Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Vorträge.

Über Gewitter überhaupt, Hagelwetter insbesondere.

Von A. Freih. v. Baumgartner.

Man hat es von jeher als eine der wichtigsten und schönsten Aufgaben der Physik angesehen, aus den allgemeinen Naturgesetzen die Erscheinungen im Grossen des Weltalls, insbesondere jene in der Atmosphäre der Erde zu erklären und es ist aus dem Bestreben in dieser Richtung eine der interessantesten Wissenschaften, die Meteorologie, hervorgegangen.

Es ist natürlich, dass der Stand dieser Wissenschaft das Gepräge der Ausbildung unseres physicalischen Wissens an sich tragen und dass ein Fortschritt in der Naturlehre überhaupt auch eine Bewegung in der Meteorologie zur Folge haben müsse. Die in der neuesten Zeit zur Geltung gekommenen Ansichten über das Verhältniss der Naturkräfte zu einander und über ihre gegenseitige Umwandlung können daher auch nicht ermangeln, einen Einfluss auf den Stand unserer Kenntniss der Lufterscheinungen zu äussern und es ist schon in vorhinein zu erwarten, dass vorzüglich jene räthselhaften Meteore, bei welchen Wärme und Elektricität eine so grosse Rolle spielen und wo die gesammten Kräfte der Natur in einem erbitterten Kampfe gegen einander zu stehen scheinen, ich meine die Gewitter, von diesen Ansichten nicht unberührt bleiben können.

Ich habe es nun versucht, diese grossartigste aller Lufterscheinungen aus einer Umsetzung von Kräften zu erklären und dadurch einiges Licht in dieses dunkle Gebiet zu bringen. Das Folgende enthält die Resultate meiner Bemühung:

Die Erscheinungen, deren Inbegriff man mit dem Namen eines Gewitters bezeichnet, sind: Donner und Blitz, wässerige Niederschläge und Luftbewegungen, endlich eine namhafte Temperaturverminderung. Letztere wird gewöhnlich gar nicht zu den wesentlichen Bestandphänomenen eines Gewitters gezählt, oft gar nicht

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

ausdrücklich angeführt oder nur nebenbei erwähnt, und doch ist sie vielleicht dasjenige, was an dem grossartigen Verlaufe den wichtigsten Antheil hat. Dass aber bei einem Gewitter in der Region desselben eine Temperaturerniedrigung vor sich gehe, beweisen allgemein bekannte Erscheinungen: Die wässerigen Niederschläge sind bei einem Gewitter in der Regel reichlicher als bei einem gewöhnlichen Regen und lassen sich nur aus einer bedeutenden Herabsetzung der Temperatur in den Wolken erklären, ja man hält fast allgemein jeden heftigen, auf einem beschränkten Raume stattfindenden Regen, einen sogenannten Platzregen, für einen Gewitterregen und der Landmann bezeichnet einen solchen in mehreren Gegenden charakteristisch mit dem Namen eines stillen Gewitters. Der Niederschlag besteht bei starken Gewittern häufig nicht aus tropfbarem, sondern aus zu Eis erstarrtem Wasser, wie es nur bei grosser Kälte entstehen kann und doch ereignen sich solche Gewitter in der Regel nur in der wärmsten Jahres- und Tageszeit. Aber selbst wenn tropfbares Wasser bei einem Gewitter herabfällt, steht seine Temperatur tief unter jener, die nach dem normalen Gesetze der Wärmeabnahme von unten nach oben in der Gewitterwolke stattfinden müsste; die Luftsäule, durch welche sich ein Gewitter entladet, erscheint nach einem solchen Regen bedeutend abgekühlt und es hält oft ein kühles oder gar kaltes Wetter mehrere Tage nach einem Gewitter an. Selbst wenn es bei einem Gewitter an einem Orte nicht zu einem Regen kommt, so gewahrt man daselbst doch einen von der Gewitterwolke ausgehenden kalten Wind, der ihrem Zuge folgt, zum Beweise, dass er in ihr seinen Ursprung hat. Geht der Erkaltungsprocess so weit über den Eispunkt hinaus, dass sich nicht blos Eis bildet, sondern dasselbe beim Herabfallen nicht wieder zu Wasser zusammenschmelzen kann; so nimmt das Gewitter den Charakter eines Hagelwetters an; wird aber die genannte Grenze nicht überschritten, so bleibt das Gewitter ein einfaches Donnerwetter oder gibt sich gar nur als Platzregen oder als Wetterleuchten kund. Es ist darum ein Hagelwetter von einem gewöhnlichen Donnerwetter nicht specifisch verschieden.

Ein Gewitter ist der Kampf der Natur, bei welchem die gestörten Verhältnisse der Wärme, Feuchtigkeit und Elektricität wieder auf ihren normalen Gang zurückgeführt werden. Es bedarf nicht der Beihilfe einer lebhaften Einbildungskraft, um an dem, was vor und nach einem Gewitter und während eines solchen in der Luft vorgeht,

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

das Bild eines hitzigen Streites zu erkennen, wie er auf Erden leider oft zu ganz anderen Zwecken ausgefochten wird. Die schwüle, drückende Luft, die feierliche Stille, das Heranziehen düsterer Wolken, ihre Anhäufung an bestimmten Stellen des Firmaments, ihr stetes Anschwellen, die Vereinigung zerstreuter Nebel zu gebirgsartigen Massen, endlich der schmetternde Donner und der zuckende Blitz, wirbelnde Winde und gewaltige Stürme, Regengüsse und Hagelfälle und zuletzt, wenn überhaupt der Kampf mit einem Male ausgefochten wird, Rückkehr der Ruhe und der Heiterkeit des Himmels, das Herabblicken der Sonne auf verwüstete Felder und abgebrannte Häuser, alles dieses lässt der Phantasie wenig zu thun übrig, um zwischen beiden Kämpfen eine schlagende Ähnlichkeit zu finden. In einer wissenschaftlichen Untersuchung darf man es aber nicht bei einer blossen Andeutung bewenden lassen: vielmehr muss durch eine genaue, Schritt für Schritt von der Erfahrung unterstützte Analyse der Erscheinungen nachgewiesen werden, dass bei einem Gewitter der normale Gang der Wärme, Feuchtigkeit und Elektricität wirklich gestört sei.

Man sieht es allgemein als einen Vorboten eines Gewitters an, wenn die Luft ungewöhnlich warm und drückend schwül ist. Diese Schwüle ist von dem Gefühl, das ein hoher Wärmegrad erregt, sehr verschieden: denn Jedermann unterscheidet schwüle, drückende Luft ganz bestimmt von der Hitze eines heiteren Sommertages und selbst von dem Sonnenstechen vor einem Regen. Saussure und seine Gefährten fanden bei 5° R. auf dem Montblanc die Luft so drückend, dass sie meinten, sie würden ein im Schatten angezündetes Feuer als angenehm erwärmend gefunden haben, während ihnen die Sonnenstrahlen, welche das Thermometer nur um 2° steigen machten, unerträglich waren. Es rührt dieses Gefühl von dem an Sättigung grenzenden Zustande der Feuchtigkeit her, der bei der herrschenden Windstille die Ausdünstung des Körpers vermindert und der mit einer solchen verbundenen Wärmeabgabe im Wege steht. Darum ist in Gegenden, wo es an Luftbewegung fehlt und Dünste in grosser Menge vorhanden sind, auch ein solches Gefühl für den dortigen Menschen gleichsam permanent. Dieses ist im Calmengürtel der Äquatorialzone der Fall. „Wenn“ sagt Maury (dessen Geographie des Meeres S. 163) „der Seefahrer diese düstere traurige Region hinter sich hat und in jener der Passate angelangt ist, so athmet er frei auf und prüft mit gesteigertem

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Interesse die Angaben seines Logbuches. Er ist erstaunt zu finden, dass ungeachtet der drückenden, beängstigenden Luft in jenen regnerischen Breiten, während er in ihnen kreuzte, Thermometer und Barometer tiefer gestanden haben, als in dem klaren Wetter auf beiden Seiten jenes Gürtels." Länder, deren Luftwärme und feuchter Boden die Bildung von Wasserdünsten besonders begünstigt, sind darum auch Gewittern stark ausgesetzt. Die Bedeutung ungewöhnlicher Feuchtigkeit für Gewitterbildung ergibt sich aus der Erfahrung. Bei uns sind nach Pilgram (dessen Untersuchungen über das Wahrscheinliche der Witterungskunde S. 381) nicht die heissen, sondern die feuchten Sommer die gewitterreichsten. Er fand nämlich Jahre heftiger Donnerwetter:

in 113	heissen Sommern	29	folglich	1	in je	4 Jahren
71	kühlen „	18	„	1	„ „	4 „
102	feuchten „	41	„	1	„ „	2·5 „

Das Gangesdelta in Ostindien mit seinem kaum über die grösste Fluthhöhe gehobenen Boden ist die eigentliche Heimath der Gewitter und selbst der Hagelwetter, die doch sonst in so tiefer Lage eine grosse Seltenheit sind.

