Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Bern

Band: - (1866)

Heft: 603-618

Artikel: Ueber die Absorption der strahlenden Wärme durch trockene und durch feuchte Luft

Autor: Wild, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-318786

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

wenden kann, dürfte das Abbrennen der Stoppeln, die man etwas hoch lassen muss und vielleicht noch mehr das gänzliche Unterpflügen derselben am meisten zu empfehlen sein; letzteres bewirkt, dass die Puppen tief unter die Erde zu liegen kommen und die aus denselben kriechenden Fliegen dann nicht im Stande sind, sich durch die Erde hervor zu arbeiten.

H. Wild.

Ueber die Absorption der strahlenden Wärme durch trockene und durch feuchte Luft.

(Vorgetragen den 9. Juni 1866.)

Die schönen Untersuchungen, welche die Herren Magnus in Berlin und Tyndall in London nahezu gleichzeitig über die Absorption der strahlenden Wärme durch verschiedene Gase angestellt haben, stimmen im Allgemeinen in ihren Resultaten so überein, als es überhaupt bei so delicaten Messungen erwartet werden kann. Um so auffallender musste es daher sein, dass beide Forscher hinsichtlich ihrer Angaben über die Absorption der trockenen und der feuchten atmosphärischen Luft von einander abweichen.

Während nämlich Herr Magnus bis zu seiner letzten mir bekannten Publikation daran festhält, dass der der Luft unter gewöhnlichen Umständen beigemengte Wasserdampf keinen oder doch nur einen sehr geringen Einfluss auf die Absorption der letztern ausübe, folgert Herr Tyndall aus seinen neuern wie ältern Versuchen

eine nicht unerhebliche Vermehrung der Absorption der trockenen Luft durch Beimengung von Wasserdampf. Die Entscheidung dieser Streitfrage hat aber offenbar ein bedeutendes Interesse für die Meteorologie; als ich mich daher im vergangenen Winter mit den neuern Erscheinungen der strahlenden Wärme beschäftigte und auch bald einen Apparat zusammengestellt hatte, vermittelst dessen es mir sogar möglich war, die wichtigsten Thatsachen über die Absorption der Gase in meiner Vorlesung über Experimentalphysik mit voller Sicherheit nach der wenig modificirten Tyndall'schen Methode zu demonstriren, fühlte ich mich bewogen, etwas näher auf eine Untersuchung obiger Streitfrage einzutreten. Die folgende Darlegung meiner Versuche wird zeigen, inwiefern es mir gelungen ist, zur Entscheidung derselben beizutragen.

Zuvörderst muss bemerkt werden, dass die Resultate, welche jeder der genannten Forscher nach seiner Methode erhalten hat, bei näherer Betrachtung gar nicht so sehr differiren, wie es wohl auf den ersten Anblick erscheint. Herr Magnus schliesst nämlich aus seinen Versuchen mit trockener und mit bei 16° mit Wasserdampf gesättigter Luft *), dass der bei 16° C. in der Luft vorhandene Wasserdampf keinen merkbaren Einfluss auf die Absorption ausübe. Zwischen der Wärmequelle von 100° und der Thermokette war dabei je eine Luftschicht von 1 Fuss Dicke eingeschaltet **). Die Ablenkungen der Galvanometernadel betrugen hiebei resp. 12,°5 und 12,°6,

*) Pogg. Annalen Bd. 112, S. 539 und 540.

**) Ich berücksichtige hier bloss die Versuche des Herrn Magnus mit der Wärmequelle von 100° und übergehe diejenigen mit Anwendung der Gaslampe, da die letztern mit denen des Herrn Tyndall nicht vergleichbar sind.

deren Differenz also unterhalb des mittlern Beobachtungsfehlers von 0,°2 fällt. Anderseits folgert Herr Tyndall aus seinen Messungen*), dass eine 4 Fuss lange Schicht von mit Wasserdampf gesättigter Luft in runder Zahl 10 Procent der gesammten Strahlung absorbire und zwar gilt diese Zahl auch für die Versuche, wo die Röhre nicht mit Steinsalzplatten verschlossen war. Von 100 einfallenden Strahlen würden also 90 durchgehen oder wenn wir, um uns exakter auszudrücken, die Wärmewirkung der einfallenden Strahlen gleich 1 setzen, so wäre diejenige der austretenden 0,90. Nehmen wir wie gewöhnlich an, dass gleichdicke Schichten gleichviel absorbiren, was bei der schwach absorbirenden feuchten Luft wohl zulässig ist, so würden hiernach von 100 einfallenden Strahlen durch eine Schicht feuchter Luft von bloss 1 Fuss Dicke 97,5 durchgehen oder die Wärmewirkung der austretenden Strahlen zu der der einfallenden wie 0,975 zu 1 sich verhalten, Dieser Abnahme der Wärmewirkung hätte bei den Versuchen des Herrn Magnus eine Verminderung der Ablenkung um 0.°4 entsprechen müssen, so dass die Differenz zwischen den Angaben beider Forscher sich in Wirklichkeit bloss auf eine, den Beobachtungsfehler bei der einen Untersuchung um etwa das Doppelte überschreitenden Grösse reducirt.

Ein eigentlicher Widerspruch dagegen besteht zwischen den Resultaten, welche Herr Magnus vermittelst einer beiderseits offenen, 0,^{m}66 langen Röhre nach der Methode des Herrn Tyndall erhielt**) und den Angaben des letztern.

---

*) Diese Annalen Bd. 118, S. 575.
**) Philos. Magaz. T. XXVII p. 26.

