

Über die Diathermanität des atmosphärischen Wasserdampfes.

1. Das Wasser ist ein durch seine physikalischen und chemischen Eigenschaften besonders merkwürdiger Körper. Aus seinem quantitativen Vorkommen, aus seinem wechselnden Auftreten in den bekannten drei Aggregatzuständen nach einander und neben einander können wir schon auf seine Bedeutung für unsere Erde schliessen. Um von der gesammten irdischen Wassermasse sich einigermaßen einen Begriff zu machen, muss man zu dem noch im Kreislaufe befindlichen Wasser der Meere, der Seen, der Flüsse und der Atmosphäre die nicht unbeträchtlichen Mengen hinzunehmen, welche zur Bildung des Polareises, der Gletscher und des ewigen Schnees der Berge, zum Aufbaue der Thiere und Pflanzen verwendet oder in der Erdrinde mechanisch und chemisch gebunden sind. Diese ganze Wassermasse, deren Schätzung wir von der Zukunft zu hoffen Grund haben, schwebte ursprünglich als Dampfatosphäre über der aus dem Balle des Urnebels hervorgegangenen feurigflüssigen Erdkugel und war nicht allein Zeuge der Bildung und der vielfachen und grossartigen Veränderungen der Erdrinde, sondern nahm auch selbst thätigen Antheil. Diese Dampfatosphäre gab nach und nach ihren gasförmigen und nebelartigen Zustand theilweise auf und schuf sich als weitem Wirkungskreis das Meer. Dieses wuchs zunächst auf Kosten jener; allein dadurch, dass es fortwährend Wasser an die sich abkühlende und verdickende Erdrinde abgab, begann es von einem bestimmten Zeitpunkte an abzunehmen, und so wird es eben in Folge der das Wasser ausser Circulation setzenden Thätigkeit der Erdrinde beständig sich vermindern, zuletzt von der Erdoberfläche verschwinden, mit ihm alles übrige Wasser und der Rest der Luft und des organischen Lebens. Sonach sehen wir die Erde einem Schicksale entgegengehen, dem der Mond bereits anheimgefallen ist; denn bei diesem hat die Absorption des Wassers schon längst ihren völligen Abschluss erreicht, und er besitzt, wie die Spectralanalyse entscheidend nachgewiesen hat, keine Spur einer Atmosphäre. Uebrigens bürge die durch Senkung des Meeresspiegels in historischer Zeit in dem für uns günstigen Zustande der Erde eingetretenen und beobachteten Veränderungen dafür, dass dieser Zustand noch recht lange fortbestehen wird.

Nach der fast übereinstimmenden Berechnung von J. Herschel und Pouillet würde der unserm Planeten jährlich zugestrahlte Theil der Gesamtwärme der Sonne hinreichen, um auf seiner Oberfläche eine etwa 30 Meter dicke Eisschicht zu schmelzen. Von dieser ausserordentlich grossen Wärmemenge nimmt nach Daubrée die Wasserverdunstung oder Dampfbildung ein Drittel in Anspruch. Ist nun die Sonnenwärme das Hauptagens, die letzte Quelle für fast jede Bewegung und Veränderung auf unserer Erde und in ihrem Dunstkreise, so ergibt sich sofort die wichtige Rolle des Wasserdampfes im heutigen Haushalte der Natur.

Dass bei dem Wasserdampfe, der noch jetzt durch sein ausgedehntes Vorkommen in der Kugelschale des Luftmeeres stark genug betont ist, dass bei einem Körper, an dessen Vorhandensein die Existenz alles animalischen und vegetabilischen Lebens geknüpft ist, jede Eigenschaft, namentlich jede ihm in ausgezeichnetem Grade zukommende Eigenschaft für die daraus resultirenden Erscheinungen gewichtig in die Wagschale fällt, liegt auf der Hand. Der unsichtbare Wasserdampf, mit welchem wir es in der Folge zu thun haben, ist der leichteste aller Dämpfe. Da unter Annahme gleicher Dampfvolamina zur Bildung der einzelnen Wolkentheilchen bei verschiedenen Dämpfen das Volumen dieser Theilchen dem specifischen Gewichte der Dämpfe direct und dem der bezüglichen Flüssigkeiten umgekehrt proportional ist, so werden eben solche Theilchen bei dem so leichten Wasserdampfe, dem gegenüber das Wasser verhältnissmässig schwer ist, ausserordentlich klein ausfallen müssen und die Wasserwolken daher jeden möglichen Grad der Leichtigkeit und Zartheit darstellen können. Ferner zeichnet sich der Wasserdampf dadurch aus, dass seine latente Wärme grösser ist als die aller bisher untersuchten Körper und, was äusserst bedeutungsvoll ist, mit abnehmender Temperatur wächst. Ohne diese Stellung des Wasserdampfes zur latenten Wärme würden viele Erscheinungen, welche von nicht geringer Wichtigkeit für Klima und Lebensprocesse sind, in verminderter oder gesteigerter Intensität auftreten, viele Erscheinungen des Segens sich in Erscheinungen des Verderbens verwandeln. Das grosse Interesse des theoretischen und practischen Meteorologen an der extremen Stellung des Wasserdampfes in Bezug auf specifisches Gewicht und latente Wärme ist somit gegeben; offenbar hat die Würdigung dieses Verhältnisses zur Erklärung mancher wichtigen meteorologischen Erscheinung geführt.

Wie die erwähnten Eigenschaften des Wasserdampfes, so ist auch seine Durchlässigkeit für strahlende Wärme oder seine Diathermanität geeignet, das Interesse des Physikers überhaupt, das des Meteorologen und des Freundes der Pflanzenwelt insbesondere in hohem Grade zu erregen und zu fesseln. Auf Grund der bereits vorliegenden Thatsachen, namentlich geleitet durch die schönen Untersuchungen ausgezeichneter Experimentatoren, wollen wir es versuchen, die Diathermanität des atmosphärischen Wasserdampfes so weit als möglich festzustellen. Dabei möge es uns gestattet sein, gelegentlich auf ihre Bedeutung in der angedeuteten Richtung hinzuweisen. Weil aber die Ansichten der Physiker über das Wesen der strahlenden Wärme wie der Wärme überhaupt sich an die über die innere Natur des Stoffes anlehnen, so scheint es uns nicht allzuweit von unserm Gegenstande abzuführen, wenn wir zuerst die heutige physikalische Stoffanschauung in einigen Hauptzügen berühren. Eine gewisse Berechtigung zu diesem Verfahren finden wir auch darin, dass wir den Wasserdampf nach seinem innern Wesen und seiner Verbreitungsweise in der Atmosphäre etwas näher betrachten müssen und diese Betrachtung sich naturgemäss an die allgemeine Stoffanschauung anschliesst.

2. Nach der physikalischen Atomistik, wie die jetzige Stoffanschauung genannt wird, besteht die ganze materielle Welt aus wägbarer und unwägbarer Substanz. Die wägbare Substanz ist das Substrat der anziehenden Kraft und räumlich in discrete Theile oder Atome getheilt zu denken. Ueber Gestalt, Grösse und Gewicht der Atome stellt die Atomistik nichts Bestimmtes auf, lässt jedoch die Atome desselben Grundstoffes in den genannten Eigenschaften übereinstimmen. Die Atome sind so ausserordentlich klein, dass man sich von denselben nur annähernd einen Begriff verschaffen, aber keine Vorstellung machen kann. Der Chemie ist es gelungen, die Gewichte der meisten Elementenatome als Vielfache vom Gewichte des Wasserstoffatoms zu bestimmen. Die unwägbare Substanz oder der Aether ist das Substrat der abstossenden Kraft und besteht ebenfalls aus einander

ganz gleichen Atomen, die unvergleichlich kleiner sind als die Atome der ponderablen Materie oder die Körperatome. Die Aetheratome besitzen den höchsten Grad der Elasticität, sie sind absolut elastisch.

Das genaue Gesetz der Kräfte, durch welche Körper- und Aetheratome in Wechselwirkung stehen, ist noch nicht ermittelt. Man kann bei diesen Kräften, die jedenfalls nach Functionen der Distanz der Atome wirken, das Gravitationsgesetz gelten lassen, wenn und weil es zwischen den Körpern gilt. In Folge der Kräfte, die attractiv zwischen Körperatomen, attractiv zwischen Körper- und Aetheratomen, repulsiv zwischen Aetheratomen auftreten, muss sich um jedes Körperatom als Kern eine Aetherhülle lagern, welche den Kern berührt und von ihm aus bis zur Grenze, wo der weniger dichte und freie Aether des Weltraumes beginnt, an Dichtigkeit abnimmt. Die Form der Schichten gleicher Dichte dieser Aetherhülle ist offenbar von der Gestalt des Kernes abhängig. Den ponderablen Kern mit seiner Aethersphäre und den inwohnenden Kräften nennt man gewöhnlich auch Atom, selten Molecül oder Dynamide. Atome, deren Kern Wasserstoff oder Sauerstoff ist, werden bezüglich Wasserstoffatome und Sauerstoffatome genannt. Zwischen Atomen mit Kernen verschiedener Natur tritt unter gewissen Bedingungen die chemische Anziehung in Wirksamkeit; dabei dringen die Atome mit ihren Aethersphären unter entsprechender Aenderung der Anordnung der Aetheratome und der Form der Schichten gleicher Dichte in einander, so dass die Kerne eine gemeinschaftliche Hülle erhalten und ein Molecül bilden, in welchem jedoch die Kerne immer durch Aetherschichten von einander getrennt bleiben. Auf diese Weise verbinden sich nach der neuern Chemie zwei Wasserstoffatome mit einem Sauerstoffatome zu einem kleinsten Theilchen Wasser, zu einem Wassermolecüle. Solche Molecüle, die unter Bedingungen, wo die Abstossung ihrer Aetherhüllen überwiegend ist, sich zu einem Aggregate vereinigen, bilden den luftförmigen Zustand des Wassers oder den unsichtbaren Wasserdampf.

Der Wasserdampf fehlt nie in der Atmosphäre, ist aber ein veränderlicher und in seiner Menge schwankender Bestandtheil derselben. Bei 40° C. gesättigte Luft enthält dem Gewichte nach mehr als 30mal so viel Wasserdampf als bei -20° gesättigte, ein Unterschied, den die Extreme der Temperatur der Luft in Trier in ihrem Feuchtigkeitsgehalte möglich machen. Hygrometrische Beobachtungen in einer Steppe Sibiriens, wonach bei 24° der Thaupunkt noch unter -3° lag, Beobachtungen am Ufer des rothen Meeres, wonach der atmosphärische Wasserdampf während eines Samums bei 43° nur ein Fünfzehntel des bei dieser Temperatur möglichen betrug, beweisen hinlänglich, wie relativ trocken die Luft sein kann. Geben wir der Atmosphäre eine gleichmässige und ihren untersten Schichten gleiche Dichte, dann reducirt sich ihre auf Grund verschiedener Bestimmungen zu 8 bis 10 Meilen angenommene Höhe ungefähr auf eine Meile. Dann würde bei ebenfalls gleicher Dichte ihrer Hauptbestandtheile und bei Uebereinanderlagerung derselben nach ihrem specifischen Gewichte der Wasserdampf bei uns im Mittel durch die oberste etwa 70 Meter dicke Schicht, die Kohlensäure durch die unterste ungefähr 3 Meter dicke Schicht vertreten sein. In den Zwischenraum würden sich Sauerstoff und Stickstoff nach dem bekannten constanten Verhältnisse theilen, wie sie überall in freien Räumen vorkommen, und der Kohlensäure würde zunächst der Sauerstoff folgen.

