II. Ueber den Einfluss der Vaporhäsion bei Versuchen über Absorption der Wärme; von G. Magnus.

Bekanntlich ist von Hrn. Tyndall in London gleichzeitig mit mir bereits im Jahre 1861 eine Untersuchung über den Durchgang der Wärme durch die verschiedenen Gasarten veröffentlicht worden. Beide Untersuchungen, unabhängig von einander und nach verschiedenen Methoden ausgeführt, haben das Resultat geliefert, daß die Gase in Bezug auf ihre Fähigkeit die Wärme durchzulassen sich so verschieden verhalten, daß einige, in eine Röhre von 1 Meter Länge eingeschlossen, weniger als die Hälfte von der auf sie fallenden Wärme durchlassen, während die atmosphärische Luft den Durchgang unter gleichen Umständen kaum merklich beeinträchtigt. In dieser Beziehung stimmten die von uns gefundenen Resultate im Allgemeinen mit einander überein, in Bezug aber auf die mit Wasserdämpfen gesättigte Luft zeigten sie große Verschiedenheit. Hr. Tyndall hatte gefunden, daß diese die Wärme in außerordentlichem Maasse absorbire, so daß, wenn man, wie er sich ausdrückt ¹⁾, ein einzelnes Atom Sauerstoff oder Stickstoff mit einem einzelnen Atom Wasserdampf vergleicht, das letztere 16000 Mal mehr Wärme als eines von jenen absorbire. Später führt er an ²⁾, daß die feuchte Luft die in einer Röhre von 4 Fufs Länge enthalten ist, 4,2 bis 6 Proc. von der gesammten in diese Röhre gelangenden Wärme absorbire. Dagegen hatte ich gefunden, daß zwischen dem Absorptionsvermögen der mit Feuchtigkeit gesättigten und der ganz trocknen Luft von der Temperatur des Zimmers kein mit Sicherheit festzustellender Unterschied vorhanden sey.

Seitdem sind von Hrn. Tyndall verschiedene, für die Meteorologie wichtige Folgerungen aus der von ihm beob-

1) *Phil. Mag. T. XXV, p. 203.*

2) *Phil. Mag. T. XXVI, p. 36.*

achteten großen Absorption der Wasserdämpfe hergeleitet worden und hierin sind ihm auch andere Physiker gefolgt. Allein nicht wegen jener Folgerungen ist die Frage über die Absorption von Wichtigkeit, denn diese bleiben, wie ich bei anderer Gelegenheit schon hervorgehoben habe, bestehen, wenn sie statt auf durchsichtigen oder eigentlichen Wasserdampf auf den theilweis niedergeschlagenen, nebelförmigen, in welchen der durchsichtige bei der geringsten Temperaturdifferenz übergeht, bezogen werden. Vielmehr ist es an und für sich von Interesse zu wissen, ob die Absorption der Wärme durch feuchte Luft in der That so außerordentlich viel größer als durch trockne ist. Außerdem aber hat Hr. Tyndall ohne Zweifel mit der größten Gewissenhaftigkeit gearbeitet, was auch ich gethan zu haben mir bewußt bin, wenn trotzdem so große Verschiedenheiten in unsern Resultaten sich zeigen, so liegt die Vermuthung nahe, daß noch unbekannte oder bisher unberücksichtigt gebliebene Umstände bei unsern Versuchen mitgewirkt haben. Bisjetzt haben wir uns beide vergebens bemüht dergleichen aufzufinden. Wir mußten uns darauf beschränken durch neue, von einem veränderten Standpunkte ausgehende Versuche die gefundenen Resultate zu bekräftigen. So habe ich noch im Beginn des verflossenen Jahres 1866 eine Abhandlung über den Einfluß der Absorption der Wärme auf die Bildung des Thaus veröffentlicht¹⁾, welche eine Vergleichung des Ausstrahlungsvermögens der trocknen und der mit Wasserdämpfen gesättigten Luft enthält. Bei dieser hatte sich unzweifelhaft herausgestellt, daß so lange die in der Luft befindlichen Dämpfe vollkommen durchsichtig, also eigentliche Dämpfe sind, keine bemerkbare Verschiedenheit in dem Ausstrahlungsvermögen der trocknen und der mit Dämpfen gesättigten Luft vorhanden ist, daß solche sowohl in Bezug auf Absorption als auf Ausstrahlung erst eintritt, wenn die Dämpfe sich nebelförmig auszusondern beginnen. Hiernach hat auch Hr. Tyndall seine Behaup-

1) Pogg. Ann. Bd. CXXVII, S. 613.

tung noch einmal aufrecht erhalten ¹⁾), nachdem ist aber ein dritter Physiker als Schiedsrichter in dieser Sache aufgetreten.

Hr. Prof. Wild in Bern hat nämlich umfangreiche Versuche nach der Methode des Hrn. Tyndall ausgeführt und die Angaben desselben vollkommen bestätigt gefunden. Wer die Abhandlung ²⁾ des Hrn. Wild liest, wird sie mit dem Eindrücke fortlegen, daß, wie es von einem so bewährten Physiker nicht anders zu erwarten ist, die darin enthaltenen Angaben vollkommen zuverlässig sind. Ich gestehe wenigstens, daß es mir so ergangen ist, und daß ich nicht begriff wie jene Ergebnisse mit meinen eignen Beobachtungen, von denen ich mir bewußt war sie mit aller Sorgfalt und ohne vorgefaßte Meinung angestellt zu haben, zu vereinen seyen. Ich entschloß mich deshalb die Sache noch ein Mal aufzunehmen, und zunächst die Versuche des Hrn. Wild genau zu wiederholen. Es war dieß leicht möglich, da Hr. Wild die Dimensionen seines Apparates genau angegeben hat, was ich mit großem Dank anerkenne, da, wie sich später zeigen wird, sehr viel von diesen Dimensionen abhängt. Die Einrichtung dieses Apparates war folgende:

