

## II.

# Neue Versuche über die Absorption von Wärme durch Wasserdampf.

Von W. C. Röntgen.

(Hierzu Taf. I und II.)

§ 1. Die Frage, ob Wasserdampf die Fähigkeit besitzt, Wärme in höherem Maße zu absorbiren als etwa die Gase Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff, ist öfters Gegenstand von mitunter sehr sorgfältigen und langwierigen Untersuchungen gewesen. Sucht man nach einer Erklärung dafür, daß speciell auf die Untersuchung des Wasserdampfes so viel Zeit und Mühe verwendet worden ist, so findet man eine solche erstens in der Bedeutung, welche jene Frage für die Beurtheilung von meteorologischen Verhältnissen besitzt und zweitens in der auf den ersten Blick vielleicht etwas auffälligen, nach Berücksichtigung der vielen und eigenthümlichen experimentellen Schwierigkeiten, die zu überwinden waren, jedoch begreiflichen Thatsache, daß zwei der hervorragendsten Experimentatoren der Neuzeit zu gerade entgegengesetzten Resultaten gelangten und sich trotz ihrer durch Jahre hindurch fortgesetzten Untersuchungen nicht einigen konnten.

Es ist genugsam bekannt, wie Tyndall immer aufs neue die Existenz einer Absorption von Wärme durch Wasserdampf nachzuweisen suchte, und wie Magnus dieselbe auf Grund seiner Versuche hartnäckig bestritt, indem er die Ansicht aussprach, daß die Ursache der von Tyndall beob-

achteten und dem Einfluß des Wasserdampfes zugeschriebenen Absorption lediglich in Fehlerquellen zu suchen sei, deren Vorhandensein bei den Tyndall'schen Versuchen auch nicht bestritten werden konnte.

Die Folge dieser Meinungsverschiedenheit ist, daß viele Physiker noch jetzt die Frage als eine offene betrachten und der Meinung sind, es sei nicht möglich, eine sichere Entscheidung über dieselbe durch Versuche, die nach der Tyndall-Magnus'schen Methode angestellt werden, herbeizuführen. In wie weit diese Ansicht gerechtfertigt ist, und ob es nicht schon durch eine kritische Untersuchung der bisher angestellten Versuche gelingen würde, zu einem definitiven Resultat zu kommen, will ich nicht beurtheilen. Anstatt dessen erlaube ich mir im Folgenden einige eigene, nach einer neuen und von der früheren durchaus verschiedenen Methode angestellte Beobachtungen mitzuthemen, die vielleicht geeignet sein dürften, um jeden Zweifel an der Thatsache, daß der Wasserdampf ein relativ beträchtliches Absorptionsvermögen für ultraroth Strahlen besitzt, endgültig zu beseitigen.

---

§ 2. Die erste schriftliche Mittheilung über die Methode ist in einer von mir am 8. December 1880 bei der Oberh. Ges. für Natur- u. Heilkunde eingereichten Notiz enthalten. (Abgedruckt in Wied. Ann. Bnd. 12, S. 155.) Ich schrieb damals, daß die Methode von mir seit einigen Jahren benutzt wurde, um in den Vorlesungen über Experimentalphysik den Studierenden in einfacher Weise die Verschiedenheit des Absorptionsvermögens verschiedener Gase vor Augen zu führen, und daß dieselbe mich veranlaßt habe, um Versuche über die durch intermittirende Bestrahlung eines Gases entstehenden Töne anzustellen. Die am Schluß der Notiz ausgesprochene Hoffnung, daß es mir mit Hülfe dieser Töne gelingen möchte, über die GröÙe der in Wasserdampf stattfindenden Absorption Aufschluß zu erhalten, hat sich nicht verwirklicht; denn ich fand bald nachher, daß dieses Verfahren nicht im Stande ist, um ganz einwurfsfreie und zuverlässige Resultate zu

liefern. Dagegen ergab sich auch, daß die ursprüngliche, zunächst lediglich zu Demonstrationsversuchen von mir benutzte Methode nur genügend ausgebildet zu werden brauchte, um als exacte Untersuchungsmethode dienen zu können.

Ueber einige in dieser Richtung angestellte Vorversuche . berichtete ich in einem am 16. Februar 1881 vor der Oberh. Gesellschaft gehaltenen Vortrag; ein einigermaßen ausführliches Referat über diesen Vortrag findet man in Band XX der Berichte dieser Gesellschaft und ein kürzeres in Band 5, S. 282 der Beiblätter. Diese Versuche erstreckten sich auf die Gase Luft, Wasserstoff, Wasserdampf, Kohlensäure, Kohlenoxyd, Ammoniak, Leuchtgas, Ozon etc., welche in verschiedenen Apparaten der Bestrahlung durch verschiedene Strahlenquellen ausgesetzt wurden.

Am 19. Februar 1881 erhielt ich von Herrn Tyndall einen Abzug von einer in den Proc. of the Roy. Soc. Bnd. 31, p. 307 abgedruckten, kurzen Mittheilung zugeschiedt, aus welcher ich zum ersten Male erfuhr, daß auch Herr Tyndall, unabhängig von mir, in derselben Richtung mit Benutzung derselben Methode arbeitete und im Wesentlichen zu denselben Resultaten gekommen war, wie ich. Zufälligerweise wurde an demselben Tag (8. Dec. 1880), an welchem ich meine erste Notiz bei der Oberh. Ges. einreichte, auch von Herrn Tyndall über seine Versuche der Soc. of telegr. Engineers Bericht erstattet. Am 23. Januar 1882 erhielt die Roy. Soc. das Manuscript eines am 24. November 1881 von Herrn Tyndall gehaltenen Vortrages, betitelt „Action of free Molecules on Radiant Heat, and its Conversion thereby into Sound“ (abgedruckt in den Phil. Trans. of the Roy. Soc. Part. I, 1882), in welchem derselbe die Absorption von Strahlen durch Gase allgemein und seine neueren Versuche darüber specieller behandelt. Es ist aus dieser Abhandlung zu entnehmen, daß die beiden Wege, welche Herr Tyndall und ich betraten, zwar anfänglich zusammen liefen, später aber doch auseinander gegangen sind. Während nämlich Herr Tyndall, wie mir scheint, mehr Gewicht gelegt hat auf die Zahl der untersuchten Gase (im Ganzen ungefähr 75), hielt ich es für an-

gezeigt, nur wenig Gase, speciell Luft, Wasserstoff, Kohlensäure und namentlich Wasserdampf, diese aber mit möglichster Sorgfalt zu untersuchen.

Nachdem ich die nöthigen Apparate, welche sich meiner Ansicht nach zu einer definitiven Untersuchung eignen dürften, construirt und ausgesucht hatte, handelte es sich zunächst darum, zu prüfen, in wie weit dieselben sich als zuverlässig und brauchbar erwiesen. Diese Arbeit habe ich zum Theil Herrn Heine übertragen, indem ich ihn veranlafte, Absorptionsversuche nach der neuen Methode mit Kohlensäure, also mit einem Gas, dessen Absorptionsvermögen bis jetzt nicht bestritten worden ist, anzustellen. Das Resultat dieser Untersuchung, welche als Vorarbeit zu meinen Untersuchungen und als integrierender Theil derselben betrachtet werden muß, wurde am 22. October 1881 der philosophischen Facultät der hiesigen Hochschule als Inaugural-Dissertation vorgelegt (abgedruckt in Wied. Ann. Bd. 16, S. 141).

Seit dieser Zeit war ich, soweit meine auch durch andere Arbeiten in Anspruch genommene Zeit es erlaubte, unablässig bemüht, die Methode zu vervollkommen, und stellte erst, nachdem ich mich durch viele Vorversuche, über welche im Folgenden gar nicht berichtet werden soll, mit der Methode ganz vertraut gemacht hatte, die definitiven Versuche an, welche ungefähr  $\frac{3}{4}$  Jahre in Anspruch nahmen.

---

§ 3. Der Gedanke, welcher der Methode zu Grunde liegt, ist ein ungemein einfacher; so einfach, daß ich es anfänglich für unwahrscheinlich hielt, daß derselbe nicht schon früher von einem der vielen Physiker, die sich mit der Absorption von Wärme durch Gase beschäftigten, ausgesprochen und, wäre es auch nur zur Controle ihrer Versuche, verwerthet sein sollte; ich habe aber darüber Nichts in der älteren Literatur (vor 1880) finden können. Dieser Grundgedanke ist der folgende :

Setzt man ein Gas, welches in einem Gefäße enthalten ist, dessen Wände für Strahlen mehr oder weniger durch-

lässig sind, einer von außen kommenden Bestrahlung aus, so wird im Allgemeinen die Temperatur des Gases in Folge der Bestrahlung erhöht; von anderen Veränderungen, die die Bestrahlung in Gase erzeugen könnte, wollen wir im Folgenden absehen. Das Gas erhält Wärme auf zwei verschiedenen Wegen; erstens auf einem indirecten Wege, nämlich von den sich durch Absorption allmählich erwärmenden Gefäßwänden und zweitens durch directe eigene Absorption von Strahlen, die, nachdem sie durch die Gefäßwand hindurchgegangen sind, in das Gas eindringen. Die Temperaturzunahme, welche das Gas in Folge der zuerst genannten Wärmemittheilung in einer gewissen Zeit erleidet, ist unter sonst gleichen Umständen nicht oder fast gar nicht von der Natur des Gases abhängig; dagegen ist die durch directe Absorption erzeugte Temperaturerhöhung selbstverständlich verschieden, je nachdem das Gas Wärme absorbirt oder nicht. Würde man also in einem speciellen Fall zwei Gase, von denen das eine sicher keine merklichen Wärmemengen absorbirt, nach einander in demselben Gefäß derselben Bestrahlung aussetzen und finden, daß die Temperatur des zweiten Gases nach einer gewissen Zeit mehr gestiegen ist, als die des ersteren, so darf man daraus schließen, daß das zweite Gas Wärme absorbirt hat. Die Bestimmung der Temperaturänderungen wird man am Besten durch Beobachtung des Druckes des eingeschlossenen Gases vornehmen; beobachtet man also, daß der Druck des zweiten Gases nach Verlauf einer gewissen Zeit seit Anfang der Bestrahlung mehr gestiegen ist, als es bei einem vorhergehenden Versuch mit dem ersten Gas der Fall war, so ist dadurch nachgewiesen, daß das zweite Gas Strahlen von der Wärmequelle direct absorbirt hat.

Außer diesem für die im Gas stattgefundene Absorption charakteristischen Merkmal, giebt es noch ein zweites, zu dessen Beobachtung nicht zwei Versuche mit verschiedenen Gasen erforderlich sind, sondern schon ein Versuch mit dem betreffenden Gas genügt. Vor der Bestrahlung mögen das Gefäß und das eingeschlossene



Gas die gleiche Temperatur haben; wenn dann die Bestrahlung anfängt, so wird das Temperaturgleichgewicht gestört und zwar in verschiedener Weise, je nachdem das Gas ein absorbirendes ist oder nicht. Im ersten Fall wird bei passender Einrichtung der Apparate die Temperatur des Gases während der Bestrahlung immer höher sein als die des Gefäßes und erst nach Unterbrechung der Bestrahlung stellt sich die Temperaturgleichheit wieder her; im zweiten Fall dagegen ist die Temperatur der mit dem Gas in Berührung stehenden Gefäßwände in jedem Augenblick, so lange die Bestrahlung dauert, zwar etwas, aber, eine richtige Construction der Apparate vorausgesetzt, nur sehr wenig höher als die Temperatur des Gases. Besäße man somit ein Mittel um im speciellen Fall zu erfahren, ob die Temperatur des Gases während der Bestrahlung höher ist als die des Gefäßes, oder nicht, so könnte man mit Hülfe desselben die Frage, ob das betreffende Gas Strahlen absorbirt oder nicht, beantworten. Nun giebt es in der That ein derartiges Mittel und zwar wiederum ein sehr einfaches: man beobachte, wie sich der Druck des Gases ändert, nachdem die Bestrahlung plötzlich unterbrochen wurde. Enthält das Gefäß ein absorbirendes Gas, so wird der Druck rasch abnehmen und auf einen einer gemeinschaftlichen mittleren Temperatur des Gefäßes und des Gases entsprechenden Werth herabsinken; absorbirt dagegen das Gas keine Strahlen, so muß der Druck sich nach Unterbrechung der Bestrahlung kaum und nur sehr langsam ändern, da zu keiner Zeit eine merkliche Differenz zwischen der mittleren Temperatur des Gefäßes und der des Gases vorhanden ist. Aehnliche Beobachtungen über den Verlauf des Druckes nach plötzlichem Anfang der Bestrahlung führen zu demselben Resultat.

Es ist folglich sowohl die Messung der Gröfse der durch Bestrahlung im Gas erzeugten Druckänderungen, als auch die Beobachtung des Verlaufes dieser Druckänderungen zu Anfang und nach Schluß der Bestrahlung geeignet, um das Verhalten eines Gases in Bezug auf Absorption zu prüfen.

Wiewohl das mitgetheilte Princip der Methode in der

That sehr einfach ist, so ergeben sich doch bei der Ausführung desselben, sobald es sich um exacte Versuche handelt, eine Reihe von praktischen Schwierigkeiten, und es war ein recht langer, mitunter mühsamer Weg zurückzulegen, bis ich mit Bestimmtheit sagen konnte, daß dem Wasserdampf ein merkliches Absorptionsvermögen zukommt.

---

§ 4. Bevor ich zu der detaillirten Beschreibung der benutzten Apparate übergehe, möchte ich kurz die wichtigsten Gesichtspunkte, welche bei ihrer Construction maßgebend waren, besprechen.

Bei der Construction des Apparates, in welchem das zu untersuchende Gas eingeschlossen und der Bestrahlung ausgesetzt werden soll, des Absorptionsapparates, war zunächst darauf Bedacht zu nehmen, daß der Theil von Wärme, welcher dem Gase durch Berührung mit den sich erwärmenden Gefäßwänden zugeführt wird, möglichst gering sei im Vergleich zu demjenigen, welcher von dem Gas eventuell absorbirt wird; denn würde die erstere Wärmemenge stark überwiegen, so würden namentlich bei schwach absorbirenden Gasen allerhand Fehlerquellen, so z. B. geringe Aenderungen in der Stärke der Bestrahlung von einem Versuch zum anderen, sich so bemerkbar machen, daß es schwer wäre, mit Sicherheit anzugeben, ob die beobachtete Verschiedenheit der in zwei verschiedenen Gasen erzeugten Druckänderungen auf Rechnung irgend einer derartigen Fehlerquelle oder einer Absorption gebracht werden müßte.

Im vorliegenden Fall liefse sich dieß entweder dadurch erreichen, daß man den Absorptionsapparat ganz und gar aus einer möglichst diathermanen Substanz herstellte, — denn alsdann würden möglichst viel Strahlen zu dem Gas gelangen, ohne daß eine bedeutende Erwärmung der Wände stattfände — oder dadurch, daß man den Apparat auf derjenigen Seite, welche der Strahlenquelle zugewendet ist, mit einer diathermanen Platte verschließt und den übrigen Theil aus einem Material verfertigt, welches zwar vollständig ather-

man ist, dafür aber durch sorgfältiges Poliren ein großes Reflexionsvermögen erhalten hat, und dessen specifische Wärme, thermisches Leitungsvermögen und Masse beträchtlich ist.

Ich habe mich nun für das zweite Mittel entschieden, weil dasselbe sich besser ausführen läßt und überhaupt praktischer sein dürfte, als das erstere. Der am häufigsten benutzte Absorptionsapparat besteht demnach aus einer recht dickwandigen, innen hoch polirten und vergoldeten Messingröhre, die auf der einen Seite durch eine Steinsalzplatte und auf der anderen Seite durch eine polirte und vergoldete Messingplatte luftdicht verschlossen ist. Die Strahlen gelangen durch die Steinsalzplatte zum Gase, und werden im Inneren der Röhre öfters von den Wänden reflectirt; dadurch wird erreicht, daß die Röhre sich möglichst wenig erwärmt und daß das Gas möglichst viel von den einfallenden Strahlen absorbiren kann.

Der Absorptionsapparat steht durch eine enge Glasröhre mit dem Manometer in Verbindung. Dasselbe besteht aus einer sogenannten Marey'schen Trommel, einer mit einer dünnen Kautschukmembran überzogenen Metallkapsel, deren Hohlraum durch die soeben erwähnte Glasröhre mit dem Inhalt des Absorptionsapparates communicirt. Dieselbe hat sich sehr gut bewährt und ich darf wohl behaupten, daß das Gelingen meiner Arbeit wesentlich durch die Wahl dieses Manometers bedingt gewesen ist. Ein gewöhnliches, mit irgend einer Flüssigkeit gefülltes Manometer wäre gar nicht zu gebrauchen gewesen; dasselbe ist, wenn es sich um eine rasche Messung von Druckänderungen bis auf Bruchtheile eines Millimeters handelt, zu unempfindlich und zu ungenau. Außerdem kommt noch in Betracht, daß nicht nur die Größe, sondern auch der Verlauf der durch Bestrahlung im Gas erzeugten Druckänderungen bestimmt werden mußte; und dazu eignet sich die Marey'sche Trommel ganz vorzüglich, wenn man die durch die Druckänderungen hervorgerufenen Bewegungen der Membran auf einen Hebel überträgt, der diese Bewegungen auf einen rotirenden, mit berufstem Glanzpapier überzogenen Cylinder aufschreibt.



Würde ich ein Flüssigkeitsmanometer angewendet haben, so wäre diese Beobachtung in einigen Fällen geradezu unmöglich gewesen. Vielleicht wird man fragen, weshalb ich die bei einer anderen Gelegenheit von mir eingeführte Methode der Messung von Druckänderungen eines Gases mittelst Spiegelablesung nicht angewendet habe; was Empfindlichkeit und Sicherheit anbetrifft, steht dieselbe über der soeben beschriebenen Methode, allein es wäre mir auch damit nicht immer möglich gewesen den sehr raschen Verlauf der Druckänderungen genügend genau zu beobachten. Schliesslich ist noch ein nicht geringer Vorzug der graphischen Methode hervorzuheben; dieselbe liefert in sehr übersichtlicher Weise die Versuchsergebnisse in der Gestalt von gut aufzubewahrenden Curven, die sehr leicht zu jeder Zeit gemessen und wieder gemessen werden können.

Ein Bedenken könnte man allerdings gegen die Anwendung jener Methode geltend machen; es fragt sich nämlich, ob die Angaben über Druckänderungen, welche man mittelst einer sich mehr oder weniger ausbauchenden Kautschukmembran und einer ziemlich bedeutenden Hebelübertragung erhält, in der That zuverlässig und präzise genug sind. Ich habe anfänglich in dieser Beziehung nicht geringe Besorgnisse gehabt und habe gerade deshalb Hrn. Heine veranlasst, bei seinen Versuchen besonderes Gewicht auf diese Frage zu legen. Die Heine'sche Arbeit und nicht weniger meine eigenen Erfahrungen haben aber gezeigt, dass das Verfahren bei richtiger Behandlung des Apparates und bei vorsichtigem Experimentiren ein durchaus sicheres ist. In der langen Zeit, während welcher ich mit dem Apparat arbeite, hat das Manometer immer richtig und ohne jemals zweifelhafte Angaben zu liefern functionirt; häufig zwischen den Absorptionsversuchen ausgeführte Calibrirungen der Trommel d. h. Messungen des Verhältnisses der Erhebung der Hebelspitze zu der durch ein Wassermanometer direct gemessenen Druckerhöhung ergaben, dass eine merkliche Aenderung in der Beschaffenheit der Membran auch nach längerer Zeit nicht

eintrat. Die Membran wurde deshalb nur etwa von Jahr zu Jahr durch eine neue ersetzt.

Bei sehr heftigen Stürmen werden die raschen Schwankungen des Barometerstandes auch in einem Arbeitsraum, dessen Fenster und Thüren verschlossen sind, durch kleine auf- und niedergehende Bewegungen des Hebels bemerkbar, wenn der Inhalt der Trommel durch Schließsen der betreffenden Hähne von der äußeren Atmosphäre abgesperrt ist. Da nun letzteres während der Bestrahlung des Gases selbstverständlich der Fall sein muß, so können derartige Schwankungen störend wirken und es empfiehlt sich dann, mit den Versuchen zu warten, bis besseres Wetter eingetreten ist. Ich habe es vorgezogen diese kleine Unbequemlichkeit beizubehalten, anstatt dieselbe durch eine nicht schwer anzubringende, aber beim Gebrauch immerhin etwas umständliche Vorrichtung zu beseitigen.

Abgesehen aber von diesen bei Sturm vorkommenden plötzlichen Aenderungen des Barometerstandes ändert sich der Druck der Atmosphäre, wenn auch langsam, so doch fast fortwährend; ebenso ändert sich die Temperatur der Luft, welche den Absorptionsapparat umgibt und somit auch die Temperatur des Apparates selbst von einem Augenblick zum anderen. Es könnten auch dadurch Fehlerquellen entstehen, die, wenn man sie nicht berücksichtigte, zu falschen Schlüssen Veranlassung geben könnten. Es giebt aber, wie wir später sehen werden, ein einfaches Mittel, um diese störenden Einflüsse in Rechnung zu ziehen und die Versuchsergebnisse von ihnen zu befreien.

Die Magnus-Tyndall'schen Untersuchungen haben, abgesehen von der Bedeutung ihrer positiven Resultate, auch deshalb großen Werth, weil die Physiker durch dieselben auf verschiedene Fehlerquellen aufmerksam gemacht worden sind, die selbstverständlich bei einer abermaligen experimentellen Behandlung des Gegenstandes vor allen Dingen berücksichtigt und wenn möglich vermieden werden müssen. Ich glaube, daß die Physiker, wenigstens diejenigen, welche die Magnus-Tyndall'schen Arbeiten gelesen haben und

dadurch mit den Schwierigkeiten der Versuche über Absorption von Wärme durch Gase bekannt geworden sind, kaum bei irgend einer Untersuchung oder auch nur beim Lesen einer darüber erschienenen Abhandlung so kritisch gestimmt werden, wie wenn dieselbe sich auf die Absorption von Wärme durch Wasserdampf bezieht. Wenn ich somit im Folgenden aus der Beobachtung, daß die Bestrahlung von feuchter Luft eine gröfsere Druckerhöhung zur Folge hat als die von trockener Luft, den Schluß ziehe, daß erstere ein gröfseres Absorptionsvermögen besitzt als letztere, so ist es mehr als in einem anderen Fall geboten, daß ich in möglichst vollständiger und überzeugender Weise die Berechtigung dazu nachweise. Um diels thun zu können, ist es zunächst erforderlich, daß die Einwände, welche gegen diese Schlusfolgerung erhoben werden könnten, entkräftet werden. Einige dieser Einwände möchte ich schon jetzt besprechen.

Was den von Magnus bei den Tyndall'schen Versuchen als vorhanden nachgewiesenen Einfluß der Vaporhäsion und der hygroskopischen Eigenschaften des Steinsalzes anbetrifft, so muß neben der Versicherung, daß derselbe von mir in vollem Mafse berücksichtigt wurde, hervorgehoben werden, daß sowohl die Vaporhäsion als auch die hygroskopischen Eigenschaften des Steinsalzes die nach der neuen Methode erhaltenen Resultate in anderer Weise und auch in geringerem Mafse beeinflussen können, als diels bei der Tyndall-Magnus'schen Methode der Fall war. Zwischen der älteren und der neuen Methode besteht nämlich ein principieller Unterschied. Die Gröfse des Absorptionsvermögens eines Gases wurde nach der älteren Methode bestimmt aus der *Differenz* der thermoelektrisch gemessenen Wärmemengen, welche durch den zuerst luftleeren oder mit einem kaum merklich absorbirenden Gas gefüllten und darauf durch den mit dem betreffenden Gas gefüllten Apparat *hindurchgingen*. Jeder Verlust auf diesem Wege und namentlich der bei der Untersuchung von feuchter Luft durch die angegebenen Ursachen entstandene, addirt sich zu der eventuell durch Absorption zurückgehaltenen Wärmemenge und die Beobachtung liefert

das gesammte Resultat einer Reihe von unter Umständen nur sehr schwer aus einander zu haltenden Erscheinungen. Die beiden genannten Ursachen wirken in demselben Sinne wie eine Absorption durch das betreffende Gas und können deshalb leicht mit dieser verwechselt werden. Anders liegt die Sache bei den Versuchen nach der neuen Methode, wo für die vom Gas absorbirte Wärmemenge ein *directes* Maß in der von ihr im Gas selbst erzeugten Temperatur- resp. Druckänderung gefunden wird. Die Vaporhäsion an den Wänden und die Feuchtigkeit des Steinsalzes können bewirken, daß *weniger* Strahlen zu der feuchten Luft gelangen und daß dadurch die eventuell durch Absorption erzeugte Druckerhöhung geringer ausfällt, als wenn diese störenden Einflüsse nicht vorhanden gewesen wären. Die beobachtete Druckänderung wäre demnach das Resultat von zwei in entgegengesetztem Sinne wirkenden Ursachen (Absorption und Vaporhäsion) und es kann deshalb eine Verwechselung beider nicht so leicht vorkommen, wie bei den älteren Versuchen. Meines Erachtens liegt hierin ein großer Vorzug der neuen Methode.

Damit soll aber noch durchaus nicht gesagt sein, daß die Vaporhäsion und die Feuchtigkeit des Steinsalzes in keiner Weise die Sicherheit meiner Resultate hätten beeinträchtigen können und daß es unnöthig gewesen wäre, sich durch Versuche der mannigfachsten Art davon zu überzeugen, daß sie in der That auf meine Versuche keinen schädlichen Einfluß ausgeübt haben. Es wäre nämlich noch immer möglich, daß beide Fehlerquellen zu irrigen Schlüssen Veranlassung gegeben hätten, wenn auch in anderer Weise, als soeben besprochen wurde. Es ließe sich z. B. denken :

1<sup>o</sup>. Daß die bei feuchter Luft gefundene größere Druckerhöhung eine Folge wäre von der Erwärmung und von dem dadurch bewirkten Verdunsten von flüssigem Wasser, mit welchem die innere Seite der Steinsalzplatte vielleicht bedeckt ist; oder

2<sup>o</sup>. daß dieselbe herrührte von einer Verdampfung von Wasser, welches an den polirten Gefäßwänden haftet; oder



3<sup>o</sup>. daß die Mittheilung von Wärme von Seiten der sich erwärmenden Wände an das Gas eine andere wäre, wenn sich feuchte Luft im Gefäß befindet, als wenn darin trockene Luft enthalten ist; was daher kommen könnte :

- a. daß die Gefäßwände mit einer dünnen Wasserschicht bedeckt sind, oder
- b. daß die Eigenschaften von feuchter Luft, namentlich die Wärmeleitungsfähigkeit, specifische Wärme und Viscosität andere sind, als die von trockener Luft.

