In beiden Fällen wurde *keine Spur eines Unterschiedes* wahrgenommen, mochte die Flasche geladen seyn oder nicht, obgleich die Scheidekraft bis zur Anwendung von 9 Bunsen-Elementen gesteigert war.

II. *Ueber die Absorption der strahlenden Wärme durch Wasserdampf; von H. Haga.*

(Vom Hrn. Verf. eingesandt. Auszug aus seiner Dissertation.
Leiden, 28. Juni 1876.)

§ 1. Bekanntlich hat man die GröÙe der Absorption der strahlenden Wärme durch Dämpfe nach zwei verschiedenen Methoden zu bestimmen versucht. Entweder stellte man zwischen der Wärmequelle und der Thermosäule eine Röhre, welche mit dem Dampfe gefüllt wurde, oder man ließ den Dampf in die freie Luft zwischen der Säule und der Quelle emporsteigen.

Bei den früheren Versuchen achtete man nicht auf den Durchmesser der Röhren und ein großer Theil der auf die Säule fallenden Wärme wurde an der inneren Oberfläche der Röhre reflectirt; dieser Theil war bei Röhren von Magnus ($\frac{6}{7}$ ¹), bei einigen von Tyndall sogar ($\frac{19}{20}$ ²).

Jede Ursache, welche dieses reflectirende Vermögen verändert, muß somit Einfluß ausüben auf die Wärmemenge, die auf die Säule fällt.

Eine solche Ursache ist, wie Magnus ³) gezeigt hat, das Füllen der Röhre mit einem Dampfe, der sich an der inneren Oberfläche der Röhre niederschlägt.

Das große Absorptionsvermögen des Wasserdampfes,

1) Diese Annal. Bd. 130.

2) *Contributions to Molecular Physics in the domain of Radiant Heat* pag. 394.

3) Diese Annal. Bd. 130.

von Tyndall und Wild gefunden, wurde von Magnus dieser von ihm sogenannten Vaporhäsion zugeschrieben.

Da es aber möglich war, daß der Wasserdampf, wenn gleich nicht so viel, dennoch eine merkbare Menge absorbirte, stellte Tyndall ¹⁾ die Versuche so an, daß keine reflectirte Strahlen auf die Säule fallen konnten. Eine Röhre von 95 Ctm. Länge und 15 Ctm. Durchmesser wurde durch 2 Platten geschlossen, welche eine Oeffnung von 6,5 Ctm. hatten, in welche Steinsalzplatten angebracht wurden.

Zwischen die Wärmequelle und die Röhre wurde eine Linse von Steinsalz gestellt, welche ein schwach convergirendes Strahlenbündel durch die Röhre schickte; da die Salzplatten größer waren als der Durchmesser des Strahlenbündels, fiel bei dieser Vorrichtung eine Wärmemenge auf die Säule ohne einen Theil der Röhrenwand berührt zu haben.

Die Ausstrahlung einer Wasserstoffflamme wurde angewandt, da Tyndall gefunden hatte, daß der Wasserdampf diese Strahlen mehr als andere absorbirte ²⁾.

Das Resultat dieser Untersuchungen war, daß der Wasserdampf in einer Luftsäule von 90 Ctm. Länge 8 Proc. absorbirte. Ohne die Salzplatten war die Absorption 5 Proc. Ob dieser Unterschied einer etwaigen Absorption durch die Salzplatten, oder der geringeren Menge Wasserdampf in der offenen als in der verschlossenen Röhre zuzuschreiben ist, läßt sich nicht entscheiden.

Bei früheren Versuchen ³⁾ hatte Tyndall die Absorption des in der Luft sich befindenden Wasserdampfs bestimmt für die Wasserstoffflamme als Wärmequelle aber die reflectirten Strahlen nicht ausgeschlossen, und für dieselbe in einer Röhre von 120 Ctm. Länge den Werth 17 Procent gefunden, einige Tage später 20,3 Procent. Der Einfluß der Vaporhäsion wird hier offenbar: Wenn

1) *Contributions*. 1. c.

2) *Phil. Mag.* 1864.

3) *Contributions* pag. 229 und 230.

der Wasserdampf in einer Säule Luft von 90 Ctm. Länge 8 Proc. absorbirt, indem die Luft gesättigt ist, würde er 10,5 Proc. in einer Säule von 120 Ctm. absorbiren; Tyndall fand indessen schon 17 bis 20 Proc. als die Luft noch nicht gesättigt war, so daß bei diesen Versuchen eine Verminderung der Wärmemenge von mehr als 10 Proc. der Vaporhäsion zuzuschreiben ist.

Magnus hatte bei seinen im Bande 118 dieser *Annalen* mitgetheilten Versuchen ein System Röhren vertical über einander gestellt; auf der oberen war die Wärmequelle, ein Glasgefäß mit siedendem Wasser gefüllt, aufgeschmolzen und die untere enthielt die Thermosäule.

Der Abstand der Oberfläche der Säule von der Wärmequelle betrug 90 Ctm. Mit dieser Vorrichtung fand Magnus einen Unterschied von ungefähr 1 Proc. zwischen der Absorption feuchter und trockner Luft.

Die Einwendungen, welche Tyndall¹⁾ gegen diese Untersuchungen gemacht hat, sind, soweit mir bekannt, nicht beseitigt.

Schon viel früher hatte Tyndall²⁾, ohne eine Versuchsröhre zu benutzen, einen Theil der freien Atmosphäre durch feuchtere oder trocknere Luft ersetzt und immer Ablenkungen der Magnetnadel erhalten, welche eine Absorption der Wärmestrahlen durch Wasserdampf anzeigten.

Magnus³⁾ aber hatte ebenfalls diesen Versuch angestellt und keine Absorption gefunden.

Dieser Widerspruch veranlaßte Dr. Hoorweg⁴⁾ zu versuchen, in Bezug auf diesen Gegenstand mehr Sicherheit zu bekommen; aus seinen Versuchen folgt ein kleines Absorptionsvermögen des Wasserdampfes.

Da es mir aber schien, daß noch immer diesen Versuchen ein Vorwurf gemacht werden konnte, entschloß ich

1) *Contrib. pag.* 156.

2) *Contrib. pag.* 136.