Der Wasserdampf, dessen Molecüle als die eines luftförmigen Körpers im freien Raume sich zerstreuen, im eingeschlossenen Raume eine gleichmässige Dichtigkeit besitzen würden, unterliegt in der Atmosphäre, wo er mit den erwähnten Gasen, ausserdem mit geringen Mengen von Ammoniak und Ozon, mit Spuren von Salzsäure, Salpetersäure und einigen andern zufälligen Bestandtheilen als mechanisches Gemenge auftritt, der Einwirkung fremder Kräfte, zunächst der Schwere und der

von der Wärme abhängigen Repulsivkraft. Durch die Schwerkraft erhält jedes Wasserdampfmolecul wie auch jedes Luftatom eine gewisse Geschwindigkeit nach der Erde, durch die Wärme eine gewisse Geschwindigkeit nach irgend einer Richtung im Raume. Wenn aber die Rotation der Erde, ihre starke Erwärmung in der Aequatorialgegend, überhaupt Temperaturveränderungen, von der Temperatur bedingte und sie bedingende Luftströmungen fortwährend Aenderungen in den Dichtigkeitsverhältnissen der Atmosphäre veranlassen und nie eine genau gesetzmässige Abnahme der Dichten concentrischer Schichten mit wachsender Höhe gestatten, dann greifen natürlich dieselben Ursachen in derselben Weise störend in die Vertheilung des Wasserdampfes ein. Bei dem Wasserdampfe kommen noch besondere Umstände in Betracht. Verschiedenheit der Temperatur lässt nicht in den damit gesättigten Räumen dieselbe Menge zu; einem raschen Ersatze bei Temperaturerniedrigung ausgeschiedener Dampfmassen steht besonders seine geringe Diffusionsgeschwindigkeit in der Luft im Wege. Diese langsame und nach allen Richtungen fast gleiche Diffusion und die an manchen Orten unmögliche, an andern je nach der Wärme und der Grösse der Wasserflächen verschiedene Verdunstung reichen schon allein hin, eine gesetzmässige Vertheilung der Luftfeuchtigkeit zu verhindern, wenn auch beständige Luftströmungen, freilich nicht in regelmässiger Weise, eine Durchmischung trockener und feuchter Luft vermitteln und ein normales Verhältniss anstreben helfen. Unverhältnissmässige Abnahme der Expansivkraft über einander gelagerter, verschiedener Dunstdruck neben einander befindlicher Schichten bei demselben Luftdrucke, endlich directe Versuche, wobei Luft und Dampf sich Gleichgewicht hielten, ohne in einander zu diffundiren, sind mit der Annahme einer unabhängig für sich bestehenden Dampfatmosphäre schlechterdings unvereinbar. Gegen die Unabhängigkeit der Dampfatmosphäre sprechen auch die Beobachtungen von Hooker, Strachey und Welsh, wonach ihre Dichtigkeit im allgemeinen mit der Höhe rascher abnimmt als die der Luft, so dass, wenn schon bei dieser die untersten 2 Meilen etwa 5 Sechstel ihrer ganzen Masse enthalten, dieses bei ihrem Wasserdampfe sicherlich weit eher der Fall ist. Mit Recht betrachtet daher Lamont die Atmosphäre als ein Gemisch aus feuchtern und trocknern Luftmassen. Nehmen wir auf Grund von Krönig's Theorie der Gase an, dass gleiche Volumina Wasserstoff und Sauerstoff bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur dieselbe Anzahl Atome enthalten, und berücksichtigen wir ferner, dass 2 Volumina des erstern Gases mit einem Volumen des letztern sich bei der chemischen Verbindung zu 2 Volumina Wasserdampf verdichten, dann finden wir durch leichte Rechnung, dass bei uns im Mittel in der Atmosphäre in runder Zahl 200 Sauerstoff- und Stickstoffatome auf je ein Molecul Wasserdampf kommen. Welche feine Vertheilung des atmosphärischen Wasserdampfes, namentlich in den höhern und höchsten Regionen!

3. Wie wir bis jetzt keinen Körper kennen, der allen Lichtschwingungen einen gleichmässig ungehinderten Durchgang gestattet und somit absolut farblos durchsichtig ist, so ist uns auch keiner bekannt, welcher die Wärmebewegung in derselben Weise wie der Aether fortpflanzt, sich also absolut thermisch farblos verhält oder absolute Diathermanität besitzt. Das Steinsalz, das Melloni für alle Arten von Wärmestrahlen fast vollkommen durchlässig hielt, indem er den geringen bei ihm beobachteten Wärmeverlust der Reflexion zuschrieb, erwies sich nach de la Provostaye und Desains für verschiedene Wärmefarben in verschiedenem Grade und nach Belfour Stewart für solche Strahlen undurchlässig, welche es in erwärmtem Zustande selbst ausstrahlt, so dass, wenn man in dem Spectrum dieser nicht besonders erwärmten Substanz die betreffenden Strahlen fürs Auge wahrnehmbar machte, man in demselben ein schmales farbiges Band erblicken würde. Bei den Luftarten sind die Bedingungen der Durchstrahlbarkeit dadurch am vollständigsten erfüllt, dass

die grossen Zwischenräume zwischen den von jeder gegenseitigen Verbindung gelösten Atomen und Moleculen einen grössern Spielraum gestatten als bei den festen und flüssigen Körpern. Allein nach dem heutigen Standpunkte der Wissenschaft besitzen nichts desto weniger die kleinsten Theilchen der Gase und Dämpfe die Fähigkeit, gewisse Wärmeschwingungen und diese in verschiedenem Grade aufzufangen und so selbst zu Mittelpunkten der entsprechenden Wärmebewegung zu werden. Jedenfalls übt also der atmosphärische Wasserdampf eine auswählende und in hinreichend mächtigen Schichten auch wahrnehmbare Absorption auf die durchgehenden Wärmestrahlen aus. Das Schicksal, welches der Wärmestrahle des Himmels und der Wärmestrahle der Erde auf ihrem längern oder kürzern Wege durch die Dampfatmosphäre erfahren, entscheidet die Stellung der letztern in Bezug auf Diathermanität.

Das Licht des Mondes ist sanft, aber immerhin noch ziemlich kräftig. Nach den sorgfältigen und zuverlässigen photometrischen Messungen Zöllner's sendet der Vollmond 619000mal weniger Licht aus als die Sonne, dagegen 8840mal mehr als Jupiter bei seinem stärksten Lichte. Dieser nicht ganz unbeträchtlichen Leuchtkraft des Mondes gegenüber konnte selbst das empfindlichste unserer Thermoscope nur eine äusserst geringe Wärmewirkung nachweisen. Während Huggins keine oder nur eine sehr schwache und durchaus ungleichmässige Wirkung des Vollmondes auf die Thermonadel beobachtete und sonach nur eine geringe Wärmekraft für denselben folgern konnte, kommt nach Baille seine Strahlung in Paris in den Sommermonaten der Strahlung einer seiner scheinbaren Scheibe gleich grossen schwarzen Fläche nahe, die auf 100° erwärmt und ungefähr 35 Meter entfernt ist. Wenn auch die Lichtstärke eines zusammengesetzten Strahles nicht einmal annähernd einen Schluss auf seine erwärmende Kraft erlaubt, diese geringe Mondwärme musste allgemein befremden. Schon längst hatte man, um dieses Räthsel zu lösen, die dunkeln Wärmestrahlen des Mondes von der Atmosphäre verschlucken lassen. Viele Physiker, unter ihnen der Engländer Tyndall, liessen die Vollmondwärme hauptsächlich aus dunkeln Strahlen bestehen und fast ganz von der Dampfatmosphäre absorbiren. Hätte man diese Wirkung vorzugsweise auf Rechnung der in der Luft als Dunstbläschen und Nebel ausgeschiedenen Wasserdämpfe geschrieben, so würde man offenbar sich auf den Standpunkt derjenigen gestellt haben, welche der wolkenzerstreuenden Kraft des Mondes das Wort reden.

Aehnliches wie der Vollmond lehren uns die Fixsterne. Huggins gelang es, die Wärme des Arcturus, die gleiche des Regulus, die geringere und ungleiche des Sirius und Pollux zu constatiren. Nach Stone, der seine Beobachtungen auf dem Observatorium zu Greenwich anstellte, ist die Wärmewirkung des Arcturus grösser als bei α Lyrä und erreicht, wenn jener Fixstern in einer Höhe von 25° ist, ungefähr die eines 3zölligen Leslie'schen Würfels, der mit siedendem Wasser gefüllt ist und etwa 366 Meter Entfernung hat. Besonders wichtig aber ist für uns der von Stone gelieferte Nachweis, dass die Wärme der Fixsterne mit zunehmender Feuchtigkeit in der Luft rasch abnimmt und dass fast alle Wärme derselben von der leichtesten Wolke aufgefangen wird.

Baxendell hatte das Absorptionsvermögen der Atmosphäre für die Wärmestrahlen der Sonne im Sommer viel grösser als im Winter gefunden und diese Erscheinung von der Menge des atmosphärischen Wasserdampfes abhängig sein lassen. Ohne auf diese Thatsache und ihre Erklärung ein besonderes Gewicht zu legen, wenden wir uns zu den in der allerneuesten Zeit von Janssen angestellten spectroscopischen Untersuchungen, die einiges Licht über die Absorption des Wasserdampfes verbreitet haben. Janssen hat durch Versuche in Simla festgestellt, dass die Intensität

der Sonnenstrahlen unter übrigens gleichen Bedingungen abnimmt, wenn die Menge des atmosphärischen Wasserdampfes zunimmt. Durch Vergleichung der beiden Spectren zweier Bündel Sonnenlichtes, wovon das eine durch eine 37 Meter lange mit Wasserdampf gefüllte Röhre, das andere daneben durch die Luft gegangen war, ermittelte er, welche von den dunkeln Linien und Banden durch den atmosphärischen Wasserdampf erzeugt werden, indem diese nothwendiger Weise in dem Spectrum des durch die Röhre gegangenen Bündels viel dunkeler erschienen. Da diese Linien sehr zahlreich zwischen den Fraunhofer'schen Linien A und D auftraten, ihre Zahl daselbst 10mal so gross war als die der eigentlichen Sonnenlinien, so lag der Schluss nahe, dass der atmosphärische Wasserdampf viele Arten leuchtender, besonders orangefarbener und rother Strahlen absorbire. Auf eine weniger kräftige Absorption der minder brechbaren ultrarothern Strahlen deuteten die im dunkeln Theile des Spectrums auftretenden Linien hin. Auch wurden in seinem violetten und ultravioletten Theile durch den Wasserdampf bedingte Absorptionslinien beobachtet. Dies erwähne ich vorübergehend nur deshalb, weil damit eine bekannte Thatsache im Einklange steht, nämlich die bei wolkenlosem Himmel mit 10⁰ Höhe anhebende, bis zu Mittag gleichmässig wachsende und von da ebenso abnehmende chemische Intensität der Sonne. Mit Janssen stimmen Secchi und Cooke in so fern überein, als sie auch im Sonnenspectrum bei grossem Feuchtigkeitsgehalte der Luft gewisse dunkle Linien beobachteten, welche sie als von der Absorption des Wasserdampfes herführend bezeichneten. Allein ihre geringe Anzahl und die dadurch bedingte unbedeutende Abnahme der Lichtintensität gegenüber der des gesammten Spectrums sprechen keineswegs zu Gunsten einer auffallend grossen Wärmeabsorption des atmosphärischen Wasserdampfes.