Auf beiden Seiten der mit ihren Conen versehenen Thermosäule war eine, außen und innen polirte Messingröhre 60^{cm} lang und 6^{cm} im Durchmesser, horizontal so angebracht, daß die Axen beider Röhren mit der der Thermosäule in ein und dieselbe gerade Linie fielen. In der Verlängerung dieser Linie und senkrecht gegen dieselbe war vor jeder Röhre ein geschwärzter Würfel aus Blech aufgestellt, in welchem Wasser durch eine Lampe im Kochen erhalten wurde. Diese Würfel, welche als Wärmequellen dienten, standen jeder 10^{cm} von dem Ende seiner Röhre entfernt, und ebenso weit lagen die andern Enden der Röhren von den Conen der Thermosäule ab. Zwischen

1) *Phil. Mag. T. XXXII, p. 118.*

2) *Pogg. Ann. Bd. CXXIX, S. 57.*

Poggendorff's Annal. Bd. CXXX.

der einen dieser Röhren und ihrem Würfel war ein, mittelst einer Schraube beweglicher Schirm angebracht, durch den ein solcher Theil der Strahlen dieses Würfels aufgefangen wurde, daß die Bestrahlung und Erwärmung der Säule auf beiden Seiten stets gleich war, und das mit dieser verbundene Galvanometer sich in der Ruhelage befand. In Abständen von 15^{cm} von jedem Ende waren beide Messingröhren mit seitlichen Oeffnungen zur Zuleitung und Fortführung der Luft versehen. Die der Thermokette zunächst befindlichen von diesen seitlichen Oeffnungen waren durch Caoutchouc-Schläuche mit zwei Röhren verbunden, von denen die eine in Schwefelsäure getränkte Bimmssteinstücke enthielt, während der Bimmsstein der andern mit Wasser getränkt war. Diese den Bimmsstein enthaltenden Röhren waren andererseits, durch ein gabelförmiges Rohr mit einer, mit einem Windfang versehenen Compressionspumpe aus Caoutchouc, wie sie für Löthrohrapparate benutzt wird, verbunden. Dadurch gelangte zu der einen der beiden Röhren trockne und zu der andern feuchte Luft. Um zu bewirken daß diese sich in den Röhren verbreite und nicht am näheren offenen Ende entweiche, waren die andern beiden seitlichen Oeffnungen mit einer Luftpumpe verbunden. Später zog es Hr. Wild vor die von der Säule entfernteren seitlichen Oeffnungen mit der Compressionspumpe und die ihr zunächst befindlichen mit der saugenden Luftpumpe zu verbinden.

Statt der Druckpumpe aus Caoutchouc habe ich einen etwas größeren doppelten Blasebalg benutzt, auch wurden statt mit Wasser befeuchteter Bimmssteinstücke Glasstücke angewendet, im übrigen war der Apparat, den ich anwandte, dem beschriebenen ganz gleich. Die Luft wurde, wenn nichts anderes angegeben ist, bei meinen Versuchen durch die entferntere seitliche Oeffnung eingeblasen. Dabei erhielt ich auch dieselben Resultate wie Hr. Wild, Erwärmung der Säule beim Einblasen von trockner Luft, Erhaltung durch feuchte, nur waren die Ausschläge des Galvanometers noch etwas größer als er sie angiebt, wahrschein-

lich weil das Instrument, dessen ich mich bediente, empfindlicher war. Deshalb war es aber auch nicht erforderlich in die eine Röhre trockne und gleichzeitig in die andere feuchte Luft zu blasen und dann zu wechseln, sondern es genügte in dieselbe Röhre trockne und sodann feuchte Luft eintreten zu lassen. Auch fand ich bald, daß die saugende Pumpe überflüssig war, denn die Ausschläge blieben dieselben, sie mochte angewendet werden oder nicht. Es ist dies auch nicht auffallend, wenn man berücksichtigt wie gering die Menge der Luft ist, welche durch solche Pumpe fortgeschafft werden kann, und wie wenig sie deshalb auf die 6^{cm} weite, an beiden Enden offene Röhre, wirken kann.

Es gelang mir indess bald zu erkennen, daß der Widerspruch der jetzt erhaltenen Resultate gegen die früher von mir beobachteten auf einem bisher unbeachtet gebliebenen Umstand beruhe. Die Veranlassung dazu gab ein Versuch bei dem von folgender Betrachtung ausgegangen wurde.

Wenn in die erwähnten beiden Messingröhren keine Luft eingeblasen wird, und die Galvanometernadel befindet sich in der Ruhelage, so empfangen beide Seiten der Thermosäule gleich viel Wärme. Wenn alsdann in beide Messingröhren gleichzeitig trockne, oder in beide gleichzeitig feuchte Luft eingeblasen wird, so müßte das Galvanometer in der Ruhelage bleiben, vorausgesetzt daß beide Röhren sich gleichmäÙig mit der eingeblasenen Luft füllen. Als indess der Versuch angestellt wurde, zeigte sich, daß das Galvanometer, wenn es beim Einblasen trockner Luft in beide Röhren in der Gleichgewichtslage war, beim Einblasen feuchter nicht darin verblieb, daß also die beiden Seiten der Säule alsdann nicht mehr gleich viel Wärme empfangen. Durch Vertauschen der Röhren, Abänderung der Zuleitungen zu denselben u. dergl. m. überzeugte ich mich, daß die Ursache dieser Verschiedenheit nicht auf einer verschiedenen Zuführung der Luft oder Verbreitung derselben in den Röhren, sondern auf einer verschiedenen

Beschaffenheit der Röhrenwände beruhte. War nämlich die eine Röhre im Innern leicht geschwärzt, so war die Verschiedenheit beim Einblasen der beiden Luftarten noch viel gröfser als zuvor.