3) Diese *Annal.* Bd. 130, S. 221.

4) Diese *Annal.* Bd. 155.

mich, sie zu wiederholen. Es war nämlich möglich, daß die feuchte und trockne Luft, dadurch daß diese wärmer, jene kälter war als die Atmosphäre, die beobachteten Ablenkungen verursachten. Zwar hatten Frankland¹⁾ und Wild²⁾ gezeigt, daß dieses bei ihren Untersuchungen keinen Einfluß ausübte, doch konnte es hier von der Wirkung der Röhrenwände verdeckt werden, oder zufolge einer geringen Empfindlichkeit der Thermomultiplicatoren nicht beobachtet worden seyn.

§ 2. Die Thermosäule, mit welcher meine Versuche angestellt sind, ist von Rühmkorff verfertigt und besteht aus 30 Elementen, deren Enden eine Fläche bilden von 144 Quadratmillimeter; die konischen Reflectoren haben 12,2 Ctm. Höhe bei einer Oeffnung von 6,5 Ctm. Zur Messung der Intensität der Thermostrome benutzte ich einen Spiegelgalvanometer von Meyerstein (Abbildung in Wiedemann's Galvanismus II, S. 234). Eine in Millimeter getheilte Scala von Glas wurde in einer Entfernung von 5,5 Meter aufgestellt; ein über der Mitte der Scala befestigtes, mit Fadenkreuz versehenes Fernrohr diente zur Bestimmung der Ablenkungen. Der Magnet war anfangs an einem Bündel von 8 Coconfäden aufgehängt, da die Ablenkung aber nicht groß genug war, ersetzte ich, nach einigen Versuchen mit sehr dünnem Silberfaden, den ganzen Bündel durch einen der 8 Coconfäden; es war aber nothwendig, daß das zu tragende Gewicht weniger als 25 Grm. war, da einer der Fäden, mit diesem Gewichte belastet, schon in einem halben Tage zerreißt; der magnetisirte Stahlring wog 13,25 Grm.; der Bügel mit dem Spiegel 9,4 Grm.; die zwei Haken, auf welche man einen kleinen Magnet auflegen kann, wurden entfernt; ein anderer Stahlring von genau derselben Form, der aber die Hälfte dünner war, wurde verfertigt und statt des alten Stahlringes angebracht. Hierdurch war das durch den Coconfaden zu tragende Gewicht ungefähr 15 Grm.

1) *Philos. Mag.* July 1863. *Contrib. Mem.* IV.

2) *Diese Annal.* Bd. 129.

Zur Astasirung benutzte ich nur den stärkeren der zwei zum Galvanometer gehörenden Magnete.

Als ich einen Leslie'schen Würfel, der mit Lampenruß bedeckt war und gefüllt mit Wasser, das durch Einleitung von Dampf auf dem Siedepunkte erhalten wurde, in einer Entfernung von 140 Ctm. der Thermosäule gegenüber aufstellte, erhielt ich eine Ablenkung von mehr als 600 Scalentheile. Der Stahlring war aber so stark astastisirt, daß die kleinsten Aenderungen der Richtung oder Intensität des Erdmagnetismus Bewegungen des Magneten zu Folge hatten und der Nullpunkt beinahe nicht zu bestimmen war.

Dadurch, daß man den Hülfsmagnet verschob, konnte man diesem eine solche Stellung geben, daß, bei keinen zu großen Störungen des Erdmagnetismus, der Magnet sehr empfindlich war und doch eine bestimmte Lage einnahm.

Beiderseits von der Thermosäule stellte ich hinter einander zwei Cylinder von Weißblech 18 Ctm. hoch, mit einem Durchmesser von 9,5 Ctm.; in einer Entfernung von 4 Ctm. über dem Boden war ein zweiter, mit zahllosen feinen Löchern versehener Boden angebracht. In der Seitenwand des Cylinders zwischen den beiden Böden war ein seitlicher Tubus so daß Luft durch diesen Tubus geblasen, durch die Löcher des zweiten Bodens emporstieg. Die zwei Cylinder an der einen Seite der Säule füllte ich mit Chlorcalcium, die an der anderen Seite mit gut gereinigten und mit destillirtem Wasser befeuchteten Kieselsteinchen. Wurde jetzt Luft durch die zwei mit Chlorcalcium gefüllten Cylinder geblasen, so zeigte die Ablenkung des Galvanometers Wärme an. Die aus den, mit feuchten Kieselsteinchen gefüllten, Cylindern emporsteigende Luft veranlaßte eine Ablenkung, welche Kälte der Luft anzeigte. Wurde sogleich Luft durch alle vier Cylinder geblasen, so wurde die Ablenkung natürlich größer.

Jeder Ablenkung folgte eine größere in der entgegengesetzten Richtung, welche ich erklärte aus der Conden-

sation des Wasserdampfes an der Oberfläche der Säule oder an der Innenwand des Reflectors falls feuchte Luft emporstieg, und aus der Verdampfung des auf jenen Oberflächen immer condensirten Wassers falls trockne Luft emporstieg: die feuchte und trockne Luft verbreiten sich ja allmählig.

Nachdem ich im Anfange December des vorigen Jahres diese Versuche angestellt hatte, bemerkte ich, daß diese zweite Ablenkung schon von Magnus beobachtet und erklärt worden war ¹⁾.

Liefs ich in ganz ähnlicher Weise wie Dr. Hoorweg gethan hat, die Luft aus den Cylindern durch die feinen Löcher des 1 Meter langen Troges emporsteigen, so wurden ebenfalls diese beiden Wirkungen beobachtet; die erste war nicht zu vernachlässigen in Bezug auf die von Dr. Hoorweg gefundene Absorption.

Um also die GröÙe der Absorption zu bestimmen, muß die Veränderung, welche der Luftstrom auf die, durch dieselbe auf die Säule geschickte, Wärmemenge verursacht, vermindert werden mit der Veränderung, durch jenen Luftstrom selbst ausgeübt. Der Unterschied ist absorbirte Wärme.

§ 3. Zu diesem Zwecke wurde die folgende Einrichtung getroffen.