Hierher scheinen mir auch einige Beobachtungen zu gehören, die Soret zu Genf und auf dem Mont-Salève bei verschiedenen Sonnenhöhen und bei verschiedener Beschaffenheit der Atmosphäre zur Ermittlung der Sonnenwärme mittelst des Actinometers über die Natur der von der Atmosphäre absorbirten Strahlen gemacht hat. Aus dem Quotienten der Temperaturen, die das Thermometer angab, je nachdem es durch den Sonnenstrahl direct oder dann von demselben getroffen wurde, nachdem er eine etwa 5 Centimeter dicke Schichte destillirten Wassers durchlaufen hatte, folgerte dieser Physiker, dass die Atmosphäre die leuchtende Strahlung stärker auffange als die dunkle vom Wasser absorbirbare, ein Resultat, das einerseits mit dem von Janssen auf anderm Wege erhaltenen vereinbar ist, andererseits die Thatsache zur Stütze hat, dass die Atmosphäre den rothen Strahlen einen leichtern Durchgang gestattet als den Strahlen grösserer Brechbarkeit. Bei diesen Beobachtungen Soret's können wir nicht umhin, mit Rücksicht auf unsern Zweck zu bedauern, dass die verschiedenen Dichtigkeiten des atmosphärischen Wasserdampfes nicht berücksichtigt worden sind.

4. Seitdem auf Grund der Resultate von Jamin und Masson und ihrer Bestätigung durch Franz feststeht, dass durchsichtige Substanzen für Licht- und Wärmestrahlen gleicher Brechbarkeit in gleichem Grade durchlässig sind, dass es ferner unmöglich ist, solche Strahlen zu trennen, tragen wir kein Bedenken, die leuchtenden Strahlen als Wärmestrahlen anzusprechen — was wir oben bereits stillschweigend gethan haben — und Versuche über Durchsichtigkeit des atmosphärischen Wasserdampfes als hierher gehörig etwas näher ins Auge zu fassen.

Mit dem Saussure'schen Diaphanometer ausgeführte Versuche hatten bereits das Ergebniss geliefert, dass das Licht eines im Zenith stehenden Sternes beim Durchgange durch die Atmosphäre etwa 0,3 seiner Stärke verliere; damit war die Absorption der leuchtenden Wärme durch die Gesammatmosphäre dem Wesen nach, nicht dem Grade nach gegeben. Ueber den Antheil des

Wasserdampfes an dieser Absorption gibt uns Wild durch die Zusammenstellung seiner durch sorgfältige und oft wiederholte Versuche ermittelten Durchsichtigkeitscoefficienten der Luft unter verschiedenen Verhältnissen einigen Aufschluss. Wie lehrreich übrigens diese Coefficienten auch sind, indem sie sowohl die Theorie von de la Rive bestätigen, wonach die grössere Durchsichtigkeit der Luft vor und nach dem Regen nicht in der Feuchtigkeit selbst, sondern in der durch dieselbe in der Luft bewirkten Verminderung des Staubes und der Pflanzenkeime begründet ist, als auch die Ansicht Vaillant's stützen, nach welcher die Durchsichtigkeit der Luft in umgekehrtem Verhältnisse steht zu der Intensität der auf- und niedersteigenden Luftströmungen und der durch diese bedingten Reflexion und unregelmässigen Brechung [an den Grenzen kälterer und wärmerer Schichten, für unsern Zweck constatiren sie nur, dass die Feuchtigkeit der Luft eine gewisse Absorption auf die leuchtende Wärmestrahlung der Sonne ausübe.

Die nach der Bouguer'schen Formel $d = ap^n$ auf Grund der Wild'schen Angaben berechneten Intensitäten von Lichtstrahlen, welche ihren Weg durch trockene und nahezu staubfreie oder mit Wasserdampf gesättigte Luftschichten von etwas erheblicher Dicke zurückgelegt haben, sind von der Art, dass man ihnen das Unwahrscheinliche auf den ersten Blick ansieht. Es befremdet dies auch nicht, wenn man erwägt, dass die Grösse p , der Durchsichtigkeits- oder Schwächungscoefficient mit Bezug auf die als Weegeinheit angenommene Schicht, nicht nur von der Natur des Körpers, sondern auch von der Qualität des Strahles abhängt. Bei festen, flüssigen und luftförmigen Körpern steht erfahrungsmässig fest, dass die Absorption nur bei Strahlen derselben Brechbarkeit der Dicke der durchstrahlten Schicht proportional ist. Bei dem Strahle, der aus verschiedenen Wellenlängen besteht, ist die Absorption in den ersten Schichten am stärksten. Wenn die erste genügend dicke Schicht die Wellenlängen grösstentheils entfernt hat, welche die Substanz zu absorbiren im Stande ist, dann geht der so geläuterte Strahl mit immer geringerem Verluste durch die folgenden Schichten. Dass jede Lichtfarbe ihren eigenen Durchsichtigkeitscoefficienten besitzt, beweist schon die Erscheinung, dass alle durchsichtigen Körper mit wachsender Dicke farbig werden. Das Wasser erhält dadurch in gehörig dicken Schichten die ihm eigenthümlich blaue Farbe, dass es in Folge der verschiedenen Reflexion, Absorption und Transmission der verschiedenen Strahlen die blauen vorherrschend in die Erscheinung treten lässt. Ebenso sind Morgen- und Abenddämmerung wie auch die blaue Farbe des Himmels Erscheinungen, welche in dem ungleichen Verhalten der Sonnenstrahlen gegenüber den Luft- und Wassertheilchen der Atmosphäre ihre Erklärung finden. Wir sehen also, dass wir keine zuverlässige Rechnung auf den mittlern Durchsichtigkeitscoefficienten verschiedener und verschiedenfarbiger Mengen des leuchtenden Strahles basiren können und, da die einzelnen Farben zur Lichtintensität in ganz anderm Masse wie zur Wärmewirkung beitragen, am allerwenigsten uns einen Schluss auf die Wärmekraft eines solchen Strahles erlauben dürfen. Für die Wissenschaft wäre es wünschenswerth, dass ihr die Physiker bald Durchsichtigkeitscoefficienten der trockenen und feuchten Luft für die verschiedenen Lichtfarben unter Berücksichtigung der Abhängigkeit dieser Coefficienten von der Temperatur des bezüglichen Mediums zur Verfügung stellten. Wild hat in dieser Richtung Versuche angestellt und einen grössern Coefficienten der feuchten Atmosphäre für rothes als für blaues Licht erhalten, ein Ergebniss, das immerhin der Beachtung werth ist, weil es für die gewöhnliche Erklärung der Morgen- und Abendröthe spricht.

Dass die durchsichtige Gesamtatmosphäre einen Theil der Sonnenstrahlen absorbire, war eine längst bekannte und auf verschiedenem Wege ermittelte Thatsache. Ein Beweis dafür war

schon die zur Zeit des Erwachens der Vegetation aus ihrem Winterschlaf lange andauernde und gesteigerte Intensität der directen Sonnenstrahlung, welche in den polaren und alpinen Regionen die Pflanzenmetamorphose abkürzt, ein grösseres Mass und lebhafteres Colorit der Blüten herbeiführt und selbst an den Grenzen des ewigen Schnees noch das Fortkommen einer beträchtlichen Anzahl von Pflanzenspecies sichert. Mit Uebergehung vieler Erscheinungen, welche einen Wärmeverlust der Sonnenstrahlen auf ihrem Wege durch die Atmosphäre bezeugen, wenden wir uns, um einen Begriff von der Grösse dieses Verlustes zu erhalten, füglich am besten an die zu dem Ende angestellten Versuche. Mit dem Herschel'schen Actinometer fand Forbes, dass der senkrechte Sonnenstrahl in der untersten 1950 Meter dicken Schicht durch Absorption 20 Proc. seiner Wärmekraft einbüsse. Nach den Untersuchungen Pouillet's, der seine mit dem Pyrheliometer zu verschiedenen Tageszeiten gemachten Beobachtungen der Rechnung zu Grunde legte, beträgt bei ganz heiterm Himmel die atmosphärische Absorption 25 Proc. für die senkrecht vom Zenith ausgehenden Strahlen. Weil Pouillet die Intensität des in die Luft eintretenden Strahles nach der Bouguer'schen Formel berechnete, so haben wir allen Grund, an der Zuverlässigkeit seines Resultates zu zweifeln. Nichts desto weniger müssen wir der wolkenlosen Atmosphäre eine ziemlich bedeutende Absorption zugestehen. Durch Cabinetsversuche zu ermitteln, welchen Antheil der Wasserdampf an dieser Absorption habe, musste für die Wissenschaft von grossem Interesse sein. Die Physiker, die dem Gegenstande ihre Aufmerksamkeit und Kraft zuwandten, und die Resultate, welche sie erzielt haben, werden fernerhin unser Interesse in Anspruch nehmen.

5. Während man beim Lichte die qualitativen Verschiedenheiten leicht, die Intensitäten dagegen schwer erkennen kann, verhält es sich bei der Wärme umgekehrt. Daher waren in der Wärmelehre viele und wichtige Entdeckungen erst möglich, als Nobili durch Benutzung der Thermosäule den Multiplicator hergestellt hatte. Diesem Instrumente musste ausserdem durch die Hand geschickter Experimentatoren der höchste Grad der Empfindlichkeit gegeben werden, bevor man es bei Versuchen mit Gasen und Dämpfen mit Aussicht auf einigermassen befriedigenden Erfolg verwenden konnte. Weil man ferner wusste, dass verschiedene durchsichtige Gase und Dämpfe vorwiegend dunkle Strahlen und von diesen am meisten die des Leslie'schen Würfels absorbiren, so war es natürlich, dass man beim Wasserdampfe zu diesem Würfel seine Zuflucht nahm.

