köstliches Mittel zur Analyse der Atmosphäre verschiedener Länder werden; doch darf man dies nicht von den primären Linien des Spectrums erwarten, sondern nur von den secundären.

Zum Schluß noch eine Bemerkung. Wenn man die Sonne in Gegenwart eines *Cirrus* in der Atmosphäre beobachtet, so sieht man, im Moment der Annäherung, wirklich mehrmals, aber nicht immer, eine Zunahme in der Intensität der Nebelhaftigkeit. Dessenungeachtet sind die Linien an nebligen Tagen verworren, gestört und schwierig zu trennen. Dies beweist eine Wirkung des Wasserdampfs auf die Linien, allein es bleibt noch zu untersuchen, welche Umstände die einflussreichsten seyen:

Diese Licht-Absorptionsphänomene stimmen wohl überein mit dem großen Wärme-Absorptionsvermögen des Wasserdampfs, welches, wenn es nach den feinen Versuchen von Tyndall und Magnus ¹⁾ noch zweifelhaft bliebe, dennoch nicht bestritten werden könnte, nachdem ich gezeigt, daß, bei gleicher Höhe der Sonne und einem heiteren Himmel, das der Sonne ausgesetzte Thermometer im Winter fast doppelt so hoch steigt wie im Sommer, was nur durch die in letzter Jahreszeit vorhandene große Menge Wasserdampf erklärlich ist.

X. *Die Hageltheorie betreffend;* *von Dr. Mohr.*

Hr. Prof. Krönig hat in Bd. 123, S. 641, dieser Annalen meine Hageltheorie mit einigen Bemerkungen und Berechnungen beehrt, welche ihn zuletzt zu dem Schlusse führen (S. 646) »daß bei der Condensation von Wasserdämpfen innerhalb der Atmosphäre überhaupt niemals Volumverminderung, sondern immer eine Volumenvergrößerung eintritt«.

1) Hr. Magnus legt in dem Wasserdampf kein übermäßig großes Absorptionsvermögen bei.

Hiermit ist in Wirklichkeit zu viel bewiesen, denn es würde nothwendig daraus folgen, dafs nicht nur an der Stelle der Wasserverdichtung, sondern auch in der ganzen Umgebung das Barometer steigen müfste: an der Stelle selbst, weil durch Vermehrung des Volums eine höhere Spannung, also Druck auf das Barometer entstehen müfste; in der Umgebung, weil eine Vermehrung des Volums eine Erhöhung der Atmosphäre und ein Abfliefsen nach allen Seiten zur Folge haben müfste. Diefs steht aber mit der Erfahrung in vollkommenem Widerspruch, da alle Gewitter und Hagelschläge sich durch ein rasches Fallen des Barometers, selbst bis jenseits des Horizontes des Gewitters, auf das Bestimmteste ankündigen. Sollte Hr. Prof. Krönig auf seiner Behauptung beharren, so würde ich einfach die Frage an ihn richten, wie er aus seiner Theorie das niemals fehlende Sinken des Barometers erkläre. Wenn die schärfste Berechnung nach Formeln zu solchen Resultaten führte, so sollte man Bedenken tragen, diesen Ausdruck zu geben, wenn man dadurch in einen solchen Widerspruch mit den Thatsachen gerieth.

Wenn sich Wasserdampf, der in Luft gelöst ist, ganz von selbst verdichtet, d. h. *pro patria*, so mufs die freiwerdende Wärme unbedenklich der übrig bleibenden Luft zu Gute kommen. Wenn aber der Wasserdampf durch Schwefelsäure oder Chlorcalcium entzogen wird, so ist der Fall ein ganz anderer; ebenso ist er ein anderer, wenn der Wasserdampf durch eine sehr kalte Luft verdichtet wird, deren Volum man nicht kennt. Mit Anwendung von Formeln wird hier nichts erreicht, denn die Zahlen, welche man einsetzt, sind ganz willkürliche.

