keit in seinem Verhalten mit dem des Strontiums zeigt. Ich behalte mir vor, die Resultate dieser Untersuchungen nach ihrer völligen Beendigung zu veröffentlichen.

V. *Ueber die Entstehung des Hagels;*
von Friedrich Mohr.

Die Bildung des Hagels war von jeher ein Gegenstand der Verwunderung nicht nur für Naturforscher, sondern für jeden denkenden Menschen. Die sonderbare Erscheinung, daß in heißen Gegenden in der wärmsten Jahreszeit Eismassen von 18 bis 26 Loth Schwere aus der Luft zur Erde herabfielen, ließ sich nicht ohne weiteres begreifen und erklären. Es entstanden denn auch Versuche zu solchen Erklärungen, welche die bedeutendsten Namen zu Urhebern hatten.

Die erste in den Annalen der Wissenschaft registrierte Theorie stammt von Volta her. Er meinte, daß die Sonnenstrahlen an der obern Gränze der dichten Wolke fast vollständig absorbirt würden, was eine rasche Verdunstung zur Folge haben müsse, namentlich wenn die Luft über den Wolken sehr trocken sey; durch die Verdunstung solle so viel Wärme gebunden werden, daß das Wasser in den tieferen Wolkenschichten gefriere. Offenbar enthält diese Erklärung einen logischen Fehler; wenn Wärme die Ursache der Verdunstung seyn soll, so kann nicht Kälte die Folge derselben seyn. Wird Wärme gebunden, so ist es die hinzugetretene Sonnenwärme, und es bliebe dann die übrige Temperatur, wie sie vorher war. Das Anwachsen der Hagelkörner zu bedeutenden Massen erklärt Volta mit dem öfteren Hin- und Hergeworfenwerden zwischen zwei entgegengesetzt geladenen Wolkenschichten. Fällt der erste Grund der Kältebildung weg,

so hat die zweite Ansicht keine Bedeutung mehr. Zudem ist es unbegreiflich, wie so schwere Massen von einfacher elektrischer Anziehung sollten getragen werden können. Alle uns zugänglichen Versuche mit Reibungselektricität sprechen dagegen.

Eine andere Erklärung von Fr. Vogel in Frankfurt a. M. (s. Müller's kosmische Physik, 2. Aufl. S. 466) nimmt an, daß der Bläschendampf, welcher die Wolken bildet, weit unter den Schmelzpunkt des Eises erkalten könne, ohne daß ein Erstarren einträte. Wenn nun aus einer höheren Wolkenschicht Graupelkörner durch eine in diesem Zustande befindliche Wolke herabfallen, so muß sich auf ihnen Wasser niederschlagen, welches augenblicklich erstarrt. Diese Erklärung nimmt die Graupelkörner, die doch nur eine andere Form des Hagels sind, als gegeben an, und würde höchstens das Wachsen derselben, aber nicht ihre Entstehung erklären.

Leopold von Buch's Theorie (Pogg. Ann. Bd. 17, S. 459) gründet sich auf das Princip vom aufsteigenden Luftstrom. Dieser meint, eine mehr oder weniger mit Feuchtigkeit gesättigte Luft würde bis zu einer beträchtlichen Höhe geführt, in welcher sie sich mit der umgebenden Luft ins Gleichgewicht zu setzen vermöge. Hier werde nun, und vielleicht schon früher, in den niedrigen Regionen, eine Quantität des in Dunstgestalt vorhandenen Wassers niedergeschlagen, welche in Tropfen herabstürzend, indem sie durch die wärmere Luftschicht hindurchfalle, verdunste, gefriere, neuen Dunst anziehe und condensire, wieder gefriere und so das Hagelkorn als einen halb aus Eis halb aus Schnee bestehenden kleinen Gletscher bilde.

Es ist wohl kaum nöthig das Unhaltbare dieser Theorie nachzuweisen. In demselben Augenblick soll Wasser verdunsten und Kälte erzeugen, dann sich wieder niederschlagen und gefrieren. Wenn Wasser aus den oberen Luftschichten nur als solches herunter kommt, so kann es doch in den unteren, die wärmer und wasserreicher sind, und die es eben passirt hat, nicht durch Verdunstung gefrieren.

Der Schlufsfehler der Volta'schen Theorie ist auch darin enthalten: aber mit sehr unglücklichen Zusätzen.

Es ist demnach bisjetzt keine Erklärung bekannt geworden, welche die Erscheinung des Hagels nur halbweg deutlich machte, und ich berufe mich dieserhalb auf Müller's kosmische Physik, deren zweite Auflage im Jahre 1861 erschienen ist, und welche zugiebt keine genügende Erklärung beibringen zu können.

Theorie des Hagels.

Die oben besprochenen Hageltheorien haben den gemeinschaftlichen Fehler, dafs sie Entstehung der Kälte, welche das Gefrieren bewirkt, erklären wollten. Alle beim Gewitter und Hagel vorkommenden Erscheinungen, wie Bewegung, Reibung, Blitz, Wasserverdichtung erzeugen Wärme, aber keine Kälte; da aber nun doch Kälte auftritt, so mufs sie aufser diesen Erscheinungen und nicht mit ihnen in Verbindung stehend vorhanden seyn. Dove sagt in seinen meteorologischen Untersuchungen, 1837, S. 6: „So lange man glaubte der Thau mache kalt, war er ein unerklärliches Phänomen. Wells kehrte den Satz um, und das Problem war gelöst.“

Nun gut, ich thue dasselbe für den Hagel, und alle Schwierigkeiten zerfallen fast von selbst. Ich erkläre nicht die Entstehung der Kälte, sie ist vorhanden; sie liegt in den oberen Schichten der Atmosphäre.

Bei der am 27. Juli 1850 von Barral und Bixio zu Paris unternommenen Luftfahrt, wurden die folgenden Beobachtungen gemacht.

Höhe des Ballons.	Beobachtete Temperatur.
2300 Par. Fufs	+ 16° Cent.
6000 " "	+ 9 "
11250 " "	— 0,5 "
15360 " "	— 7 "
18990 " "	— 10,5 "
19530 " "	— 35 "
21060 " "	— 39 "

Hier war also mitten im Sommer in einer Höhe von nicht ganz einer deutschen Meile, auf der anderthalbfachen Höhe des Montblanc, eine Temperatur von -39° C. wobei das Quecksilber gefriert. Allerdings ist diese Zahlenreihe höchst auffallend, wegen der ungeheuer raschen Abnahme der Wärme; allein es ist kein Grund vorhanden an der Richtigkeit zu zweifeln, da die Beobachtung eines Thermometers und eines Barometers die einfachsten und zuverlässigsten Operationen eines Physikers sind. Gay-Lussac fand am 16. Sept. 1805 auf einer Höhe von 21480 par. Fufs die Temperatur $-7,6^{\circ}$ C., also ungefähr so, wie Barral und Bixio sie auf etwa 15500 Fufs Höhe gefunden haben. Thatsache ist, dafs die Temperatur in der Höhe sehr rasch abnimmt.

Die Atmosphäre ist einzig nach dem specifischen Gewichte geschichtet, d. h. jede höhere Schicht ist specifisch leichter als eine tiefere, wegen der Compression der tieferen durch die höhere. Das Mariotte'sche Gesetz giebt dieser Erscheinung Ausdruck. Dagegen ist die Zusammensetzung der Atmosphäre, was ihren Wassergehalt betrifft, nicht überall dieselbe, und die Temperatur nimmt nach oben hin ab. Alles zusammengekommen, Sauerstoff, Stickstoff, Wasser und Wärme, so kann Ruhe in der Atmosphäre stattfinden, wenn die Schichtung nach dem specifischen Gewichte stattfindet. In diesem Falle werden die untersten Schichten die wärmsten, feuchtesten und dichtesten, die oberen die kältesten, trockensten und lockersten seyn, weil am Boden die Quelle des Wassers, das Meer, und die Quelle der Wärme, die Erde, liegt. Eine solche Schichtung in der Ruhe wird nicht auf die Dauer möglich sein, weil die Wirkung der Sonne immer Bewegung der Luft, Winde, erzeugt, welche diese Ruhe stört. Durch Vermischung der unteren wasserhaltigen und warmen Schichten mit den kälteren oberen wird zunächst die Luft bis zur Sättigung mit Wasserdampf, d. h. bis zum Thaupunkt abgekühlt, und durch fernere Abkühlung bis zum Niederschlag von Wasser aus dem gasförmigen in tropfbarflüssi-

gen Zustand. Mit der Ausscheidung von Wasser aus der Gasform ist ein neues Moment zu einer noch größeren Störung der Ruhe gegeben.