Weil Wasserdampf allein sich zu leicht verdichtet, so wurde er zweckmässig in Verbindung mit Luft untersucht. Wir sind daher genöthigt, die diathermane Stellung der trockenen Luft, in so fern sie nur aus Sauerstoff und Stickstoff besteht, näher kennen zu lernen. Als Tyndall den Wärmestrahle des Würfels, der durch eingeleitete Dämpfe im Sieden erhaltenes Wasser enthielt und zur Erzielung einer kräftigern Ausstrahlung mit Lampenruss geschwärzt war, durch eine 1,3 Meter dicke Schicht gereinigter Luft schickte, welche in einer mit Salzplatten geschlossenen Röhre sich befand, erhielt er erst Resultate, nachdem er vorher die Wirkung der Strahlung dieses ersten Würfels durch die luftleere Röhre hindurch auf die mit zwei conischen Reflectoren versehene Thermosäule durch einen zweiten Würfel auf der andern Seite der Säule und passende Aufstellung eines Schirmes neutralisirt und so nach Ueberwindung vieler Schwierigkeiten die Nadel in die empfindlichste Stellung gebracht hatte. Die Luft musste sorgfältig von allen fremden Beimengungen befreit werden; denn, wie wir jetzt wissen, musste die Anwesenheit ganz geringer Mengen Kohlensäure störend einwirken. Hoffnungen, gegründet auf viele und längere Zeit fortgesetzte übereinstimmende Beobachtungen, wurden durch abweichende getrübt. Je reinere Luft angewandt wurde, desto weniger schien die Aetherbewegung sich auf ihre Atome übertragen zu lassen, desto mehr

näherte sie sich in ihrer Wirkung dem Vacuum. Bei allen der Zahl nach ans Erstaunliche grenzenden Beobachtungen betrug die Bewegung der Nadel nie einen Grad der Scale. Wie die Luft, so verhielten sich auch ihre Bestandtheile, und mit allen Hilfsmitteln konnte kein Unterschied in der Absorption des Sauerstoffes und Stickstoffes nachgewiesen werden.

Was der englische Physiker in einem Briefe an J. Herschel unter anderm ausgesprochen hatte, dass er, durch Magnus bestimmt, Versuche angestellt und dabei die Wirkung des Wasserdampfes der Luft seines Laboratoriums an einem bestimmten Tage 40mal, die der Kohlensäure und übrigen fremden Stoffe in ihr 27mal grösser als die der trockenen Luft gefunden habe, schienen seine spätern Untersuchungen mehr als zu bestätigen. Dabei ergab nämlich der Wasserdampf der Luft seines Laboratoriums und anderer Gegenden eine 70 bis 80mal grössere, der Wasserdampf bei 15° gesättigter Luft dagegen eine mehr als 90mal grössere Absorption als die Luft, worin er vertheilt war. Die aus der Ablenkung berechnete Absorption der gewöhnlichen Luft lieferte verschiedene Werthe; sie belief sich z. B. auf mehr als 10 Proc. in einer innen polirten Röhre an einem besonders trockenen Tage und hätte also bei gesättigter Luft noch weit höher sein müssen. Tyndall hatte somit zu seiner grossen Ueberraschung gefunden, dass der atmosphärische Wasserdampf die dunkle Wärme in ausserordentlichem Masse absorbire; er hatte gefunden, dass ein einzelnes Wasserdampfmolecül 16000mal mehr Wärme verschlucke als ein einzelnes Sauerstoff- oder Stickstoffatom. Brachte er damit in Verbindung das Resultat, welches er aus Versuchen mit ursprünglich gesättigter und nach und nach verdünnter Luft abgeleitet hatte und welches darthat, dass die Absorption der feuchten Luft bei verschiedenem Drucke ihrer Menge proportional sei, dann durfte er nicht mehr zweifeln, dass die Absorption und folglich auch die Ausstrahlung der Luftatome gegenüber der bezüglichen Wirkung der Wasserdampfmolecüle in der Atmosphäre als höchst unbedeutend bei den meisten einschlagenden Erscheinungen vernachlässigt werden könne. Gelang es Tyndall auch nicht, den absoluten Werth für das Absorptionsvermögen des Wasserdampfes bei gewöhnlicher Temperatur zu bestimmen, so glaubte er ihn relativ doch wenigstens so weit ermittelt zu haben, als er es zur Verwerthung auf dem Gebiete der Meteorologie für wünschenswerth erachtete.

6. Welche Aussicht für Tyndall, der nach Ueberwindung aller möglichen Schwierigkeiten sich auf des Berges Spitze sieht! Seine Zuversicht gründete sich auf die stationäre Stellung der Nadel, auf die Resultate, welche die ihm von Magnus gemachten Vorwürfe dadurch beseitigten, dass sie wesentlich dieselben blieben, nachdem erst eine Salzplatte, dann auch die andere entfernt und, um den Einfluss der Luftbewegung abzuschneiden, für gemässigte Zuleitung und Ableitung der Luft in gleicher und zweckmässiger Entfernung von den Enden der beiderseits offenen Röhre gesorgt worden war. Für Tyndall war das ausserordentliche Absorptionsvermögen des atmosphärischen Wasserdampfes eine unumstössliche Thatsache. Dies beweisen zur Genüge die Anwendungen, welche er davon machte zur Erklärung so mancher meteorologischen Erscheinung. In dieser Eigenschaft des Wasserdampfes sah er das Erklärungsprincip der Wolkenbildung überhaupt, der Wolkenbildung in der Region der Calmen, der dichten Regengüsse daselbst, des Regens ohne Wolken und noch anderer Erscheinungen. Dass Tyndall eine Thatsache von solcher Tragweite anderweitig zu stützen suchte, finden wir begreiflich. Seine Experimente über dynamische Ausstrahlung constatirten ihm die Ueberlegenheit der feuchten Luft über die trockene in Bezug auf Ausstrahlung, also auch in Bezug auf Absorption. Von 11 in verschiedenen Dicken untersuchten Flüssigkeiten zeigte Wasser ein entschiedenes Uebergewicht in der Absorption der grösstentheils dunkeln Strahlung einer durch den galvanischen Strom rothglühend gemachten Platinspirale. Da die Dämpfe dieser Flüssigkeiten

mit Ausnahme des Wassers in der Flüssigkeitsmenge proportionalen Dampfmenngen der Untersuchung unterworfen wurden und sich jetzt dieselbe Reihenfolge der Absorption wie für die entsprechenden Flüssigkeiten für Wärme derselben Qualität herausstellte, nahm Tyndall keinen Anstand, auf eine bezügliche Uebereinstimmung der Stoffe im flüssigen und gasförmigen Zustande allgemein zu schliessen, und diese Analogie wurde für ihn ein neues gewichtiges Argument der bei ihm bereits feststehenden Thatsache.

Die grosse Absorption der Luft des Laboratoriums, welche bisweilen auf 20 Proc. stieg, wenn die Ausstrahlung der Wasserstoffflamme, also die fast nur ultraroth Strahlung des Wasserdampfes selbst bei sehr hoher Temperatur genommen wurde, veranlasste Tyndall, einen Einklang zwischen den Schwingungen der Flamme bei einer Temperatur von mehr als 3200° und denen des Wasserdampfes bei gewöhnlicher Temperatur zu folgern, indem er nämlich annahm, die ungeheure Temperatur ändere die Amplitude der Schwingungen, nicht aber ihre Dauer. Da er das Wasser für die leuchtenden und ultravioletten Strahlen sehr durchlässig, undurchlässig dagegen für die ultraroth wusste, so setzte er ferner Synchronismus der Schwingungen seiner Molecüle mit den dunkeln Wellen der Wasserstoffflamme voraus. Als er später für diese Voraussetzung darin eine Bestätigung erkannte, dass eine noch nicht 8 Millimeter dicke Schicht Wasser sich für die Wärme der in Rede stehenden Flamme vollständig undurchgängig zeigte, wagte er unbedenklich einen Schluss auf übereinstimmende Schwingungen des kalten atmosphärischen Wasserdampfes und des Wassers, auf die Undurchlässigkeit des letztern für die Ausstrahlung des erstern und umgekehrt.

Wie Tyndall in der Absorption des Wasserdampfes für dunkle Wärme den Schlüssel zur Erklärung so mancher Erscheinung gefunden zu haben meinte, so sah er auch in gewissen Erscheinungen ein Argument für diese Absorption. Die von ihm in einem Brennpunkte concentrirten dunkeln Strahlen der Sonne bewirkten ein schwaches, aber deutliches Erglügen eines platinirten Platinbleches, während durch Concentration der gesammten Sönnenstrahlen grosse Stücke davon wie durch Verdunstung verschwanden. Auf der andern Seite erhitzen die unsichtbaren Strahlen des electrischen Lichtes und des Kalklichtes, welche jedes für sich eine weit schwächere Gesamtstrahlung als die Sonne besitzen, Platin zum Weissglühen. Mussten diese Erscheinungen für Tyndall nicht ein Beweis sein, wie beträchtlich noch immerhin bei der Sonne die sichtbare Strahlung hinsichtlich der unsichtbaren sei und wie sehr dieses Verhältniss durch die atmosphärische Absorption, speciell durch die Absorption des atmosphärischen Wasserdampfes beeinflusst werde? Die geringe Wärme des Vollmondes konnte für ihn keine andere Bedeutung haben.

In der Sonnenhülle kommen Eisendämpfe in grösserer Menge vor. Da nun der Siedepunkt des Eisens so hoch liegt, dass er sich der Bestimmung entzieht, und der Kern der Sonne sicherlich eine weit höhere Temperatur als ihre Hülle besitzt, so ist klar, dass die Sonne die grösste Mannigfaltigkeit der Strahlung darbietet und im Stande ist, dem Aether eine grosse lebendige Kraft aller möglichen Schwingungen mitzutheilen. Während der sichtbare Theil der Strahlung einer Wasserstoffflamme unmessbar ist, bei einer Alkoholflamme 1 Proc. und beim weissglühenden Platin 2 Proc. der Gesamtstrahlung ausmacht, ist bei der Sonne die sichtbare Strahlung etwa ein Drittel, bei dem Kohlenlichte einer Batterie von 50 Elementen ungefähr ein Achtel der unsichtbaren. Auch diesen Umstand weiss Tyndall als Beweismittel seiner Ansicht zu benutzen. Auf eine beträchtliche Absorption der dunkeln Sonnenwärme bei ihrem Durchgange durch die Dampfathmosphäre deutet ihm das geringe Verhältniss des dunkeln und hellen Theiles im Sonnenspectrum gegenüber diesem weit grössern Verhältnisse beim electrischen Lichte hin. In dieser Ansicht wird er noch besonders

dadurch bestärkt, dass das electriche Licht, nachdem es durch eine genügend dicke Wasserschicht gegangen ist und darin die dunkeln Strahlen vorzugsweise zurückgehalten worden sind, ein dem Wärmespectrum der Sonne ähnliches liefert.