4<sup>o</sup>. Daß die überhaupt vom Absorptionsapparat absorbirte Wärmemenge dadurch vergrößert wäre, daß das Reflexionsvermögen der Wände und die Diathermansie des Steinsalzes in Folge der Vaporhäsion abgenommen hätten.

Bezüglich dieser Einwände möchte ich Folgendes bemerken :

Den unter 1) angegebenen Einfluß der Condensation von Wasserdampf auf der Steinsalzplatte habe ich dadurch genau untersucht, daß ich Absorptionsversuche mit trockener und feuchter Luft, sowie mit trockenem und feuchtem Wasserstoff bei gewöhnlicher Zimmertemperatur anstellte, bei welchen der Absorptionsapparat verschlossen war : 1) durch eine polirte Steinsalzplatte, oder 2) durch eine von einer trockenen Wasserstoffatmosphäre umgebene polirte Steinsalzplatte, oder 3) durch eine auf der inneren Seite mit Schellack gefirnißte, polirte Steinsalzplatte, oder 4) durch eine dünne Birminghamglasplatte; außerdem wurden Versuche mit trockener und mit bei 0<sup>o</sup> gesättigter Luft in einem mit polirtem Steinsalz oder mit Glas verschlossenen, auf ungefähr 182<sup>o</sup> erwärmten Absorptionsapparat ausgeführt. Dabei hat sich ergeben, daß eine Verdampfung nicht nachweisbar ist, wenn die bei meinen Versuchen angewendeten Sättigungsgrade nicht überschritten werden.

Die unter 2) angegebene Möglichkeit ist dadurch ausgeschlossen, daß die bei 182<sup>o</sup> angestellten Versuche im wesentlichen dasselbe Resultat ergaben, wie die bei gewöhnlicher Temperatur. Wollte man die sehr unwahrscheinliche Annahme machen, daß die Vaporhäsion in feuchter, bei 0<sup>o</sup> ge-



sättigter Luft, trotz der bedeutenden Temperaturerhöhung des ganzen Apparates auf  $182^{\circ}$ , noch merklich vorhanden wäre, so könnte man consequenterweise nicht zugeben, daß durch die jedenfalls geringe Temperaturerhöhung, welche die eng an die gut leitenden Messingwände anliegende Wasserschicht durch Absorption erfährt, soviel Wasser zum Verdampfen gebracht würde, daß der Druck dadurch in solchem Maße stiege, wie es wirklich der Fall ist; die eine Annahme schließt die andere einfach aus.

Auch muß erwähnt werden, daß die Thatsache, daß feuchte Luft und gleich feuchter Wasserstoff sich in so weit verschieden verhalten, als erstere bei Bestrahlung eine größere Druckerhöhung erfährt als letzterer, nicht gut mit Hülfe von 1) und 2) erklärt werden könnte; während eine von der Existenz einer durch das Gas ausgeübten Absorption ausgehende Erklärung darüber vollständigen Aufschluß giebt. Dieselbe Erscheinung findet man nämlich auch bei Mischungen von Luft und Wasserstoff mit Kohlensäure, und ist dieselbe in der Verschiedenheit der physikalischen Eigenschaften der dem Wasserdampf resp. der Kohlensäure beigemischten Gase, Luft und Wasserstoff, begründet.

Um den Einwand 3a zu entkräften, habe ich Versuche mit Apparaten angestellt, deren innere Wand absichtlich mit Wärme gut absorbirenden Substanzen, wie Schellackfirnis und Lampenruß überzogen war. Auch können die Versuche bei  $182^{\circ}$  zu diesem Zweck herangezogen werden.

Daß die Verschiedenheit der Wärmeleitungsfähigkeit u. s. w. von trockener und feuchter Luft (3b) nicht benutzt werden kann, um das verschiedene Verhalten derselben bei der Bestrahlung zu erklären, wurde, abgesehen davon, daß dieß schon an und für sich unwahrscheinlich wäre, dadurch zur Evidenz gebracht, daß gezeigt wurde, daß zwei so verschiedene Gase, wie trockene Luft und trockener Wasserstoff, die aber beide nicht merklich Wärme absorbiren, sich bei der Bestrahlung auch genau gleich verhalten.

Ebenso hat sich ergeben, daß die vierte Möglichkeit in Wirklichkeit nicht existirt. Man kann sich mit Hülfe der

weiter unten mitzutheilenden Versuchsergebnisse leicht davon überzeugen, daß die durch Bestrahlung erzeugte schließliche Temperaturerhöhung des ganzen Apparates mit Inhalt nicht merklich verschieden ist, wenn feuchte oder wenn trockene Luft sich im Apparat befindet.

Ich möchte noch auf zwei andere Einwände aufmerksam machen.

Wenn das Wasser bei den Versuchen, die bei gewöhnlicher Temperatur angestellt wurden, ganz oder auch nur zum Theil in der Form von kleinen Bläschen oder Tröpfchen vorhanden wäre, so würden diese aus flüssigem Wasser bestehenden Theilchen während der Bestrahlung Wärme absorbiren und somit erwärmt werden. Die Folge davon wäre, daß sowohl eine theilweise Verdampfung als auch eine Mittheilung von Wärme an das beigemischte Gas, folglich eine Druckerhöhung stattfände, die irrthümlicherweise für eine von dem Wasserdampf ausgeübte Absorption gehalten werden könnte. Dazu ist nun zu bemerken, erstens daß solche Bläschen oder Tröpfchen in der bei 0° gesättigten und auf 182° erwärmten Luft wohl kaum vorkommen dürften \*); zweitens daß in einer unten ausführlich mitzutheilenden Weise dafür gesorgt wurde, daß bei den Bestrahlungsversuchen nur Wasserdampf vorhanden sein konnte, und drittens daß trockene Luft, die über Schnee von — 15° geleitet wurde, sich dort sättigte und somit wohl keine Wasserbläschen enthielt, während der Bestrahlung sich im Wesentlichen gerade so verhielt, wie Luft, die ihre Feuchtigkeit einem mit flüssigem Wasser gefüllten Apparat entnommen hatte.

Aehnlich wie Wasserbläschen würden auch Staubtheilchen, die im Gas suspendirt wären, wirken; ich glaube, daß ein nicht absorbirendes Gas, welches viel feine Staubtheilchen enthält, sich während der Bestrahlung so verhält, als wäre demselben ein absorbirendes Gas beigemischt worden.

---

\*) Auch hier könnte man dieselbe Ueberlegung anstellen, wie bei der Besprechung des zweiten Einwandes.

Deshalb habe ich bei den definitiven Versuchen besonders darauf geachtet, daß nur staubfreie Gase verwendet wurden.

Der sechste Einwand, der gemacht werden könnte, wäre der, daß man sagte, der Wasserdampf wäre bei meinen Versuchen nicht rein, sondern mit einem fremden absorbirenden Gas vermischt gewesen. Es ist dieser Einwand keineswegs so unbedeutend, wie er vielleicht auf den ersten Blick zu sein scheint, denn ich habe während meiner Arbeit genügend erfahren, wie schwer es ist, *reine* Gase herzustellen. So hat es mich z. B. sehr viel Mühe und Zeit gekostet, bevor es mir gelang, Wasserstoff zu erhalten, der keine Absorption mehr zeigte. Durch derartige Erfahrungen belehrt, habe ich mit aller Sorgfalt die Herstellung des Wasserdampfes überwacht und mich durch Controlversuche davon überzeugt, daß derselbe wirklich rein war.

Oben wurde mitgetheilt, daß ein nicht absorbirendes und ein absorbirendes Gas, welche im Apparat der Bestrahlung ausgesetzt werden, sich nicht nur durch die Größe, sondern auch durch den Verlauf der Aenderung ihrer Temperatur resp. ihres Druckes so wesentlich von einander unterscheiden können, daß daraus ein Schluß auf das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein von Absorption gezogen werden kann; ich möchte nun darlegen, daß dieser von mir thatsächlich beobachtete Unterschied zwischen dem Verhalten von trockenen und feuchten Gasen durch eine von Wasserdampf ausgeübte Absorption sehr gut, dagegen durch eine der unter 1, 2, 4 und 5 angegebenen Ursachen kaum oder gar nicht erklärt werden kann. Um dies thun zu können, muß ich schon jetzt die betreffenden Versuchsergebnisse zur Sprache bringen. Versuche haben ergeben, daß der Druck von reiner Luft\*) und reinem Wasserstoff während ihrer Bestrahlung in dem mit Steinsalz verschlossenen Apparat nur sehr wenig und regelmäsig, der Dauer der Bestrahlung nahezu proportional

---

\*) Unter „reiner Luft“ oder unter „Luft“ allein verstehe ich im Folgenden immer die bekannte Mischung von Stickstoff und Sauerstoff und zwar befreit von allen anderen Gasen.

wächst; nach Beendigung der Bestrahlung bleibt der Druck während längerer Zeit nahezu unverändert, oder präciser ausgedrückt, nimmt der Druck nur äußerst langsam ab. Es geht dieß unter Anderem aus der in Fig. 4 möglichst genau wiedergegebenen Bestrahlungscurve hervor, welche mit der Marey'schen Trommel bei Bestrahlung von reinem Wasserstoff durch eine Bunsen'sche Flamme erhalten wurde; die untere der beiden Linien kann als Abscissenaxe, deren Abschnitte der Zeit proportional sind, aufgefaßt werden; die obere Linie besteht aus zwei Theilen *ab* und *bc*, von denen der erste während der Bestrahlung, der zweite nach Unterbrechung der Bestrahlung geschrieben wurde; die Stelle *a* entspricht dem Anfang, die Stelle *b* dem Ende der Bestrahlung; man erkennt, daß der Theil *ab* aus einer schwach ansteigenden, von einer Geraden nicht merklich verschiedenen Linie, der Theil *bc* aus einer der Abscissenaxe parallelen Geraden besteht. Da nun die Ordinaten den durch Bestrahlung erzeugten Druckänderungen des Gases proportional sind, so ergibt sich aus der Curve ohne weiteres das vorhin mitgetheilte Resultat.

Man kann dasselbe auch so aussprechen, daß man sagt: die mittlere Temperatur der eingeschlossenen reinen Gase ist in jedem Augenblick sowohl während als nach der Bestrahlung nicht merklich von der mittleren Temperatur des Absorptionsapparates verschieden; und dieses Resultat ist vollständig im Einklang mit der bekannten Thatsache, daß beide Gase nur äußerst wenig Wärme absorbiren.

Anders liegt die Sache, wenn Bestrahlungsversuche mit feuchter Luft oder feuchtem Wasserstoff, oder auch mit einer Mischung von Luft resp. Wasserstoff und Kohlensäure angestellt werden. In diesem Fall wächst der Druck durchaus nicht mehr proportional der Bestrahlungszeit, derselbe steigt vielmehr in den ersten Augenblicken nach Anfang der Bestrahlung verhältnißmäßig rasch und später nur noch langsam; ebenso sinkt der Druck sofort nach Beendigung der Bestrahlung sehr rapide auf denjenigen Druck herab, welcher auch erreicht worden wäre, wenn reine Luft oder



reiner Wasserstoff sich im Apparat befunden hätten. In Fig. 10 ist die Bestrahlungscurve, welche durch Bestrahlung von feuchter Luft mit einer Bunsen'schen Flamme erhalten wurde, wiedergegeben; dieselbe besteht nicht mehr aus einer geknickten geraden Linie, sondern aus zwei Stücken *ab* und *bc*, die an ihrem Anfang stark gekrümmt sind und erst in ihrem weiteren Verlauf allmählich in eine nahezu gerade Linie übergehen. Auch hier entspricht die Stelle *a* dem Augenblick des Anfanges, die Stelle *b* dem Augenblick des Endes der Bestrahlung.

Es ist nun auch jetzt wiederum nicht schwer, einzusehen, daß der Verlauf des Druckes ein derartiger sein muß, sobald man nur von der Annahme ausgeht, daß der Wasserdampf, welcher der Luft beigemischt ist, Wärme absorbiert. Durch die Wärme, welche die Gasmischung absorbiert, wird sich die Temperatur des Gases nach Anfang der Bestrahlung rasch über die Temperatur des Gefäßes erheben; die Folge davon ist, daß das Gas Wärme an die Hülle abgibt und durch die Steinsalzplatte ausstrahlt. Da aber die Zufuhr von Wärme bei fortgesetzter Bestrahlung constant bleibt, die Abgabe dagegen fortwährend mit zunehmender Temperatur des Gases zunimmt, so wird sehr bald ein Gleichgewichtszustand eintreten, wo die vom Gas absorbierte Wärmemenge der von demselben an das Gefäß abgegebenen und ausgestrahlten Wärmemenge gleich geworden ist. Von diesem Augenblick an bleibt während der Bestrahlung die Differenz zwischen den Temperaturen der Hülle und des Gases constant und die Temperatur des Gases steigt nur noch sehr langsam in gleichem Schritt mit der des Gefäßes. Wenn dann die Bestrahlung unterbrochen und dadurch die Wärmezufuhr plötzlich abgeschnitten wird, so gleicht sich jene Temperaturdifferenz sehr bald aus und es wird nach kurzer Zeit eine gemeinschaftliche mittlere Temperatur erreicht sein, die nur äußerst wenig, bei meinen Versuchen nicht merklich verschieden ist von der Temperatur, welche Gefäß und Gas haben würden, wenn das Gas keine Wärme absorbiert hätte.



Dieser Temperaturverlauf entspricht aber genau den aus der Fig. 10 sich ergebenden Druckänderungen.

Wollte man nun annehmen, daß die durch Bestrahlung resp. durch Unterbrechung der Bestrahlung in feuchter Luft hervorgebrachten Druckänderungen ihren Grund hätten in der Anwesenheit von flüssigem Wasser, welches möglicherweise die Steinsalzplatte und die Röhrenwand bedeckt, oder in dem Gas suspendirt ist, so könnte man allenfalls eine wenn auch nicht gerade sehr wahrscheinliche Erklärung für das rasche Ansteigen des Druckes nach Anfang der Bestrahlung darin finden, daß man sagte, ein Theil des Wassers verdunste sehr rasch in Folge der Bestrahlung; man müßte dann aber auch annehmen, daß dieser Verdunstungsproceß den Druck des Gases in genau derselben Weise verändere, wie die Absorption von Wärme den Druck von kohlenensäurehaltiger Luft thatsächlich ändert; denn es unterscheiden sich die Bestrahlungscurven der beiden Gasmischungen in keiner Weise von einander. Vollkommen unverständlich aber wäre es meines Erachtens, weshalb der Druck nach Unterbrechung der Bestrahlung ebenso rasch abnimmt, wie er vorher zunahm; denn zur Condensation derselben Wasserdampfmenge, die vorher gebildet wäre und sich allmählich gleichmäßig durch die ganze Gasmasse vertheilt haben müßte, würde doch wohl eine längere Zeit erforderlich sein, als thatsächlich die Druckabnahme dauert.

Würde somit nicht durch die auf S. 61 u. ff. kurz mitgetheilten Versuche und Betrachtungen schon hinlänglich der Nachweis geliefert sein, daß die unter 1, 2, 4 und 5 angeführten Einwände gegen die Versuchsmethode hinfällig sind, so würde dieß schon allein aus einer Beobachtung der Form der Druckcurven hervorgehen.

Es ist vielleicht nicht überflüssig, wenn ich noch besonders hervorhebe, daß die geschilderten Temperaturverhältnisse, welche in absorbirenden und in nicht absorbirenden Gasen durch Bestrahlung erzeugt werden, zum Theil sehr wesentlich bedingt sind durch die Construction des Apparates. Namentlich sind es die Diathermansie des Steinsalzes,

das gute Wärmeleitungsvermögen, die hohe spezifische Wärme, das beträchtliche Reflexionsvermögen und die im Vergleich zur Masse des eingeschlossenen Gases bedeutende Masse des Absorptionsapparates, sowie endlich der Umstand, daß das Verhältniß der Oberfläche der inneren Gefäßwände zu dem Volumen des Gases klein ist, welche in leicht verständlicher Weise zusammenwirken, um jene Verhältnisse zu Stand zu bringen. Der Apparat erhielt dann auch erst nach reiflicher Ueberlegung und nach vielen Vorversuchen mit anders gestalteten Apparaten seine jetzige Form und Einrichtung.

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen gehe ich zu der detaillirten Beschreibung der Apparate und der Versuche über.

---

§ 5. Der eine und zwar der bei den definitiven Versuchen am häufigsten gebrauchte Absorptionsapparat ist folgendermaßen eingerichtet. (Vgl. Fig. 1 und 2.) A ist eine 7 cm lange, 3 cm weite Röhre aus fehlerfreiem Messing; die Wandstärke beträgt überall 0,6 cm mit Ausnahme von den Stellen, wo sich die beiden ringförmigen Wülste befinden, in welchen die beiden Hahnstücke B und C eingelöthet sind. Das Ausdrehen und Poliren der Röhre geschah erst, nachdem die erwähnten Hahnstücke eingesetzt waren und es wurde sorgfältig darauf geachtet, daß nirgendwo kleine, von dem Loth nicht ausgefüllte Löcher vorhanden waren; diese würden leicht Schlupfwinkel für Gase oder andere Körper bilden, welche den Inhalt der Röhre bei den Bestrahlungsversuchen hätten verunreinigen können. Nach dem Poliren wurde die Röhre inwendig galvanisch vergoldet und darauf frisch polirt. Auf der einen Seite ist die Röhre durch eine 0,6 cm dicke, gut polirte Steinsalzplatte D und auf der anderen durch eine polirte und vergoldete Messingplatte E luftdicht verschlossen. Anfänglich glaubte ich einen luftdichten Verschluss dadurch erreichen zu können, daß die Platten mittelst zweier Ueberfangsschrauben F und G gegen die gut abgeschliffenen und eingefetteten Ränder der Röhre gedrückt

wurden. Dieser Verschluss erwies sich aber bald als unsicher und war auch deshalb nicht empfehlenswerth, weil schon geringe Mengen von Fett unter Umständen sehr störend wirken können. Es wurden deshalb beide Platten immer warm aufgeklebt.

Die Art und Weise, wie dies geschah, und namentlich die Behandlung der Steinsalzplatte möchte ich etwas ausführlich mittheilen. Soll der Apparat zusammengesetzt werden, so wird derselbe, nachdem alle Stäubchen im Innern möglichst gut entfernt sind, am besten in dem aufsteigenden, warmen Luftstrom eines brennenden Zimmerofens so weit angewärmt, daß der aus einer Mischung von Wachs, Colophonium und altem Kautschuk bestehende, auf die Ränder der Röhre aufgetragene Kitt gut flüssig geworden ist. Die Messingplatte und die natürlich vorher polirte Steinsalzplatte werden ebenfalls über dem Ofen angewärmt, wobei die Vorsicht zu gebrauchen ist, daß die Steinsalzplatte nicht ohne eine Unterlage von mehrfach zusammengefaltetem, vorher gut getrocknetem Fließpapier auf dem über dem Ofen befindlichen Drahtgitter zu liegen kommt; sonst springt die Platte sehr leicht, und ist das Papier nicht sehr trocken, so condensirt sich die aus demselben entweichende Feuchtigkeit auf der Steinsalzplatte und verursacht, daß letztere matt wird. Ist nun alles warm genug, so nimmt man mit einer Korkzange die Röhre und die Messingplatte vom Ofen weg und setzt erstere auf die horizontal gelegte Platte in richtiger Stellung auf. Dann wird auch die Steinsalzplatte mit ihrer Papierunterlage vom Ofen entfernt und nachdem man sie mit zwei Fingern gefaßt hat, rasch auf die noch nicht geschlossene obere Seite der Röhre gelegt; mit einem warmen Wattebausch drückt man dann die Platte gut auf. Die Kittmenge, die zur Verwendung kommt, muß möglichst gering sein; Luftbläschen dürfen natürlich nicht zwischen der Platte und dem Röhrenrand vorhanden sein, aber es darf auch beim Aufdrücken der Platte keine nennenswerthe Kittmenge in die Röhre hineingepreßt werden. Nach einigen, vielleicht mißglückten Versuchen bekommt man die nöthige Fertigkeit und

bringt dann eine saubere Kittung leicht zu Stande. Ich habe im letzten Jahr immer dieselbe Steinsalzplatte gebraucht; trotzdem dieselbe öfters abgenommen und wieder aufgekittet wurde, ist sie noch eben so fehlerfrei wie zu Anfang. Die Politur der Platte hält sich namentlich im Winter sehr lange; allerdings waren die von mir untersuchten Gase bei den definitiven Versuchen nie so feucht, daß ich jemals eine Condensation von Wasserdampf auf der Platte und ein dadurch erzeugtes Mattwerden derselben nach dem Trocknen beobachtet hätte. Soll der Apparat zu irgend einem Zweck auseinander genommen werden, so erwärmt man ihn wieder am besten über einem Ofen so weit, daß der Kitt weich wird und nimmt dann die Steinsalzplatte mit den Fingern vorsichtig ab. Die warme Platte läßt man langsam auf einem Stück getrockneten Papier abkühlen und giebt Acht, daß dieselbe nicht in Berührung kommt mit einem kalten, guten Wärmeleiter. Um sie von dem anhängenden Kitt zu befreien, legt man sie nach dem Erkalten in absoluten Alkohol und wischt den Kitt mit alter Leinwand ab. Nach dem Trocknen hat ihre Politur nur wenig gelitten, und es genügt, daß man dieselbe mittelst etwas Zinnasche auf einer mit alter Leinwand überzogenen Glasplatte aufpolirt; dabei ist zu beachten, daß die kalte Steinsalzplatte nicht mit den bloßen, sondern immer mit mit Kautschuk überzogenen Fingern angefaßt werden darf; sonst condensirt sich leicht Feuchtigkeit auf derselben und die Platte wird nachher matt.

Auf der Seite, wo sich die Steinsalzplatte befindet, trägt die Röhre in 0,5 cm Entfernung von der Platte einen kreisrunden polirten Messingschirm H von 16 cm Durchmesser; derselbe kann bequem auf- und abgeschraubt werden; zwischen ihm und der Steinsalzplatte kann die Luft frei circuliren, damit keine Wärme durch Leitung von der vor dem Schirm aufgestellten Quelle in den Apparat gelange. Der Zweck dieses Schirmes ist, Strahlen, welche von der Wärmequelle kommen und von außen auf die Röhre fallen und diese unnöthigerweise erwärmen würden, zurückzuhalten; durch eine centrale kreisförmige Oeffnung im Schirm



gelangen die Strahlen, welche in das in der Röhre enthaltene Gas eindringen sollen, zum Apparat, sobald diese Oeffnung durch Zurückschlagen des Schiebers J frei gemacht wird.

Die Durchbohrung des Ansatzröhrchens B und des zugehörigen Hahnes ist so eng wie möglich; dagegen muß die Durchbohrung von C etwas weiter sein, weil dieselbe die Verbindung des Absorptionsapparates mit dem Manometer darstellt, und die Bewegung des Gases in den Verbindungsstücken nicht zu sehr gehemmt werden darf, wenn die im Apparat stattfindenden Druckänderungen vom Manometer richtig wiedergegeben werden sollen. Das Drehen der Hähne geschieht nicht direct mit der Hand, sondern, um eine durch Berührung mit der Hand entstehende Temperaturerhöhung des Apparates zu vermeiden, mittelst eines ziemlich langen Schlüssels.

Zum Dichten der Hähne, sowie von allen anderen Schliffen bediene ich mich eines Schmiermittels, welches sich in jeder Hinsicht ganz vorzüglich bewährt hat und geradezu unentbehrlich geworden ist. In der oben citirten Abhandlung des Hrn. Heine ist mitgetheilt, daß das fast allgemein für Hähne und Schliffe gebrauchte, aus Wachs und Knochenöl zusammengesetzte Fett zu den Versuchen über Absorption von Wärme durch Gase nicht verwendet werden kann, weil auch die kleinste Menge desselben Dämpfe entwickelt, die wahrscheinlich aus dem Knochenöl stammen und so stark absorbiren, daß die Absorption von trockener, aber nicht von Kohlensäure befreiter atmosphärischer Luft nach einem dreizehnstündigen Verweilen im Apparat in Folge jener Dämpfe um nicht weniger als 23 Proc. zugenommen hatte. Reines Schweineschmalz erwies sich als brauchbarer, indessen fand ich, daß auch dieses bei längerem Stehen des Apparates merkliche Mengen von absorbirenden Dämpfen erzeugte. Da mir selbstverständlich sehr viel daran gelegen war, um bei einer so subtilen Untersuchung, wie die vorliegende, von dieser lästigen, schwer controlirbaren Fehlerquelle frei zu werden, suchte ich nach einem besseren Schmier-



mittel; nach längerer Zeit und vielem Probiren kam ich auf den Gedanken, möglichst reines Wachs mit reinstem Vaseline zusammen zu schmelzen. Dieses in jeder gewünschten Consistenz leicht herstellbare Hahnfett entspricht nun in der That allen Anforderungen. Die so störende Bildung von absorbirenden Dämpfen scheint gar nicht vorhanden zu sein, denn selbst nach tagelangem Stehen des Apparates mit verschlossenen Hähnen zeigte sich der aus reiner Luft oder aus reinem Wasserstoff bestehende Inhalt in Bezug auf Absorption als vollständig unverändert. Auch ist eine Verharzung des Fettes, sowie eine Oxydation der damit eingeriebenen Metalltheile nicht möglich; Glashähne, die vor länger als 2 Jahren mit diesem Schmiermittel eingefettet wurden, sind heute noch ebenso leicht beweglich und absolut dicht wie damals\*). Ich habe geglaubt, in Anbetracht der praktischen Bedeutung dieser scheinbar geringfügigen Sache etwas länger bei derselben verweilen zu dürfen und fahre nun mit der Beschreibung des Apparates fort.