1 Grm. oder gleichbedeutend 1 Cubikcentimeter Wasser nimmt bei 100° C. und 760 Millimeter Barometerstand ein Volum von 1696 CC., oder in runder Zahl das 1700fache Volum ein. Bei jeder niedern Temperatur ist das Volum bedeutend größer, z. B. bei 0° C. 182323 hoch, bei 20° C. 58224 hoch. Der gesättigte Wasserdampf dehnt sich bei abnehmendem Druck nach dem Mariotte'schen Gesetze aus; bei zunehmendem Druck verdichtet sich ein Theil Wasser und die Dichtigkeit des Dampfes bleibt ungeändert. Bei einer Höhe, wo der Barometerstand nur mehr die Hälfte des normalen, also 380 Mllm. beträgt, hat der Wasserdampf die doppelte Ausdehnung der oben genannten Zahlen, also für 100° C. die 3400fache, für 0° die 364646fache, für 20° C. die 116448fache, diejenige Höhe, wo der Barometerstand 380 Mllm. beträgt, ist nach der bekannten Formel

$$\begin{aligned} U &= 20112 (\log B - \log b) \\ &= 20112 \cdot 0,30113 = 6054,3 \text{ Meter.} \end{aligned}$$

Also auf 6054,3 Meter Höhe finden die zuletzt verzeichneten Volumina für ein Volum Wasser statt. Diese Höhe berechnet sich zu 18626 par. Fufs, und der Chimborazo wird von Humboldt zu 20148 par. Fufs angegeben. Es trifft also diese Höhe in die Wolkenregion, die höher und tiefer als der Gipfel des Chimborazo reicht. Man kann nun die Temperatur des zur Verdichtung kommenden Wasserdampfes nicht angeben, allein man sieht, dafs er bei 20° C. schon mehr als das hunderttausendfache Volum des daraus entstehenden Wassers einnimmt, und da diese Temperatur in jenen Höhen nicht erreicht wird, viel wahrscheinlicher das 200000 bis 300000fache Volum. Es mufs also mit der Verdichtung von Wasserdampf eine ganz ungeheure Raumverminderung stattfinden, so dafs ein Cubikmeter Wasserdampf zwischen 3 und 3½ Cubikcentimeter flüssiges Wasser giebt. Diese Raumverminderung oder Va-

cuumbildung ist nun die eigentliche Ursache aller hier auftretenden Erscheinungen. Das Vacuum kann nur von den Seiten und von oben ausgefüllt werden, alle diese Schichten sind kälter, stürzen mit Bewegung in den luftverdünnten Raum, bringen dort, wegen ihrer Kälte neue Wasserverdichtung und Raumverminderung hervor, und sind dadurch die Ursache, dafs wieder neue noch höhere und kältere Luftschichten herangezogen werden. Je rascher die Verdichtung der Wasserdämpfe durch die hineinfallende kalte Luft geschieht, desto mehr mufs der Ersatz aus den senkrecht darüber liegenden Schichten genommen werden, und desto weniger haben die danebenliegenden Luftschichten Zeit in das Vacuum nachzurücken. Indem aber die kälteren Luftschichten aus dem geringeren Druck der gröfseren Höhe in tiefere Schichten der Atmosphäre angesaugt werden, gerathen sie unter einen höheren Druck, und werden nach dem Mariotte'schen Gesetz zusammengedrückt. Diefs ist der zweite Grund der so ungeheuren Gleichgewichtsstörung, dafs jeder Raum Luft durch die blofse Ortveränderung eine grofse Einbufse an Volum erleidet. Es wird also der über der Verdichtungsstelle gebildete leere oder luftverdünnte Trichter gröfser sein, als das von ihm in unteren Schichten ausgefüllte Vacuum ist. Zwar wird die herabgezogene kalte Luft durch Compression etwas erwärmt, auch hat der verdichtete Wasserdampf seine latente Wärme abgegeben, aber diese schwachen Wärmewirkungen werden reichlich von der Kälte der oberen Schichten absorbirt, und ihre Wirkung besteht blofs darin, dafs der Hagel nicht ganz so kalt ist, als die Luft, welche ihn gebildet hat.

Es ist einleuchtend, dafs jede Hagelbildung mit Wasserverdichtung anfangen mufs, denn im Anfang werden die nächsten wenig kalten Luftschichten eingeschlürft, und diese werden den Wasserdampf zu abgekühltem Wasser verdichten. Indem diefs Wasser herunterfällt und in den untern wasserreichen Luftschichten neue Wasserbildung und Raumverminderung erzeugt, werden die kälteren höher liegenden

Schichten herangezogen und das bereits flüssige Wasser zum Gefrieren bringen. Wenn auch das Gewitter sogleich mit Hagel beginnt, so beweist die dichte Form der Hagelkörner, daß vorher flüssiges Wasser vorhanden war. Was kann geschehen, wenn Wasser bereits flüssig geworden ist, und es wird, nach Ausweis der Barral'schen Luftfahrt, aus einer Höhe von 19000 Fuß eine Luftschicht von -35° C. hineingewirbelt? Es gefrieren nicht nur die einzelnen Tropfen, sondern es frieren eine Menge Tropfen im Augenblick des Erstarrens an einander. Das inmitten eines Luftstroms von dieser Kälte gebildete Eis kann noch 6 bis 8 Grade unter Null erkaltet seyn, und muß beim Durchfallen durch noch wasserhaltige Schichten von außen durch Niederschlag concentrisch wachsen. Ueberhaupt aber ist der bereits gebildete Hagel ganz einfach der feste Körper, welcher den Uebergang der Wärme aus der wasserhaltigen an die kalte wasserarme Luft vermittelt, und der durch diese Vermittlung an Masse wachsen muß. Das gefrierende Wasser wird sich am leichtesten an den bereits vorhandenen Kern seiner eignen Art anschließen, wie auch Salze aus Flüssigkeiten sich am leichtesten an ihre eignen Krystalle anlegen. Derjenige Zustand der Luft, der an der Erde den sogenannten Eisbruch in Wäldern veranlaßt, wodurch sich die Aeste und Zweige der Bäume mit Eisschaalen bekleiden, bis sie unter der Last zusammenbrechen, muß in der hagelnden Wolke immer vorhanden seyn. Die Luft wird rascher abgekühlt, ehe sie ihren ganzen Wassergehalt absetzen kann. Es ist eiskalter Wasserdampf und ein fester Körper vorhanden, an den er sich bei der zunehmenden Abkühlung anlegen kann. Demnach dürfte auch das Hagelgeräusch, was in vielen Fällen unzweifelhaft beobachtet worden, etwas wirkliches seyn, wenn es auch nicht in allen Fällen wegen zu großer Entfernung gehört wird, und die nothwendige Folge des Aneinanderschlagens der Hagelkörner unter dem Stosse der hineinbrechenden Luftschicht seyn.