7. Magnus unterzog unabhängig von Tyndall und gleichzeitig mit ihm im Jahre 1861 die Fähigkeit der Gase und Dämpfe, die Wärme durchzulassen, einer sorgfältigen Untersuchung. Obgleich beide Forscher in den Methoden abwichen, so erzielten sie doch im allgemeinen eine so grosse Uebereinstimmung der Resultate, als es bei der Schwierigkeit des Gegenstandes nur möglich war. Auch bei der trockenen Luft besteht zwischen ihnen keine wesentliche Differenz. Bei dieser Uebereinstimmung muss es auffallen, dass sie beim atmosphärischen Wasserdampfe so weit aus einander gehen. Magnus stellte auf Grund seiner Versuche zuversichtlich die Behauptung auf, dass sowohl bei Anwendung einer Wärmequelle von 100° als auch einer starken Gasflamme im Durchgange der Wärme durch trockene oder mit Wasserdampf bei gewöhnlicher Temperatur gesättigte Luft mit Sicherheit kein Unterschied festzustellen sei. Während er der trockenen Luft eine etwas grössere absorbirende Kraft zuschrieb als Tyndall, hielt er, nachdem er durch Erklärung des letztern veranlasste weitere Versuche angestellt hatte, jetzt erst recht an der Ansicht fest, es könne die unsichtbare Dampfatmosphäre für die Absorptionserscheinungen allenfalls nur eine sehr untergeordnete Bedeutung haben.

Als Tyndall in Gegenwart von Magnus in London beim Einströmen von feuchter Luft in beiderseits offene Metallröhren regelmässig dieselben Ausschläge erhalten und durch Einleiten trockener Luft die Nadel immer wieder in dieselbe ursprüngliche Stellung zurückgebracht hatte, verstand sich letzterer, nach Berlin zurückgekehrt, zu neuen Versuchen. Als Wärmequellen wählte er zwei geschwärzte Gefässe mit Wasser an, welches durch Dämpfe auf 100° erhalten wurde. Die eine seitliche Oeffnung seiner etwa 0,65 Meter langen Glasröhre stand mit der Luftpumpe, die andere mit dem Luftbehälter in Verbindung; beide Oeffnungen waren gleich weit von den Enden der Röhre entfernt und so weit, dass nur eine der halben Röhre gleiche Schicht in Betracht kam. Die Nadel erlangte keine feste Ruhelage; auch entsprach bei feuchter Luft der Ausschlag nur einer stärkern Erwärmung der Seite der Röhre, die der Säule zugekehrt war. Da eine hundertmalige Wiederholung des Versuches zu demselben Ergebnisse führte, die Ablenkung nur bei einer bestimmten Kraft des Einströmens erfolgte und bei andauerndem Zuleiten feuchter Luft die Nadel nach und nach immer wieder in ihre Gleichgewichtslage zurücktrat, glaubte Magnus, Verdichtungen und Verdunstungen seien die Ursache der Ablenkungen und Schwankungen. Als dazu es ihm gelungen war, dieselben Erscheinungen auch ohne Wärmequellen hervorzurufen, setzte er in seine Erklärungsweise keinen Zweifel mehr.

Magnus verlässt die Tyndall'sche Methode und nimmt wieder seine Zuflucht zur geschlossenen Röhre, dies mit um so mehr Recht, als er dargethan hatte, die Berührung der Gasart mit der Wärmequelle habe keinen Einfluss. Er verschliesst also wieder das eine Ende der Röhre mit der Wärmequelle, das andere mit der Säule; dadurch wird auch die Berührung der letztern mit dem zu untersuchenden Gase erreicht, ferner dass ohne durch eigene Absorption störende Verschlussplatten bestimmte begrenzte Schichten eingeschaltet werden können. Um nun auch noch den Einfluss der Wärmeleitung auszuschliessen, gibt er der Röhre eine verticale Stellung, so dass die Wärmequelle sich oben befindet. Da die Luft nämlich wie alle Gase ein sehr geringes Leitungsvermögen besitzt, so wird durch diese Einrichtung eine merkliche Abkühlung der geheizten Fläche vermieden. Wenn auch die Untersuchungen mit dem freilich nur oberflächlich geschilderten Apparate beschwerlich

waren, weil man, um nach einer Beobachtung die Nadel die Ruhelage wieder einnehmen zu lassen, mehr als eine Viertelstunde warten musste, wenn auch die Zuverlässigkeit der Beobachtungen viel zu wünschen liess, das Ergebniss, wozu die Methode hauptsächlich dadurch geführt haben mag, dass die in der Röhre angebrachten Diaphragmen nur wenigen reflectirten Strahlen Zutritt zur Säule gestatteten, war nur ein kleiner Unterschied zwischen trockener und mit Feuchtigkeit gesättigter Luft.

Für die Ansicht von Magnus fällt besonders ein Versuch ins Gewicht, welchen er viel später angestellt und 1867 in seiner Abhandlung „über den Einfluss der Vaporhäsion bei Versuchen über Absorption der Wärme“ besprochen hat. Von 4 engen Messingröhren, die in kleinen Abständen horizontal neben einander lagen, hatte jede 40 feine nach oben gekehrte Oeffnungen in einer Reihe. Das eine Ende dieser übrigens geschlossenen Röhren verband eine Querröhre, dazu bestimmt, die Zuleitung der zu untersuchenden Luftart zu vermitteln. Wurde in dieses Röhrensystem Kohlensäure oder mit Alkoholdämpfen gesättigte Luft eingelassen und dasselbe so zwischen Säule und Wärmequelle gestellt, dass die Wärmestrahlen nur durch die aus den Oeffnungen hervorkommenden und nach oben gerichteten Ströme ihren Weg zur Säule nehmen konnten, trat und zwar bloss in Folge der durch die angewandte Luft absorbirten Wärme Abkühlung ein. Da aber oft wiederholte Versuche mit trockener und feuchter Luft nie eine Veränderung in der Erwärmung der Säule zur Folge hatten, so sah Magnus darin eine neue Rechtfertigung seiner Ansicht.

Der von Prevost aufgestellte und von Kirchhoff bewiesene und erweiterte wichtige Satz, dass für die Strahlung derselben Qualität und bei gleicher Temperatur das Verhältniss zwischen dem Emissions- und Absorptionsvermögen für alle Körper dasselbe ist, hatte Frankland erlaubt, die Ausstrahlung statt der Absorption zu benutzen. Die Methode und ihre der Ansicht Tyndall's zur Seite stehenden Ergebnisse hatten für Magnus grosses Interesse; auch er suchte die ausstrahlende Kraft zur Bestimmung der absorbirenden heranzuziehen. Als er die Säule mit ihren beiden conischen Reflectoren gegen seitliche Strahlung geschützt und die Compensation in Anwendung gebracht hatte, liess er durch das nach oben gebogene Ende einer horizontalen bis zur Rothgluth erhitzten Messingröhre Luft mit und ohne Dämpfe ausströmen und beobachtete die Ablenkung der Strahlung einer etwa 250° warmen Schicht. Die Rechnung ergab, dass bei 15° mit Wasserdampf gesättigte Luft bloss 2 bis 3mal, bei 60 bis 80° gesättigte Luft dagegen 7mal so viel Wärme ausstrahle als trockene Luft. Als bei 100° gesättigte Luft durchströmte, erwies sich die Ausstrahlung unverhältnissmässig gross; zugleich zeigten sich aber auch Nebel. Dieser letztere Umstand rief bei Magnus die Ueberzeugung hervor, auch die Resultate Frankland's beruhten auf Nebelbildung, und bestimmte ihn zu der Annahme, dass selbst in den Fällen, wo keine Nebel sichtbar geworden seien, dieselben doch existirt hätten. Zog er dazu noch in Erwägung, dass er nach der Methode Tyndall's bei anhaltendem Durchleiten feuchter Luft durch eine mit Steinsalzplatten verschlossene Röhre im Stande war, die Menge der durchgehenden Wärme bis auf ein Viertel zu vermindern, so konnte er sich des Gedankens nicht ferner erwehren, bei den Versuchen Tyndall's seien ebenfalls Condensationen mit ins Spiel gekommen. Magnus hatte somit einen weitem triftigen Grund, fest bei seiner Ansicht zu bleiben und der Luft nur in Folge in ihr vorhandener Dunstbläschen ein namhaftes Absorptionsvermögen einzuräumen.

8. Es wird für die Entscheidung der nunmehr bekannten Streitfrage nicht unwichtig sein, die Punkte, welche Magnus 1866 in seiner kurzen Abhandlung „über den Einfluss der Absorption der Wärme auf die Bildung des Thaus“ für seine Ansicht geltend gemacht hat, kennen zu lernen

und ihnen einige weitere Momente hinzuzufügen. Die so schöne und interessante Erscheinung der Thaubildung ist zunächst geknüpft an die Feuchtigkeitsmenge der Luft und die Temperaturdifferenz zwischen letzterer und den Körpern, auf welche der Thau sich niederschlägt. Verschiedene Provinzen Brasiliens, die nubische Wüste, die Sahara kennen bei ihrer äusserst trockenen Luft keinen Thau; in andern Gegenden hingegen kommen seine Wirkungen denen des Regens gleich, und in manchen derselben ist das Gedeihen der Pflanzen von seinem Eintreffen abhängig. Ist nun die Absorption des atmosphärischen Wasserdampfes so gross, dass, wie Tyndall behauptet, die untersten 3,2 Meter desselben wenigstens 10° der Erdausstrahlung auffangen, so entsteht die Frage, ob dann die ans reichliche Vorhandensein des Wasserdampfes gebundene so wichtige Thaubildung unverkümmert oder überhaupt noch bestehen könne. Nach der Argumentation von Magnus, welche wir zu der unsrigen machen, würde dann offenbar jede Dampfschicht einen Theil ihrer Wärme der Erde, den grössern Theil aber den höhern Schichten der Atmosphäre zustrahlen; von diesem so oft wiederholten Prozesse in den der Erde allernächsten Schichten würde auch daselbst eine Temperaturabnahme mit der Höhe die Folge sein. Allein nach Glaisher findet beim Thauen das Umgekehrte Statt, indem die Abkühlung unmittelbar auf dem Grase am grössten ist, von da ab mit der Höhe anfänglich sehr rasch, dann mit immer geringern Differenzen abnimmt. Unter den günstigsten Bedingungen sinkt die Temperatur an der Oberfläche eines Körpers 8 bis 10° unter die der Luft. Die um die Spitzen der Gräser durch Ausstrahlung abgekühlte Luft senkt sich und erkaltet im Grase weiter, während die vom Boden aufsteigende wärmere Luft sich ebenfalls abkühlt und dann den Rückweg antritt. Die durch dieses Aufsteigen und Niedersinken bedingte Abkühlung bringt nicht selten die Temperatur in der nächsten Umgebung des Grases 7° unter die allgemeine Lufttemperatur. Eine solche Temperaturerniedrigung und die eigenthümliche Temperaturzunahme in der Nähe der Erdoberfläche verträgt sich gut mit einer ziemlich ungehinderten Ausstrahlung in den Weltraum, steht aber mit der gleichmässigen Fort- und Rückstrahlung von Schicht zu Schicht und somit mit der Ansicht Tyndall's geradezu im Widerspruche.