Wenn eine bei 25° mit Wasser gesättigte Luft vom Barometerstand 760^{mm} besteht, so theilt sich diese Spannung in der des Wasserdampfs von 23^{mm},5 und in der trocknen Luft von 736^{mm},5. Wird der Wasserdampf vollständig entfernt, so vermindert sich das Volum dieser Luft um $\frac{23,5}{760}$ oder 3,09 Proc. Auf einen Kubikmeter = 1 Mil-

lion CC. beträgt dieß 30900 CC. Das condensirte Wasser, welches bei 25° C. als Dampf das spec. Gewicht 0,0023 (Wasser = 1) hatte, wiegt demnach 23 Grm., und diese sind in dem Volum von 30900 CC. 1343mal enthalten. Es findet also doch wirklich eine Raumverminderung statt, und diese würde auf ein Cubikmeter Luft 30,9 Liter betragen, wenn aller Wasserdampf daraus verschwände. Wie viel Volumina kalter Luft aber dazu treten, kann man nicht in Rechnung bringen. Jedenfalls sind Verhältnisse denkbar, wo der größte Theil des Wassers herausgeschlagen wird und eine Abkühlung der unteren feuchten Luft eintreten muß, wie dieß nach jedem Gewitter beobachtet wird. Nach Hrn. Krönig's Ansicht müßte nach jedem Gewitter die latente Wärme des Wasserdampfs, der als Wasser im Regen niederfällt, zur Erwärmung und Ausdehnung der Luft verwendet werden, und deshalb beim Gewitter vermehrte Wärme und steigender Barometerdruck eintreten. Daß dieses aber gerade umgekehrt eintritt, ist eine unbestrittene Thatsache.

Den zweiten Erwägungsgrund, daß die Verdichtung des Wasserdampfes vorzugsweise in den unteren feuchteren Schichten der Luft stattfindet, und daß also das Nachrücken in die Raumverminderung aus den oberen Schichten stattfinden muß, welche einen geringeren Barometerstand haben, hat Hr. Krönig gar nicht in Erwägung gezogen. Daß die unteren und heißeren Schichten der Luft den meisten Wasserdampf enthalten, ist eine unbestrittene Thatsache. Die Regenmenge auf dem Münster zu York ist beträchtlich kleiner, als die am Fufse des Thurmes auf dieselbe Fläche gefallene. Es findet also Wasserverdichtung noch auf der Höhe eines Kirchthurmes statt, und daß dieses Wasser einen kleineren Raum einnimmt, als vorher im gasförmigen Zustande, bedarf wohl keines Beweises. Daß aber auch noch andere Physiker die Wasserverdichtung als eine Ursache der Raumverminderung ansehen, möge Hr. Krönig aus folgender Stelle aus Müller's kosmischer Physik 2. Aufl. S. 415 entnehmen. »Wenn man bedenkt,

welch eine ungeheure Wassermasse während eines Platzregens in wenigen Minuten zur Erde fällt, welch ungeheures Volumen dieses Wasser eingenommen haben muß als es noch in Dampfgestalt in der Atmosphäre schwebte, so ist es klar, daß durch die plötzliche Condensation dieser Wasserdämpfe eine bedeutende Luftverminderung bewirkt wird, und daß die Luft von allen Seiten her mit Gewalt in den verdünnten Raum eindringen muß. So weit Müller's Ansicht ganz mit der meinigen übereinstimmend. Von da an gehen wir auseinander. Müller behauptet, wie Hr. Krönig, daß durch die freiwerdende Wärme der Wasserdämpfe die Temperatur der Luft erhöht und »dadurch ein kräftig aufsteigender Luftstrom bewirkt wird« (S. 415). Das wäre ganz richtig, wenn die Wärme nicht verwendet würde, wenn die Dämpfe sich aus freien Stücken in Wasser verwandelt hätten. Allein darin unterscheidet sich meine Ansicht von jener der beiden Herren, daß ich die Veranlassung zur Verdichtung in der Erkältung durch beigemengte kalte Luft finde, daß ich also die Wärme wirklich verwende um eine ursprünglich auf 30 bis 40° unter Null erkaltete Luft bis zur Temperatur der Gewitterluft zu erwärmen, und daß trotzdem noch eine Raumverminderung und ein herabsteigender Strom entstehen muß. Indem Müller für die freiwerdende Wärme keine Verwendung hat, kommt er zu der Nothwendigkeit des aufsteigenden Stroms, und schreibt dem Gewitter (S. 415) eine saugende Wirkung zu. Darnach müßte der Wind von allen Seiten in das Gewitter blasen, wie in eine Feuerbrunst. Das ist positiv unrichtig. Ich habe mich bei sehr vielen Gewittern davon überzeugt, daß der Sturm immer aus dem Gewitter herausbläst und niemals hinein, und habe bei einem Hagelschlag an der Lage der umgeknickten Haferhalme diese Thatsache über jeden Zweifel festgestellt. Außerdem ist auch der herabsteigende Strom eine Thatsache, daß die Spitzen schlanker Bäume nicht nur horizontal, sondern geradezu abwärts gebeugt werden, daß die Wimpel der Schiffe nicht hoch in die Luft, sondern ab-