Hagelbildung findet also nur dann statt, wenn eine so

bedeutende Raumverminderung eingetreten ist, daß die daneben liegenden Luftschichten nicht Zeit haben nachzurücken, und die senkrecht darüber liegenden hineingezogen werden müssen. Nur in diesem Falle sind die herantretenden Luftschichten so kalt, daß sie trotz der freiwerdenden Wärme des Wasserdampfes noch Wasser zum Gefrieren bringen können. Es bildet sich also in der hagelnden Wolke ein trichterförmiger Strudel von eiskalter Luft, gefrorenem Wasser und daneben noch flüssigem, das schraubenförmig wirbelnd zur Erde niederbraust. Daher die nothwendige Bedingung, daß der eigentliche Hagel nur eine sehr geringe Ausdehnung hat, und daß der mittelste Theil des Hagelwirbels die größten Schlossen und die größte Kälte hat. Findet die Verdichtung des Wassers auf einer größeren Ausdehnung statt, so ist die ungeheure Menge der freiwerdenden Dampfwärme hinreichend die kalte Luft zu erwärmen und den Wasserdampf als abgekühltes Wasser herunter zu schicken; es entsteht dann das gewöhnliche Gewitter, von dem der Hagel nun die einzelne Form ist, daß die eingesaugte Luft in einen ganz engen Raum geführt werde, in welchem sie ihre Kältewirkung bis zum Gefrieren des Wassers ausüben kann.

Wenn diese Ansicht über die Bildung des Hagels die richtige ist, so muß sie nicht nur sicher beobachtete Erscheinungen erklären, sondern sie muß unaufgefordert Fragen lösen, die noch gar nicht gestellt worden sind.

So ist es eine nothwendige Folge meiner Ansicht, daß ein Hagelwetter nicht still stehen kann. Wenn die Hagelbildung die Folge eingeschlürfter kalter Luft ist, so muß sie aufhören, wenn die unteren Schichten abgekühlt und ihres überflüssigen Wassergehaltes beraubt sind, da jetzt keine Raumverminderung mehr stattfinden kann. In der That ist noch kein längere Zeit dauernder stillstehender Hagelschlag beobachtet worden. Indem der Hagelschlag fortschreitet, findet er neue Nahrung seiner Thätigkeit; er tritt in warme, ihres Wasserdampfes noch nicht beraubte Luftschichten, und ein anderer Theil der darüber schwe-

benden Luftschichten wird eingesogen. In dieser Art gilt von ihm: *vires acquirit eundo*, und es ist die Erscheinung zu erklären, dafs am 13. Juli 1788 ein Hagelschlag ganz Frankreich und Holland durchzog. Man denke sich einen solchen Hageltrichter fortschreitend, so wird seine Bahn die Gestalt einer langen schmalen Spalte der Atmosphäre durchlaufen haben.

Der Hagel gehört vorzugsweise den gemäßigten Climates an. Weder im hohen Norden noch unter den Tropen findet man ihn. Die Gründe dazu sind einleuchtend. Im Norden ist die untere Luft kälter und weniger mit Wasserdampf beladen. Weder die Abkühlung, noch die Wasserbildung können ein bedeutendes Vacuum erzeugen, daher auch kein plötzliches massenhaftes Einsaugen. Der geringe Gehalt der Luft an Wasser bedingt kleinere Hagelkörner. Nach Süden nimmt die Häufigkeit und die zerstörende Wuth des Hagels zu. Der grofse Gehalt der Luft an Wasser bedingt reichliche Ausscheidungen von Wasser, entsprechendes Einschlürfen von kalter Luft und daher die ungeheuren Hagelmassen, die man in Sicilien, Südfrankreich und den Küsten des Mittelmeeres beobachtete. Kommt man noch weiter nach Süden, so nimmt der Wassergehalt und die Wärme der Luft zu, und steigt selbst bis zu bedeutenden Höhen in der Atmosphäre. Die überliegenden Luftschichten sind nicht so kalt, dagegen die untern sehr warm und feucht. Es entstehen daraus die tropischen Regengüsse und Gewitter, bei denen selbst nach der Vermischung kalter und warmer Schichten der Gefrierpunkt noch nicht erreicht wird. Die freigewordene Wärme ist hier in der noch vorhandenen Temperatur des Regens wahrzunehmen. Ohne Verdichtung von Wasserdampf würde die Abkühlung weit bedeutender und geradezu das arithmetische Mittel beider Temperaturen seyn, wenn überhaupt ohne Wasserniederschlag eine solche Vermischung möglich wäre.

Es hagelt öfter am Nachmittag als am Vormittag, weil die untere Luft Nachmittags wärmer und wasserreicher ist;

öfter am Tage als in der Nacht, aus demselben Grunde, und auch, weil mit dem Aufhören der Wärmeentwicklung auf dem Boden die unteren Schichten sich abkühlen und dann keine so große Zusammenziehung mehr gestatten. Da überhaupt die Hagelbildung auf einer Wechselwirkung zwischen warmer feuchter, und kalter trockner Luft beruht, so müssen alle Umstände die Hagelbildung begünstigen, welche diesen Unterschied recht groß werden lassen, und alles wird die Hagelbildung vermindern, welches von selbst eine allmähliche Ausgleichung bewirkt.

Ruhige schwüle Luft begünstigt, beständiges Windwehen vermindert die Bedingungen. Die furchtbarsten Hagelschläge sind nach anhaltend heißem Wetter ohne Wind eingetreten; so z. B. jener zu Maastricht am 3. August 1837 *»nach einer mehrtägigen drückenden Hitze«* (Pogg. Ann. Bd. 16 S. 383). Aus Mangel an Einsicht in die Erscheinung hat man auf die Umstände nicht geachtet, von denen man keinen Einfluss erwartete. Man wird jetzt erst die Beobachtungen vervollständigen können. Die beim Hagel auftretenden elektrischen Erscheinungen sind bloß Folgen und nicht Ursachen, und werden, wie die eigenthümliche Bewegung, beim Gewitter betrachtet werden.

Das Gewitter.

Diese herrlichste Erscheinung in der Natur steht mit der Hagelbildung im nächsten Zusammenhang; beide sind Erscheinungen derselben Art, und nur dem Grade nach verschieden. Es giebt Gewitter mit und ohne Hagelschlag, und dieß hängt allein von der Kleinigkeit ab, ob bei der Durchmischung der beiden Luftschichten der Nullpunkt erreicht wird oder nicht. Der Hagel ist immer ein Gewitter, aber nicht umgekehrt. Dieselben Umstände begünstigen und erschweren die Bildung beider. Wegen der weiteren Verbreitung auf der Erde und dem häufigeren Vorkommen widmen wir dem Gewitter eine besondere Betrachtung.

Das Gewitter lernen wir unter zwei Gestalten kennen: wir sehen es in unserer Nähe entstehen, oder wir sehen es

bereits ausgebrochen herangezogen kommen. Die Bildung des Gewitters kann nur bei ruhiger Luft stattfinden; ein arbeitendes Gewitter kann nicht stille stehen, es muß sich bewegen. Der von Dove (Meteorol. Unters. S. 228) ausgesprochene Satz: »Daher sind vom Horizont aufkommende Gewitter stärker, als im Zenith sich bildende,« ist im That-sächlichen richtig, erhält aber jetzt eine andere Deutung. Das vom Horizont aufziehende Gewitter war auch irgendwo ein im Zenith gebildetes, und der Vergleich betrifft eigentlich nur zwei verschiedene Zeitpunkte desselben Gewitters, und besagt nichts anderes als: ein ausgebrochenes Gewitter ist stärker als ein sich bildendes. Den Grund davon findet man leicht darin, daß beim ausgebrochenen Gewitter die Vacuumbildung bis auf die Erde und in den wärmsten feuchtesten Luftschichten reicht, während sie bei dem sich bildenden nur in den oberen Schichten stattfindet.