Die Wolken sind im allgemeinen ein Hinderniss für die Thaubildung; ein etwas bewölkter Himmel bei ruhiger Luft schliesst dieselbe nicht ganz aus. Das geringste Wölkchen, das sich im Zenith zwischen Thermometer und den nach Pouillet -142° kalten Weltraum stellt, veranlasst dessen Steigen, und ein Thermometer, welches auf dem Grase $6,6^{\circ}$ unter der Lufttemperatur stand, stieg bei vorüberziehenden Wolken so, dass diese Differenz nur mehr $1,1^{\circ}$ war, eine Erscheinung, welche sich aus der fast ungehinderten Strahlung von der Erde zu den Wolken und von diesen zurück zur Erde leicht und natürlich erklären lässt. Die eben bezeichnete Rolle fiele für die Wolken unstreitig weg, wenn der Wasserdampf die ihm von Tyndall beigelegte Absorption besässe und allenfalls nur einem ganz geringen Theile der irdischen Strahlung bis zu ihnen vorzudringen gestattete. Wenn wir nun auch keineswegs auch so weit gehen und mit Magnus jede Thaubildung als mit der Ansicht Tyndall's unvereinbar hinstellen wollen, so dürfen wir doch die Behauptung wagen, dass, wenn der für den Thau unerlässliche Wasserdampf gleichsam eine die Ausstrahlung hemmende Decke über der Oberfläche der Erde bilden und daselbst zur Anhäufung der Wärme und Erhöhung der Temperatur beitragen würde, dann die das Thauen beeinträchtigende oder unter Umständen gar unmöglich machende Thätigkeit der Wolken nicht zu erklären wäre.

In den Alpen, wo so viele die Thaubildung begünstigende Bedingungen zusammenwirken, wo bei vermindertem Luftdrucke die Verdunstung rascher und die Ausstrahlung grösser ist, wo die dünnere Luft durch die Strahlung von Sonne und Erde in geringerm Masse erwärmt wird, wo das

unregelmässige Terrain die Vermischung verschieden erwärmter Luftmassen befördert, da weicht im Sommer der Thaupunkt wenig von der herrschenden Temperatur ab. Dort, wo also bei relativ grosser Luftfeuchtigkeit die geringste Temperaturerniedrigung die Möglichkeit einer Condensation bietet, darf es uns nicht Wunder nehmen, dass Alles von überströmendem Thau strotzt. Eine Bethauung des Bodens und des denselben bedeckenden Pflanzenwuchses in der Alpenregion, wie sie reichlicher nur den Tropengegenden zu Theil werden mag, verträgt sich sehr gut mit der seit Wells allgemein angenommenen directen Ausstrahlung gegen den Weltenraum. Jeder etwas kräftige Thau niederschlag besteht aus sehr zahlreichen Schichten, die sich successive auf einander abgelagert haben. Hätte nun die verhältnissmässig nicht unbedeutende Wärme, welche durch Condensation des zur Bildung jeder einzelnen Schicht nöthigen Wasserdampfes frei wird, in der eben berührten Ausstrahlung keinen raschen Abfluss, dann würde sie der Bildung aller folgenden, zumeist der unmittelbar folgenden entgegenwirken. Bei der Ansicht von Magnus stehen üppige Thaubildung und mit ihr gleichen Schritt haltende frei werdende Wärme sich wenigstens nicht im Wege.

Mit der besprochenen Thaubildung hat die bei ruhiger Luft und tiefblauem Himmel Nachmittags an schattigen Orten, allenthalben etwas stärker einige Stunden vor Sonnenuntergang bisweilen eintretende in so fern Aehnlichkeit, als sie auch eine geringe Abkühlung unter die Lufttemperatur zur Voraussetzung hat. Die der Kohlensäurezerlegung proportionale Verdunstung erzeugende Thätigkeit der Pflanzen wird als so energisch angegeben, dass sie in einem gesättigten Raume ebenso von Statten geht wie in einer feuchtigkeitsarmen Luft und sich bloss nach dem wechselnden Einflusse des Lichtes und der Wärme richtet. Wenn man nun noch die Grösse der Verdunstung und die damit eng verbundene Abkühlung bei Einwirkung der Sonne auf eine mit Vegetation bedeckte Fläche berücksichtigt, dann wird man leicht einsehen, dass die Pflanzen meistens in einer Atmosphäre leben, welche der Sättigung näher steht als die Luft höherer Schichten. Somit erfordert eine dichte Vegetation mitunter nur eine kleine Temperaturerniedrigung rücksichtlich der sie unmittelbar umgebenden Luft, um ihren Sättigungspunkt und Thauen herbeizuführen. Für die im Schatten aufgehörende oder gegen Abend überhaupt geschwächte directe Einwirkung der Sonnenwärme auf Boden und Pflanzenwuchs ist von der Erde wegen des geringen Wärmeleitungsvermögens der verschiedenen Bodenarten auch nicht entfernt Ersatz zu hoffen. Dass etwa bei Grasflächen unter solchen vortheilhaften Bedingungen ein leichter Thau niederschlag neben der Ansicht Tyndall's nicht möglich sei, unterfangen wir uns nicht rückhaltlos zu behaupten. Warum setzt sich aber diese Art des Thauens in Abhängigkeit von einem reinen und tiefblauen Himmel?

9. Von der Wichtigkeit des Gegenstandes überzeugt, stellte sich Wild die Aufgabe, durch Prüfung der Versuchsmethoden und durch eigene Versuche die Streitfrage endgültig zu entscheiden. Bei der ersten Versuchsreihe mit einem Apparate, der wenig von dem Tyndall'schen abwich, war der Sinn der fast genau gleichen Ausschläge stets eine durch feuchte Luft vermehrte Absorption. Weil auch ohne Würfel die Nadel in Ruhe blieb, so konnte weder die Luftströmung gegen die Säule noch die Erwärmung der Luft beim Durchströmen durch die Schwefelsäure eingewirkt haben. Kräftig einströmende Luft rief eine der erwarteten entgegengesetzte Bewegung hervor. Dieselbe Erscheinung hatte auch Magnus beobachtet und durch die Thatsache erklärt, dass alle Substanzen sich erwärmen oder abkühlen, je nachdem die gegen sie strömende Luft feuchter oder trockener ist als die ihrer Umgebung. Als die durch diese vorläufigen Versuche gewonnenen qualitativen Resultate keine Aenderung erlitten, wenn die Gase durch längere dünnwandige in ein Wasserbad gelegte Metallröhren zum Apparate geleitet wurden, schienen sie Wild geeignet, die Erreichung des Zieles seiner Bestrebungen zu sichern.

Bei einer zweiten Versuchsreihe setzte Wild, um beim Pumpenspiel die Luftströmung gegen die Säule abzuschneiden oder wenigstens unmerklich zu machen, die ihr zugekehrten Enden der beiden nun angewandten Röhren mit der Luftpumpe in Verbindung, so dass also die Zuleitung an den entferntern Enden bewerkstelligt wurde. Wie uns jetzt bekannt ist, war in den Dimensionen der Röhren, wie sie Tyndall und Wild benutzten, die Möglichkeit gegeben, die Wirkung der Luftbewegung auszuschliessen. Selbst bei der angegebenen Art der Zuleitung gelangt die Luft doch zur Säule, sobald die Röhre durch Einlegen eines Ringes oder Diaphragmas an dem der Säule nächsten Ende verengt wird. Eine Erklärung und experimentelle Erläuterung dieser Erscheinung gab Magnus 1867 in seiner Abhandlung „über den Einfluss der Vaporhäsion bei Versuchen über Absorption der Wärme“. Durch mit Salzsäure und Ammoniak erzeugte Nebel machte er die Bewegung der Luft sichtbar und zeigte, dass diese Nebel um so weiter hervorschiessen, je enger das Diaphragma ist. Bei unserer Versuchsreihe war 18° die Temperatur des Zimmers und der gesättigten Luft. Nach fortgesetztem Einleiten von trockener Luft in die eine und von feuchter in die andere der Röhren erlangte die Nadel eine Ruhelage; dann wurden die Schläuche und die Luft in den Röhren gewechselt und die Pumpen so lange in Thätigkeit erhalten, bis die Nadel wieder eine Ruhelage eingenommen hatte. Aus den constanten gleichen Abweichungen der Ruhelagen schloss der Experimentator mit um so mehr Vertrauen auf die Zuverlässigkeit der daraus abgeleiteten und die Verminderung der Wärmewirkung ausdrückenden Ablenkung, als letztere bei 16° entsprechend geringer ausgefallen war.

Besonders interessant ist eine dritte Versuchsreihe, wobei Wild, um auch den Einfluss der Reflexion verschiedener Gasschichten zu beseitigen, auf jeder Seite der Säule eine kürzere Röhre und eine zweite von doppelter Länge anwandte. Die beiden der Säule nächsten Röhren, eine längere links und eine kürzere rechts, standen in Communication, ebenso die entferntern. So konnte dieselbe Luftart in zwei verschiedenen lange Röhren beiderseits zugleich eingelassen werden. Die Zwischenräume zwischen den Röhren und zwischen diesen und der Säule oder auch der Wärmequelle waren verhältnissmässig und gleich. Die feuchte Luft wurde zuerst in die entferntern Röhren, die trockene in die nähern geleitet; dann wurde umgekehrt verfahren. Der schliessliche Erfolg war eine durch Feuchtigkeit vermehrte Absorption der Luft.

Als Wild nach der Methode von Magnus experimentirte, war er weniger glücklich. Obgleich er gewisse Vortheile der Tyndall'schen Einrichtung benutzte, so gelang es ihm jedoch nie, der Nadel auch nur entfernt eine Ruhelage zu geben. Alle Mittel, alle Vorsichtsmassregeln, um die Mittheilung der Wärme an die Säule durch Leitung und Strömung zu hindern, blieben selbst dann noch erfolglos, nachdem der Röhre die verticale Stellung gegeben worden war. Immerfort erfolgten beim Evacuiren oder Füllen starke Ausschläge. Diese Ausschläge, welche im erstern Falle einer Abkühlung, im zweiten einer Erwärmung der obern Seite der in der Nähe des Bodens der Röhre befindlichen Säule entsprachen, waren stärker als die der Gesamtstrahlung der Wärmequelle und rührten, wie Wild annahm, von den Wärmewirkungen her, welche Compression und Expansion der Gase begleiten. Letztere Wirkungen sowohl als auch die mechanischen Luftströmungen, welche die Wärme der Luft von der Wärmequelle nach unten fortpflanzen, liessen keine constante Stellung der Nadel zu und bestimmten Wild, den betretenen Weg zu verlassen.

Es ist freilich nicht sehr auffallend, dass Wild und Magnus nach derselben Methode so abweichende Resultate erhielten, wenn man bedenkt, dass ihre Apparate immerhin noch wesentlich sich unterschieden. Letzterer hatte, um Strömungen zu vermeiden, gläserne Röhren in verticaler

Stellung angewandt; dieselben waren an ihrem obern Ende dünnwandig und durch den dünnen Boden des ebenfalls gläsernen Gefässes der Wärmequelle, dessen Querschnitt bloss ein Viertel von dem der Röhre betrug, geschlossen. Dazu hatte er nach jeder einzelnen Beobachtung Röhre, Säule und Glas in der Nähe des Kochgefässes die Temperatur der Umgebung wieder vollständig annehmen lassen. Ersterer hatte metallene Röhren und ein metallenes Wärmegefäss von demselben Querschnitte benutzt und die Bedeutung der eben berührten Vorsichtsmassregel übersehen. Daher erhielt er auch nur unsichere, keineswegs aber dieselben Resultate wie Magnus.