Damit die Säule durch die geschwärzte Röhre ebenso viel Wärme als durch die polirte empfing, hatte die letztere durch den Schirm stark abgeblendet werden müssen. Wurde nun die Wirkung der eingeblasenen Luft in jeder dieser Röhren für sich untersucht, so zeigte sich, dafs in der inwendig polirten die Erwärmung durch die trockne und die Erkaltung durch die feuchte Luft sehr stark, dagegen in der innen geschwärzten viel geringer war. Diefs war der Fall, wiewohl durch beide Röhren gleichviel Wärme zur Säule gelangte und in die inwendig geschwärzte viel mehr Wärme eintrat als in die theilweis durch den Schirm abgeblendete polirte. Nach diesem Versuch war es unzweifelhaft, dafs die Wand der Röhre einen bedeutenden Einflufs auf diese Erscheinung hatte.

Dadurch, dafs der Schirm die Wärme in das polirte Rohr nur durch ein Kreissegment gelangen liefs, konnte die gröfsere Wirkung der feuchten Luft in dieser Röhre nicht veranlafst seyn; um indess auch diesem Einwande zu begegnen, wurde der Schirm ganz beseitigt und durch Vergrößerung der Entfernung des als Wärmequelle dienenden Würfels die einfallende Wärmemenge verringert. Wie vorauszusehen war, blieb der Erfolg derselbe.

Die Gröfse der Wirkung von der hier und in dem Folgenden die Rede ist, ist stets bezogen auf die gesammte, in jedem einzelnen Falle zur Säule gelangenden Wärme und ist nicht zu verwechseln mit dem beobachteten Ausschlage des Galvanometers. Die Bestimmung dieser gesammten Wärme geschah indem die eine Seite der Säule mittelst eines Schirmes abgeblendet und der, durch die Bestrahlung der andern Seite erfolgte Ausschlag des Galvanometers beobachtet wurde. Zu gröfserer Sicherheit wurde sodann auch die andere Seite abgeblendet und das Mittel aus beiden Werthen genommen. Der Ausschlag des Gal-

vanometers war hierbei fast stets so groß, daß die Scale zur Beobachtung nicht ausreichte. Für diesen Fall wurde eine Nebenschließung angebracht. Der Widerstand derselben stand zu dem des Galvanometers in solchem Verhältniß, daß die Ausschläge, wenn die Nebenschließung eingeschaltet war, 16 Mal kleiner ausfielen, als ohne sie. In dem Folgenden führe ich die in dieser Weise nach Procenten berechneten Werthe indess nicht an, weil sie zu wenig zuverlässig sind; denn bei Versuchen die auf Einblasen von Luft in eine Röhre beruhen, kann man bei Wiederholung niemals denselben Zahlenwerth erwarten. Es blieb daher nur übrig jeden Versuch mehrmals zu verschiedenen Zeiten und unter verschiedenen Umständen zu wiederholen, um dadurch die erforderliche Sicherheit zu erhalten. Bei den eben erwähnten Versuchen aber betrug die Erkaltung in der polirten Röhre etwa 3,75 Proc. und in der innen geschwärzten nur etwa 1,4 Proc.

Denselben Erfolg, der mit den Messingröhren erhalten worden, lieferten Röhren aus verzinnem Eisenblech, die ich vielfach bei diesen Versuchen anwandte.

Noch will ich bemerken, daß die erwähnten Wirkungen nicht nur bei dunkler Wärme sich zeigten, sondern auch bei Anwendung von Wärmequellen von sehr hoher Temperatur. Denn wurde der Würfel, welcher vor der zur Beobachtung dienenden Röhre stand, durch eine Platinscheibe ersetzt, die durch einen Bunsen'schen Brenner auf einer der Weißglühhitze nahen Temperatur erhalten war, so fanden die Erscheinungen in ganz ähnlicher Weise statt.

Wie groß aber der Einfluß der Röhrenwand bei den erwähnten Erscheinungen ist, geht noch aus Folgendem hervor. Wurde nämlich eine Metallröhre inwendig sehr stark mit Lampenschwarz überzogen, so war die Wirkung der eingeblasenen Luft gerade der entgegen, die in den polirten Röhren stattfand. Es trat dann Zunahme der Erwärmung beim Einblasen von feuchter und Abnahme durch trockne Luft ein. Derselbe Erfolg zeigte sich, wenn die

Röhre statt mit Lampenschwarz mit baumwollenem Sammet ausgekleidet war. Die gesammte Menge von Wärme, welche durch eine solche Röhre gelangt, ist überhaupt nur gering, daher ist auch die Zunahme beim Einblasen von feuchter Luft nicht bedeutend, aber sie ist sehr bestimmt vorhanden. Ich wage nicht sie in Procenten anzugeben, weil sie noch mehr von Zufälligkeiten abhängig ist als die Erkaltung in den polirten Röhren, aber sie betrug wenigstens 1 Proc.

Eine Röhre von Pappe, die inwendig ganz glatt war, liefs weder Erwärmung noch Erkaltung beobachten. Wurde aber Kohlensäure in diese Röhre eingelassen, so trat eine Erkaltung ein, die über 7 Proc. von der ganzen zur Säule gelangenden Wärme betrug. Bei einer andern Pappröhre aber, die inwendig mit etwas grobem Papier ausgekleidet war, hatte das Einblasen von feuchter Luft, wie bei der Sammetröhre, eine Erwärmung der Säule zur Folge. Wurde dieselbe Pappröhre aber inwendig mit dünnem Staniol überzogen, so fand die Wirkung gerade im entgegengesetzten Sinne, nämlich ganz wie bei den Metallröhren statt.