Wenn nach langer schwüler Sonnenwärme die Luft mit Feuchtigkeit angefüllt und stark erwärmt ist, treten die ersten Anzeichen eines sich bildenden Gewitters als ein dünner Flor auf, der einen Theil des Himmels überzieht. Die Veranlassung dazu dürfte wohl das Begegnen von Winden seyn, oder das wirkliche Hinaufsteigen des Wasserdampfes bis in die kalte Region. Schenkt man dieser Erscheinung ununterbrochene Aufmerksamkeit, so sieht man, wie stellenweise der Flor dichter wird und die Gestalt einer Wolke annimmt. Die ganze Erscheinung ist so eigenthümlich, daß jeder Mensch dieselbe als das erkennt, was sie ist. Die Wolke wird immer dichter und schwärzer und man erwartet jeden Augenblick den Ausbruch des Gewitters, obgleich man deutlich sehen kann, daß es noch nicht stattgefunden hat. Das Zusammenziehen des Gewitters bezeichnet den Vorgang sehr genau, denn in der That strömt von allen Seiten warme frische Luft und von oben kalte in dieselbe Stelle, und sie scheiden hier den Wassergehalt durch Abkühlung aus, der im flüssigen Zustande etwa den 200000 bis 300000sten Theil des Raumes einnimmt, welchen er in Gasform besaß. Die tiefe Schwärze der Gewitterwolke

zeigt, daß sie eine bedeutende Höhe habe, und daß die Verdichtung von Wasserdampf in einem großen cubischen Raume stattfindet. Zuströmen von kalter Luft von oben und Verdichtung von Wasser steigern sich einander in ganz ähnlicher Weise wie im feuchten Heu oder fetter Wolle die Oxydation und die Wärme. Die Entwicklung des Gewitters geht deshalb, je später, um so rascher vor sich. Der innere Theil der Gewitterwolke zeigt ein ganz gleichmäßiges Grau oder Schwarz und nur am Rande hängen eine Reihe zerrissener Wolken wie Locken herunter. Nun zuckt plötzlich ein Blitz durch die Wolke und man sieht alsbald Streifen von Regen nach der Erde hinabziehen. In diesem Augenblick setzt sich das Gewitter in Bewegung und nimmt eine bestimmte Richtung an, die ganz unabhängig vom Winde ist. Indem nun von allen Seiten warme und wasserhaltige Luft und von oben sehr kalte Luft zusammentreffen, der gebildete Regen seiner Schwere nach zur Erde eilt, entsteht eine von oben nach unten gerichtete Trombe von niederstürzendem Wasser und mitgerissener Luft, die an der Erde nach allen Seiten aus dem Gewitter stürzt. Man erkennt diesen abstürzenden Luftstrom ganz deutlich an der Gestalt der davon betroffenen Bäume. Die Pappeln beugen ihre Wipfel nieder, daß die Spitzen nach dem Erboden gerichtet sind, oft bis zum Zerbrechen der Aeste; stark belaubte Obstbäume erscheinen oben abgeplattet wie ein Tisch, dürre Blätter und Staub fliegen vom Boden in die Höhe, wie man sich Staub in die Augen bläst, wenn man senkrecht auf eine bestäubte Fläche hinabbläst.

Eigenthümliche Bewegung des Gewitters.

Es war eine der räthselhaftesten Erscheinungen die rasche Fortbewegung des Gewitters bei ruhiger Luft. Vor dem Gewitter ist schwüle Windstille, fast sprichwörtlich geworden, nach dem Gewitter sogleich wieder Windstille, daß sich kein Blatt an den Bäumen regt. Es kann also nicht der Sturm das Gewitter gebracht haben, sondern um-

gekehrt, das Gewitter mußte den Sturm erzeugen und bringen. Unsere Theorie erklärt diese Erscheinung auf's vollkommenste. Es ist nichts leichter beweglich, als was in Luft schwebt. Ein Gewitter kann sich nur bei ruhiger Luft bilden, weil nur dabei die Verdichtung von Wasser an einem bestimmten begränzten Orte stattfinden kann. Bei bewegter Luft entsteht nur ein allgemeiner Regen. So lange das Zusammenziehen des Gewitters stattfindet, ist die Bewegung nur in der Wolkenschicht. Erst durch den Regen wird sie in die unteren Schichten hineingebracht. Die kleinste Ungleichheit in den Bedingungen der Umgebung muß eine Bewegung der so leicht schwebenden Wolke hervorbringen. Diese Ungleichheit tritt sogleich durch den Regen ein.

Wir haben gesehen, daß sich Gewitter leichter am Nachmittag als am Vormittag bilden können. Die Sonne steht im Süden oder Südwesten. Der Schatten der Wolke fällt nach Norden oder Nordosten. Diese Abkühlung der Luft durch den immer dichter werdenden Schatten der Wolke ist die nächste Veranlassung, daß die Gewitterwolke eine leichte Bewegung nach der Schattenseite annimmt. Sobald aber der Regen einmal begonnen hat, wird an dieser Seite Vacuumbildung durch Wasserverdichtung stattfinden, und indem das Gewitter über solche Theile der untern Luft hinrückt, welche bis dahin im Sonnenschein lagen, erwärmt und wasserhaltig sind, muß hier eine stärkere Vacuumbildung eintreten, und die Bewegung einen schnelleren Gang annehmen. Ist einmal dieses Stadium eingetreten, so ist eine Ruhe des Gewitters gar nicht denkbar. Vor ihm liegt warme wasserhaltige Luft, hinter ihm abgekühlte, des Wasserdampfes beraubte. Die Vacuumbildung kann also nur an der warmen Seite stattfinden, und das Gewitter muß dahin drängen. So erkennen wir jetzt, daß die sonst räthselhafte Bewegung des Gewitters in ruhiger Luft die nothwendige Folge einer nur einseitig möglichen Raumverminderung ist, und zugleich findet dadurch die Theorie ihre schönste Bestätigung. Ferner erklärt sich da-

durch die Erscheinung, daß Gewitter in verschiedenen Richtungen ziehen, ihre Bahnen durchkreuzen können, was unbegreiflich wäre, wenn die Bewegung der Luft das Gewitter brächte und nicht umgekehrt, da sich die Windesrichtung im Laufe einiger Stunden nicht mehrmals ändern kann, und überhaupt die jedesmalige Windstille nach dem Gewitter die Abwesenheit jeder allgemeinen Luftströmung beweist. Ist einmal in einem Gewitter eine Ungleichheit der Verdichtung in Bezug auf die Mittellinie entstanden, so muß es nach dieser Seite fortziehen, und daß diese Verdichtungsseite bei allen Wolken nicht in derselben Richtung der Himmelsgegenden liege, ist sehr leicht denkbar. Häufig sieht man gleichzeitig mehrere Gewitter ziehen, deren Richtung fast um einen rechten Winkel verschieden ist. Jedes hat seine eigenthümliche Bewegung. Die meisten Gewitter scheinen bei uns aus Süden und Südwesten zu kommen, weil diese Richtung durch den Schatten der Wolke in den Nachmittagen vorzugsweise bedingt wird. Die aus Osten und Norden kommenden Gewitter kühlen nicht mehr ab, als die aus Süden kommenden, weil sie nicht von Nord- und Ostwind gebracht werden, sondern diesen nur vorübergehend selbst machen.

Im Sommer 1861 beobachtete ich ein Gewitter von folgendem Verlaufe. Im Süden zog sich das Gewitter von Nachmittag 2 Uhr an zusammen und ballte sich immer höher und schwärzer. Die Vorwärtsbewegung war aber so langsam, daß es in mehreren Stunden nur etwa um 6 bis 8° am Himmel stieg. Aller Wahrscheinlichkeit nach konnte das Gewitter erst tief in der Nacht meinen Ort erreichen. Um 9 Uhr Abends stand der vordere lockige Rand des Gewitters etwa 30° hoch. Um $\frac{1}{2}$ 10 Uhr bemerkte man den ersten Blitz, und um 10 Uhr hatte es mit furchtbarem Regengufs, Blitz und Donner meinen Ort erreicht. Es hatte also vom Augenblick des Ausbrechens in einer halben Stunde einen gröfseren Weg zurückgelegt, als vorher in 5 bis 6 Stunden. Um $\frac{1}{2}$ 11 Uhr war alles vorüber, vollkommene Windstille, eine schöne sternenhelle Nacht bei ziemlicher

Abkühlung der Luft folgte. Ich habe genau beobachtet, daß der Wind aus dem Gewitter blies und nicht in daselbe. Die senkrecht herabstürzende, mit Regentropfen durchsetzte Luft zerstieß auf dem Boden nach allen Richtungen radial aus dem Gewitter.