Die Ausschläge der Galvanometernadel, die der Erstere beim abwechselnden Einblassen von trockener und feuchter Luft beobachtete, waren nämlich gerade entgegengesetzt denen, die Herr Tyndall unter gleichen Umständen wahrnahm, so dass sie einer durch die Feuchtigkeit verminderten Absorption der Luft entsprochen hätten. Herr Magnus hielt daher auch an seiner früher ausgesprochenen Ansicht fest, dass zwischen der Absorption durch trockene und durch feuchte Luft kein Unterschied bestehe und suchte den Grund der entgegengesetzten Wirkung in der von ihm neuerdings noch genauer festgestellten Thatsache *), dass alle Substanzen sich erwärmen, wenn Luft zu ihnen gelangt, die feuchter ist als die, welche sie umgab, und dass sie erkalten, wenn sie von Luft getroffen werden, die weniger Feuchtigkeit enthält als die, in der sie sich befinden. Da also in Versuchen nach der Tyndall'schen Methode der Hauptwiderspruch liegt, so habe ich zunächst ebenfalls nach dieser Beobachtungen angestellt.

1. Versuche nach der Tyndall'schen Methode.

Der Apparat, dessen ich mich bei diesem Theil der Untersuchungen bediente, unterscheidet sich nur wenig von dem des Herrn Tyndall ohne Steinsalzplatten. Er besteht aus einer Thermokette von 50 Wismuth-Antimon-Elementen, welche in einen Messing-Cylinder von 2^{cm} Durchmesser gefasst und beiderseits mit konischen Reflectoren versehen sind, deren Länge 12^{cm} beträgt, während die äussere Oeffnung einen Durchmesser von $6{,}5^{cm}$ hat. Auf ihrem Fusse ist sie in der Höhe verstellbar und um eine horizontale und vertikale Axe zu drehen.

*) Pogg. Ann. Bd. 121, S. 174.

Ihre Löthstellen sind selbstverständlich möglichst gleichförmig mit Russ überzogen worden. Die Pole dieser Thermokette stehen durch Leitungsdräthe zunächst mit einem Gyrotropen und weiterhin dann mit einem Meyerstein'schen Electro-Galvanometer in Verbindung. Dasselbe weicht von dem im 114. Bande, S. 132 von Poggendorff's Annalen beschriebenen Instrumente insofern ab, als Herr Meyerstein meinem Wunsche zufolge die zwei Hülfsmagnete unterhalb der den Multiplikator tragenden Holzplatte angebracht hat (zu welchem Ende die Füsse der letztern bedeutend verlängert wurden) und der Magnet mit Spiegel nunmehr an einem 60 ^{cm} langen Coconfaden hängt, der am obern Ende einer, von einem Kupferbügel getragenen Glasröhre befestigt ist. Ausser dem Multiplikator mit vielen Windungen eines dünnen Drahts ist dem Instrumente auch noch ein solcher mit bloss zweimal 150 Windungen eines 1,5 ^{mm} dicken Drahts beigegeben, der bei den folgenden Versuchen benutzt wurde. Endlich hat Herr Meyerstein zur leichtern Erzielung genügender Astasie oberhalb des Multiplikators am Spiegelrähmchen einen Halter für einen zweiten Magneten angebracht. Dieser wurde im vorliegenden Falle ebenfalls benutzt, wobei man dann den grössern der Hülfsmagnete entbehren konnte. Durch Annähern des kleinen Hülfsmagneten wurde bei den einen Versuchen die Astasie bis zu einer Schwingungsdauer des Magnetsystems (ohne Dämpfer) von 25 Secunden, bei den andern bis zu einer solchen von 50 Secunden getrieben. Durch den dicken Kupferrahmen, auf welchem der Draht des Multiplikators gewickelt ist, werden die Schwingungen der Magnete sehr rasch gedämpft. Die Beobachtungen endlich der Ablenkungen der Magnete erfolgten entweder direkt mit Fernrohr und Millimeterscale darüber, die in 3 ^{m} Distanz vom

Spiegel aufgestellt waren oder dann stellte man die Ablenkungen im verdunkelten Zimmer objektiv auf einer durchscheinenden Scale dar, indem man das Licht einer Gaslampe durch die Spalte eines umhüllenden Blechcylinders auf den Spiegel fallen liess und das reflectirte Licht durch eine Linse von grosser Brennweite zu einem Bild der Spalte auf der durchscheinenden Scale sammelte. Scale und Spalte befanden sich hiebei in einer Entfernung von 2,3 ^{m} vom Magnetspiegel.

Beiderseits von der Thermokette waren je in schicklicher Entfernung zwei Leslie'sche Würfel aufgestellt, welche ihre berussten Seiten derselben zukehrten und in denen das Wasser durch untergestellte Gaslampen stets im Sieden erhalten wurde. Durch Glas- und Kautschouk-Röhren leitete man aus beiden den sich entwickelnden Wasserdampf in grosse Gefässe mit kaltem Wasser. Die direkte Wirkung der Gasflammen gegen die Thermokette hin war durch Blechschirme ausgeschlossen. Zwischen die Thermokette und die beiden Wärmequellen kamen die verschiedenen Röhren zur Aufnahme der absorbirenden Gase zu stehen, und zwar wurden mit Ausnahme eines einzigen Falles diese Röhren beiderseits von der Thermokette ganz symmetrisch angeordnet, so dass von ihnen her keinerlei Ungleichheiten in der Wirkung der gleich weit entfernten Wärmequellen auf die Thermokette entstehen konnten.

Erste Versuchsreihe.

Beiderseits von der Thermokette stellte man je eine innen und aussen blanke Messingröhre von 60 ^{cm} Länge und 6 ^{cm} Weite auf, die an ihren Oeffnungen mit dünnen, senkrecht zur Axe gestellten Messingblechscheiben von

12 cm äusserm Durchmesser versehen waren. Diese Scheiben verkleinerten die Oeffnung selbst nicht, sondern hatten nur die Vermeidung einer direkten Strahlung der Würfel aussen an der Röhrenwand hin zur Thermokette statt besonderer Schirme zum Zwecke. Die Enden der Röhren waren sowohl von den Leslie'schen Würfeln als den Trichter-Oeffnungen der Thermokette je um 10 cm entfernt. Je 15 cm endlich von den Enden abstehend besassen diese Röhren noch zwei seitliche Oeffnungen mit Röhrenansätzen zur Zuleitung und Fortführung der Gase.