Wenn es hiernach keinem Zweifel unterliegt, dafs die Wand der Röhre die Erwärmung oder Erkaltung beim Einblasen feuchter Luft bedingt, so fragt es sich wodurch sie diese Wirkung hervorbringt.

Es ist früher von mir beobachtet worden ¹⁾, dafs feste Körper, sowohl metallische als nicht metallische, Wasserdämpfe aus der sie umgebenden Luft anziehen und an ihrer Oberfläche verdichten. Zwar lassen sich diese verdichteten Dämpfe nicht durch das Auge wahrnehmen, allein die Erwärmung, welche eintritt, wenn eine feste Wand mit feuchter Luft von gleicher Temperatur in Berührung kommt, und die entsprechende Erkaltung durch trockne Luft, lassen keine andere Erklärung zu. Eine solche Verdichtung der Wasserdämpfe findet offenbar auch an der innern Wand der Röhre beim Einblasen feuchter Luft statt und es läfst

1) Pogg. Ann. Bd. CXXI, S. 174.

sich zeigen, daß hierauf die von Hrn. Wild und früher von Hrn. Tyndall beobachteten Wirkungen beruhen.

Zunächst will ich anführen wie ich mich überzeugt habe daß die Röhren sich in ihrer ganzen Länge beim Einblasen feuchter Luft mit Wasser bekleiden. Wurde nämlich eine lineare Thermosäule auf eine der angewandten Metallröhren aufsen so aufgesetzt, daß die Berührungslinie parallel mit der Axe der Röhre war, so erwärmte sich dieselbe jedes Mal, sobald feuchte Luft eingeblasen wurde, und erkaltete, wenn dann trockne hineingelange. Diese Erwärmung trat nicht nur ein wenn die lineare Thermosäule die Röhre aufsen an einer Stelle berührte, die der Oeffnung, durch welche die Luft in die Röhre einströmte, gegenüber lag, sondern auch wenn sie an irgend einer andern Stelle angebracht war, vorausgesetzt daß sie die Röhre vollständig berührte.

Bedenkt man wie viel mehr Wärme vom Wasser als von einer polirten metallischen Oberfläche absorbirt wird, so leuchtet ein, daß die innere Röhrwand von den auf sie fallenden Strahlen einen viel größeren Antheil absorbirt, wenn sie mit Wasser bekleidet, als wenn sie ganz trocken ist. Je mehr Wärme aber die Röhre absorbirt, um so weniger reflectirt sie und um so weniger gelangt zur Säule. Wahrscheinlich ist die Wirkung des Wassers in diesen Röhren noch dadurch größer, daß dasselbe keine continuirliche Schicht bildet, sondern sich in einzelnen kleinen Massen ansetzt, welche die geringe Menge von Wärme, die nicht absorbirt worden, nach allen Richtungen zerstreuen.

Die Menge der Wärme, welche ausschließlich durch Reflexion von der inneren Wand einer der erwähnten polirten Messingröhren, die mit trockner Luft gefüllt war, zur Säule gelangte, war etwa 6 Mal so groß als die, welche direct, unter Fortlassung der Röhre, auf dieselbe fiel. Wenn aber $\frac{6}{7}$ von der Wärme, welche die Säule empfängt, reflectirt sind, so muß jede Verminderung der Reflexion eine

fast ebenso grofse Verminderung der Erwärmung zur Folge haben.

Die Kohlentheile, welche die geschwärzte Röhre bedecken, wirken in ähnlicher Weise absorbirend wie die condensirten Wassertheile, nur in erhöhtem Maafse; daher wird ihre Absorption durch das abgesetzte Wasser wenig oder gar nicht vermehrt. Aus diesem Grunde beobachtet man keine Erkaltung beim Einblasen von feuchter Luft in die stark geschwärzte oder in die mit Sammet ausgekleidete Röhre. Im Gegentheil wurde, wie oben erwähnt, eine Erwärmung beobachtet. Diese entsteht offenbar durch die Verdichtung der Dämpfe an der Wand der Röhre. Denn wenn gar keine Wärmequelle angewendet wurde und man blies feuchte Luft in eine dieser Röhren, so erwärmte sich die Säule ebenfalls. Bei polirten metallischen Röhren liefs sich von dieser Erwärmung nur in seltenen Fällen etwas wahrnehmen; ohne Zweifel weil die Wärme, sobald sie frei wurde, sich sogleich durch die ganze Masse des Metalls verbreitete. Bei dem schlecht leitenden Kienrufs konnte diefs nicht geschehen und bei dem Sammet noch weniger, deshalb war bei Anwendung der Sammetröhre die Erwärmung auch noch stärker als bei dem Kienrufs.

Von einer Bewegung der feuchten Luft bis zur Säule stammte diese Erwärmung nicht, denn sonst hätte sie bei allen diesen Röhren sich zeigen müssen, da sie sämmtlich genau von denselben Dimensionen waren. Uebrigens darf nicht unerwähnt bleiben, dafs die Erwärmung, welche die feuchte Luft in diesen Röhren bei fehlender Wärmequelle hervorbrachte, gröfser war als die Zunahme der Erwärmung, welche bei Anwendung der geheizten Würfel durch Einblasen erfolgte.