Am 10. Mai d. J. beobachtete ich ein fernes Gewitter im Westen, was über die Gegend des Laacher Sees und der Ahr ziehen mochte. Die untergehende Sonne erleuchtete den Hintergrund, und man konnte ganz genau die Regenstrahlen sehen. Sie hatten die Gestalt des Fusses eines Leuchters, d. h. sie gingen vor und hinter dem Gewitter aus einander. Hätte der Wind das Gewitter gebracht, so mußten die hinteren Regenstrahlen unter das Gewitter eingeschlagen erscheinen, etwa wie ein schief auf den Boden gedrückter Besen. Man sieht immer die an der vorderen Seite befindlichen Regenstrahlen dem Gewitter vorausseilen, weil die Vacuumbildung in der noch warmen Luft am stärksten ist. Ebenso wird man immer von den ersten Regentropfen überrascht, ehe die Gewitterwolke den Scheitelpunkt des Beobachters erreicht hat. Am 4. Juni d. J. zog ein leichtes Gewitter über meine Gegend. Es war schon blauer Himmel im Scheitelpunkte, und dennoch regnete es noch eine Zeit lang.

Wie gefällig ist doch eine richtige Theorie, und wie widerstrebend eine falsche? Die erste kömmt freiwillig entgegen, giebt ungeahnte Aufschlüsse, spricht, wenn sie gar nicht gefragt wird, und überläßt uns nur die Mühe die Resultate zu sammeln. Und die falsche macht überall Schwierigkeiten, giebt keine Antwort, wenn man sie inständigst bittet, und greint wenn man gar nichts sagt. Diese Gefälligkeit der neuen Ansicht giebt einige Gewißheit, daß sie die richtige ist. Wir haben noch eine Menge Resultate aufzulesen.

Ein Gewitter kann so wenig stillstehen, wie der Hagelschlag. Es findet seine Nahrung und die Kraft zur Bewegung in der Wärme und dem Wassergehalt der Luftschichten. Je größer die verdichtete Wassermenge, desto

größer die Vorwärtsbewegung, daher die Fürchterlichkeit der tropischen Gewitter. Die Mittheilungen über solche auf Martinique und Guadeloupe, welche Kanonen von den Lafetten und Bretter durch Bäume bliesen, sind uns fast unverständlich. Es ist aber klar, daß die mechanischen Wirkungen mit der Menge des in einer Zeit verdichteten Wassers im nahesten Zusammenhang stehn. Die Bildung eines tropischen Gewitters auf dem Meere findet oft in einer Stunde statt. Der ganze Himmel ist noch klar, schwül und ruhig, und nur an einer Stelle bemerkt man ein leichtes Wölkchen. Nun werden sogleich die Segel eingerefft und alles auf einen Sturm vorbereitet, denn das Wölkchen wächst sehr rasch und hat in kurzer Zeit den ganzen Horizont mit einer schwarzen Wolkenschicht überspannt. Es zeigen sich die ersten Blitze, wenn bereits in der Wolke Verdichtung zu Tropfen stattgefunden und nun beginnt ein Gufs von Wasserfäden, wovon unsere nordische Erfahrung keine Anschauung haben kann. Das kleine Wölkchen war diejenige Stelle, wo zuerst durch Aufsteigen der heißen Luft ein Niederschlag entstand. Die damit verbundene Bewegung zog neue kalte Luft herbei und die in der Wolke stattfindende Bewegung ist die eigentliche Ursache ihrer Vergrößerung. Es entstehen nicht gleichzeitig mehrere Wolken, sondern die eine zieht die ganze Atmosphäre in ihre Thätigkeit hinein.

Die Wasserverdichtung findet auf einer der Höhe nach sehr bedeutenden Ausdehnung statt. Beobachtet man am Abend ein stark blitzendes Gewitter, so sieht man in der scheinbar gleichartigen Gewitterwolke deutliche Wolkenbildungen mit bestimmten Umrissen. Niemals zeigen zwei Blitze dicht hintereinander dieselbe Wolkenform. Die entladene Wolke blitzt sogleich nicht wieder, und ein neuer Blitz ist in einer anderen Stelle der Wolke.

Am 13. Mai d. J. zog ein Gewitter spät Abends über unsere Gegend. Die Zeit des Donners nach dem Blitz in ziemlich gleicher Stelle des Himmels wurde zu 6, 8 und 15 Sekunden gemessen. Dieser Unterschied von 9 Sekun-

den giebt allein eine Dicke der Gewitterwolke von 9270 Fufs, und gewifs waren die Blitze nicht an den äufsersten Gränzen der Wolke. Man kann sich daraus die ungeheure Menge von verdichtetem Wasser erklären, wenn der Verdichtungsheerd eine senkrechte Höhe von 10000 bis 12000 Fufs und eine Längenausdehnung von nur einer Meile im Durchmesser hat, in welchen von allen Seiten warme und feuchte Luft hineinströmt. Die auf einen Ort gefallene Wassermenge kann deshalb die in der Luft darüber befindliche übertreffen, weil die Verdichtung des Dampfes das Wasser aus weiter Ferne heranzieht.

Die elektrischen Erscheinungen.

Seit Armstrong's Entdeckung und Faraday's Untersuchung wissen wir mit Bestimmtheit, dafs die elektrischen Erscheinungen des Gewitters nur von der Reibung der Wassertheilchen an einander herrühren. Der experimentale Beweis liegt in der Dampfelektrisirmaschine, die einen Theil unserer physikalischen Apparate ausmacht; ein anderer Beweis liegt in den elektrischen Entladungen, die sich bei Ausbrüchen des Vesuvs in den aus dem Wasserdampfe des Feuerberges gebildeten Wolken zeigen. Bei der Dampfelektrisirmaschine leitet Faraday die Elektricität aus der Reibung der Wassertheilchen an den Ausströmungsmündungen der Maschine ab. In den Wolken kann es nur die Reibung des Wassers gegen Wasser seyn. Alle anderen Erklärungen wie die von der Vegetation oder der Verdunstung hergenommenen, sind thatsächlich widerlegt und ins Fabelbuch geschrieben.

Die Elektricität der Wolken stammt also von mechanischer Kraft her, wie die in der Reibungselektrisirmaschine durch die Kraft des drehenden Armes entwickelte. Unter gewissen Umständen nimmt ein Theil der mechanischen Kraft diejenige Form einer andern Kraft an, die wir Elektricität nennen. Mit Ermittlung dieser Umstände beschäftigt sich die Physik, die Kraft selbst kennen wir aus ihren Erscheinungen. Es ist eine schwingende Kraft, welche

zwei Arten der Fortpflanzung hat. Sie eilt entweder nach den Gesetzen der Wellenbewegung an den Theilchen des Stoffs hin, *Leitung*, oder wirkt durch dazwischen liegende Luftschichten *strahlend*, nach Art der Schwere. Immer ist sie an den Körpern haftend. Von dem Gegensatz der beiden Arten der Elektricität einen Begriff zu geben, ist der Wissenschaft noch nicht gelungen. Nothwendig sind die Mengen der beiden Arten der jedesmal entwickelten Elektricität gleichwerthig. Durch Vereinigung verschwinden beide, nur eine entsprechende Menge Licht und Wärme tritt auf.