Zu dem Ende verband man nämlich die der Thermokette nähern Seitenöffnungen durch Kautschouckschläuche mit zwei Wöhler'schen Trockenröhren, in deren eine mit concentrirter Schwefelsäure getränkte Bimssteinstücke eingefüllt waren, während die Bimssteinstücke der anderen mit destillirtem Wasser getränkt waren. Diese beiden Röhren setzte man anderseits durch ein gabelförmiges Röhrenstück mit einem Kautschouckschlauch in Verbindung, der zu einer kleinen, mit dem Fuss zu bewegenden und mit einem Windfang versehenen Compressionspumpe von Kautschouck führte, wie sie bei Löthrohrapparaten verwendet werden. Der Luftstrom, den diese Pumpe gab, verzweigte sich bei dem gabelförmigen Stück in die beiden Röhren, sättigte sich in der einen mit Wasserdampf, während ihm die Schwefelsäure der andern denselben ganz entzog und führte also der einen Röhre zwischen Thermokette und Wärmequelle feuchte, der andern trockene Luft zu. Damit sich die letztere in den Röhren verbreite und nicht am nähern offenen Ende rasch entweiche, wurden dann die entferntern Seitenöffnungen beider Röhren durch Kautschouckschläuche und ein gabelförmiges Stück untereinander und mit einem zu einer gewöhnlichen

Luftpumpe führenden Kautschouckschlauch verbunden. Um den Effekt vielen Personen zugleich zeigen zu können, wählte ich die objektive Darstellung des Magnetspiegelstandes. Sowie der Magnetspiegel ganz zur Ruhe gekommen war, was stets sehr rasch erfolgte, nachdem das Wasser in den beiden Würfeln in's Sieden gerathen war, und man nun die Pumpen spielen liess, so erfolgte eine Bewegung des Spaltenbildes auf der Scale um etwa 5, ein Centimeter grosse Scalentheile; auf diesem Stande verblieb dann das Bild so lange, als man die Pumpen arbeiten liess — was einige Male eine Viertelstunde lang mit ganz kurzen Unterbrüchen fortgesetzt wurde — und kehrte erst nach Aufhören des Luftstroms langsam zum ursprüglichen Stande zurück. Vertauschte man bei den beiden Trockenröhren die zum Apparat führenden Kautschouckschläuche, so dass die feuchte und trockene Luft auf die entgegengesetzten Seiten der Thermokette geführt wurden, so erfolgte auch der Ausschlag des Magnetspiegels nach der entgegengesetzten Seite. Durch momentane Einschaltung eines Metallschirms auf der einen Seite zwischen Röhre und Thermokette konnte man leicht erkennen, dass die Bewegung des Spaltenbildes auf der Scale resp. des Magneten im Galvanometer stets eine durch die feuchte Luft vermehrte Absorption der Wärmestrahlen anzeigte. Bei mehr als zwanzigmaliger Wiederholung dieser Versuche in Gegenwart verschiedener Personen erhielt ich stets mit ganz geringen Abweichungen in der Grösse der Ausschläge dasselbe Resultat. Die Herren Professoren Valentin und Schwarzenbach hatten überdies noch die Gefälligkeit, den Sinn der Ausschläge des Magnetspiegels zu kontrolliren und bestätigten so die obige Angabe. Die Richtigkeit derselben wurde endlich auch

noch dadurch bewiesen, dass eine Bewegung des Spaltenbildes im gleichen Sinne aber weit über die Scale hinaus erfolgte, als man auf der einen Seite statt der feuchten Luft durch den betreffenden Kautschouckschlauch Leuchtgas in die Röhre leitete. Zu verschiedenen Malen wurden dann auch vor Beginn oder am Schluss der Beobachtungen die Leslie'schen Würfel entfernt und nunmehr die Wirkung auf die Thermokette ohne Wärmequelle beobachtet, wenn man die Pumpen in Bewegung setzte. Nur bei starkem Einblasen der Luft erhielt man hiebei eine Bewegung des Spaltenbildes von ungefähr einem Scalentheil, aber im entgegengesetzten Sinne von den vorigen, d. h. so, dass dieselbe eine Erwärmung derjenigen Seite der Thermokette anzeigte, auf welcher die feuchte Luft in die Röhre getrieben wurde. Es ist dies unzweifelhaft die auch von Herrn Magnus beobachtete und von ihm bereits so vortrefflich erklärte Erscheinung, allein es erscheint mir auch anderseits mehr als wahrscheinlich, dass bei seinen Versuchen nach dieser Methode etwas Entsprechendes die Absorption überwog und jenes den Tyndall'schen Angaben entgegengesetzte Resultat zu Stande brachte. Der obige Versuch widerlegt aber auch noch einen andern Einwand, der vielleicht der Tyndall'schen Methode gemacht werden könnte. Man könnte nämlich vermuthen, dass in der die Schwefelsäure enthaltenden Röhre dadurch, dass die hindurchgetriebene feuchte Luft ihren Wasserdampf an die erstere abgibt, in Folge dieser chemischen Aktion eine Wärmeentwicklung stattfände und dadurch auch die weiter geführte trockene Luft etwas erwärmt, dass ferner anderseits in der das Wasser enthaltenden Röhre durch den Luftstrom die Verdampfung des letztern beschleunigt und so in Folge der Verdunstungskälte eine merkliche Abkühlung