Ogleich, wie ich glaube, durch die erwähnten Versuche die Art, wie die Wasserdämpfe wirken, schon hinreichend festgestellt ist, schien es mir doch wünschenswerth diese Wirkung auch noch in anderer Weise darzuthun. Zu dem Ende liefs ich eine Röhre so vorrichten, dafs man sie bequem auf verschiedenen Temperaturen erhalten konnte.

Eine Blechröhre von den angegebenen Dimensionen wurde mit einer weiteren Blechröhre concentrisch umgeben. Der Zwischenraum zwischen beiden, der 18^{mm} betrug, konnte mit Wasser von verschiedenen Temperaturen gefüllt werden. Um die Abkühlung desselben möglichst zu verringern, war die äufßere Röhre mit mehreren Lagen eines dicken, losen, wollenen Zeuges umgeben. Wenn die Temperatur dieser im Innern ganz blanken Doppelröhre genau dieselbe wie die der eingeblasenen Luft war, so verhielt sie sich ganz wie die oben erwähnte Messingröhre. War dagegen die Temperatur ihrer inneren Wandung nur wenige Grade niedriger als die der eingeblasenen feuchten Luft, so nahm die Temperatur der Säule in solchem Maafse ab, daß das Galvanometer ganz aus der Scale hinausging. Bis diese Abnahme der Temperatur ihren äufsersten Werth erreichte, verging mehr Zeit als in dem Falle, wo die Temperatur der Röhre dieselbe wie die der eingeblasenen Luft war. Offenbar füllte sich in beiden Fällen die Röhre innerhalb derselben Zeit, allein die große Menge von Dämpfen, welche sich an der kälteren Röhre absetzte, machte eine größere Menge feuchter Luft nöthig, deren Eintreten längere Zeit erforderte. War das Maximum der Erkaltung eingetreten und man blies dann trockne Luft ein, so erfolgte die Wiederaufnahme des Wassers, und in Folge davon die Zunahme der Temperatur zwar etwas rascher als vorher die Abnahme, allein sie erforderte auch viel längere Zeit als wenn die Röhre dieselbe Temperatur wie die eingeblasene Luft hatte, weil wiederum eine große Menge trockner Luft erforderlich war um das gebildete Wasser aufzunehmen.

War die Temperatur der Doppelröhre höher als die der eingeblasenen Luft, so trat auch noch eine Wirkung in dem Sinne ein, wie ihn Hr. Wild angiebt, jedoch fiel dieselbe um so geringer aus je höher die Temperatur der Doppelröhre war. Selbst wenn diese 38° C. betrug, und es wurde abwechselnd trockne und feuchte Luft eingeblasen, die nur die Temperatur des Zimmers, 16 bis 17° C. hatte,

so fand noch eine Abkühlung beim Einströmen der feuchten und eine Erwärmung durch die trockne Luft statt. Da dieser Erfolg sehr unerwartet war, so überzeugte ich mich noch auf anderem Wege, daß in der That eine Verdichtung der Dämpfe an der Röhrrwand stattfindet, selbst wenn die eingeblasene feuchte Luft noch weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist.

Zu dem Zwecke wurde eine Thermosäule in einen Raum gebracht, der constant die Temperatur von 38° C. hatte. Die eine Seite dieser Säule war durch eine gut schließende Kappe verschlossen. Daher währte es ziemlich lange bis sie auf beiden Seiten die Temperatur des Raumes angenommen hatte, und das Galvanometer sich in der Ruhelage befand. Dann wurde Luft gegen die offene Seite der Säule geblasen, welche die gleiche Temperatur mit ihr hatte. Um sie auf diese zu bringen, war im Innern des erwähnten, auf 38° C. erwärmten Raumes eine enge Röhre aus Messing von 2^{mm} Durchmesser angebracht, die hin und her gebogen 4 Meter lang war. Durch diese ging die eingeblasene Luft und erwärmte sich auf diesem langen Wege bis zu derselben Temperatur wie die Säule. War sie vor ihrem Eintritt in die enge Röhre auch nur bei 16° C. mit Wasserdämpfen gesättigt, so erwärmte die Säule sich und erkaltete dagegen wenn die Luft trocken war. Diese Wirkung trat ein sowohl wenn die Säule mit Kienrufs überzogen, als wenn sie vollkommen blank und metallisch war. Es fand folglich hier eine Verdichtung der Dämpfe aus Luft statt, deren Temperatur 22° C. höher als ihr Thaupunkt war, und zwar an einer Wand, welche dieselbe Temperatur wie diese Luft hatte.

Diese Erscheinung war sehr überraschend und ich beabsichtige mich ausführlicher mit diesem Anlegen der Dämpfe an die festen Wände, die ich als Vaporhäsion bezeichnen werde, zu beschäftigen.

Da die Erkaltung, welche beim Einblasen feuchter Luft in eine der erwähnten Messingröhren eintritt, auf einer veränderten Reflexion an der Wand der Röhre beruht, so