Durch die heftige Bewegung der in das Vacuum hineinstürzenden Luftschichten werden die Wassertropfen elektrisch erregt, und beide Elektricitäten haften getrennt auf Wolkenschichten. Auf diesen üben sie strahlende Wirkung aus, bis sie durch den Blitz sich wieder befreien und in Wärme übergehen. So lange die Wolke blitzt, ist in ihr heftige Bewegung vorhanden. Dafs die Elektricitäten getrennt auf den Wolken haften müssen, geht aus dem Blitz hervor, der von Wolke zu Wolke geht. Es kann keine ausschliesslich positive oder negative Wolken geben. Die Wirkung auf unsere Elektroskope ist nur die der uns zunächst gelegenen Schicht. Die Bewegung in den Wolken ist nicht Folge der elektrischen Anziehung, sondern umgekehrt. Es müfste sonst mit einigen Blitzen das Gewitter vorüber seyn, und dann noch eine neue Ursache für den Blitz gesucht werden. Warum gerade die eine Wolke die positive, die andere die negative Elektricität hält, läfst sich so wenig erklären, als warum auch bei unseren Reibungsversuchen die Natur der Elektricität oft wechselt. Wenn trocknes Papier an trockenem Papier gerieben wird, so müssen die beiden Papiere sich freundlich über die Elektricität verständigen. Es ist Thatsache, dafs die von der heifsen Calanderwalze, die mit Papier überzogen ist, ablaufenden Papierblätter halb Zoll lange Funken schlagen.

Die elektrischen Erscheinungen im Gewitter sind blofs zweiten Ranges, nothwendige Folge der unter bestimmten

Umständen stattfindenden Reibung. Die Menge der in Elektrizität übergegangenen mechanischen Kraft ist ein undenkbar kleiner Antheil von der ganzen zur Thätigkeit gekommenen Sonnenkraft. Der Blitz und Donner erregen uns Schrecken durch die Wirkung auf unsere Sinne, und haben dadurch zu der falschen Schätzung geführt. Die bewegende Kraft in dem niederstürzenden Regen und kalten Luftstrom ist eine unendlich gröfsere, als die der Blitzschläge, die wirkungslos an einem nicht sehr starken Eisenstab in die Erde verlaufen. Welcher Eisenstab wäre stark genug die vereinigte mechanische Kraft eines Gewitters aufzunehmen?

In einem Gewitter bemerkt man sehr oft die Erscheinung, dafs nach einem starken Blitz heftiger Regen eintritt. Dove führt einen Fall an, wo die einzelnen Entladungen durch Aufhören des Regens getrennt waren. Weil die Regen auf den Blitz folgen, kam man bis zu der Erklärung, dafs das Wasser durch Verbrennen von Wasserstoff entstanden sey, von dem wir in der Natur keine Spur im freien Zustande finden.

Die elektrische Entladung war die Folge einer heftigen Bewegung, die durch Hereinstürzen kalter Luftschichten entstand und reichlich Wasser verdichtete. Den Blitz sah man sogleich, den Donner hörte man mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 1030 par. Fufs in der Sekunde, aber der Regen mußte lange nachher ankommen. Der Regen war aber dennoch nicht die Folge des Blitzes, sondern seine Ursache.

Wenn man genau die Zeiträume zwischen Blitz, Donner und Regen beobachtete, so könnte man eine Schätzung der Fallgeschwindigkeit des Regens versuchen. Der Zwischenraum zwischen Donner und Blitz giebt die Höhe des Blitzes, und der Zeitraum zwischen Blitz und Regen giebt die Fallzeit des Regens für den nun bekannten Fallraum.

Noch ist die besondere Gefährlichkeit der Gewitter im Winter und Frühjahr zu erwähnen. Im Februar 1861 durchzog ein heftiges Gewitter die untere Rheingegend, wobei

der Blitz in 15 Kirchen einschlug und mehrere davon niederbrannte. In der kalten Jahreszeit ist die Menge des aufgelösten Wassers kleiner und nur nahe an der Erde bedeutend. Eine Verdichtung mit Vacuumbildung kann also nur hier stattfinden. Bei dieser Nähe der Wolkenschicht an der Erde übt diese elektrische Wirkung gegen die Wolken aus, und der Blitz kann sich eben so leicht von Wolke zur Erde als von Wolke zu Wolke entladen, wie es bei hohen Gewittern der häufigere Fall ist. In südlichen Gegenden können die Gewitter höher liegen und deshalb gefahrloser verlaufen. Dafs einzelne Gegenden besonders dem Hagelschlag und Gewittern ausgesetzt sind, kann nur in Verhältnissen der Erdoberfläche gesucht werden und gehört nicht hierher.

Die Abkühlung nach Gewittern.

Auch diese Erscheinung erregt die Verwunderung jedes Menschen. Der Physiker ist noch schlimmer daran wie der gewöhnliche Mensch, weil er weifs, dafs Wasserverdichtung, Reibung, Blitz nur Wärme erregen können.

Die Abkühlung nach Gewittern ist einfach der Durchmischung der obern kalten und untern warmen Schichten der Atmosphäre zuzuschreiben. Wenn die Gewitterwolke eine senkrechte Höhe von 10000 bis 12000 Fufs haben kann, und auch die unter dem Gewitter befindliche Luftschicht 6000 bis 8000 Fufs betragen kann, wenn ferner nach der Barral'schen Luftfahrt auf 21000 Fufs Höhe schon eine Temperatur von -39° C. im Juli vorkommen kann, so wäre es unbegreiflich, wenn das Durchpeitschen der beiden Luftschichten nicht eine ungeheure Abkühlung der unteren zur Folge hätte. Woher kann der senkrecht mit dem Regen herabstürzende Luftstrom, welcher die Bäume zur Erde beugt, anders kommen, als aus den über dem Gewitter gelegenen Luftschichten? Da es auf der Erde keine andere Wärmequelle giebt, als die der Sonnenstrahlen auf dem Boden, und keine andere Kältequelle, als der

ewige Verlust der Wärme durch Ausstrahlen, so ist diese Erklärung vollkommen folgerichtig.

Wenn nach dem Gewitter starke Abkühlung eintritt, so setzen dieselben eine Zeitlang aus. So wie die untere Luft abgekühlt ist, ebenso ist die obere erwärmt worden, und dadurch der Gegensatz, auf dem die Vacuumbildung beruht, vermindert. Erst nach längerer Sonnenwärme erscheinen dann wieder Gewitter. Tritt aber keine Abkühlung ein, und verdunstet der erhaltene Regen im warmen Sonnenstrahl, so kann am folgenden Tage wieder ein Gewitter kommen. So im Jahre 1811 und 1862 bis heute, wo fast täglich ein Gewitter zieht und darnach hohe Wärme bei klarem Himmel eintritt. Warum nicht alle Gewitter gleich stark abkühlen, mag in der Temperatur der obern Luftschichten seinen Grund haben, die auf derselben Höhe in den beiden angeführten Luftfahrten einen Unterschied von -30° C. zeigten.

Die barometrischen Erscheinungen.

Ein über mein Barometer schwebender Luftballon drückt auf dasselbe, als wenn sein körperlicher Raum mit Luft von der Dichtigkeit der umgebenden erfüllt wäre. Ein über dem Barometer schwebender Wassertropfen drückt mit dem Gewichte eines gleichgroßen Volums Luft. Wenn also Wasser aus der Dampfform in die flüssige übergeht, so verliert er beinahe ganz seine Wirkung aufs Barometer. Ein Cubikmeter Wasserdampf von 0° C. auf der angenommenen Höhe des halben Barometerstandes drückt mit seinem ganzen Gewichte von 3 bis $3\frac{1}{2}$ Grm. Nach der Verdichtung zu Wasser bildet er 3 bis $3\frac{1}{2}$ Cubikcentimeter Masse, und drückt nunmehr mit dem Gewicht von 3 bis $3\frac{1}{2}$ Cubikcentimeter Luft; das ist mit weniger als dem 300000sten Theil seines früheren Druckes. Daher ist jede Verdichtung von Wasserdampf mit einer Entlastung des Barometers verbunden: dieses muß nothwendig fallen. Während der Bildung des Gewitters findet diese Entlastung ununterbrochen statt. Je schwärzer die Wolke wird, desto mehr Wasser

hat sie der Wirkung auf das Barometer entzogen. In den entstandenen leeren Raum strömt von allen Seiten Luft hinein, die nun ihren Wasserdampf wieder absetzt, und neuer Luft wieder Raum macht. Es muß also in der ganzen Umgebung des Gewitters das Barometer fallen, weil von allen diesen Orten Luft nach der Verdichtungsstelle hinströmt. Das Fallen des Barometers zeigt sich vor dem Ausbruch des Gewitters, weil es von der Verdichtung der Wasserdämpfe nicht von ihrem Herunterfallen bedingt ist. Oft fällt das Barometer im Sommer ohne daß ein Gewitter kommt. Es kann außerhalb des sichtbaren Theiles des Himmels vorüberziehen, ohne bemerkt zu werden. Aber die Luft strömt nach der Stelle hin. Der tiefste Barometerstand muß unter dem Trichter selbst stattfinden, so wie denn auch bekanntlich Hagel ein besonders rasches und schnell vorübergehendes Fallen des Barometers veranlaßt.

