

worden (1868, Seite 18). Dass die vorliegende ausführlichere Mittheilung erst jetzt erscheint, ist nicht meine Schuld. Dieselbe ist im Februar 1868 von Herrn Prof. Poggen dorf zur Aufnahme in die Annalen der Physik angenommen worden, konnte aber als nicht experimentelle Arbeit bis jetzt noch immer nicht zum Abdruck gelangen.

Zürich, im Februar 1869.

L. Hermann.

Ueber die Beziehung der Elektrizität zum Gewitter.

Von

H. Wettstein.

Seit alten Zeiten hat das Gewitter die Aufmerksamkeit des Menschen in höherem Grade auf sich gezogen als die meisten andern Naturerscheinungen. Die Verheerungen der Felder durch den Hagel, die Bedrohung der Wohnungen und des Lebens durch den Blitz haben von Anfang an das Nachdenken des Menschen zur Erklärung herausfordern müssen. Aber selbst nachdem Franklin durch seine Entdeckung von der elektrischen Natur des Blitzes den Schleier einigermaßen gelüftet, bleiben bis auf den heutigen Tag eine Menge Fragen noch unbeantwortet, ja der Kausalzusammenhang zwischen den einzelnen Erscheinungen beim Gewitter ist noch gar nicht erkannt. Ich möchte es nun versuchen, im Folgenden auf die Hauptschwierigkeiten aufmerksam zu machen und eine Ueberwindung derselben anzudeuten.

Das Gewitter besteht im allgemeinen in einer raschen Kondensation des Wasserdam-

pfes, welche von elektrischen Entladungen, Blitzen, begleitet ist. Die Kondensation kann entweder nur zur Wolkenbildung führen, oder sie ist von einem flüssigen oder festen Niederschlag, Regen, Schnee, Graupeln, Hagel, begleitet.

Nach den nächsten Ursachen, welche die Gewitter herbeiführen, lassen sich zwei verschiedene Arten derselben unterscheiden. Die einen werden nämlich veranlasst durch einen vertikal aufsteigenden Luftstrom, die andern durch eine horizontale Bewegung der Luft, einen Polarstrom, der in eine warme feuchte Luftmasse einbricht, oder einen Aequatorialstrom, der warme feuchte Luft in einen kalten Raum hineintreibt. Gewitter des aufsteigenden Luftstroms sind eine stellenweise fast täglich wiederkehrende Erscheinung der tropischen Kalmenzone und in grosser Reinheit die Gewitter bei vulkanischen Ausbrüchen; auch einzelne unserer Sommergewitter mögen dahin zu zählen sein. Unsere übrigen Gewitter begleiten das Hereinbrechen eines feuchten Aequatorial- oder eines kalten Polarstromes.

Zur Entstehung eines Gewitters ist demnach der Transport einer warmen feuchten Luftmasse in eine kalte Gegend oder die Mischung von kalter Luft mit warmer und feuchter nothwendig, und dieser Prozess muss mit einer gewissen Schnelligkeit vor sich gehen, sonst entsteht nur ein gewöhnlicher Niederschlag von Wolken, Regen, Schnee, ohne elektrische Entladungen. Immerhin ist auch ein solcher Niederschlag von lebhaften elektrischen Erscheinungen begleitet, die nur nicht bis zu sichtbaren Explosionen sich steigern.

Das Gewitter beginnt mit einer Ausscheidung des

Wasserdampfes in Folge einer Abkühlung der Luft; diese Ausscheidung ist aber von einer Wärmeentwicklung begleitet, und diese Wärmeentwicklung durch Kondensation des Wasserdampfes bietet die Hauptschwierigkeit für die Erklärung des Gewitters; denn die hierbei entstehende Wärmemenge ist gerade so gross wie die, welche zur Bildung des Dampfes aus dem Wasser verbraucht wurde. Um eine Vorstellung von ihrer Bedeutung zu gewinnen, wollen wir das Gewitter betrachten, welches am 13. August 1832 aus Holland nach Deutschland vordrang und durch Hagelschlag alle Feldfrüchte auf einer Strecke von über 90 Kilometer Länge und 12 Kilometer Breite vernichtete. Nehmen wir an, der Boden sei dabei 1 cm. hoch mit Eis bedeckt worden, so erhalten wir eine Eismasse von 10000 Mill. Kilogramm. Diese gesammte Eismasse ist aus dem Wasserdampf der Luft entstanden. Hat die Verdichtung des Dampfes in Wasser bei 5–10° C. stattgefunden, so wurden dabei von jedem Kilogr. 600 Wärmeeinheiten erzeugt; dazu kommen noch 79 W. E., welche beim Uebergang des Wassers in den festen Zustand entwickelt wurden. So ergibt sich eine Wärmemenge durch Kondensation und Eisbildung von gegen 7 Bill. Wärmeeinheiten. Zur künstlichen Erzeugung dieser Wärme brauchte es etwa den 66sten Theil der jährlichen Steinkohlenausbeute Grossbritanniens, wenn 1 Kilogr. Steinkohlen beim Verbrennen 7600 W.-E. erzeugt. Diese Wärmemenge ist äquivalent der dreissigjährigen Arbeit von 100000 Pferden (das Jahr zu 300 Tagen à 10 Arbeitsstunden à 270000 Kilogramm-meter per Pferd).