Was die Temperatur anbelangt, so ist es nicht die absolute, sondern ein mit Rücksicht auf Jahreszeit und Ortsverhältnisse ungewöhnlicher, rasch eintretender Stand derselben, der das Entstehen von Gewittern begünstigt. Die Gewitter sind zwar in heissen Ländern in der Regel häufiger als in gemässigten oder gar in kalten und bilden sich am öftesten in den wärmeren Monaten des Jahres und in den heissesten Stunden des Tages aus; aber es gibt auch in den Abendstunden oder des Nachts Gewitter und selbst der Winter ist nicht immer frei davon, ja in manchen Ländern sind die Wintergewitter sogar überwiegend und diese treten wieder gerade in den kältesten Monaten ein. Eine ungewöhnliche Temperatur scheint aber Gewitter nur mittelbar zu begünstigen, nämlich nur insoferne, als sie einen schnellen und starken Temperaturwechsel und grössere Wärmedifferenzen in horizontaler und verticaler Richtung möglich macht. Auf offener See, wo die normalen Wärmeverhältnisse überhaupt weniger gestört werden, sind auch Gewitter eine Seltenheit oder gar etwas Unerhörtes. In der heissen Zone treten sie nur in der Zeit ein, wo auf heiteren Himmel rasch Bewölkung folgt, da bringt aber wieder jeder Tag sein Gewitter. Im afrikanischen Hochlande, wo auf versengende Hitze ungeheuere Regengüsse,

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

auf Windstille die verheerendsten Stürme folgen, sind Gewitter auch so häufig, dass nach d'Abbadin in 100 Tagen deren nicht weniger als 56 vorkamen. In Ländern, die von periodischen Wechselwinden beherrscht werden, kommen Gewitter nur zur Zeit des Windwechsels vor, dann aber auch sehr häufig. An der Westküste von Sierra Leone bis Apollonia gehen vom April bis Juni selten zwei Tage ohne die furchtbarsten Gewitter vorüber. Buenos-Ayres mit seinem ebenen niedrigen und feuchten Boden wird, ungeachtet einer nicht sehr grossen Luftwärme (26° R. im Sommer, 8° im Winter) zur Zeit der Südostwinde (Pamberos) von heftigen Gewittern häufig heimgesucht. Unter den Ländern, wo Wintergewitter herrschend sind, ist vielleicht in dieser Beziehung Norwegen am gründlichsten untersucht. Da hat man die Erfahrung gemacht, dass solche Gewitter nur an den Küsten vorkommen, wo das Land steil gegen das Meer abfällt und die Fiorden zahlreich sind; im Innern des Landes kennt man sie kaum. Man rechnet an den Küsten sicher auf ein Gewitter nach lange anhaltendem Froste oder nach langem Thauwetter, besonders wenn der Wind rasch von SW. nach W. oder NW. umschlägt, also überhaupt bei einem raschen Temperaturwechsel. In kalten Ländern sind Gewitter in dem Masse seltener als es rasche Temperaturwechsel sind. In Nowa Semlja hörte Bakhamine unter 71—73° n. Breite in zwei Sommern und 26 Wintern nur 3 Mal donnern; in Grönland hat Gieseke in 6 Jahren nur ein Donnerwetter erlebt; auch nach Erged's Bericht donnert es daselbst überhaupt sehr selten. Localverhältnisse, die rasche Temperaturveränderungen begünstigen, befördern auch Gewitterbildung. Flache Gegenden in der Nähe hoher oder steiler Gebirge sind darum in der Regel gewitterreich, wie z. B. die Lombardie, der Landstrich an der Südseite von Wien etc.

Auch in verticaler Richtung findet man vor einem Gewitter die normalen Wärmeverhältnisse gestört. Unter normalen Verhältnissen nimmt die Temperatur der Luft von unten nach oben ab und diese Abnahme befolgt ein gewisses Gesetz, nach welchem man, wenn die Temperatur in der Nähe des Erdbodens gegeben ist, jene in einer bestimmten Höhe berechnen kann. Vor einem Gewitter ist es in der Regel anders. Brandes erzählt, dass er vor einem Gewitter die Temperatur in einer Entfernung von 18 Fuss vom Boden sogar höher (um 1½° R.) gefunden habe, als 4 Fuss über der Erde. Als La Peyrouse sich bei seiner im Jahre 1787 unternommenen

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Seereise am 26. Mai zwischen Japan und Corea befand, zeigten die auf den Masten aufgestellten Wachen an, dass sie glühend heisse Dünste fühlten, die vorübergingen, aber nach je 1½ M. wiederkehrten. Bei näherer Untersuchung fand man, dass das Thermometer, das auf dem Verdecke 14° R. zeigte, an der Wachstation auf 20°R. stieg. In der folgenden Nacht ereignete sich ein heftiger Sturm.

Wenn auch eine solche förmliche Umkehrung der Wärmeverhältnisse nur in den unteren Regionen der Luft herrscht, so zeigt sich doch auch oben ein ungewöhnlicher Gang der Wärme: denn die Erfahrung lehrt, dass vor einem Gewitter die Temperatur der Luft nach oben viel rascher abnimmt, als unter normalen Verhältnissen. Brandes versichert, bei Beobachtungen über die irdische Strahlenbrechung bei schwüler Gewitterluft oft eine so starke Refraction gefunden zu haben, dass nur ein ungewöhnlich grosser Unterschied in der Temperatur der Luftschichten sie zu erklären vermag. Man hat in der That gefunden, dass in gewitteriger Luft die Temperatur oft schon in 40—60 Klaft. Höhe um 1° C. falle, während eine solche Abnahme sonst erst in je 90—100 Klaft. erfolgt.

Dem gestörten Gange der Wärme steht ein nicht minder abnormer Zustand der atmosphärischen Elektricität zur Seite. Der normale elektrische Zustand der Luft ist der positive und dieser ist innerhalb 24 Stunden zweimal in einem steten Wachsen und ebenso oft in einem steten Abnehmen begriffen, erreicht also in einem Tage zwei Maxima und zwei Minima. Birt, der diesem Gegenstande in neuester Zeit eine besondere Aufmerksamkeit zugewendet und in den Jahren 1845, 1846 und 1847 zu Kew bei London 10526 Beobachtungen der Luftelektricität angestellt und registrirt hat, erhielt darunter nicht weniger als 10176 mit positiv elektrischen Anzeigen und nur 324 mit negativen (26 konnten nicht in Betrachtung gezogen werden). Zugleich war das Erscheinen von negativer Elektricität immer mit Regen und in den meisten Fällen sogar mit schwerem Regen verbunden. Vor einem Gewitter ist aber weder der eine noch der andere elektrische Zustand der Luft in einem regelmässigen Steigen und Fallen begriffen, sondern er verschwindet häufig gänzlich oder wächst rasch über das normale Maass an, und es wechselt schnell hinter einander der positive mit dem negativen. Bei bevorstehenden heftigen Gewittern ist es keine Seltenheit, dass die Elektricität in einer Minute 10—12 Mal vom Positiven ins Negative übergeht und umgekehrt.

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Dass bei dem ausnahmsweisen Zustande der Wärme und Feuchtigkeit der Luft auch eine nicht gewöhnliche Bewegung derselben eintreten werde, lässt sich mit Grund erwarten und diese Erwartung bestätigt die Erfahrung vollkommen. Vor einem Gewitter herrscht gewöhnlich unten grosse Windstille und man sieht diese als einen ebenso sicheren Vorboten eines Donner- und gar Hagelwetters an, wie drückende Schwüle, ja letztere kann ihrer Natur nach nur bei ruhiger Luft stattfinden; in den oberen Regionen ziehen die Wolken, wenn deren sichtbar sind, in bestimmter Richtung fort, dabei gibt es in Folge der ungewöhnlichen Erhitzung des Bodens innerhalb einer verhältnissmässig geringen Erstreckung einen starken aufsteigenden Luftstrom. Sobald das Gewitter ausbricht und Regen und Hagel herabfällt, gehen von der Gewitterwolke meistens sehr kalte Windstösse nach allen Richtungen aus und treffen somit auch Gegenden, über welche das Gewitter gar nicht hinzieht. Sie jagen in wirbelnder Bewegung Staub auf und erregen in grösseren Gewässern die furchtbarsten und gefährlichsten Wellenbewegungen. In der Mitte eines solchen Wirbels herrscht oft völlige Windstille. Wenn das Gewitter vorüber ist, stellt sich meistens ein Wind ein, der von dem vor dem Gewitter in der Richtung abweicht. Er ist oft sehr trocken.

In unseren Gegenden findet vor einem Gewitter meistens ein Fallen des Barometers Statt, nach dem Gewitter tritt wieder ein grösserer Luftdruck ein.