Verdunstung von Wasser muß die Summe des Barometerdruckes erhöhen, weil dadurch Stoffe auf das Barometer zu drücken kommen, welche vorher auf dem Erdboden lasteten. Allein diese Verdunstung geht so langsam vor sich, daß sich die dadurch entstandene Zunahme sehr gut ausgleichen kann. Rasche und bedeutende Bewegungen des Barometers hängen immer mit Wasserverdichtungen zusammen, selbst wenn diese Hunderte von Meilen von uns entfernt vor sich gegangen sind. Unter den Tropen ist das Sinken des Barometers ein niemals trügendes Zeichen eines nahenden Sturmes.

Die Behauptung, daß mit Wasserverdunstung das Barometer steigen müsse, scheint mit der allgemein angenommenen Ansicht, daß eine warme feuchte Luft einen niedrigeren Barometerstand bedinge, als eine kalte trockne, nicht zu stimmen. In der That steht das Barometer bei Ost- und Nordwind in der Regel höher als bei Süd- und Westwind. Es bedarf einer Erklärung diesen scheinbaren Widerspruch auszugleichen. Bei gleichem Druck und Temperatur ist beispielsweise Wasserstoff 14 mal leichter als atmosphärische Luft. Eine Atmosphäre von Wasserstoff würde,

abgesehen von der nach oben abnehmenden Schwere der Erde, 14mal so hoch seyn als eine von gemeiner Luft, um das Barometer auf 760 Mllm. zu heben. Das Höherseyn der einen Atmosphäre heisst aber nichts anders, als Hineinragen in den luftleeren Raum. Das ist aber absolut unmöglich, weil die höhere Atmosphäre in den leeren Raum seitlich abfließen würde. Es kann also an der obern Gränze der Atmosphäre ein Höhenunterschied nicht stattfinden. In diesem Falle würde die Wasserstoffatmosphäre leichter als die gemeine seyn.

Nach Gay-Lussac's Versuchen ist die Dichtigkeit oder das spec. Gewicht des Wasserdampfes $\frac{5}{8}$ von dem der Luft bei gleichen Bedingungen. Enthält eine Atmosphäre Wasserdampf, so muß sie bei der nothwendigen gleichen Höhe der Atmosphäre absolut leichter seyn als eine trockne. Dasselbe gilt von warmer und kalter Luft. Nun ist aber die feuchtere Luft auch die wärmere. Es sind also zwei Gründe vorhanden, welche die südliche Luft weniger auf das Barometer drücken lassen, als die nördliche kalte und trockne. Nothwendig muß nun auf gleicher horizontaler Höhe, also etwa am Meeres-Ufer, die schwerere Atmosphäre in die leichtere eindringen, weil letztere einen geringeren Widerstand leistet, d. h. niedrigeren Barometerstand hat. Es würde diess jedenfalls zum Ausgleichen aller Barometerstände auf der Erde führen, wenn nicht die Ursache der Verschiedenheit, nämlich Verdunstung und Erwärmung unter den Tropen, Wasserniederschlag und Erkaltung unter solchen Breiten, immer wirksam bleiben. Es ist diess der einzige physikalische Grund, warum südliche Luftströmungen in der Regel mit weniger hohem Barometerstand begleitet sind, als nördliche, und es liegt darin kein Widerspruch gegen die andere Behauptung, daß Bildung von Wasserdampf aus flüssigem Wasser die Atmosphäre schwerer macht, nämlich die Summe der ganzen Atmosphäre.

Das Nordlicht.

Da in der Ueberschrift dieses physische Räthsel nicht genannt ist, so liegt keine Verbindlichkeit vor, es hier zu

besprechen. Wir versuchen gleichwohl dasselbe in den Kreis unserer Anschauungen zu ziehen, und haben dabei um so mehr freie Hand, als überhaupt über dessen Entstehung noch gar keine Ansichten geäußert sind (vergl. Müller's kosmische Physik 2. Aufl. S. 546 u. folg.).

Führen wir uns zunächst die unzweifelhaft feststehenden Thatsachen darüber vor das Gedächtniß.

Das Nordlicht ist eine rein atmosphärische Erscheinung. Ausser seinem Auftreten in der Atmosphäre spricht dafür sein unregelmäßiges Erscheinen, seine wandelbare Verbreitung. Keine Verhältnisse im Innern der Erde könnten in dieser Art wandelbar seyn, und deshalb kann von Ausflüssen elektrischer oder magnetischer Kraft aus der Erde nicht die Rede seyn.

Das Nordlicht ist eine elektrische Erscheinung. Dafür spricht die Aehnlichkeit seines Lichts mit dem Licht der Elektrizität in lichtverdünnten Räumen und seine Wirkung auf die Magnetonadel.

Ein Einfluß der erdmagnetischen Kraft ist darin zu erkennen, daß die Strahlen fast immer im magnetischen Meridian liegen, oder aus dem magnetischen Pol auszugehen scheinen.

Zu der Zeit, als man seine Elektrisirmaschinen mit Kohlenfeuer wärmte, um Funken ziehen zu können; als der leiseste Hauch von Feuchtigkeit auf den Glasfüßen und der Scheibe jede Spur von Elektrizität vernichtete, würde man nicht geglaubt haben, daß man mit Dämpfen kochenden Wassers fußlange elektrische Funken mit der Schnelligkeit eines Trommelwirbels erzeugen könnte. Und dennoch kam es so. Die Dampfelektrismaschine hat die mit Kohlenfeuer getrocknete Reibungsmaschine überflügelt. Wer mit Baumwollengespinnst und Papier Elektrizität erregen wollte, würde seine große Mühe haben, dies ins Werk zu setzen. Und dennoch erscheinen in den Kattundruckereien und den Fabriken von endlosem Papier solche massenhafte Entwicklungen von freier Elektrizität, daß man genöthigt war eigene Ableitungsapparate anzubringen,

weil sie zu einer wirklichen Belästigung für die Arbeiter wurde.

Erregen nun an einander geriebene Wassertropfen Elektrizität, so ist es nicht undenkbar, daß auch trockne Luftschichten, wenn sie in entgegengesetzter Richtung über einander strömen, in sehr luftverdünnten Räumen, die der Fortpflanzung der Elektrizität günstig sind, elektrische Erscheinungen erregen.

