

Ueber einen
neuen Respirations-Apparat.

Von
Dr. Max Pettenkofer.

I. Einleitung.

Die Arbeiten von *Bischoff* über die Ernährung des Fleische-
fressers haben neben vielen andern wichtigen und Werthvollen noch
die Thatsache constatirt, dass die Kohlenstoffmenge der aufgenommenen Nahrung, welche unter verschiedenen
Umständen durch Haut und Lungen ausgeschieden, nicht ohne Fehler be-
rechnet werden kann, sondern dass sie durch den gasförmigen Versuch
für alle einzelnen Fälle von derselben Sache entfernt werden muss,
wie die Ausscheidung des Stickstoffes im Harn. Man kann sich leicht
durch die Wege des Gases, welche sie an die Atmosphäre
bestimmen, da dieser Verlust aber nicht durch einen Saft, sondern
mehrere Stoffe nämlich durch Wasser und durch Kohlenstoff und Wasserstoff
in der Form von Kohlensäure und Wasser gebildet wird, so bleibt es
der Weiterüberlassen, wie viel man an Wasser und wie viel man
Kohlenstoff annehmen will, während es doch für den Organismus einen
ganz verschiedenen, in mancher Beziehung ganz entgegengesetzten Werth
hat, ob Kohlensäure erzeugt und ausgeschieden, oder ob Wasser abge-
geben wird. Es muss daher sehr zu bedauern sein, so

Ueber einen
neuen Respirations-Apparat.

Von
Dr. Max Pettenkofer.

Ueber einen neuen Respirations-Apparat.

Von

Dr. Max Pettenkofer.

1. Einleitung.

Die Arbeiten von *Bischoff und Voit* über die Ernährung des Fleischfressers haben neben vielem andern Wichtigen und Werthvollen auch die Thatsache constatirt und zur Ueberzeugung gemacht, dass die Kohlenstoffmenge der aufgenommenen Nahrung, welche unter verschiedenen Umständen durch Haut und Lungen entweicht, nicht ohne Fehler berechnet werden kann, sondern dass sie durch den quantitativen Versuch für alle einzelnen Fälle mit derselben Sorgfalt ermittelt werden muss, wie die Ausscheidung des Stickstoffes im Harn. Man kann allerdings durch die Wage den Gesamtverlust des Körpers an die Atmosphäre bestimmen; da dieser Verlust aber nicht durch *einen* Stoff, sondern mehrere Stoffe nämlich durch Wasser und durch Kohlenstoff und Wasserstoff in der Form von Kohlensäure und Wasser gebildet wird, so bleibt es der Willkür überlassen, wie viel man z. B. Wasser und wie viel man Kohlenstoff annehmen will, während es doch für den Organismus einen ganz verschiedenen, in mancher Beziehung ganz entgegengesetzten Werth hat, ob Kohlensäure erzeugt und ausgeschieden, oder ob Wasser abgedunstet wird. Da diess von jeher einleuchtend war, so hat es bisher

auch nicht an Versuchen gefehlt, entweder die Kohlensäure des Athems allein, oder die Kohlensäure des Athems und der Hautausdünstung zugleich zu bestimmen. Es liesse sich eine Reihe von Methoden und Apparaten auführen, welche diesem Zwecke dienten, und einer kritischen Untersuchung über dieselben wäre ein weites Feld geöffnet. Wenn ich mich dieser unangenehmen und schwierigen, zuletzt auch unfruchtbaren Aufgabe kurzweg entschlage, so geschieht es nur desshalb, weil die Untersuchungen von *Bischoff* und *Voit* den Standpunkt der Frage so weit verändert haben, dass nur mehr eine Methode von Werth sein kann, welche auch an grösseren Thieren und am Menschen eine Beobachtung über die durch Haut und Lungen ausgeschiedene Kohlensäure während eines Zeitraumes von mindestens 24 Stunden ununterbrochen zulässt, und nebenbei die Berücksichtigung der Nahrung, des Harns und Koths qualitativ und quantitativ in ebenso exakter Weise gestattet, wie die beiden genannten Forscher es bei ihrem Hunde gezeigt haben.

Wenn ich sage, dass diesen gesteigerten Anforderungen keine der bisherigen Methoden, und keiner der bisherigen Apparate entsprechen kann, so befürchte ich wenig Widerspruch. Es wird auch Niemand bestreiten, dass allen bisherigen Respirationsapparaten zwei grosse Mängel anklebten; erstlich nöthigten sie unter Umständen zu respiriren oder zu perspiriren, unter denen Menschen und Thiere nicht zu leben gewohnt sind, — und dann vermisst man bei allen — selbst den besten — zweckmässige Controlversuche über den Grad der Genauigkeit der Resultate. Der Mangel an Controlversuchen hat mich von jeher mit einigem Misstrauen gegen die manchmal prätendirte Unumstösslichkeit mancher auffallender Ergebnisse bei complicirten Apparaten erfüllt. So lange diese Schärfe nicht dadurch erhärtet ist, dass sie auch thatsächlich bei Versuchen hervortritt, bei welchen unter analogen Verhältnissen, unter welchen ein Thier oder Mensch dem Versuche unterworfen wird, bekannte Mengen Kohlensäure, Stickstoff u. s. w. entwickelt und zu-

letzt wieder gefunden werden, bis dahin hat der Zweifel seine volle Berechtigung. Man kann auch auf exakten Wegen gehend in einzelnen Fällen falsche Schlüsse machen, und wird sie unfehlbar machen, sobald man nicht prüfen kann, ob alle Voraussetzungen wirklich erfüllt sind, oder ob wirklich keine unvorhergesehenen Einflüsse mitwirken. Nur solche Controlversuche können ergeben, mit welcher Genauigkeit ein Apparat arbeitet, und welche Grössen innerhalb der Gränzen der Versuchsfehler liegen. Zur Erledigung gewisser Fragen genügt allerdings auch eine relative Genauigkeit des Verfahrens (wenn man z. B. nur erfahren will, unter welchen Umständen die Kohlensäure sich vermehrt oder vermindert); wo es sich aber um eine absolute Menge, um die genaue Bestimmung derselben handelt, da reichen Methoden mit nur relativer Genauigkeit nicht mehr aus. Die bisherigen Apparate liessen nun aber nur die erhaltenen Resultate, hingegen nicht den Grad der Genauigkeit derselben erkennen.

Der gegenwärtige Standpunkt der Physiologie verlangt einen Apparat, der einem Menschen gestattet, frei in der Luft ohne Vermittlung irgend einer am Körper zu befestigenden Vorrichtung zu athmen und sich zu bewegen, etwa wie in einem Wohnzimmer, wo er während einer Versuchsdauer von mindestens 24 Stunden keinerlei ungewohnten oder schwierigen Bedingungen unterworfen werden darf. Diese Aufgabe ist nur dadurch zu lösen, dass man den Menschen in einen genau messbaren und beliebig zu leitenden Luftstrom bringt, und die Luft auf gewisse Bestandtheile untersucht, wenn sie in den Apparat eintritt, also ehe sie mit dem Menschen in Berührung gekommen ist, und die gleiche Untersuchung wiederholt, nachdem die Luft die gasförmigen Ausscheidungen der Haut und Lunge aufgenommen hat.

Es ist eine wichtige, aber noch keineswegs hinlänglich bestimmt entschiedene Streitfrage, wie schnell oder gross der Wechsel der Luft sein soll, in welcher ein Mensch längere Zeit ohne irgend eine Störung

seiner Gesundheit zu erleiden, ohne Unbehagen zu empfinden, verweilen kann. Die Menge wird jedenfalls nach Individualität und körperlichen Zuständen schwanken. Man hat schon verschiedene Betrachtungen darüber angestellt, aus den Veränderungen der Luft in ihrem Gehalte an Sauerstoff, Kohlensäure oder Wasser eine Durchschnittsgrösse für den nöthigen Luftwechsel zu berechnen, aber alle so berechnete Zahlen genügen unserer leiblichen Empfindung und der täglichen Erfahrung nur unvollkommen. Wir wissen nur, dass wir zu unserm normalen Befinden stets einer Atmosphäre bedürfen, welche viel viel mehr Sauerstoff und viel viel weniger Kohlensäure und Wasser enthält, als für den Fortgang der Respiration und Perspiration gerade nothwendig erscheint. Die Nothwendigkeit und die Wirkungen der frischen freien Luft sind uns noch vielfach ein Geheimniss, obwohl die Thatsache von jeher anerkannt werden musste. Was uns die Luft eines mit Menschen erfüllten Raumes unangenehm und drückend macht, was auf unsere Nerven wirkt und Symptome von der Eingenommenheit des Kopfes bis zur völligen Ohnmacht hervorrufen kann, ist nicht bloss die Wärme, oder die Feuchtigkeit oder die Kohlensäure der Luft, noch der Mangel an Sauerstoff, — eine solche Luft erscheint uns faul und eckelhaft schon lange, bevor sie noch mit Wasserdunst gesättigt, oder ihres Sauerstoffs zu sehr beraubt, oder mit mehr als 1 Prozent Kohlensäure beladen ist; sie dünkt uns in dem Maasse widerlich, als sie schon wiederholt ein- und wieder ausgeathmet worden ist, oder schon oftmals die Oberflächen der Haut berührt hat; als sie mit organischen Ausdünstungsstoffen — wenn auch in höchst geringer Menge — geschwängert ist. Es ist denkbar und sogar wahrscheinlich, dass manche der bei der Respiration und Perspiration entstehenden organischen Dämpfe nur eine sehr geringe Tension haben, dass also die Luft für sie sehr bald den Sättigungspunkt erreicht, und dem Organismus nichts weiter davon abnehmen kann, wenn sie nicht wieder rasch gewechselt und erneuert wird. Das Zurückbleiben, die Anhäufung dieser Dämpfe im Körper, so gering auch ihre

Menge sein mag, kann eben so leicht auf gewisse Nervenpartien, und durch diese selbst auf den gesammten Stoffwechsel wirken, als sie in die Luft übergangen auf unsere Geruchsnerven wirkt, und uns unter Umständen selbst zum Erbrechen reizt. Ich halte es für physiologisch ungerechtfertigt, einen Menschen oder ein Thier in ein kleines stagnirendes Luftvolumen zu bringen, das während einer längeren Zeit nicht in seiner Ganzheit wechselt, dem man etwa nur den verzehrten Sauerstoff wieder zuführt und einen Theil der gebildeten Kohlensäure entzieht.

Auf der andern Seite ist eben so sicher, dass dieser Luftwechsel nicht ins Unendliche nothwendig sein kann, dass es somit eine Grenze geben muss, über welche hinauszugehen überflüssig ist. Ich habe bei einer andern Gelegenheit diese Grenze zu finden gesucht¹⁾, indem ich mich auf einen ganz empirischen Standpunkt stellte. Ich untersuchte, um wie viel in Folge von Respiration und Perspiration der Kohlensäuregehalt einer notorisch guten Zimmerluft den Kohlensäuregehalt der freien Luft übersteigen darf, ehe sich die organischen Ausdünstungsstoffe unserm Geruchsorgane in unangenehmer Weise bemerklich machen. Hierbei hat sich ergeben, dass eine Vermehrung der Kohlensäure in Folge der Respiration und Perspiration bis zu 1 Tausendstel als Grenze gelten kann, wo die Luft zu riechen anfangt. Ich habe es bereits früher deutlich ausgesprochen, dass die Kohlensäurevermehrung mir nicht die Verderbniss der Luft selbst ist, sondern dass sie mir nur als Maassstab dafür dient, wie viel von der in einem Raume befindlichen Luft schon einmal zur Respiration gedient hat. Ich habe mich wiederholt und längere Zeit in der Luft eines Zimmers wohl befunden, welche 10 Tausendtheile Kohlensäure enthielt. Diese Kohlensäure war aber durch

1) Luftwechsel in Wohngebäuden. Seite 71 bis 78. München, Cotta's literar.-artistische Anstalt.

Schwefelsäure aus doppelt kohlensaurem Natron entwickelt. Der längere Aufenthalt in einem Raume, dessen Luft *in Folge der Respiration und Perspiration von Menschen* 10 Tausendtheile Kohlensäure enthält, wird Jedem fast unerträglich werden. In der schlechtesten Luft der Gefängnisse, Kasernen, Schulen, Hörsäle und Kneipen etc. habe ich nur selten 10 Tausendtheile Kohlensäure gefunden, und sobald die Luft mehr als 2 Tausendtheile Kohlensäure enthielt, wurde schon sehr deutlich ein unangenehmer Geruch und ein lästiges Befinden wahrgenommen; in solcher Luft empfindet Jeder das Bedürfniss, zeitweise zu lüften oder findet sich veranlasst, öfter einen tiefen Athemzug zu machen als sonst, d. i. zu seufzen. Es gibt zwar Schriftsteller, welche angeben, die Luft eines Zimmers könne bis zu 5 Tausendtheilen Kohlensäure enthalten, und müsse immer noch als gute Luft anerkannt werden. Wer diess behauptet, hat entweder den Kohlensäuregehalt einer Luft, die er für gut oder schlecht befunden hat, nie bestimmt, oder es fehlt ihm der leibliche Sinn des Geruches. Vorausgesetzt, dass die Kohlensäure im Raume keine andern Quellen als Haut und Lungen der darin befindlichen Menschen hatte, habe ich bei den zahlreichen Bestimmungen, die ich und Andere in neuerer Zeit ausgeführt haben, in guter Luft nie entfernt eine solche Menge Kohlensäure gefunden, hingegen wenn die Kohlensäure diese Höhe erreichte, dann dünkte die Luft jedem Eintretenden auch höchst widerlich und dick.

Die Grösse des fast unter allen Umständen genügenden Luftwechsels für einen Menschen ergibt sich nach meinen frühern Untersuchungen und daraus gezogenen Schlüssen zu 60 Kubikmetern in der Stunde, die nämliche Menge, die gegenwärtig auch bei der mechanischen Ventilation der Krankensäle für eine Person verlangt wird¹⁾. Obwohl diese Grösse von Vielen als übertrieben hoch erachtet wird, und Manche, wenigstens

1) Grassi: Étude comparative de deux systèmes de Chauffage et de Ventilation établis à l'hospital Lariboisière. Paris. Rignoux 1856.

für Gesunde, höchstens den dritten Theil für nothwendig halten, so musste ich doch bei der Konstruktion eines Respirationsapparates, in dem ein Mensch 24 Stunden lang verweilen sollte, darauf Rücksicht nehmen. Ich wählte deshalb Verhältnisse, die mir gestatteten, den Luftwechsel beliebig zwischen 75 und 15 Kubikmetern in der Stunde und auch noch darunter handhaben zu können. Hiemit war dann auch die Möglichkeit gesichert, Versuche über den Einfluss eines sehr grossen und eines sehr geringen Luftwechsels auf unser Befinden und auf den Stoffwechsel anzustellen, die bisher so abweichenden Annahmen mit einem vollgiltigen Maassstabe zu messen und diese für das praktische Leben so wichtige Frage zu einer endgiltigen Entscheidung zu bringen.

Von Wichtigkeit für die Konstruktion war auch die Grösse desjenigen Theiles des Apparates, in dem sich der Mensch während der Dauer eines Versuches aufhalten sollte. Ich dachte am besten zu thun, wenn ich diesem Theile die Form eines Zimmers gebe, in welchem ein Bett, Tisch und Stuhl Platz hat, und auch noch einiger Raum zur Bewegung, zum Auf- und Abgehen bleibt. Der kleinste Raum, mit welchem ich diesen Anforderungen entsprechen zu können glaubte, erschien mir ein Kubus von 8 Fuss ($\approx 2,335$ Meter), mithin ein Würfel von 512 Kubikfuss oder 12,7 Kubikmeter. Da unserm Befinden, namentlich wenn wir uns ruhig verhalten sollen, ein fühlbarer Luftzug höchst unangenehm, ja wegen der einseitig vermehrten Abkühlung und Verdunstung sogar der Gesundheit nachtheilig ist, so musste auch untersucht werden, ob der Querschnitt des Zimmers (5,452 Quadratmeter) hinlänglich gross ist, um die Bewegung der Luft für uns unfühlbar zu machen. Wenn man den Querschnitt einer Leitung und die Luftmenge kennt, welche in einer Sekunde darin sich bewegt, so berechnet sich die Geschwindigkeit sehr einfach, wenn man mit dem Querschnitt in die Luftmenge dividirt. Wenn während einer Stunde 15 Kubikmeter durch das Zimmer des Apparates gehen, so gehen in einer Sekunde 0,0444 Kubikmeter durch. Da sich

diese nun im gegebenen Falle auf einem Querschnitte von 5,452 Quadratmetern bewegen, so ergibt sich 0,008 Meter Geschwindigkeit der Luft in der Sekunde; geht hingegen die grösste Menge (75 Kubikmeter stündlich) durch, so erreicht die Geschwindigkeit der Luft immerhin nur 0,0208 Meter in der Sekunde. Da wird den sogenannten Zug erst bei einer Geschwindigkeit der Luft von 16 Metern aufwärts deutlich wahrzunehmen anfangen, so war nicht im mindesten zu befürchten, dass man im Zimmer des Apparates Zugluft spüren, oder dass ein Licht nicht ganz ruhig brennen würde, Voraussetzungen, die sich in der Folge auch vollkommen bestätigt haben.