Gewitterwolken zeichnen sich schon durch ein so eigenthümliches Äussere vor gewöhnlichem Gewölke aus, dass sie Jedermann leicht als solche erkennt. Ihre dunkle, gelbliche oder aschgraue, häufig sogar völlig schwarze Farbe, ihr aufgedunsenes zerzaustes Wesen sind auffallend genug. Doch kommen ihnen noch andere, nicht allgemein bekannte Charaktere zu. Ihre Ausbildung erfolgt rascher, als die anderer Wolken; sie unterliegen fortwährend Veränderungen an Grösse, Form und Dichte und schweben in der Regel tiefer. Eine Gewitterwolke ist nur auf einen verhältnissmässig kleinen Platz am Himmel beschränkt und wenn auch das ganze Firmament bei einem Gewitter überwölkt ist, so unterscheidet man doch leicht den speciellen Ort, wo die gewaltige Macht ihren Sitz aufgeschlagen hat. Dass oft eine solche drohend herabblickende Wolke am Horizont steht, während der übrige Theil des Firmaments wolkenlos ist, weiss Jedermann. Endlich herrscht im Innern einer Gewitterwolke eine

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

merkwürdige ununterbrochene Bewegung, die Beccaria mit dem Gewimmel in einem Käse voll Würmer vergleicht.

Besonders merkwürdig und für unseren Zweck wichtig ist das Eigenthümliche, wie eine Gewitterwolke sich verdichtet und vergrössert. Die einem Gewitter vorhergehende hohe Temperatur bildet reichliche Wasserdünste und diese verbreiten sich in der Atmosphäre vorzüglich nach oben und zwar darum 1. weil ihre Verbreitung nach dem Dalton'chen Gesetze in dieser Richtung wegen der stets abnehmenden Dichte der Luft leichter vor sich geht als in horizontaler Richtung; 2. weil die Dünste schon für sich specifisch leichter sind als die Luft und daher schon nach den hydrostatischen Gesetzen aufsteigen müssen; 3. weil sie durch den aufsteigenden Luftstrom in die Höhe geführt werden. Ungeachtet dieser Luftstrom keine sehr bedeutende Höhe erreichen kann, weil es ihm nur möglich ist, bis zu jener Schichte zu steigen, deren Dichte jener der erhitzten Luft gleich ist — der Rechnung nach selbst bei einer Temperatur von 30° C. am Boden höchstens auf 1600 Kl. Höhe — so können doch die Dünste durch das Zusammenwirken von allen drei vorerwähnten Ursachen eine bedeutende Höhe erreichen, wenn sie nicht früher in eine Temperatur gelangen, bei der sie nicht mehr insgesammt ausdehnsam bleiben können. Ist letzteres der Fall, so verliert ein Theil davon seine Ausdehnsamkeit und nimmt die Form von hohlen Wasserbläschen an, die wahrscheinlich mit Dunst vom Maximum der Spannkraft erfüllt sind. Diese Bläschen sind aber ungemein klein, indem ihr Durchmesser selbst da, wo sie weisse Wolken bilden, 0·0005 Par. Zoll nicht zu überschreiten scheint und bei den dichtesten Wolken nicht über 0·001 Z. beträgt. Darum sind sie einzeln schon in geringer Entfernung nicht sichtbar und trüben auch, so lange sie nicht dicht genug an einander stehen, die Luft nicht merklich, sondern vermindern höchstens die Intensität der blauen Farbe des Firmamentes. So wie aber ihre Zahl in demselben Raume wächst und sie auch einen grösseren Durchmesser erhalten, wobei zugleich ihre Wanddicke zu wachsen scheint, bewirken sie eine Trübung, dann einen milchigen Überzug des Himmels und erscheinen endlich als Wolke, deren Farbe desto dunkler ist, je dichter die Bläschen an einander gedrängt werden. In Folge des grösseren Durchmessers und besonders der stärkeren Wanddicke sinken sie auch tiefer herab. Das Wasser dieser Bläschen unterliegt aber nichts desto weniger der Verdunstung wie im gewöhn-

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

lichen Formzustande, ja diese wird sogar durch die grosse Oberfläche, die es dem Raume darbietet, ganz besonders begünstigt. Daher steht dem Ausscheidungsprocesse des Wassers aus Dünsten Verdunstung zur Seite und es kann eine Wolke nur dann als solche fortbestehen, wenn der Process der Verdunstung nicht von jenem der Ausscheidung überwogen wird. Schon wenn beide einander das Gleichgewicht halten, muss die Form der Wolke einer beständigen Veränderung unterliegen, indem gerade an den äusseren Grenzen derselben Verdunstung und Niederschlag am lebhaftesten vor sich gehen und der eine oder andere dieser Vorgänge bald an dieser bald an jener Stelle das Übergewicht behauptet. Daher die ungemeine Veränderlichkeit der Wolken und eine Mannigfaltigkeit ihrer Formen, wie sie selbst die Gebilde der lebhaftesten Phantasie nicht erreichen. So erscheinen uns die Wolken nicht blos von unten aus gesehen; sie bieten von oben dasselbe Schauspiel dar. Graham und Beaufoy sahen bei ihrer am 17. Juni 1824 zu London unternommenen Luftfahrt aus einer Höhe von 9216 Fuss die tief unter ihnen schwebenden Wolken in den verschiedensten Gestalten und von den mannigfachsten Farben. Mit Recht sagt daher Dove: „eine Wolke besteht nur, indem sie entsteht und vergeht".

Wenn in einer Wolke ein Übergewicht der Ausscheidung und Zufuhr von Wasserbläschen über die Verdunstung an der äusseren Grenze stattfindet, so erfährt sie eine Vergrösserung, geschieht dieses aber innerhalb ihrer Begrenzung, eine Verdichtung. Geht diese so weit, dass die Bläschen sich berühren, so laufen sie zu massiven Tropfen zusammen, so wie Schaum in durchsichtiges Wasser zusammenfliesst, sobald Blase an Blase sich berühren. Nach der gewöhnlichen Vorstellungsweise kann eine solche Veränderung nur durch einen kalten Luftstrom oder durch den Beitritt ausdehnsamer Dünste bewirkt werden. Allein den Vorgang bei der Verdichtung von Gewitterwolken kann man sich hiedurch keineswegs genügend erklären. Der Verdichtungsprocess geht nämlich da so rasch vor sich und die Luft, in welcher er stattfindet, ist nach Deluc's Beobachtungen so trocken, dass an eine hinreichende Zufuhr von ausdehnsamen Dünsten nicht gedacht werden kann. Von einem kalten Luftstrom kann er auch nicht herrühren, weil sich der Weg eines solchen am Himmel stufenweise immer mehr bemerklich machen müsste und die dadurch verdichtete Wolke nicht so scharf begrenzt sein könnte, als es Gewitterwolken in der Regel sind. Die umsichtigsten Beobachter, wie

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Saussure, Deluc, Brandes, Dove, Kämtz haben erklärt, dass Gewitterwolken gleichsam aus ihrem Innern herauswachsen und somit die Quelle der Erkaltung in sich selbst haben müssen. Nach den bisherigen Ansichten der Physiker kann eine solche Wolke nur die Veranlassung zu einer Erhöhung, nicht aber die zu einer Verminderung der Temperatur in sich tragen, da beim Übergang der Dünste in tropfbares Wasser, dieses mag nun hohle oder volle Tropfen bilden, gebundene Wärme frei wird. Es gibt in der That Fälle, wo eine Wolke in ihrem Innern eine höhere Temperatur zeigt, als nach Aussen zu und dies kann somit nach dem eben genannten Hergang erklärt werden. Einen solchen Fall hat Deluc auf dem Gebirge von Salève beobachtet. „Die Luft" sagt er, „war sehr heiter und mein Thermometer mit isolirter Kugel, in freier Luft in der Sonne aufgehängt, zeigte $4^2/_3{}^0$ meiner gewöhnlichen Scale. Ich sah eine kleine Wolke in der Luft unter mir sich bilden, sie nahm einige Zeit zu, erhob sich, umgab mich und verbarg mir gänzlich die Sonne und die Ebene. Ich beobachtete mein Thermometer, es war befeuchtet wie der Strauch, an dem es hing, und stieg auf $5^1/_2{}^0$. Die Wolke fuhr fort sich zu heben, stieg über mich und die Sonne erschien wieder; obgleich aber ihre Strahlen aufs neue auf die Kugel meines Thermometers fielen, so sank es doch auf $4^2/_3{}^0$, welches noch einige Zeit hindurch die Temperatur der Luft war" (Deluc, neue Ideen über Meteorologie S. 76). Gewitterwolken zeigen aber ein gerade entgegengesetztes Verhalten. Birt spricht (Rep. of the brit. ass. 1849, 190) von einer Gewitterwolke, die eine Erstreckung von 6 engl. Meilen hatte, in der Mitte Schnee fallen liess, rings um diese Stelle herum Hagel, nahe am Rande aber Regen. Dies stimmt mit der längst und oft gemachten Bemerkung überein, dass Gewitterwolken nur in der Mitte Hagel herabsenden, am Rande aber Regen. Diese Wolken müssen also am Rande wärmer gewesen sein als im Innern und daher einen Process beherbergt haben, der nicht blos die durch Zersetzung der Dünste frei gewordene Wärme verschwinden machte, sondern noch einen Überfluss von Kälte zurückliess. Mir scheint ein solches Verhalten unwiderstehlich darauf hinzudeuten, dass hier eine Umsetzung von Wärme in Elektricität vor sich gehe, um so mehr, als hiermit nicht blos das Verschwinden von Wärme, sondern zugleich das Erscheinen von Elektricität erklärt wird. Die Raschheit, mit der die Elektricität in der Gewitterwolke sich entwickelt, ist überhaupt

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

nur aus der hier angedeuteten Hypothese begreiflich, während sie aus den für gewöhnlich angenommenen Quellen der Luftelektricität völlig unerklärbar bleibt. Wie schnell muss wohl die Elektricität in einer Wolke entstehen, die, während sie den Gipfel eines Berges verhüllt, ununterbrochen donnert und blitzt, ohne dass die Ableitung in die Erde die Elektricität zu erschöpfen vermag? Eine Umsetzung der Wärme in Elektricität bei der Bildung von Gewitterwolken wird aber noch wahrscheinlicher, wenn man sie auf die einzelnen Phänomene, welche einem Gewitter vorangehen und dessen Ausbildung begleiten, anwendet. Dieses soll nun hier in möglichster Kürze geschehen und erst nachdem es vollbracht ist, in der Betrachtung der Gewitterphänomene weiter gegangen werden.