der weiter geführten feuchten Luft eintreten würde, demnach die beobachteten Ausschläge der Galvanometer-Magnete nur eine Folge der niedrigern Temperatur der feuchten und höhern Temperatur der trockenen Luft wären. Diese gleichen Ausschläge müssten sich dann aber auch ergeben, wenn man das Eintreiben von Luft nach Entfernung der Wärmequellen fortsetzt, was ja in Wirklichkeit nicht der Fall ist. Um indessen auch in dieser Hinsicht ganz sicher zu gehen, wurden bei einigen Versuchen die Gase auf ihrem Wege von der Trocken- und Feuchtigkeitsröhre zum Apparate eine längere Strecke durch dünnwandige Metallröhren geleitet, die in ein und dasselbe Wasserbad eingelegt waren; es hatte dies indessen keinerlei Veränderung in den angeführten Resultaten zur Folge. Da bei allen Versuchen der beschriebene Apparat ganz frei auf einem Tische in der Mitte des Zimmers aufgestellt war, so kann endlich auch nicht an störende Reflexionen der Luftströme von seitlichen Schirmen und dergleichen gedacht werden.

Nach diesen mehr qualitativen Versuchen ging ich zu eigentlichen Messungen über.

Zweite Versuchsreihe.

Der Apparat war zunächst genau gleich disponirt wie oben angegeben worden ist, nur wurde die Luft an den von der Thermokette entferntern Seitenöffnungen der Röhren in diese eingeleitet und die nähern Oeffnungen mit der Luftpumpe verbunden. Durch diese Modification vermied man, wie das Folgende zeigen wird, ganz den störenden Einfluss von Luftströmungen gegen die Enden der Thermokette. Die Beobachtung des Magnetspiegelstandes erfolgte nun mit Fernrohr und Scale und zwar in der Art, dass man denselben jedesmal an der Scale

erst ablas, wenn bei fortgesetztem Pumpen der Magnet annähernd zur Ruhe gekommen war. Die Ruhelage des Magneten vor dem Eintreiben der Luft wurde nicht notirt, sondern gleich durch entgegengesetzte Verbindung der Schläuche, wie schon oben erwähnt worden ist, die beiderlei Luft in den Röhren gewechselt und der Ausschlag nach der entgegengesetzten Seite beobachtet. So erhielt ich z. B. folgende Zahlen:

Röhre links	Röhre rechts	Scalen-Ablesung	Differenz.
feuchte Luft	trockene Luft	520 mm	110 mm
trockene „	feuchte „	410	
feuchte Luft	trockene Luft	440	110 mm
trockene „	feuchte „	330	
feuchte „	trockene „	490	120 mm
trockene „	feuchte „	370	
feuchte „	trockene „	440	110 mm
trockene „	feuchte „	340	
Leuchtgas	Zimmerluft	über 1000 mm	hinaus
Zimmerluft	Leuchtgas	über 0	hinaus.

Die einzelnen Millimeter wurden hiebei nicht notirt, weil die Magnete nie ganz zur Ruhe kamen. Eine Erwärmung der rechten Seite der Thermokette hatte einen Ausschlag nach wachsenden Scalentheilen zur Folge. Die Temperatur des Zimmers endlich und also auch der mit Wasserdampf gesättigten Luft war 18° C. Nehmen wir an, dass die in die Röhren einströmende Luft sich ausschliesslich gegen die Seite hinwende, wo die Aufsaugung durch die Luftpumpe geschieht und dort gleich wieder austrete, so wäre die in den Röhren eingeschaltete Schicht feuchter resp. trockener Luft je bloss 30cm dick; es würde somit aus unsern obigen Versuchen folgen, dass bei Ersetzung einer 30cm oder 1 Fuss dicken Schicht trockener Luft auf der einen Seite der Thermokette durch bei

18° C. mit Wasserdampf gesättigte Luft die Wärmewirkung der Wärmequelle von 100° auf das betreffende Ende der Thermokette soweit vermindert wird, dass dieser Verminderung eine Ablenkung der Magnete unsers Galvanometers um 55 mm der Scale resp. in Anbetracht der oben angegebenen Entfernung der Scale vom Spiegel in runder Zahl um $^1/_2$° entspricht.

Um diese Absorption des Wasserdampfs mit derjenigen des Leuchtgases vergleichen zu können, wozu die erwähnten Versuche mit dem letztern nicht dienen können, wurde durch den Hülfsmagneten die Stellung des Magnetsystems so verändert, dass nahezu der Nullpunkt der Scale im Fernrohr erschien, wenn beide Röhren mit Zimmerluft gefüllt waren. Leitete man nun auf der linken Seite Leuchtgas ein und liess auch nur da die Luftpumpe wirken, so erfolgte ein Ausschlag um 800 mm, dem also eine Ablenkung von 8° entspricht. Die Ersetzung einer 1 Fuss dicken Schicht gewöhnlicher Zimmerluft auf der einen Seite der Thermokette durch gewöhnliches Leuchtgas (Steinkohlengas) hat also eine 8° Ablenkung der Magnete entsprechende Verminderung der Wärmewirkung zur Folge. Es ist somit die absorbirende Wirkung von feuchter Luft, die bei 18° mit Wasserdampf gesättigt ist, unsern Versuchen zufolge in einer Dicke von 1 Fuss bloss 16 Male geringer als diejenige des Leuchtgases. Selbstverständlich ist diese Zahl nur eine grobe Annäherung, da in solch' beiderseits offenen Röhren von einer ganz bestimmten Länge der eingeschalteten Gasschicht nicht gesprochen werden kann. Nach den Angaben des Herrn Tyndall absorbirt Leuchtgas in einer Schicht von 4 Fuss Dicke 81 % und in einer solchen von 1 Fuss Dicke 61 % der gesammten Strahlung und es ist daher mit Berücksichtigung der oben angegebenen Absorptionen

der feuchten Luft unter gleichen Umständen nach ihm bei einer Schicht von 4 Fuss Dicke die Absorption des Leuchtgases bloss 8, bei einer solchen von 1 Fuss Dicke dagegen 24 Male grösser als die der feuchten Luft. Es wäre also die Absorption des Wasserdampfs nach unsern Versuchen verhältnissmässig noch etwas grösser als nach denen des Herrn Tyndall.