Als Wärmequelle benutzte ich immer zwei Leslie'sche Würfel, deren Seiten 9 Ctm. lang waren, die ausstrahlende Wand war mit Lampenruß bedeckt und durch Einleitung von Dampf wurde das Wasser in den Würfeln auf dem Siedepunkte erhalten. Sie wurden in ungefähr gleicher Entfernung von der Säule gestellt; ein mittelst einer feinen Schraube bewegbarer Schirm wurde vor den näheren Würfel gestellt, so daß die Wärmemenge, die auf diese Seite der Säule fällt, so regulirt werden kann, daß sie genau die Wärme neutralisirt, die auf die andere Seite auffällt.

Um zu verhüten, daß Wärmestrahlen vom Siedecapparate

1) Diese Annalen Bd. 118 und 121.

oder von anderen Gegenständen als der ausstrahlenden Oberfläche auf die Säule fielen, wurden große Schirme (*A*) senkrecht zur Längsrichtung der Säule nahe bei den Würfeln gestellt. Diese Schirme bestanden aus einem hölzernen Gerippe, beiderseits mit starker Pappe bedeckt, während auf der zur Säule gekehrten Seite matt schwarzes Papier geklebt war. Zwei ähnliche Schirme (*B*) waren der Längsrichtung parallel gestellt.

Den Würfeln gegenüber waren in den Schirmen Oeffnungen gemacht von eben denselben Dimensionen wie die Seitenwand des Würfels.

Vor diesen Oeffnungen und sie ganz bedeckend waren viereckige Schirmchen, jedes an einer dünnen Schnur aufgehängt, welche über kupferne Haken nach der Stelle lief wo mein Fernrohr sich befand. Mittelt der Schnur wurde das an ihr befestigte Schirmchen hinaufgezogen, so daß Wärme vom Würfel auf die Säule fallen konnte.

Der Raum, der gewöhnlich durch die Schirme eingeschlossen wurde, war 160 Ctm. lang und 135 Ctm. breit; oben waren keine Schirme und unten war in einer Breite von 110 Ctm. der Tisch.

In der Mitte dieses Raumes war die Thermosäule gestellt, deren Längsrichtung ungefähr von Ost gen West lief; die Axe der Säule war 29 Ctm. über dem Tisch; beiderseits der Säule standen in einer Entfernung von 24 Ctm. von den Enden der konischen Reflectoren, zwei Cylinder. Die östlichen Cylinder waren mit gereinigten und nachher mit destillirtem Wasser befeuchteten Kieselsteinchen gefüllt; die westlichen mit Stückchen Chlorcalcium. Ein großer Windkasten wie er gewöhnlich bei akustischen Versuchen benutzt wird, hinter einem der Schirme *B* gestellt, diente um Luft durch die Cylinder zu blasen.

Die von der Ostseite auf die Säule fallende Wärme verursachte zunehmende Ablesungen auf der Scala. Ablenkungen in dieser Richtung werde ich, mittelst des Zei-

chens + von jenen, in entgegengesetzter Richtung, welche mit — versehen sind, unterscheiden.

§ 4. Wurde Luft durch die Cylinder geblasen, so fehlte die zweite Wirkung, welche ich die secundäre nennen werde, nie, selbst nicht bei obengenannten Abständen der Cylinder von der Säule. Da diese secundäre Wirkung dadurch verursacht wird, daß der emporsteigende Luftstrom sich allmählig ausbreitet und an die Säule oder die Innenfläche des Reflectors anlangt, muß bei der Zunahme jenes Abstandes das Zeitintervall zwischen der ersten und secundären Wirkung größer werden, da die erste Wirkung auf Strahlung beruht. Dem war auch so, und das Größerwerden des Intervalles ist zugleich ein Beweis, daß die erste Wirkung der Ausstrahlung zuzuschreiben ist.

Dieses Zeitintervall war aber nie groß genug um die constante Ablenkung des, durch die erste Wirkung verursachten, Stromes zu bestimmen.

Es verdiente demnach den Vorzug nur den ersten Ausschlag zu beobachten. So kurz die Zeitdauer dieses ersten Ausschlages war, so waren doch für dieselbe die Aenderungen des Erdmagnetismus und der wechselnde Einfluß der Zimmerwände zuweilen so störend, daß nicht beobachtet werden konnte; es wurden nur Beobachtungen gemacht, wenn diese Störungen möglichst klein waren. Ist der Magnet abgelenkt, so dauerte es oft 5 bis 10 Minuten bis sie wieder völlig zur Ruhe kam und es fand sich alsdann der Nullpunkt oft um einige Scalentheile verlegt; es wurde daher immer der Nullpunkt vor der Beobachtung genommen.

Aus dem ersten Ausschlage x_n kann man die constante Ruhelage p bestimmen; dies ist aber nicht nothwendig, denn wir haben ¹⁾

$$p = \frac{x_n}{1 + e^{-\lambda}},$$

1) Wiedemann II, S. 244.

wo e die Basis der natürlichen Logarithmen und λ das logarithmische Decrement bezeichnet.

Nun ist λ nur abhängig von der GröÙe der Richtkraft und der Dämpfung; diese ist gleich einer constanten GröÙe bei einem Galvanometer mit demselben Schließungskreise, und jene ist der Unterschied zwischen der Richtkraft durch die horizontale Componente des Erdmagnetismus und der, durch den Hülfsmagnet ausgeübt.

Während jeder Versuchsreihe darf man diesen Unterschied als constant betrachten, da der Hülfsmagnet immer in derselben Lage blieb und die Beobachtungen unmöglich waren, wenn die Intensität und magnetische Declination viel veränderten.

Bestimmen wir also statt der constanten Ablenkung, durch die totale Ausstrahlung, d. h. die durch jeden der Würfel ausgestrahlte Wärmemenge, verursacht, den ersten Ausschlag, so wird das Verhältniß dieser ersten Ausschläge dem der constanten gleich seyn.

Dieses ist aber nur so weit richtig, als wir die Thermostrome, auch im Anfange, als constante Ströme betrachten können, da die obenerwähnte Formel nur in diesem Falle gültig ist. Die Zunahme der Temperatur aber, welche die Löthstellen zufolge der strahlenden Wärme der Würfel in der Entfernung wo sie gestellt waren, erhalten, wird sehr gering seyn; es wird innerhalb sehr kurzer Zeit das Maximum der Temperatur erreicht, und wieder verloren werden, wenn ein Schirm zwischen die Säule und der Wärmequelle gestellt wird.