Das Ansatzstück C ist mittelst zweier Flantschen und einer Ueberfangschraube in leicht ersichtlicher Weise mit einer dickwandigen, ungefähr 0,2 cm weiten Glasröhre K, die bei K rechtwinkelig nach rückwärts umgebogen ist, verbunden; die Dichtung geschieht durch eine dünne, mit Wachs und Vaseline eingefettete Lederscheibe. Diese Röhre führt zunächst zu einem angeschmolzenen Dreiweghahn und von diesem zu zwei Schenkeln, von denen der eine, horizontal verlaufende, mit der Marey'schen Trommel, der andere, vertical abwärts gerichtete durch einen Kautschukschlauch mit einer kleinen, mit Glycerin gefüllten Waschflasche in Verbindung steht. Je nach der Stellung des Dreiweghahns kann also der Inhalt des Absorptionsapparates mit der Marey'schen Trommel oder mit dem durch die Waschflasche in

---

\*) Ich meine mich zu erinnern, daß das Wachs-Vaseline-Fett auch von anderer Seite, allerdings erst nachdem ich dasselbe schon einige Zeit angewendet hatte, empfohlen worden ist; ich habe aber vergessen, wo die betreffende Notiz steht.

die Atmosphäre führenden Weg verbunden werden. Bei der Wahl der Dimensionen der Glasröhre waren folgende Ueberlegungen maßgebend : die Weite der Röhre darf einerseits nicht zu gering genommen werden, weil sonst die mitunter rasch verlaufenden Druckänderungen im Absorptionsapparat nicht ungehindert zum Manometer fortgepflanzt werden können, andererseits soll dieselbe nicht so weit sein, daß sie eine beträchtliche, der Bestrahlung nicht ausgesetzte und deshalb gewissermaßen als todte Masse wirkende Gasmenge enthält. Die Länge der Röhre muß so groß sein, daß das darin enthaltene Gas den Inhalt des Apparates von der mit Zimmerluft gefüllten Marey'schen Trommel so gut isolirt, daß sowohl durch Diffusion als durch die vorkommenden Druckschwankungen eine Verunreinigung des im Absorptionsapparat eingeschlossenen Gases mit Zimmerluft nicht stattfinden kann. Diesen Anforderungen glaube ich gerecht geworden zu sein, indem ich der Röhre eine Weite von ungefähr 0,2 cm und eine Gesamtlänge, gerechnet von C bis zur Trommel, von 33 cm gegeben habe.

Die Verbindung der Glasröhre mit der Marey'schen Trommel ist durch ein Stück einer dickwandigen Kautschukröhre hergestellt. Eine Verunreinigung des in den Absorptionsapparat einzuführenden Gases kann durch diese, sowie durch die am verticalen Schenkel der Glasröhre befestigte Kautschukröhre nicht stattfinden, da, wie unten ausführlich mitgeteilt werden soll, das Gas immer bei B in A eintrat und folglich erst nach dem Durchstreichen durch A mit jenen entfernt liegenden Kautschukröhren in Berührung kam.

Eine Beschreibung der Marey'schen Trommel, sowie des damit verbundenen Knoll'schen Pantographen halte ich mit Rücksicht auf die darüber in der citirten Heine'schen Abhandlung, sowie auch an anderen Orten gemachten Mittheilungen für überflüssig; ich möchte aber erwähnen, daß eine oftmals wiederholte Calibrirung der Trommelmembran ergab, daß eine Erhebung der Hebelspitze von 1,0 cm einer Druckerhöhung von ungefähr 1,5 cm Wasser entspricht; je nach der Spannung der Membran findet man das eine Mal etwas

mehr, das andere Mal etwas weniger, aber immer sehr wenig von dem angegebenen Verhältniß abweichende Werthe. Von Interesse ist noch die Angabe der Erhebung der Spitze, welche einer Temperaturzunahme von einem Grad des im Absorptionsapparat eingeschlossenen Gases entspricht. Dieser Werth läßt sich nicht aus dem oben gefundenen Verhältniß der Erhebung der Spitze zur stattfindenden Druckerhöhung mit Hülfe des Gay-Lussac'schen Gesetzes berechnen; denn man müßte dazu voraussetzen, daß das Volumen des Gases sich durch die Erwärmung nicht vergrößere, was thatsächlich nicht der Fall ist, da gleichzeitig mit der Druckerhöhung eine Ausbauchung der Membran, folglich eine Volumenvermehrung verbunden ist. Auf directem Wege, durch Erwärmung des Absorptionsapparates in einem Wasserbad von ungefähr 25° fand ich, daß eine Temperaturerhöhung von einem Grad des Gases im Apparat ein Steigen der Hebelspitze von ungefähr 0,6 cm zur Folge hat. Wenn man beachtet, daß eine Differenz in der Stellung der Hebelspitze, die 0,01 cm beträgt, noch sehr wohl beim Betrachten oder beim Ausmessen der erhaltenen Bestrahlungscurven beobachtet werden kann, so kommt man zu dem Resultat, daß namentlich eine plötzliche Temperaturänderung des eingeschlossenen Gases von 0,02° noch gut zu erkennen ist.

Die Bestrahlung geschah meistens durch die Flamme eines Bunsen'schen Brenners L, die in einer Entfernung von ungefähr 3,5 cm von der Steinsalzplatte brannte. Bei den Vorversuchen hatte sich nämlich ergeben, daß die Strahlen dieser Flamme relativ stark von Wasserdampf und von Kohlensäure absorbirt werden und daß die Strahlung von Versuch zu Versuch sich nicht merklich ändert, wenn dafür gesorgt wird, daß der Druck des Leuchtgases ungefähr gleich bleibt. Außerdem hatte sich aber herausgestellt, daß es durchaus erforderlich ist, die Flamme mit einem inwendig beruften, auswendig durch kaltes Wasser abgekühlten Blechcylinder M zu umgeben. Das Nähere darüber findet man in der Heine'schen Abhandlung und ich will nur erwähnen, daß der 4 cm weite, 25 cm lange Blechcylinder ein Flackern

der Flamme verhütet, daß durch das Beruhen ein constant bleibendes Reflexionsvermögen der inneren Oberfläche erzielt und daß durch das umgebende Wasser eine beträchtliche Erwärmung und eine dadurch erzeugte Strahlung des Cylinders vermieden wird. Selbstverständlich ist der Cylinder auf der dem Absorptionsapparat zugewendeten Seite mit einem passenden Ausschnitt versehen.

Der Brenner ist auf einem Tischchen N fest aufgeschraubt, welches durch Schrauben an dem Holzstativ, das in einer aus der Figur leicht ersichtlichen Weise den Absorptionsapparat trägt, befestigt wird. Dadurch wird erreicht, daß eine Verschiebung der einzelnen Theile des Apparates gegen einander, die eine Aenderung der in den Absorptionsapparat hineingeschichten Strahlenmenge von Versuch zu Versuch zur Folge haben könnte, nicht stattfindet. Die mit der Bunsen'schen Flamme angestellten Bestrahlungsversuche sind deshalb direct unter einander vergleichbar.

Um den Druck des Leuchtgases controliren und reguliren zu können, ging das Gas, bevor es zum Brenner gelangte, durch eine mit einem Wassermanometer versehene Flasche; durch passendes Stellen des Zuflufshahnes der Gasleitung konnte man leicht den gewünschten Druck herstellen.

Vor dem Hahn des Brenners zweigt sich von der Hauptleitung ein enges Röhrchen ab, welches zu der Brennermündung führt (vgl. die Figur); durch dieses Röhrchen wird ein kleines Flämmchen gespeist, das auch bei geschlossenem Brennerhahn weiter brennt, und welches den Brenner augenblicklich anzündet, sobald durch Oeffnen dieses Hahnes das Leuchtgas zugeführt wird. Da der Schieber J bei diesen Versuchen immer zurückgeschlagen blieb, so fing die Bestrahlung des Gases an, resp. hörte dieselbe auf im Augenblick, wo der Brennerhahn geöffnet resp. geschlossen wurde. Es empfiehlt sich dieses einfache Verfahren deshalb, weil dadurch erreicht wird, daß die Bestrahlung plötzlich anfängt resp. aufhört, ohne daß eine beträchtliche Erwärmung des Apparates durch unnöthig langes Brennen der Flamme zu befürchten wäre.



Außer der Bunsen'schen Flamme kamen als Wärmequellen bei den definitiven Versuchen noch eine Knallgaslampe, ein Glaskolben mit siedendem Anilin, ein Glaskolben mit siedendem Wasser und ein Bechergas mit Kältemischung zur Verwendung. Dieselben wurden, nachdem der Bunsen'sche Brenner mit seinem Tischchen entfernt war, so dicht wie möglich vor der Mitte des Absorptionsapparates aufgestellt. Die Entfernung des weißglühenden Kalkcylinders von dem Schirm H betrug immer ungefähr 6 cm, und die circa ein Liter haltenden Glaskolben berührten beinahe diesen Schirm.

Auf eine Constanz der Strahlung von der Knallgaslampe von einem Versuch zum anderen habe ich verzichten müssen; deshalb sind die einzelnen Versuche mit dieser Bestrahlungsart in Bezug auf die Gröfse der erzeugten Erwärmung des eingeschlossenen Gases weniger zu einer Vergleichung unter einander geeignet als die mit der Bunsen'schen Flamme angestellten. Besser vergleichbar sind aber wieder die Versuche mit Bestrahlung durch einen der beiden Glaskolben, da sowohl die Temperatur als auch die Aufstellung derselben bei allen Versuchen nahezu dieselbe war.

In allen Fällen, wo eine der vier zuletzt genannten Wärmequellen vor dem Absorptionsapparat stand, fing die Bestrahlung des Gases im Augenblick an, wo die Oeffnung in H durch rasches Zurückschlagen des Schiebers J frei gemacht wurde; dieselbe hörte auf, wenn der Schieber wieder vorgeschoben wurde.

Ich komme nun zu der Beschreibung der Art und Weise, wie die zu untersuchenden Gase hergestellt und in den Absorptionsapparat geführt wurden. Es handelte sich bei den definitiven Versuchen namentlich darum, die Gase: Luft, Wasserstoff, Mischungen von Luft resp. Wasserstoff mit Wasserdampf und endlich Luft mit ihrem in der Atmosphäre vorkommenden Gehalt an Kohlensäure in reinem Zustand zu erhalten und dieselben, ohne dafs dabei eine Verunreinigung stattfindet, in den Apparat zu bringen.

Die atmosphärische Luft wurde aus dem Freien genommen



und in ein vorher gut gereinigtes kupfernes Gasometer gebracht. Frisches Regenwasser trieb diese Luft aus dem Gasometer in die Reinigungsapparate, welche in der Reihenfolge aufgeführt, in welcher die Luft dieselben durchstrich, folgende waren: eine 15 cm lange mit reiner Baumwolle gefüllte Glasröhre, die den Zweck hatte, Staubtheilchen zurück zu behalten; eine kleine mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Waschflasche, worin die eventuell in der Luft noch vorhandenen Mengen von Ammoniak und Ammoniaksalzen zurück bleiben sollten; ein Geißler'scher Kaliapparat mit concentrirter Kalilösung zur Absorption der Kohlensäure; eine Uförmige Chlorcalciumröhre und eine 60 cm lange, 1 cm weite, mit Phosphorpentoxyd gefüllte Glasröhre zum Trocknen der Luft. Das Phosphorpentoxyd wurde in fünf bis sechs durch Glaswollepfropfen von einander getrennten Abtheilungen in die Röhre gebracht; ich erzielte dadurch, wie mir aus den Versuchen mit Wasserstoff hervorzugehen schien, daß die Gase vollständiger getrocknet wurden. Alle aus Glas bestehenden Theile dieser Apparate, sowie auch die Glaswolle, waren vorher mittelst heißer Salpetersäure, Kalilauge und destillirtem Wasser sorgfältig gereinigt.

Die Verbindung zwischen den einzelnen Apparaten wurde nicht etwa durch Kautschukröhrchen oder Korke hergestellt, da sich im Laufe der Untersuchung gezeigt hatte, daß bei Anwendung derselben die durchstreichenden Gase, insbesondere der Wasserstoff, verunreinigt wurden. Anstatt dessen brachte ich überall Quecksilberverschlüsse an, die sich in der von mir gewählten Form als sehr zweckmässig erwiesen und die auch für andere Untersuchungen, bei welchen auf die Reinheit der Gase Gewicht gelegt werden muß, empfehlenswerth sein dürften. Aus der Beschreibung der in Fig. 3 dargestellten Trockenröhren wird die Einrichtung verständlich werden. Die beiden Schenkel der Chlorcalciumröhre A sind durch je einen eingeschliffenen, mit angefeuchtetem Phosphorpentoxyd gedichteten Glasstöpsel verschlossen; die Glasstöpsel sind hohl und an ungefähr 7 cm lange, enge, gerade aufwärts gerichtete Glasröhrchen angeschmolzen. Ueber je-

des Glasröhrchen ist ein Kork geschoben, der den Boden eines 2 cm weiten und 4 cm hohen Glasgefäßchens bildet, dessen oberer Rand etwas tiefer liegt als das obere Ende der Glasröhrchen. Die gerade Phosphorpentoxydröhre B ist an ihren Enden durch eingeschliffene Glasstöpsel verschlossen; in der Nähe der Enden sind zwei vertical aufwärts gehende, enge, auch 7 cm lange Glasröhrchen angeschmolzen, die gerade so wie die der Chlorcalciumröhre mit Korken und Glasgefäßchen versehen sind. Beide Trockenröhren A und B sind auf einem verstellbaren Brettchen befestigt; die Verbindung zwischen ihnen wird durch einen mit Blei beschwerten Bügel C hergestellt, dessen weite herabhängende Schenkel in die zwei mit einander zu verbindende Glasgefäßchen eingesetzt werden; ein luftdichter Verschluss wird durch reines Quecksilber hergestellt. In dieser Weise wurden *alle* einzelnen Theile mit einander verbunden, so daß das Gas auf seinem Wege zum Absorptionsapparat nirgendwo mit Korken oder Kautschuk in Berührung kam. Nur an der Eintrittsstelle in diesen Apparat ist ein Glasröhrchen mit Siegelack eingekittet und auch diese Kittung hätte vermieden werden können; dieselbe blieb aber bestehen, weil ich keinen nachtheiligen Einfluß derselben habe bemerken können. In Fig. 1 und 2 ist die Verbindung der Leitung mit dem Absorptionsapparat gezeichnet (O) und nach der gegebenen Beschreibung ohne Weiteres verständlich. Ein Bruch der Glastheile durch Verücken kann nicht leicht vorkommen, da die Verbindungen einen gewissen Spielraum für Bewegungen frei lassen; ein weiterer Vorzug der Einrichtung liegt darin, daß die einzelnen Verbindungen rasch gelöst und wieder hergestellt werden können.

Die Gase wurden immer bei B (Fig. 1 und 2) in den Absorptionsapparat eingeleitet; sie strichen durch denselben und das untere Röhrensystem durch und gelangten in der oben erwähnten Waschflasche in die Atmosphäre; die Waschflasche diente hauptsächlich dazu, um die Geschwindigkeit des Durchstreichens controliren zu können; es traten niemals mehr als 100 bis 120 Gasblasen in der Minute aus.

Wenn trockene, von ihrem natürlichen Gehalt an Kohlensäure nicht befreite atmosphärische Luft in den Apparat geführt werden sollte, so durfte die Luft nicht über Wasser aufgefangen werden; an die Stelle des Gasometers wurde deshalb in diesem Fall eine Jolly'sche Quecksilberpumpe gesetzt, deren Hähne mit dem beschriebenen Wachs-Vaseline-Fett eingerieben waren; die Pumpe saugte zunächst die Luft aus dem Freien an, und trieb dieselbe darauf durch die beschriebenen Reinigungsapparate, mit Ausnahme des Kaliapparates, in den Absorptionsapparat.

Nicht geringe Schwierigkeiten hat mir die Bereitung von reinem Wasserstoff verursacht, worunter ich Wasserstoff verstehe, der in meinem Apparat untersucht, keine Spur von Absorption mehr zeigt. Anfänglich versuchte ich, denselben aus Zink und Schwefelsäure, die beide angeblich rein waren, darzustellen; aber trotzdem alle in chemischen Handbüchern empfohlenen Reinigungsmittel durchprobiert wurden, gelang es mir nicht, auf diesem Wege zum Ziel zu kommen. Die Bestrahlungscurven zeigten an den Stellen, welche dem Anfang und dem Ende der Bestrahlung entsprachen, immer kleine Erhebungen resp. Senkungen, die zwar sehr klein waren, die aber einem einigermaßen geübten Auge nicht entgehen konnten und bei reiner Luft nicht gefunden waren. Wenn nun auch diese so geringen Erhebungen bei der zum Zweck einer Bestimmung der durch Bestrahlung von feuchtem Wasserstoff entstehenden Druckerhöhung kaum eine praktische Bedeutung haben konnten, so schien es mir mit Rücksicht auf eine andere Frage nöthig, zu untersuchen, ob der Wasserstoff sich bei der Bestrahlung wirklich anders verhält als Luft. Es wäre nämlich denkbar, daß die erwähnte Erscheinung nicht einer Absorption, sondern einer der physikalischen Eigenschaften, durch welche der Wasserstoff sich von Luft unterscheidet, zugeschrieben werden müßte; in diesem Fall hätte der auf Seite 61 besprochene Einwand 3b eine wenn auch nur sehr schwache Stütze gewonnen.

Ich fing deshalb an, den Wasserstoff auf elektrolytischem Wege aus mit reiner Schwefelsäure angesäuertem Wasser

zu erzeugen; erst dieser Wasserstoff verhielt sich wie Luft, nachdem er in einem mit reinem, auf 0° abgekühltem Wasser gefüllten Kaliapparat gewaschen war, und in den beschriebenen Trockenröhren, zu welchen noch eine zweite Phosphor-pentoxydröhre hinzugefügt werden mußte, seinen Wasserdampf abgegeben hatte. Ich war aber genöthigt, ihn vier, fünf, ja sechs Stunden lang, so langsam als möglich durch die Apparate zu leiten, wenn ich sicher sein wollte, daß aller Wasserdampf in der Trockenröhre zurückblieb, und daß keine fremden Bestandtheile auf dem Wege zum Absorptionsapparat mehr aufgenommen werden konnten. So lange noch irgendwo auf diesem Wege Kautschuk- oder Korkverbindungen vorhanden waren, habe ich überhaupt keinen reinen Wasserstoff im Apparat gehabt.

Mischungen von reiner Luft mit Wasserdampf wurden in folgender Weise erhalten. Aus dem Freien genommene atmosphärische Luft wurde aus dem Gasometer zuerst durch die drei ersten vorhin genannten Reinigungsapparate (Röhre mit Baumwolle, Flasche mit verdünnter Schwefelsäure und Kaliapparat) geleitet und gelangte dann in zwei hinter einander aufgestellte, mit reinem Wasser gefüllte Geißler'sche Kaliapparate, wo die Sättigung der Luft mit Wasserdampf stattfand. Dieses Wasser war mehrmals sorgfältig destillirt, dann lange Zeit ausgekocht und heiß in die vorher gut gereinigten Kaliapparate eingegossen. Beide Kaliapparate tauchten so tief, wie nur möglich, in eine große Glasschale, welche mit Wasser oder meistens mit Eis gefüllt war; die Temperatur dieses Bades wurde durch Thermometer bestimmt und während des Durchleitens der Gase möglichst constant erhalten. Die letzte Kugel des zweiten Kaliapparates blieb leer und trocken, damit die Luft, welche aus demselben heraus kam, auch wirklich bei der Temperatur des Bades, die immer tiefer war als die der Umgebung und des Absorptionsapparates, gesättigt sei. Taucht man die beiden Apparate nicht tief genug in das Wasserbad und gebraucht nicht die soeben angegebene Vorsichtsmaßregel, so kann es leicht vorkommen, daß die Luft kurz vor dem Austritt aus dem



letzten Kaliapparat in Berührung kommt mit einer zufällig feucht gewordenen, aus dem Bade herausragenden und deshalb wärmeren Stelle und folglich mehr Wasserdampf mitführt, als der Temperatur des Bades entspricht.

Bei einigen Controlversuchen wurde die durch die beiden mit Wasser gefüllten Kaliapparate gegangene Luft noch durch eine mit feuchter, gut ausgekochter Baumwolle gefüllte Glasröhre geschickt, die ebenfalls auf die Temperatur des Bades abgekühlt war. Da nach dieser Aenderung der Versuchsanordnung die absorbirte Wärmemenge nicht größer ausfiel als zuvor, so darf man annehmen, daß die Luft sich beim Durchstreichen durch die beiden Kaliapparate vollständig mit Wasserdampf sättigte.

Bei einer anderen Versuchsreihe war die Luft, bevor sie in die beiden Kaliapparate eintrat, durch die Trockenröhren gegangen; da auch jetzt dieselbe Menge von Strahlen absorbirt wurde, so ist damit bewiesen, daß die Luft, die bei der zuerst beschriebenen Anordnung vielleicht feuchter in die Wasser enthaltenden Kaliapparate eintrat als austrat, immer mit soviel Wasserdampf das Absorptionsgefäß erreichte, als der Temperatur des Bades entsprach.

Schließlich ordnete ich die Reinigungsapparate bei einigen Versuchen so an, daß nach dem mit Kali gefüllten Apparat die beiden mit Wasser gefüllten Apparate und dann die Trockenröhren kamen. Die auf diesem Wege durchgeleitete Luft zeigte bei der Bestrahlung keine Spur von Absorption, woraus man wohl schließen darf, daß die Luft beim Durchgang durch das Wasser keine verunreinigenden Gase aufnahm; was übrigens auch nicht zu erwarten war, da nur reines, gasfreies Wasser verwendet wurde.

Die Verbindung von dem zweiten mit Wasser gefüllten Kaliapparat mit dem Absorptionsapparat wurde durch eine bügelförmige, der Röhre C in Fig. 3 ähnliche, aber viel längere Glasröhre hergestellt, in welcher die gesättigte Luft wieder die Temperatur des Zimmers annahm und von eventuell mitgerissenen Theilchen flüssigen Wassers befreit werden konnte. Zu diesem Zweck bestand der eine Schenkel

aus einer 1 cm weiten, 25 cm langen, mit gereinigter Glaswolle fest vollgestopften Glasröhre und war der horizontale Theil 0,3 cm weit und 100 cm lang; in der Nähe der Verbindungsstelle dieser beiden Theile war die enge Röhre von einem 10 cm breiten Platinblech umwickelt, welches durch eine darunter gestellte Bunsen'sche Flamme auf 300° bis 400° erwärmt wurde. Ich glaube nun nicht, daß staubfreie, bei 0° resp. 12° gesättigte Luft, die durch einen so langen Glaswollepfropfen gegangen und auf etwa 400° erwärmt worden ist, nach ihrer Abkühlung auf ungefähr 25° noch Wasser in der Form von Bläschen oder Tröpfchen mit sich führt. Würde man aber auch dieß nicht zugeben wollen, so wäre damit noch keineswegs gesagt, daß das Verhalten von feuchter Luft bei der Bestrahlung durch das Vorhandensein von suspendirten Wassertheilchen erklärt werden müßte: diese Erklärung ist, nach dem was darüber auf S. 63 und 67 gesagt wurde, nicht mehr zulässig.

Einige Bestrahlungsversuche wurden mit Luft angestellt, die sich über Eis von — 15° mit Wasserdampf gesättigt hatte und durch die soeben beschriebene Glasröhre in den Apparat geleitet wurde. In diesem Fall konnte von der Existenz von mitgerissenen Wassertheilchen doch wohl kaum die Rede sein; außerdem sind die Versuche recht geeignet, um in Verbindung mit den zuletzt besprochenen die Abnahme der Absorption mit dem Wasserdampfgehalt der Luft zu zeigen. An einem kalten Winterabend des vorigen Jahres wurde eine vorher gut durchkältete Glasröhre, welche wie die oben beschriebene Phosphorpentoxydröhre eingerichtet war, im Freien vorsichtig mit frisch gefallenem Schnee von etwa — 6° gefüllt. Um ein Schmelzen des Schnees zu verhüten, geschah das Einfüllen nicht direct mit der warmen Hand, sondern mit einem kalten Schöpfelchen und einer kalten Glasstange. An den Enden der Röhre, ziemlich weit von den Ansatzröhrchen entfernt, wurden kalte Pfropfen von Glaswolle aufgesetzt, so daß die Luft, die nachher langsam durchstrich, sich erst gehörig abkühlen konnte, bevor sie mit Schnee in Berührung kam. Keine Spur von Schnee kam in die Ansatz-

röhren hinein. Die so vorbereitete Röhre wurde nun in eine mit Kältemischung gefüllte Bleirinne gelegt und nach einiger Zeit mit diesem Bade in das Beobachtungszimmer gebracht. Hier war vorher Alles zum Versuch vorbereitet, so daß bloß die Schmeeröhre eingeschaltet zu werden brauchte, um mit dem Durchleiten von Luft sofort beginnen zu können. Die Luft, welche in die Röhre eintrat, war durch sämtliche beschriebene Reinigungsapparate gegangen und war somit vollständig trocken und frei von Kohlensäure. Da das Durchleiten mehrere Stunden dauerte, so mußte selbstverständlich die Kältemischung durch Ablassen des Schmelzwassers und durch Aufschütten von frischem Schnee und Salz erneuert werden; dabei blieb aber die Temperatur von  $-15^{\circ}$  ungefähr constant.

Der elektrolytisch hergestellte Wasserstoff wurde in derselben Weise und mit Anwendung derselben Vorsichtsmaßregeln mit Wasserdampf gesättigt, wie die Luft.

---

§ 6. Ich komme jetzt zu der Mittheilung der Bestrahlungsversuche, welche mit den beschriebenen Apparaten angestellt wurden und als definitive bezeichnet werden können.