Als man auch bei der obigen Anordnung des Apparates die beiden Leslie'schen Würfel entfernte und nunmehr die Pumpen spielen liess, konnte man keinerlei Ausschlag des Magnetspiegels wahrnehmen. Die Wirkung der Luftströmungen auf die Thermokette war also in der That durch Verlegung des Eintritts an die fernern Enden der Röhre unmerklich geworden.

Bei einem zweiten gleichen Versuche erhielt man als Mittel aus der Differenz der Scalenablesungen statt 110 bloss 98^{mm}. Die Temperatur der Luft war dabei 16° C. und zum Trocknen resp. Sättigen derselben mit Wasserdampf wandte man je 4 U-förmige, mit Glasstücken gefüllte und durch Kautschouckschläuche verbundene Röhren an, in den einen vier befand sich im untersten Theil reine concentrirte Schwefelsäure, in den andern destillirtes Wasser.

Die beschriebene Anordnung des Apparats wurde nun bei einem folgenden Versuche in der Art abgeändert, dass man beide Röhren auf der linken Seite der Thermokette mit ihren einen Enden zusammenstossend aufstellte und so eine Röhre von 120^{cm} Länge erhielt, bei welcher die seitlichen Oeffnungen in der Nähe der Enden um 90^{cm} von einander entfernt waren. Die gegen die Mitte liegenden Seitenöffnungen wurden untereinander durch einen kurzen Kautschouckschlauch verbunden. Auf der rechten Seite schob man endlich zwischen die ange-

näherte Wärmequelle und die Thermokette zur Erzielung einer vollkommenen Neutralisation einen Doppelschirm von Metallblech mehr oder minder ein. Es entspricht also diese Anordnung ganz derjenigen des Herrn Tyndall. Im Uebrigen wurde wieder entsprechend wie oben verfahren, d. h. am fernern Ende der Röhre trockene oder feuchte Luft eingeleitet und das nähere Ende an der Thermokette mit der Luftpumpe verbunden. Die Ablesungen an der Scale waren dabei folgende:

Temp.	Luft in der Röhre.	Scalenablesung.	Differenz.
	trocken	340 mm	230 mm
18°	feucht	570	240
	trocken	330	
	feucht	570	240
	feucht	470	
17°	trocken	280	190
	feucht	460	180

Auch hier hatte eine Erwärmung der rechten Seite der Thermokette einen Ausschlag noch wachsender Zahlen zu Folge, so dass die Vermehrung der Ablenkung um 230 mm, wenn man links 3 Fuss trockene Luft durch, bei 18° mit Wasserdampf gesättigte ersetzte, ebenfalls eine hiedurch vermehrte Absorption der Wärmestrahlen anzeigte.

Gegen alle diese Versuche liesse sich noch der Einwand erheben, dass dabei jeweilen zu beiden Seiten der Thermokette zwischen ihr und den Wärmequellen verschiedenartige Gasschichten eingeschaltet gewesen seien und dass durch diese an ihren respektiven Grenzen eine verschiedene Quantität Wärme reflektirt worden sei. Um auch einen solchen, allfällig noch störenden Einfluss zu beseitigen, wurde schliesslich noch die folgende Abänderung des Apparats vorgenommen.

Dritte Versuchsreihe.

Ausser den beiden genannten Röhren von 60 cm Länge beiderseits der Thermokette schaltete man bei der neuen Anordnung des Apparats noch zwei andere je 15 cm lange und im Uebrigen ganz gleich construirte ein und zwar so, dass links in 10 cm Distanz von der Trichteröffnung zuerst die längere und dann von dieser wieder durch einen Zwischenraum von 10 cm getrennt die kürzere zu stehen kam, ausserhalb welcher auch wieder in 10 cm Entfernung der Leslie'sche Würfel sich befand. Rechts dagegen kam zuerst die kleinere und dann die grössere Röhre, während die resp. Distanzen dieselben blieben. Auch die kurzen Röhren hatten je eine Seitenöffnung. Durch Schläuche und gabelförmige Röhren wurden die drei Seitenöffnungen der zwei der Thermokette beiderseits nächsten Röhren — also der langen Links und kurzen Rechts — mit einem einzelnen Schlauche in Verbindung gesetzt und ebenso die entferntern Röhren mit einem andern Schlauche. Auf diese Weise konnte man je dieselbe Luftart in verschieden lange Röhren beiderseits zugleich einleiten. Den Luftstrom lieferte dabei ein grosser, mit Luft gefüllter und durch Gewichte zusammengepresster Kautschoucksack; die Trocknung resp. Sättigung mit Wasserdampf erfolgte durch die 4 U-förmigen Röhren mit concentrirter Schwefelsäure resp. destillirtem Wasser.

Bei einem ersten Versuche leitete man abwechselnd die trockene und feuchte Luft bloss in die zwei entferntern Röhren beiderseits, so dass also Rechts je eine um 45 cm dickere Schicht dieser verschiedenen Luftarten eingeschaltet war. Zur Vergleichung wurde schliesslich auch Leuchtgas in die Röhren gefüllt. Die Beobachtungen mit

Fernrohr und Scale ergaben folgende Gleichgewichtslagen des Magnetspiegels:

Gas in den äussern Röhren.	Scalenablesung.	Differenz.
trockene Luft	390 mm	18 mm
feuchte „	405	
trockene „	385	15 mm
feuchte „	395	15 mm
trockene „	375	
Zimmerluft	352	138 mm
Leuchtgas	490	

Die Differenzen sind so gebildet, dass man je das Mittel aus zwei Ablesungen für trockene Luft mit der dazwischen liegenden Ablesung für feuchte Luft combinirte. Die Temperatur der Luft war 20° C. Da nun einer Erwärmung der rechten Seite der Thermokette, wo die dickere Gasschicht eingeschaltet war, ein Ausschlag an der Scale nach kleinern Zahlen entsprach, so bestätigen auch diese Versuche eine grössere Absorption der feuchten Luft.