Ehe man aber an die Ausführung eines so grossen und kostspieligen Apparates mit gutem Gewissen denken konnte, musste man auch darüber ganz im Klaren sein, ob man die wissenschaftlichen Mittel besitze, in einem so grossen Luftstrome die vom Athem und der Ausdünstung eines Menschen herrührenden, verhältnissmässig kleinen Mengen Kohlensäure und Wasser mit der nöthigen Schärfe zu finden. Obwohl streng genommen die direkte Bestimmung sowohl der Kohlensäure als des abgedunsteten Wassers nöthig ist, so ist die Bestimmung der Kohlensäure doch das Wichtigere, denn aus dem Körpergewichte und dem Gewichte und der chemischen Zusammensetzung der Nahrung, und der Ausscheidungen durch Harn und Köth lässt sich die Menge des abgedunsteten Wassers und des oxydirten Wasserstoffes mit hinreichender Genauigkeit berechnen, wenn man die Menge der entwickelten Kohlensäure genau kennt. Mein Augenmerk war deshalb zunächst auf die direkte Bestimmung der Kohlensäure gerichtet. Vor Allem waren die etwaigen Veränderungen des Volumens in Erwägung zu ziehen, welche ein Luftstrom dadurch erleiden kann, dass ein Mensch in ihm athmet. Die Volumsänderungen in Folge des Druckes, der Temperatur oder Feuchtigkeit konnten als keine wesentlichen Fehlerquellen angesehen werden, da ihnen durch Barometer-, Thermometer- und Psychrometer-

Beobachtungen, sowie durch Wägung des Wassers leicht Rechnung getragen werden konnte.

Was nicht so leicht in einem Luftstrome direkt bestimmt werden kann, ist die Menge Sauerstoff, welche beim Athmen verschwindet. Die ausgezeichneten Untersuchungen über Respiration von *Vierordt*, von *Regnault* und *Reiset*, *Hutchinson* und Anderen liefern übrigens ein hinreichendes Material, um hierüber ein entscheidendes Urtheil sich zu bilden. Es steht fest, dass der bei Weitem grösste Theil des binnen 24 Stunden aus einem Luftstrome aufgenommenen Sauerstoffes in der Form von Kohlensäure auch wieder aus dem Körper austritt. Da ein Volum Kohlensäure den nämlichen Raum einnimmt, wie der Sauerstoff, den sie enthält, so erfolgt keine Aenderung im Volumen der Luft, soweit deren Sauerstoff zur Bildung von Kohlensäure benutzt wird. Es ist übrigens bekannt, dass das Volum der ausgeathmeten Luft nach Berücksichtigung des Druckes, der Temperatur und des Wasserdunstes doch stets etwas kleiner ist, als das Volum der eingeathmeten Luft, und zwar in dem Maasse, als Sauerstoff nicht lediglich zur Bildung von Kohlensäure, sondern auch zur Bildung von Wasser oder anderen Sauerstoffverbindungen im Körper verwendet wird. Nach den Untersuchungen von *Regnault* und *Reiset* hierüber ¹⁾ wird je nach der Nahrung im geringsten Falle etwa $\frac{1}{10}$, im höchsten Falle noch nicht $\frac{1}{3}$ der Menge des verbrauchten Sauerstoffes nicht wieder in der Form der Kohlensäure ausgeschieden. Nimmt man nun das mittlere Athemvolum eines erwachsenen Menschen zu 5 Liter in der Minute, mithin zu 300 Liter in der Stunde an ²⁾, so berechnet sich der mittlere Gehalt der ausgeathmeten Luft nach den zahlreichen Bestimmungen von *Brunner* und *Valentin* und von *Vierordt* ³⁾

1) Annalen der Chemie von Wöhler und Liebig. Bd. 73. S. 269 u. 272.

2) Physiologie von Ludwig. Bd. II. S. 497.

3) Physiologie, von Ludwig. Bd. II. S. 530.

zu 20,230 Liter Kohlensäure in der Minute, oder 13,8 Liter in der Stunde. Sollte diese Kohlensäure auch nur $\frac{2}{3}$ des verbrauchten Sauerstoffes enthalten, und ein ganzes $\frac{1}{3}$ zur Bildung von Wasser und andern Oxydationsstufen im Körper verwendet werden, so ergibt sich eine Volumverminderung von 6,9 Litern in einer Stunde. Wenn nun der Luftstrom, in welchem ein Mensch athmet, in der Stunde auch nur 10 Kubikmeter (10,000 Liter) beträgt, so kann man im Ganzen noch nicht um $\frac{1}{10}$ Procent irren, wenn man diese Volumsveränderung vernachlässigt. Der Fehler wird noch viel geringer, wenn der Luftstrom stündlich 20 oder 40 Kubikmeter beträgt.

In diesen Thatsachen erblicke ich ein unbestrittenes Recht, die Aufgabe einfach so zu stellen, dass ermittelt werden soll, um wie viel der Gehalt eines Luftstromes an Kohlensäure und Wasser dadurch vermehrt wird, dass ein Mensch in demselben lebt.

Zwei Fragen drängten sich nun zunächst auf, erstens über die Mittel zur Erzeugung eines beliebig grossen constanten Luftstromes, und zweitens über die Mittel zur genauen Messung desselben. Die erste Frage war leicht zu erledigen; ein paar Saugcylinder mit Klappenventilen, von einer mechanischen Vorrichtung — etwa einem grossen Uhrwerke — beliebig und regelmässig bewegt, durch eine Rohrleitung mit dem Respirationsraume verbunden, mussten hiefür genügend erkannt werden. Liess man den Respirationsraum auf der andern Seite durch entsprechende Oeffnungen frei mit der Atmosphäre communiciren, so war klar, dass ein eben so grosses Luftvolumen auf dieser Seite stets eintreten musste, als auf der andern Seite durch die Saugcylinder weggenommen wurde. Da Saugcylinder mit Klappenventilen wegen nicht zu vermeidender theilweiser Undichtigkeit nicht zu genauen Messungen dienen können, so musste zwischen ihnen und dem Respirationsraume ein Messapparat eingeschaltet werden. Diese zweite Aufgabe fand ich bereits vollkommen gelöst vor. Die nassen Gasuhren, deren Erfindung

wir dem im Fache der Gasindustrie so hoch verdienten und geistreichen *Samuel Clegg* verdanken, genügen nach meinen zahlreichen Erfahrungen, die ich bei Gelegenheit des Holzgases gemacht habe, allen Anforderungen einer continuirlichen genauen Messung eines durch Druck oder Saugen in einer geschlossenen Leitung hervorgebrachten Luftstromes. Es ist hier nicht der Ort, die Gasuhr zu erklären, aber ich kann mir die Bemerkung nicht versagen, dass man in allen technischen Lehr- und Handbüchern, selbst in Specialwerken über Gasbeleuchtung, vergebens nach einer richtigen Vorstellung vom Wesen der Gasuhr sucht. Hier genügt es anzugeben, wie die Genauigkeit ihrer Angabe geprüft und erzielt werden kann. Durch direkte Aichungen mit bekannten Mengen Luft lässt sich jede Messtrommel einer Gasuhr zu einem so genauen Maasse für die durchgehende Luft machen, als man irgend einen cubischen Raum durch sein Volum oder Gewicht Wasser ermitteln kann. Wenn das vom Fabrikanten der Gasuhr einverleibte Zählerwerk auch nicht mit dem wirklichen Luftvolum einer ganzen Trommeldrehung stimmt, so lassen sich die Angaben der Uhr auf Grund einer genauen Aichung doch sehr leicht auf das wirkliche Volum berechnen und berichtigen. Wer bei *Siry, Lizars et Comp.* in Leipzig, oder bei *L. A. Riedinger* in Augsburg Gasuhren für ein bestimmtes Maximum des Durchgangs in einer Stunde bestellt, und etwa noch die Bemerkung beifügt, dass sie möglichst genau sein sollen, der wird jeder Zeit Instrumente erhalten, deren Angaben auf $\frac{1}{1000}$ sicher genau befunden werden. Die wesentlichste Bedingung dann, die für eine richtige Messung damit als unentbehrlich bezeichnet werden muss, ist die Erhaltung des gleichen Wasserstandes in der Uhr, wesshalb manche Instrumente hiefür eine eigene selbstwirkende Vorrichtung haben, die das aus der Uhr verdunstete Wasser wieder ersetzt, was jedoch auch sonst leicht zu erzielen ist, z. B. dadurch, dass man den Luftstrom sich mit Wasser sättigen lässt, ehe er in die Gasuhr eintritt, wodurch das Verdunsten von Wasser in der Uhr verhindert wird. Die Construction und das mechanische Princip

der nassen Gasuhr ist den wenigsten Chemikern und Physikern hinlänglich geläufig, sonst wären diese oder ähnliche Instrumente zur Messung continuirlicher Gasströme längst in den physikalischen, chemischen und physiologischen Laboratorien eingebürgert und in jenen Fällen verwendet, wo es sich nur um eine exakte Messung und nicht zugleich um die vollständige Aufsammlung eines Gases handelt. Jede Gasuhr lässt sich so einrichten, dass sie von dem durch sie gehenden Ströme ununterbrochen einen beliebigen für jede Trommelumdrehung stets gleichen Theil in einen Sammelbehälter zur Aufbewahrung bringt, wodurch man in einem verhältnissmässig sehr kleinen Volumen ein absolut richtig verkleinertes Bild vom Vorgang im Grossen erhält. In der hiesigen Gasfabrik ist von Herrn Schilling erst vor Kurzem zur Untersuchung des Leuchtgases aus verschiedenen Kohlen eine solche Vorrichtung mit Erfolg in Thätigkeit gesetzt worden. Die Gasuhren verdienen für wissenschaftliche Zwecke sicher mehr beachtet zu werden, als bisher.

Eine der ersten Lebensfragen für den Apparat war es endlich auch, ob man denn die wissenschaftlichen Mittel besitze, die geringe Kohlensäurevermehrung in einem so beträchtlichen Luftstrom durch das Athmen etc. mit der erforderlichen Genauigkeit zu bestimmen. Zwei Wege stehen offen. Man kann versuchen, die ganze Kohlensäuremenge des Luftstromes zu absorbiren und zu bestimmen. Man muss es aber geradezu als eine Unmöglichkeit erklären, einem Luftstrom von nur 10 Kubikmetern in der Stunde so geringe Mengen Kohlensäure so vollständig zu entziehen, dass man nicht um viele Procente der ganzen Grösse fehlen müsste. Ein zweiter Weg ist, einen entsprechenden Bruchtheil des im Ganzen gemessenen Luftstromes in einer Weise zu nehmen, dass der Bruchtheil genau die Mischung des Ganzen erhält, diesen Bruchtheil aber dann mit jeder möglichen wissenschaftlichen Schärfe auf Kohlensäure zu untersuchen, und das Resultat auf die ganze Luftmenge zu berechnen. Da die Luft, welche in den Apparat einströmt, selbst wenn

es Luft aus dem Freien ist, schon Kohlensäure enthält, die sich in Folge des Athmens und der Hautausdünstung nur vermehrt, so handelt es sich hier wesentlich um Differenzbestimmungen, welche gleichmässig ausgeführt aus dem Grunde leicht Resultate von grosser Genauigkeit liefern, weil alle constanten Fehler eliminirt werden. Man bestimmt z. B. den Kohlensäuregehalt der eintretenden Luft auf gleiche Weise, wie den der austretenden; wie bei einer Wage gleichsam legt man die constanten Fehler ebensowohl auf die eine wie auf die andere Seite, und bringt nur die Differenz in Rechnung. Wenn aber auch solche Differenzbestimmungen die Genauigkeit der Untersuchung wesentlich erhöhen, so war doch noch darüber Gewissheit zu erlangen, bis zu welcher Grenze die Differenz noch genau gefunden wird, denn davon hängt zunächst das Quantum von Luft ab, welches der Untersuchung unterworfen werden muss. Alle bisherigen Erfahrungen beweisen nun aber zur Evidenz, dass es nur dann gelingt, einem Luftstrome die Kohlensäure, sei es durch flüssige oder feste Absorptionsmittel, vollständig zu entziehen, wenn entweder seine Geschwindigkeit oder sein Volumen sehr gering ist. Es ist bekannt, dass man selbst bei ziemlich langen Absorptionsröhren in einer Stunde höchstens 5 Liter Luft durchleiten darf, wenn man noch auf eine vollständige Absorption der Kohlensäure rechnen will. Gegenüber einem Luftstrome von 20000 Litern und mehr in einer Stunde ist man also auf ein sehr geringes Volumen (5 Liter) der zu untersuchenden Probe beschränkt, und jeder bei der Untersuchung gemachte Fehler wird mit 4000 multiplicirt. Ich habe deshalb meine Titirmethode, die Kohlensäure der Luft durch Kalk- oder Barytwasser zu bestimmen in einer Weise ausgebildet und geschärft, dass, wie ich weiter unten nachweisen werde, $\frac{1}{10}$ Milligramm mehr oder weniger Kohlensäure noch mit unzweifelhafter Sicherheit zum Vorschein kommt, eine Empfindlichkeit der Methode, welche auch im vorliegenden Falle den Erfolg trotz der kleinen Menge der untersuchten Luft sichert. Nimmt man an, dass in 24 Stunden 500,000 Liter durch den Respirations-

apparat gehen sollen, denen sich in dieser Zeit 600 Gramme Kohlensäure aus der Respiration und Perspiration beimischen, und nimmt man ferner an, dass man von diesen 500,000 Litern nur 100 Liter zur Untersuchung auf Kohlensäure bringt, die man in 500,000 Litern vertheilt noch auf 1 Gramm oder $\frac{2}{10}$ Procent der ganzen enthaltenen Grösse genau bestimmen will, so hat man sich zu fragen, welche Menge Kohlensäure in 100 Litern Luft noch sicher zu finden ist. Die Antwort liegt in der Proportion: 500,000 Liter Luft : 1 Gramm Kohlensäure = 100 Liter : x Gramm. Hieraus ergibt sich $x = 0,0002$ Gramm oder $\frac{2}{10}$ Milligramm. Da die Methode richtig ausgeführt sogar noch $\frac{1}{10}$ Milligramm sicher erkennen lässt, so konnte man über den Erfolg der Kohlensäurebestimmungen beruhigt sein und sicher auf eine Genauigkeit bis zu $\frac{1}{2}$ Procent der ganzen Grösse rechnen, um die es sich handelte. Der Erfolg hat die Richtigkeit dieser Voraussetzungen auch hinlänglich erwiesen, aus weiter unten folgenden Controlversuchen wird ersichtlich werden, dass der Kohlenstoffgehalt einer Stearinkerze, welche im Respirationsapparate bei einem Luftwechsel von 20,000 Litern in der Stunde eine Zeit lang brennt, aus der hiebei entwickelten und durch eine Differenzbestimmung ermittelten Menge Kohlensäure ebenso genau gefunden wird, als durch die Elementar-Analyse. Je empfindlicher eine Wage oder eine Methode ist, desto kleiner darf der Bruchtheil werden, welcher untersucht wird, und von dem aus noch richtig auf das Ganze gerechnet werden kann. In dieser Hinsicht hat es die chemische Analyse schon in manchem Stücke bis auf eine anerkennenswerthe Stufe gebracht; man bedenke z. B., dass durch den ganzen Betrieb einer Münzanstalt jährlich viele Zehntausende von Kilogrammen legirten Silbers und Goldes gehen, von denen kaum ein Hunderttausendstel untersucht oder probirt wird. Trotzdem stimmt die Rechnung von diesen kleinen Bruchstücken oder Proben auf den Betrieb im Grossen so genau, dass es nicht um $\frac{1}{10}$ Procent im Ganzen fehlen kann. Wenn man einen Gramm Silberlegirung bis auf 10 Milligramm Gehalt genau untersuchen

und 1000 Kilogramme Silberlegirung auf 1 Kilogramm genau wägen kann, so ist man im Kleinen wie im Grossen unzweifelhaft gleich (auf $\frac{1}{10}$ Procent) sicher, ja es ist sogar die Probe mit 1 Gramm viel sicherer, als wenn man 1000 Kilogramme untersuchen würde.