Um jedoch mittelst Versuche zu bestimmen, ob man obengenannter Methode folgen dürfte, bestimmte ich das Verhältniß zwischen den ersten und constanten Ablenkungen bei Thermostromen von sehr verschiedener Intensität, und sah daß jenes Verhältniß immer dasselbe war.

Die ersten Ausschläge der totalen Ausstrahlung waren gewöhnlich sehr groß, oft würden sie die Gränzen der Scala überschritten haben; deshalb wurde bei diesen Messungen eine Nebenschließung eingeschaltet.

Bezeichnen wir mit w den Widerstand der Thermosäule mit den zu den Quecksilbernäpfen führenden Fäden, in welchen Näpfen ebenfalls die zum Galvanometer führenden Fäden und der Widerstand eingetaucht wurden; mit w_1 den Widerstand des eingeschalteten Leiters und mit w_2 den der Windungen des Galvanometers, nebst den zu den Quecksilbernäpfen führenden Fäden; weiter die Intensität des Stromes wenn der Widerstand nicht eingeschaltet ist, i , und wenn dies der Fall ist in dem Leiter, dessen Widerstand $w:J$; im eingeschalteten Widerstande i_1 und in dem Leiter dessen Widerstand $w_2:i_2$, so ist den Gesetzen Ohm's und Kirchhoff's zufolge, mit E die elektromotorische Kraft der Thermosäule bezeichnend:

$$i = \frac{E}{w + w_2}$$

$$J - i_1 - i_2 = 0$$

$$Jw + i_2 w_2 = E$$

$$i_1 w_1 - i_2 w_2 = 0,$$

wodurch i aus i_2 berechnet werden kann:

$$i = \frac{(w_1 + w_2) w + w_1 w_2}{(w + w_2) w_1} i_2 = A i_2.$$

Also ist A eine Gröfse, nur vom Widerstande abhängig, nicht von der Intensität des Stromes; zur Bestimmung von A können wir solch eine Wärmemenge auf die Säule schicken, daß der erste Ausschlag die Gränzen nicht überschreitet, dann schalten wir den Widerstand ein und bestimmen wieder den ersten Ausschlag.

Durch diese Einschaltung wird aber der Theil der Dämpfung geändert, welcher durch die Windungen verursacht wird; diese Aenderung kann aber vernachlässigt werden in Bezug auf den constanten, durch die Kupferhülse verursachten Theile, da wie ich gesehen habe, das Verhältniß der ersten Ausschläge desselben Stromes mit und ohne Widerstand dasselbe war, als das der constanten Ablenkungen; und da die constanten Ablenkungen

den Intensitäten der Thermoströme proportional sind, so wird das Verhältniß der ersten Ausschläge A geben.

Also fand ich am 1. März:

Erster Ausschlag:

mit Widerstand	75
ohne -	393
mit -	75
ohne -	393
mit -	75,

welches für A den Werth 5,24 giebt.

Zuweilen erhielt ich kleine Unterschiede, in welchen Fällen das Mittel der Ablenkungen genommen wurde.

Zehn solcher Reihen habe ich an fünf verschiedenen Tagen angestellt bei sehr verschiedener Intensität. Die Resultate sind hier zusammengestellt:

Erster Ausschlag		A
mit Widerstand	ohne Widerstand	
75	393	5,24
65	321	5,31
66	344	5,21
76,7	407,5	5,31
57,2	299	5,23
47,3	252,5	5,34
65,3	343	5,24
74	382,5	5,17
15,5	81	5,23
135,3	702,3	5,19

Das Mittel ist 5,25 mit einem mittleren Fehler von weniger als 0,02.

§ 5. Die Versuche über die Absorption wurden immer

Abends angestellt, nachdem das Zimmer nöthigenfalls geheizt worden war.

Mit der oben beschriebenen Einrichtung stellte ich am 3. März folgende Versuche an:

- I. Die kleinen Schirmchen vor den Oeffnungen, also *ohne Wärmequelle*, durch alle 4 Cylinder Luft geblasen. Ablenkungen:

— 7
— 10,5
— 6,5.

- II. Schirmchen hinaufgezogen; die Wärme der beiden Würfel compensirt. Luft geblasen.

Ablenkungen.

-- 13
— 11.

- III. Widerstand eingeschaltet; nach einander das Schirmchen vor jeder der Wärmequellen.

Mittel der Ablenkungen:

108

Widerstand entfernt.

- IV. Luft geblasen.

Ablenkungen:

— 13
— 13.

- V. Schirmchen vor den Oeffnungen. Luft geblasen.

Ablenkungen:

— 10
— 10
— 9,5
— 8,5
— 7,5
— 6.

VI. Schirmchen hinaufgezogen; Wärme von beiden
Seiten compensirt. Luft geblasen.

Ablenkungen:

— 11

— 14,5.

VII. Wie III. Mittel der Ablenkungen:

112

Widerstand entfernt.

VIII. Luft geblasen. Ablenkungen:

— 11,5

— 11,5.

IX. Schirmchen vor den Oeffnungen. Luft geblasen.

Ablenkungen:

— 7

-- 8.

Die Temperatur war 20° C.

Diese Versuche zusammenstellend:

A b l e n k u n g

ohne Wärmequelle:	mit Wärmequelle:
7	13
10	11
6,5	13
10	13
10	11
9,5	14,5
8,5	11,5
7,5	11,5
6	
7	
8	
<hr/> 8,2	<hr/> 12,3.

Die totale Strahlung ist $110 \times 5,25$ also 580. Die Differenz von 12,3 und 8,2 ist der Absorption zuzuschreiben durch eine 19 Ctm. lange Säule Wasserdampf der bei 20° C. in der Luft existiren kann auf die durch die

Würfel ausgestrahlten Wärmestrahlen nachdem diese eine Säule Luft durchsetzt haben.

Wir erhalten somit für diese Absorption den Werth 0,71 Proc. Der mittlere Fehler von 8,2 ist 0,45, von 12,3 0,50; die Summe der Quadrate dieser Fehler dividirt durch 5,8 giebt 0,11 und dieses ist also der mittlere Fehler der GröÙe der Absorption in Procenten.