Um die Wirkung noch zu steigern und jedenfalls stets auf beiden Seiten je dieselbe Luftart gegen die Thermokette einerseits und die Wärmequellen anderseits in Strömung zu erhalten, leitete man bei einem letzten Versuche zugleich trockene Luft in die äussern und feuchte in die beiden innern Röhren, und vertauschte dann wieder diese Zustände. Man erhielt so folgende Resultate:

Aeussere Röhren.	Innere Röhren.	Scalenablesung.	Differenz.
trockene Luft	feuchte Luft	550 mm	28 mm
feuchte „	trockene „	580	
trockene „	feuchte „	555	30 mm
feuchte „	trockene „	590	

Aeussere Röhren.	Innere Röhren.	Scalenablesung.	Differenz.
feuchte Luft	trockene Luft	606 mm	
trockene „	feuchte „	584	24 mm
feuchte „	trockene „	610	
feuchte Luft	trockene Luft	512	
trockene „	feuchte „	491	26 mm
feuchte „	trockene „	522	
feuchte Luft	trockene Luft	517	
trockene „	feuchte „	493	25 mm
feuchte „	trockene „	519	
Leuchtgas	trockene „	738	418 mm
trockene Luft	Leuchtgas	320	

Die Temperatur war bei diesen Versuchen 19° C. Es folgt daraus ebenfalls, dass feuchte Luft die dunkeln Wärmestrahlen stärker absorbirt als trockene und durch Vergleichung der ersten Differenzen mit derjenigen beim letzten Versuche, wo man Leuchtgas mit trockener Luft abwechseln liess, würde sich unmittelbar ergeben, dass die Ersetzung von einer 45 cm dicken Schicht trockener Luft durch Leuchtgas eine etwa 15 Mal so grosse Absorption bedingt als die einer gleich dicken Schicht trockener Luft durch bei 29° mit Wasserdampf gesättigte Luft.

Dieses Resultat ist indessen nur ein angenähertes und trotz der Uebereinstimmung mit früher erhaltenen damit strenggenommen nicht zu vergleicheu, weil, wie Herr Tyndall gezeigt hat, bei Leuchtgas die Absorption nicht der Dicke der durchstrahlten Schicht proportional, sondern in den ersten Schichten viel stärker ist als in den spätern.

Von einer theilweisen Ausscheidung des Wasserdampfes oder Nebelbildung und dadurch vermehrten Absorption bei diesen und den frühern Versuchen, kann jedenfalls

nicht die Rede sein. In den Apparat wurde stets Luft, die vom Boden des Zimmers herkam, eingeblasen, so dass also diese jedenfalls eine etwas niedrigere Temperatur als die höher stehenden Röhren hatte, die überdies noch während des Versuchs durch Strahlung erwärmt wurden. Zudem erhielt man, wie schon oben erwähnt, unveränderte Resultate, als man die Gase vor ihrem Eintritt in die Röhren durch ein Wasserbad leitete, das eine etwas niedrigere Temperatur als die Zimmerluft hatte.

Nach dieser letzten Methode habe ich der naturforschenden Gesellschaft in ihrer Sitzung vom 10. Juni objektiv den Unterschied der Absorption trockener und feuchter Luft, sowie von gewöhnlicher Zimmerluft und von Leuchtgas und Aetherdampf gezeigt. Es hat dieselbe aus den Ausschlägen der Galvanometernadel eine stärkere Absorption der feuchten Luft denn der trockenen constatirt.

So kann ich denn schliesslich sagen, dass bei allen meinen Versuchen nach der Tyndall'schen Methode — in Summa wohl über 100 einzelne Beobachtungen — ich nie Ausschläge der Galvanometernadel erhalten habe, die den Angaben des Herrn Tyndall entgegen gewesen wären, dass ferner auch meine Messungen annähernd dasselbe Verhältniss der Absorption feuchter Luft zu derjenigen des Leuchtgases ergeben haben und dass ich endlich einige Einwände, die man noch gegen die Beweiskraft der Tyndall'schen Versuche hätte machen können, durch einige Abänderungen seiner Versuchsmethode glaube entkräftet zu haben.

Diese volle Bestätigung der Resultate des Herrn Tyndall liess es mir nur um so wünschenswerther erscheinen, die Absorption der trockenen und feuchten

Luft auch nach der Methode des Herrn Magnus zu untersuchen.

2. Versuche nach der Magnus'schen Methode.

Das Wesentliche der Methode des Herrn Magnus besteht darin, dass die Thermokette ganz im Innern der zur Aufnahme der Gase bestimmten Röhre sich befindet, und diese letztere durch die Wärmequellen selbst an ihren Enden verschlossen wird. Hiedurch wird ohne Weiteres erreicht, dass die Thermokette beiderseits, sowie auch jede der Wärmequellen stets mit demselben Gase in Berührung stehen und dass ohne Steinsalz- oder andere durch ihre eigene Absorption störende Verschluss-Platten ganz bestimmt begrenzte Gasschichten zwischen die Wärmequellen und die Thermokette eingeschaltet werden können.