Nachdem ich die wichtigsten Vorfragen bis zu diesem Punkte erledigt hatte, theilte ich meinen Plan Herrn Professor *Freiherrn von Liebig* mit, ihn bittend, denselben mit aller Strenge zu prüfen, ob irgend etwas in ihm liege, was die Ausführung unthunlich erscheinen lassen könnte. Ich sprach auch mit manchen andern Freunden und Collegen darüber, um möglichst viele Einwürfe zu hören. *v. Liebig* erklärte nach reiflichem Ueberlegen, er finde principiell den Plan wohl begründet, und er könne desshalb zur Ausführung desselben nur ermuntern. Es war allerdings zu erwarten, dass auch abgesehen von den bedeutenden Kosten noch zahlreiche Schwierigkeiten zu überwinden kommen würden, ehe allen Voraussetzungen und Anforderungen genügt seyn würde; diess konnte aber nur eine Sache der Ausdauer und der Gewissenhaftigkeit seyn. Die technische Commission der Akademie berichtete durch die wissenschaftliche Commission im Cultusministerium an *Seine Majestät den König*, dass die Ausführung dieses Apparates sicher hoffen liesse, die für Physiologie und Medizin gleich wichtigen Fragen der Respiration im unerlässlichen Zusammenhange mit der Ernährung auf exakte Weise zu lösen; dass aber weder die Akademie, noch eine andere wissenschaftliche Anstalt die Mittel zur Ausführung besässe. *Seine Majestät der König Max II. von Bayern* hat darauf hin in gewohnter Huld und lebendiger Fürsorge für alle wichtigen Interessen der Wissenschaft und Praxis sofort beschlossen, einen solchen Apparat aus seinen Privatmitteln für das physiologische Institut anfertigen zu lassen. Der Apparat ist seit einem Jahre vollendet und nach allen Richtungen erprobt worden. Der erhabene Stifter desselben hat damit dem Fortschritte in der Physiologie und in der Medizin eine neue sichere und bequeme

Bahn eröffnet; möge sie vielfach benützt werden, um neue Ziele damit zu erreichen.

2. Beschreibung des Apparates.

Um eine klare und verständliche Beschreibung des Respirationsapparates, wie er ausgeführt wurde, geben zu können, hat Herr Ingenieur *Friedrich Seidel* bei der obersten Baubehörde dahier die Güte gehabt, eine genaue Zeichnung des Apparates nach der Natur in der sogenannten isometrischen Projektion herzustellen. Den auf 3 Tafeln vertheilten Zeichnungen sind jederzeit die angewandten Maassstäbe beigegeben, damit alle Dimensionen genau bemessen werden können.

Die Bewegung der Luft, die Ventilation des Apparates wird durch die beiden Saugcylinder A und A auf Tafel I bewirkt. Ihre Construction und ihr Gang ist ohne viel Erklärung aus der Zeichnung selbst verständlich. Die Cylinder werden von der Axe E an zwei entgegengesetzt stehenden Krummzapfen auf- und abgeführt, so dass jeder beim Aufsteigen Luft aus der Röhre D durch ein in B befindliches Klappenventil A saugt, während er beim Niedergehen durch die 4 kleinen Ventile (Kautschukplatten) b im Deckel des Saugcylinders die angesaugte Luft ausstösst, indem sich beim Niedergehen das Ventil in B in Folge des entgegengesetzt wirkenden Luftdruckes schliesst. An den Krummzapfen der Axe E sind Schlitzte angebracht, um die Hubhöhe der Saugcylinder verändern zu können.

Die Axe E macht in einer Minute gewöhnlich 10 Umdrehungen. Durch das abwechselnde Auf- und Niedergehen der beiden Saugcylinder wird ein Luftstrom durch den Apparat erzeugt, welcher (siehe Tafel II) durch die Spalten und Oeffnungen der Thüre L der aus Eisenblech und Glas construirten Kammer K ein-, und durch die Klappen b (Tafel I) austritt. Aus der Kammer geht die Luft an der der Thüre L

gegenüberliegenden Seite unten und oben durch die Röhren a und b, welche sich bei c in das Rohr M (das Untersuchungsrohr) vereinigen. Von da geht die Luft bei d in den Befeuchtungsapparat F. Dieser ist mit grossen Bimssteinstücken gefüllt, die durch öfteres Aufgiessen von Wasser durch den Trichter feucht erhalten werden, damit sich die darüberströmende Luft mit Wasserdunst sättige, und kein oder doch nur sehr wenig Wasser mehr aus der Gasuhr entführe, in welche die Luft durch die punktirt sichtbar gemachte Röhre bei f ein- und durch D, was nach den Saugcylindern führt, austritt. Alle Luft, welche aus der Kammer K nach D gelangt, muss nothwendig durch die grosse Gasuhr H gehen, und dort eine ihrem Volumen entsprechende Drehung der Messtrommel verursachen. Der Werth dieser Drehungen wird an den 6 kleinen Zifferblättern abgelesen. Um den Gang der Ventilation im Apparate auch controliren zu können, wenn man während eines Versuches nicht zugegen war, ist eine sogenannte Controluhr angebracht, deren Viertelstundenzeiger mit einem Bleistifte auf einer Papierscheibe die zu verschiedenen Zeiten durch die Gasuhr gegangenen Luftmengen bemerklich macht. Diese Einrichtung, welche fast in allen grösseren Gasfabriken sich findet, ist wesentlich, um sich vor fehlerhaften Versuchen zu schützen, in so ferne man nicht immer zugegen sein kann.

Dass an der Thüre L der Kammer K genau so viel Luft eintritt, als aus der Gasuhr nach dem Rohr D entweicht, ist selbstverständlich, vorausgesetzt, dass nicht in Folge von Undichtigkeiten die Luft auch an andern Punkten, als an der Thüre Zutritt hat. Undichtigkeiten an der Kammer haben keinen nachtheiligen Einfluss auf die Genauigkeit des Versuches, denn durch jede vorhandene Oeffnung wird die gleiche Luft wie durch die Thüre eintreten; aber vom Beginn des Untersuchungsrohres M anfangend bis nach D muss die ganze Leitung luftdicht schliessen. Um diesen Theil der Leitung darauf zu untersuchen, schliesst man die Ableitungsrohre aus der Kammer a und b, indem man Glasschei-

ben mit Klebwachs luftdicht über die Mündungen in der Kammer kittet, und leitet längere Zeit Leuchtgas in das Untersuchungsrohr M durch einen seiner Ansätze ein. Das Leuchtgas geht durch die Gasuhr H, sobald man es durch den Hahn an der Röhre D auf Tafel I entweichen lässt. Nachdem man sich überzeugt hat, dass alle Luft so weit ausgetrieben ist, dass keine Explosion mehr zu befürchten ist, sucht man mit einem Lichte alle undichten Stellen auf. Wo eine solche ist, wird Gas austreten, das sich entzünden lässt. Auf diese Art gelingt es leicht, jede Undichtigkeit zu beseitigen.

Das auf der Untersuchungsrohre M befestigte Manometer g zeigt selbst bei einem Luftwechsel von 60 Kubikmetern in der Stunde noch keine merkliche Differenz im Stande des Wassers in beiden Schenkeln, sondern es ist nur ein beständiges Zittern der Wassersäule bemerklich, ein augenscheinlicher Beweis, dass sich die durch den Saugapparat aus der Kammer gezogene Luft durch die vorhandenen Oeffnungen sofort in jedem Augenblicke wieder ersetzt. Man kann desshalb mit Sicherheit annehmen, dass die Luft im Apparate den gleichen Barometerstand mit der umgebenden freien Atmosphäre hat.

Dass von in der Kammer entwickelten Dämpfen trotzdem keine Spur durch Diffusion nach aussen in den Luftraum, in welchem K steht, entweichen kann, lässt sich sehr einfach dadurch beweisen, dass man, so lange die Saugcylinder im Gange sind, im Innern der Kammer K penetrant riechende Dämpfe entwickelt, und an den Spalten und Oeffnungen der Thüre beobachtet, ob von dem Geruche etwas wahrzunehmen ist. Der Erfolg zeigt, dass die Geschwindigkeit der an sämtlichen Oeffnungen einströmenden Luft unter allen Umständen grösser ist, als die Geschwindigkeit der Diffusion.

Um die Ventilation im Apparate zu vermehren oder zu vermindern,

dient zunächst die verschiedene *Hubhöhe* der Saugcylinder. Ausserdem kann die *Hubzahl* in gleichen Zeiten durch die Geschwindigkeit der Axe E Tafel I verändert werden. Die Geschwindigkeit von E hängt aber lediglich von dem Regulirungsapparate G ab. Dieser ist seinem Wesen nach nichts weiter, als ein kräftiges Uhrwerk, dessen Fallgewicht F in einem Bande ohne Ende mit einem leichtern Gegengewicht K auf der andern Seite jedes in einer Rolle hängt, und durch die Axe von H über die Riemenscheibe M in der Richtung des Pfeiles aufgezogen wird, während es auf der danebenliegenden Scheibe N in entgegengesetzter Richtung mit einer constanten Geschwindigkeit wieder hinabfällt, welche von der Summe der zu überwindenden Widerstände und der Gewichts-differenz von F und K abhängt. Diese Gewichts-differenz treibt die Axe von O, welche ihre Bewegung durch einen Riemen auf E überträgt. An der Axe P, welche gleichfalls von O aus getrieben wird, befindet sich zur Erzielung eines gleichmässigen Ganges ein Windflügel. Es ist klar, dass eine ungleichmässige Bewegung in H die gleichmässige Bewegung von O und E so lange nicht stören kann, als die Gewichte schweben, d. i. so lange F fallen kann. Wird F in M mehr aufgezogen, als es in N fällt, so geht nur M schneller als N und das Gewicht steigt herauf, im umgekehrten Falle sinkt F hinab, die Geschwindigkeit von N bleibt aber in beiden Fällen gleich, bis das Gewicht F auf dem Boden seines etwa 5 Fuss hohen Schachtes aufsteht.

Die Saugcylinder und der Regulirapparat wurden zuerst ausgeführt, und der zu ihrer Bewegung erforderliche Kraftaufwand $\frac{1}{10}$ Pferdekraft entsprechend gefunden. Ich habe lange überlegt und gefragt, welche Kraft man auf H sollte wirken lassen, um das Gewicht F fortwährend aufzuwinden und dadurch in der Schwebe zu erhalten, ob Menschen-, Wasser- oder Dampfkraft? Calorische Maschinen würden sich in diesem Falle wegen des grossen Lärmens, den ihr Gang verursacht, nicht geeignet haben. Nach vielem Bedenken und Berechnen musste eine Dampfmaschine immer-

hin noch als die sicherste, ruhigste und wohlfeilste Triebkraft, wenn sie 24 Stunden ununterbrochen wirken sollte, anerkannt werden. Es wurde eine Dampfmaschine von 2 Pferdekraften mit den jetzt üblichen nöthigen Zuthaten angeschafft, was den Apparat allerdings wesentlich vertheuerte. An der auf Tafel I sichtbaren gewöhnlichen Dampfmaschine ist eigentlich nichts, was einer Erklärung bedürfte, als die Regulirvorrichtung für den zum Kolben tretenden Dampf. In s neben dem Cylinder W befindet sich ein Drosselventil, welches von der Rolle R des Regulirapparates aus bewegt wird. Die Bewegung der Rolle R hängt vom Stande der Gewichte F und K ab, welche an den schmalen Bändern r, die um die Rolle R gewunden und auf ihr befestiget sind, ihrem Steigen und Fallen entsprechend drehen. Die Axe von R dreht dann im selben Sinne durch einen konischen Kamm die Stange t, und diese bewegt durch eine weitere Uebersetzung die Hebel u, deren Bewegung zuletzt das Drosselventil in s folgt. Das Drosselventil lässt bei der Hälfte der Drehung, deren es überhaupt fähig ist, den meisten Dampf einströmen. Man stellt desshalb die durch Schlitze verstellbaren Hebel u so, dass die grösste Dampfmenge einströmen kann, wenn das Gewicht F etwa gleich hoch mit dem Gewichte K steht. Bei dieser Stellung des Dampfventiles geht die Maschine am schnellsten; sie wird die Axe M schneller bewegen, als das stets gleiche Gewicht F die Axe N bewegt, und F wird dadurch in die Höhe steigen. Da aber K um eben so viel hinabsteigt, drehen die Bänder r auch die Rolle R, und diese das Drosselventil in s. Ehe das Gewicht F über die Oberfläche seines Schachtes herausgehoben werden kann, ist das Ventil in s ganz geschlossen und verlangsamt sich schon vorher allmählig der Gang der Dampfmaschine. Fällt nun F wieder auf der Rolle N mehr hinab, als es auf M gehoben wird, so öffnet sich in dem Maasse auch wieder das Dampfventil in s und bewirkt eine schnellere Bewegung der Maschine. Diese Regulation des Dampfes ganz im Sinne des bewegenden Uhrwerkes wurde bei Herrn *Riedinger* in Augsburg ausgedacht und ausgeführt, und

hat sich als vortrefflich bewährt. Die Saugcylinder gehen trotz aller Schwankungen der Spannung im Dampfkessel so regelmässig und gleich, dass die Luftmenge, welche binnen 24 Stunden bei verschiedenen Versuchen durch den Apparat geht, oft nur um ein paar Kubikfuss differirt.

In dem Maasse, als Luft in der Kammer des Apparates ein- und austritt, muss sie auch fortlaufend untersucht werden. Es ist für das Gelingen der Bestimmung der Kohlensäuredifferenz der ein- und abströmenden Luft von fundamentaler Bedeutung, dass vom Anfang bis zum Ende ein stets gleicher Bruchtheil des Ganzen zur Untersuchung genommen wird, denn nur dadurch ist beim unvermeidlichen Wechsel der äussern Umstände während der ganzen Dauer eines Versuches die Möglichkeit einer richtigen Bestimmung gegeben. Die zur Untersuchung genommene Luft muss unter allen Umständen ein absolut richtig verkleinertes Bild von der Beschaffenheit der ganzen Luftmenge zu allen Zeiten des Versuches darstellen. So einfach die Aufgabe erscheint, so schwierig zeigte sie sich bei der Lösung. Ich versuchte anfangs alle bekannten Arten von Aspiratoren, aber entweder war der Erfolg sehr mangelhaft, oder sie bedurften einer fortwährenden Ueberwachung oder sie leisteten nur für kurze Zeit Dienste, und waren zu Versuchen auf 24 Stunden nicht brauchbar. Es ist auch eine höchst schwierige Aufgabe, solche Saugapparate, die viele Verbindungsstellen haben, luftdicht zu machen, oder sie 24 Stunden lang luftdicht zu erhalten. Zuletzt musste ich sogar die Erfahrung machen, dass eine kohlensäurefreie Luft von einem Aspirator langsam durch mehrere Röhren gesogen in Folge von Diffusion kohlensäurehaltig wird, indem der Zug des Aspirators dem Streben der Diffusion von aussen nach innen an allen Verbindungsstellen zu Hilfe kommt. Man bringt eine Luft nur ganz kohlensäurefrei, und kann sie so erhalten, wenn man sie durch mehrere Absorptionsapparate, die auf gewöhnliche Art verbunden sind, durch *drückt*, anstatt zu saugen, weil nur dann der Diffusion durch den Druck der

Luft von innen nach aussen entgegengewirkt wird. Darin wesentlich scheint mir das schon von Mehreren beobachtete Räthsel seine Erklärung zu finden, dass Luft noch so oft mit Kalkwasser gewaschen, auch in der letzten Flasche stets noch etwas kohlen sauren Kalk nach einiger Zeit erkennen lässt, wenn es auch äusserst geringe Mengen sind.

Ich kam nach mannigfachen Plackereien mit Aspiratoren auf den Gedanken, von der Bewegung des Luftstromes im Ganzen, von den Saugcylindern A Tafel I auch die Bewegung eines ähnlichen, aber verhältnissmässig sehr kleinen Apparates für die analytischen Zwecke ausgehen zu lassen. Ich construirte 2 kleine Pumpen, um die Luft, so lange sie noch ihre Kohlensäure enthält, zu *saugen*, und sie dann zur Absorption derselben durch ein System von Röhren zu *drücken*. Diese 2 kleinen Saug- und Druckpumpen werden von der am Krummzapfen des Saugcylinders A befestigten Stange q bewegt, welche durch einen Schlitz in der Mauer nach dem nächsten Zimmer geht, wo (siehe Taf. II) die Respirationskammer und die grosse Gasuhr steht. Bei jeder Bewegung des Saugcylinders A zieht und schiebt die Stange q an der Axe w. Aus der Zeichnung ist ersichtlich, wie diese Bewegung auf die Stange x, und durch diese auf die kleinen Pumpen wirkt. Da der Maassstab von Tafel II für diesen Theil des Apparates zu klein ist, so sind zur grössern Deutlichkeit diese Pumpen mit Zugehör auf Tafel III in grösserem Maassstabe gezeichnet. Dort sieht man, wie die Stange x auf den Stützpunkt z wirkt. Die Bewegung ist durch punktirte Linien angedeutet. Die kleinen Glas cylinder a und b werden durch den Zug der Stange x niedergedrückt, und gehen beim Schub derselben in Folge der Wirkung der Gegengewichte c und d in die Höhe.