Wärme und Feuchtigkeit sind die Bedingungen, an deren Dasein das Entstehen eines Gewitters gebunden ist. Durch Wärme wird das Wasser in ausdehnsamen Dunst verwandelt und nur mittelst dessen gelangt ein grosses Quantum Wasser und Wärme, wiewohl letztere in gebundenem Zustande, in die höheren Regionen der Luft. Die Wärme wird dort in dem Masse frei, als die Dünste in tropfbares Wasser übergehen. Die besondere Form, in welcher das Wasser gleich beim Übergange der Dünste in solches erscheint, erhöht die Capacität des Raumes für das Wasser. Die Bläschenform macht es nämlich dem Wasser möglich, in der Luft in Schwebe erhalten zu werden und nicht gleich nach der Ausscheidung herabzufallen. Ein Kubikfuss Raum kann selbst bei 30° C. Wärme nur 12·7 Gran Wasserdunst fassen und es entfallen hiernach für den Raum, den ein Bläschen von 0"0006 Durchmesser und 0"00002 Wanddicke einnimmt, nur $\frac{82}{10^{14}}$ Gran Wasser in Dunstform, während ein Bläschen von dieser Beschaffenheit $\frac{5}{10^{9}}$ Gran tropfbares Wasser, mithin nahe 6000 Mal mehr enthält. Für einen grösseren Luftraum wird dieses Verhältniss allerdings viel geringer sein, weil die Dunstbläschen darin nur zerstreut vorkommen, immerhin aber noch beträchtlich genug ausfallen. Das Wasser, welches auf solche Weise in die Atmosphäre kommt, wird durch Regen, Thau, Schnee und Hagel der Erde wieder zurückgegeben, aber für die Wärme hat man bisher keinen solchen Wiedererstattungsprocess kennen gelernt und diese müsste sich demnach in der Atmosphäre bis auf einen durch Ausstrahlung

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

abgegebenen Theil anhäufen. Wir werden eine solche Anhäufung aber nicht gewahr, ungeachtet sie sehr beträchtlich sein müsste. Denn alles Wasser, welches aus der Atmosphäre herabfällt, konnte nur durch Verdunstung dahin gelangen; nun beträgt aber nach Johnston die jährliche Regenmenge durchschnittlich blos in der nördlichen gemässigten Zone 37 engl. (35·7 öst.), in der südlichen 26 engl. (25·1 öst.) Zoll, in der heissen wird sie von A. v. Humboldt auf 70 Par. (72 öst.) Zoll angegeben; d'Anhuisson setzt die mittlere Regenmenge auf der ganzen Erde auf 35 Par. Zoll oder nahe 36 W. Zoll. Das gesammte in einem Jahre herabgefallene Regenvolumen beläuft sich daher auf 1125 Kubikmeilen, dessen Gewicht auf 87750 Billionen Pfund, und die ganze Wärmemenge, welche zu dessen Verdunstung erforderlich ist, wird alljährlich in der Wolkenregion der Atmosphäre frei. Ein Ausgleichungsprocess für die oben angehäufte Wärme scheint daher eine Nothwendigkeit zu sein. Als solchen kennen wir aber nur die Umsetzung der Wärme in Elektricität.

Auf diese Umsetzung deuten übrigens auch mehrere andere Erscheinungen hin. Bei den zu Greenwich angestellten Beobachtungen über Luftelektricität hat man in der Regel ein Sinken der Temperatur und ein Auftreten von negativer Elektricität bemerkt, wenn eine dunkle Wolke über das Observatorium herging (Rep. 1849, 189). Birt zieht aus seinen Beobachtungen den Schluss, dass gerade zur Zeit, wo die stärkste (negative) Luftelektricität stattfand, auch der Himmel am dichtesten bewölkt war, ja er zeigt sogar, dass die Curve, welche den täglichen Gang der negativen Luftelektricität darstellt, mit jener parallel laufe, welche die Dichte der Bewölkung (cloudiness) versinnlicht.

Nimmt man an, dass in der Wolkenregion zur Zeit der Ausbildung eines Gewitters Wärme in Elektricität übergeht, so wird die ungewöhnlich rasche Abnahme der Wärme nach oben und überhaupt der gestörte Gang der Temperatur in der Luft leicht begreiflich. Die Erkaltung, welche Folge dieser Umwandlung ist, muss natürlich eine stete Bewegung im Innern der Wolke zur Folge haben und kalte von ihr ausgehende Winde erzeugen. Kommt dazu noch ein starker Regen, wie er bei Gewittern einzutreten pflegt, so wird die Luft durch das herabfallende Wasser vor sich herabgetrieben, ähnlich dem Vorgange in der sogenannten Wassertrommel, welche darum auch die Stelle eines Gebläses vertreten kann; hat gar die Wolke eine fortschreitende

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Bewegung, so setzt sich aus beiden ein schief nach abwärts gehender Luftstrom zusammen, der schon für sich Staubwolken aufjagt, das Wasser zu hohen Wellen emporsteigen macht und andere Wirkungen hervorbringen kann, die gewöhnlichen Winden mit horizontaler Richtung und mässiger Geschwindigkeit fremd sind.

Aber nicht blos die mit der Ausbildung eines Gewitters verbundenen, sondern auch die den Ausbruch eines solchen begleitenden Erscheinungen finden in der aufgestellten Ansicht eine Erklärung. Es sind dieses ungewöhnliche Aussendungen von Wasser, Donner und Blitz.

Gewitterregen (von Hagel wird später besonders die Rede sein) sind gewöhnlich von Landregen sehr verschieden und beurkunden nicht weniger, als die bereits erwähnten Gewittererscheinungen den ausnahmsweisen Zustand der Atmosphäre zur Zeit eines Gewitters. Sie charakterisiren sich durch die ungewöhnliche Grösse der Regentropfen, die Menge des herabfallenden Wassers, ihre häufig eintretenden Intermittirungen (Pausen), ihre kurze Dauer und geringe Erstreckung. Die Regentropfen, besonders jene, die einem Hagelfall vorausgehen, sind grösser als jene, die zu irgend einer andern Zeit fallen. Bei der Kälte, die in der Wolkenregion in Folge des plötzlichen Verschwindens von Wärme entsteht, muss die dort stattfindende Ausscheidung sehr rasch vor sich gehen und es müssen unzählige Bläschen zu einem Tropfen zusammenlaufen. Diese werden aber beim Herabfallen durch niedergeschlagene Dünste noch weiter vergrössert und es treten für sie, in Folge ihrer geringen Temperatur, dieselben Verhältnisse ein, wie bei Regentropfen in den tropischen Gegenden, welche in Folge des grossen Dunstgehaltes der unteren Atmosphäre oft einen Durchmesser von 1 Zoll erreichen sollen. Auf demselben Grunde beruht die grosse Menge des herabfallenden Wassers. Um sie zu begreifen, darf man nicht übersehen, was früher über die Capacität des Raumes für Wasserbläschen im Vergleiche zu der für Wasserdunst gesagt worden ist, sonst läuft man Gefahr, den Wasserreichthum einer Gewitterwolke für so heftige Niederschläge gar nicht auslangend zu finden, wie dieses mehreren sehr verdienten Physikern geschehen ist, wie z. B. Deluc, Parrot etc., die gar eine Umwandlung von Luft in Wasser annehmen zu müssen glaubten. Bei jeder Wiederholung des Processes der Umwandlung von Wärme in Elektricität muss auch ein Wasserniederschlag erfolgen und Pausen sind

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

somit eine natürliche Folge des ruckweise stattfindenden Umsetzungsprocesses.

Die kurze Dauer eines Gewitters und seine geringe Erstreckung folgen unmittelbar aus der beschränkten Ausdehnung der Gewitterwolken und ihrem Fortrücken in der Luft.

Donner und Blitze sind die bekannten Begleiter elektrischer Entladungen, welche erfolgen, sobald die Elektricität in der Luft den ihr entgegenstehenden Leitungswiderstand zu bewältigen vermag.