Bei allen Versuchen blieb das Verfahren, durch welches die Druckänderungen des bestrahlten Gases gemessen wurden, gleich: Nachdem das zu untersuchende Gas so lange durch den Absorptionsapparat geströmt hatte, daß man auf Grund von Vorversuchen über die Reinheit desselben Gewißheit hatte, wurde der Hahn B (Fig. 1 und 2) geschlossen und durch Drehen des zwischen dem Absorptionsapparat und der Marey'schen Trommel liegenden Dreiveghahnes um  $90^{\circ}$  die Verbindung zwischen diesen Apparaten hergestellt. Auch das kleine Hähnchen der Trommel wurde geschlossen, so daß der Inhalt des Apparates vollständig von der äußeren Luft abgeschlossen war. Darauf wurde der Schreibstift des Hebels der Marey'schen Trommel gegen den mit berufstem Glanzpapier überzogenen Cylinder des Pantographen gedrückt und das vorher immer vollständig aufgezo-

selben in Gang gesetzt. Nach einer ganzen Umdrehung des Cylinders, die ungefähr 50 Secunden dauerte, sorgte man dafür, daß durch Oeffnen des Brennerhahnes, oder bei Anwendung anderer Strahlenquellen durch Zurückschlagen des Schiebers J (Fig. 1 und 2) die Bestrahlung des Gases anfang; nach einer weiteren halben Umdrehung wurde die Bestrahlung unterbrochen und schliesslich, nachdem der Cylinder im Ganzen zwei Umdrehungen gemacht hatte, das Uhrwerk arretirt und der Schreibstift von dem Cylinder entfernt.

Die während der ersten Umdrehung geschriebene Curve möchte ich zur Unterscheidung von der darüber liegenden die Nullcurve nennen. Von ihr aus werden die durch Bestrahlung erzeugten Ueberdrücke des Gases, die Erhebungen des Hebels, gemessen; außerdem giebt dieselbe zu erkennen, ob während der Zeit einer Umdrehung des Cylinders der Barometerstand oder die Temperatur des Absorptionsapparates sich merklich geändert haben oder nicht; fällt nämlich das Ende dieser Curve mit ihrem Anfang zusammen und hat die Curve auf dem abgewickelten Papier die Gestalt einer geraden Linie, so haben keine derartige Aenderungen stattgefunden; liegt dagegen das Ende höher oder tiefer als der Anfang, so haben sich Barometerstand und Temperatur geändert und man wird, wenn grofse und besonders wenn unregelmäßige Aenderungen vorgekommen sind, den ganzen Versuch verwerfen; waren aber diese Aenderungen nur gering und stetig verlaufend, so darf man wohl annehmen, daß auch während der sofort auf die erste folgenden zweiten Umdrehung des Cylinders Barometerstand und Temperatur sich in derselben Weise und um denselben Betrag geändert haben werden. Die durch Bestrahlung erzeugte Druck-erhöhung wird deshalb doch richtig bestimmt, wenn man nur die Entfernung der während der zweiten Umdrehung geschriebenen Curve von der Nullcurve um die Höhendifferenz zwischen Anfang und Ende der Nullcurve vergrößert oder verkleinert, je nachdem dieser Anfang höher oder tiefer liegt als das Ende. In dieser Weise kann man die während der kurzen Dauer eines Versuches in der äufseren Luft statt-



findenden Druck- und Temperaturvariationen in Rechnung ziehen, ohne daß es nöthig wäre, durch complicirte Vorrichtungen die Apparate gegen derartige Einflüsse zu schützen.

Auf jedem der auf dem Cylinder aufgespannten Papierstreifen konnten mehrere Curven gezeichnet werden; war der Streifen mit Curven bedeckt, so wurde er vom Cylinder entfernt und der Ruß mittelst Schellacklösung fixirt.

Die Ausmessung der Curven geschah erst nachdem *alle* definitiven Versuche beendigt waren und zwar in folgender Weise. Das betreffende Curvenblatt wurde auf einen Tisch gelegt; mit Hülfe eines in halbe Millimeter getheilten Maßstabes von Messing wurde dann unter einer an einem Stativ befestigten Lupe von 4- bis 5facher Vergrößerung der Abstand der während und nach der Bestrahlung geschriebenen Curve von der Nullcurve an fünf äquidistanten Stellen gemessen; dabei wurden Zehntel von halben Millimetern geschätzt, was nach einiger Uebung mit genügender Sicherheit ausgeführt werden konnte. Ich habe diese einfache Art der Messung einer anderen, vielleicht genaueren, aber dann auch complicirteren vorgezogen, hauptsächlich weil eine genauere Messung mit Rücksicht auf die zwischen den einzelnen Versuchsergebnissen vorkommenden Differenzen überflüssig gewesen wäre. Die fünf Abstände wurden an den folgenden Stellen gemessen (Vgl. Fig. 7): 1) kurz vor Anfang der Bestrahlung; 2) nach Ablauf der halben Bestrahlungszeit; diese Stelle lag bei allen Curven ungefähr 7,5 cm von der ersten; 3) kurz vor Ende der Bestrahlung, 7,5 cm von der vorigen Stelle entfernt; 4) einige Zeit nach Ende der Bestrahlung und zwar um 7,5 cm weiter auf der Nullcurve als die dritte Stelle und endlich 5) am Ende der Curven um 7,5 cm weiter als 4).

Bezeichnet man diese Abstände mit  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$  und  $a_5$ , so ist die Differenz  $a_5 - a_1$  ein Maß für die durch Bestrahlung erzeugte, am Ende eines vollständigen Bestrahlungsversuches vorhandene Erwärmung des ganzen Absorptionsapparates. Diese noch während längerer Zeit nach Unterbrechung der Bestrahlung nahezu unverändert bestehen bleibende Differenz

möchte ich die *permanente* Druckzunahme nennen. Dieselbe ist bei gleich bleibender Bestrahlung und bei Anwendung desselben Absorptionsapparates nicht merklich verschieden für verschiedene Gase, mögen diese zu den absorbirenden gehören oder nicht.

Die Differenz  $a_3 - a_5$  stellt die Gröfse der Druckzunahme des Gases dar, welche eine Folge ist von der directen Absorption von Wärme durch das Gas; findet man bei einem Versuch  $a_3 - a_5 = 0$ , so heifst das, daß das betreffende Gas nicht zu den merklich absorbirenden gehört. Da diese Druckzunahme bald nach Unterbrechung der Bestrahlung verschwindet, möchte ich sie die *temporäre* Druckabnahme nennen. Auf die Bestimmung dieser Gröfse kommt es hauptsächlich an, und habe ich deshalb diese Druckänderung auch noch mit Hülfe der Werthe von  $a_1$ ,  $a_2$  und  $a_5$  berechnet; nimmt man nämlich an, was durch die Versuche bestätigt wird, daß schon nach Verlauf der halben Bestrahlungsdauer das Gleichgewicht zwischen der vom Gas direct absorbirten und der von demselben abgegebenen Wärmemengen eingetreten ist, daß mit anderen Worten die temporäre Druckzunahme schon zu dieser Zeit in voller Gröfse sich ausgebildet hat, und berücksichtigt man, daß  $a_2$  in der Mitte zwischen Anfang und Ende der Bestrahlung gemessen wurde, so ergibt eine einfache Ueberlegung, daß diese Druckänderung auch gefunden wird durch Berechnung des Ausdruckes :

$$a_2 - \frac{a_1 + a_5}{2}.$$

Die Messung von  $a_4$  dient mehr zur Controle; fallen nämlich  $a_4$  und  $a_5$  sehr verschieden aus, so haben sich Temperatur und Druck der äußeren Luft unregelmäßig geändert und es ist der betreffende Versuch zu verwerfen.

Mit Rücksicht auf die meistens sehr gute und deshalb vielleicht etwas auffällige Uebereinstimmung, die die später mitzutheilenden Zahlen aufweisen, ist es wohl nicht überflüssig, wenn ich erwähne, daß die Messung der beiläufig 250 Curven in der Weise vorgenommen wurde, daß zuerst die Abstände am Anfang und am Ende *aller* Curven und

darauf die drei übrigen Abstände bei *allen* Curven bestimmt wurden. Ein Gehülfe schrieb die von mir abgelesenen Zahlen auf und nachher hat bei keiner Curve eine willkürliche Aenderung oder Verbesserung der erhaltenen Zahlen stattgefunden.

*Versuche mit reinem Wasserstoff.* Die Anzahl von Versuchen, die ich mit Wasserstoff anstellte, ist ungemein groß, da es mir, wie oben schon mitgetheilt, anfänglich nicht gelingen wollte, reinen Wasserstoff zu erhalten. Auch selbst nachdem ich nur noch elektrolytischen Wasserstoff verwendete und trotzdem derselbe geradezu Tage lang Bläschen für Bläschen durch den Apparat geleitet wurde, bekam ich bei den ersten Versuchen noch immer Spuren von Absorption. Es ergab sich, daß die Verunreinigung von Wasserdampf herrührte, der schwer von dem Wasserstoff zu trennen ist. Durch Abkühlung der Waschflasche auf 0° und unter Anwendung von zwei in Abtheilungen gefüllten Phosphorpenoxydröhren erhielt ich erst einen Wasserstoff, der bei Bestrahlung mit der Bunsen'schen Flamme keine Spur von Absorption mehr zeigte.

Was ich unter einer Spur von Absorption verstehe, kann durch eine Figur nicht wieder gegeben werden; die betreffende Erhebung resp. Senkung, welche die Originalcurve an Stellen, die dem Anfang resp. dem Ende der Bestrahlung entsprechen, aufweist, ist so gering (beträgt nur Bruchtheile von einem Zehntel Millimeter), daß sie nur von einem sehr geübten Auge entdeckt werden kann, welches schräg auf die Curve sieht, so daß dieselbe mit der Gesichtslinie einen sehr kleinen Winkel bildet.

Da in dieser Abhandlung nur die definitiven Versuche und nicht etwa auch die Vorversuche ausführlich besprochen werden sollen, so gebe ich auch nur an, wie die Füllung des Absorptionsapparates mit *reinem* Wasserstoff jedesmal geschah. Im Falle, daß bei den Versuchen, welche einer Versuchsreihe mit Wasserstoff vorausgingen, absorbierende Gase im Apparat eingeschlossen waren, wurden diese zuerst durch einen mehrstündigen Strom von reiner Luft

möglichst gut entfernt; dann liefs ich reinen Wasserstoff durchströmen und untersuchte von Zeit zu Zeit durch Bestrahlung des Gases, ob dasselbe genügend rein war; diefs war meistens nach einem zwei- bis dreistündigen Durchleiten erreicht. Nach Beendigung des ersten Bestrahlungsversuches wurde dann nochmals während einer oder mehr Stunden Wasserstoff eingeleitet und nach Ablauf dieser Zeit wiederum ein Bestrahlungsversuch angestellt u. s. w.

In Fig. 4 ist eine der durch Bestrahlung mit der Bunsen'schen Flamme erhaltenen Curven wiedergegeben; dieselbe ist der Hauptsache nach schon auf Seite 65 beschrieben worden und will ich nur noch Folgendes hinzufügen. Die untere Curve ist die Nullcurve, Anfang und Ende derselben liegen auf der linken Seite der Zeichnung und fallen nicht genau zusammen. (Vgl. S. 84.) Die Stelle a der oberen Curve entspricht dem Anfang, die Stelle b dem Ende der Bestrahlung; an keiner der beiden Stellen ist eine Krümmung der Curve, welche auf das Vorhandensein von Absorption hinweist, zu bemerken. Die Druckzunahme steigt während der Bestrahlung der Dauer der letzteren proportional und eine temporäre Druckzunahme ist nicht vorhanden.

Die Messung einiger Curven ergab für die permanente Druckzunahme  $a_5 - a_1$  folgende Werthe in mm : 0,35; 0,30; 0,45; 0,45; 0,30; 0,35; 0,30; 0,35; 0,40; 0,40; 0,30; 0,40.

Aus diesen Zahlen geht hervor, daß die Erwärmung des gesammten Absorptionsapparates durch die Bunsen'sche Flamme sehr gering ist, wie es ja gewünscht wurde; zweitens daß Versuche, welche um einige Monate auseinander liegen, dieselben Resultate liefern, was für die Zuverlässigkeit der Methode und die sichere Aufstellung der Apparate spricht.

Die Bestrahlung von reinem Wasserstoff durch die Knallgaslampe lieferte ähnliche Resultate. In Fig. 5 ist eine so erhaltene Bestrahlungscurve dargestellt; die Buchstaben a und b bezeichnen wieder die Stellen des Anfangs und der Unterbrechung der Bestrahlung. Daß das Ende der Nullcurve beträchtlich höher liegt als der Anfang, rührt daher, daß die dicht vor dem Absorptionsapparat aufgestellte Lampe,



schon während die Nulleurve geschrieben wurde, brennen mußte und dadurch eine nicht unbeträchtliche Erwärmung des Absorptionsapparates verursachte. Zeichen, die auf eine directe Absorption von Wärme durch den Wasserstoff hindeuten, sind nicht vorhanden; es ist die mittlere Temperatur des Wasserstoffs in jedem Augenblick der mittleren Temperatur des Apparates gleich, es ist mit anderen Worten die temporäre Druckzunahme auch bei dieser viel intensiveren Bestrahlung nicht merklich von Null verschieden. Die permanente Druckzunahme beträgt 2,6 mm; daraus darf man wohl schließen, daß die Wärmemenge, welche in einer gewissen Zeit von der Knallgaslampe in den Absorptionsapparat hineingeschickt wurde, ungefähr 6- bis 7mal so groß ist als die von der Bunsen'schen Flamme.

Bei den besprochenen Versuchen kam es einige Male vor, daß der mit Wasserstoff gefüllte Apparat mit verschlossenen Hähnen (B und C in Fig. 1 und 2) zwei Tage unberührt stehen blieb; jedesmal zeigte sich bei einer dann vorgenommenen Bestrahlung, daß der Inhalt in Bezug auf dessen Absorptionsvermögen unverändert geblieben war. Es ist das das beste Zeugniß sowohl für den luftdichten Verschluss des Apparates, als auch für die Brauchbarkeit des angewendeten Hahnfettes, bezüglich seiner Eigenschaft, keine athermanen Dämpfe zu entwickeln.

Ich brauche wohl kaum zu erwähnen, daß man aus diesen Versuchen mit reinem Wasserstoff und mit reiner Luft den Schluss nicht ziehen darf, daß die beiden Gase überhaupt keine Strahlen absorbiren; die Versuche zeigen nur, daß eine Absorption nicht in dem Maße stattfindet, daß diese durch die angewendeten Mittel nachweisbar wäre.

*Die Versuche mit reiner Luft*, die, wie oben schon bemerkt, viel leichter zu gewinnen ist, als reiner Wasserstoff und sich schon nach einem zwei- bis dreistündigen Durchströmen durch den Absorptionsapparat als rein erwies (vorausgesetzt wenigstens, daß nicht vorher sehr stark absorbirende Gase, wie reine Kohlensäure oder Ammoniak sich im

Apparat befanden), ergaben sowohl bei Anwendung der Bunsen'schen Flamme als auch der Knallgaslampe genau dasselbe wie die Versuche mit reinem Wasserstoff. Die erhaltenen Curven sind von den bei Wasserstoff gefundenen nicht verschieden und von einer Absorption durch reine Luft ist deshalb nichts zu bemerken. Folgende Werthe erhielt ich für die permanente Druckerhöhung  $a_5 - a_1$  in mm bei Bestrahlung durch die Bunsen'sche Flamme : 0,45; 0,40; 0,45; 0,40; 0,40; 0,50; 0,45; 0,40; 0,45.

Darauf daß das Mittel aus diesen Werthen etwas größer ist als das aus denselben Werthen für Wasserstoff berechnete, möchte ich kein Gewicht legen.

*Versuche mit kohlendäurefreier, feuchter Luft.* Vgl. S. 80.

1) Versuche mit Luft, die bei 0° mit Wasserdampf gesättigt war.

a) Bestrahlung durch die Bunsen'sche Flamme.

Um einen Einblick zu gewähren in die Art und Weise, wie diese Versuche angestellt wurden, möchte ich angeben, wie die in der unten stehenden Tabelle angeführten Curven 1 bis 4 erhalten wurden, und dazu bemerken, daß bei allen übrigen Versuchen in ähnlicher Weise verfahren wurde: Der Absorptionsapparat hatte seit dem vorhergehenden Tag mit reinem Wasserstoff gefüllt gestanden; zuerst wurde während  $\frac{3}{4}$  Stunden feuchte Luft nur durch die Reinigungs- und Sättigungsapparate geleitet, um die darin enthaltenen Gase zum größten Theil zu entfernen; dabei trat die durchgeleitete feuchte Luft durch den Dreiweghahn B (Fig. 1 und 2) in die Atmosphäre. Dann strich die Luft noch während weiteren  $1\frac{1}{2}$  Stunden durch jene Apparate und den Absorptionsapparat. Nachdem die Temperatur des Bades, sowie die Temperatur des Apparates bestimmt war, folgte der erste Bestrahlungsversuch, der die Curve 1 ergab. Nun führte ich während der nächsten Stunde wieder feuchte Luft durch den Absorptionsapparat und stellte nach Ablauf dieser Zeit den zweiten Bestrahlungsversuch an. Der dritte Versuch folgte unmittelbar auf den zweiten, so daß die Curven 2

und 3 mit derselben Füllung des Apparates erhalten wurden. Zwischen dem dritten und vierten Versuch lag ein Zeitraum von 2 Stunden, während welcher Zeit feuchte Luft ununterbrochen durch den Apparat strömte.

Die anderen Curven 5 bis 12 wurden zu sehr verschiedenen Zeiten, die mitunter 2 Monate auseinander liegen, erhalten.

Tabelle 1.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	perman. Druckzun. $a_6 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Temperatur		Colum. 10 auf 26° red.
							$a_3 - a_6$	$a_2 - \frac{a_1 + a_5}{2}$		des Bades	des Appar.	
1	0,20	2,65	2,75	0,70	0,65	0,45	2,10	2,20	2,15	0°	25°	2,13
2	0,00	2,50	2,65	0,50	0,50	0,50	2,15	2,25	2,20	0°	26°	2,20
3	0,10	2,40	2,60	0,55	0,50	0,40	2,10	2,10	2,10	0°	26°	2,10
4	0,05	2,40	2,65	0,50	0,45	0,40	2,20	2,15	2,18	0°	26°	2,18
5	0,25	2,60	2,80	0,70	0,70	0,45	2,10	2,10	2,10	0°	24°	2,06
6	0,35	2,80	2,95	0,80	0,80	0,45	2,15	2,20	2,18	0°	24°	2,14
7	0,05	2,50	2,65	0,45	0,45	0,40	2,20	2,25	2,23	0°	26°	2,23
8	0,05	2,55	2,75	0,55	0,50	0,45	2,25	2,25	2,25	0°	26°	2,25
9	0,00	2,50	2,65	0,50	0,50	0,50	2,15	2,25	2,20	0°	22°	2,11
10	0,05	2,55	2,75	0,55	0,50	0,45	2,25	2,25	2,25	0°	22°	2,16
11	0,00	2,60	2,65	0,35	0,40	0,40	2,35	2,40	2,38	0°	23°	2,31
12	-0,05	2,60	2,70	0,40	0,35	0,40	2,35	2,45	2,40	0°	23°	2,33
Mittel												2,18.

Die Bedeutung der Ueberschriften der einzelnen Columnen ist nach dem, was oben darüber mitgetheilt wurde, ohne Weiteres verständlich und muß ich nur noch angeben, wie die Zahlen der letzten Columnen erhalten wurden. Wie aus der Arbeit des Hrn. Heine hervorgeht, hängt die temporäre Druckzunahme von der Temperatur des Gases ab; sie war bei seinen Versuchen mit Mischungen von Luft und Kohlensäure um ungefähr 1 Proc. kleiner, wenn die Temperatur des Gases 1° höher war. Dieser Einfluß mußte somit auch bei meinen Versuchen berücksichtigt werden; da es mir nun mehr darauf ankam, nachzuweisen, daß der Wasserdampf überhaupt Strahlen absorbiert, als wohl die Größe dieser Absorption möglichst genau zu messen, so habe

ich es unterlassen, diesen Einfluß nochmals zu untersuchen und auch möglichst genaue Temperaturbestimmungen am Apparat auszuführen. Außerdem weichen alle vorkommenden Temperaturen nur wenig von einander ab, und es ist deshalb wohl erlaubt, wenn ich alle Werthe mit Hülfe der von Hrn. Heine gefundenen Beziehung auf die Temperatur von  $26^{\circ}$  reducire.

Die Uebereinstimmung der einzelnen Versuche unter einander kann als eine recht gute bezeichnet werden; nur die zwei letzten Versuche weichen vom Mittel etwas mehr ab als die anderen. Wenn man aber bedenkt, daß diese Versuche ungefähr 3 Monate später als die ersten angestellt wurden und daß in dieser Zwischenzeit der Absorptionsapparat häufig auseinander genommen, sowie inwendig mit Ruß resp. mit Schellack überzogen und wieder frisch polirt wurde, so ist diese kleine Abweichung sehr erklärlich. Die Uebereinstimmung würde übrigens sicher noch besser sein, wenn die Temperatur des Absorptionsapparates genauer beobachtet worden wäre.

Aus den mitgetheilten Versuchen geht nun hervor: erstens, daß die permanente Druckerhöhung des Gases dieselbe ist, mag feuchte Luft oder reine Luft oder reiner Wasserstoff sich im Absorptionsapparat befinden; zweitens, daß die temporäre Druckzunahme von bei  $0^{\circ}$  gesättigter, auf  $26^{\circ}$  erwärmter, feuchter Luft im Mittel 2,18 mm beträgt, wenn die Bestrahlung durch eine Bunsen'sche Flamme geschieht. Diese temporäre Druckzunahme ist eine Folge von directer Absorption von Wärme durch den der Luft beige-mischten Wasserdampf. Die durch die Bestrahlung erzeugte und im weiteren Verlauf derselben unverändert bleibende Differenz zwischen der mittleren Temperatur des Gases und der des Absorptionsapparates kann leicht mittelst der auf S. 74 angegebenen Beziehung berechnet werden. Sie beträgt im vorliegenden Fall ungefähr  $0,36^{\circ}$ . Fig. 6 giebt ein Bild von der Curve 4 der obigen Tabelle.

b) Bestrahlung mit der Knallgaslampe.

Von diesen Versuchen theile ich nur zwei mit; man darf



von denselben nicht erwarten, daß sie eine so gute Uebereinstimmung zeigen, wie die obigen, denn die Strahlung einer Knallgaslampe ist viel weniger constant als die der Bunsen'schen Flamme, sowohl während eines Versuches als insbesondere von einem Versuch zum folgenden.

Tabelle 2.

Die Abstände sind in mm gemessen

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	perman. Druckzun. $a_5 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Temperatur		Colum. 10 auf 26° red.
							$a_3 - a_5$	$a_2 - \frac{a_1 + a_5}{2}$		des Bades	des Appar.	
1	0,90	3,30	3,85	2,30	2,30	1,40	1,55	1,70	1,63	0°	26°	1,63
2	1,60	4,10	4,60	2,90	2,90	1,30	1,70	1,85	1,78	0°	26°	1,78
Mittel												1,70.

Vergleicht man die Werthe der permanenten Druckzunahme sowie die der temporären Druckzunahme mit den entsprechenden Werthen, die bei Bestrahlung von gleich feuchter Luft mit dem Bunsen'schen Brenner gefunden wurden, so kommt man zu dem Resultat, daß wiewohl die gesammte Wärmemenge, welche von der Bunsen'schen Flamme in der Zeiteinheit in den Absorptionsapparat hineingeschickt wird, viel kleiner ist als die von der Knallgaslampe, doch die von der feuchten Luft in derselben Zeit absorbirte Wärmemenge im ersten Fall größer ist als im zweiten. Feuchte Luft absorbirt somit von den Strahlen des weißglühenden Kalkes relativ bedeutend weniger als von denen der nicht leuchtenden Bunsen'schen Flamme. Ich glaube wenigstens nicht, daß in diesem Fall eine andere Erklärung für die beobachtete Differenz in den Druckerhöhungen zulässig wäre. In Fig. 7 ist die Curve 1 möglichst gut wiedergegeben.

c) Bestrahlung durch einen Glaskolben mit siedendem Anilin (Temperatur ungefähr 182°).

Das Anilin wurde über einer Gasflamme zum Sieden gebracht und dann mit dem Kolben kurz vor Anfang eines jeden Versuches so nahe wie möglich vor der Mitte des Absorptionsapparates aufgestellt. Der Glaskolben war nicht

geschwärzt. Auch von diesen Versuchen möchte ich nur zwei mittheilen.

Tabelle 3.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	permanen. Druckzun. $a_5 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Temperatur		Colum. 10 auf 26° red.
							$a_3 - a_6$	$a_2 - \frac{a_1 + a_5}{2}$		des Bades	des Appar.	
1	0,05	0,70	0,85	0,35	0,35	0,30	0,50	0,50	0,50	0°	26°	0,50
2	0,15	0,90	1,00	0,50	0,50	0,35	0,50	0,55	0,53	0°	26°	0,53
Mittel												0,52.

Das Verhältniß der temporären zur permanenten Druckzunahme ist auch bei dieser Bestrahlungsart viel kleiner als bei der Bestrahlung durch die Bunsen'sche Flamme; es scheint somit als ob der Wasserdampf auch von jener Wärmequelle relativ weniger Strahlen absorbire als von der Bunsen'schen Flamme; indessen ist zu berücksichtigen, daß auch noch andere Ursachen dafür gefunden werden können. So kann z. B. ein Grund darin liegen, daß die Goldschicht, mit welcher der Absorptionsapparat innen überzogen ist, für die Strahlen, welche von dem heißen Kolben ausgesendet werden, vielleicht ein größeres Absorptionsvermögen besitzt, als für die der Bunsen'schen Flamme; es wäre auch möglich, daß der Unterschied in der Form der emittirenden Flächen und in ihrer Stellung in Beziehung auf den Absorptionsapparat die besprochene Aenderung jenes Verhältnisses zur Folge hätte.

Alle anderen mit dieser Strahlenquelle ausgeführten Versuche ergaben im Wesentlichen dasselbe Resultat, wie die zwei mitgetheilten; dadurch ist bewiesen, daß Luft, die bei 0° mit Wasserdampf gesättigt ist, Strahlen, welche von einem mit Anilin gefüllten, auf 182° erwärmten Glaskolben kommen, noch sehr merklich absorbirt.

Fig. 8 stellt die oben mit 1 bezeichnete Curve dar.

d) Bestrahlung durch einen Glaskolben mit siedendem Wasser.