Die Einrichtung der Pumpen ist nun folgende: Der Glas cylinder e ist bis auf ein paar Centimeter von seinem Rande mit Quecksilber gefüllt. In das Quecksilber werden 2 U-förmig gebogene Röhren gestellt, dass sie über dem Quecksilber münden. An ihren äussern Enden werden

sie durch den auf dem Gefässe e befindlichen Messingdeckel gehalten, welcher aus 2 Theilen besteht und durch einen von unten nach oben geschobenen Ring fest geklemmt wird. Die U-förmig gebogenen Röhren communiciren einerseits frei unter sich in dem kleinen Glasylinder b, anderseits sind sie mit den Fläschchen f und k durch kurze Kautschukröhren verbunden. Diese beiden Fläschchen sind durch einen Kautschukpfropf verschlossen, der von 2 Röhren durchbohrt ist, von denen die eine bis nahe auf den Boden des Fläschchens geht, und durch eine kurze Quecksilberschichte abgesperrt ist. Drückt man nun den Glasylinder b nieder, so wird die in ihm enthaltene Luft durch das Quecksilber im Fläschchen g entweichen, während sie in f abgesperrt bleibt; zieht aber das Gegengewicht d den Cylinder b in die Höhe, so kehrt sich der Luftdruck um, und sperrt im Fläschchen g, während die Luft durch die Röhre im Quecksilber von f eintritt. Auf diese Art hat man eine Saug- und Druckpumpe, in welcher die Ventile und der Kolben nahezu keine Reibung verursachen, und doch absolut luftdicht schliessen, weil sie aus flüssigem Quecksilber bestehen. Sie sind den Sicherheitsventilen nachgebildet, die in den chemischen Laboratorien längst gebraucht werden, um bei Gasentwicklungen etc. das Zurücksteigen von Flüssigkeiten in die Retorte sicher zu verhindern. (Mohr's Lehrbuch der pharmazeutischen Technik S. 232 Figur 181.) So lange die Hubhöhe von b gleich bleibt, wird auch bei jeder Bewegung die gleiche Menge Luft angesaugt und fortgedrückt werden.

Wie aus Tafel II ersichtlich ist, saugt die Pumpe a ihre Luft aus einer möglichst engen Glasröhrenleitung, welche über die Respirationskammer weg nach der Thüre L geht, wo sie sich nach zwei Seiten derselben abzweigt. Die Pumpe a saugt somit bei jedem Hube einen Bruchtheil der Luft, wie sie in den Apparat einströmt. Die Pumpe b saugt in gleicher Weise aus dem Untersuchungsrohre M einen Bruchtheil der Luft, wie sie aus der Respirationskammer fortgeht. Beide Pumpen gehen in jeder Minute 10 mal, und man stellt die Hubhöhe so, dass jeder Hub zwischen

8 und 9 Cub.-Cent. Luft fördert. Man erhält also in jeder Minute 10 Proben der ein- und 10 Proben der abströmenden Luft, und dadurch gewiss ein richtig verkleinertes Bild von der Beschaffenheit derselben im Ganzen.

Von den Pumpen aus wird die Luft nun weiter durch ein System von Röhren nach den beiden kleinen darüberstehenden Gasuhren h (Tafel II) gedrückt, wo sie kohlenstofffrei und mit Wasserdunst gesättigt anlangt und nachdem sie gemessen worden ist, entweicht. In jeder Gasuhr sowohl in den kleinen h, als in der grossen H steckt ein in $\frac{1}{10}$ Grade getheiltes Thermometer, um die Reduktionen der Volume für gleiche Temperatur und Dunstdruck vornehmen zu können. Es genügt, die Thermometer während eines Versuches alle 2 Stunden zu beobachten.

Von dem Fläschchen g (Tafel III) aus geht die Luft durch den Hahn h, der mit Hilfe eines Zeigers beliebig und sehr fein gestellt werden kann, dann durch die Röhre i, in welcher sich mit Wasser befeuchteter Bimsstein befindet, dann in kleinen Blasen, deren Grösse durch den Stellschrauben h geregelt werden kann, durch die einen Meter lang mit Barytwasser gefüllte Röhre k. Um die etwa noch vorhandenen Reste von Kohlensäure, welche in k noch nicht absorbirt worden sind, noch sicher zu gewinnen, geht die Luft nochmal in feinen Blasen durch ein mit Barytwasser gefülltes kürzeres Rohr l, wonach sie durch die kleine Gasuhr h entweicht. Das Barytwasser in der Röhre l ist selbst nach 24 Stunden noch klar, und von der Kohlensäure von 130 bis 140 Litern Luft gelangt während dieser Zeit in der Regel nicht 1 ganzer Milligramm in die zweite Röhre l.

Die Barytwasserröhren k und l liegen in mit Kautschuk und Kork gefütterten messingenen Haltern, und können durch Zeiger, Gradbogen und Stellschrauben in einer gewissen Schräge constant erhalten werden. Von der Schräge hängt es ab, dass die einzelnen Luftblasen mit der

erforderlichen Geschwindigkeit fortrücken, ohne sich zu grösseren Blasen zu vereinigen. Durch die Bewegung der Gasblasen wird ganz augenscheinlich auch eine beständige Mischung des Barytwassers erzielt.

Will man auch den Wassergehalt der ein- und abströmenden Luft untersuchen, so müssen zwischen dem Stellschrauben h und der Röhre i gewogene Röhren mit Bimsstein und Schwefelsäurehydrat gefüllt eingeschaltet werden.

Das Spiel dieses Untersuchungsapparates bleibt sich 24 Stunden lang so gleich, wie der Gang der grossen Saugcylinder A, von denen er ja seine Bewegung erhält ¹⁾.

3. Titrirung des Barytwassers.

Anfänglich habe ich mich zur Absorption der Kohlensäure des Kalkwassers bedient. Das Kalkwasser kann wegen der geringen Löslichkeit des Kalkhydrats auf 1 Kubikcentimeter nicht viel mehr als 1 Milligramm Kohlensäure sättigen, während bei längerer Dauer des Versuches und grösseren Mengen Kohlensäure eine grössere Stärke sehr wünschenswerth wäre, um die Anwendung zu grosser Volume Flüssigkeit zu vermeiden. Dann ist der entstehende kohlensaure Kalk anfangs immer amorph, in diesem Zustande in Wasser löslich und reagirt alkalisch, wie die einfach kohlensauren Alkalien. Erst wenn er krystallinisch geworden ist, verliert er die Löslichkeit in Wasser und mit dieser die alka-

1) Im Laufe der Untersuchungen hat sich gezeigt, dass für manche Fälle noch eine dritte Untersuchungspumpe nothwendig ist, z. B. wenn man während eines Versuches fortlaufend den Gehalt einer Luft an Ammoniak oder an Kohlenwasserstoffen u. s. w. ermitteln will. Eine dritte solche Pumpe wurde einfach mit einer der Vorhandenen gekuppelt.

lische Reaktion. (Sitzungsberichte der k. bayerischen Akademie der Wissensch. 1860 Heft III S. 291.) Bei einem grösseren Ueberschuss von Aetzkalk bleibt der kohlensaure Kalk länger amorph und im Kalkwasser gelöst, als in einem schwachen Kalkwasser. Aus diesen Gründen habe ich das Kalkwasser für immer gegen Barytwasser vertauscht. Es hat sich ferner ergeben, dass die alkalische Reaktion gleicher Äquivalente Baryt und Kalk ungleich stark auf Curcupapier reagiren, Baryt stärker als Kalk. Es ist überhaupt merkwürdig, dass sowohl in der Reihe der Alkalien als der alkalischen Erden manche Eigenschaften mit der Grösse der Äquivalente wachsen. Wenn man in gleichen Mengen Wasser äquivalente Mengen Kali- und Natron-Hydrat löst, so ist die Kalilösung eine schärfer wirkende Lauge, als die Natronlösung, bräunt Curcupapier intensiver etc., obwohl beide durch gleiche Mengen Säure neutralisirt werden. Ganz analog sind auch die physiologischen Wirkungen der Salze, z. B. von Chlormagnesium, Chlorcalcium, Chlorbarium, von Jod-Natrium und Jod-Kalium etc.

Zur Bereitung verschieden starker Barytwasser hält man sich entweder gesättigtes Barytwasser oder krystallisirtes Barythydrat vorrätzig. Für einen 24stündigen Versuch bringe ich in die langen Röhren k ein Barytwasser, von welchem 30 Cubik. Centimeter etwa 90 Milligramme Kohlensäure zur Sättigung brauchen, und in die kurzen Röhren l eines, von welchem 30 Cub. Cent. etwa 30 Milligramme Kohlensäure erfordern. Solche Stärken erhält man, wenn man im erstern Falle auf 1 Liter destillirtes Wasser 21 Gramme krystallisirtes Barythydrat, im zweiten Falle auf 1 Liter Wasser 7 Gramme Barythydrat nimmt. Man thut gut, die Barytwassermischungen in Flaschen aufzubewahren, aus denen es mit genau calibrirten Saugpipetten aus einem Heberrohre mit Quetschhahn ausgesogen werden kann, während die dafür eintretende Luft über Bimsstein geht, der zur Absorption der Kohlensäure mit concentrirter Kalilauge befeuchtet ist. Der Gehalt ändert sich dann nur sehr allmählig.

Um das Barytwasser zu titiren dient eine verdünnte Oxalsäure, welche in 1 Liter Wasser 2,8636 Grammen reine krystallisirte Oxalsäure enthält, die nicht verwittert sein, aber auch kein freies Wasser enthalten darf. Ersteres erkennt man mit einer Loupe, gegen Letzteres sichert man sich, indem man sie ein paar Stunden über Schwefelsäure stellt. Es ist nicht gut, sich einen zu grossen Vorrath der Lösung zu machen, da eine so verdünnte Oxalsäure leicht schimmelt. 1 Cub. Cent. dieser Lösung entspricht genau 1 Milligramme Kohlensäure, und wenn man weiss, wie viele Cubikcentimeter dieser Oxalsäurelösung man zum Neutralisiren eines Barytwassers gebraucht, so weiss man auch, wie viele Milligramme Kohlensäure man dazu nöthig gehabt hätte.

Man misst 30 Cub.-Cent. Barytwasser in ein Glaskölbchen und lässt aus einer in $\frac{1}{5}$ Cubikcentimeter getheilten und genau controlirten *Mohr'schen* Messröhre mit Quetschhahn und *Erdmann'schem* Schwimmer die Oxalsäure allmählig zufließen, die Flüssigkeit zeitweise gut schüttelnd, während man die Oeffnung des Kölbchens mit dem Daumen verschliesst.

Den Index bei der Titirung bildet das Verschwinden der alkalischen Reaktion auf Curcumapapier. Das hiefür taugliche Curcumapapier muss mit kalkfreiem, ungeleimten, schwedischen Filtrirpapier und Curcumatinktur gemacht werden. Der zur Bereitung der Curcumatinktur verwendete Weingeist muss ganz säurefrei sein. Das frische, nasse Curcumapapier muss in einem dunklen Raume oder bei Nacht getrocknet, und vor direktem Lichte geschützt aufbewahrt werden. Es darf keine zu dunkle Farbe haben, es soll citronengelb sein.

Wenn der grösste Theil des Barytes neutralisirt, und nur mehr äusserst geringe Mengen vorhanden sind, so dass ein *eingetauchtes* Curcumapapier keine Bräunung mehr zeigt, so bildet sich noch ein brauner Ring, wenn man einen Tropfen Flüssigkeit mit einem Glasstabe aufhebt und auf Curcumapapier legt. Der Tropfen wird von seiner Peri-

perie aus vom Papiere eingesogen, seine ganze alkalische Wirkung concentrirt sich desshalb in der Peripherie. Das Zustandekommen dieses Ringes ist so deutlich und empfindlich, dass man die Wirkung von $\frac{1}{40}$ Cub.-Cent. Oxalsäurelösung, d. i. von $\frac{1}{40}$ Milligramm Kohlensäure noch mit aller Bestimmtheit sehen kann. Gegen das Ende der Neutralisation darf man die Tropfen natürlich nicht zu klein nehmen. Um auf $\frac{1}{40}$ Cub.-Cent. Flüssigkeit sicher einstellen zu können, ist der Erdmann'sche Schwimmer in der Messröhre unentbehrlich.

Kennt man den Gehalt eines Barytwassers noch nicht annähernd, so prüft man zuerst eine kleine Menge z. B. von 5 Cub.-Cent. Damit findet man annähernd den Gehalt auch für 30 Cub.-Cent., und untersucht nun diese genauer. Man nähert sich dem wahrscheinlichen Gehalte sofort bis auf 1 oder $\frac{1}{2}$ Cub.-Cent. Oxalsäure, ehe man einen Tropfen zur Probe aushebt; dann titirt man fertig, indem man je nach der Stärke der noch sichtbaren alkalischen Reaktion, die man bald richtig schätzen lernt, mit $\frac{1}{2}$, zuletzt mit $\frac{1}{40}$ Cub.-Cent. vorwärts geht. Zur Controle nimmt man dann abermals 30 Cub.-Cent. desselben Barytwassers; zur scharfen Bestimmung dieser Probe gibt die vorausgegangene Bestimmung eine sehr sichere Unterlage. Zwei so Proben von 30 Cub.-Cent. Barytwasser stimmen stets auf $\frac{1}{40}$ Cub.-Cent. Oxalsäurelösung, d. i. auf $\frac{1}{40}$ Milligramm Kohlensäure genau überein, vorausgesetzt, dass nicht bei der ersten Probe zu viele Tropfen zur Prüfung weggenommen worden sind, so lange die Flüssigkeit noch sehr alkalisch war: in einem solchen Falle gibt dann die zweite Probe stets einen entsprechend höheren Gehalt, der als der richtige anzunehmen ist.

Die Methode gewährt somit jedenfalls eine Sicherheit, die von keiner Wage mehr zu erwarten wäre. Hat man für 30 Cub.-Cent. Barytwasser 90 Cub.-Cent. Oxalsäurelösung oder 90 Milligramme Kohlensäure nöthig, so findet man also noch $\frac{1}{900}$. Um was nach beendigtem Ver-

suche eine bekannte Menge Barytwasser weniger Oxalsäure zum Neutralisiren braucht, um das ist es bereits von Kohlensäure aus der durchgeströmten Luft neutralisirt worden.

Da diese alkalische Reaktion so sehr empfindlich ist, so ist mit aller Sorgfalt darauf zu achten, dass weder an den Glaskolben, noch an Glasstäben, noch an der Hand, noch in der Luft alkalisch reagirende Stoffe sich befinden. In einem Zimmer, in dem starker Tabakrauch ist, ist es schlechterdings unmöglich, Barytwasser richtig zu titiren, da das kohlen-saure Ammoniak des Tabakrauches merkliche Fehler verursacht. Manchmal beobachtet man auch, dass alkalische Staubtheilchen (z. B. Holzasche) sich in der Luft oder auf dem Papiere befinden, indem innerhalb der Wirkungssphäre eines Tropfens alkalisch reagirende Punkte sichtbar werden, ohne dass in der Peripherie desselben ein zusammenhängender Ring entsteht.