Nach der hier vorgetragenen Ansicht stehen Wolkenbildung, Niederschläge, Donner und Blitz in einer bestimmten Relation. Jeder Übergang von Wärme in Elektricität erzeugt Kälte und Elektricität. Die Kälte bringt Dunstzersetzung, Wolkenbildung, Niederschlag hervor, die Elektricität entladet sich in Donner und Blitz. Das Mass der Kälte gibt sich durch Verdichtung der Wolken und die Stärke der Niederschläge, das Mass der Elektricität durch die Stärke und Häufigkeit von Donner und Blitz kund. Man bedarf nicht mehr einer Wolke, um ein Magazin für die succesiv entwickelte Elektricität zu haben, und nicht mehr der Elektricität, um das Wasser in den Wolken gegen das Herabfallen zu schützen.

Auf eine solche Verbindung der Gewittererscheinungen weisen die bestimmtesten Erfahrungen hin. Man kann es als allgemeine Regel ansehen, dass es niemals donnert und blitzt, ohne zu regnen, wenn es auch nicht jederzeit dort regnet, wo man Blitze sieht und Donner hört. Man betrachtet es als eine vollkommen begründete Wahrheit, dass die entwickelte Elektricität mit der Raschheit und Entschiedenheit der Niederschläge gleichen Schritt hält. Mit der Raschheit der Niederschläge wächst auch die elektrische Spannung, sagt Pfaff (Gehl. phys. Wörterb. 1, 1002). Je entschiedener ein Niederschlag ist, desto stärker wird eine Wolke elektrisch, dieses sind die eigenen Worte Dove's (Meteor. Unters. 228). „Wenn eine Gewitterwolke im Ausbilden begriffen ist" sagt Deluc (Neue Ideen über Meteor. 2, 202) „so wird man das Gewölke noch grösser werden sehen, sobald der Donner zu murmeln anfängt. Nach Silberschlag (Geogenie I. 177) entzünden sich Blitze da, wo die Wolke am dichtesten ist und den stärksten Regen ausschüttet, wie man denn auch bei senkrecht herabstürzenden Regengüssen wahrnehmen kann, dass mit dem heftigsten Regen auch der heftigste und gefährlichste Schlag vergesellschaftet ist." Wer hat wohl nicht die Erfahrung gemacht, dass auf einen starken Donnerschlag ein

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

tüchtiger Regenguss folge? Dabei darf man aber nicht übersehen, dass der Schall des Donners den Regen beim Fortschreiten übereilt und dass letzterer die Wolkenregion eher verlassen haben müsse als ersterer. Silberschlag spricht von einer Wolke, deren Entstehen und Ausbildung er aufmerksam beobachtet hatte, und die, sobald sie Regen aussendete, auch zu blitzen und zu donnern anfing. Lichtenberg (Erxleben's Naturlehre, S. 705, Anm.) berichtet eine von Mongez gemachte Erfahrung, dass es nämlich bei einem Regen, der einige Zeit gedauert hat, ohne zu blitzen, alsogleich zu hageln anfing, als ein Blitz erschienen war. Erfahrungen, welche auf eine gleiche Relation grosser Niederschläge und elektrischer Entladungen hindeuten, lassen sich fast in unbeschränkter Menge aus den bewährtesten Schriftstellern und den aufmerksamsten Reisenden anführen; mir scheinen aber die hier besprochenen hinreichend zu sein, um als Stütze der Behauptung zu dienen, dass sich die Gewitterphänomene aus einer Umsetzung der Wärme in Elektricität erklären lassen.

Bisher war von Hagelwettern nur nebenbei die Rede. Da sie aber, wie schon Eingangs behauptet wurde, die gewissermassen höchst gesteigerten Gewitter sind und die herabfallenden Hagelkörner Eigenthümlichkeiten besitzen, die auf besondere Vorgänge bei ihrem Entstehen schliessen lassen, so müssen sie noch einer besonderen Betrachtung unterzogen werden, um zu ersehen, ob auch diese Vorgänge mit der Hypothese der Umsetzung von Wärme in Elektricität in Einklang gebracht werden können.

Bei Hagelwettern ist die Störung in den Wärme-Feuchtigkeits- und Elektricitäts-Verhältnissen noch bedeutender, als bei gewöhnlichen Gewittern. Sie sind mehr als die letzteren an warme Länder, an die heisseste Jahres- und Tageszeit gebunden und kommen daher auch viel seltener des Nachts, fast gar nie aber bald nach Mitternacht vor. In dem wahren Heimathlande des Hagels, in Ostindien, gingen nach Spilsbury von 30 daselbst beobachteten Hagelfällen nur drei nieder, nachdem es dunkel geworden und keines später als Mitternacht. Höchst beachtenswerth ist der Umstand, dass sich die Häufigkeit der Hagelwetter daselbst nicht nach dem Grade der Feuchtigkeit, sondern nach der Variation der Dunstmenge zu richten scheint. Dieses hat sich mir ergeben aus einer Vergleichung der den einzelnen Monaten durchschnittlich entsprechenden Zahl von Hagelfällen,

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

wie sie Dr. Buist beobachtet hat, mit dem Unterschiede zwischen dem monatlichen Maximum und Minimum der Dunstmenge, wie ihn eine nach Sykes Angaben von Dove zusammengestellte Tabelle (Rep. der Phys. 4. 262) ersichtlich macht. Ich lasse hier beide Angaben in eine Tabelle zusammengefasst folgen mit dem Bemerken, dass ich von Dove's Tafel, welche sechs Orte von Ostindien umfasst, nur drei derselben herausgehoben, den Werthen dieser Stationen aber noch ihren Mittelwerth beigesetzt habe:

Monat	Unterschied der Dunstmenge um 9—10 Uhr Morgens und 3—4 Uhr Nachmittags, in engl. Zollen				Zahl der Hagelwetter
	Calcutta	Madras	Poonah	Durchschnitt	
Jänner	0·123	0·072	0·136	0·110	5
Februar	0·117	0·070	0·140	0·109	20
März.....	0·125	0·076	0·133	0·111	31
April	0·124	0·084	0·143	0·116	34
Mai.....	0·115	0·081	0·132	0·109	17
Juni	0·095	0·092	0·106	0·097	4
Juli.....	0·090	0·097	0·075	0·087	2
August.....	0·099	0·105	0·085	0·063	0
September ...	0·101	0·094	0·090	0·095	2
October	0·110	0·068	0·125	0·101	3
November ...	0·107	0·071	0·125	0·101	4
December ...	0·114	0·071	0·110	0·098	5

Dabei muss bemerkt werden, dass Februar, März und April die trockensten, Mai der heisseste, December und Jänner die kältesten Monate seien. Auch auf der Insel Cuba, wo Hagelfälle überhaupt selten sind, erscheinen die Monate März und April, deren Temperatur dem Jahresmittel fast gleich kommt, als die hagelreichsten; denn nach Päy (Proceed. of the amerc. ass. 1855, 179) kommen von der ganzen Anzahl der von 1784 bis 1854 vorgekommenen Hagelfälle, die 35 beträgt, 8 auf den März, 8 auf den April, 5 auf den Juni, 5 auf den August, 2 auf den Februar, 2 auf den Mai, 1 auf den October und 1 auf den December; Jänner, Juli, September und November bleiben ganz frei von Hagelwettern. In Europa kommen die meisten Hagelwetter in den feuchten Sommern vor. Pilgram führt folgende Resultate an: Es waren Jahre heftiger Hagelwetter:

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

in 113	heissen Sommern	14,	folglich	1 in je	8	Jahren,
„ 71	kühlen „	10	„	1 „ „	7	„
„ 102	feuchten „	30	„	1 „ „	3·4	„

Dass Hagelwetter im Tiefsommer der heissen Zone und in Höhen von weniger als 1200 F. in der Regel zu den Seltenheiten gehören, erklärt sich daraus, dass die Hagelkörner beim Herabfallen schmelzen. Kommen doch auch in Gebirgsländern der gemässigten Zone Fälle vor, wo es auf Bergen hagelt, während es in den Thälern regnet.

Die Ausbildung der Hagelwolken ist von jener der gewöhnlichen Gewitterwolken im Allgemeinen nicht abweichend, nur heftiger Hagel kündigt sich meistens schon durch ein besonderes rasches Entstehen der Wolken, eine grössere innere Bewegung in denselben und ihre mehr zerrissene Oberfläche, grössere Aufgedunsenheit und eine gelbliche und aschgraue Farbe, wohl auch durch eine grosse Mannigfaltigkeit von Farben überhaupt an. Man hat bemerkt, dass jene Gewitter gerne in Hagel ausarten, bei denen die Wolkenbildung mit einem dünnen milchigen Überzug des Firmamentes beginnt und wo erst, nachdem dieser entstanden ist, in der untern Region die bergartigen Haufenwolken sich aufzuthürmen anfangen. Hagelwolken reichen tief herab und scheinen sich dabei auch weit in die Höhe zu erstrecken. Sie haben meistens eine grosse Dicke.