Zwei Versuche ergaben Folgendes :

Tabelle 4.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	perman. Druckzun. $a_5 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Column. 8 u. 9	Temperatur		Column. 10 auf 26° red.
							$a_3 - a_5$	$a_2 - \frac{a_1 + a_5}{2}$		des Bades	des Appar.	
1	0,00	0,25	0,30	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0°	26°	0,15
2	0,20	0,45	0,60	0,40	0,40	0,20	0,20	0,15	0,18	0°	26°	0,18
Mittel												0,17.

Die Versuche, welche ich mit dem Kölbchen von 100° anstellte, sind sehr zahlreich, da ich über die Frage, ob der Wasserdampf Strahlen von so geringer Brechbarkeit noch merklich absorbiert, Gewissheit erlangen wollte. Alle Versuche lieferten übereinstimmende Resultate und es ist die Thatsache, daß der feuchten Luft ein Absorptionsvermögen für jene Strahlen zukommt, über jeden Zweifel erhaben. Die Messung der Curven ergiebt, daß die von der bei 0° gesättigten und auf 26° erwärmten Luft absorbirte Wärmemenge genügt, um unter den gegebenen Umständen eine Differenz zwischen der mittleren Temperatur der feuchten Luft und der des Absorptionsapparates von ungefähr 0,02° dauernd zu unterhalten.

Auch ohne jede Messung wird man sich durch bloßes Betrachten der Curve und namentlich der Stelle jener Curve, welche dem Augenblick der Unterbrechung der Bestrahlung entspricht, von der Existenz einer Absorption überzeugen können. Vgl. S. 54. In Fig. 9 habe ich, so gut wie möglich, die Curve 1 wiedergeben lassen. Die an der mit b bezeichneten Stelle vorhandene Senkung der oberen Curve ist ein untrügliches Merkmal für das Vorhandensein von Absorption; wenn die Senkung auch nicht groß ist (nur 0,15 mm), so ist sie doch unverkennbar vorhanden und keineswegs eine zufällige Erscheinung; ich habe viele Hunderte von Bestrahlungscurven unter den Augen gehabt und kann versichern, daß ein derartiger Verlauf der Curve nur dann

zu beobachten ist, wenn eine Absorption von Wärme durch das Gas stattgefunden hat. Uebrigens muß ich noch bemerken, daß eine viel geringere Absorption noch deutlich beobachtet werden kann, und daß die Senkung, welche ich auf S. 87 als ein Merkmal für eine Spur von Absorption bezeichnete, noch wesentlich kleiner, aber trotzdem ebenso wenig zufällig ist als die, welche bei den in Rede stehenden Versuchen beobachtet wurde.

e) Bestrahlung durch ein Becherglas mit Kältemischung von  $-40^{\circ}$ .

Da durch die zuletzt beschriebenen Versuche bewiesen war, daß feuchte Luft Strahlen niederer Brechbarkeit absorbiert, so hoffte ich, daß es mir auch gelingen würde, nachzuweisen, daß feuchte Luft jene Strahlen emittiert.

Ich brachte deshalb vor den mit feuchter Luft gefüllten Absorptionsapparat ein Becherglas, welches eine Kältemischung von ungefähr  $-40^{\circ}$  enthielt und verfuhr im Uebrigen gerade so wie bei b), c) und d). Die beobachteten Druckänderungen waren aber äußerst gering und nur Spuren von Emission konnten entdeckt werden. Es dürfte auch die Differenz zwischen den Temperaturen des Gases und der Wand des Becherglases wohl zu gering sein, um eine einigermaßen beträchtliche Abkühlung des Gases durch Strahlung zu Stande bringen zu können, denn das Becherglas war außen mit einer Reifschicht bedeckt, die wahrscheinlich eine Temperatur hatte, die nicht viel unter  $0^{\circ}$  lag. Nun hätte ich zwar das Bedecken mit Reif durch passende, aber jedenfalls complicirte Vorrichtungen vermeiden können, allein ich habe dies unterlassen und diese Versuche nicht weiter fortgesetzt, weil durch andere, später mitzutheilende Versuche, bei welchen die feuchte Luft auf  $182^{\circ}$  erwärmt war, die Existenz eines der feuchten Luft zukommenden Emissionsvermögens leicht nachgewiesen werden konnte.

2) Versuche mit Luft, die bei ungefähr  $12^{\circ}$  mit Wasserdampf gesättigt war; Bestrahlung durch die Bunsen'sche Flamme.

Die Temperatur des Bades, worin die mit Wasser ge-



füllten Kaliapparate eingesetzt waren, wurde so gut wie möglich während des mehrere Stunden dauernden Durchströmens der Luft constant gehalten; wenigstens stieg die Temperatur niemals viel über  $12^{\circ}$ .

Die Resultate von vier Versuchen sind in der folgenden Tabelle enthalten.

Tabelle 5.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	permanen. Druckzun. $a_5 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Temperatur		Colum. 10 auf $26^{\circ}$ red.
							$a_3 - a_6$	$a_2 - \frac{a_1 + a_5}{2}$		des Bades	des Appar.	
1	0,25	3,85	4,00	0,70	0,65	0,40	3,35	3,40	3,38	$12^{\circ}$	$26^{\circ}$	3,38
2	0,20	3,95	4,10	0,75	0,70	0,50	3,40	3,50	3,45	$12^{\circ}$	$26^{\circ}$	3,45
3	0,05	3,60	3,85	0,55	0,50	0,45	3,35	3,30	3,33	$12^{\circ}$	$26^{\circ}$	3,33
4	0,10	3,60	3,80	0,60	0,60	0,50	3,20	3,25	3,23	$12^{\circ}$	$26^{\circ}$	3,23
Mittel												3,35.

Die einzelnen Werthe der temporären Druckzunahmen weichen mehr von einander ab, als die der Tabelle 1; was daher rührt, daß die Temperatur von  $12^{\circ}$  viel schwerer constant zu erhalten ist als die von  $0^{\circ}$ . Die Versuche zeigen aber evident, daß mit zunehmendem Gehalt an Wasserdampf die Absorption von Wärme durch feuchte Luft auch zunimmt. Berechnet man die während der Bestrahlung zwischen der mittleren Temperatur der Luft und der des Apparates bestehende Differenz, so erhält man dafür  $0,56^{\circ}$ .

Fig. 10 stellt die Curve 1 dar.

3) Versuche mit Luft, die bei ungefähr —  $15^{\circ}$  mit Wasserdampf gesättigt war. Bestrahlung durch die Bunsen'sche Flamme.

In welcher Weise die Luft gesättigt wurde, ist auf S. 82 mitgetheilt. Im Ganzen wurden zwei Versuche gemacht; der erste, nachdem die feuchte Luft während  $1\frac{1}{2}$  Stunden durch den Absorptionsapparat geleitet war, der zweite eine Stunde später, während welcher die Luft ununterbrochen durchströmte. Die Messung der zwei Curven ergab :

Tabelle 6.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	permanen. Druckzun. $a_5 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Temperatur	
							$a_3 - a_6$	$a_2 - \frac{a_1 + a_5}{2}$		des Bades	des Appar.
1	0,20	1,40	1,60	0,65	0,65	0,45	0,95	0,95	0,95	— 15°	?
2	0,15	1,40	1,65	0,80	0,75	0,60	0,90	0,95	0,93	— 15°	?

Mittel 0,94.

Leider wurde vergessen, die Temperatur des Absorptionsapparates zu bestimmen, und deshalb ist eine Reduction auf 26° nicht möglich; aus den Versuchen geht aber deutlich hervor, daß die absorbierte Wärmemenge abnimmt, wenn die der Luft beigemischte Wasserdampfmenge kleiner wird. Legt man den Werth 0,94 mm der temporären Druckzunahme zu Grunde, so berechnet sich der Ueberschuß der Temperatur der feuchten Luft über die des Absorptionsapparates während der Bestrahlung zu 0,15°.

In Fig. 11 ist die Curve 1 wiedergegeben.

Die Versuche über die Bestrahlung von feuchter Luft durch die Bunsen'sche Flamme haben somit für die temporären Druckerhöhungen die Werthe 0,94, 2,18 und 3,35 ergeben, je nachdem die Luft bei — 15°, oder bei 0°, oder bei 12° gesättigt war. Die Wasserdampfmenngen, welche 1 cm feuchte Luft in diesen drei Fällen bei der Temperatur der Sättigung enthalten würde, betragen 1,6 g, resp. 4,9 g, resp. 10,6 g; außerdem ergab sich, daß die temporäre Druckzunahme von trockener Luft gleich Null ist. Trägt man diese vier Werthepaare in ein Coordinatensystem ein und construirt eine durch die 4 Punkte gehende Curve, so erhält man die Fig. 12. Aus derselben ist ersichtlich, daß die temporären Druckzunahmen verhältnißmäfsig langsamer wachsen als die entsprechenden Gehalte an Wasserdampf. Die Curve ist der von Hrn. Heine für Mischungen von Luft und Kohlensäure gefundenen sehr ähnlich.

§. 7. Die bisher mitgetheilten Versuche sind wohl die wichtigsten der ganzen Untersuchung; diejenigen, welche noch beschrieben werden sollen, wurden angestellt, um die durch feuchte Luft ausgeübte Absorption quantitativ und qualitativ vergleichen zu können mit der von trockener atmosphärischer Luft, welche von ihrem natürlichen Kohlensäuregehalt nicht befreit worden ist. Schließlich sind dann noch die Versuche zu besprechen, welche zur Entkräftung der oben ausführlich behandelten Einwände, die gegen die Versuchsmethode erhoben werden könnten, unternommen wurden.

*Versuche mit atmosphärischer Luft, die von ihrem Gehalt an Wasserdampf befreit war.* Vgl. S. 79.

1) Bestrahlung durch die Bunsen'sche Flamme.

Das Resultat von vier an verschiedenen Tagen, mit verschiedenen Füllungen des Absorptionsapparates angestellten Versuchen ist in der folgenden Tabelle enthalten.

Tabelle 7.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	perman. Druckzun. $a_5 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Temperatur des Apparates	Colum. 10 auf 26° red.
							$a_3 - a_5$	$a_2 - \frac{a_1 + a_5}{2}$			
1	0,05	2,70	2,95	0,60	0,55	0,50	2,40	2,40	2,40	22°	2,30
2	0,10	2,70	2,95	0,60	0,55	0,45	2,40	2,35	2,38	21°	2,26
3	0,05	2,70	2,90	0,60	0,55	0,50	2,35	2,40	2,38	21°	2,26
4	0,15	3,20	3,35	0,70	0,70	0,55	2,65	2,75	2,70	22°	2,59
Mittel											2,35.

Daß der beim vierten Versuch gefundene Werth größer ist als die anderen, hängt sicher damit zusammen, daß an jenem Tage der Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft größer war als an den vorhergehenden. Da eine genauere Bestimmung der temporären Druckzunahme für die beabsichtigte Berechnung zwecklos wäre, so halte ich das gefundene Mittel für die einem mittleren Gehalt an Kohlensäure entsprechende temporäre Druckzunahme, welche durch

die von der Kohlensäure ausgeübte Absorption während der Bestrahlung mit der Bunsen'schen Flamme entsteht. Um aus dieser Zahl und der bei Luft, die bei 0° mit Wasserdampf gesättigt war, gefundenen (2,18) auf das Verhältniß der Absorptionsvermögen der beiden Gasmischungen für Strahlen der Bunsen'schen Flamme schliessen zu können, muß man annehmen : erstens daß das Reflexionsvermögen des Goldes, mit welchem die Innenwand des Absorptionsapparates überzogen ist, für die Strahlengattungen, welche von Kohlensäure absorbiert werden und für solche, welche von Wasserdampf absorbiert werden, mindestens ungefähr gleich groß ist, und zweitens, daß die beiden Gasmischungen sich durch ihre Viscosität, Wärmeleitungsfähigkeit, specifische Wärme u. s. w. nicht merklich von einander unterscheiden. Für die Richtigkeit der ersten Annahme sprechen weiter unten mitzutheilende Versuche mit inwendig berußtem Absorptionsapparat und was die zweite Annahme anbetrifft, so wird dieselbe durch Versuche unterstützt, welche ich mit Luft anstellte, der eine bekannte geringe Menge Wasserdampf und gleichzeitig etwas Kohlensäure beigemischt war, und welche ergaben, daß die in dieser Mischung erzeugte temporäre Druckzunahme sehr nahezu gleich der Summe der einzelnen temporären Druckzunahmen war, welche ich erhielt, als die Luft mit derselben Wasserdampfmenge allein resp. mit derselben Kohlensäuremenge allein vermischt war.

Man ist deshalb auf Grund meiner Versuche berechtigt zu sagen, daß Luft, welche bei 0° mit Wasserdampf gesättigt ist, und trockene atmosphärische Luft mit ihrem normalen Gehalt an Kohlensäure bei gleicher Temperatur *ungefähr* gleich viel Strahlen von der Bunsen'schen Flamme absorbieren.

Es ist noch zu erwähnen, daß die früher veröffentlichten Vorversuche im Wesentlichen dasselbe Resultat ergaben. Vgl. Ber. d. Oberh. Ges. f. Natur- u. Heilkunde XX, S. 58.

Die in der Tabelle enthaltenen Werthe der temporären Druckzunahme können nicht ohne Weiteres mit den von Hrn. Heine gefundenen verglichen werden, da der Apparat



sowohl was seine Aufstellung als Einrichtung anbetrifft, nicht identisch ist mit dem damals gebrauchten.

In Fig. 13 ist die in obiger Tabelle mit 1 bezeichnete Curve dargestellt; die Gestalt derselben ist nicht wesentlich von der mit feuchter Luft erhaltenen verschieden.

2) Bestrahlung durch die Knallgaslampe.

Zwei Versuche ergaben :

Tabelle 8.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	permanen. Druckzun. $a_6 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Temperatur des Apparates	Colum. 10 auf 26° red.
							$a_3 - a_6$	$a_2 - \frac{a_1 + a_5}{2}$			
1	1,15	3,30	4,15	3,25	3,45	2,30	0,70	1,00	0,85	21°	0,81
2	2,40	4,40	5,25	4,35	4,45	2,05	0,80	0,95	0,88	21°	0,84
										Mittel	0,83.

Vergleicht man das Mittel 0,83 mit dem oben für Luft, die bei 0° gesättigt war, gefundenen Werth 1,70 und beachtet, daß die permanente Druckzunahme bei kohlenensäurehaltiger Luft bedeutend größer ist, als im anderen Fall, so stellt sich heraus, daß feuchte bei 0° gesättigte Luft von den Strahlen des weißglühenden Kalkcylinders beträchtlich mehr absorbirt als trockene, von ihrer Kohlensäure nicht befreite atmosphärische Luft. Bei den vorläufigen Versuchen hatte ich gefunden, daß feuchte Luft von den Strahlen, die von einem hellroth glühenden Platinblech ausgesendet werden, ebenfalls viel mehr absorbirt als trockene, von ihrer Kohlensäure nicht befreite atmosphärische Luft. (Vgl. Ber. d. Oberh. Ges. f. Natur- u. Heilkunde Bnd. XX, S. 59). Es scheint in der That nur die Bunsen'sche Flamme zu sein, welche Strahlen aussendet, von denen fast ebensoviel durch beide Gasmischungen absorbirt werden, denn auch die folgenden Versuche über Bestrahlung von kohlenensäurehaltiger Luft durch auf 182° resp. 100° erwärmte Glaskolben ergeben, daß das Absorptionsvermögen dieser Luft für Strahlen jener

Wärmequellen bedeutend gegen dasjenige von feuchter, bei 0° gesättigter Luft zurücksteht.

3) Bestrahlung durch einen Glaskolben mit siedendem Anilin.

Drei Versuche ergaben folgende Resultate :

Tabelle 9.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	perman. Druckzun. $a_5 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Temperatur des Apparates	Colum. 10 auf 26° red.
							$a_3 - a_6$	$a_2 - \frac{a_1 + a_5}{2}$			
							$a_3$	$a_2$			
1	0,15	0,55	0,70	0,70	0,70	0,55	0,00	0,10	0,05	21°	0,05
2	0,25	0,65	0,80	0,75	0,70	0,45	0,10	0,15	0,13	21°	0,12
3	0,40	0,70	0,90	0,90	0,85	0,45	0,05	0,05	0,05	21°	0,05
										Mittel	0,07.

Die durch Absorption verursachte temporäre Druckzunahme ist zwar unzweifelhaft vorhanden, aber immerhin sehr gering, trotzdem die in das Gas hineingeschickte Strahlenmenge gar nicht so unbedeutend ist, denn die permanente Druckzunahme ist ungefähr ebenso groß wie bei Bestrahlung mit der Bunsen'schen Flamme. Die Zahlen der Tabelle 9 sind mit denen der Tabelle 3 zu vergleichen.

4) Bestrahlung durch einen Kolben mit siedendem Wasser.

Eine Messung der erhaltenen Curven hat nicht stattgefunden, denn eine genaue Betrachtung aller Curven ergab, daß keine Spur von einer temporären Druckzunahme aufzufinden war. Während somit feuchte, bei 0° gesättigte Luft bei Bestrahlung durch einen Glaskolben mit siedendem Wasser noch sehr merkliche Absorptionerscheinungen zeigte, waren solche mit meinem Apparat in trockener, nicht von Kohlensäure befreiter atmosphärischer Luft nicht mehr nachzuweisen.

Daß der Wasserdampf, welcher der atmosphärischen Luft beigemischt ist, wirklich in viel höherem Maße Strahlen eines auf 182° oder 100° erwärmten Glaskolbens absorbiert als die in der Atmosphäre enthaltene Kohlensäure, geht auch

daraus hervor, daß nachdem die trockene kohlensäurehaltige Luft im Absorptionsapparat durch direct aus dem Freien genommene, somit feuchte und kohlensäurehaltige Luft ersetzt worden war, die Bestrahlung mit dem einen oder dem anderen Kolben wiederum deutlich erkennbare temporäre Druckzunahmen erzeugte.

Es ist selbstverständlich nicht erlaubt, aus diesen Versuchen zu folgern, daß die Kohlensäure überhaupt nicht merklich Strahlen von so niederer Brechbarkeit absorbirt. Man kann sich leicht vom Gegentheil überzeugen, wenn man die Bestrahlungsversuche mit einer aus reiner Kohlensäure bestehenden Füllung des Absorptionsapparates anstellt; man erhält dann nämlich auch mit dem auf 100° erwärmten Glaskolben eine sehr merkliche temporäre Druckzunahme, die aber immerhin so klein ist, daß es erklärlich ist, weshalb man keine bemerkt in Luft, die auf 10000 Vol. ungefähr 3 Vol. Kohlensäure enthält.

---

§ 8. Es liegt nun nahe, aus den mitgetheilten Versuchen einen Schluß zu ziehen auf die in der die Erde umgebenden Atmosphäre stattfindende Absorption von Sonnenstrahlen und von Strahlen, die irdischen Quellen entstammen. Es dürfte zunächst wohl feststehen, daß der Wasserdampf und auch die Kohlensäure in der Atmosphäre Sonnenstrahlen absorbirt; vorausgesetzt immerhin, daß unter den Sonnenstrahlen, die die Atmosphäre erreichen, noch Strahlen vorhanden sind, welche von den beiden genannten Gasen absorbirt werden können. Diese Voraussetzung ist zwar wahrscheinlich und wird auch durch die bei verschiedener Sonnenhöhe und in verschiedener Höhe über Meer ausgeführten Messungen der zur Erdoberfläche gelangenden Sonnenwärme unterstützt, allein es wäre noch immer denkbar, daß die Sache sich anders verhielt, und es wäre immerhin erwünscht, wenn ein directer Beweis für die Richtigkeit jener Voraussetzung beigebracht werden könnte.

Die neue Methode dürfte dazu sehr geeignet sein, und

habe ich bereits einige Vorversuche in dieser Richtung angestellt. Ich habe nämlich den mit reiner Kohlensäure oder mit feuchter Luft gefüllten Absorptionsapparat der Sonnenstrahlung ausgesetzt und im Uebrigen in derselben Weise, wie bei den Versuchen mit Bestrahlung durch die Knallgaslampe, die Druckcurven angefertigt. Würde sich nun dabei ergeben haben, daß die Sonnenstrahlen eine temporäre Druckzunahme erzeugten, so wäre dadurch der gesuchte Nachweis gefunden worden. Die Versuche wurden in Gießen und in Pontresina (1800 m über Meer) im Sommer 1881 angestellt; an beiden Orten konnte ich aber eine Absorption mit Sicherheit nicht nachweisen. Daraus darf man aber noch keineswegs auf die Unrichtigkeit der erwähnten Voraussetzung schließen, man wird vielmehr zunächst vermuthen, daß auch der zuletzt genannte Beobachtungsort noch nicht hoch genug gelegen ist, daß mit anderen Worten über jenem Ort noch eine Luftschicht lagert, die so mächtig ist, daß die darin enthaltenen Mengen von Wasserdampf und Kohlensäure genügen, um die betreffenden Strahlen zum größten Theil zu absorbiren. Auch darf man nicht vergessen, daß ich bis jetzt bloß vorläufige Versuche darüber angestellt habe und exactere Versuche mit mehr geeigneten Apparaten deshalb zu einem anderen Resultat führen können. Wenn Leuchtgas oder mit Schwefelätherdampf vermischte Luft im Apparat der Sonnenstrahlung exponirt wurden, so erhielt ich an beiden Orten beträchtliche, auf Absorption deutende temporäre Druckänderungen. Ich beabsichtigte damals, die Beobachtungen an noch höher gelegenen Orten bei trockener Atmosphäre zu wiederholen, wurde aber durch schlechtes Wetter an der Ausführung verhindert. Soviel geht aber aus jenen Versuchen hervor, daß eine sehr merkliche Erwärmung der Atmosphäre durch directe Absorption von Sonnenstrahlen seitens der darin enthaltenen Mengen von Wasserdampf und Kohlensäure bis in nicht zu großer Höhe über Meer nicht stattfindet; in viel höheren Regionen können andere Verhältnisse bestehen.

Würde man die besprochene Voraussetzung gelten lassen,



und wollte man aus den weiter oben mitgetheilten Versuchen das Verhältniß ableiten der von dem Wasserdampf zu der von der Kohlensäure in der Atmosphäre absorbirten Sonnenwärme, so müßte die weitere Annahme gemacht werden, daß das Verhältniß der Strahlenmengen, welche von Wasserdampf resp. von Kohlensäure überhaupt absorbirt werden können, dasselbe ist bei der Sonnenstrahlung wie etwa bei der Strahlung der Kalklichtlampe. Hält man diese Annahme für erlaubt, oder giebt man auf Grund der Versuche mit Bestrahlung durch die Bunsen'sche Flamme wenigstens zu, daß das Verhältniß der überhaupt von beiden Gasen absorbirbaren Strahlenmengen bei der Sonnenstrahlung größer ist als bei der Bunsen'schen Flamme, so kommt man mit Hülfe der mitgetheilten Versuche zu dem Resultat, daß die Absorption von Sonnenstrahlen in atmosphärischer Luft, die bei 0° oder einer höheren Temperatur mit Wasserdampf gesättigt ist, zum größeren Theil von dem Wasserdampf und zum kleineren Theil von der Kohlensäure ausgeübt wird. In sehr trockener atmosphärischer Luft kann es dagegen vorkommen, daß die meiste Wärme von der Kohlensäure absorbirt wird.

Oben habe ich erwähnt, daß die unteren Schichten der Atmosphäre nur noch wenig Sonnenwärme direct absorbiren können; dieselben werden aber von der Wärme, welche die Erdoberfläche ausstrahlt, mehr absorbiren als die hoch über der Oberfläche gelegenen Schichten und zwar ergiebt sich aus den Versuchen über Bestrahlung durch die auf 182° resp. 100° erwärmten Glaskolben, daß dabei der Wasserdampf wiederum die Hauptrolle spielt, sobald die absolute Feuchtigkeit der Luft nicht gerade ungemein gering ist.

Auf die Bedeutung, welche diese Resultate für die Meteorologie haben, möchte ich hier nicht näher eingehen, hauptsächlich deshalb, weil ich mich zu wenig mit jener Disciplin beschäftigt habe; ich möchte aber noch Folgendes erwähnen. Feuchte atmosphärische Luft besitzt, wie zu erwarten war, wie aber auch durch Versuche direct nachgewiesen wurde (vgl. weiter unten), ein ihrem Absorptionsvermögen

entsprechendes Emissionsvermögen, welches bei nicht zu geringem Gehalt an Wasserdampf abermals hauptsächlich der Anwesenheit dieses Gases zuzuschreiben ist. Es wäre nun wohl von Interesse, zu untersuchen, in wie weit die Emission der unteren Schichten der Atmosphäre einen Einfluß auf meteorologische Verhältnisse ausübt; auch zu dieser Untersuchung würde sich die neue Methode, wie ich glaube, besser als eine andere mir bekannte, eignen. Im Princip müßte man so verfahren, daß man den Wasserdampf enthaltenden, oder mit Kohlensäure gefüllten Absorptionsapparat im Freien gegen Sonnenstrahlung geschützt aufstellte und bei verschiedener Höhe über Meer die durch Emission erzeugten temporären Druckerniedrigungen bestimmte. Verschiedene derartige Versuche habe ich schon angestellt, ihre Zahl ist aber zu gering, und der Apparat ist zu derartigen Beobachtungen noch nicht geeignet genug, um aus den erhaltenen Resultaten allgemeinere Schlüsse ableiten zu können. Durch diese orientirenden Versuche ist aber die Ausführbarkeit des Gedankens nachgewiesen und dieselben haben für eine eventuelle Untersuchung dieses Gegenstandes die nöthigen praktischen Winke gegeben. Ich bezweifle jedoch, daß ich eine derartige Untersuchung in Angriff nehmen werde, da mir, wie schon gesagt, meteorologische Fragen zu fern liegen.