In ganz ähnlicher Weise habe ich noch an fünf Abenden Versuche angestellt; nur dann und wann eine Beobachtung mehr gemacht.

Bei den 3 letzten Versuchen habe ich die Cylinder mit Chlorcalcium an die Ostseite, die mit befeuchteten Kieselsteinchen an die Westseite gestellt: die Ablenkungen erhielten also das entgegengesetzte Zeichen.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche:

Länge 19 Ctm.

Datum und Temperatur	ohne Wärmequelle			mit Wärmequelle			totale Strahlung	Absorption		
	n	Ab- lenkung	mittl. Fehler	n	Ab- lenkung	mittl. Fehler		totale	in Pro- centen	mittl. Fehler
3. März 20° C.	11	— 8,2	0,45	8	— 12,3	0,50	580	4,1	0,71	0,11
8. März 18° C.	10	— 4,75	0,32	10	— 7,8	0,55	640	3,05	0,48	0,11
9. März 19° C.	12	— 10,2	0,64	11	— 14,5	0,63	620	4,3	0,69	0,15
18. März 16°,5 C.	10	+ 4,2	0,44	10	+ 8,75	0,54	680	4,55	0,67	0,10
20. März 18°,5 C.	12	+ 9,9	0,39	12	+ 13,3	0,58	660	3,4	0,52	0,10
21. März 18° C.	12	+ 7,9	0,60	12	+ 12,6	0,68	640	4,7	0,73	0,15

Für die Absorption erhalten wir somit, die verschiedenen Gewichte in Rechnung ziehend, den Werth 0,61 Proc. mit einem mittleren Fehler 0,05.

§ 6. Hätte man nur die Ablenkungen „mit Wärmequelle“ beobachtet, so würde die Absorption durch diese Säule von 19 Ctm. größer seyn als die von Dr. Hoorweg einer von 25 Ctm. zugeschriebene. Wie mir scheint, ist die Ursache die folgende:

Bei den ersten Versuchen stellte Dr. Hoorweg beiderseits der Säule einen Cylinder, so daß die Länge des aufsteigenden Luftstromes an jeder Seite 9,5 Ctm. betrug; bei der Verlängerung des Luftstromes zu 25 Ctm. blieben die Cylinder resp. mit Chlorcalcium und benetzten Kieselsteinchen gefüllt, wurden aber von oben mit einem passenden Korke verschlossen, durch welchen eine gläserne Röhre ging, welche mittelst Kautschukröhren mit dem seitlichen Tubus der Tröge von 25 Ctm. verbunden war. Dr. Hoorweg hat die Güte gehabt mir mitzuthellen, daß er die Menge Chlorcalcium und Kieselsteinchen vermehrte bei jeder Verlängerung des Luftstromes; aber dennoch ist es sehr schwer zu sagen ob der Sättigungsgrad derselbe blieb; hat man, wie es doch sollte, beim ersten Versuche die Menge Chlorcalcium und Kieselsteinchen so groß gewählt, daß die Luft vollkommen trocken, resp. feucht aus den Cylindern emporstieg, so hat es keinen Nutzen die obengenannte Menge zu vermehren beim zweiten Versuche.

Es schien mir wünschenswerth zu untersuchen: wie verändert die Absorption, wenn die Menge Wasserdampf, die sich in einem a Ctm. langen Raume befindet, sich ausbreitet in einem übrigens gleichen na Ctm. langen Raume.

Nennen wir das Verhältniß der Wärmemenge, welche durch eine Schicht Wasserdampf von der Dicke 1 Ctm. gegangen ist und der, welche auf diese Schicht fiel im ersten Falle x , im zweiten y , so ist die den Wasserdampf verlassende Wärmemenge im ersten Falle Mx , im zweiten My wenn wir mit M die Wärmemenge bezeichnen, welche auf die erste Schicht fällt. In einer Schicht von

der Dicke 1 Ctm. befinden sich im ersten Falle n Mal mehr Theilchen Wasserdampf als im zweiten; setzen wir nun voraus, daß auch im ersten Falle die Absorption die n -fache ist, so ist

$$1 - x = n(1 - y);$$

nennen wir $1 - x = d$, so erhalten wir für das Verhältniß der in beiden Fällen durchgelassenen Wärmemengen:

$$\frac{My''}{Mx''} = \frac{\left(1 - \frac{d}{n}\right)^n}{(1 - d)^n} = 1 + \frac{n-1}{2} \frac{d}{n} d^2 + \text{u. s. w.}$$

Da wir die Absorption der Menge Dampftheilchen proportional setzen, so können die höhern Potenzen vernachlässigt werden und alle Glieder mit d verschwinden.

Dieses gilt also für diejenigen Gase bei welchen in einer Dicke von 1 Ctm. die Absorption dem Drucke proportional gesetzt werden darf. Tyndall hat aber gefunden, daß in einer größeren Dicke diese Proportionalität bei Kohlensäure bis zum Drucke von 80 Mm. richtig ist; Wasserdampf absorbiert weniger als Kohlensäure und der Druck beträgt bei 20° C. 17,4 Mm., bei 30° C. 31,6 Mm.; wir dürfen somit für Wasserdampf wenigstens bis 30° C. obengenannte Proportionalität annehmen und die in beiden obenerwähnten Fällen absorbierte Wärmemenge muß also dieselbe seyn.

Um dieses einer experimentellen Prüfung zu unterwerfen, stellte ich an jeder Seite der Säule einen Trog, ähnlich den von Dr. Hoorweg benutzten, 50 Ctm. lang, jeder von zwei seitlichen Tuben versehen. Die Cylinder, wie bei den vorigen Versuchen gefüllt, wurden mit Korken verschlossen durch welche eine gläserne Röhre ging. Jeder der seitlichen Tuben der Tröge wurde mittelst Kautschukröhren verbunden mit den gläsernen Röhren, so daß die Luft, nachdem sie durch die Cylinder gegangen war, einerseits eine Säule feuchter, andererseits eine Säule trockner Luft, 50 Ctm. lang bildete.

Selbstverständlich müssen, weil dieselbe Menge Luft als bei den vorigen Versuchen durch dieselben Cylinder geht, die aufgenommene Menge Wasserdampf einer — und die abgegebene andererseits ebenfalls dieselbe geblieben seyn; die Absorption muß somit dieselbe seyn als bei den vorigen Versuchen.