Die Erstreckung einer hagelnden Wolke ist in der Regel weit beschränkter als die einer gewöhnlichen Gewitterwolke. Meistens sendet eine solche nur innerhalb eines kleinen Umkreises Hagelkörner aus, ausserhalb dessen fällt reichlicher Regen, als gäbe es in solchen Wolken eine Stelle der grössten Erkaltung, von welcher aus nach allen Seiten die Temperatur zunimmt. Aus diesem Grunde sind die Strecken, welche vom Hagel getroffen werden, meistens von geringer Ausdehnung, vorzüglich von geringer Breite, weil nur diese Dimension jener der hagelnden Wolke entspricht, während die Länge des behagelten Landes durch die Strecke bestimmt wird, welche die Wolke während des Hagelns, vom Wind getrieben, zurücklegt. Das viel besprochene Hagelwetter, welches im Jahre 1788 ganz Frankreich von SO. nach NW. durchzogen und sich selbst bis Holland erstreckt hat, entlud sich in zwei fast parallelen Strecken von $2\frac{1}{4}$ und 1 Meile Breite und $97\frac{1}{2}$ — 150 Meilen Länge. Es fehlt aber doch nicht an Beispielen, wo Hagelwetter sich über grosse Strecken Landes nach der Länge und Breite entladen haben. Volta führt ein solches an

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

(Gilb. Ann. 57, 351), welches er in Como beobachtet hat. Dieses hat 2500 Millionen Q. Toisen oder mehr als 160 Q. Meilen dicht mit Hagel bedeckt.

Starke Hagelfälle bieten das Phänomen von Intermittirungen besonders häufig dar; der Landmann nennt es bei uns das Zucken des Wetters. Die Zwischenzeit füllt oft ein Regenfall aus. Ein Hagelwetter, das im August 1834 die Gegend um Padua furchtbar verwüstete und das Casari fleissig beobachtet und beschrieben hat (Ann. d. sc. del. reg. lomb. ven. 1834), machte solche Absätze von je 2 Minuten Intervall. Eine Wolke sendet auch nicht während der ganzen Dauer ihrer Entladung Hagel aus, vielmehr dauert der Hagel in der Regel nur kurz, die übrige Zeit fällt Regen. Das zerstörende Hagelwetter, von dem eben die Rede war, dauerte 8 Minuten. Der Hagelfall vom Jahre 1788 in Frankreich überdauerte an keinem Orte 7—8 Minuten. Dieses war aber schon hinreichend, um einen Schaden von 25 Millionen Francs anzurichten. In unseren Gegenden dauern Hagelfälle selten über 15 Minuten; nur in Ostindien sind Fälle einer vierstündigen Dauer beobachtet worden.

Die grösste Eigenthümlichkeit eines Hagelwetters ist nicht so sehr das Herabfallen von Eis statt der Wassertropfen, sondern die Form, das Gefüge und die Grösse der Hagelkörner. Man unterscheidet zweierlei Hagelkörner, nämlich Graupeln, in Österreich Riesel genannt, und eigentliche Schlossen. Die Graupeln sind kleine, undurchsichtige weisse Eisklümpchen, wie kleine Schneeballen, von 1—2½ L. Durchmesser, manchmal mit einem mehlartigen Eisüberzug, selten mit einer dünnen, durchsichtigen Eisumhüllung versehen. Mit dem Mikroskop erkennt man sie als Aggregate kleiner Eisnadeln, die mit Luft gemengt sind. Diesen ähnlich, aber nach der Art des Erscheinens gar nicht zum Hagel gehörig, sind gefrorne Regentropfen, die besonders auf den Polarmeeren, sehr selten aber in geringeren Breiten (öfters in der Schweiz) zu einer Zeit aus der Luft fallen, wo in den oberen Luftregionen schon laue Winde wehen, unten aber noch Eiskälte herrscht und die herabfallenden Regentropfen zum Gefrieren gebracht werden. Die Schlossen sind der Form nach rund, oval, manchmal auch abgeplattet und nach einer Richtung verlängert, birn- und pyramidenförmig mit abgerundeten Kanten. An ihrer Oberfläche erscheinen oft deutliche Hervorragungen. Manche Schlossenkörner sind unförmliche Eismassen, sie gleichen Bruchstücken grösserer Körper

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

von bestimmter Form; am häufigsten kommen aber solche vor, an deren Formen sich ein bestimmtes Gefüge erkennen lässt. Sie sind nämlich strahlig und faserig, die Strahlen gehen von einem Punkte des Innern nach Aussen. Sie schliessen meistens einen, oft auch mehrere Schneekörner (Graupelkörner) in sich, um welche dann die übrige Masse in concentrischen Schichten gelagert ist, so wie die Häute einer Zwiebel ihren Einschluss umgeben. Die Schichten, welche den Kern einschliessen, sind an Dicke und Zahl verschieden, einige undurchsichtig wie Schnee, andere durchsichtig wie compactes Eis. Sie enthalten manchmal Luftblasen, ja sogar feste mineralische und auch organische Körper. In Island und im Gouvernement Orenburg hat man solche Einschlüsse von Schwefelkies gefunden. Casari glaubt in den Hagelkörnern, welche im August 1834 zu Padua gefallen waren, Spuren eines Mineralkörpers entdeckt zu haben, der aus Eisen, Nickel und einer andern nicht bestimmbaren Substanz bestand. Dr. Wäller erzählt von Hagelkörnern, die Conservenfasern, Kieselpanzer von Diatomeen, selbst lebende Infusorien (Uvella glaucoma Ehrenb.) enthielten. Manchmal sind die herabfallenden Hagelkörner so spröde, dass sie auf dem harten Boden in Stücke zerspringen: viele mögen auch in der Luft bersten und als Bruchstücke zur Erde kommen. Über die Grösse der Hagelkörner wird oft Merkwürdiges berichtet, darunter wohl Vieles, das aus Zeitungsnachrichten stammt, wo nicht immer kritische Wahrheitsliebe die Feder geführt haben mag. Gewöhnliche Hagelkörner haben einen Durchmesser von 3 bis 10 L., doch erreichen sie manchmal selbst einen solchen von 1—4 Z. und die k. Akademie war im verflossenen Jahre Zeuge einer über allen Zweifel erhabenen Nachricht (Sitz. Ber. 21, 155) von einem Hagelfalle in und um Postelberg in Böhmen vom 5. Juni 1856, wo zuerst Körner von der Grösse einer Haselnuss, dann aber Eisstücke wie eine Mannsfaust herabgefallen sind. Sagen von Hagelkörnern von der Grösse eines Tauben-, Hühner- und Gänseeis sind keine zu grosse Seltenheit. Gilbert (Ann. der Phys. 16, 75) wurde aus Ungarn berichtet, dass beim Dorfe Putzemischl am 28. Mai 1802 ein Eisklumpen aus der Luft gefallen sei, den 8 Männer nicht zu heben vermochten; er soll 11 Centner gewogen haben. War es aber nicht vielleicht der Rest von Eis aus dem vorhergehenden Winter? Zu Seringapatam soll zur Zeit des Sultan Tippoo ein Eiskörper von der Grösse eines Elephanten, zu Candeish eine Eismasse von 1 Kubikyard

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

(24 W. K. Fuss) gefallen sein und in Dharwar lässt man im Jahre 1838 einen Eisblock mit dem Hagel herabfallen, der nach der längeren Dimension 19 F. 10 Z. gemessen hat. (Rep. of the brit. ass. 1851, 32.) Wenn man aber auch gegen die Wahrheit so excessiver Hagelfälle gerechte Bedenken hegt, so liefern doch die vollkommen constatirten Ereignisse dieser Art Beweis genug für die alle Vorstellung überschreitende Grösse der Eisbildung in der Atmosphäre zur Zeit starker Hagelwetter. Eine nur 1 L. hohe Schichte von Eis gibt für 1 Q. M. schon über 14 Millionen Centner. Es sind aber Fälle genug bekannt, wo bei einem einzigen nur kurz dauernden Hagelfall viele Q. Meilen Landes von Eis bedeckt wurden und wo die Hagelschichte fusshoch war. Ich erinnere hier an das Hagelwetter bei Como, wo mehr als 160 Q. Meilen Landes dicht überhagelt wurden und führe als weiteren Beleg für meine Behauptung ein anderes Hagelwetter an, welches am 2. August 1855 zu Cronberg am Taunus von Löwe (Pogg. Ann. 80, 305) beobachtet worden und wo innerhalb 5—7 Minuten der Hagel das Land fast 1 F. hoch bedeckt hat. Da nun den Hagelkörnern nach Pouillet eine Temperatur — $^1/_2$ bis — 4° C. zukommt, so kann man leicht ermessen, welche Kälte in der Region der Hagelbildung herrschen muss. Darum hat man von jeher bei den Bemühungen, den Hagel zu erklären, dahin gearbeitet, zu erforschen, woher denn eine so intensive Kälte komme. Die bisher eingegangenen Antworten erschöpfen zwar alle bekannt gewordenen Quellen von Erkältung, genügen aber keineswegs der Frage. Einige Gelehrte haben die gesuchte Erklärung in der Wärmeausstrahlung aus der obersten Fläche der Wolken zu finden geglaubt (Gay-Lussac), besonders wenn sie durch die mit ihrem Aufsteigen verbundene Ausdehnung ohnehin schon abgekühlt sind (v. Humboldt, Stevelly), andere haben die Verdunstung der Wasserbläschen in den Wolken, unterstützt durch die grosse Trockenheit der oberen Luft, dann durch die directe Einwirkung der Sonnenstrahlen und durch den electrischen Zustand der Bläschen als Grund der Eisbildung angesehen (Volta); wieder andere haben schon die in den oberen Regionen herrschende Kälte zur Hagelbildung für hinreichend erklärt, wonach es nur einer Veranlassung bedürfen soll, ein Steigen der Luft zu einer bedeutenderen Höhe als gewöhnlich zu bewirken (v. Buch, Munke, Saigey), während es auch Physiker gab, die den Hagel durch Vermischung kalter Luftströme mit warmer feuchter Luft entstehen lassen (Olmstædt, Schwab, Löwe). Man