könnte man erwarten, daß wenn ausschließlich reflectirte Wärme zur Säule gelangt, diese Erkaltung in noch höherem Maasse eintreten müßte. Mitteltst eines ebenen oder concaven Metallspiegels läßt sich leicht erreichen, daß nur reflectirte Wärme zur Säule gelangt. Allein wie mannigfaltig der Versuch auch abgeändert wurde, so war doch kein Unterschied in der Erwärmung der Säule zu beobachten, es mochte feuchte oder trockne Luft gegen den Spiegel geblasen werden. Der Grund weshalb die Reflexion von einem solchen Spiegel anders als die von der Röhrwand wirkt, liegt, wie ich glaube, zunächst darin daß die Verdichtung der Dämpfe an dem Spiegel, gegen den die Luft geblasen wird, niemals so vollständig erfolgen kann als in der mit feuchter Luft ganz erfüllten Röhre; besonders aber beruht diese Verschiedenheit darauf, daß an dem Spiegel nur eine einmalige, in der Röhre dagegen eine wiederholte Reflexion jedes Strahles stattfindet. Für diejenigen Strahlen, welche in einer durch die Axe der Röhre gehenden Ebene liegen, ist die Zahl der Reflexionen, welche sie erleiden, nur gering, für alle übrigen ist sie bedeutender, besonders wenn der Winkel, den die Reflexionsebene mit der durch die Axe und den reflectirenden Punkt gehenden Ebene macht, nur etwas groß ist, denn dann wird jeder in derselben liegende Strahl so oft reflectirt, daß er gleichsam eine Spirale bildet, die sich über die ganze Länge der inneren Röhrwand erstreckt. Da die Verminderung der Intensität, welche die Strahlen durch Reflexion an der mit Wasser bedeckten Fläche erleiden, bei wiederholten Reflexionen nach steigenden Potenzen mit der Anzahl derselben wächst, so leuchtet ein, daß das durch die Vaporhäsion ausgeschiedene Wasser in der Röhre ganz anders wirkt als das auf dem Spiegel. War übrigens die Temperatur dieses letzteren auch nur wenige Grade niedriger als die der Luft, welche gegen ihn geblasen wurde, so war auch bei Anwendung des Spiegels die Erkaltung durch feuchte Luft sehr bestimmt vorhanden. Allein dann konnte man auch fast jedes Mal einen Niederschlag von Wasser auf demselben wahrnehmen.

Von andern Dämpfen habe ich bis jetzt nur die des Alkohols untersuchen können; da die Dämpfe aus der Röhre in das Arbeitszimmer entweichen, so sind fast alle übrigen bei diesem Verfahren ausgeschlossen. Die des Alkohols aber bieten die Erscheinung der Wasserdämpfe in erhöhtem Maasse dar. Die Erkaltung welche, wenn die Würfel ihre Wärme gegen die Säule strahlten, beim Einblasen von Alkohol haltender Luft in eine der Messingröhren erfolgte, war so groß, daß sie auf gewöhnliche Weise nicht beobachtet werden konnte, sondern die Nebenschließung angewendet werden mußte. Auch in der geschwärzten wie in der Sammetröhre war die Wirkung viel stärker als beim Einblasen von Wasser haltender Luft, doch bedurfte es bei diesen der Nebenschließung für die Beobachtung nicht mehr. Ebenso trat in der Pappröhre, in der sich beim Einblasen der Wasserdämpfe keine oder eine kaum merkbare Wirkung, wie oben erwähnt, gezeigt hatte, durch die Alkoholdämpfe Erkaltung ein.

Auch in der Doppelröhre war die Wirkung der Alkoholdämpfe viel stärker als die der Wasserdämpfe. Wenn die Temperatur dieser Röhre $20^{\circ},25$ C. war und die mit Alkoholdämpfen gesättigte Luft hatte nur $13^{\circ},5$ C., so war die Erkaltung noch so stark, daß das Galvanometer aus der Scale herausging und die Nebenschließung für die Beobachtung benutzt werden mußte, und ebenso verhielt es sich als das Rohr 37° C. hatte, seine Temperatur also $23^{\circ},5$ über der war, bei welcher die Luft sich mit Alkoholdämpfen gesättigt hatte.

Diese starke Wirkung der Alkoholdämpfe liefs auf eine große Vaporhäsion derselben schließen, und diese zeigte sich auch als sie ohne Anwendung einer Wärmequelle in die Röhren eingeblasen wurden, denn sowohl in der Messingröhre als in der geschwärzten, sowie in der Sammetröhre trat Erwärmung ein, und in allen viel stärker als durch die Wasserdämpfe, besonders in der Messingröhre, in der die Wasserdämpfe gar keine Wirkung hervorgebracht hatten. Aber die Alkoholdämpfe absorbiren

auch aufserdem noch die Wärmestrahlen, wie aus folgendem Versuche hervorgeht.

Vier enge Messingröhren von 8^{mm} Durchmesser und 66^{cm} Länge lagen in Abständen von 12^{mm} horizontal nebeneinander. Jede derselben enthielt 40 feine Löcher in einer Reihe, 12^{mm} von einander entfernt. Das eine Ende dieser Röhren war geschlossen, am andern 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 gerichteter Luftströme. Dieses Röhrensystem wurde an die Stelle einer der Messingröhren zwischen der Säule und dem Würfel so angebracht, dafs die Wärmestrahlen nur durch jene Luftströme zur Säule gelangen konnten.

War die eingeblasene Luft mit Alkoholdämpfen gesättigt, so erfolgte eine bedeutende Erkaltung. War die Luft dampffrei, so nahm die Säule ihre frühere Temperatur wieder an. Hier war kein reflectirender Körper vorhanden, die Erkaltung der Säule konnte daher nur dadurch entstehen, dafs die Wärmestrahlen durch die Alkoholdämpfe absorbirt wurden.

Ganz anders verhielt es sich mit den Wasserdämpfen, denn wurde abwechselnd mit Wasserdämpfen gesättigte und ganz trockne Luft durch dieß Röhrensystem geblasen, so war keine Aenderung in der Erwärmung der Säule zu beobachten. Dieser Versuch ist sehr oft wiederholt worden und stets mit demselben Erfolg.

Wurde statt der feuchten Luft Kohlensäure aus diesen Röhren geblasen, so trat jedesmal eine Erkaltung ein.