Sehr ist auch darauf zu achten, dass das Barytwasser keine Spur Aetzkali oder Aetznatron enthalte, die geringsten Mengen davon machen bei Gegenwart von kohlen-saurem Baryt die Titrirung unmöglich, da sich die neutralen oxalsaurer Alkalien mit den kohlen-sauren alkalischen Erden umsetzen zu oxalsaurer Kalk oder Baryt und kohlen-saurem Kali oder Natron. (S. Sitzungsberichte der bayr. Akad. d. Wiss. 1860 Heft III S. 291.) Sobald desshalb eine Spur von kohlen-saurem Baryt in der Flüssigkeit suspendirt ist, — und dieser Fall ist immer vorhanden, wenn ein Barytwasser zur Absorption von Kohlensäure gedient hat und nicht filtrirt worden ist — reagirt bei Gegenwart der geringsten Spuren von Kali oder Natron die Flüssigkeit in Einem fort alkalisch, weil das mit Oxalsäure neutralisirte Alkali sich sofort mit dem kohlen-sauren Baryt wieder umsetzt. Ein erneuter Zusatz von Oxalsäure verwandelt das kohlen-saure Alkali wieder in oxalsaures. Die Flüssigkeit ist einen Augenblick neutral, bis beim Schütteln mit Luft die Kohlensäure

entweicht, und etwa noch vorhandener kohlensaurer Baryt das oxalsaure Alkali wieder in kohlensaures Alkali verwandelt. Man erkennt diese Fälle leicht daran, dass eine Spur alkalischer Reaktion nach mehrmaligem Zusatz von Oxalsäure immer wieder auftritt, ohne schwächer zu werden. Wenn man ein Barytwasser auf einen etwaigen Gehalt an Aetzkali etc. prüfen will, ermittelt man dessen Gehalt an einer völlig klaren Probe, dann an einer zweiten, der man etwas präcipitirten reinen kohlensauren Baryt beisetzt. Die zweite Probe darf nicht mehr Oxalsäure zur Neutralisation erfordern, als die erste. Erfordert sie mehr, so ist eine Spur ätzendes Alkali vorhanden. Glücklicher Weise ist diesem Uebelstande dann auch leicht zu begegnen, man setzt einem solchen Barytwasser etwas Chlorbarium zu, es bildet sich Aetzbaryt und eine entsprechende Menge Chlormetall des Alkali, welches die Reaktion nicht weiter stört. Um zu zeigen, wie empfindlich die geringsten Mengen ätzender oder kohlensaurer Alkalien wirken, diene folgender Fall. Professor Dr. Voit und ich haben eine grosse Reihe demnächst erscheinender Untersuchungen über die Respiration des Hundes gemeinschaftlich ausgeführt, und haben uns bei den Titirungen stets gegenseitig controlirt. Ich hatte eben eine Probe Barytwasser titirt, welches zu einem Versuche gedient hatte, das also kohlensauren Baryt suspendirt enthielt. Voit machte zur Controle eine zweite Probe von dem nämlichen Barytwasser, konnte aber am Ende eine sehr schwache alkalische Reaktion, die sonst auf 1 oder 2 Zehntel-Cubikcentimeter Oxalsäure verschwand, nicht mehr zum Verschwinden, oder auch nur zum Abnehmen bringen, nachdem er schon viel mehr Oxalsäure verbraucht hatte, als ich. Er hatte zuvor mit Kalilauge gearbeitet, und es blieb, obwohl er sich sorgfältig die Hände gewaschen hatte, an der Haut des Daumens, womit man die Mündung des Probekölbehens beim Schütteln und Mischen der Flüssigkeit verschliesst, doch so viel Kali haftend, dass es genügte, die alkalische Reaktion nicht mehr verschwinden zu lassen, was aber nach Zusatz von etwas Chlorbarium auf $\frac{1}{10}$ Cub.-Cent. Oxalsäure gelang. Eine dritte Probe, die

wieder ich machte, stimmte auch wieder vollständig mit der von mir gemachten ersten Probe überein.

4. Beschreibung eines Versuches.

Wenn die Dampfspannung in dem zur Maschine gehörigen Dampfkessel auf dem Manometer $\frac{3}{4}$ oder 1 Atmosphäre zeigt, ist hinlänglich Kraft zur Bewegung vorhanden. Man öffnet dem Dampfe sofort den vollen Weg vom Kessel zum Kolben, jede weitere Regulirung dem Uhrwerke G auf Tafel I überlassend. Da das in s befindliche Drosselventil geschlossen ist, sowohl wenn das schwerere Gewicht F auf dem Boden des Schachtes aufsteht, als auch wenn dasselbe ganz oben ist, so muss für den Anfang der Hebel u von Hand mit der an ihm befindlichen Handhabe so gestellt werden, dass das Drosselventil in s dem Dampfe die grösste Oeffnung darbietet. Eine im Ansatzpunkte der Handhabe befindliche Feder gestattet eine solche Stellung. Sobald in Folge des schnellen Ganges der Maschine das Gewicht F über die Hälfte seines Weges gehoben ist, ist die Wirkung der Feder durch die Drehung der Stange t aufgenommen. Von nun an kann man Dampfmaschine, Regulirapparat und Saugcylinder 24 Stunden lang sich selbst überlassen. Es bedarf nur zeitweise unterm Dampfkessel zu heizen, und an der Maschine zu schmieren, was jeder gewöhnliche Arbeiter besorgen kann. Sobald sich die Saugcylinder in Bewegung setzen, strömt die Luft im nächsten Zimmer (Tafel II) in den Apparat an der Thüre L ein, und durch die Deckel der Saugcylinder (Tafel I) durch die Klappen b aus. Zugleich mit den Saugcylindern setzen sich die beiden kleinen Untersuchungspumpen a und b auf Tafel III in Bewegung, deren Luft aber einstweilen noch durch die Stellhahnen h entweicht, von denen die Kautschukröhren, die sie mit i verbinden, abgenommen sind.

Indem man etwa eine halbe Stunde vor Beginn des eigentlichen Versuches den Apparat im Gange lässt, wechselt die in der Kammer be-

findliche Luft. Man benützt diese Zeit, das Barytwasser in die Röhren k und l zu füllen, die vorher gut trocken gemacht sein müssen. Man stellt die Röhren nahezu horizontal, und bringt mit einer 45 Cub.-Cent. haltenden Pipette in die langen Röhren k starkes, in die kurzen schwaches Barytwasser. Die beiden Röhren k sind wohl gleich lang, aber nicht gleich weit; in die eine, welche zur Untersuchung der Luft aus dem Inneren des Apparates dient, kommen 135 Cub.-Cent., während in die andere für die äussere Luft nur 90 Cub.-Cent. kommen. Beide Röhren k aber werden von der entsprechenden Menge Flüssigkeit bis zu gleicher Länge (1 Meter lang) erfüllt. In den Röhren muss etwa noch 10 Cub.-Cent. Steigraum für die Luftblasen sein. In die unter sich ganz gleich grossen kurzen Röhren l kommen in jede 90 Cub.-Cent. schwächeres Barytwasser. Die Kautschukpfropfe werden luftdicht aufgesetzt, die Röhren unter sich und mit den kleinen Gasuhren, deren Zifferblätter zuvor auf Null gestellt werden, luftdicht verbunden, und zuletzt in die gehörige Schrägstellung gebracht. Hiedurch kann man auch beobachten, ob die Pfröpfe von k und l luftdicht schliessen, ob sich nämlich die durch die Schrägstellung entstandene Niveaudifferenz der Flüssigkeit nicht mehr ausgleicht. Alle übrigen Theile der Leitung für die zu untersuchende Luft können vor oder nach einem Versuche auf ihre Dichtigkeit untersucht werden, theilweise durch die Wirkungen von Druck oder Saugen, theilweise dadurch, dass man bekannte Volume Luft durch sie nach den kleinen Gasuhren leitet, und beobachtet, ob man Verluste hat oder nicht. Die Erfahrung hat gezeigt, dass der luftdichte Schluss unter den gegebenen Umständen mit Leichtigkeit zu erzielen und zu erhalten ist.

Der Versuch beginnt, sobald das zu untersuchende Individuum die Kammer K betritt. In diesem Augenblicke wird der Stand der grossen Gasuhr und die Stundenuhr aufgeschrieben. So schnell als möglich danach werden die Kautschukröhren auf die Stellhahnen hh Tafel III auf-

gesetzt, und von diesem Augenblick an geht ein Bruchtheil sowohl der Luft, welche an der Thüre L der Kammer K (Tafel II) in diese eintritt, als auch von jener Luft, welche aus K durch M abströmt, durch den Untersuchungsapparat, um in den Röhren k und l die Kohlensäure vollständig abzugeben, und zwar ununterbrochen, so lange der Versuch dauert, in stets gleichem Takte.

Wenn der Versuch im Gange ist, bestimmt man die Gehalte des verwendeten Barytwassers, des stärkeren und des schwächeren. Man macht von jedem 2 Proben mit 30 Cub.-Cent., die um kein $\frac{1}{10}$ Cub.-Cent. Oxalsäurelösung differiren dürfen. Dann hat man bis zur Beendigung des Versuches eigentlich nichts mehr zu thun, wenn man nur die Gesamtmenge der ausgeschiedenen oder entwickelten Kohlensäure bestimmen will, denn der Heizer, die Maschine und die Apparate besorgen alles Uebrige. Will man übrigens auch die Schwankungen im Kohlensäuregehalte der Luft zu verschiedenen Zeiten kennen lernen, so dient dazu die Saug- und Druckpumpe N auf Tafel II. Man nimmt mit ihr Luft aus dem Untersuchungsrohre M, und drückt sie in die calibrirte Flasche O, die 6 bis 7 Liter fasst. Man wäscht mit Luft aus M die Flasche O so lange aus, bis man sicher sein kann, nun wirklich nur mehr Luft aus M in ihr zu haben. Um aber diese Luft nicht für die Messung des ganzen Luftstromes in H zu verlieren, führt man sie aus O wieder in M ein, aber an einer Stelle, wo sie keine Aenderung mehr auf die Zusammensetzung der Luft ausüben kann, welche von der kleinen Quecksilberpumpe zur fortlaufenden Untersuchung aus M gezogen wird. Die aus M in O gebrachte Luft wird dann mit Barytwasser ganz ähnlich auf Kohlensäure untersucht, wie ich es im Wesentlichen schon bei einer andern Gelegenheit (Ueber den Luftwechsel in Wohngebäuden. München 1838. Cotta'sche Buchhandlung S. 1 bis 18) beschrieben habe. Wenn diese Art der Bestimmung auch nicht die absolute Schärfe hat, wie sie durch den Apparat auf Tafel III erzielt wird, so lässt sie doch

mit grosser Sicherheit erkennen, in welchem Maasse zu verschiedenen Zeiten des Versuches eine relative Vermehrung oder Verminderung der Kohlensäure sich zeigt.

In dem Befeuchtungsapparate F Tafel II muss hie und da Wasser aufgegossen werden. Den Grad der Befeuchtung der Luft kann man an einem Psychrometer beobachten, welches neben F bei e in der Leitungsröhre luftdicht eingepasst ist.

Alle 2 Stunden müssen die Thermometer an der grossen Gasuhr H in dem Rohre D, und ebenso an den beiden kleinen Gasuhren h abgelesen und aufgeschrieben werden. Ich habe sie Anfangs in viel kürzern Zwischenräumen beobachtet, aber die Praxis hat ergeben, dass 2 Stunden eben so genaue Durchschnitte liefern als 10 Minuten. Scheint die Sonne ins Lokal, so müssen die Gasuhren vor den Strahlen derselben geschützt werden, am Einfachsten durch Niederlassen dichter Fenstervorhänge. Die Thermometerablesungen können jedem gewissenhaften Menschen übertragen werden, nachdem man ihn einige Zeit darin geübt und controlirt hat.

Will man den Versuch zu einer bestimmten Zeit unterbrechen, so schliesst man eine halbe Minute zuvor den Dampf von der Maschine ab. Die Bewegung des Saugapparates geht dann erfahrungsgemäss noch eine halbe Minute fort, bis das schwere Gewicht F auf dem Boden des Schachtes angelangt ist. In dem Augenblick, als der Luftstrom im Apparate stille steht, hören mit den grossen Saugcylindern auch die Untersuchungspumpen zu arbeiten auf.

Sobald diese stille stehen, notirt man die Zeit, wann der Versuch sein Ende nahm, und lässt das Versuchsindividuum die Kammer verlassen. Dann liest man den Stand der grossen Gasuhr und der beiden kleinen Gasuhren ab. Vier kleine Kolben mit guten Kautschukpfropfen hat man in Bereitschaft, welche das Barytwasser aus den Röhren k und

leben zu fassen vermögen. Der Hals der Kolben muss so weit seyn, dass die Pipette zur Herausnahme der zu titirenden Proben eingeführt werden kann. Auch ist es gut, die Kolben nicht überflüssig gross zu wählen und sie zuvor an einem offenen Fenster mit einem Glasrohre so auszusaugen, dass sie sicher gleichmässig mit frischer, möglichst kohlen-säurearmer Luft gefüllt sind. Nachdem man die Röhren k und l (Tafel III) horizontal gestellt, nimmt man die Verbindungen auseinander, entleert das Barytwasser in die bereit gehaltenen und genau bezeichneten Kölbchen und verschliesst sie luftdicht mit einem Kautschukpfropfe.

Um beim Titiren möglichst wenig kohlensauren Baryt in die Flüssigkeit zu bekommen, lässt man den Niederschlag zuvor gut absitzen, und saugt aus dem klaren Theil eine Pipette von 30 Cub.-Cent. voll, verschliesst das Saugrohr vorläufig mit der Zunge, hebt die Pipette aus dem Kölbchen, und stellt erst dann auf den Theilstrich der Pipette scharf ein, nachdem man die Ausflussröhre mit einem Finger der einen Hand so lange verschlossen hielt, bis man die Pipette mit der andern Hand wie gewöhnlich gefasst, und mit einem Finger das Einsaugrohr bedeckt hat. Will man sogleich nach dem Ansaugen mit einem Finger, und nicht zuerst und vorläufig mit der Zunge verschliessen, so wird der Niederschlag von kohlensaurem Baryt stets stark aufgewühlt werden. Merbliche Mengen Niederschlag finden sich nur in den Röhren k, am meisten natürlich in der für die innere Luft. Die Röhren l bleiben meist ganz klar, wenn der Versuch auch 24 Stunden dauert.

Vom Barytwasser aus den Röhren k macht man zur Ermittlung des beiläufigen Gehaltes zuerst eine Probe von nur 5 Cub.-Cent., dann erst titirt man zweimal 30 Cub.-Cent. Von dem verwendeten Barytwasser bleibt ein Theil an den Wandungen der Röhren hängen, und was neben den zu titirenden Proben übrig bleibt, kann zum Ausspülen der Pipetten benützt werden. Nach meiner Erfahrung genügt es, eine Pipette für

30 Cub.-Cent. zweimal mit 8 bis 10 Cub.-Cent. desjenigen Barytwassers auszuspülen, welches man titriren will.

Die Titirungen sind bei gutem Tageslicht vorzunehmen, da der Unterschied zwischen gelb und rothbraun auf dem Curcumapapier gegen das Ende der Reaktion einer guten Beleuchtung bedarf, um bis zur äussersten Grenze wahrgenommen zu werden.

5. Berechnung eines Versuches.

Die in der grossen Gasuhr und in den beiden kleinen Gasuhren gemessenen Luftmengen müssen, um genau vergleichbar zu sein, auf gleiche Temperatur und Feuchtigkeit gebracht werden. Hiezu dienen die zweistündigen Thermometerbeobachtungen. Unter den gegebenen Verhältnissen kann die Luft bei der beobachteten Temperatur auch als mit Feuchtigkeit gesättigt angenommen werden. Ich beobachte in einer Reihe von Versuchen ein Psychrometer, welches in der Leitung an der Stelle angebracht war, wo die Luft aus der grossen Gasuhr ins Rohr D (Tafel II) übergeht. Die Differenz zwischen dem trockenen und feuchten Thermometer betrug nie mehr als 1, meistens nur einige $\frac{1}{10}$ Grade der Celsius'schen Skala. Diese Differenz, welche trotz des Befeuchtungsapparates F und des Wassers in der Gasuhr noch bleibt, kann vernachlässigt werden, der Fehler beträgt nicht $\frac{1}{10}$ Procent im Durchschnitt. Der Barometerstand wirkt ohnehin auf alle Messapparate gleich. Da die beiden kleinen, nebeneinander stehenden Gasuhren stets fast gleiche Temperatur zeigen, so bringt man die Angabe der grossen Gasuhr auf die Temperatur und die derselben entsprechende Feuchtigkeit der beiden kleinen Gasuhren, wozu ich stets die *Bunsen'schen* Tafeln gebrauche. Die Temperatur in der grossen Gasuhr ist namentlich im Winter oft bedeutend (5 bis 6 Grade) niedriger, als in den kleinen, weil der Befeuchtungsapparat F und die grosse Wassermasse in H viel langsamer

die Temperatur des beheizten Raumes annehmen als h . Zur Berechnung des Einflusses des Dunstdruckes auf das Volumen genügt es, den mittlern Barometerstand des Ortes ein für allemal zu Grunde zu legen. Ich habe für München 715 Millimeter angenommen, und berechne, wie vielmal $\frac{1}{715}$ des Volums zugezählt oder abgezogen werden muss.

Eine kleine Unrichtigkeit in der vergleichenden Messung der Luftproben und des ganzen Stromes liegt in dem Umstande, dass die untersuchte Luft kohlenstofffrei, die gesammte Luftmasse aber sammt ihrer Kohlensäure gemessen wird. Diese Unrichtigkeit liesse sich durch Rechnung ausgleichen, aber theils die Rechnung, theils die Genauigkeit der Controlversuche beweisen, dass eine solche Correktion bei der Kleinheit der Grösse überflüssig ist. Zudem ist es ein Fehler im entgegengesetzten Sinne des vorigen, wo die nicht völlige Sättigung des Luftstromes mit Wasserdunst vernachlässigt wird. Es mögen sich Beide in der Mehrzahl der Fälle compensiren.