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

hat sich aber nicht blos auf Erklärungsgründe beschränkt, die auf erwiesenen Vorgängen in der Natur beruhen, sondern gleichsam Naturgesetze fingirt, um sie zur Erklärung der Hagelbildung anzuwenden, wie, z. B. dass Elektricität durch chemische Verbindung eines eigenen Stoffes mit Wärme entstehe und somit nur auf Kosten freier Wärme ihr Dasein erhalte (Deluc, Lichtenberg), dass bei einem schnellen Übergang von Kälte in Hitze noch grössere Kälte entstehe (Silberschlag). Es wäre überflüssig, auf eine kritische Beurtheilung dieser Ansichten einzugehen, theils weil es ohnehin an solchen nicht fehlt, hauptsächlich aber, weil doch die Meinung der Physiker im Allgemeinen dahin geht, dass ungeachtet aller solcher Bestrebungen der Hagel als ein noch unerklärtes Phänomen angesehen werden müsse.

Zum Entstehen von Eis in der Luft bedarf es natürlich nur einer intensiveren Wirkung der Ursache, welche überhaupt Kälte in der Atmosphäre erzeugt, und da die Umsetzung der Wärme in Elektricität eine fast unerschöpfliche Quelle von Kälte ist, so kann in ihr natürlich auch ein hinreichender Grund zum Entstehen von Hagel gefunden werden. Allein, da der Hagel nicht immer, ja sogar nur selten und ausnahmsweise aus homogenen Eisstücken besteht, sondern bald aus derben Eisklumpen, bald aus Eiskrystallen, ein andermal wieder aus Körnern, die einen Graupeleinschluss enthalten, um den sich mehrere Eisschichten von verschiedener Dicke und von verschiedener Durchsichtigkeit gelagert haben; so muss die supponirte Ursache auch geeignet sein, alle diese Eigenthümlichkeiten zu erklären.

Um eine solche Erklärung zu finden, ist es nöthig, die Beschaffenheit der Gewitterwolken noch einmal ins Auge zu fassen.

Man hat längst in der Luft feine Eisnadeln angenommen, weil gewisse optische Lufterscheinungen darauf hindeuten. Auch sind solche oft wirklich gesehen worden. Silberschlag hat sogar ihr Entstehen beobachtet. Als er am Brocken sich in dichtem Nebel befand, bemerkte er häufig einen weissen Punkt herabfallen und sich zu einer perpendiculären Eislinie ausdehnen. Die weissen Punkte waren ohne Zweifel gefrorne Tropfen, die beim Herabfallen in der Richtung des Falles zusammenfroren. Barral und Bixio haben am 27. Juli 1850 von Paris aus eine Luftreise unternommen. Kurz vor ihrer Abfahrt war der Himmel mit schweren Wolken bedeckt und der Regen fiel in Strömen herab. Sobald er nachgelassen hatte, liess man den Ballon aufsteigen. Die Temperatur am Boden betrug 18° C. Man befand

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

sich bald in den Wolken und es umgab die Reisenden ein dichter Nebel. Erst in einer Höhe von 6330 Meter = 20·000 W. Fuss liess er die Sonne als eine schwache weisse Scheibe erscheinen, man wurde aber von kleinen Eisnadeln bedeckt, die in der Luft schwebten und in Folge des Aufsteigens des Ballons mit einer gewissen Kraft nieder zu fallen schienen. Die Temperatur war — 10° C. Beim Herabsteigen des Ballons begegneten die Reisenden solchen Eisnadeln noch in der Höhe von 4502^m = 14226 W. F. Nicklin, der am 11. August 1822 von Kew bei London aus in Gesellschaft des bekannten Luftschiffers Green eine Fahrt unternommen, beobachtete solche Eiskrystalle in einer Höhe von nahe an 18800 F. Hierdurch ist also bewiesen, dass es auch Wolken gebe, die nicht mehr aus Wasserbläschen, sondern aus Eiskrystallen bestehen.

Barral und Bixio haben unsere Kenntniss von der Natur der Wolken noch durch eine andere Erfahrung bereichert. Sie bemerkten nämlich, dass der aus Bläschen bestehende Nebel, in den sie bald nach ihrer Auffahrt gekommen waren, fortdauerte, als sie eine Höhe von 5121^m=16182 F. erreicht hatten, ungeachtet die Temperatur —7° C. betrug. Es gibt somit auch Wolken, die aus Bläschen von tropfbarem Wasser bestehen, ungeachtet ihre Temperatur unter dem Eispunkte steht. Noch muss bemerkt werden, dass zur Zeit, als Barral und Bixio ihre oben besprochene Luftfahrt unternahmen, die Wärmeverhältnisse in der Luft nicht ganz normal waren, wie sich aus den angestellten Temperaturbeobachtungen entnehmen lässt. Man fand nämlich in der Höhe von 7016^m eine Temperatur von — 39°7 C., während am Boden 18° C. war, mithin eine Abnahme von 18 + 39·7 = 57°7 C. oder von 1° C. für 121°5^m Höhe. Aus den Beobachtungen, welche Gay-Lussac bei seiner am 16. September 1804 unternommenen Luftreise angestellt hat, wo die Wärme am Boden 27°75, in einer Höhe von 3691^m aber 8°5 war, ergab sich erst für 191 7^m Höhe eine Wärmeabnahme von 1° C.

Diese Erscheinungen berechtigen uns zu der Annahme, dass die Substanz der Wolken durch Wasser in drei verschiedenen Zuständen gebildet werden könne, nämlich 1. durch Eisnadeln und kleine Eiskrystalle; 2. durch Wasserbläschen von der Temperatur unter 0° C.; 3. durch solche von einer Temperatur über 0° C.

An kalten Wintertagen bestehen die Wolken, ungeachtet sie der Erde sehr nahe sind, wahrscheinlich ihrer ganzen Dicke nach aus

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Eisnadeln. Werden diese in Folge einer Erkaltung oder einer Dunstzufuhr einander nahe gebracht, so vereinigen sie sich zu Aggregaten, besonders zu Sternchen und diese wieder zu grösseren Flocken, welche herabfallen und den Schnee bilden. Die Form der Eiskrystalle, aus denen die Flocken bestehen, ist wahrscheinlich verschieden, je nachdem sie von der untern Fläche der Wolke oder aus dem Innern derselben und aus einer geringeren oder grösseren Tiefe stammen, ja es ist wahrscheinlich, dass die Kryställchen schon in der Wolke an verschiedenen Stellen von einander abweichende Formen haben.

Die Wolken milder Wintertage und jene des Frühlings und des Herbstes, bestehen, wenn ihre Dicke nicht ganz unbeträchtlich ist, wahrscheinlich in den unteren Schichten aus Wasserbläschen, in den oberen aus Eisnadeln. Es ist kaum anzunehmen, dass sich in der geringen Höhe, welche solche Wolken einnehmen, Bläschen unter 0°C. erhalten können, ohne durch die störenden Einwirkungen, wie sie die Atmosphäre in dem der Erde nahen Theile fortwährend erfahren muss, zum Gefrieren bestimmt zu werden. Bilden sich nun in der oberen, aus Eisnadeln bestehenden Wolkenschichte Aggregate solcher Nadeln, so können sie durch den Wind zu kleinen Bällchen zusammengetrieben werden; auch schlägt sich beim Herabfallen durch die untere, blos Wasserbläschen enthaltende oder gar regnende Schicht, rasch Wasser an sie nieder, gefriert und füllt das aus Nadeln oder Plättchen bestehende Eisaggregat zu einem Klümpchen aus; Solche fallen dann als Graupeln zur Erde herab. Derlei Körner fallen in der That nur beim Übergange der warmen Zeit in die kältere und umgekehrt, also im Frühling und Herbst oder an milden Wintertagen. Dass zu ihrer reichlichen Bildung ein plötzlicher Übergang von Wärme in Elektricität wesentlich beitragen könne, ist für sich klar. Wenn dieses geschieht, hat ein Graupelfall mehrere Charaktere eines Gewitters an sich: er fällt plötzlich und sehr reichlich, macht Pausen und ist von elektrischen Entladungen begleitet; kurz er ist Graupelhagel.