Hierdurch wird, wie ich glaube, meine frühere Behauptung, dafs zwischen dem Absorptionvermögen der feuchten und dem der trocknen Luft kein mit Sicherheit festzustellender Unterschied vorhanden ist, vollkommen bestätigt.

Beruhete, wie die HH. Tyndall und Wild behaupten, die starke Erkaltung, welche sie beim Einblasen feuchter Luft in die von ihnen benutzten polirten Metallröhren er-

halten haben, auf einer entsprechenden Absorption der Wärme durch die Wasserdämpfe, so müßte sie bei allen Röhren, wie verschieden auch ihre innere Fläche beschaffen seyn mochte, in gleichem Maasse vorhanden seyn. Zwar ist der Weg, den die Strahlen in den inwendig polirten Röhren durchlaufen, wegen der mehrfachen Reflexion, größer als in den übrigen, allein dadurch könnte eine bedeutendere Steigerung der Absorption nicht entstehen, und relativ zu der gesamten aus der Röhre austretenden Wärme würde der absorbirte Antheil sehr nahe derselbe bleiben müssen. In keinem Falle könnte eine Zunahme statt einer Abnahme der Temperatur beim Einblasen feuchter Luft entstehen, wie sie bei der inwendig stark geschwärzten und der Sammröhre, ja sogar bei einer der Pappröhren sich gezeigt hat.

Der Vorgang in den Röhren ist, wie schon erwähnt, ziemlich zusammengesetzter Art. Denn zunächst wird durch die Verdichtung der Dämpfe, oder die Vaporhäsion, an der Röhrenwand Wärme frei, die zwar in den polirten Metallröhren, wegen ihres Leitungsvermögens nicht wahrzunehmen ist, wohl aber in den schlecht leitenden Sammröhren oder den stark geschwärzten Metallröhren; ferner verringern die abgesetzten Wassertheile die Reflexion der Wärme, aber außerdem gelangt auch Luft zur Säule und bringt dadurch, je nachdem sie trocken oder feucht ist, Erkaltung oder Erwärmung hervor.

Nur bei ganz bestimmten Dimensionen der Röhren, wie die, welche die HH. Wild und Tyndall benutzten, und die auch bei dieser Untersuchung angewendet wurden, gelangt keine Luft zur Säule. Aber auch bei diesen Dimensionen nur unter gewissen Bedingungen.

Hr. Wild giebt selbst bei der zweiten Reihe seiner Versuche an, daß er die Luft stets durch die von der Säule entferntere seitliche Oeffnung in die Röhre geleitet habe, weil dadurch der störende Einfluß von Luftströmungen gegen die Säule vermieden worden. Aber selbst wenn das Einleiten durch jene entferntere Oeffnung stattfindet,

gelangt die Luft doch noch zur Säule, sobald die Röhre an ihrem, der Säule zunächst befindlichen Ende, ein wenig verengt wird, sey es durch Einlegen eines Ringes oder durch ein an der Röhre befestigtes Diaphragma. Je kleiner die Oeffnung dieses letzteren ist, um so mehr Luft kommt bis zur Säule.

Befindet sich das Diaphragma an dem von der Säule entfernten Ende, so gelangt weniger Luft zu dieser als wenn es vor dem ihr zunächst befindlichen angebracht ist, und sind an beiden Enden Diaphragmen vorhanden, so gelangt nicht mehr Luft zur Säule als wenn nur eins an dem der Säule nächsten Ende angebracht ist.

Dies könnte auffallend erscheinen, allein man muß bedenken, daß durch das Vorhandenseyn von Diaphragmen an den Enden der Röhre die Verbreitung der Luft im Innern derselben nicht geändert wird, so lange die Oeffnungen noch groß genug sind, um die Luft in demselben Maße ausströmen zu lassen, wie sie zuströmt. Es gelangt daher nach jedem Ende der Röhre gleich viel Luft, mag ein Diaphragma an demselben vorhanden seyn oder nicht. Je enger die Oeffnung in diesem ist, um so größer ist die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft herausströmt, und um so weiter setzt sie ihren Weg fort.

Bei den Röhren von 60^{cm} Durchmesser gelangte, wenn sie mit einem Diaphragma an dem der Säule zugewandten Ende versehen waren, selbst bei ganz schwachem Blasen oder wenn die Hähne der Zuleitung halb geschlossen waren, noch Luft zur Säule, sobald der Durchmesser des Diaphragmas nur ein wenig kleiner als der Conus der Säule war, dessen Oeffnung 56^{mm} im Durchmesser hatte. Denn wurde feuchte Luft in die so vorgerichtete Röhre ohne Benutzung einer Wärmequelle eingeblasen, so erfolgte zwar nicht regelmäßig, aber fast jedes Mal eine Erwärmung.

Es wurde auch versucht die Bewegung der Luft in den Röhren sichtbar zu machen. Zu dem Zwecke ging die Luft erst durch ein Gefäß, das etwas concentrirte Chlorwasserstoffsäure enthielt, und sodann durch ein anderes mit

Ammoniak und wurde, so mit Nebel von Salmiak gemischt, in eine Glasröhre von ähnlichen Dimensionen wie die erwähnten Messingröhren und unter demselben Drucke wie in jene eingeblasen. Die Nebel strömten aus den engeren Oeffnungen der Diaphragmen viel weiter hervor als aus den weiteren, wodurch die soeben angeführte Wirkung derselben Bestätigung fand. Aber es zeigten die Versuche auch, daß die Bewegung der Luft in diesen weiten Röhren außerordentlich leicht gestört wird, und daß daher die ganze Methode sich zu messenden Bestimmungen durchaus nicht eignet.