---

§ 9. Ich habe auch einige Versuche angestellt, welche beweisen, daß die von Kohlensäure absorbirbare Strahlung sich auch qualitativ von der von Wasserdampf absorbirbaren unterscheidet. Zu diesem Zweck wurde zuerst trockene, mit Kohlensäure vermischte Luft im Absorptionsapparat der Bestrahlung durch die Bunsen'sche Flamme unterworfen; die Strahlen gingen aber nicht wie früher gewissermaßen direct von der Flamme in den Apparat, sondern mußten vorher eine 20 cm lange, 2,7 cm weite, innen hoch polirte und auf der nach der Flamme zugewandten Seite durch eine Steinsalzplatte verschlossene Messingröhre passiren, welche in der Verlängerung des Absorptionsappa-

rates aufgestellt und mit Hülfe eines Kautschukringes ziemlich luftdicht mit der Steinsalzplatte des Absorptionsapparates verbunden war. Im Uebrigen blieb die Versuchsanordnung dieselbe wie früher; daß bei diesen Versuchen der Bunsen'sche Brenner um so viel weiter von dem Absorptionsapparat entfernt war, als die Länge der eingeschalteten Messingröhre beträgt, braucht wohl kaum bemerkt zu werden. Durch zwei seitliche, mit Ansatzröhrchen versehene Oeffnungen konnte die Messingröhre mit atmosphärischer Luft resp. mit Kohlensäure gefüllt werden, so daß die Strahlen, bevor sie in den Absorptionsapparat gelangten, das eine Mal keine merkliche Absorption erlitten, im anderen Fall aber von Kohlensäure theilweise absorbirt wurden.

Befand sich nun trockene, von Kohlensäure nicht befreite atmosphärische Luft im Absorptionsapparat, so erhielt ich Curven, deren Messung folgendes ergab.

Tabelle 10.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	perman. Druckzun. $a_5 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Die Messing- röhre war ge- füllt mit :
							$a_3 - a_5$	$a_2 - \frac{a_1 + a_5}{2}$		
1	0,00	0,50	0,50	0,05	0,10	0,10	0,40	0,45	0,43	atmosph. Luft
2	—	0,05	0,00	0,05	0,05	0,10	0,00	0,00	0,00	Kohlensäure
3	0,15	0,60	0,60	0,20	0,20	0,05	0,40	0,40	0,40	atmosph. Luft
4	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00	0,05	0,03	Kohlensäure.

Eine Füllung des Absorptionsapparates mit trockener Luft, zu welcher Kohlensäure zugesetzt war, ergab :

Tabelle 11.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	perman. Druckzun. $a_5 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Die Messing- röhre war gefüllt mit :
							$a_3 - a_5$	$a_2 - \frac{a_1 + a_5}{2}$		
1	0,05	5,90	6,00	0,30	0,25	0,20	5,75	5,75	5,75	atmosph. Luft
2	0,00	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,05	0,10	0,13	Kohlensäure.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß die 20 cm lange mit Kohlensäure gefüllte Röhre genügt, um fast alle Strahlen (bis auf etwa 1 Proc.), die von Kohlensäure absorbiert werden können, zurück zu behalten; jene Röhre ist somit für diese Strahlen fast vollständig atherman, viel athermaner als alle weiter unten aufgeführten Substanzen, mit Ausnahme einer Alaunplatte.

Der bedeutend geringere Betrag der permanenten und temporären Druckzunahme, welcher bei den obigen Versuchen in Vergleich zu den früheren gefunden wurde, hängt nicht etwa damit zusammen, daß eine zweite Steinsalzplatte eingeschaltet war; directe Versuche ergaben, daß Steinsalz sowohl für die von Kohlensäure als für die von Wasserdampf absorbirbaren Strahlen sehr diatherman ist.

Nach diesen Versuchen wurde Luft aus dem Freien direct in den Absorptionsapparat geleitet; Psychrometerbeobachtungen hatten ergeben, daß dieselbe bei ungefähr  $+ 7^{\circ}$  gesättigt war. Die Bestrahlung fand in derselben Weise statt wie oben. Es wurde erhalten :

Tabelle 12.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	perman. Druckzun. $a_5 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus 9 Colum. 8 u. 9	Die Messing- röhre war gefüllt mit :
							$a_3 - a_5$	$a_2 - \frac{a_1 + a_3}{2}$		
1	0,15	1,25	1,35	0,30	0,30	0,15	1,05	1,00	1,03	Kohlensäure
2	0,20	1,40	1,40	0,35	0,30	0,10	1,10	1,15	1,13	"
3	0,30	1,60	1,65	0,35	0,35	0,05	1,30	1,25	1,28	atmosph. Luft
4	0,20	1,80	1,85	0,35	0,40	0,20	1,45	1,50	1,48	"

Vergleicht man diese Resultate mit den in den Tabellen 10 und 11 enthaltenen, so findet man, daß die in der langen Messingröhre enthaltene Kohlensäure jedenfalls nur sehr wenig von den Strahlen absorbiert, die von Wasserdampf absorbiert werden können. Das Absorptionsspectrum des Wasserdampfes ist folglich jedenfalls sehr verschieden von dem der Kohlensäure. Zu weiteren Schlüssen berechtigen die Versuche nicht.



Es wurde nun weiter untersucht, welchen Einfluß das Einschalten von anderen Substanzen in den Weg der von der Bunsen'schen Flamme kommenden Strahlen auf die Gröfse der in trockener, kohlensäurehaltiger Luft sowie in feuchter, kohlensäurefreier Luft erzeugte temporäre Druckerhöhung hatte. Zu diesem Zweck wurde der Bunsen'sche Brenner wieder in die gewöhnliche Stellung dicht vor dem Absorptionsapparat gebracht und eine Anzahl von Bestrahlungsversuchen gemacht. Bei dem ersten Versuch jeder Reihe gingen die Strahlen wie früher direct in den Absorptionsapparat; bei den folgenden befand sich vor der Oeffnung des Schirmes H in Fig. 1 und 2 jedesmal einer der folgenden Körper: eine Seifenlamelle; die nicht berufste Hälfte einer 0,03 cm dicken Birmingham-Glasplatte; eine Spiegelglasplatte von 0,16 cm Dicke; ein Hartgummiblatt von ungefähr 0,02 cm Dicke; die so stark berufste andere Hälfte der Birminghamplatte, daß das Licht der Kalklichtlampe durch die vor das Auge gehaltene Platte nicht sichtbar war und schliesslich eine 0,4 cm dicke Alaunplatte. Die Seifenlamelle wurde mittelst eines Drahtringes vor die Oeffnung des Schirmes gebracht, und zwar nicht wie die anderen genannten Körper schon vor Anfang des betreffenden Bestrahlungsversuches, denn dann platzte die Lamelle immer im Augenblick, wo durch Oeffnen des Brennerhahnes die Bestrahlung anfang, sondern in der Weise, daß die Lamelle, während die Flamme in voller Gröfse brannte, abwechselnd vorgehalten und entfernt wurde. Die dadurch erzeugte Verminderung resp. Vermehrung des vorhandenen temporären Ueberdruckes wurde durch Messung der betreffenden Curven bestimmt; da die gemessenen Abstände andere sind als die in den obigen Tabellen mit  $a_1$  u. s. w. bezeichneten, so habe ich dieselben nicht in den folgenden Tabellen aufgenommen und nur das aus denselben sich ergebende Resultat mitgetheilt. Weshalb ich gerade diese Substanzen wählte, braucht nicht erwähnt zu werden, und will ich nur bemerken, daß die nicht berufste Birminghamplatte deshalb auf Absorption untersucht wurde, weil ein aus derselben geschnittenes Stück bei späteren Bestrahlungsver-

suchen, von denen weiter unten die Rede ist, statt der Steinsalzplatte zum Verschließen des Absorptionsapparates benutzt wurde.

Die Resultate dieser Versuche sind in den folgenden Tabellen zusammengestellt.

a) Versuche mit trockener, von ihrer Kohlensäure nicht befreiter atmosphärischer Luft.

Tabelle 13.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	perman. Druckzun. $a_5 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Die Strahlen gingen vorher durch :
							$a_3 - a_5$	$a_2 - \frac{a_1 + a_2}{2}$		
1	0,15	3,20	3,35	0,70	0,70	0,55	2,65	2,75	2,70	atm. Luft
2	0,20	2,30	2,50	0,60	0,65	0,45	1,85	1,85	1,85	eine Birm.-platte
3	0,20	0,65	0,65	0,35	0,35	0,15	0,30	0,35	0,33	eine Spiegelglasplatte
4	0,15	0,95	1,15	0,40	0,45	0,30	0,70	0,65	0,68	eine Hartgummiplatte
5	0,10	0,60	0,70	0,30	0,40	0,30	0,35	0,35	0,35	eine berufste Birm.-platte.

b) Versuche mit trockener Luft, zu welcher Kohlen- säure zugesetzt war.

Tabelle 14.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	perman. Druckzun. $a_5 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Die Strahlen gingen vor- her durch :
							$a_3 - a_5$	$a_2 - \frac{a_1 + a_2}{2}$		
1	0,15	19,40	19,70	0,90	0,85	0,70	18,85	18,90	18,88	atm. Luft.
2	0,15	13,90	14,10	0,65	0,65	0,50	13,45	13,50	13,48	eine Birm.-platte.
3	0,20	3,35	3,45	0,35	0,30	0,10	3,15	3,10	3,13	eine Spiegelglasplatte.
4	0,25	7,20	7,90?	0,80	0,75	0,50	7,15?	6,70	6,93	eine Hartgummiplatte.
5	—0,25	3,20	3,45	0,60	0,60	0,85	2,85	3,00	2,93	eine berufste Birm.-platte.
6	0,20	0,20	0,25	0,30	0,25	0,05	0,00	0,00	0,00	eine Alaunplatte.

c) Versuche mit kohlenensäurehaltiger Luft, die bei 13° bis 15° gesättigt war.

Tabelle 15.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	perman. Druckzun. $a_5 - a_1$	permanente Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Die Strahlen gingen vorher durch :
							$a_3 - a_5$	$a_2 - \frac{a_1 + a_5}{2}$		
1	0,05	3,90	4,20	0,55	0,50	0,45	3,70	3,60	3,65	atm. Luft.
2	0,10	2,15	2,25	0,35	0,35	0,25	1,90	1,90	1,90	eine Birm.-platte.
3	0,15	1,50	1,55	0,30	0,25	0,10	1,30	1,30	1,30	eine Spiegelglas- platte.
4	0,05	1,30	1,35	0,45	0,50	0,45	0,80	1,00	0,90	eine Hartgummi- platte.
5	0,05	0,40	0,50	0,40	0,35	0,30	0,15	0,20	0,18	eine berufste Birm.- platte.
6	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	eine Alaunplatte.

Tabelle 16.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	perman. Druckzun. $a_5 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Die Strahlen gingen vorher durch :
							$a_3 - a_5$	$a_2 - \frac{a_1 + a_5}{2}$		
1	0,15	4,20	4,45	0,70	0,65	0,50	3,80	3,80	3,80	atm. Luft.
2	0,15	2,30	2,50	0,60	0,60	0,45	1,90	1,90	1,90	eine Birm.-platte.
3	0,05	1,55	1,60	0,35	0,35	0,30	1,25	1,35	1,30	eine Spiegelglas- platte.
4	0,15	1,45	1,75	0,60	0,60	0,45	1,15	1,10	1,13	eine Hartgummi- platte.
5	0,00	0,40	0,65	0,55	0,55	0,55	0,10	0,10	0,10	eine berufste Birm.- platte.

Nimmt man an, daß die bei einer und derselben Füllung des Absorptionsapparates entstehenden temporären Druckzunahmen den von der betreffenden Gasmischung absorbierten Wärmemengen proportional sind (vgl. S 00), so kann man mit Hilfe der in den vier obigen Tabellen enthaltenen Zahlen die von den einzelnen Substanzen durchgelassene, von der einen oder der anderen Gasmischung absorbierbare Wärmemenge berechnen in Procenten der auffallenden Wärmemenge von derselben Strahlengattung. In dieser Weise erhält man die Zahlen der folgenden Tabelle.

Tabelle 17.

Durchgelassen wurden von der	Strahlen, die absorbirt werden können					
	von feuchter Luft			von kohlenensäurehalt. Luft		
	Tab. 16	Tab. 15	Mittel	Tab. 14	Tab. 13	Mittel
Seifenlamelle	72	72	72 Proc.	85	90	88 Proc.
Birminghamplatte	50	52	51 "	71	69	70 "
Spiegelglasplatte	34	36	35 "	17	12	15 "
Hartgummiplatte	30	25	28 "	37	26	32 "
berufste B.-platte	3	5	4 "	15	14	15 "
Alaunplatte	—	0	0 "	0	—	0 "

Da die in Rede stehenden Versuche mehr dazu dienen sollen, um sich einigermaßen orientiren zu können, als wohl um den betreffenden Gegenstand vollständig zu erschöpfen, so habe ich darauf verzichtet, eine bessere Uebereinstimmung in den Resultaten zu erzielen; dazu wäre vor allen Dingen nöthig gewesen, daß ich Platten von überall gleicher Dicke und Beschaffenheit genommen hätte, was thatsächlich nur annähernd der Fall war.

Wie zu erwarten war, absorbirt die Seifenlamelle relativ mehr von den Strahlen, die von Wasserdampf absorbirt werden können, als von denen, die die Kohlensäure zu verschlucken im Stande ist. Eigenthümlich ist das Verhalten der beiden Glasplatten; während die dünne Birminghamglasplatte durchlässiger zu sein scheint für die zuletzt genannte Strahlengattung, erweist sich die dickere Spiegelglasplatte als durchlässiger für die zuerst genannten Strahlen. Daß der Rufs nicht vollständig atherman ist, war bekannt.

Zu diesen Versuchen gehören eigentlich noch diejenigen, welche ich über die Durchlässigkeit des Steinsalzes für die erwähnten Strahlen anstellte und deshalb will ich derselben kurz erwähnen. Wenn eine polirte Steinsalzplatte zwischen der Flamme und dem Absorptionsapparat aufgestellt wurde, so änderte sich dadurch die von dem Inhalt des Apparates absorbirte Wärmemenge kaum merklich; die beobachtete geringe Abnahme der temporären Druckerhöhung dürfte wohl hauptsächlich auf Rechnung der Reflexion von Strahlen an den beiden Oberflächen der Platte zu bringen sein. Wurde



eine stark behauchte und deshalb feuchte Steinsalzplatte in den Weg der Strahlen gebracht, so nahm dadurch die temporäre Druckzunahme ab, aber nicht so viel, wie wenn eine Seifenlamelle zwischen gehalten wurde. Eine anfänglich polirte, durch Behauchen und wieder Trocknen matt gewordene Steinsalzplatte bildete für die Strahlen ein ziemlich beträchtliches Hinderniß; durch Behauchen einer solchen Platte konnte ihre Durchlässigkeit vermehrt werden, wenigstens für so lange als die Hauchschieht nicht wieder verdunstet war. Dieses auf den ersten Blick vielleicht befremdende Resultat ist begreiflich, wenn man bedenkt, daß durch den niedergeschlagenen Hauch die rauhe Oberfläche der Platte vorübergehend geglättet wird. Die Durchlässigkeit nimmt dann auch allmählich wieder ab, je mehr die Hauchschieht verdunstet. Ich führe diese Details an, weil dieselben für Strahlungsversuche, bei welchen Steinsalz verwendet wird, von praktischer Bedeutung sein dürften.

---

§ 10. Um die in der Tabelle 17 enthaltenen Zahlen berechnen zu können, habe ich annehmen müssen, daß die im Absorptionsapparat bei einer und derselben Füllung erzeugten temporären Druckzunahmen den von dem eingeschlossenen Gas absorbirten Wärmemengen proportional seien. Daß ich zu dieser Annahme berechtigt war, geht aus den folgenden Versuchen hervor.

Der Absorptionsapparat wurde mit Kohlensäure gefüllt und der Bunsen'sche Brenner so weit von dem Schirm H entfernt, daß eine kreisförmige, am Rand mit 16 äquidistanten und gleich großen Oeffnungen versehene Pappescheibe (Fig. 14) zwischen Brenner und Schirm vertical aufgestellt werden konnte. Die Scheibe wurde um eine horizontale, durch ihren Mittelpunkt gehende Axe ziemlich rasch gedreht; die Oeffnungen derselben gingen gerade an der Oeffnung des Schirmes H vorbei, so daß eine intermittirende Bestrahlung der Kohlensäure stattfand. Ich setze nun die Wärmemenge, welche in einer gewissen Zeit von der Bunsen'schen Flamme

durch die 16 Oeffnungen der drehenden Scheibe hindurch in den Absorptionsapparat hineingeschickt wurde, gleich Eins; von dieser Wärmemenge wird ein bestimmter Bruchtheil durch die Kohlensäure absorbirt. Wurden nun vor einem zweiten Versuch die Löcher 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 und 17 der Scheibe mit Staniol zugeklebt, so gelangte beim Drehen der Scheibe nur noch eine Wärmemenge gleich  $\frac{1}{2}$  in derselben Zeit in den Absorptionsapparat. Da nun die Strahlung auf mechanische Weise, also ohne Aenderung der Natur der Strahlen geschwächt worden war, so wurde auch wiederum derselbe Bruchtheil von der in die Kohlensäure eindringenden Wärme absorbirt. Folglich verhalten sich die absorbirten Wärmemengen im ersten und zweiten Fall wie 1 zu  $\frac{1}{2}$ . Durch Zukleben von 4 weiteren Löchern der Scheibe kann bei einem dritten Versuch jene Wärmemenge nochmals auf die Hälfte reducirt werden, u. s. w.

Eine einfache Ueberlegung und übrigens auch der Versuch ergibt, daß, eine nicht gar zu langsame Drehung der Scheibe vorausgesetzt, die in einer gewissen Zeit von der Kohlensäure absorbirte Wärmemenge innerhalb weiter Grenzen von der Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe unabhängig ist.

Die absorbirte Wärme erzeugt nun in der Kohlensäure eine temporäre Druckzunahme, welche der intermittirenden Bestrahlung entsprechend sich während der Bestrahlung periodisch ändert, und welche, wie früher nachgewiesen wurde, Töne hervorrufen kann. Bei einer einigermaßen raschen Drehung der Scheibe sind die periodischen Druckschwankungen sehr gering und verlaufen so rasch, daß der Hebel der Marey'schen Trommel nicht mehr im Stande ist, denselben zu folgen. Stellt man deshalb bei drehender Scheibe Bestrahlungsversuche in derselben Weise an, wie weiter oben mitgetheilt wurde, so erhält man auch Bestrahlungscurven, deren Gestalt sich im wesentlichen nicht von der der oben beschriebenen Curven unterscheidet, und deren Ausmessung ein Maß liefert für die durch Absorption im

Gas entstandene, genau genommen mittlere temporäre Druckzunahme.

Eine Versuchsreihe, bei welcher die Anzahl der offenen Scheibenlöcher abwechselnd gleich 16, 8, 4, 4, 8 und 16 war, lieferte folgende Werthe der entsprechenden temporären Druckzunahme.

Bei stillstehender Scheibe	Bei rotirender Scheibe m. 16 L.	Bei rotirender Scheibe m. 8 L.	Bei rotirender Scheibe m. 4 L.
5,35 mm	2,80 mm	1,45 mm	0,75 mm.

Die erste Zahl wurde erhalten, wenn eine Oeffnung der ruhenden Scheibe vor der Oeffnung des Schirmes H sich befand; dieselbe ist aus manchen Gründen nicht vergleichbar mit den übrigen Zahlen; d. h. es braucht die zweite Zahl nicht etwa halb so groß als die erste zu sein. Dagegen ist das Verhältniß der drei übrigen Zahlen sehr nahezu gleich dem oben gefundenen Verhältniß der bei jedem Versuch von dem Gas im Absorptionsapparat absorbirten Wärmemengen; was zu beweisen war\*).

§ 11. Alle im Vorstehenden beschriebenen Versuche wurden entweder mit reiner Luft oder reinem Wasserstoff, oder mit Mischungen von Luft und Wasserdampf resp. Kohlensäure angestellt; bei Gelegenheit der Besprechung der

---

\*) Bnd. IV der elektrotechnischen Zeitschrift (1883) enthält auf S. 262 u. ff. einen Aufsatz von Hrn. Hammerl, worin derselbe ein Photometer beschreibt, welches nach einem Vorschlag von Hrn. Pfaunder ausgeführt wurde. Das Princip, welches dem Instrument zu Grunde liegt, ist genau dasselbe wie das oben mitgetheilte; die Strahlen werden nämlich auf mechanische Weise durch eine mit Ausschnitten versehene Scheibe geschwächt. Ich habe das Princip bereits im Jahre 1880 angewendet (Ber. d. Oberh. Ges. f. Nat.- u. Heilkunde Bnd. XX) und auch Hr. F. Guthrie hat im Jahre 1879 ein ähnliches Photometer construirt, wie ich aus den Beibl. Bnd. IX S. 695 erfahren habe.

Einwände, welche gegen die Untersuchungsmethode erhoben werden können, theilte ich mit, daß auch Bestrahlungsversuche mit feuchtem Wasserstoff gemacht wurden; das Nähere darüber soll jetzt angegeben werden.

In welcher Weise dem auf elektrolytischem Wege hergestellten Wasserstoff eine bestimmte Quantität Wasserdampf beigemischt wurde, habe ich schon mitgetheilt; die Bestrahlungsversuche wurden mit demselben Apparat und in derselben Weise aufgeführt wie bei Luft u. s. w. Eine Versuchsreihe möchte ich etwas ausführlicher mittheilen.

Nachdem an den drei vorhergehenden Tagen nur trockener Wasserstoff in den Absorptionsapparat eingeleitet und untersucht worden war, wurde am Mittag des ersten Tages während drei Stunden ununterbrochen feuchter, bei 0° bis 2° gesättigter Wasserstoff durch den Apparat getrieben. Nach Ablauf dieser Zeit wurden zwei Bestrahlungsversuche mit der Bunsen'schen Flamme direct hinter einander gemacht (Curve 1 und 2; Tab. 18). Darauf strich nochmals während zwei Stunden feuchter, bei ungefähr 6° gesättigter Wasserstoff durch den Apparat; diese Füllung wurde zweimal mit der Bunsen'schen Flamme (Curve 3 und 4; Tab. 18) und viermal mit einem jedesmal wieder auf 100° erwärmten Glaskolben bestrahlt (Curve 5, 6, 7 und 8; Tab. 18). Bei einem direct darauf folgenden Versuch wurde keine Strahlenquelle vor den Apparat gestellt, im Uebrigen aber gerade so verfahren, als wäre eine solche vorhanden gewesen; der Zweck dieses Versuches war, um zu erfahren, ob vielleicht die Strahlung der im Beobachtungszimmer befindlichen Gasflammen, die zur Beleuchtung dienten, die bei den Versuchen mit dem Glaskolben gefundene Absorption verursacht hätten. Es wäre dieß möglich gewesen, allein es ergab sich, daß ein Einfluß dieser Flammen thatsächlich nicht bemerkbar war. Nach diesem Versuch wurde, da am folgenden Tage nicht gearbeitet werden konnte, und die Steinsalzplatte vielleicht beim langen Stehen des Apparates durch den feuchten Wasserstoff Noth gelitten hätte, trockener Wasserstoff eingeleitet. Der Apparat blieb dann mit verschlossenen Hähnen



bis zum dritten Tag stehen; an diesem Tag fingen die Versuche damit an, daß während anderthalb Stunden, feuchter bei 0° gesättigter Wasserstoff durchgeleitet wurde; dann machte ich vier Bestrahlungsversuche mit einem jedesmal wieder auf 182° erwärmten Glaskolben (Curve 9, 10, 11 und 12; Tab. 18) und liefs nun noch während 2½ Stunden bei 0° gesättigten Wasserstoff durch den Apparat gehen. Darauf stellte ich noch drei Bestrahlungsversuche mit dem Kolben von 182° an (Curve 13, 14 und 15; Tab. 18). Schliesslich wurde eine neue Füllung mit dem Kalklicht bestrahlt und die Curven 16 und 17 der Tab. 18 erhalten.

Der Kürze halber möchte ich nicht alle direct gemessenen Gröfsen ( $a_1$ ,  $a_2$  u. s. w.), sondern nur die daraus berechneten permanenten und temporären Druckzunahmen mittheilen :

Tabelle 18.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Bestrahlung durch	Bunsen'sche Flamme				Glaskolben von 100°			
Nr. der Curven	1	2	3	4	5	6	7	8
perman. Druckzunahme	0,40	0,45	0,35	0,40	0,20	0,10	0,05	0,00
temp. Druckzunahme	$\begin{cases} 0,30 \\ 0,30 \end{cases}$	$\begin{cases} — \\ 0,35 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,45 \\ 0,50 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,40 \\ 0,50 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,05 \\ 0,00 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,05 \\ 0,05 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,05 \\ 0,00 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,05 \\ 0,05 \end{cases}$
Temperatur des Bades	0°-2°	0°-2°	$\pm 6^\circ$	$\pm 6^\circ$	$\pm 6^\circ$	$\pm 6^\circ$	$\pm 6^\circ$	$\pm 6^\circ$
Temperatur d. Appar.	25°	25°	25°	25°	25°	25°	25°	25°

Bestrahlung durch	Glaskolben von 182°							Knallgas-lampe	
Nr. der Curven	9	10	11	12	13	14	15	16	17
perm. Druckzun.	0,35	0,30	0,55	0,30	0,30	0,15	0,25	1,25	1,15
temp. Druckzun.	$\begin{cases} 0,10 \\ 0,10 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,05 \\ 0,10 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,10 \\ 0,15 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,10 \\ 0,05 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,10 \\ 0,10 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,05 \\ 0,10 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,05 \\ 0,00 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,20 \\ 0,15 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,20 \\ 0,35 \end{cases}$
Temper. d. Bades	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	$\pm 2,5^\circ$	$\pm 2,5^\circ$
Temp. d. Appar.	23°	23°	23°	23°	?	?	?	26°	26°

Aus der Tabelle geht hervor : erstens, daß die Strahlen einer jeden der vier Wärmequellen in feuchtem Wasserstoff ebenso wie in feuchter Luft eine temporäre Druckzunahme erzeugen, die durch die Anwesenheit von Wasserdampf bedingt ist; zweitens, daß die durch dieselbe Bestrahlungsart erzeugte temporäre Druckzunahme in feuchtem Wasserstoff bedeutend kleiner ist als die in gleich feuchter Luft; drittens, daß das Verhältniß der durch verschiedene Wärmequellen hervorgebrachten temporären Ueberdrücke im Großen und Ganzen dasselbe ist bei feuchtem Wasserstoff und bei feuchter Luft; auch jetzt findet man z. B., daß von dem intensiven Knallgaslicht relativ weniger Strahlen absorbirt werden, als von der Bunsen'schen Flamme; viertens, daß die temporäre Druckzunahme auch bei feuchtem Wasserstoff mit zunehmendem Gehalt an Wasserdampf wächst.