Wir finden nämlich im ganzen Bereiche der Natur keine andere Kraft mehr, aus welcher Elektrizität entstehen könnte, als gemeine mechanische Kraft, die, aus der Sonnenwärme herstammend, die Form bewegter Luft und bewegten Wassers angenommen hat. Mit dem bewegten Wasser haben wir die elektrischen Erscheinungen des Gewitters und des Hagels erklärt, und so bleibt uns für die elektrische Erscheinung des Nordlichts nur die bewegte Luft übrig. Allerdings sind die Verhältnisse etwas verschieden, denn Wasser ist gegen Luft fast wie ein fester Körper anzusehen. Aber auch die Erscheinungen sind sehr verschieden. Während der Blitz Bäume spaltet und Metalle schmelzt, erscheint das Nordlicht nur als ein schwaches Leuchten in sehr hohen luftverdünnten Räumen. So wie das Gewitter nur unter bestimmten Verhältnissen und selten sich bildet, so muß auch das Nordlicht an solche Verhältnisse geknüpft seyn, weil es, wie das Gewitter, ganz unregelmäßig erscheint. Zu dem Beegnen solcher entgegengesetzt strömenden Luftschichten ist auf unserer Erde Veranlassung genug vorhanden. Die letzte Ursache des Nordlichts dürfte wohl, wie die des Gewitters, unter den Tropen liegen. Hier entsteht, nach ganz bekannten Ansichten, der aufsteigende Luftstrom, der durch den Polstrom ersetzt werden muß. Beide, zusammen mit der Drehung der Erde um ihre Axe, geben nach bekannten Erklärungen den Passatwind, und den rückkehrenden Passat. Der Passatwind, der seinen Namen davon hat, daß man mit seiner Hülfe die Ueberfahrt, *passata*, von Spanien nach Brasilien macht,

ist an dem Punkte seiner Entstehung noch kein Passatwind, sondern reiner Nordwind. Er wird seinen Anfang nicht im irdischen Pol, sondern im Kältepol haben, der mit dem magnetischen Pol zusammenfällt, da man die Lage beider Pole auf 30 bis 40 Meilen genau nicht angeben kann. Wegen dieses Zusammenfallens der beiden Pole müssen die Strahlen des Nordlichts ebensowohl nach dem magnetischen als dem Kältepol gerichtet seyn, und es wäre alsdann die Thatsache richtig aber die Erklärung falsch.

Das Zusammentreffen der Nordlichtstrahlen in einer bestimmten nicht wandelbaren Richtung mit unserer Erde ist allerdings am schwierigsten zu erklären. Es steht nicht ganz fest, ob es immer zutrifft, allein da keine zuverlässigen Thatsachen bekannt sind, die es in Abrede stellen, so bleibt uns nichts übrig, als daran festzuhalten und auch dieser Schwierigkeit gerecht zu werden. Sicherlich trifft es in den allermeisten Fällen ein, und das würde durch die Richtung der Luftbewegung erklärt werden. Wenn es aber in allen Fällen ohne Ausnahme eintritt, dann würde die Wahrscheinlichkeit nicht hinreichen, die Luftbewegung allein als einzige Ursache anzusehen.

Wir nehmen also an, dafs an der Gränzfläche zweier in entgegengesetzter oder verschiedener Richtung strömender Luftschichten elektrische Erregung stattfindet, die, so lange sie dauert, durch eine Reihe kleiner elektrischer Entladungen immer wieder ausgeglichen werde. Sobald die Elektrizität Wärme und Licht wird, hat sie aufgehört Elektrizität zu seyn. Die entladenen Wolken und die entladenen zwei Flächen der Leidner Flasche haben nach dem Funken ihre Elektrizität verloren, und das ist nach dem Prinzip der Erhaltung der Kraft ganz richtig, weil man Wärme und Licht der Entladung nicht umsonst haben kann. So lange das Nordlicht leuchtet, so lange ist die Ursache seiner Entstehung thätig. Die Entladungen müssen querüber von Schicht zu Schicht, also senkrecht auf der Richtung des Lichtstrahls stattfinden. Das blitzartige Aufleuchten vorher dunkler Stellen des Himmels spricht für die an-

genommene Voraussetzung, daß die Luftschichten stoßweise rascher oder langsamer gehen, wie man es bei Wind beobachtet. Ist das Licht elektrischer Natur, was der Augenschein zeigt, so muß es auf die Magnetnadel wirken; oder auch umgekehrt, weil es auf die Magnetnadel wirkt, muß es elektrischer Natur seyn. Der Zusammenhang ist in beiden Schlußweisen derselbe.

Eine wesentliche Stütze findet diese Ansicht in dem Nordlichtgeräusch, dessen Wirklichkeit außer allem Zweifel liegt. Die Fälle, wo man es nicht gehört hat, können diejenigen nicht entkräften, wo man es mit Bestimmtheit gehört hat. Arago hat darüber eine Menge von Zeugnissen gesammelt (*Oeuvres complètes* T. IV, 536).

Einer nennt es ein Rauschen (*rustling*) und vergleicht es mit dem Bürsten von Seide (*brushing of silk*); ein Anderer nennt es ein Geknitter (*crackling noise*). Dr. Gisler vergleicht es mit dem Geknister, welches einige chemische Stoffe bei ihrer Zersetzung zeigen. Parrot vergleicht es mit dem Geräusch der stark vom Winde getriebenen Flamme einer Feuersbrunst. Alle diese Zeugnisse sprechen für unzählige kleine Funkenentladungen, deren Reihefolge in der Richtung des Lichtstrahls liegt, die selbst aber senkrecht dagegen liegen. Ueberhaupt muß das Geräusch an Ort und Stelle furchtbar seyn, weil es aus zu lichtverdünnten Höhen zur Erde gelangt, und weil wir wissen, daß der Schall des Donners nicht über 3 bis 4 Meilen gehört wird. Vor einigen Jahren sah ich in einem abziehenden Gewitter bei Nacht den ganzen Blitzstrahl, konnte aber keinen Donner mehr hören, trotz angestrengter Aufmerksamkeit, da ich das Chronometer am Ohr hatte. Wenn also das Nordlichtgeräusch nur in einzelnen Fällen und besonders im hohen Norden gehört wurde, so beweist das nichts dagegen, daß es immer vorhanden sey, auch wenn es nicht gehört wird.

Der irdische Magnetismus ist eine Summe von Erscheinungen, welche die Ablenkung und Neigung der Magnetnadel, und die wechselnde Stärke (Intensität) hervorbringt

Es wird Niemand einfallen zu glauben, die Substanz der Erde sey magnetisch, oder es stecke ein Magnetstab in der Erde. Die Abhängigkeit der magnetischen Erscheinungen von der Wärme, von der Gestalt des Landes und des Meeres liegt zu offen, als daß man zweifeln könnte, daß sie damit im ursächlichen Zusammenhang stehe. Der Zusammenhang ist noch nicht verrathen. Wir wissen absolut nichts von der Art und Weise, wie die Wirkung von Sonne auf Meer und Land die Erscheinungen des Erdmagnetismus hervorbringt. Das Zusammenfallen des Kältepol mit dem magnetischen ist gewiß nicht zufällig, sondern ursächlich bedingt. Wenn nun eine Summe von Wirkungen besteht, die man sich durch einen schief in der Erde steckenden Magnetstab verdeutlichen kann, so könnte diese richtend auf andere elektrische Ströme wirken.

Die allgemeinen Gesetze sind: bewegliche Leiter, in denen gleichlaufende Ströme circuliren, ziehen sich an; und: wenn ein Leiter in der Nähe eines Magneten bewegt wird, so entsteht ein Strom senkrecht auf die Bewegung des Leiters. Es ist mir allerdings nicht gelungen unter Anwendung dieser Gesetze, die Richtung der Nordlichtstrahlen auf den magnetischen Pol zu erklären; allein dieß hebt nicht die Ansicht auf, daß das Nordlicht aus elektrischen Entladungen entstehe, die durch Bewegung trockner und sehr verdünnter Luftschichten in entgegengesetzter Richtung erzeugt werden. Aus diesem Grunde kann die Deutung des Nordlichts nicht mit der Erklärung des Hagels und Gewitters auf gleiche Linie gestellt werden.

Die oben mitgetheilte Darstellung ist das Ergebniß des Zufalls und eines Augenblicks. Im Anfang des Monats Mai fiel bei warmem Wetter ein leichter Hagelschauer in meinen Garten. Vor mir lagen die weißen gefrorenen Körner neben dem warmen Regen, und wühlten die ganze trostlose Gedankenreihe vom Hagel auf. Auf einmal blitzte es: das ist die Kälte der obern Luftschichten,

„Da flöste mir der Geist es ein,

Froh rief ich aus, ich hab's gefunden.“