Der Abstand der Würfel von der Thermosäule mußte aber vergrößert werden; die totale Ausstrahlung wurde kleiner und der Einfluß der Beobachtungsfehler größer. Die Tröge wurden in einer Entfernung von 23 Ctm. von den Enden der Reflectoren und von den Schirmen aufgestellt, der östliche Trog war mit dem mit Chlorcalcium gefüllten Cylinder verbunden, der westliche mit dem mit befeuchteten Kieselsteinchen gefüllten. Die Versuche wurden in ganz ähnlicher Weise wie die vorigen angestellt.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate.

Datum und Temperatur	ohne Wärmequelle			mit Wärmequelle			totale Strahlung	Absorption		
	n	Ab- lenkung	mitl. Fehler	n	Ab- lenkung	mitl. Fehler		totale	in Pro- centen	mitl. Fehler
27. März 17 ^o ,5 C.	10	+ 8,9	0,53	10	+ 5,65	0,56	390	1,75	0,45	0,19
28. April 17 ^o	11	+ 2,75	0,56	10	+ 4,55	0,33	400	1,8	0,45	0,19

Wie man sieht, liegt der Unterschied zwischen dem Werthe der Absorption bei diesen Versuchen und bei den vorigen innerhalb der Beobachtungsfehler. Ich glaube durch diese zwei Beobachtungen die Sache hinlänglich experimentell erwiesen zu haben; deshalb habe ich diese Versuche nicht wiederholt, um so mehr, weil die Abende, während welcher der Magnet ruhig war, sehr wenige waren und ich diese zu weiteren Versuchen benutzen wollte.

Wünscht man also den Einfluß der Vermehrung der Länge auf den Werth der Absorption zu bestimmen, so

mufs der Sättigungsgrad derselbe bleiben. Bei den Versuchen von Dr. Hoorweg war dieses der Fall mit der Verlängerung von 25 bis 50 und bis 100 Ctm.; aber beim Uebergange von 9 bis 25 Ctm. ist dieses, wie ich meine, nicht hinlänglich berücksichtigt, so daß nur beim ersten Versuche die Luft einerseits vollkommen feucht, andererseits vollkommen trocken gewesen seyn kann.

Wie oben erwähnt wurde, hat auch Magnus ein Experiment in der freien Luft angestellt, aber keine Absorption dem Wasserdampfe zugeschrieben. Magnus beschreibt diesen Versuch folgendermassen ¹⁾: „Vier enge Messingröhren von 8 Mm. Durchmesser und 66 Ctm. Länge lagen in Abständen von 12 Mm. horizontal neben einander. Jede derselben enthielt 40 feine Löcher in einer Reihe 12 Mm. von einander entfernt. Das eine Ende dieser Röhren war geschlossen, am anderen waren alle vier durch eine Querröhre verbunden, die mit dem Blasebalg in Verbindung stand. Da die feinen Löcher dieser Röhren alle nach oben gewendet waren, so erhielt man beim Einblasen eine Anzahl feiner, von unten nach oben gerichteten Luftströme. Dieses Röhrensystem wurde zwischen der Säule und dem Würfel so angebracht, daß die Wärmestrahlen nur durch jene Luftströme zur Säule gelangen konnten.“

Ich habe diesen Versuch in derselben Weise wiederholt; statt Messingröhren habe ich Röhren von Weißblech angewandt, aber von genau denselben Dimensionen, und statt der einen Querröhre verband ich je zwei durch eine Y-förmige Röhre. Jede dieser Röhren war mittelst Kautschukröhren mit einem mit Chlorcalcium gefüllten Cylinder verbunden. Wurde jetzt Luft durch die Cylinder geblasen, so erhielt ich eine Ablenkung von 2 à 3 Mm.; während die der totalen Strahlung 400 war.

Die Luft im Zimmer war sehr feucht, so daß ich beim Emporsteigen vollkommen feuchter Luft keine Ablenkung erhielt.

Man kann sich nicht wundern, daß diese kleine Ab-

1) Diese Annal. Bd. 130, S. 221.

lenkung Magnus entgangen ist, dem doch nicht solch ein empfindlicher Thermomultiplier zu Gebote stand. Die aus allen jenen feinen Löchern emporsteigende trockne Luft, welche sich in ziemlich großer Entfernung von einander befanden, war aber bei weitem nicht im Stande die Luft durch vollkommen trockne zu ersetzen.

§ 7. Um die Absorption durch eine größere Säule Wasserdampf zu bestimmen, stellte ich beiderseits der Thermosäule 3 Cylinder hinter einander; die Länge war 29 Ctm. Die Cylinder an der einen Seite wurden wieder mit Chlorcalcium, die an der anderen Seite mit, durch destillirtes Wasser befeuchteten, Kieselsteinchen gefüllt. Der Abstand des ersten Cylinders von den Enden des Reflectors war 19,5 Ctm.

Die Versuche wurden in ganz ähnlicher Weise gemacht wie die ersten und die Bemerkung in Bezug auf das Vorzeichen ist auch hier gültig.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche.

Länge 29 Centimeter.

Datum und Temperatur	ohne Wärmequelle			mit Wärmequelle			totale Strahlung	Absorption		
	n	Ab- lenkung	mittl. Fehler	n	Ab- lenkung	mittl. Fehler		totale	in Pro- centen	mittl. Fehler
4. Mai 16° C.	9	—6,3	0,44	9	—11,45	0,70	635	5,15	0,81	0,14
8. Mai 16°,5 C.	10	—6,25	0,57	10	—11,95	0,54	655	5,7	0,87	0,12
9. Mai 17° C.	10	—6,35	0,67	10	—12,65	0,74	625	6,3	1,01	0,16
11. Mai 17°,5 C.	13	+7,8	0,80	12	+12,85	0,85	630	5,05	0,80	0,19
16. Mai 17°,5 C.	10	+6,25	0,63	11	+11,6	0,43	625	5,35	0,86	0,12
1. Juni 17°,5 C.	12	+6,8	0,75	12	+12,0	0,75	645	5,2	0,80	0,16

Wir erhalten somit für die Absorption ausgeübt durch den Wasserdampf, der in einer 29 Ctm. langen Säule Luft bei 17° C. bestehen kann, den Werth 0,86 Proc. mit einem mittleren Fehler von 0,06 Proc. Berechnen wir wie viel der Wasserdampf in einer 19 Ctm. langen Säule absorbiren würde, so erhalten wir 0,57 m. F. 0,04, während sie oben durch Versuche zu 0,61 m. F. 0,05 bestimmt wurde.