Diese Resultate sind leicht zu erklären, wenn man die Absorption durch Wasserdampf als die Ursache der temporären Druckzunahme betrachtet, und wenn man gleichzeitig beachtet, daß Wasserstoff und Luft sich durch ihre Viscosität, ihr thermisches Leistungsvermögen und ihre spezifische Wärme sehr von einander unterscheiden. Dieselben sind dagegen kaum verständlich, wenn man den beobachteten Druckänderungen andere Ursachen zu Grunde legt. Daß der feuchte Wasserstoff keine anderen absorbirenden Gase enthielt, kann ich mit Bestimmtheit versichern; davon habe ich mich wiederholt und oft überzeugt.

In Fig. 15 ist die dritte Curve der Tabelle 18 wieder gegeben. Aus einem Vergleich dieser Curve mit einer der bei feuchter Luft gefundenen Curven ergibt sich ein Unterschied in Bezug auf die Gestalt derselben. Die erstere steigt nach Anfang der Bestrahlung und fällt nach Unterbrechung der Bestrahlung viel rascher als letztere. Dieser Unterschied erklärt sich dadurch, daß der stationäre Zustand in feuchtem Wasserstoff in Folge der physikalischen Eigenschaften des Wasserstoffs viel eher erreicht werden muß, als in feuchter Luft. Derselbe Unterschied ist wahrzunehmen bei den Curven, die bei Bestrahlung von Mischungen von Wasserstoff

resp. Luft mit Kohlensäure erhalten wurden. (Vgl. die Abhandlung von Hrn. Heine.)

---

§ 12. Um den Einfluß zu untersuchen, den die Beschaffenheit der inneren Oberfläche des Absorptionsapparates auf die durch Bestrahlung erzeugte temporäre Druckzunahme hat, wurde der beschriebene Absorptionsapparat auseinander genommen, inwendig mit Schellackfirniß überzogen, resp. durch eine brennende Wachskerze beruht und wieder zusammengesetzt. Im Uebrigen wurde gerade so verfahren wie es auf S. 83 u. ff. mitgetheilt ist. Es wäre wohl von Interesse gewesen, zu erfahren, wie nicht nur durch das Auftragen einer Schellack- oder Rußschicht, sondern auch durch das Ersetzen der polirten Goldschicht durch eine Schicht eines anderen Metalles die temporäre Druckzunahme sich bei gleich bleibender Bestrahlung und Füllung des Absorptionsapparates geändert haben würde; allein ich habe vorläufig darauf verzichten müssen, meine Versuche nach dieser Richtung hin auszudehnen; auch muß ich bemerken, daß den Versuchen mit gefirnißtem und beruhtem Apparat nicht diejenige Ausdehnung gegeben wurde, welche zu einer erschöpfenden Behandlung des betreffenden Gegenstandes erforderlich gewesen wäre; ich habe durch diese Versuche zunächst bloß nachweisen wollen, daß die möglicherweise verschiedene Beschaffenheit der mit dem auf Absorption zu prüfenden Gas in Berührung stehenden Oberfläche des Absorptionsapparates nicht die Ursache sein kann der beobachteten Verschiedenheit in dem Verhalten von feuchten und trockenen Gasen während der Bestrahlung.

Zuerst wurden mit dem beruhten Apparat verschiedene Versuche in folgender Reihenfolge gemacht. Nach dem Beruhten und Zusammensetzen des Apparates strich während  $3\frac{1}{2}$  Stunden reine Luft durch. Erster Bestrahlungsversuch mit der Bunsen'schen Flamme: eine geringe temporäre Druckzunahme war noch zu bemerken. Der Apparat blieb mit verschlossenen Hähnen eine Stunde lang stehen, um zu

erfahren, ob aus der Rufs-schicht fremde Gase entwichen; Zweiter Bestrahlungsversuch: es ergab sich eine etwas grössere temporäre Druckerhöhung als vorhin. Darauf strich reine Luft während  $1\frac{1}{2}$  Stunden durch. Dritter Bestrahlungsversuch wie oben; eine temporäre Druckzunahme war nicht mehr zu bemerken. Der Apparat blieb mit verschlossenen Hähnen bis zum folgenden Tag stehen und es wurde derselbe Inhalt nochmals mit der Bunsen'schen Flamme bestrahlt; es war wiederum eine Spur von temporärer Druckerhöhung vorhanden. Nach einer Stunde, während welcher reine Luft durchströmte, folgte der fünfte Bestrahlungsversuch mit der Bunsen'schen Flamme; keine Spur von temporärer Druckerhöhung war aufzufinden. Dieselbe Füllung wurde dann mit der Knallgaslampe bestrahlt, wobei sich wiederum eine geringe temporäre Druckerhöhung ergab. Dann strömte noch während  $2\frac{1}{4}$  Stunden reine Luft durch, das Knallgaslicht erzeugte aber noch immer eine Spur von temporärer Druckzunahme, die auch nicht verschwand, nachdem reine Luft noch während mehreren Stunden durchgeleitet war. Dagegen war bei Bestrahlung mit der Bunsen'schen Flamme nichts mehr von einer temporären Druckzunahme zu bemerken.

Aus diesen und ähnlichen Versuchen geht nun hervor, daß die Strahlen der Bunsen'schen Flamme in reiner Luft keine temporären Druckerhöhungen erzeugen, mag dieselbe in dem polirten oder in dem beruften Absorptionsapparat eingeschlossen sein. Die intensive Strahlung der Knallgaslampe aber scheint noch derartige Druckänderungen, wenn auch in kaum erkennbarer Grösse zu bewirken. Da auch dasselbe bei Wasserstoff gefunden wurde, so halte ich diese Erscheinung nicht für zufällig; man könnte meinen, daß dieselbe dadurch hervorgebracht werde, daß die Luft oder der Wasserstoff durch die von dem Rufs vielleicht absorbirten Gase verunreinigt werden; dieselbe kann aber auch daher kommen, daß die Temperatur des Rufs während der so sehr intensiven Bestrahlung durch das Kalklicht merklich höher ist als die Temperatur des Gefäßes; daß mit anderen Worten der Rufs selbst die Rolle eines absorbirenden Gases spielt. Erstere



Annahme halte ich nicht für wahrscheinlich, einmal weil die Erscheinung unverändert bestehen blieb, auch wenn die reinen Gase während mehreren Tagen durch den Absorptionsapparat geleitet wurden, und zweitens, weil der Betrag der temporären Druckzunahme in Wasserstoff und in Luft gleich gering war, was nicht gut mit der Annahme, daß ein fremdes absorbirendes Gas in geringer Menge vorhanden gewesen wäre, in Einklang zu bringen ist. Außerdem spricht gegen jene Annahme die Thatsache, daß die Erscheinung nur noch bei der Bestrahlung durch die Knallgaslampe und nicht mehr bei der durch die Bunsen'sche Flamme eintrat, während oben gefunden wurde, daß wenigstens Kohlensäure und Wasserdampf mehr von den Strahlen der letzteren als von denen der ersteren Wärmequelle absorbiren. Dagegen möchte ich die zweite Erklärung als die wahrscheinlich richtige bezeichnen. Der lockere Rufsüberzug besitzt nämlich diejenigen Eigenschaften, welche es möglich machen, daß die Temperatur desselben während der Bestrahlung merklich höher ist, als diejenige der Metallwände des Absorptionsapparates; diese Eigenschaften sind: hohes Absorptionsvermögen, geringe Leitungsfähigkeit und relativ geringe Masse. Der Vorgang ließe sich folgendermaßen denken: wenn die Bestrahlung anfängt, so steigt die Temperatur des Rufses rasch über die Temperatur der Gefäßwand und ebenso rasch wird diese Temperaturdifferenz nach Unterbrechung der Bestrahlung wieder ausgeglichen; da nun das im Absorptionsapparat befindliche Gas doch zunächst mit der Rufsschicht in Berührung ist, so werden die geschilderten Temperaturänderungen des Rufses wenigstens theilweise auf dasselbe übertragen werden und so die gefundenen geringen temporären Druckzunahmen erzeugen. Ob sich die Sache wirklich so verhält, müßte durch besondere Versuche entschieden werden; als Stütze für die gegebene Erklärung darf wohl die Thatsache angeführt werden, daß bei intermittirender Bestrahlung eines wenig absorbirenden Gases die Intensität des erzeugten Tones bedeutend zunimmt, wenn die intermittirenden Strahlen auf eine

inwendig beruſtete Stelle des das Gas enthaltenden Gefäſſes gerichtet werden.

Ich will aber nicht unterlaſſen, nochmals zu bemerken daſs die in Rede ſtehenden temporären Druckänderungen ſo gering ſind, daſs ſie nur von einem ſehr geübten Auge, das die betreffende Curve ſchräg betrachtet, wahrgenommen werden können (vgl. S. 87), und daſs ſie bei den Verſuchen mit feuchter oder kohlenſäurehaltiger Luft gar keine Rolle ſpielen können.

Die bei den zuletzt mitgetheilten Beſtrahlungsverſuchen mit reiner Luft erzeugten permanenten Druckzunahmen betragen im Mittel 0,75 mm resp. 3,40 mm, je nachdem die Beſtrahlung durch die Bunsen'sche Flamme oder durch die Knallgaslampe geſchah; daſs dieſe Zahlen gröſſer ſind als die entſprechenden, mit dem nicht beruſteten Apparat erhaltenen, iſt erklärlich und zeigt, daſs von der Wärmemenge, welche in den polirten Apparat eindringt, ungefähr die Hälfte durch Reflexion wieder hinausgeſchickt wird.

Ich fahre nun mit der Mittheilung der Verſuche, die mit dem beruſteten Abſorptionsapparat angeſtellt wurden, fort.

Nach dem letzten Verſuch mit reiner Luft ſtrich trockene, von ihrer Kohlenſäure nicht befreite atmosphäriſche Luft während  $1\frac{1}{2}$  Stunden durch den Apparat; darauf folgte der erſte Beſtrahlungsverſuch mit der Bunsen'schen Flamme (Curve 1, Tab. 19). Nun blieb der Apparat mit verſchloſſenen Hähnen  $1\frac{1}{2}$  Stunden ſtehen, um zu prüfen, ob der Ruſs eine merkliche Quantität von der Kohlenſäure abſorbierte; dann wurde der zweite Verſuch angeſtellt (Curve 2, Tab. 19). Zwischen dem zweiten und dritten Verſuch (Curve 3, Tab. 19) verliefen 3 Stunden, während welcher Zeit fortwährend trockene, kohlenſäurehaltige atmosphäriſche Luft durchſtrömte. Am folgenden Tage wurde derſelbe Inhalt des Apparates nochmals mit der Bunsen'schen Flamme beſtrahlt und eine Druckcurve angefertigt (Curve 4, Tab. 19). Die Meſſung dieſer vier Curven ergab :

Tabelle 19.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	perman. Druckzun. $a_5 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Temperatur des Apparates
							$a_3 - a_5$	$a_2 - \frac{a_1 + a_5}{2}$		
1	-0,10	1,15	1,50	0,70	0,65	0,75	0,85	0,85	0,85	?
2	0,20	1,40	1,65	0,90	0,90	0,70	0,75	0,80	0,78	?
3	0,05	1,10	1,35	0,65	0,65	0,60	0,70	0,75	0,73	?
4	-0,15	1,20	1,60	0,70	0,75	0,90	0,85	0,90	0,88	23°
Mittel						0,75	Mittel		0,80.	

Nach dem zuletzt erwähnten Versuch strich während  $3\frac{3}{4}$  Stunden feuchte Luft durch den Absorptionsapparat; nach Verlauf dieser Zeit wurde ein erster Bestrahlungsversuch mit der Bunsen'schen Flamme angestellt (Curve 1, Tab. 20). Der zweite Versuch folgte, nachdem ich noch während 1 Stunde feuchte Luft durchgeleitet hatte (Curve 2, Tab. 20) und der dritte Versuch ungefähr 5 Stunden nach dem zweiten, während welcher Zeit der Apparat mit verschlossenen Hähnen sich selbst überlassen blieb (Curve 3, Tab. 20). Die so erhaltenen Curven ergaben :

Tabelle 20.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	perman. Druckzun. $a_5 - a_1$	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Temperatur	
							$a_3 - a_5$	$a_2 - \frac{a_1 + a_5}{2}$		des Bades	des Appar.
1	0,00	1,90	2,30	0,80	0,75	0,75	1,55	1,55	1,55	$\pm 16,5^0$	23°
2	0,00	1,65	1,95	0,80	0,80	0,80	1,15	1,25	1,20	13°	23°
3	0,10	1,80	2,15	0,85	0,85	0,75	1,30	1,30	1,30	13°	23°
Mittel						0,75	Mittel		1,25	(aus den beiden letzten Versuchen).	

Auf die Versuche mit feuchter Luft folgten 10 Versuche mit reinem Wasserstoff. Das Ergebniss derselben war, daß die Bestrahlung durch die Bunsen'sche Flamme keine Spur von temporärer Druckzunahme erzeugte, daß also der Wasserstoff sich während der Bestrahlung in dem beruften Absorptionsapparat in dieser Beziehung gerade so verhielt, wie

in dem polirten. Dagegen fand ich, wie oben schon bemerkt, bei Bestrahlung durch die Kalklichtlampe immer noch Spuren von temporären Druckerhöhungen, die selbst dann noch auftraten, nachdem im Ganzen während nicht weniger als  $19\frac{1}{2}$  Stunden reiner Wasserstoff durchgetrieben war und der Apparat durch 5 Tage hindurch mit reinem Wasserstoff gefüllt und vollständig von der äußeren Atmosphäre abgesperrt gestanden hatte. Die Erklärung dieser Erscheinung habe ich oben bei Gelegenheit der Besprechung der Versuche mit reiner Luft gegeben.

Die permanente Druckzunahme war eben so groß wie bei reiner Luft.

Nach diesen Versuchen kamen diejenigen mit feuchtem Wasserstoff. Eine Stunde nach dem letzten Versuch mit trockenem Wasserstoff, während welcher Zeit feuchter Wasserstoff durch den Absorptionsapparat strich, stellte ich den ersten Bestrahlungsversuch mit der Bunsen'schen Flamme an (Curve 1, Tabelle 21). Darauf wurde nochmals eine Stunde lang feuchter Wasserstoff durchgeleitet und ein zweiter Bestrahlungsversuch angestellt (Curve 2, Tab. 21). Nun blieb der Apparat während 3 Stunden mit verschlossenen Hähnen stehen, und dann wurde der dritte Versuch gemacht (Curve 3, Tab. 21). Endlich wurde am nächsten Tag dieselbe Füllung nochmals mit der Bunsen'schen Flamme bestrahlt (Curve 4, Tabelle 21). Die Messungen sind in folgender Tabelle enthalten.

Tabelle 21.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. d. Curven	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	perman. Druckzun. a <sub>5</sub> — a <sub>1</sub>	temporäre Druckzunahme		Mittel aus Colum. 8 u. 9	Temperatur	
							a <sub>3</sub> — a <sub>5</sub>	a <sub>2</sub> — $\frac{a_1 + a_5}{2}$		des Bades	des Appar.
1.	— 0,05	0,55	0,85	0,70	0,70	0,75	0,15	0,20	0,18	+ 10 <sup>0</sup>	23 <sup>0</sup>
2.	— 0,05	0,60	0,90	0,70	0,70	0,75	0,20	0,25	0,23	+ 12 <sup>0</sup>	"
3.	— 0,15	0,45	0,85	0,65	0,65	0,80	0,20	0,20	0,20	"	"
4.	0,05	0,65	0,85	0,65	0,65	0,60	0,20	0,30	0,25	"	22 <sup>0</sup>
Mittel						0,70	Mittel		0,23	(aus den 3 letzten Versuchen.)	



Vergleicht man die sich aus den Zahlen der Tabellen 19, 20 und 21 ergebenden Werthe der temporären Druckzunahme mit den entsprechenden Werthen aus den Tabellen 7, 5 und 18, so findet man : erstens, daß durch das Berufen des Absorptionsapparates der absolute Betrag der erzeugten temporären Druckzunahmen verringert wurde, was unzweifelhaft daher kommt, daß die Strahlen im berufenen Apparat nicht so oft hin und her reflectirt und deshalb weniger vom Gas absorbirt werden, als im polirten Apparat. Zweitens, und auf dieses Resultat möchte ich das meiste Gewicht legen, daß das Verhältniß der in feuchter Luft, in kohlensäurehaltiger Luft und in feuchtem Wasserstoff erzeugten temporären Druckzunahmen durch das Berufen nicht wesentlich geändert worden ist. Da nun auch reine Luft und reiner Wasserstoff sich nicht merklich verschieden in beiden Apparaten verhalten, so ist man wohl zu dem Schluß berechtigt, daß das bezüglich der erzeugten temporären Druckzunahme verschiedene Verhalten von trockenen und feuchten Gasen nicht dadurch erklärt werden kann, daß die Beschaffenheit der Oberfläche des Apparates möglicherweise eine andere ist, je nachdem ein trockenes oder dasselbe mit Wasserdampf vermischte Gas sich im Apparat befindet. Vergleiche übrigens auch die Versuche mit dem auf 182° erwärmten Absorptionsapparat.

Die Versuche mit dem inwendig gefirniften Apparat brauche ich nun wohl nicht so ausführlich mitzutheilen; dieselben ergaben im Wesentlichen dasselbe Resultat : Durch Bestrahlung mit der Bunsen'schen Flamme wurde in reiner Luft und in reinem Wasserstoff keine temporäre Druckerhöhung erzeugt; dieselbe betrug in trockener, von Kohlensäure nicht befreiter atmosphärischer Luft 2,45 mm und in feuchter, bei 0° gesättigter Luft 1,90 mm; beide Zahlen sind die Mittel aus den auf eine Temperatur von 26° reducirten Resultaten von je vier Versuchen. Die permanente Druckzunahme betrug im Mittel 0,70 mm.

---

§ 13. Um zu erfahren, ob die hygroskopische Eigenschaft der den Absorptionsapparat verschließenden Steinsalzplatte die Versuche mit feuchten Gasen vielleicht beeinflussen könnte, habe ich drei Versuchsreihen angestellt; bei der ersten war die Steinsalzplatte durch eine Birminghamglasplatte ersetzt, bei der zweiten befand sich die Steinsalzplatte in einer Atmosphäre von trockenem Wasserstoff und bei der dritten war die Steinsalzplatte auf der nach Innen gekehrten Seite mit Schellackfirniß überzogen. Der Absorptionsapparat war bei all diesen Versuchen inwendig blank und polirt.

Was zunächst die erste Versuchsreihe anbetrifft, so ist zu erwähnen, daß die Birminghamplatte, welche zum Verschließen des Absorptionsapparates diente, aus der nicht beruften Hälfte der Platte herausgeschnitten war, von welcher auf S. 109 u. ff. die Rede war, und für welche gefunden wurde, daß sie von den Strahlen, die von Kohlensäure resp. von Wasserdampf absorbiert werden können, 70 resp. 51 Proc. durchläßt. Setzt man somit voraus, daß die Steinsalzplatte bei den früheren Versuchen keinen besonderen Einfluß ausgeübt habe, so wird man erwarten, daß die Versuche mit dem durch Glas verschlossenen Apparat dasselbe Resultat ergeben, wie die Versuche, bei welchen die Birminghamplatte zwischen den durch Steinsalz verschlossenen Apparat und die Flamme gehalten wurde. Ergiebt sich dann in der That, daß eine solche Uebereinstimmung stattfindet, so darf man wohl rückwärts auf die Richtigkeit der gemachten Voraussetzung schließen.

Zuerst wurde reine Luft untersucht. Die Bestrahlung durch die Bunsen'sche Flamme ergab eine Curve, wie sie Fig. 16 zeigt; beide Hälften der über der Nullcurve liegenden Curve sind nicht mehr gradlinig, sondern ein wenig gekrümmt; der erste, während der Bestrahlung geschriebene Theil kehrt seine concave Seite nach unten, der zweite, nach Unterbrechung der Bestrahlung erhaltene Theil seine concave Seite nach oben; beide Curventheile sind ziemlich stark gegen die Nullcurve geneigt. Dagegen ist von einer rasch verlaufenden Druckänderung am Anfang und nach Schluß der Bestrahlung, wie sie bei *absorbirenden* Gasen in dem mit

Steinsalz verschlossenen Apparat gefunden wurde, nichts zu bemerken; der Druck ändert sich vielmehr in einer ungefähr gleich bleibenden Weise. Die Erklärung dieses Verlaufes ist leicht zu finden, wenn man davon ausgeht, daß die Birminghamplatte ziemlich viel Strahlen absorbiert und sich in Folge dessen während der Bestrahlung viel rascher, als die übrigen Theile des Absorptionsapparates erwärmt. Das eingeschlossene Gas nimmt während der Bestrahlung von der sich immer mehr erwärmenden Glasplatte immer mehr Wärme auf, die nur zum Theil an die kälteren Metalltheile des Apparates abgegeben wird, und dasselbe kühlt sich nach Unterbrechung der Bestrahlung der Abkühlung der Glasplatte entsprechend allmählich wieder ab. Im wesentlichen verhält sich die Luft somit gerade so, wie früher, als die Steinsalzplatte den Apparat verschloß, nur fiel damals, weil Steinsalz sehr diatherman ist, der Grund für eine relativ starke Temperatur resp. Druckerhöhung des Gases weg.

Es wurde eine Reihe von 7 Versuchen mit verschiedenen Füllungen des Apparates mit reiner Luft angestellt; der Abstand der erhaltenen Curven von den betreffenden Nullcurven wurde an drei Stellen gemessen; die erste liegt gerade vor der Stelle, welche dem Anfang der Bestrahlung entspricht ( $a_1$ ), die zweite ( $a_2$ ) genau 7 cm und die dritte ( $a_3$ ) genau 14 cm weiter vom Anfang entfernt. Die Resultate sind in der folgenden Tabelle enthalten.

Tabelle 22.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. der Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_2 - a_1$	$a_3 - a_1$
1	0,15	3,65	6,15	3,50	6,00
2	0,05	3,70	6,20	3,65	6,15
3	0,05	3,65	5,90	3,60	5,85
4	0,00	3,60	5,90	3,60	5,90
5	0,10	3,70	6,20	3,60	6,10
6	0,00	3,60	5,95	3,60	5,95
7	— 0,20	3,35	5,85	3,55	6,05
Mittel				3,60	6,00.

Die Zahlen der fünften und sechsten Reihe geben die Druckvermehrung an, die die Bestrahlung im Gase nach Verlauf von Zeiten erzeugte, welche den Entfernungen der Stellen, wo  $a_2$  und  $a_3$  gemessen wurden, von dem Anfang der Bestrahlung entsprechen. Die Uebereinstimmung zwischen den einzelnen Werthen darf eine befriedigende genannt werden, wenn man berücksichtigt, daß ein etwas unregelmäßiger Gang des den Pantographencylinder bewegendes Uhrwerkes bei diesen Versuchen, wo der Druck des Gases fortwährend stark geändert wird, auf die Gestalt der Curven und namentlich auf den Abstand der Curve von der Nullcurve einen bedeutenden Einfluß ausüben kann.

Zwei Versuche wurden mit trockener, von ihrer Kohlensäure nicht befreiter, atmosphärischer Luft angestellt. Von den erhaltenen Curven ist eine in Fig. 17 abgebildet; man erkennt sofort den Einfluß der Absorption an der geänderten Gestalt der Curve; nur ist dieser Unterschied zwischen der Curve eines nicht absorbirenden und eines absorbirenden Gases nicht so in das Auge springend, als bei Anwendung einer Steinsalzplatte; es ist nämlich erstens die durch Absorption erzeugte Druckerhöhung im Verhältniß zur totalen Druckerhöhung viel kleiner, als früher, und zweitens ist auch die absolute GröÙe der erstgenannten Druckerhöhung in Folge der von der Glasplatte ausgeübten Absorption geringer als früher.

Die Messung der Abstände der Curven von den zugehörigen Nullcurven an den drei oben erwähnten Stellen ergab :

Tabelle 23.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. der Curven	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_2 - a_1$	$a_3 - a_1$
1	— 0,15	4,80	7,55	4,95	7,70
2	0,00	5,20	7,55	5,20	7,55
Mittel				5,10	7,65.



Subtrahirt man von den Mittelwerthen 5,10 und 7,65 die entsprechenden Mittelwerthe der Tabelle 22, so findet man 1,50 resp. 1,60; Mittel 1,55. Diese Zahl giebt offenbar die Druckerhöhung des Gases an, welche durch directe Absorption von Seiten des Gases erzeugt wurde (vgl. S. 53), wenn man annehmen darf, daß die Erwärmung von reiner und von trockener, von ihrer Kohlensäure nicht befreiter, atmosphärischer Luft durch Berührung mit der warmen Glasplatte bei gleich bleibender Bestrahlung bis auf unmerkliche Unterschiede die gleiche ist. Gegen diese Annahme dürfte wohl nichts einzuwenden sein.

Die Temperatur des Apparates betrug 23°.

Vergleicht man nun diesen Werth mit dem in der zweiten Reihe von Col. 10 der Tabelle 13 angegebenen Werth, so findet man eine leidlich gute Uebereinstimmung; der jetzt gefundene Werth ist etwas kleiner als der frühere.

Mit feuchter Luft wurden vier Versuche angestellt. Bezüglich der Gestalt der erhaltenen Curven ist dasselbe zu bemerken, wie oben (vgl. Fig. 18). Die Messungen ergaben :

Tabelle 24.

Die Abstände sind in mm gemessen.

Nr. der Curven	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>2</sub> — a <sub>1</sub>	a <sub>3</sub> — a <sub>1</sub>	Temperatur	
						des Bades	des Appar.
1	0,05	5,45	7,80	5,40	7,75	12° - 13°	23,5°
2	0,10	5,35	7,70	5,25	7,60	"	"
			Mittel	5,35	7,70.		
3	0,30	5,90	8,25	5,60	7,95	20,5°	21°
4	0,05	5,70	8,10	5,65	8,05	"	"
			Mittel	5,65	8,00.		