Magnus bestimmte zuerst die Ablenkung durch die Luft, dann durch den Wasserdampf oder das Vacuum; Tyndall hingegen zunächst die Ablenkung durch das Vacuum, dann durch die Luft und zuletzt durch den Wasserdampf. Da nun dieser eine kleinere Ablenkung bei der Luft als jener beobachtet und dieselbe für den Wasserdampf als Einheit genommen hatte, so war eine Abweichung zwischen beiden in Bezug auf die Absorption des Wasserdampfes natürlich. Allein wenn wir dies auch in Anschlag bringen, so wird doch die zwischen beiden Gelehrten bestehende Kluft keineswegs ausgefüllt. Auf die Ausstrahlungsversuche von Magnus legte Wild kein besonderes Gewicht. Die Ausstrahlung der trockenen und feuchten Luft war nämlich von jenem bei etwa 250° untersucht worden, während die Absorptionsversuche desselben sich auf 15° bezogen. Da aber das Verhältniss zwischen Ausstrahlung und Absorption der Körper nur bei derselben Temperatur dasselbe ist, so mag leicht bei Luft und Wasserdampf dieses Verhältniss bei 15° sehr verschieden, bei 250° dagegen ungefähr gleich sein. Die Untersuchungen von Magnus „über Emission und Absorption der bei niedern Temperaturen ausgestrahlten Wärme“, die 1869 veröffentlicht wurden und uns so manches Interessante gebracht haben, werden hoffentlich nach dem Tode des für die Wissenschaft zu früh Dahingeshiedenen fortgesetzt werden, um uns darüber aufzuklären, in wie weit wir Ursache haben, mit Wild unsern Einwurf gegen die Ausstrahlungsversuche von Magnus aufrecht zu erhalten.

Die Versuche von Magnus, welche sich auf eine 0,32 Meter dicke Schicht beziehen, stimmen bei Anwendung von Steinsalzplatten in den Ergebnissen mit den Tyndall'schen ungefähr überein, wenn man, was bei der schwach absorbirenden Luft wohl zulässig ist, eine der Dicke der Schichten proportionale Absorption annimmt. Wenigstens ist dann die Differenz beider Physiker der Schwierigkeit der Untersuchung gegenüber unerheblich, zumal da weder ganz bestimmt abgegrenzte Schichten noch auch genau übereinstimmende Temperaturen als in Betracht kommend vorausgesetzt werden dürfen. Magnus hatte ferner in seiner Abhandlung „über den Einfluss der Absorption der Wärme auf die Bildung des Thaus“ für Leuchtgas eine 30 bis 40mal, für feuchte Luft eine 2 bis 3mal stärkere Ausstrahlung als für trockene angegeben. Das sich hieraus ergebende Verhältniss für die Absorption des Leuchtgases und der feuchten Luft ist mit den Messungen von Tyndall und Wild nahezu in Uebereinstimmung; denn diese hatten für Leuchtgas eine 16mal grössere Absorption als für feuchte Luft nachgewiesen. Diese verschiedenen Umstände, ferner die aus 100 einzelnen Beobachtungen nach der Tyndall'schen Methode gewonnenen Resultate, welche die Streitfrage im Sinne Tyndall's lösten, wenigstens nie den Angaben desselben widersprachen, und schliesslich die durch Abänderung der Methode entkräfteten Einwände gegen die Beweiskraft der Tyndall'schen Versuche liessen Wild ohne Bedenken 1866 der naturforschenden Versammlung in Bern das bedeutende Absorptionsvermögen des atmosphärischen Wasserdampfes constatiren und diese neue Thatsache den Meteorologen als Erklärungsprincip zur Verwerthung überweisen.

10. Selbst nachdem Tyndall von der oben erwähnten Abhandlung von Magnus und den

gegen seine Ansicht aus der Thanbildung herangezogenen Argumenten Kenntniss genommen hatte, behauptete er immer noch unerschütterlich denselben Standpunkt. Dadurch zunächst, dann durch das schiedsrichterliche Auftreten Wild's, der sich für Tyndall entschieden hatte, endlich durch das eigene wissenschaftliche Interesse wurde Magnus zu neuen Versuchen bestimmt, um die unbekanntes Ursachen aufzusuchen, welche zur Herbeiführung so grosser Abweichungen bisher im Spiele gewesen sein mussten. Die Versuche Wild's machten auf den ersten Blick auf ihn den Eindruck der Zuverlässigkeit. Da sie aber mit den seinigen in so grellem Widerspruche standen, so entschloss er sich, dieselben mit demselben Apparate, mit dem Apparate, dessen jener sich bei der zweiten Versuchsreihe bedient hatte, zu wiederholen. Bei seinem äusserst empfindlichen Multiplicator fielen jetzt die Ausschläge noch grösser aus, entsprachen übrigens auch einer Erwärmung der Säule durch trockene, einer Erkaltung durch feuchte Luft. Wurde statt beider Röhren nur eine abwechselnd mit trockener und feuchter Luft gefüllt, so zeigten sich auch ohne Saugpumpe doch dieselben Erscheinungen. Als aber die Nadel ihre Ruhelage verliess, wenn in beide Röhren statt trockener Luft feuchte einströmte, und Magnus deshalb Vertauschung der Röhren und Abänderung der Zuleitung vornahm, kam er bald zu der Ueberzeugung, diese Erscheinung habe in der Verschiedenheit der Röhrenwände ihren Grund. Sobald die eine Röhre im Innern etwas geschwärzt wurde, trat denn auch wirklich eine grössere Verschiedenheit der Wärmeleitung bei beiden Luftarten hervor. Weitere in diesem Sinne angestellte Versuche constatirten eine grössere Erwärmung und Abkühlung entsprechend durch trockene und feuchte Luft in einer inwendig polirten Röhre als in einer geschwärzten, obgleich durch beide gleichviel Wärme zur Säule kam und zudem in diese viel mehr Wärme eintrat als in jene theilweise abgeblendete. Der Erfolg war kein anderer, als nach Beseitigung der Abblendung die in die polirte Röhre eintretende Wärmemenge durch weitere Entfernung der Wärmequelle vermindert wurde. Auch bei andern Röhren und bei Wärmequellen von sehr hoher Temperatur fanden die erwähnten Erscheinungen in ähnlicher Weise Statt. Der grosse Einfluss der Beschaffenheit der Röhrenwände wurde durch den Nachweis einer Erkaltung von etwa 3,8 Proc. im Mittel in der polirten und von 1,4 Proc. in der geschwärzten Röhre ausser allen Zweifel gesetzt. Die Grösse dieses Einflusses geht noch besonders daraus hervor, dass bei Metallröhren, welche stark mit Lampenschwarz überzogen oder mit baumwollenem Sammt ausgekleidet waren, sogar eine Zunahme der Erwärmung bei feuchter und eine Abnahme bei trockener Luft beobachtet wurde. Es war nun nicht mehr schwierig, Röhren zu construiren, welche weder Erwärmung noch Abkühlung zeigten, sich also neutral verhielten.

Eine lineare Thermosäule, die an irgend einer Stelle auf eine Metallröhre gesetzt wurde, erwärmte sich oder erkaltete, je nachdem es sich um feuchte oder trockene Luft handelte. Was folgt anders daraus, als dass diese Röhre bei feuchter Luft überall innen Wasserdampf condensirt, dass überhaupt feste Körper aus der sie umgebenden Luft von gleicher Temperatur Wasserdampf an ihrer Oberfläche verdichten. Durch diese Condensation oder Vaporhäsion, wie Magnus die Erscheinung in der aus 7 schon bekannten Abhandlung nennt, auf deren Boden wir jetzt fassen, wird Wärme frei, welche sich rasch durch die Masse der gut leitenden Metallröhre vertheilt. Zudem bringt es das auf den Wandungen sich niederschlagende Wasser mit sich, dass die Metallröhre im Vergleich zur Sammröhre einen weit grössern Theil von der auf sie fallenden Wärme absorhirt und somit auch einen entsprechend geringern Theil der Reflexion und Dispersion übrig lässt. Da nun die Wärmemenge, welche ausschliesslich durch Reflexion an der innern Wand der polirten mit trockener Luft gefüllten Messingröhre die Säule trifft, sich 6mal so gross herausstellt als die, welche

nach Fortlassung der Röhre direct auf die Säule fällt, so ist leicht einzusehen, dass jede Verminderung der Reflexion eine entsprechende Verminderung der Erwärmung der Säule nach sich ziehen muss. Die Erklärung der Erwärmung beim Einströmen feuchter Luft in eine mit Kohlentheilchen geschwärzte Röhre hat ebenfalls keine Schwierigkeit. Der niedergeschlagene Dampf erhöht nicht oder ganz unmerklich das beträchtliche Absorptionsvermögen der fein zertheilten Kohle und führt daher auch keine Erkaltung herbei. Auf der andern Seite kommt die an den Wänden frei werdende Wärme zur Wirkung. Dass wirklich dem so sei, geht zur Evidenz daraus hervor, dass feuchte Luft ohne Wärmequelle eine grössere Erwärmung der Säule zu Stande bringt als die Wärmequelle selbst. Nach diesen Ausführungen werden wir nicht mehr versucht sein, den Grund des verschiedenen Verhaltens der Röhren anderswo als in ihrem verschiedenen Leitungsvermögen für Wärme zu suchen. Der beste Beweis dafür ist unstreitig der, dass sonst alle Röhren von denselben Dimensionen die Erscheinungen der Erwärmung und Abkühlung in ganz gleicher Weise zeigen müssten.

Magnus, der jetzt die Wirkungsweise der Wasserdämpfe hinreichend aufgeklärt hatte, ging noch einen Schritt weiter und führte mittelst einer zweckmässigen Einrichtung den Beweis, dass Röhrenwände aus feuchter Luft selbst dann noch Wasserdämpfe auf sich verdichten, wenn dieselbe noch weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Das ganz unerwartete Resultat bestätigte er noch auf andern Wege; er leitete nämlich bei 16° gesättigte und dann auf 38° erhitze Luft zur Säule, die in einem Raume von ebenfalls 38° aufgestellt war. Die metallische wie die mit Kienruss geschwärzte Säule erwärmte sich und verrieth Vaporhäsion an ihrer Oberfläche. Es ist selbstverständlich, dass die Säule sich abkühlte, wenn nach feuchter Luft trockene einströmte. Als nicht unwichtig führen wir schliesslich noch an, dass Alkoholdämpfe eine höhere Intensität der Vaporhäsion und der übrigen damit zusammenhängenden Erscheinungen darboten.