wärts am Maste flattern, daß stark belaubte Obstbäume oben platt gedrückt erscheinen, daß dürre Blätter dicht an den Häusern die Wände hinauf fliegen, beweist den herabsteigenden Strom. Ungeachtet der freiwerdenden Wärme der Wasserdämpfe, ungeachtet der Erwärmung der Luft, wenn sie aus einer höhern Region in eine niedere tritt, ist die Gewitterluft kälter als die umgebende noch im Sonnenschein befindliche, und eine kältere Luft muß in einer wärmeren zu Boden sinken.

Mit dem Herabfallen des Regens und des Hagels findet noch eine Wirkung statt, welche ich früher noch nicht beachtet hatte. Bei dem gewöhnlichen Aspirator durch ausfließendes Wasser tritt eine dem Volum des Wassers gleiche Menge Luft in den Aspirator. Läßt man aber dieselbe Masse Wasser tropfenweise in eine Glasröhre einfließen, so daß zwischen jedem Tropfen eine größere Menge Luft abgeschnitten wird, so kann sie 10 bis 12 mal so viel Luft ansaugen und vorwärts schieben. Babo hat diesen Umstand zur Construction eines Aspirator für chemische Zwecke sehr sinnreich verwendet. Das Princip ist das des Wassertrommelgebläses. Dieses findet nun auch beim Regen und Hagel statt. Die Wassertropfen und Hagelkörner fallen wegen ihres größeren specifischen Gewichtes zur Erde und reißen die zwischen ihnen befindliche Luft mit fort. In diesem Raum findet nun von der höchsten Stelle an ein Einschlürfen der darüber befindlichen Luft statt, und diese fortbewegte und herabgezogene Luft beträgt ein unbestimmtes Vielfaches von dem Volum des fallenden Wassers selbst. Daß die eingeschlürfte Luft kalt ist, und daß sie selbst noch Wasserverdichtung und Raumverminderung in den unteren feuchten Luftschichten hervorrufen kann, bedarf keines Beweises, denn die Wasserverdichtung findet bis auf den Boden der Erde statt; die Luft ist kälter als vorher, und sie strömt sichtbar von oben nach unten, und das Barometer sinkt.

Wie man aber einen so stürmischen Vorgang einer Berechnung unterwerfen könne, leuchtet nicht ein. Wenn

zur Absorption der freiwerdenden Wärme der Dämpfe ein Volum tiefkalter Luft nicht hinreicht, so werden zwei, drei und mehr Volumen dazu verwendet. Sie müssen aber verwendet werden, weil eben alle Erscheinungen eintreten, welche dadurch erklärt werden.