Man berechnet zunächst, wie viel Gramme Kohlensäure nach dem Resultate der Titirungen 1000 Liter der eintretenden und 1000 Liter der austretenden Luft enthalten haben. Man rechnet bis einschliessig zur 4. Dezimalstelle, also bis auf $\frac{1}{10000}$ Milligramm. Dazu hat man ein Recht, weil man auch noch $\frac{1}{10000}$ Milligramm durch Titrirung bestimmt hat. Zieht man den Kohlensäuregehalt der einströmenden Luft von dem der abströmenden Luft ab, so erhält man eine Differenzzahl, welche ausdrückt, um wie viel je 1000 Liter Luft an Kohlensäure zugenommen haben. Wenn man nun weiss, wie viel Liter durch die grosse Gasuhr gegangen sind, so weiss man auch, wie viel Kohlensäure darin enthalten ist.

Einer besonderen Berechnung unterliegt noch der Inhalt der Respirationskammer, d. i. die Luft, welche wohl in den Apparat eingetreten, aber noch nicht durch das Untersuchungsrohr und die Gasuhr gegangen

ist. Man kennt den Inhalt der Kammer, er beträgt nach Abzug des Fussbodens und der Möbel 12 Kubikmeter oder 12000 Liter. Eine gewisse Gleichmässigkeit in Entwicklung der Kohlensäure vorausgesetzt, wird die Menge der zuletzt in der Kammer entwickelten und zurückgebliebenen Kohlensäure proportional sein der Kohlensäure in der durch die grosse Gasuhr gegangenen Luft, wenn man sie auf ein um 12000 Liter kleineres Volumen berechnet, denn die anfänglich in der Kammer befindlichen 12000 Liter sind einer Verdünnung, einer Verringerung der Differenz im Kohlensäuregehalte gleich zu achten. Sind z. B. 500000 Liter durch die grosse Gasuhr gegangen, und berechnen sich dafür aus der Differenz im Kohlensäuregehalte der äussern und innern Luft 500 Grammen, also auf 1000 Liter 1 Gramm Kohlensäure, so fragt man sich, wie viel noch in 12000 Litern in der Kammer enthalten ist, wenn in 500000 minus 12000, d. i. in 380000 Litern 500 Grammen gefunden worden sind. In diesem Falle wären also 500 und 15,8 Gramme Kohlensäure entwickelt worden. Ich habe meinen Freund und Collegen Prof. Dr. *Seidel* gebeten, diesen Calcul auf seine mathematische Berechtigung zu prüfen, und von ihm die Versicherung erhalten, dass der ihm anhaftende Fehler bereits verschwindend klein wird, sobald nur so viel Luft durch die grosse Gasuhr gegangen ist, dass die Menge 5mal den Inhalt der Kammer ausmacht. Ich habe Anfangs bei den Controlversuchen die in der Kammer bleibende Luft auf eine umständliche und mühsame Weise eigens untersucht; es hat sich aber ergeben, dass die direkte Bestimmung der Kohlensäure in der Kammer und die durch diese Rechnung gefundene Menge stets übereinstimmten, wenn der Versuch überhaupt stimmte.

Wenn man will, kann man auch noch die Kohlensäuremenge addiren, welche der Luft entspricht, welche aus dem Untersuchungsrohre M zur Bestimmung des Kohlensäuregehaltes verwendet worden ist. Da diese Menge aber selbst in 24 Stunden noch lange keinen Gramm Kohlensäure beträgt, so habe ich sie stets ausser Acht gelassen.

6. Controlversuche.

Alle theoretischen Untersuchungen und Betrachtungen für sich allein wären nicht im Stande gewesen, mich über die Leistungen eines Apparates zu beruhigen, der als wissenschaftliches Messinstrument alle bisher üblichen Dimensionen so sehr überschreitet. Schon beim Entwerfe des Planes hatte ich mir vorgenommen, durch Controlversuche auf rein praktischem Wege die Fehlergrößen des Apparates zu ermitteln. Das geeignetste und der Respiration am nächsten kommende Mittel der Controle schien mir, einen kohlenstoffhaltigen Körper von bekanntem Kohlenstoffgehalte während des Versuches in diesem Luftstrome zu verbrennen, und zu untersuchen, wie weit die theoretisch berechnete und die praktisch gefundene Menge Kohlensäure zusammenstimmen. Am geeignetsten zu einer solchen Verbrennung ist wohl eine gute Stearinkerze, die in ruhiger Luft ohne allen Russ und Rauch verbrennt. Ich wählte zuletzt eine Sorte (4 Stücke in einem Packet) aus der von Beck'schen Fabrik in München. Theils ich, theils mein Assistent Herr *Büller* machten eine Reihe von Kohlenstoffbestimmungen mit solchen Kerzen. Das Mittel der um 1 bis 2 Zehntelprocente differirenden Analysen ergab 76,6 Procente Kohlenstoff¹⁾. Der Docht einer Stearinkerze macht kein Procent vom Gewichte aus, und der Fehler, der dadurch entsteht, dass ein Gewicht Docht um $\frac{1}{3}$ weniger Kohlenstoff als ein gleiches Gewicht Stearin enthält, kann ganz vernachlässigt werden.

Bei diesen Controlversuchen war das Anzünden der Kerze in der Kammer gleich bedeutend mit dem Eintritte eines lebenden Objectes bei einem wirklichen Respirationsversuche. In dem Augenblicke, wo der

1) Bei frühern Versuchen hatte ich oft Stearinkerzen von viel höherem Kohlenstoffgehalte, 78 $\frac{1}{2}$ Procente und darüber. Der Kohlenstoffgehalt der Stearinkerzen schwankt mit der Menge Cocotalg oder Wachs, welche der reinen Stearinsäure zugesetzt wird.

Versuch unterbrochen wurde, wurde auch die Kerze gelöscht. Da die Kerzen vor und nach dem Versuche gewogen wurden, so wusste man, wie viel Stearin verbrannt war; aus der Elementaranalyse des Stearins war bekannt, wie viel Kohlenstoff und wie viel Kohlensäure das verbrannte Stearin entsprach. Dauerte der Versuch länger, als 1 Kerze brennen konnte, so waren 2 oder mehr gewogene Kerzen in der Kammer aufgestellt, die nach und nach einzeln angezündet und ausgelöscht wurden. Das Anzünden und Auslöschen konnte durch die drehbare Rosettenöffnung in der Thüre L Tafel II bewerkstelliget werden, ohne die Thüre selbst zu öffnen.

Hier folgt die schematische Aufschreibung eines Versuches:

Versuch Nr. 1.

	Stunde.	Minute.	Tag.	Monat und Jahr.	Nahrung und Getränke des Versuchs-Objectes und sonstige Bemerkungen.
Anfang des Versuches	Vorm. 10	—	14	März 1861	Controlversuch mit einer Stearinkerze. Nach der Elementaranalyse enthielt das Stearin 76,6 Procent Kohlenstoff. Beim Versuch verbrannten 103,725 Grm. Stearin, = 79,3 „ Kohlenst. = 290,7 „ Kohlens.
Ende „ „	Abends. 7	42	14	„ „	
Stand der Gasuhr zu Ende				552369	
„ „ „ „ Anfang				545750	
			Engl. Kubikfusse.		Kohlensäure in der durchgeströmten Luft 270,8 Gr.
Durchgeströmte Luftmenge . .			6619		Rückständige Kohlensäure in der Kammer . 18,2 „
Correktion für Temperatur . .			96,6		Gesamtmenge der gefundenen Kohlensäure . 289,0 „
„ „ Wasserdunst . .			25,6		Darin enthaltener Kohlenstoff 78,8 „
Gesamtmenge			6741,2		
In Litern ausgedrückt			190878,7		

Gehalt des Barytwassers in den langen Röhren vor dem Versuche 30,3

„ „ „ „ „ kurzen „ „ „ „ 30,3

Untersuchung
der einströmenden Luft. der abströmenden Luft.

Untersuchte Luftmenge 47,3 Liter.					Untersuchte Luftmenge 49,7 Liter.				
Barytwasser.	Inhalt in Cub.Cnt.	Gehalt nach dem Ver- suche *).	Kohlen- säure in Milligr.	Kohlensäure in 1000 Li- tern in Grammen.	Barytwasser.	Inhalt in Cub.Cnt.	Gehalt nach d. Versuche	Kohlen- säure in Milligr.	Kohlensäure in 1000 Li- tern in Grammen.
Lange Röhre	90	20,8	28,5	0,6342	Lange Röhre	135	9,5	93,6	2,0523
		20,8					9,5		
Kurze Röhre	90	29,8	1,5	0,6342	Kurze Röhre	90	27,5	8,4	2,0523
		29,8	30,0				27,5	102,0	

Kohlensäuredifferenz in 1000 Litern der ein- und abströmenden Luft 1,4181 Gramme.

„ „ 1000 „ „ rückständigen Luft in der
Kammer 1,5133 „

Thermometer an den Gasuhren nach Celsius.

Zeit der Beobachtung.	Kleine Gasuhren		Grosse Gasuhr	
	a.	b.	trockenes Th.	feuchtes Th.
12 Uhr	14,8	14,6	10,6	10,4
2 „	15,4	15,2	11,2	10,7
4 „	15,4	15,2	11,3	10,5
6 „	15,4	15,4	11,4	10,5
7 „ 40 Minut.	14,8	14,8	11,1	10,5
Mittel	15,16	15,02	11,1	10,5

*) Unter Gehalt des Barytwassers versteht man immer die Anzahl von Cubik-

Ich will hier noch eine Anzahl von Controlversuchen folgen lassen, welche in fortlaufender Reihe mit denselben Kerzen gemacht worden sind, um zu zeigen, wie weit die Sicherheit des Apparates durchschnittlich geht. Statt in allen Einzelheiten, wie beim Versuche 1, theile ich die Uebrigen gleich im Resultate mit, indem ich noch bemerke, dass jede vorgekommene Rechnung controlirt worden ist.

2. Der Versuch dauerte 7 Stunden 34 Minuten. Es verbrannte 81,6 Grammen Stearin = 229,1 Grm. Kohlensäure. Durch den Apparat gingen

154251 Liter Luft mit	210,3	„	„
In der Kammer blieben zurück	12000	„	„
	17,7	„	„
Gesammtmenge der gefundenen Kohlensäure	228,0	„	„

3. Der Versuch dauerte 10 Stunden. Es brannten gleichzeitig 2 Kerzen. Es verbrannten 210,2 Grm. Stearin = 590,3 Grm. Kohlensäure. Durch den Apparat gingen 330945 Liter Luft mit 569,0

In der Kammer blieben zurück	12000	„	„
	21,4	„	„
Gesammtmenge der gefundenen Kohlensäure	590,4	„	„

4. Der Versuch dauerte 10 Stunden. Es verbrannte 102,8 Grm. Stearin = 288,7 Grm. Kohlensäure.

Durch den Apparat gingen	187210 Liter Luft mit	267,7	„	„
In der Kammer blieben zurück	12000	„	„	„
	18,3	„	„	„
Gesammtmenge der gefundenen Kohlensäure	286,0	„	„	„

Centimetern Normalsäure, d. i. von Milligrammen Kohlensäure, welche 30 Cubik-Centimeter Barytwasser zur Sättigung erfordern.

5. Der Versuch dauerte 10 Stunden. Es brannten gleichzeitig 2 Kerzen. Es verbrannten 215,9 Grm. Stearin = 606,4 Grm. Kohlensäure. Durch den Apparat gingen 185049 Liter Luft mit 567,3 „ „ In der Kammer blieben zurück 12000 „ „ „ 39,3 „ „ Gesamtmenge der gefundenen Kohlensäure 606,6 „ „

Stellt man diese 5 Versuche, welche in fortlaufender Reihe gemacht worden sind, zusammen, und vergleicht die Mengen Kohlensäure, welche aus dem verbrannten Stearin berechnet, und durch den Versuch wirklich gefunden worden sind, so wird sich daraus die durchschnittliche Genauigkeit der ganzen Methode ergeben.

	Berechnet.	Gefunden.
I.	290,7	289,0
II.	229,1	228,0
III.	590,3	590,4
IV.	288,7	286,0
V.	606,4	606,6
Summa	2005,4	2000,0

Die berechneten Mengen verhalten sich durchschnittlich zu den gefundenen wie 100 : 99,7. Der grösste Fehler, der sich zeigt (Versuch IV) beträgt nicht einmal ein ganzes Procent, während die durchschnittliche Genauigkeit sich zu $\frac{3}{10}$ Procent ergibt. Auf eine grössere durchschnittliche Genauigkeit können nur wenige Methoden der analytischen Chemie Anspruch machen, und es kann dieser Respirationsapparat, obwohl er die Form einer kleinen menschlichen Wohnung hat, und zu seinem Betriebe eine Dampfmaschine braucht, doch mit vollem Rechte darauf Anspruch machen, unter die Reihe der exakten wissenschaftlichen Messapparate eingereiht zu werden. Bei den Versuchen an Menschen und Thieren, zu denen der Apparat seither schon vielfach benützt wor-

den ist, sind Fälle vorgekommen, die Controlversuchen ähnlich sind, man hat z. B. in der Nahrung eine gewisse Menge Stärke durch ihr Aequivalent Zucker ersetzt, wodurch die Kohlenstoffmenge der Nahrung unverändert blieb, was auch mit der ausgeathmeten Kohlensäure der Fall sein musste.

An einem Menschen wurde z. B. zweimal die Ausscheidung von Kohlensäure im Hunger untersucht. Jedem Versuche gingen die gleichen Umstände, gleiche Ernährung, gleiches Körpergewicht, gleiches Befinden vorher; es war also mit Sicherheit auch eine gleiche Menge Kohlenstoff in den Ausscheidungen durch Haut und Lungen zu erwarten. Jeder Versuch dauerte 24 Stunden. Das Befinden im Apparat, der Schlaf während der Nacht war beidemal sehr gut. Der einzige Unterschied zwischen den beiden Versuchen war die Temperatur der Luft, die um mehr als 9° differirte.

Beim ersten Versuche gingen durch den Apparat 516239 Liter Luft bei 25° C. mit 647,5 Grm. Kohlensäure.

In der Kammer waren in den rückständigen 12000 Litern Luft noch enthalten	15,4	„	„
Gesamtmenge der gefundenen Kohlensäure	662,9	„	„

Beim zweiten Versuche gingen durch den Apparat 496588 Liter Luft bei $16,4^{\circ}$ C. mit 647,5 Grm. Kohlensäure.