Vergegenwärtigen wir uns die einschlagenden Momente unserer Beweisführung, erinnern wir uns besonders der mit dem Röhrensystem ausgeführten Versuche, wobei Kohlensäure und Alkoholdämpfe nur durch Absorption directer Wärmestrahlen eine bedeutende Abkühlung der Säule, trockene und feuchte Luft dagegen keine Temperaturveränderung herbeiführten, so nehmen wir keinen Anstand, die durch das Auge nicht wahrnehmbare Vaporhäsion als Ursache der so abweichenden Resultate Tyndall's und Wild's gegenüber denen von Magnus anzusprechen und mit letzterm die Behauptung aufzustellen, dass ein merklicher Unterschied in dem Absorptionsvermögen der feuchten und trockenen Luft für dunkle Strahlung weder mit Sicherheit nachgewiesen sei noch auch überhaupt bestehe.

11. Die Luftatmosphäre lässt in ihrer ganzen Mächtigkeit auf dem nächsten Wege zu uns den bei weitem grössten Theil der Sonnenwärme durch und verwerthet nur einen entsprechend geringen Theil zur Bewegung der eigenen Atome. Nehmen wir den Wasserstoff aus, so thut es ihr in dieser Hinsicht keine Atmosphäre aus irgend einem andern Gase gleich. Die Dampfatmosphäre ist in ihrer feinen Vertheilung im Luftmeere in so hohem Grade diatherman, dass sie den Wärmeaustausch zwischen Sonne und Erde und zwischen letzterer und dem Weltenraume nur in untergeordnetem Masse beeinflusst. Man darf nun nicht annehmen, das Verhältniss der Diathermanität der beiden Atmosphären wurzele darin, dass die Dampfmolecüle vereinzelt zwischen zahlreichen Sauerstoff- und Stickstoffatomen ihre Bewegungen vollziehen. Transmission und Absorption der Körper stehen mit dem Wesen ihrer kleinsten Theilchen in so innigem Zusammenhange, dass man schon daran denkt, diesen zu benutzen, um zu Schlüssen über jenes vorzudringen. Wohlgerüche üben selbst bei einer fast unendlichen Verdünnung in kurzen Röhren noch einen messbaren Einfluss

auf Strahlwärme aus, und wenn die Moleküle des Rosenöls auch so zerstreut liegen, dass ihnen eine millionfache Verdichtung erst 760 Millimeter Druck gäbe, so absorbiert dasselbe doch 36mal mehr Wärme als Luft bei dem Drucke einer Atmosphäre. Wir kennen Wohlgerüche, welche das Rosenöl in Bezug auf Absorption noch um das Zehnfache übertreffen. Ammoniakgas und ölbildendes Gas, welche beide so durchsichtig sind wie die Luft, haben ungefähr gleiche Absorption für dunkle Wärme, und diese ihre Absorption ist der Art, dass eine Atmosphäre aus einem oder dem Gemisch beider Gase der Erdoberfläche weit weniger Wärme zufließen lassen würde, als es die mit der Dampfatmosphäre vereinigte Sauerstoff-Stickstoff-Atmosphäre thut. Verhielte sich eine Atmosphäre von ölbildendem Gase zur Sonnenwärme ebenso wie zur Strahlung einer Gaslampe oder des Leslie'schen Würfels, dann würde dieselbe durch eine Schicht von 1 Meter Dicke nur 2 Drittel der Wärme durchlassen, welche durch eine gleiche Schicht unserer jetzigen Atmosphäre geht. Eine einigermaßen dicke Schicht dieses Gases in einiger Höhe über der Erde würde eine für uns unausstehliche Hitze zur Folge haben; denn es würde die durch dieselbe hindurchgelassene leuchtende Sonnenstrahlung auf der Erde in dunkle Wärme verwandelt, bei ihrer Rückstrahlung von den ersten Schichten des Gasringes in hohem Grade absorbiert und in analogem Masse wieder zur Erde zurückgestrahlt. Ohne aus weitem Voraussetzungen über Planeten und ihre Atmosphären Folgerungen zu ziehen, werden wir schon jetzt auf die Mittel hingewiesen, welche der Natur zur Verfügung stehen, um von diesen Himmelskörpern diejenigen, welche in grösserer Entfernung als unsere Erde um die Sonne kreisen, in einen zweckentsprechenden Temperaturzustand zu versetzen. Auf der andern Seite ist uns nahe gelegt, dass die Atmosphäre unseres Planeten ebenso wie eine aus Wasserstoff und mehr als irgend eine andere seine Erwärmung durch die Sonne begünstigt.

Weil die Dichtigkeit der Wasserdämpfe rascher als ihre Temperatur wächst, so müssen damit gesättigte Luftmassen verschiedener Temperatur bei ihrer Vermischung Nebel bilden und nicht gesättigte Luftmassen unter denselben Bedingungen sich der Sättigung nähern. In letztem Falle kann unter Umständen die geringste Temperaturdifferenz Uebersättigung und Nebelbildung herbeiführen. Bei dieser grossen Möglichkeit des beständigen Entstehens von Dunstbläschen jeglicher Grösse innerhalb gewisser Grenzen ist es von vornherein sehr fraglich, ob unsere Atmosphäre je frei davon ist. Und hätte die Kraft der Sonne unter den günstigsten Verhältnissen eine reine Dampfatmosphäre geschaffen, dieselbe würde durch Condensationen getrübt, sobald die Sonne vom Schauplatze ihrer Thätigkeit abgetreten wäre. Nicht mit Unrecht suchen wir die Beständigkeit des atmosphärischen Wasserdampfes im Wechsel; er erzeugt in unaufhörlichem Kreislaufe Gebilde, denen er selbst Entstehung und Erhaltung verdankt. Wir dürften daher nicht zu weit gehen, wenn wir uns dahin aussprechen, dass dem Auge, welches am Fusse eines von der Sonne kräftig bestrahlten Berges durch den aufsteigenden Luftstrom hindurch den Himmel beschaut, die Dampfatmosphäre sich nur annähernd rein zeigt, dass dieselbe sich ihm reiner darstellt in dem Blau des italischen Himmels, noch reiner und in überraschender Schönheit im Himmel Persiens. Je relativ trockener die Luft ist, desto weniger bietet sie freilich die Möglichkeit zur Ausscheidung von Dunstkügelchen, desto ungeschwächer erreicht der Wärmestrahle der Sonne die Erde, desto ungehinderter ist die irdische Strahlung. Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht in den regenlosen Gegenden der afrikanischen Wüste und des südlichen Amerikas, welche nicht selten so gross sind, dass Gesundheit und Leben der Menschen und Thiere gefährdet wird, versengende und oft bedenkliche Wirkungen der Sonne auf die von der trockenen Luft ausgedörrte Haut des Gesichtes und der Hände sind von Reisenden berichtete Thatsachen, die in der grossen Diathermanität einer in hohem Grade reinen

Atmosphäre nunmehr ihre Erklärung finden. Werden wir also noch in Verlegenheit sein, wenn wir beantworten sollen, warum von den klarsten und hellsten Nächten diejenigen, in welchen nach Mitternacht kein Thau fällt, der künstlichen Eisbildung in Bengalen am günstigsten sind? Die in der Form von grössern und kleinern Bläschen ausgeschiedenen Wasserdämpfe, die bekanntlich gut ausstrahlen und absorbiren, sind es, welche in den hohen Regionen, ungehemmt oder wenig gehemmt durch die nahe oder ganz mit Feuchtigkeit gesättigte Luft, die ungeheure bei der Condensation sich entwickelnde Wärmemenge durch Ausstrahlung gegen den Weltenraum rasch fortschaffen, ohne dem Medium, worin dieser Process sich vollzieht, eine merklich höhere Temperatur zu geben. Wenn diese Condensation ohne genügende Ausstrahlung vor sich ginge, wie es bei der Ansicht Tyndall's nicht anders zu erwarten stände, dann würde die sich anhäufende Wärme jede weitere Condensation erschweren und mitunter sogar unmöglich machen. Die sichtbaren Wasserdämpfe sind es ebenfalls, welche in dem beim Landmanne so sehr in Gunst stehenden kühlen Mai, wo vorherrschende Westwinde meistens für einen bedeckten Himmel sorgen, durch ihre gute Absorption bei klarem Himmel einerseits unsere Vegetation gegen die Gluthen der directen Sonnenstrahlung schützen, andererseits die ihr verderblichen Nachtfroste fern halten. Um daher die für gewisse meteorologische und klimatische Erscheinungen so wichtigen Folgerungen, welche Tyndall und Andere aus einem relativ grossen Absorptionsvermögen des unsichtbaren Wasserdampfes für dunkle Wärme abgeleitet haben, aufrecht zu erhalten, brauchen wir nur für den unsichtbaren Wasserdampf den theilweise condensirten und nebelartigen zu substituiren. Dann sehen wir mit Tyndall im Wasserdampfe eine Decke, welche den Pflanzen nothwendiger ist als die Kleidung dem Menschen; dann behaupten wir auch mit ihm zuversichtlich, derjenige, welcher der Luft Englands für eine einzige Sommernacht den Wasserdampf nähme, vernichte jede durch die Gefriertemperatur zerstörbare Pflanze.

Die Natur ist reich an Mitteln, um ihre Zwecke zu erreichen; ihr standen viele Mittel zu Gebote, um die Vegetation gegen die schlimmen Folgen der Ausstrahlung bei klarem Himmel zu schützen. Da das Ozon hinsichtlich seiner Absorption sich den Wohlgerüchen anschliesst, so brauchte sie nur den Ozongehalt der Luft entsprechend zu vermehren. Wie sie über das Veilchen, das bescheiden im Grase blüht, einen duftigen Schleier warf, der die Erdausstrahlung kräftiger hemmt als die ganze Atmosphäre, so konnte sie auch der starken deutschen Eiche, deren Aeste, sich keiner steifen Regel fügend, kühn und frei hoch in die Lüfte emporstreben, einen ähnlichen Schutz angedeihen lassen. Ohne auf eine tiefere Erforschung des Zusammenhanges der vorgeschlagenen Mittel mit den übrigen Zwecken eines immer grössern und reichern Ganzen einzugehen, ohne besonders auszuführen, wie sehr sich der Wasserdampf in sichtbarer Form eignet, der irdischen Ausstrahlung einen Damm entgegenzusetzen und dem Pflanzenleben gegen die zu grosse directe Sonnenstrahlung Schutz zu gewähren, und wie leicht er, im Verhältnisse zu der im Kampfe angebotenen Kraft der Sonne in die unsichtbare Form übergeführt, jeden möglichen Grad der Diathermanität annehmen kann, um den Pflanzen die zu ihrem Eintreten in ein bestimmtes Stadium der Entwicklung erforderliche Wärmesumme von der Sonne zufließen zu lassen, scheiden wir von unserm Gegenstande mit der Erkenntniss, dass die Natur dadurch, dass sie dem atmosphärischen Wasserdampfe eine extreme Stellung in Bezug auf Diathermanität angewiesen, getreu dem Streben gehandelt hat, die Mittel dem Zwecke anzupassen, innerhalb der engsten Grenzen den Reichthum ihrer Mittel zu entfalten und durch einfache und unbedeutende Mittel die mannigfachsten und grossartigsten Zwecke zu erreichen.