Diese Uebereinstimmung zeigt, daß jene 0,61 und 0,86 Proc. in der That der Absorption zuzuschreiben sind, und nicht etwa einem Wärmeverlust durch Reflexion am feuchten oder trocknen Luftstrom¹⁾. Ich wage es nicht zu behaupten, daß die Luft über den Cylindern einerseits vollkommen trocken, andererseits mit Wasserdampf gesättigt ist, da der Luftstrom sich mischen wird mit der atmosphärischen Luft; diese wird aber bald durch den fort-dauernden Strom ersetzt werden; die Länge der Säule Luft habe ich der Summe der Diameter der Cylinder gleich gesetzt; der durch die Wärmestrahlen wirklich durchlaufene Weg ist aber wahrscheinlich etwas länger durch die seitliche Ausbreitung des Luftstroms; so daß dieses die erstgenannte Ungenauigkeit wenigstens zum Theil compensiren wird.

Deshalb glaube ich, daß 0,61 und 0,86 Proc. für die Werthe der Absorption durch den Wasserdampf, der in einer 19 resp. 29 Ctm. langen Säule Luft bei 17 bis 18° C. bestehen kann, in Bezug auf die durch den geschwärzten Leslie'schen Würfel bis 100° erwärmt, ausgestrahlte Wärme, nachdem dieselbe eine Strecke Luft durchsetzt hat, nicht weit von der Wahrheit entfernt seyn kann.

Für den Werth der Absorption durch eine 1 Meter lange Säule finden wir 3,1 Proc. m. F. 0,17, während 10 Proc. absorbirt werden durch eine ungefähr 3,3 Meter lange Säule gesättigten Wasserdampfes bei 17 bis 18° C.; vorausgesetzt daß alle Strahlen gleichmäßig absorbirt werden.

1) Diese Ann. Bd. 129.

§. 8. Eine Frage müssen wir noch untersuchen: Welche ist die Ursache der ersten Wirkung der trocknen und feuchten Luft?

Daß sie der Ausstrahlung zuzuschreiben ist, habe ich schon nachgewiesen; aber welcher ist der ausstrahlende Körper?

Die Cylinder können die Ursache nicht seyn, da die Wirkung sich ebenfalls zeigte, bei den Versuchen §. 6 beschrieben; bei diesen Versuchen kann man schwerlich behaupten, daß mechanisch mitgeführte Tröpfchen Wasser oder Theilchen Chlorcalcium die Ursache sind, da die aus den Cylindern tretende Luft einen ziemlich langen Weg durch die Kautschuk-Röhre zurücklegen mußte; außerdem ist die Wirkung viel zu constant um sie solchen mehr zufälligen Umständen zuzuschreiben und der Luftstrom hatte bei weitem nicht eine solche Geschwindigkeit, daß dieses Mitführen wahrscheinlich wird. Bei diesen Versuchen könnte die Erwärmung resp. Abkühlung der oberen Seite des Troges die Ursache seyn; da es schwer war dieses zu prüfen, habe ich noch bei der Vorrichtung, § 3 mitgetheilt, folgende Versuche angestellt.

Was hier ausstrahlen könnte war:

- 1) Die Außenseite der, der Säule am nächsten stehenden, Cylinder.
- 2) Der obere Theil der inneren Seite der Cylinder.
- 3) Kieselsteinchen oder Stückchen Chlorcalcium, die ein wenig zu hoch waren.
- 4) Der Luftstrom.

Ich stellte Schirme vor die Cylinder, bedeckte den oberen Theil der inneren Seite mit matt schwarzem Papier, nahm so viel Kieselsteinchen und Chlorcalcium aus den Cylindern heraus, daß diese Körper keine Strahlen auf die Säule schicken konnten und dennoch blieb die Ablenkung der ersten Wirkung dieselbe; also kann nur der Luftstrom selbst die Ursache seyn¹⁾.

- 1) Diese Versuche stellte ich ebenfalls an mit Alkohol (weiter unten); auch hier blieben die Ablenkungen dieselben.

Bei der feuchten Luft kann der Wasserdampf der ausstrahlende Körper seyn, bei der trocknen aber Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure und etwaige Unreinigkeiten; welcher von diesen lasse ich unentschieden.

§. 9. In §. 1 habe ich Tyndall's letzte Versuche in Bezug auf diesen Gegenstand erwähnt. Als keine Steinsalzplatten benutzt wurden, fand Tyndall für die Absorption den Werth 5 Proc.; bei diesen Versuchen aber muß fortwährend trockne oder feuchte Luft durch die Röhre geblasen werden, und ist es deshalb möglich, daß ein Theil dieser 5 Proc. statt der Absorption dem Luftstrome zuzuschreiben ist.

Der Einfluß dieses Luftstromes kann aber wieder neutralisirt werden durch die Erwärmung und Abkühlung in Folge der Condensation oder Verdampfung von Wasser an der inneren Oberfläche der Röhre. Tyndall erwähnt aber nicht, ob er ohne Wärmequelle zu benutzen die Ablenkung beobachtet hat, welche das Durchblasen feuchter und trockner Luft verursacht.

§ 10. Jetzt lag es sehr nahe zu untersuchen ob auch andere Flüssigkeiten beim Uebergange im Dampfe so viel Wärme verbrauchen, daß die Luft oder der Dampf dadurch abgekühlt einen merkbaren Einfluß auf die Säule ausübte.

Einen Cylinder, mit von gewöhnlichem Alkohol getränkten Kieselsteinchen gefüllt, stellte ich in einer Entfernung von 20 Ctm. von der Oeffnung der Säule; wurde Luft durch den Cylinder geblasen, so erhielt ich eine Ablenkung von 39 Mm. (Mittel aus 10 Beobachtungen), welche die Abkühlung des Luftstromes zeigte; ließ ich die Wärme der beiden Leslie'schen Würfel auf die Säule fallen, so verursachte der Luftstrom aus dem Cylinder eine Ablenkung von 106 Mm. (Mittel aus 10 Beobachtungen); die totale Strahlung war 625 Mm.