Eine merkwürdige Bestätigung meiner Ansicht finde ich in Anderson's Reise der Fregatte Eugenie, deutsche Ausgabe bei Borck, 1854, S. 44:

»Pamperos sind heftige Windstöße, die dem Platafluß und den Fahrwassern, welche ihn umgeben, eigen sind. Von den fernen Anden kommend und über die unermesslichen Pampasebenen hinausend, brechen sie hier in ihrer ganzen Gewalt los. Die Winde sind besonders den Monaten September und März gewöhnlich. Im September sind sie am heftigsten. Die Dauer eines Pampero ist im umgekehrten Verhältniß zu seiner Kraftentwicklung. Vor der Ankunft sinkt der Fluß plötzlich (? warum) das Barometer fällt und steigt wieder, wenn der Sturm losbricht. Der Himmel ist anfangs klar und sonnenbeleuchtet, der Wind, der gewöhnlich von Osten kommt, wendet sich nach Nord und Nordwest, dann wird es einen Augenblick vor dem Ausbruch windstill. Der Himmel bedeckt sich mit Wolken, welche vom Sturm gewaltsam gejagt werden und verschwinden. Der Donner erscheint Schlag auf Schlag, die Winde jagen über die Ebene hin, *so daß die Kronen der Bäume sich gegen den Boden niederbeugen*. Der Regen fällt buchstäblich in Strömen, die ganze Natur ist im Aufruhr S. 46: *Die Temperatur, welche vor dem Pampero brennend heiß war, ward nach dem Orkan schneidend und kalt, so daß ich durchfrozen die Stadt erreichte*«.

Der Beobachtende war ohne alle Vorurtheile über Gewitter und Hagelbildung und erzählt einfach den Verlauf der Thatsachen.

Wo kommt nun hier die Kälte her, bei der ungeheuren Masse verdichteten Wasserdampfes und frei gewordener Wärme, wenn nicht diese Wärme durch eine noch viel kältere Luft verwendet worden wäre, um diese bis auf die

Endtemperatur zu erwärmen. Die freigewordene Wärme des Dampfes bewirkt, daß der herabsteigende Luftstrom nicht -39°C. , sondern nur $+3$ bis 4°C. zeigt. Je mehr kalte Luft sich beimengt, desto mehr verschwindet die Wirkung der freigewordenen Wärme, und so haben wir Gewitter, die eine starke dauernde, andere die nur eine vorübergehende gelinde Abkühlung der Luft nachsichziehen. Nach Hrn. Krönig's Ansicht müßten Hagel- und Gewitterbildung bei heißer und feuchter Luft am wenigsten leicht eintreten, weil dabei eine noch fernere Ausdehnung, wie es sie befürwortet, keine Wahrscheinlichkeit für sich hat; es müßten die Gewitter in südlichen Gegenden weit schwächer und unbedeutender seyn, als in der kälteren nördlichen, wo eine Ausdehnung der dichten und kalten Luft leicht erklärbar ist; alles diess ist aber in der Natur gerade umgekehrt, die Voraussetzung Krönig's ist also falsch. Hr. Krönig sagt S. 649: »Hieraus können wir schließen daß bei jeder Condensation von Wasserdampf innerhalb der Atmosphäre *in Folge der dabei freiwerdenden Wärme* eine nicht unbeträchtliche Volumvermehrung eintreten muß«. Hierauf antwortete ich ihm einfach: das ist nicht wahr: es tritt keine Erwärmung und keine Volumvermehrung ein, weil man die Kälte fühlen und das Sinken des Barometers sehen kann.

Hr. Prof. Krönig berechnet (l. c. S. 649) den Fall, wie viel Wärme-Einheiten einem Gemenge von Luft und Wasserdampf zugeführt werden müssen, aus dem 1 Grm. Wasserdampf verschwände, daß die rückständige Luft ein gleiches Volum wie vorher behielte. Diese Berechnung ist ganz nutzlos, denn dieser Fall kommt nicht vor. Er mußte sich die Frage vorlegen, wie viel Volum eine Luft von etwa -40°C. mit einer mit Wasserdampf beladenen gemischt werden müssen, um das Wasser größtentheils herauszuschlagen und doch noch eine Raumverminderung und Abkühlung der ersten Luft zu bewirken. Da aber alle Zahlen hier willkürlich gewählt werden müssen, so wäre die Ausrechnung eine nutzlose Arbeit. Sicher ist aber, •

dafs das Wasser als Dampf einen gröfseren Raum einnahm, als nachher als Wasser, und dafs die vom verdichteten Wasserdampfe freiwerdende Wärme dazu verwendet wird, dafs die gemischte warme und kalte Luft eine etwas höhere Temperatur als das arithmetische Mittel beider habe, immer aber eine bedeutend niedrigere, als die warme dampfbeladene Luft vorher hatte.