Ich bedaure bei meinen früheren Versuchen keine Röhren angewendet zu haben, die einen größeren Durchmesser als der Conus der Säule hatten, denn dann würde ich vielleicht schon damals ähnliche Resultate wie die HH. Tyndall und Wild erhalten haben. Allein da weitere Röhren sich nicht so vollständig mit Luft füllen wie engere und da zur Beobachtung der Absorption es keiner besonders weiten Röhren bedarf, so sah ich mich nicht veranlaßt die Versuche auf solche Röhren auszudehnen.

Schließlich muß ich noch in einer andern Beziehung auf die Abhandlung des Hrn. Wild zurückkommen. Es sind von demselben auch Versuche nach einer Methode ausgeführt, die er mit meinem Namen bezeichnet hat. Trotz mannigfacher Abänderungen derselben ist es ihm nicht gelungen sichere Resultate damit zu erlangen. Er schließt mit der für mich schmeichelhaften Wendung, daß diese Methode in meinen Händen vielleicht brauchbarere Resultate liefern möchte. Ich hege die Ueberzeugung, daß, was in meinen Händen brauchbar, in denen des Hrn. Wild sich ebenfalls bewähren muß. Auch würde derselbe nach jener Methode genügende Resultate erhalten haben, wenn sein Apparat nicht in dem wesentlichsten Theile von dem von mir benutzten verschieden gewesen wäre. Will man, wie ich es gethan habe, zur Vermeidung von Steinsalz oder andern die Röhre begrenzenden Platten, das eine Ende derselben als Wärmequelle für die in derselben angebrachte

Thermosäule benutzen, so leuchtet zunächst ein, daß Luftströmungen nur zu vermeiden sind, wenn die Röhre vertical steht und an ihrem oberen Ende erwärmt wird. Allein wenn, selbst bei solcher Stellung der Röhre, diese aus Metall besteht, so erwärmt sich bald der dem erwärmten Ende zunächst befindliche Theil der Wand und sendet seine Strahlen auf die Säule. Zugleich erwärmt sich die mit dieser Wand in Berührung befindliche Luft und dadurch entstehen Strömungen, welche die Temperatur der Säule schwankend und eine Beobachtung unmöglich machen. Um solche Strömungen zu vermeiden, habe ich Röhren aus Glas angewendet, und den zu erwärmenden oberen Theil derselben so dünn als möglich aus Glas blasen lassen. Auch wurde die Anwendung von Metall für das Kochgefäß vermieden und für diesen Zweck nur ein dünnes Gefäß aus Glas so auf das zu erwärmende Ende der Röhre aufgeschmolzen, daß sein Boden den Verschluss derselben bildete. Außerdem betrug der Querschnitt dieses Bodens nur etwa $\frac{1}{4}$ von dem der Röhre, damit die Erwärmung sich auf eine möglichst kleine Fläche beschränkte.

Ich habe geglaubt, daß diese Einrichtung aus der Abbildung, die ich von dem Apparate gegeben habe, hinreichend ersichtlich sey. Dazu kommt noch, daß nach jedem Auspumpen und Einlassen von Luft so lange gewartet wurde, bis die Röhre und die Säule die Temperatur der Umgebung vollständig wieder angenommen hatten, wozu gewöhnlich mehr als $\frac{1}{4}$ Stunde erforderlich war, während dieser Zeit nahm dann auch das Glas in der Nähe des Kochgefäßes die Temperatur der Umgebung vollständig wieder an; wenn dann wieder kochendes Wasser in dasselbe eingegossen und durch eingeleitete Dämpfe im Kochen erhalten wurde, so konnte schon nach ganz kurzer Zeit, innerhalb welcher nur eine geringe Erwärmung des in der Nähe befindlichen Glases eingetreten war, die Beobachtung durch Oeffnen des im Innern der Röhre befindlichen Schirms ausgeführt werden. Ich bin überzeugt, daß Hr. Prof. Wild mit einem so eingerichteten Apparate ganz ähnliche Resul-

tate wie ich erhalten haben würde. Obgleich ich bekenne, daß dieser Apparat wegen seiner Zerbrechlichkeit und wegen des langen Wartens von einer Beobachtung zur andern weder leicht noch angenehm anzuwenden ist, und obgleich die Sicherheit, die er gewährt, vieles zu wünschen läßt, so hat er sich doch in sofern bewährt, als er mich das Verhalten der Wasserdämpfe hat richtig erkennen lassen. Hauptsächlich mögen dazu die im Innern desselben befindlichen Diaphragmen beigetragen haben, weil sie nur wenige reflectirte Strahlen zur Säule gelangen ließen.

Durch die bisher unbekannt gewesene Aenderung der Reflexion, welche die an der Wand der Röhre verdichteten für das Auge nicht wahrnehmbaren Wasserdämpfe hervorbringen, scheint mir die Ursache der Differenz zwischen Hrn. Tyndall und mir aufgefunden zu seyn. Denn es ist begreiflich, daß dieser und ebenso auch Hr. Wild die starke Erkaltung der Säule, welche sie beim Einblasen feuchter Luft beobachteten, von einer entsprechenden Absorption durch die Wasserdämpfe herleiteten. Allein ich bin überzeugt, daß, wenn Hr. Tyndall oder Hr. Wild jetzt die Versuche mit inwendig stark geschwärzten oder mit Sammet ausgekleideten Röhren wiederholen sollten, sie die Ansicht theilen werden, daß die Wasserdämpfe ein so großes Absorptionsvermögen nicht besitzen.

Dann wird auch Hr. Wild die Behauptung, daß die Meteorologie die große Absorption der Wärme durch den Wasserdampf ohne Zaudern als Erklärungsprincip verwerthen könne, nicht ferner aufrecht erhalten wollen.