Höchst wahrscheinlich wird dieses nicht nur bei Wasser und Alkohol der Fall seyn, sondern auch bei den übrigen Flüssigkeiten und die Versuche über die Absorption durch

Dämpfe, bei welchen diese Wirkung Einfluß hat ausüben können, müssen also wiederholt werden.

Mit reinem Alkohol habe ich noch folgende Versuche angestellt.

Der Alkohol war von 98 bis 99 Proc., und hatte nur einen schwachen Geruch.

Die Wirkung der emporsteigenden Säule und die Absorption verursachten sehr große Ablenkungen; es war deshalb nicht mehr nothwendig den Magnet in solch einer empfindlichen Lage zu halten, als ich bei den Versuchen mit dem Wasserdampfe brauchte; den Hilfsmagnet senkte ich 8 Mm., wodurch die Wärme eines Leslie'schen Würfels statt einer Ablenkung von 660 Mm. eine von 390 verursachte. Mit dieser Anordnung habe ich die folgenden Experimente ausgeführt.

Die Abstände der Schirme, Würfel und Säule von einander waren wie §. 3 angegeben ist. Erstens wurde ein Cylinder mit von Alkohol getränkten Kieselsteinchen so gefüllt, daß diese keine Strahlen auf die Säule schicken konnten; der Cylinder wurde an die Ostseite der Säule gestellt, in einer Entfernung von der Oeffnung des Reflectors von 23 Cent.; ein Schirm von starker Pappe, eben so hoch als der Cylinder wurde vor diesem aufgestellt.

Jedesmal als viermal Luft durch den Cylinder geblasen war, wurden die Kieselsteinchen wiederum von Alkohol getränkt; dies erwies sich genügend, um der Verdampfung das Gleichgewicht zu halten.

Die Folge der Versuche war gewöhnlich:

2 ohne Wärmequelle

2 mit „

wiederum tränken

2 mit Wärmequelle

2 ohne „

Hierauf wurde die totale Strahlung bestimmt und eine neue Reihe angefangen in ganz ähnlicher Weise wie die obengenannte, nur mit Vertauschung von „ohne“ und „mit“ Wärmequelle.

Um die Absorption durch eine gröfsere Säule zu bestimmen, wurden 2 Cylinder hinter einander gestellt; der Abstand der Oeffnung des Reflectors vom ersten Cylinder betrug 18 Cent.

Die Resultate sind hier zusammengesetzt. Die obere Zahl in der Parenthese ist der mittlere Fehler, die untere die Anzahl der Beobachtungen.

Ablenkung.

1 Cylinder	ohne Wärmequelle	mit Wärmequelle	totale
7. Juni 17° C.	28,8 { 0,8 16	78,4 { 2,1 15	380
9. Juni 16,5° C.	23,2 { 1,2 16	68,2 { 2,1 16	390
12. Juni 17° C.	25,2 { 1,0 12	71,8 { 1,4 12	380
2 Cylinder			
8. Juni 17,5° C.	45,7 { 2,3 16	109,8 { 3,0 16	370
10. Juni 16° C.	47,1 { 1,1 12	112,3 { 1,2 12	390

Also:

1 Cylinder	2 Cylinder
$\frac{49,6}{380} = 12,8 \text{ Proc. m. F. } 0,65$	$\frac{64,1}{370} = 17,3 \text{ Proc. m. F. } 1,0$
$\frac{45}{390} = 11,6 \text{ Proc. m. F. } 0,62$	$\frac{65,2}{390} = 16,7 \text{ Proc. m. F. } 0,44$
$\frac{46,6}{380} = 12,3 \text{ Proc. m. F. } 0,45$	
$\frac{12,2 \text{ Proc. m. F. } 0,34}{12,2 \text{ Proc. m. F. } 0,34}$	$\frac{17,0 \text{ Proc. m. F. } 0,55}{17,0 \text{ Proc. m. F. } 0,55}$

Betrachtet man 17 Proc. ganz als Absorption ausgeübt durch die längere Säule und berechnet die der zweimal kürzeren, so erhalten wir 8,9 m. F. 0,3, während wir 12,2 Proc. gefunden haben. Der Unterschied überschreitet die Beobachtungsfehler zu viel.

Aus den Ablenkungen „ohne Wärmequelle“ ersieht man, daß die Dichtigkeit in beiden Fällen ziemlich gleich gewesen ist, so daß dadurch der Unterschied nicht erklärt werden kann.

Infolge der Reflexion der Wärmestrahlen an der Gränze Luft - Dampf und Dampf - Luft kann ein Verlust stattfinden, und dieses wird einen Unterschied verursachen wie oben gefunden wurde. War bei den Versuchen mit 2 Cylindern der emporsteigende Dampf für keinen Strahl unterbrochen, so würde der Einfluß dieser Reflexion dem bei den Versuchen mit einem Cylinder gleich seyn. Setzen wir dieses voraus, so finden wir, daß 7 Proc. reflectirt, 5,5 Proc. und 10,6 Proc. resp. durch die kürzere und längere Säule absorbirt wurden. Die Cylinder standen zwar nebeneinander, der Dampf im mittleren Theile war also nicht unterbrochen, aber es ist sehr möglich daß Strahlen, welche nicht durch die Mitte gehen viermal reflectirt wurden. Statt Cylinder muß man also Parallelipeda benutzen, da dann in einem Falle alle Strahlen einen zweimal größeren Weg als im anderen durch den Dampf zurücklegen und in beiden Fällen nur zweimal reflectirt werden.

Aber außer dieser Reflexion kann der obengenannte Unterschied noch dadurch erklärt werden, daß die Schwächungscoëfficienten der verschiedenen dem Würfel entströmenden Strahlen nicht dieselben sind; in dieser Voraussetzung ist ja die Rechnung durchgeführt. Wahrscheinlich findet sowohl Reflexion als Thermochrose statt. Spätere Untersuchungen müssen über diesen Gegenstand entscheiden.