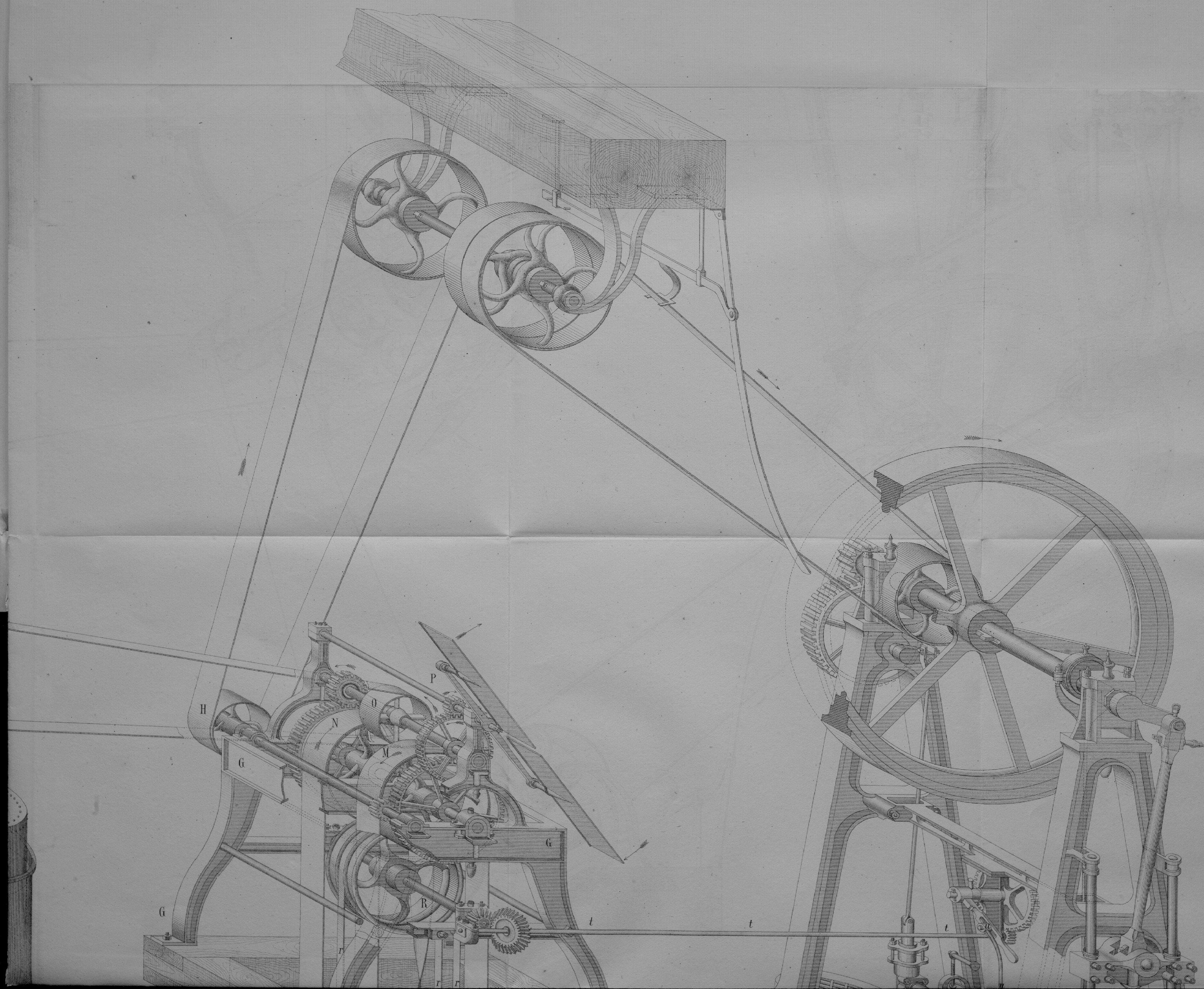
In der Kammer waren in den rückständigen 12000 Litern Luft noch enthalten	16,0	„	„
Gesamtmenge der gefundenen Kohlensäure	663,5	„	„

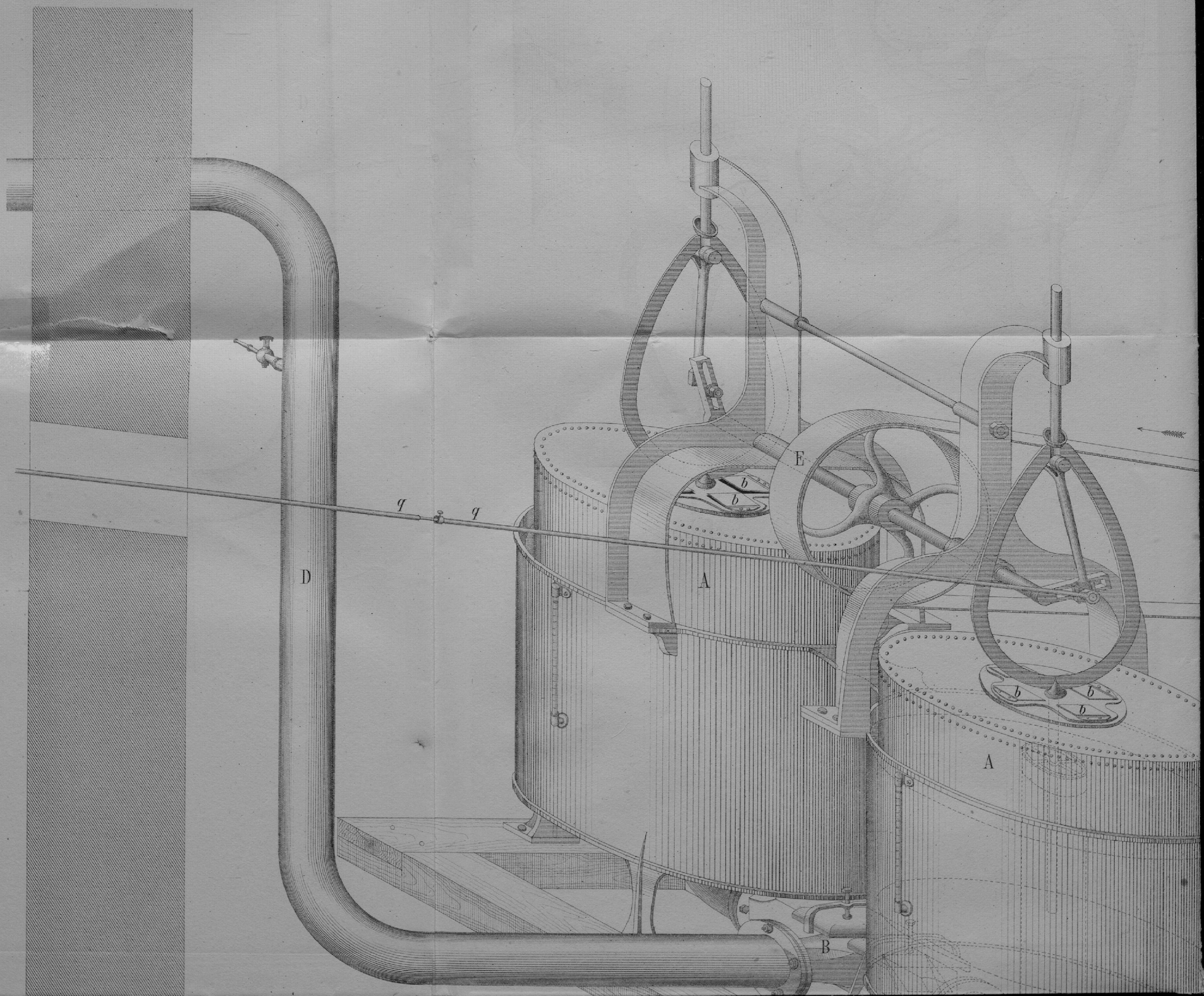
Beim ersten Versuche war die Temperaturdifferenz zwischen der grossen Gasuhr und den kleinen 2° C., beim zweiten nur $0,2^{\circ}$ C., das erste Mal war mehr, das zweite Mal weniger Luft durchgegangen, was

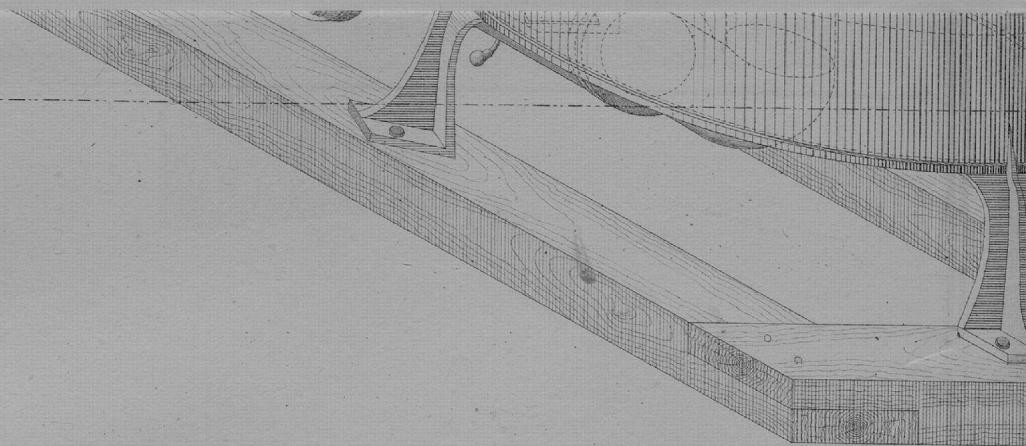
von Schwankungen in der Reibung des Bewegungsapparates abhängt, in Folge davon die Saugcylinder einmal unmerklich schneller oder langsamer gehen, — die Differenz im Kohlensäuregehalte der ein- und abströmenden Luft war beide Mal eine ganz andere, — aber trotzdem ergab sich das Endresultat, die in 24 Stunden ausgeschiedene Menge Kohlensäure für beide Versuche gleich.

Hiemit dürfte die Frage über die Genauigkeit und Brauchbarkeit des Apparates erledigt sein, der in kleinerem Maassstabe, für kleinere Thiere, selbst für Pflanzen ausgeführt, eben so sichere Resultate geben wird, wie im Grossen. Die Dimensionen können aber auch noch grösser, als im gegenwärtigen Falle genommen werden, ohne die *Genauigkeit* zu beeinträchtigen, wenn nur die Differenz im Kohlensäuregehalte der ein- und abströmenden Luft nicht gar zu klein wird.

Der hier angewendete Apparat zur Bestimmung der Kohlensäure der Luft eignet sich vor allen bisher angewendeten auch ganz vorzüglich zur Bestimmung dieses Gases und seiner Schwankungen in der freien atmosphärischen Luft. Ich habe gefunden, dass eine Luft nie ganz kohlenstofffrei wird, wenn man sie mit geringer Geschwindigkeit und während längerer Zeitdauer durch ein System von Absorptionsröhren saugt, in welchen auch nur die geringste Gelegenheit zur Diffusion gegeben ist, oder nur eine Spur von Undichtigkeit vorhanden ist; dass aber beide Fehlerquellen verschwinden, sobald man anstatt wie bisher mit Aspiratoren zu *saugen*, mit einer Quecksilberpumpe die Luft *durchdrückt*. Dieser kleine Umstand ist für die exakte Bestimmung sehr kleiner Mengen Kohlensäure von grosser Wichtigkeit. Auf dem von mir eingeschlagenen Wege gelingt es leicht, die Kohlensäure vollständig aus einer atmosphärischen Luft zu entfernen. Als Beweis sei hier am Schlusse noch ein Versuch erwähnt, der lediglich zur Entscheidung dieser Frage angestellt worden ist:







Zoll 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

1

2

3

4

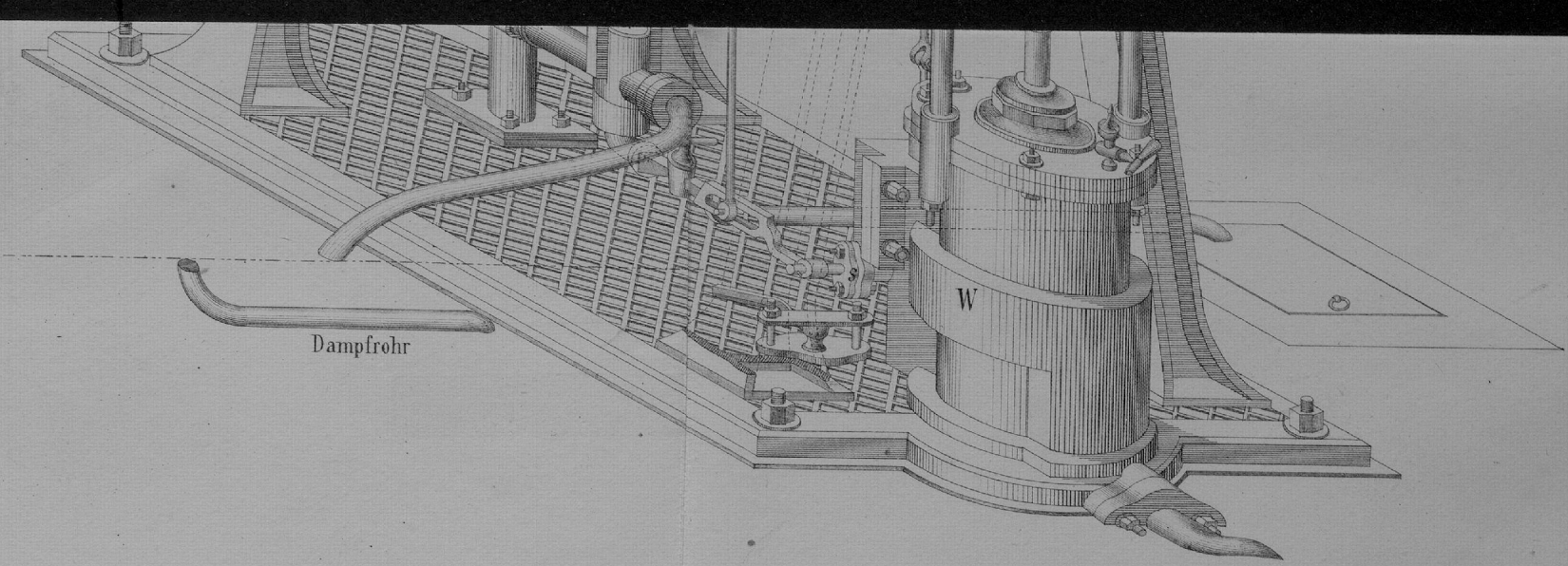
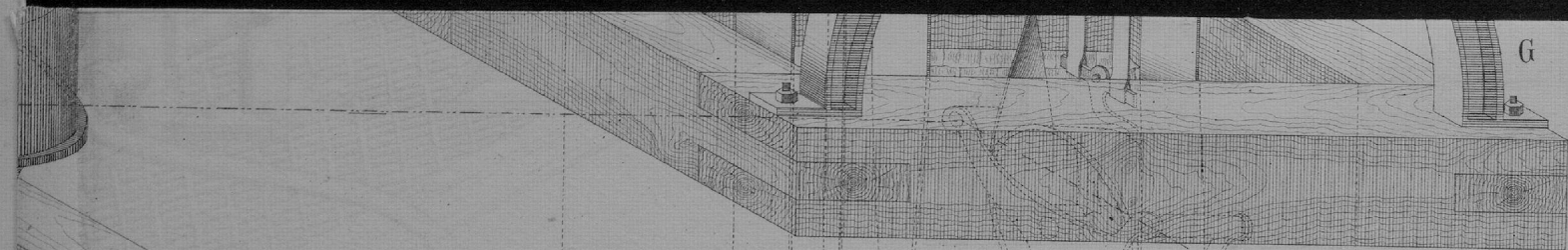
5

6

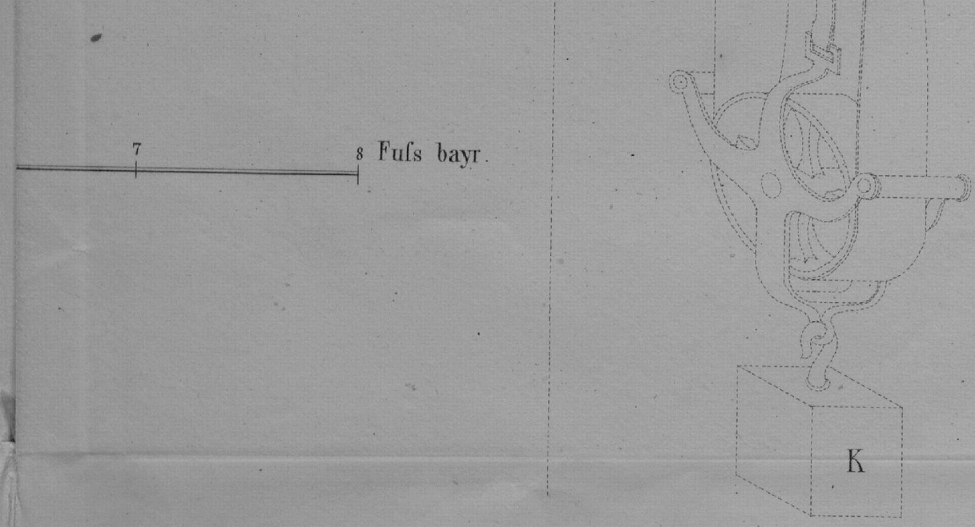
Maafsstab: $\frac{1}{10}$

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 1

2 Metres



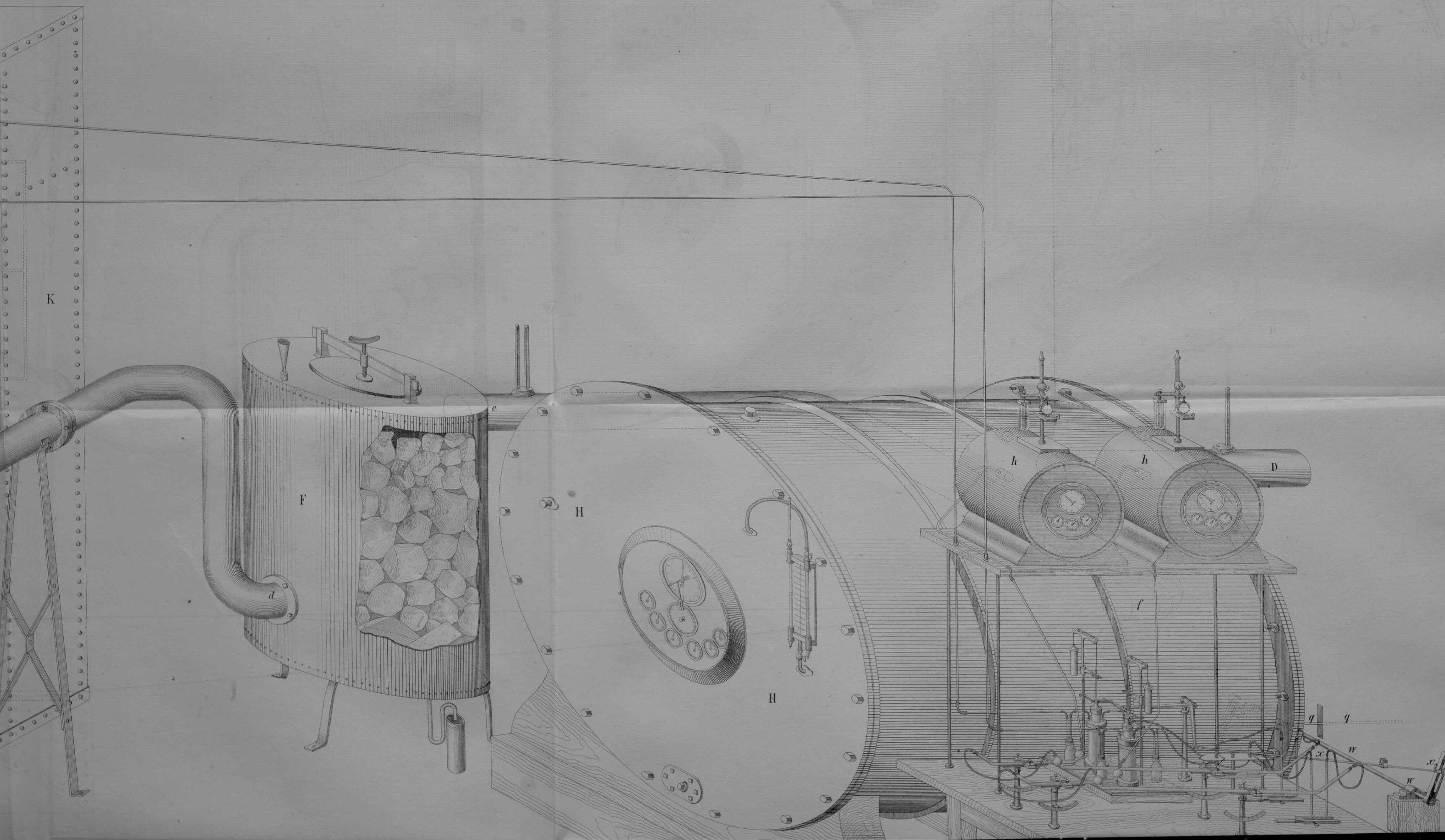
Aufg. v. F. Seidel.