Subtrahirt man wieder von den Mittelwerthen 5,35 und 7,70, sowie 5,65 und 8,00 die entsprechenden Mittelwerthe aus Tabelle 22, so findet man 1,75 mm und 1,70 mm, im Mittel 1,75 mm für die durch Absorption in feuchter, bei 12° bis 13° gesättigter Luft, und 2,05 mm und 2,00 mm, im Mittel

2,05 mm für die durch Absorption in feuchter, bei 20,5° gesättigter Luft erzeugte Druckzunahme; vorausgesetzt, daß feuchte und trockene Luft sich nicht merklich verschieden an der warmen Glasplatte erwärmen.

Vergleicht man nun den ersten Werth (1,75 mm) mit dem in der zweiten Reihe der Columnne 10 von Tabelle 15 und 16 aufgeführten (welchen ich erhielt, als die Strahlen der Bunsen'schen Flamme durch die Birminghamplatte und die den Absorptionsapparat verschließende Steinsalzplatte zu der eingeschlossenen, bei 13° bis 15° gesättigten Luft gelangten), so ergibt sich wiederum eine recht gute Uebereinstimmung. Beachtet man, daß die mit Glasplattenverschluß gefundenen Werthe der durch Absorption von Wärme in kohlendioxidhaltiger Luft resp. in feuchter Luft entstandenen Druckerhöhung *beide* nur etwas kleiner sind als die entsprechenden Werthe, welche mit Steinsalzverschluß und zwischengehaltener Glasplatte erhalten wurden, so darf man wohl schließen, daß die Steinsalzplatte bei meinen auf S. 91 u. ff. mitgetheilten Versuchen mit feuchten Gasen keinen merklich störenden Einfluß geübt hat.

Die zuletzt besprochenen Versuche ergeben außerdem, daß man bei der Untersuchung von Wasserdampf auf Absorption nicht ausschließlich auf die Anwendung von Steinsalz zum Verschließen des betreffenden Absorptionsapparates angewiesen ist; man kann auch Glasplattenverschlüsse anwenden. Nur wäre es in diesem Fall, und besonders wenn es sich um genauere Bestimmungen handeln würde, unumgänglich nöthig, daß dem Cylinder des Pantographen eine durchaus gleichmäßige Bewegung ertheilt würde, was durch ein besseres Uhrwerk, als das von mir benutzte, wohl zu erreichen wäre.

Daß die temporäre Druckzunahme, welche in feuchter Luft durch Bestrahlung entsteht, nicht ihren Grund haben kann in der hygroskopischen Eigenschaft des Steinsalzes, mit welchem der Apparat verschlossen ist, wurde, wie oben schon erwähnt, auch noch mit Hülfe eines besonderen Ap-

parates, bei welchem die Steinsalzplatte durch eine Atmosphäre von trockenem Wasserstoff von der feuchten Luft getrennt war, nachgewiesen. Die Einrichtung des Apparates soll an der Hand der Fig. 19, welche zwei Verticalschnitte desselben darstellt, erläutert werden. A ist der oben beschriebene Absorptionsapparat nach Entfernung der Steinsalzplatte; derselbe ist mittelst 6 Schrauben in einer aus der Zeichnung leicht ersichtlichen Weise luftdicht mit einer Messingplatte aa verbunden. Letztere ist auf einem eisernen, mit vier Füßen versehenen Gestell, das auf einer Tischplatte festgeschraubt wird, gelagert; der Oeffnung von A entsprechend ist die Platte kreisförmig ausgeschnitten; ihre obere Fläche ist sorgfältig eben geschliffen. Auf aa liegt eine zweite, auf der unteren Seite eben geschliffene Messingplatte bb, die zwischen zwei festen Schienen in der Richtung des gezeichneten Pfeiles verschiebbar ist; ein luftdichter Verschluss wird durch Wachs-Vaselinefett hergestellt. Die Platte bb ist mit einer A sehr ähnlichen, aber kürzeren Röhre B gerade so verbunden, wie aa mit A; in der gezeichneten Stellung des Schlittens bilden somit A und B gewissermaßen nur eine einzige, längere Röhre; durch Verschieben des Schlittens kann B von A getrennt werden. Auf B ist gerade so wie bei den früheren Versuchen auf A die Steinsalzplatte und der Schirm H befestigt. Dicht über dem Schirm ist der Bunsen'sche Brenner, diesmal ohne Schornstein, horizontal aufgestellt, so daß die Bestrahlung des Gases wie früher mit dem Oeffnen des Brennerhahnes anfängt. B ist durch das obere Ansatzröhrchen mit der Marey'schen Trommel verbunden.

Die Versuche fingen nun damit an, daß in A feuchte Luft und in B reiner Wasserstoff eingeführt wurde, wobei selbstverständlich A von B getrennt war. Hatte das Durchströmen so lange gedauert, daß man annehmen konnte, daß alle anderen Gase verdrängt waren, so wurden die Hähne, welche die Verbindung von A und B mit der äußeren Atmosphäre, resp. mit den Entwicklungsapparaten herstellten, geschlossen. Darauf wurde der Inhalt von B durch einen

Bestrahlungsversuch auf seine Reinheit untersucht; ergab sich dabei, daß der Wasserstoff wirklich rein war, so wurde der Schlitten so weit verschoben, daß A und B gerade über einander standen, und sofort nachher ein Bestrahlungsversuch ausgeführt. Die Zeit, die zwischen dem Verschieben von B und dem Anfang der Bestrahlung verlief, war so kurz, daß der in A enthaltene Wasserdampf unterdessen nicht bis zur Steinsalzplatte gelangen konnte. Ergiebt sich somit, daß die Bestrahlung eine temporäre Druckerhöhung zur Folge hatte, so kann dieselbe sicher nicht von einer auf der Steinsalzplatte abgelagerten Wasserschicht herrühren.

Das Resultat der mit diesem Apparat angestellten Versuche war, daß jedesmal, wenn A mit feuchter Luft, oder auch mit kohlenensäurehaltiger Luft und B mit reinem Wasserstoff gefüllt war, eine temporäre Druckerhöhung durch Bestrahlung erzeugt wurde, deren Betrag im Allgemeinen etwas kleiner war als der mit dem einfachen Absorptionsapparat früher gefundene; die Gestalt der Curven ist aber genau dieselbe, wie die der früheren. Angaben über die Größe der temporären Druckzunahmen sind zwecklos, da die Versuchsanordnung, wie z. B. die Aufstellung des Bunsen'schen Brenners mit sich bringt, daß eine numerische Vergleichung dieser Größe mit früher erhaltenen Werthen nicht gestattet ist.

Ich will nur noch erwähnen, daß Controlversuche, bei welchen A mit reiner Luft gefüllt war, angestellt wurden. Auch wurde einigemale der Inhalt von B allein untersucht, nachdem A und B während eines Bestrahlungsversuches mit einander in Verbindung gestanden hatten; der Zweck dieser Versuche war, zu erfahren, ob während der Bestrahlung eine merkliche Quantität Wasserdampf von A in B hinüber diffundirte; diese Menge erwies sich immer als sehr gering.

Bei der dritten Versuchsreihe, welche zur Entkräftung des Einwandes angestellt wurde, daß der auf der Steinsalzplatte condensirte Wasserdampf möglicherweise die auf S. 65 u. ff. beschriebenen Erscheinungen erzeugt haben könnte, war die Steinsalzplatte auf der nach Innen gekehrten Seite



mit Schellack überzogen und dadurch eine directe Berührung von Steinsalz und feuchter Luft vermieden.

Das Firnissen des Steinsalzes kann ohne Gefahr für die Platte geschehen, wenn man die Platte, sowie die Lösung von Schellack in absolutem Alkohol vorher etwas erwärmt, so daß der Firniß rasch trocknet. Die Aufstellung des Apparates war dieselbe wie beiden auf S. 91 u. ff. mitgetheilten Versuchen; die Bestrahlung geschah durch die Bunsen'sche Flamme oder einen Kolben mit siedendem Wasser.

Das Resultat der Untersuchung ist nun, daß die mit beiden Wärmequellen erhaltenen Bestrahlungscurven kaum von den bei ungefirnisster Steinsalzplatte erhaltenen zu unterscheiden sind; die temporären Druckerhöhungen sind zwar etwas kleiner als die bei ungefirnisster Platte gefundenen, was leicht durch die von der Schellackschicht ausgeübte Absorption zu erklären ist, aber im Wesentlichen war das Verhalten der feuchten und trockenen Luft in beiden Fällen genau dasselbe.

Das Firnissen des Steinsalzes dürfte sich vielleicht immer empfehlen, wenn man ein Feuchtwerden der Platte vermeiden will und eine geringe Abnahme der Diathermansie derselben nichts schadet.

---

§ 14. Ich komme nun schließlic zu der Mittheilung von Versuchen, die mit einem auf die Siedetemperatur des Anilins erwärmten Absorptionsapparat ausgeführt wurden.

Der besonders zu diesem Zweck construirte Apparat hat folgende Einrichtung (vgl. Fig. 20, 21 und 22) : Der die zu prüfenden Gase enthaltende eigentliche Absorptionsapparat A ist eine 3 cm weite, 7 cm lange, innen polirte und vergoldete Messingröhre von 0,4 cm Wandstärke. Auf der einen (linken) Seite ist dieselbe durch eine mit reinem Zinn aufgelöthete, vergoldete Messingplatte verschlossen; auf der anderen Seite ist von der Röhrenwand inwendig ein Theil abgedreht, so daß nur noch ein schmaler Ring stehen bleibt, wie es am besten aus Fig. 22 ersichtlich ist. In der so ge-

bildeten ringförmigen Vertiefung paßt die Birminghamplatte resp. die Steinsalzplatte, mit welcher diese Seite der Röhre verschlossen werden soll. An je einer von zwei in der Nähe der Enden der Messingröhre gelegenen Stellen ist ein enges Kupferröhrchen mit der nöthigen Sorgfalt eingelöthet; beide Röhrchen sind, wie aus der Figur hervorgeht, nach rückwärts gebogen. Durch einen aufgesetzten Ring kann A mit dem Theil B flüssigkeitsdicht verbunden werden; die Verbindung geschieht durch 6 Schrauben, die Dichtung durch einen Zinkring, der sich von allen untersuchten Substanzen am besten bewährte. Der Theil B besteht aus einem auf beiden Seiten mit Flantschen versehenen, innen polirten und vergoldeten Röhrenstück von Messing, dessen Weite 3 cm, dessen Länge 4 cm und dessen Wandstärke 0,4 cm beträgt. A und B sind umgeben von einem cylindrischen, hartgelötheten Kupferkessel CC und mit diesem in einer aus der Zeichnung leicht zu entnehmenden Weise durch 6 Schrauben und einen zwischen gelegten Zinkring fest verbunden. Die beiden erwähnten Kupferröhrchen gehen durch Korke, welche in zwei in der Rückwand des Kessels angebrachte Oeffnungen eingesetzt sind; das eine Kupferröhrchen ist mit einem abnehmbaren Hahnstück D verbunden und führt zu den Reinigungs- und Gasentwickelungsapparaten; das andere Röhrchen steht mit der Marey'schen Trommel in Verbindung. Der Kupferkessel ruht auf zwei eisernen Trägern EE, die an einem starken Brett festgeschraubt sind. Blechschirme verhindern, daß die von einem unter dem Kessel aufgestellten Bunsen'schen Brenner aufsteigenden heißen Gase an der Vorder- oder Rückwand des Kessels in die Höhe steigen. Der Kessel wird durch die oben angebrachten Tubuli mit Anilin beinahe ganz gefüllt; es gelingt dann leicht, der Flamme des untergestellten Brenners eine solche Gröfse zu geben, daß die Temperatur des auf den Siedepunkt erwärmten Anilins während längerer Zeit genügend constant bleibt.

Die Hauptschwierigkeit, welche bei dem Zusammen-  
setzen des Apparates zu überwinden war, besteht in der Her-

stellung eines luftdichten Verschlusses des Absorptionsapparates A, namentlich dann, wenn derselbe durch eine Steinsalzplatte verschlossen werden sollte. Ich habe dann auch ziemlich viel probirt, bis ich einen geeigneten Kitt fand, einen Kitt, der bei 182° nicht zu flüssig ist, und der bei dieser Temperatur keine Dämpfe entwickelt, welche Wärme absorbiren. Nach vielen Vorversuchen bin ich schließlich bei dem folgenden Verfahren stehen geblieben. Wenn A mit einer Birminghamplatte verschlossen werden soll, so wird die Platte zunächst mit Hausenblase aufgesetzt; durch einige Tage hindurch bleibt dann das von den übrigen Theilen des Apparates losgetrennte Stück A im warmen Luftstrom eines brennenden Ofens stehen, damit das zum Auflösen der Hausenblase benöthigte Wasser möglichst gut verdunste; von Zeit zu Zeit wird zur Beförderung der Verdunstung Luft durchgesaugt. Die Hausenblase genügt nun noch nicht, um bei der Temperatur von 182° einen dichten Verschluss herzustellen, denn dieselbe wird spröde und bekommt Risse; deshalb muß noch ein anderer Kitt hinzugefügt werden. Als solchen wählte ich eine Auflösung von Copal in Schwefelkohlenstoff; die nicht sehr concentrirte, ziemlich dünnflüssige Lösung zieht sich beim Auftragen in die durch Verdunstung des Wassers in der Hausenblase entstandenen Canälchen hinein, und man erreicht durch öfteres Auftragen und Trocknen, daß dieselben vollständig mit festem Copal ausgefüllt werden. Aber auch jetzt ist die Kittung noch nicht fertig, denn bei der Erwärmung auf 182° wird das Copal sehr dünnflüssig und entwickelt, wie die Versuche zeigten, geringe Mengen von absorbirenden Dämpfen; läßt man aber den Apparat bei dieser Temperatur noch einen oder zwei Tage stehen, so wird der Copal immer dickflüssiger und zugleich brauner, und am Ende ist von einer Dampfentwicklung nichts mehr zu bemerken. Im Ganzen vergeht somit etwa eine Woche, bis der Apparat fertig ist; dann aber kann derselbe wiederholt zu Bestrahlungsversuchen bei 182° gebraucht werden ohne daß die Kittung Noth leidet.

Um die Steinsalzplatte aufzukitten, verfuhr ich in ähn-

licher Weise, nur mußte das erste Kitten mit Hausenblase mit Rücksicht auf die Löslichkeit des Steinsalzes in Wasser unterbleiben. Deshalb wurde gleich mit der Copallösung angefangen, und zwar wurde dieselbe öfters aufgetragen, nachdem jedesmal die vorhergehende Kittung dadurch eingetrocknet war, daß der Apparat ungefähr einen Tag lang im warmen Luftstrom stehen blieb. Das Kitten nahm auch wieder ungefähr eine Woche in Anspruch, und erst dann wurde A in den Kupferkessel eingesetzt. Um ein Abfallen der Platte beim Erwärmen auf  $182^{\circ}$  zu verhüten, was bei der Glasplatte durch die Hausenblase verhindert war, mußte ein Ring aus vorher gut getrocknetem Kork zwischen B und die Steinsalzplatte so eingelegt werden, daß derselbe beim Anziehen der A und B verbindenden Schrauben einen Druck auf die Platte ausübte. Nun wurde der Apparat zum erstenmale auf  $182^{\circ}$  erwärmt; da aber die oben erwähnte Veränderung des Copals noch nicht eingetreten war, sich also noch absorbirende Dämpfe entwickelten, so mußte der Apparat bei dieser Temperatur und unter fortwährendem Durchleiten von reiner Luft ungefähr 24 Stunden stehen bleiben; eine Abkühlung auf Zimmertemperatur durfte nicht mehr stattfinden, da es sonst leicht vorkommen könnte, daß die Steinsalzplatte zersprang. Nach dieser Zeit war die Steinsalzplatte noch so schön durchsichtig wie zu Anfang und die vorher vorbereiteten Bestrahlungsversuche konnten angefangen werden.

Die Bestrahlung geschah durch die Flamme des Bunsen'schen Brenners F, der, wie aus der Figur ersichtlich ist, dicht vor dem Absorptionsapparat aufgestellt war. Der früher benutzte, von Wasser umgebene Schornstein war ersetzt durch ein kupfernes Gefäß G, welches die Flamme möglichst vollständig umgiebt. Dasselbe war ebenfalls mit Anilin gefüllt, welches durch eine untergestellte Flamme auf der Siedetemperatur erhalten wurde. F und G sind auf geeigneten, in der Zeichnung nicht wiedergegebenen Stativen befestigt. Eine andere Wärmequelle als die Bunsen'sche Flamme habe ich nicht angewendet; nur wurden verschiedene



Versuche gemacht, um das Vorhandensein von Emission bei feuchter Luft nachzuweisen; zu diesem Zweck wurde zu einer Zeit, welche dem Anfang resp. dem Ende der Bestrahlung bei den eigentlichen Bestrahlungsversuchen entsprach, "das auf 182° erwärmte Gefäß G rasch entfernt resp. wieder vorgeschoben. Dadurch war dem Inhalt von A Gelegenheit gegeben, Wärme gegen die Wände des Beobachtungszimmers auszustrahlen.

Das Resultat dieser Versuche möchte ich nun wiederum nicht in der Form von Tabellen mittheilen, weil aus mancherlei Gründen eine numerische Vergleichung der beobachteten temporären Druckerhöhungen mit den früheren, und zum Theil auch unter einander nicht statthaft ist. Ich ziehe deshalb vor, einige der am meisten charakteristischen Curven möglichst getreu wiederzugeben.

Die in Fig. 23, 24 und 25 dargestellten Curven wurden durch Bestrahlung mit der Bunsen'schen Flamme mit dem durch Birminghamglas verschlossenen Absorptionsapparat erhalten; die erste der drei Curven ergab sich bei reiner Luft, die zweite und dritte bei Luft, die bei 0° resp. 29° mit Wasserdampf gesättigt war. Abgesehen von der größeren Erhebung der drei Bestrahlungscurven über die zugehörigen Nullcurven ist die Gestalt derselben die gleiche, wie die früher mit dem durch Glas verschlossenen Absorptionsapparat bei Zimmertemperatur gefundenen (vgl. Fig. 16 und 18); der charakteristische Unterschied in den Druckcurven eines nicht absorbirenden und eines absorbirenden Gases, nämlich die rasch verlaufenden Druckänderungen am Anfang und nach Unterbrechung der Bestrahlung, ist jetzt ebenso deutlich und unverkennbar vorhanden, wie früher. Auch ist ersichtlich, daß die durch Absorption von Wärme im Gas entstandene Druckerhöhung mit dem Gehalt an Wasserdampf zunimmt.

Von einer durch Ausstrahlung bewirkten Druckverminderung waren nur Spuren zu bemerken, deshalb ist die darauf bezügliche Curve gar nicht abgezeichnet.

Die in Fig. 26, 27 und 28 dargestellten Curven wurden mit dem durch Steinsalz verschlossenen Absorptionsapparat

erhalten; die erste bezieht sich auf die Bestrahlung von reiner Luft, die zweite auf die von Luft, welche bei  $24^{\circ}$  mit Wasserdampf gesättigt war; in beiden Fällen fand die Bestrahlung durch die Bunsen'sche Flamme statt. Es ist nun ersichtlich, daß diese Curven sich in keinem wesentlichen Punkt von den früher bei Zimmertemperatur erhaltenen unterscheiden (vgl. Fig. 4 u. Fig. 10).

Die dritte Curve (Fig. 28) stellt eine Ausstrahlungscurve dar, die mit einer Füllung des Absorptionsapparates mit feuchter, bei  $24^{\circ}$  gesättigter Luft erhalten wurde. Die während und nach der Ausstrahlung geschriebene Curve liegt selbstverständlich dießmal unter der Nullcurve; die durch Ausstrahlung erzeugte temporäre Druckverminderung ist sehr deutlich daran zu erkennen, daß die Curve an Stellen, welche dem Anfang resp. der Beendigung der Ausstrahlung entsprechen, in der oft besprochenen charakteristischen Weise verläuft. Durch eine Drehung um  $180^{\circ}$  dieser Ausstrahlungscurve um die zugehörige Nullcurve erhält man eine Curve, die der Bestrahlungscurve von Fig. 11 sehr ähnlich sieht. Da man vielleicht meinen könnte, daß die beobachtete Druckverminderung möglicherweise ihren Grund habe in einem durch das rasche Entfernen des Gefäßes G entstehenden, kalten, in B eindringenden Luftstrom, welche die Steinsalzplatte von A abkühlen und dadurch mittelbar eine Abkühlung des Inhaltes von A erzeugen würde, so habe ich mich vom Gegentheil dadurch überzeugt, daß ich bei einem anderen Versuch in B soweit wie möglich von A entfernt eine zweite, ziemlich gut passende Steinsalzplatte lose einsetzte und im übrigen ebenso, wie bei dem zuletzt besprochenen Versuch verfuhr; die nach dieser Abänderung der Versuchsanordnung gefundene temporäre Druckabnahme unterscheidet sich nicht merklich von der vorherigen. Auch ist noch zu erwähnen, daß eine derartige Druckänderung nicht zu bemerken war, wenn reine Luft im Apparat eingeschlossen war, und der Versuch in derselben Weise aufgeführt wurde wie bei feuchter Luft.

Das Resultat, daß feuchte Luft von  $182^{\circ}$  ein merkliches

Emissionsvermögen besitzt, war übrigens auf Grund der oben mitgetheilten Versuche, welche zeigen, daß feuchte Luft Strahlen, die von einer Wärmequelle von 182° kommen, absorbiert, auch zu erwarten. Die Thatsache, daß dieses Resultat sich wirklich ergeben hat, darf deshalb ebenfalls als eine Stütze für die auch durch alle anderen Versuche bestätigte Ansicht gelten, daß die bei Bestrahlung von feuchter Luft beobachteten temporären Druckzunahmen von einer durch Wasserdampf ausgeübten Absorption herrühren.

Von allen Versuchen, die darauf gerichtet waren, den Nachweis für die Unhaltbarkeit der Ansicht herbei zu schaffen, daß jene temporären Druckänderungen durch Vaporhäsion, oder durch die hygroscopischen Eigenschaften des Steinsalzes, oder durch die Anwesenheit von flüssigen, in der feuchten Luft suspendirten Wassertheilchen zu erklären seien — von all diesen Versuchen möchte ich die mit dem auf 182° erwärmten Apparat angestellten als die wichtigsten und beweiskräftigsten bezeichnen.

Ueberblickt man aber das ganze, der Hauptsache nach mitgetheilte Beobachtungsmaterial, so kann man sich meines Erachtens nicht länger der Ansicht verschließen, daß Wasserdampf die Fähigkeit besitzt, ultraroth Strahlen (Wärme) in bedeutend höherem Maße zu absorbiren, als dies bei den Gasen Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff der Fall ist; man wird vielmehr die Absorption von Wärme durch Wasserdampf als eine wohlbegründete Thatsache ansehen.

Giefsen, Frühjahr 1884.

---

Fig. 1

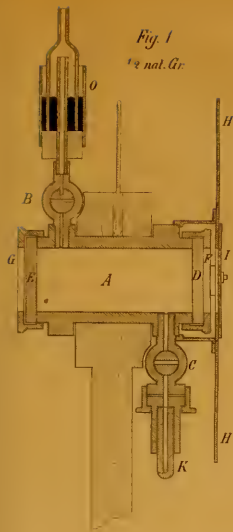
 $\frac{1}{2}$  nat. Gr.

Fig. 2

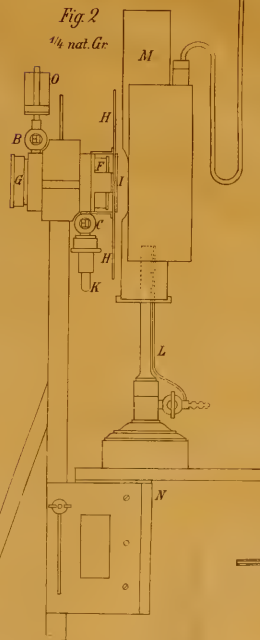
 $\frac{1}{4}$  nat. Gr.

Fig. 22

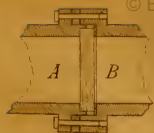
 $\frac{1}{2}$  nat. Gr.

Fig. 20

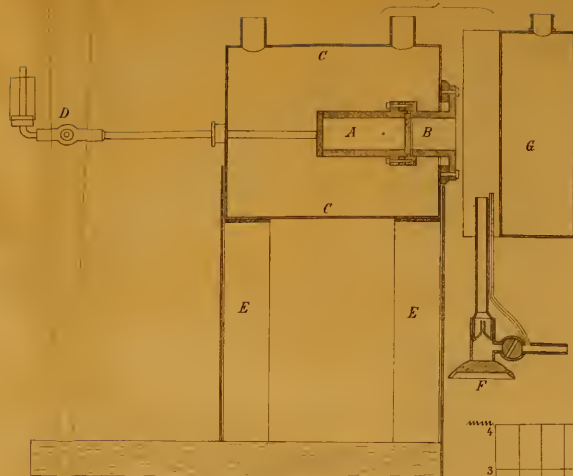
verticaler Schnitt  $\frac{1}{4}$  nat. Gr.

Fig. 21

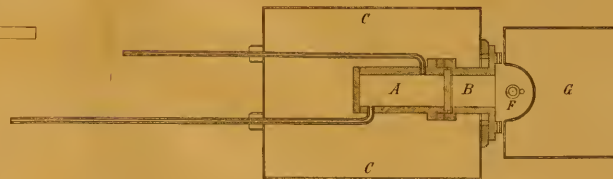
horizontaler Schnitt  $\frac{1}{4}$  nat. Gr.

Fig. 3

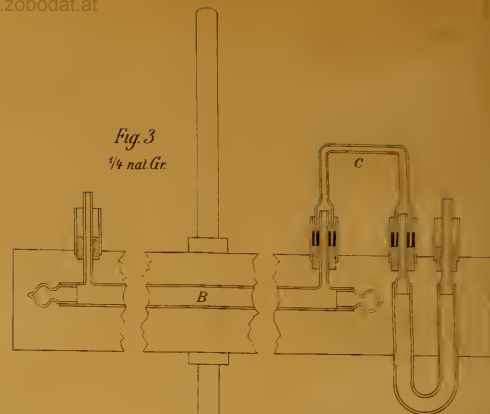
 $\frac{1}{4}$  nat. Gr.

Fig. 12

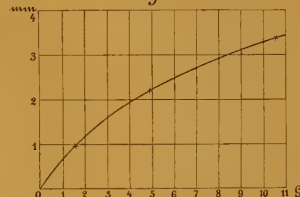


Fig. 19

 $\frac{1}{4}$  nat. Gr.