Hr. Krönig hätte sich überzeugen können, dafs die Erscheinungen der Physik ebenfalls »als Bildungsmittel für den Verstand¹⁾« bearbeitet werden können, aber nicht dadurch, dafs man einige Formeln mit willkürlich angenommenen Constanten ausrechnet, sondern dafs man seine Theorie mit den Erscheinungen der Natur in Einklang zu bringen sucht. Hätte Hr. Krönig nur über die Folgen seiner Annahme nachgedacht, so würde er gefunden haben, dafs sie mit dem Sinken des Barometers und der Abkühlung nach Gewittern in unlösbarem Widerspruch gestanden hätte. Da meine Theorie beide Erscheinungen auf das Bündigste erklärt, und da eine Raumverminderung durch Wasserverdichtung sowohl praktisch stattfindet, als theoretisch nachweisbar ist, da der herabsteigende Luftstrom, in Verbindung mit den Wirkungen des Wassertrommelgebläses und der Verdichtung unter höherem Druck gar nicht angefochten sind, so sehe ich nicht ein, dafs meine Hageltheorie auch nur im Geringsten durch die Einwendungen des Hrn. Dr. Krönig geschwächt worden ist, im Gegentheil steht seine Behauptung mit den Beobachtungen im Widerspruch, so dafs man daraus schliessen kann, dafs überhaupt Gewitter und Hagel gar nicht existiren. Wenn ich Hrn. Krönig zugebe, dafs er in Bd. 117, S. 93 die letzten 8 Zeilen streichen dürfe, so ist seine ganze Kritik gegenstandslos geworden. Alles Andere und namentlich die Schlüsse, halte ich aufrecht. Bei dieser Gelegenheit will ich noch eines Einwurfes gedenken, welchen Prof. Müller in Freiburg in seinen Nachträgen zur kosmischen Physik S. 42 erhebt. Indem er die ganze Ansicht mit vieler Anerken-

1) Vergl. diese Ann. Bd. 122, S. 170 und 173, Bd. 123, S. 299.

nung erwähnt und beurtheilt, sagt er: Wenn durch eine massenhafte Condensation von Wasserdampf an irgend einer Stelle eine namhafte Luftverdünnung entstanden ist, so ist nicht abzusehen, warum sich die Luft nicht von allen Seiten, warum sie vorzugsweise von oben her in das Vacuum hineinstürzen soll; im Gegentheile wird die verdünnte, durch die bei der Condensation des Wasserdampfes noch mehr ausgedehnte Luft in die Höhe steigen, während die dichtere Luft von unten und von den Seiten her in den verlassenen Raum der aufsteigenden eindringt.

Nach meiner Ansicht ist der Grund, warum die Luft vorzugsweise von oben eindringt, leicht einzusehen. Von unten muß die Luft aufsteigen gegen die Wirkung der Schwere, von den Seiten muß sie einströmen ohne Hülfe der Schwere, von oben fällt sie *mit* der Hülfe der Schwere hinein. Demnach ist das Einfallen der Luft von oben her am meisten begünstigt, weil die ganze Wirkung der Schwere dahin wirkt. Von unten kann die Luft nicht aufsteigen, weil sonst unten eine neue Verdünnung entstehen müßte. Außerdem kann eine luftverdünnte Stelle nicht aufsteigen, weil sie augenblicklich zusammengedrückt wird. Wasserstoffgas steigt auf, weil es bei geringerem specifischem Gewicht eine gleiche Spannung hat. Ein luftverdünnter Raum hat aber eine geringe Spannung, kann sich also als Ganzes nicht erheben; und daß die Luft durch die Condensation des Wasserdampfes noch mehr ausgedehnt werde, findet dadurch keine Anwendung, weil die freie Wärme des Wasserdampfes durch die eindringende überkalte Luft bereits verwendet ist, und dennoch die Temperatur unter jener der wasserabgebenden bleibt.