7 8 Fufs bayr.

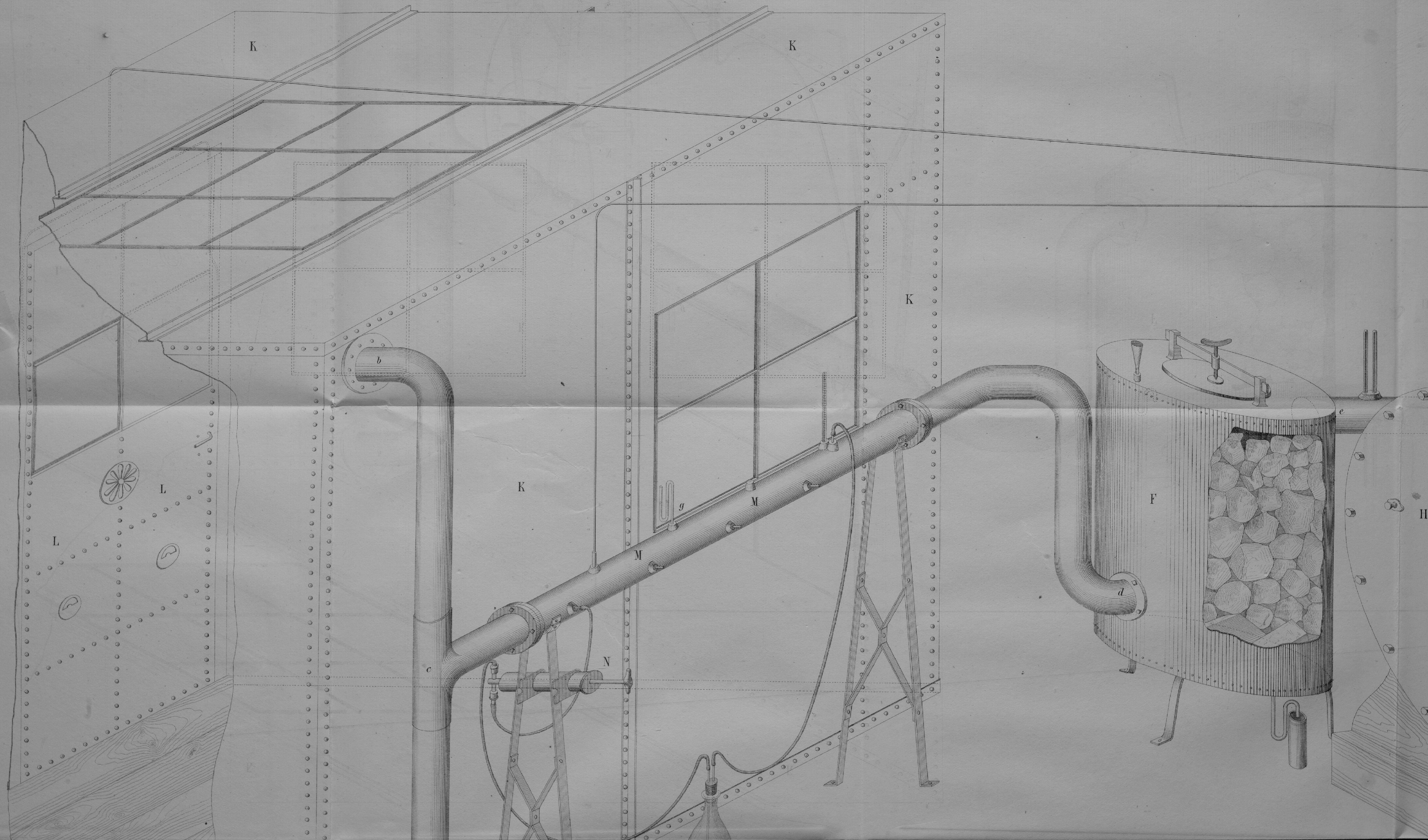
Über einen neuen Respirations-Apparat von Dr. Max Pettenkofer.

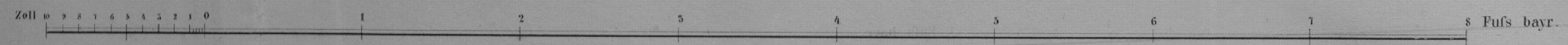
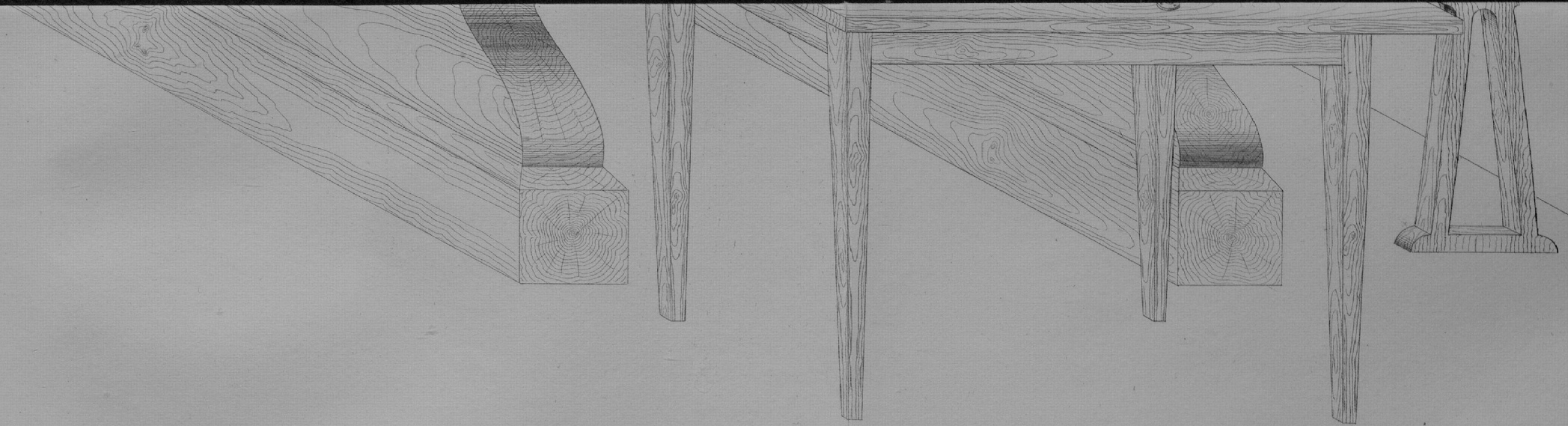
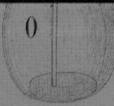
Abhandlungen der k. b. Akademie der Wissenschaften II. Cl. IX. Bd. II. Abtheil.



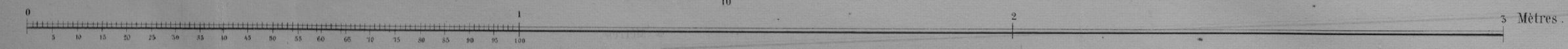
Über einen neuen Respirations-Apparat von Dr Max Pettenkofer .

Abhandlungen der k. b. Akademie der Wissenschaften II. Cl. K. Bd. II. Abtheil.

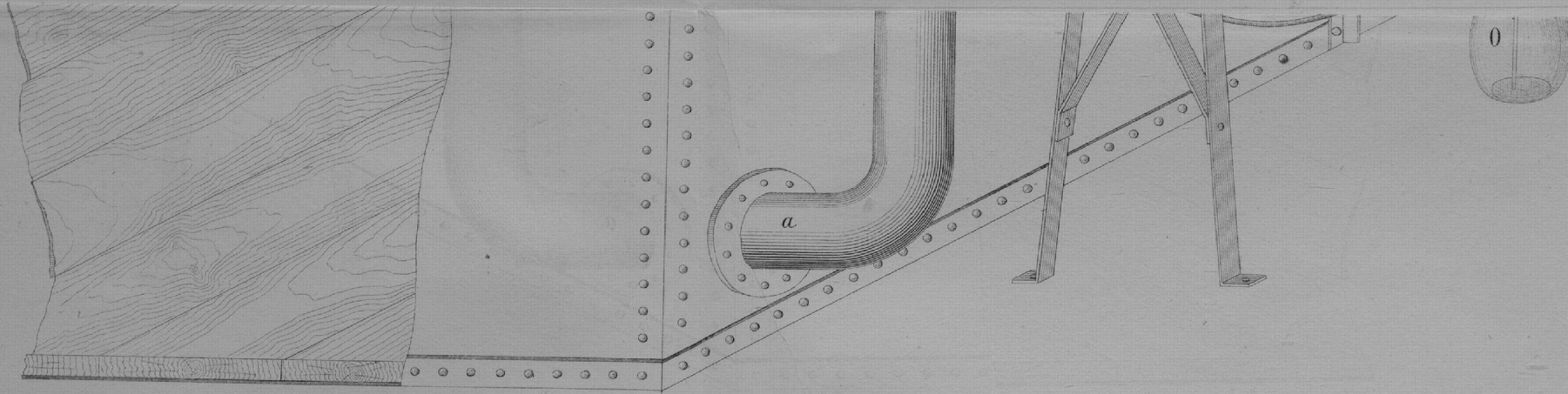




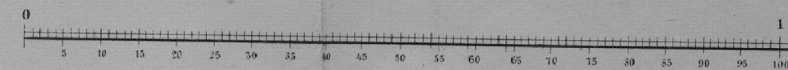
Maafsstab : $\frac{1}{10}$



Lith. Anstalt v. Dr. C. Wolf u. Sohn.



Zoll 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

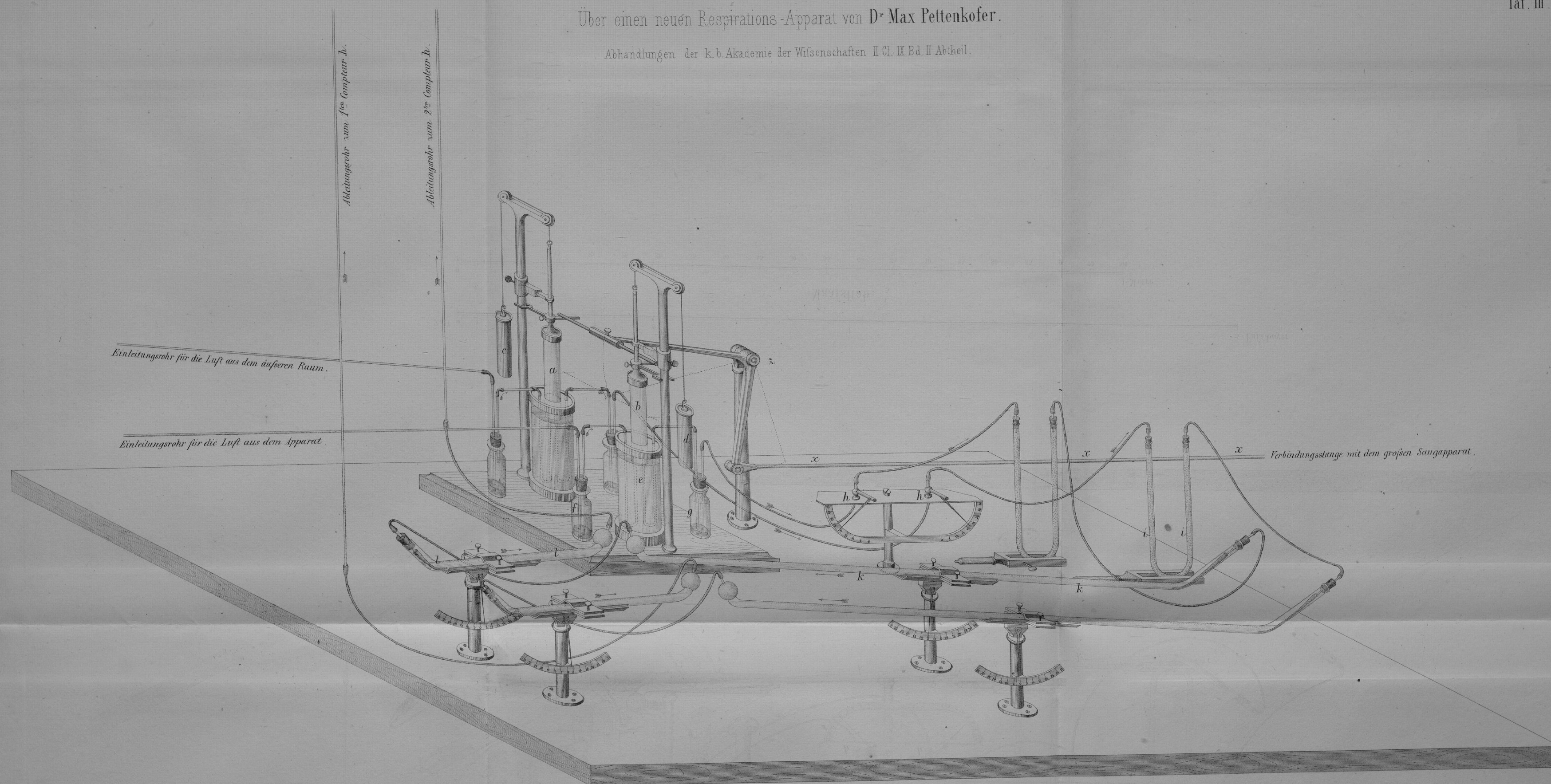


Maafsstab : $\frac{1}{10}$

Lith. Anstalt v. Dr. C. Wolf u. Sohn.

Über einen neuen Respirations-Apparat von Dr. Max Pettenkofer.

Abhandlungen der k. b. Akademie der Wissenschaften II Cl. IX Bd. II Abtheil.



Lith. Anst. v. Dr. C. Wolf u. Sohn.

Während 7 Stunden 42 Minuten wurden von einer Quecksilberpumpe 38,3 Liter atmosphärische Luft durch 3 aufeinanderfolgende mit Barytwasser gefüllte Röhren gedrückt. In jeder Röhre befanden sich 90 Cubikcentimeter Barytwasser. Dieses hatte vor dem Versuche einen Gehalt von 30,4. Nach dem Versuch war der Gehalt desselben

in der ersten Röhre 23,6

„ „ zweiten „ 30,2

„ „ dritten „ 30,4.

Jede Gehaltsbestimmung wurde 2 mal mit genau übereinstimmendem Resultate gemacht. Man ersieht daraus, dass in der dritten Röhre wirklich keine Kohlensäure mehr anlangte.