Um die Vortheile dieser Methode mit denen der Tyndall'schen wo möglich zu vereinigen, habe ich zunächst eine Blechröhre von etwas über 4 Fuss Länge und 9 ^{cm} Weite anfertigen lassen, die an beiden Enden je durch die eine Wand würfelförmiger Gefässe aus Zinkblech verschlossen war. Sie dienten zur Aufnahme von Wasser, das durch eingeleiteten Dampf beständig im Sieden erhalten wurde. Um 1 Fuss vom einen Ende entfernt, war die obige, von ihrem Fuss losgeschraubte Thermokette ohne die konischen Reflectoren so eingesetzt, dass sie durch die Poldrähte gehalten frei in der Axe der Röhre lag. Zwischen ihr und dem nähern Ende befand sich ein Diaphragma und eine von aussen drehbare Scheibe, behufs Schwächung der Strahlung der nähern Wärmequelle, gegen die andere Wärmequelle hin waren 4 entsprechende Diaphragmen in ungefähr gleichen Abständen angebracht. Diese Diaphragmen, so-

wie ein die Röhre bis in die Nähe der Wärmequellen umschliessendes Gefäss mit kaltem Wasser, sollten bei der Horizontalstellung derselben die Mittheilung der Wärme an die Thermokette durch Strömungen und Leitung verhindern. Das war indessen in Wirklichkeit so wenig der Fall, dass keine auch nur einigermassen constante Stellung der Galvanometernadel zu erzielen war. Dazu kamen noch die starken Bewegungen der Nadel, wenn man behufs Füllung mit trockener oder feuchter Luft oder mit Leuchtgas die Röhre durch eine seitliche Oeffnung, die mit der Luftpumpe in Verbindung stand, auspumpte oder wieder Gas einströmen liess.

Zur Vermeidung der Strömungen der erwärmten Luft richtete ich für die weitern Versuche den Apparat noch genauer nach dem des Herrn Magnas ein. Zunächst wurde nämlich die Röhre vertikal gestellt, am obern Ende das Siedegefäss aufgesetzt und der untere Theil in einen grossen Zinkkessel mit Wasser getaucht. In der Nähe des Bodens war wieder im Innern die Thermokette aufgestellt und dabei das nach unten gerichtete Ende frei gelassen, während auf das obere der konische Blechtrichter aufgesetzt war. Diese obere Seite befand sich in der Entfernung von 3 Fuss vom Siedegefäss; 2 Diaphragmen dazwischen verminderten die Strahlung der Seitenwände. Die Seitenöffnung zur Evacuirung und Füllung mit verschiedenen Gasen lag zwischen dem Siedegefäss und obersten Diaphragma. Das Wasser im Kessel, von welchem selbstverständlich die Poldrähte der Thermokette gehörig isolirt waren, reichte bei den erstern Versuchen bis etwas über das untere, bei den spätern bis in die Nähe der Seitenöffnung, also etwas über das obere Diaphragma.

Die Beobachtungen an diesem Apparate ergaben zunächst auch wieder starke Ausschläge des Magnetspiegels unsers Galvanometers beim Evacuiren und beim Einströmen der Luft und zwar im erstern Falle solche, die eine Abkühlung der obern Seite der Thermokette anzeigten, im letztern entgegengesetzte. Diese Ausschläge waren viel bedeutender als die Gesammtwirkung der Strahlung der obern Wärmequelle von 100° auf die Thermokette. Es sind dies die bekannten Wärmewirkungen bei der Compression und Dilatation der Gase und sie zeigten sich demgemäss auch, wenn das siedende Wasser aus dem obern Gefäss entfernt worden war. Der Einfluss der Compression resp. Dilatation der Luft äussert sich nämlich immer zuerst an der obern Seite der Thermokette, weil sie der Ein- resp. Ausströmungsstelle näher liegt *). Diese Wärmewirkungen mögen wohl mit dazu beigetragen haben, dass ich nie, selbst wenn das Wasser im obern Gefäss 3 Stunden lang hintereinander im Kochen erhalten wurde, einen stationären Zustand der Temperatur, resp. auch nur annähernd constante Lagen des Magnetspiegels erhalten konnte. So war denn auch in Betreff der Absorption feuchter und trockener Luft kein bestimmter Unterschied aus den Beobachtungen zu entnehmen. Und in der That hätte ein solcher auch bei der Unruhe der Magnetnadel nicht erkannt werden können, da sein Effekt bloss einigen Scalentheilen entsprechend gewesen wäre. Als ich nämlich die trockene Luft durch Leuchtgas ersetzte, hatte dies bloss eine Verminderung des bei der erstern eingetretenen Ausschlags des Magnet-

*) Die Wärmewirkung der Compression und Dilatation war in unserm Falle so kräftig und constant, dass ich zur Demonstration desselben in Vorlesungen einen nach diesem Prinzip eingerichteten Apparat am vortheilhaftesten gefunden habe.

spiegels um etwa 40 Scalentheile zur Folge. Um so auffallender erschien es mir, dass selbst bei noch so langem Zuwarten nach dem Einlassen der Luft oder dem Evacuiren bis zu einem Druck von 16 mm doch stets im letztern Fall der durch die Strahlung der Wärmequelle bedingte Ausschlag um 100 bis 200 Scalentheile oder Millimeter grösser war als im erstern. Da nun jedenfalls der Unterschied der Absorption stark verdünnter und dichterer Luft diese bedeutende Differenz der Ausschläge nicht bedingt haben kann, so sind wohl auch bei diesen Versuchen Leitung und Strömungen noch nicht ganz geschlossen gewesen. Man nimmt zwar gewöhnlich an, dass bei der Erwärmung von oben wie beim vorliegenden Apparat keine Strömungen der erwärmten Luft mehr eintreten können, doch scheint mir dies nicht ganz richtig. Die Röhrenwand wird in der Nähe der Wärmequelle sowohl durch Leitung als durch Wirkung der Strahlung, selbst wenn sie aussen von Wasser beständig abgekühlt wird, doch nach und nach eine höhere Temperatur wenigstens auf der Innenseite annehmen; die höhere Temperatur theilt sie bald der angrenzenden Luft mit, die dann als specifisch leichter sofort emporsteigt und anderer Platz macht, und dies geht so lange fort, bis die betreffende Horizontalschicht der Luft dieselbe Temperatur hat, wie die Wandung. Sowie aber dies geschehen ist, so kann auch die Temperatur der Röhrenwand in dieser Höhe wieder etwas steigen oder es wird dieselbe Temperatur an einer etwas tiefern Stelle eintreten und so kann sich nach und nach die Wärme unter dem Einfluss der Röhrenwandung auch hier mehr durch mechanische Strömungen der erwärmten Luft als durch eigentliche Leitung der letztern von Schicht zu Schicht nach unten fortpflanzen.