Im Sommer überhaupt, an heissen Tagen dieser Jahreszeit insbesondere, haben die Wolken in der Regel eine bedeutende Höhe, oder wenn auch ihre untere Fläche tief herabreicht, eine beträchtliche Dicke — Barral und Bixio legten in einer Wolke den Weg von 5000^{m} = 15800 Fuss zurück, ohne sie ganz zu durchfahren — oder

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

endlich schweben mehrere Wolkenschichten über einander. Die obersten Wolken oder die oberste Schicht dicker Wolken besteht ohne Zweifel nur aus Eiskrystallchen, die untere blos aus Wasserbläschen über 0° C.; dass zwischen beiden Bläschen unter 0° C. vorkommen können, ist durch die vorhin angeführte Erfahrung bewiesen. Entsteht nun in einer solchen Wolke in Folge der Umsetzung von Wärme in Elektricität plötzlich eine bedeutende Erkaltung, so bildet sich rasch Eis entweder in homogenen Stücken oder in solchen mit einem Einschluss von festen Körpern, wie sie gerade in der Luft schweben. Die Erschütterung, welche eine solche plötzliche Erkaltung ringsum hervorbringen muss, kann nicht verfehlen, die Bläschen unter 0° C. plötzlich zum Gefrieren zu bringen und ebenfalls Embryonen für Hagelkörner zu bilden, oder selbst Eisklumpen mit einem Gefüge, wie solches an Wasser bemerkt wird, das man durch entsprechende Behandlung bei einer Temperatur unter 0° C. tropfbar erhält und dann rasch zum Gefrieren bringt.

Die herabfallenden Eisstücke können endlich durch Wasserniederschläge, die sich beim Herabfallen an sie ablagern, noch ferner sehr stark vergrössert werden. Da in den verschiedenen Schichten derselben Wolke oder in den über einander schwebenden Wolken verschiedene Grade der Temperatur und Feuchtigkeit herrschen, so werden sich die einzelnen Niederschlagsschichten nicht gleichen und es wird hieraus das Entstehen mehrerer das Hagelkorn umhüllender Eisschichten von verschiedenem Grade der Dicke und Durchsichtigkeit erklärbar. Man hat zwar die starke Vergrösserung der Hagelkörner während des Herabfallens mit der Kürze der Fallzeit nicht in Einklang bringen zu können geglaubt. Allein mir scheint diese Einwendung nicht von Belang. Wenn sich auch die untere Grenze der Hagelwolken nicht in grosser Höhe befindet, so reicht doch die Wolke weit hinauf. Nach Benzenberg dürften mässige Regentropfen zu einem Fall von 3000 F. Höhe schon 100 Sec. Zeit brauchen und Prof. Loomis in Newyork weist (Proceedings of the amerc. ass. 1856, p. 71), gestützt auf Hutton's Versuche über den Luftwiderstand nach, dass, wenn dem Falle aufwärts gerichtete Luftströme entgegenwirken, ein grosser Hagelstein 5 M. brauche, um 5000 F. hoch herabzufallen, ja dass kleinere Massen 10 M. und mehr dazu benöthigen dürften. Solche Zeit reicht aber gewiss vollkommen aus, um grossen Eismassen das Entstehen zu geben, um so mehr, da eine derartige Wirkung sehr

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

rasch vor sich geht. Maupertuis erzählt (discours sur la mesure de la terre), dass zu Tornai, als man die Thür eines geheizten Zimmers öffnete, die eintretende kalte Luft alsogleich die wärmeren Dünste der Zimmerluft in Schnee verwandelt habe, der in dicken weissen Wirbeln erschien. In Petersburg, so berichtet Robison, geschah es, dass man bei einer zahlreichen Versammlung wegen Mangel an frischer Luft, ein Fenster aufmachte. Die eindringende Luft bildete nun augenblicklich Wirbel von schneeartiger Substanz. Bekannt ist ein Versuch, den man bei der in Schemnitz aufgestellten Hell'schen Luftsäulenmaschine oft angestellt hat. Lässt man die mit Wasserdunst gesättigte comprimirte Luft durch Öffnen eines Hahnes herausdringen, so findet in Folge der Ausdehnung der Luft eine rasche Erkaltung Statt und diese macht die in der Luft befindlichen Dünste augenblicklich gefrieren, so dass, wenn man den Strahl mit einem Hut auffängt, dieser mit Eis rasch erfüllt wird. Es kann sich demnach ein ähnlicher Process während der wenn auch nur kurzen Zeit des Herabfallens von Eiskörnern unzählige Mal wiederholen und Eismassen von sehr ansehnlicher Grösse erzeugen.

Meine Darstellung hat den Zweck zu zeigen, dass man die Erscheinungen bei Gewittern überhaupt, bei Hagelwettern insbesondere, aus einer Umsetzung der Wärme in Elektricität erklären könne, weniger aber darzuthun, dass hier eine solche Umsetzung wirklich stattfinde. Um letzteres zu beweisen, hätte auch gezeigt werden müssen, dass bei Gewittern die Bedingungen vorhanden seien, an welche diese Umsetzung gebunden ist. Ein solcher Nachweis ist aber gegenwärtig noch nicht möglich, weil jene Bedingungen selbst noch nicht vollständig erforscht sind.

Ich habe in meinem Vortrage vom 13. November 1856 gezeigt, dass bei einem Wärmestrome, der von einem schlechten Leiter in einen besseren übergeht, Wärme in Elektricität umgesetzt werde. Wenn auch dieser Übergang eine wesentliche Bedingung der Umwandlung ist, dürfte sie wohl kaum die einzige sein. Dazu kommt noch, dass es dermalen noch nicht möglich ist, den Gang der Wärme in der höheren Atmosphäre, wo Wasser, Eis, Luft und Dunst vereinigt vorkommen, Schritt für Schritt zu verfolgen. Dass der Übergang der Wärme hier eine bedeutende Rolle spiele, kann aber nicht in Abrede gestellt werden, ja wenn Becquerel's Behauptung richtig ist, dass sich schon bei der Berührung warmen Wassers mit kalten Elektricität

Digitised by the Harvard University, Download from The BHL http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

entwickle, so ist auch die Natur dieser Rolle schon etwas aufgeklärt. Eine Bewegung der Wärme beweisen aber die Erfahrungen, deren ich am Eingange Erwähnung gethan habe und die im Allgemeinen darauf hinauslaufen, dass zur Entstehung von Gewittern überhaupt und von Hagelwettern um so mehr Temperaturdifferenzen, die durch Wärmeströme ausgeglichen werden müssen, unerlässliche Bedingung seien. Bei der Entstehung von Hagelwettern treffen immer Luftströme von sehr verschiedener Temperatur zusammen; denn die Gegenden, welche diesen Gewittern am meisten ausgesetzt sind, liegen meistens in der Nähe hoher Gebirge und sind selbst flach. Solche Gegenden sind: z. B. um Clermont in den Auvergne, am Ausgange des Aostathales, am Abfall der Alpen gegen Mailand hin, die Ebene längs der steirischen Gebirge in Niederösterreich. Der Boden solcher Länder erhitzt sich an heiteren Sommertagen sehr stark, während die Luft auf den Bergen nur wenig den gewöhnlichen Temperaturgrad übersteigt. Nach Komatz treten in Steiermark gerade dann die heftigsten Gewitter ein, wenn der Boden des flachen Landes viel mehr erhitzt ist, als die höher liegenden Gebirge. Süd- und Nordwinde sind ihrer Natur nach im Wärmegrad am meisten verschieden und ein Zusammentreffen solcher scheint auch oft die Hauptveranlassung zu einem Hagelwetter zu sein. Eine nähere Prüfung des Einflusses solcher Verhältnisse wird ohne Zweifel manche Partie in dem Bildungsprocesse der Gewitter weiter anhellen. Was ich hier zu leisten unternommen, ist nur ein geringer Theil dessen, was noch geschehen muss, um zur vollen Klarheit zu gelangen. Ein Verdienst wird man aber meiner Bemühung nicht absprechen können und dieses besteht in Folgendem: Noch vor einigen Jahrzehenten hat die Elektricität eine fast ausschliessende Herrschaft über die Lufterscheinungen ausgeübt und es ist die Atmosphäre nur eine Art Zwangsarbeitshaus gewesen, worin die Elektricität den Herrn gespielt hat. Bertholon in Frankreich und Hube in Deutschland haben dieses Reich gegründet und der Elektricität zu dem hohen Posten verholfen. Heut zu Tage ist sie aber blos Dienstmagd in dem atmosphärischen Haushalt und es ist ihr selbst beim Gewitter nur eine sehr untergeordnete Rolle zu spielen erlaubt. Die von mir aufgestellte Ansicht dürfte vielleicht beide Extreme mit einander versöhnen und jeder der in der Atmosphäre waltenden Naturkräfte den gebührenden Rang anweisen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1857

Band/Volume: 23

Autor(en)/Author(s): Baumgartner Andreas von

Artikel/Article: Vorträge. Über Gewitter überhaupt, Hagelwetter insbesondere. 277-302