Die geringe Empfindlichkeit einerseits und die erwähnten Strömungen anderseits haben mich bewogen, die Versuche nach der Magnus'schen Methode schliesslich aufzugeben.

Wenn daher auch die letztere Methode der Untersuchung der Absorption in der Hand eines so gewandten und erfahrenen Experimentators wie des Herrn Magnus geeignet sein dürfte, absolute Werthe mit grosser Sicherheit zu bestimmen, so glaube ich meinen Erfahrungen zufolge hinsichtlich der leichtern Erzielung mehr qualitativer Resultate, sowie in Bezug auf Empfindlichkeit unstreitig der Tyndall'schen Methode den Vorzug geben zu müssen. Wegen dieser grössern Empfindlichkeit hauptsächlich halte ich denn auch trotz der negativen Resultate nach der Methode des Herrn Magnus eine höhere Absorption der feuchten Luft den der trockenen durch die Versuche nach der Tyndall'schen Methode als sicher erwiesen und bin der Ansicht, dass die Meteorologie ohne Zaudern diese neue Thatsache als Erklärungsprincip für manche bis dahin mehr oder minder räthselhafte Erscheinung verwerthen könne. Es scheint mir nur wünschenswerth, den relativen Werth dieser beiderlei Absorptionen noch genauer zu bestimmen.

Nachschrift.

Nachdem Vorstehendes bereits zum Drucke abgeliefert war, habe ich das Aprilheft von Poggendorff's Annalen erhalten, worin Herr Magnus in einer Abhandlung „Ueber den Einfluss der Absorption der Wärme auf die Bildung des Thaus" die obige Streitfrage über die Absorption der trockenen und der feuchten Luft dadurch zu entscheiden

sucht, dass er gestützt auf die Gleichheit des Verhältnisses zwischen dem Ausstrahlungs- und Absorptionsvermögen bei allen Körpern das Ausstrahlungsvermögen erhitzter trockener und feuchter Luft experimentell vergleicht. Aus dieser Vergleichung ergab sich, dass Luft, die bei gewöhnlicher Temperatur (15° C.) mit Wasserdampf gesättigt war, bei einer Temperatur von etwa 200° C. bloss 2 bis 3 Mal und solche, die durch Wasser von 60 bis 80° C. gestrichen war, bloss 6—7 Male so viel Wärme ausstrahlte, als trockene Luft, dass dagegen trockene Kohlensäure und gewöhnliches Leuchtgas 30—40 Male so stark strahlten, als trockene Luft.

Ich halte dafür, dass durch diese Versuche die schwebende Streitfrage nicht nur nicht gelöst, sondern eher noch verwickelter geworden sei. Zunächst stehen die Resultate derselben wieder in Widerspruch mit den Angaben des Herrn Frankland in London, der schon früher mit einem ähnlichen Apparat eine sehr starke Ausstrahlung des erhitzten Wasserdampfs gegenüber der trockenen Luft beobachtet haben will. Nimmt man aber auch mit Herrn Magnus an, dass hiebei Nebel entstanden sei und dieser vorzüglich die vermehrte Strahlung des Wasserdampfs bedingt habe, so zeigt sich doch gegenüber den Resultaten der Tyndall'schen Versuche und der meinigen, noch eine andere eigenthümliche Differenz. Einerseits folgt nämlich aus den Versuchen des Herrn Tyndall, dass bei gewöhnlicher Temperatur mit Wasserdampf gesättigte Luft 30 bis 40 Male stärker die Wärme absorbire als trockene Luft, während die letztere nach Herrn Magnus nur 2—3 Male weniger Wärme ausstrahlen soll als die erstere, anderseits dagegen ergeben die Messungen des Herrn Tyndall und die meinigen in ziemlicher Uebereinstimmung für das gewöhnliche Leuchtgas eine 16 Mal

stärkere Absorption als für feuchte Luft und sehr nahe dieselbe Zahl ergibt sich aus den oben angegebenen Beobachtungsresultaten des Herrn Magnus für das Verhältniss der Ausstrahlungen dieser beiden Gase. Endlich ist zu bemerken, dass überhaupt solche Ausstrahlungsversuche ohne Weiteres nicht geeignet sind, die vorliegende Streitfrage bestimmt zu entscheiden. Während nämlich die trockene und die feuchte Luft bei den Ausstrahlungsversuchen des Herrn Magnus eine Temperatur von circa 200° gehabt haben, wurden die Untersuchungen über deren Absorption bei gewöhnlicher Temperatur (15° C.) angestellt. Der Satz aber, dass das Verhältniss zwischen dem Ausstrahlungsvermögen und Absorptionsvermögen für alle Körper dasselbe sei, gilt nur für eine gleiche Temperatur dieser Körper bei der Ausstrahlung und Absorption. Es ist also gedenkbar, dass die Absorption resp. Ausstrahlung der trockenen und der feuchten Luft für dunkle Wärmestrahlen bei gewöhnlicher Temperatur zwar sehr verschieden, dagegen bei einer Temperatur von 200° nahezu gleich sein könnte.

Bern, 14. Juni 1866.

L. R. v. Fellenberg.

Nachtrag zu den Analysen antiker Bronzen.

Analysen von Bronzen aus Ninive.

Während ich im Frühjahr 1864 mit der Analyse der Bronzen von Hallstadt beschäftigt war, drängte sich mir