Es ist nun zu untersuchen, welchen Einfluss diese Wärme auf die Luft hat, in welcher der Uebergang des Dampfes in Eis stattfindet.

1 Kubikmeter mit Dampf gesättigte Luft enthält bei einem Barometerstand von 760 mm. bei 25° C. 22,5 Gramm, bei 0° 5,4 Gr. Wasser. Wenn daher 1 Kubikmeter gesättigte Luft von 25° auf 0° abgekühlt wird, so werden 17,1 Gr. Wasser ausgeschieden. Diese 17,1 Gr. Wasser entwickeln bei ihrem Uebergang aus dem gasförmigen in den flüssigen und festen Zustand $679 \cdot 0,0171 = 11,6$ W.-E. Da nun 1 Kubikmeter Luft 1,2932 Gr. schwer und ihre spezifische Wärme = 0,2375 ist, so erwärmen jene 11,6 W.-E. diese Luft und die 17,1 Gr. Wasser um

$$\frac{11,6}{1,2932 \cdot 0,2375 + 0,0171} = 35,8^{\circ} \text{ C.}$$

Wenn die Luft eine geringere Dichtigkeit besitzt als eben angenommen, d. h. wenn sie unter einem geringern Druck steht als dem von 760 mm. Quecksilber, wie das bei der Wolkenbildung immer der Fall ist, so muss diese Erwärmung durch Kondensation noch bedeutender sein. Findet z. B. die nämliche Ausscheidung in einer Höhe von 2000 m. bei einem Luftdruck von 600 mm. statt, so ist 1 Kubikmeter Luft nur 1,0209 Gr. schwer, und es erfolgt eine Erwärmung um 45,3° C. Bei 3000 m. und 533 mm. Bär. ist 1 Kubikm. Luft = 0,9069 Gr. und die Erwärmung 49,9° C.

Selbst wenn die Luft von 25° anfänglich nur zu 75% mit Wasserdampf gesättigt wäre, müsste sie durch die Dampfkondensation immer noch um 27-38° über ihre anfängliche Temperatur erwärmt werden. Wenn mithin diese Kondensationswärme der

Luft nicht auf irgend eine Art entzogen wird, so kann eine Ausscheidung des Wasserdampfes gar nicht erfolgen. Die Gewitterwolke könnte sich ohne das nicht abkühlen, wie es doch in der That geschieht, sie müsste sich vielmehr erwärmen. Eine Erklärung des Gewitters hat vor allem aus eine Vernichtung dieser Wärme oder ihre Entfernung aus der Gewitterwolke nachzuweisen.

Die obigen Zahlen für die Temperaturerhöhung beziehen sich auf den Fall, dass das Wasser in fester Form ausgeschieden wird; fällt es in tropfbar flüssiger Form aus der Wolke, so sind jene Zahlen um etwa $\frac{1}{8}$ kleiner, nämlich statt 35,8, 45,3 und 49,9° nur 31,6, 40,1 und 44°. Man sieht aber hieraus, dass nicht das Gefrieren des Wassers, die Bildung des Hagels, die Hauptschwierigkeit in der Erklärung des Gewitters ausmacht, sondern die rasche Kondensation des Dampfes zu Wasser. Hat sich einmal der Dampf zu Wasser von 0° verdichtet, so braucht es nur den 8ten Theil der hiezu nothwendig gewesenen Abkühlung, um dieses Wasser in Eis zu verwandeln, aus dem Regen Hagel zu machen. Trotzdem haben die bisherigen Theorien zur Erklärung des Gewitters das Hauptgewicht immer auf die Erklärung des Hagels gelegt, es sind nicht Gewittertheorien, sondern Hageltheorien.

Volta nahm an, dass durch die Sonnenstrahlung eine so lebhafte Verdampfung der in der obersten Wolkenschicht schon niedergeschlagenen Wassermassen stattfindet; dass die Verdunstungskälte genüge, um das Wasser der darunter liegenden Schicht zum Gefrieren zu bringen, und dass sodann die entstehen-

den Hagelkörner zwischen zwei entgegengesetzt elektrischen Wolken hin- und hertanzen, wie die Markkugeln beim elektrischen Puppentanz, bis sie schwer genug geworden, um die elektrische Anziehung und Abstossung zu überwinden und auf den Erdboden zu fallen. Auch abgesehen von der Unmöglichkeit dieses Tanzes begreifen wir bei unsern heutigen Anschauungen von Ursache und Wirkung kaum, wie der grosse Forscher auf diese Erklärung verfallen konnte. An dem nämlichen Fehler leidet eine von L. v. Buch aufgestellte Hypothese, nach welcher fallende Regentropfen durch Verdunstungskälte gefrieren sollen.

Kämtz sucht den Grund der Hagelbildung in der schnellen Wärmeabnahme nach der Höhe hin, welche vor und bei Gewittern beobachtet wird. Er nimmt an, dass in einer Höhe von etwa 9000' die Luft auf den Gefrierpunkt erkaltet sei, dass in diese kalte Luft feuchte warme Luft aus der Tiefe aufsteige und dadurch zur Kondensation ihres Dampfes veranlasst werde, und dass dann in diese Wolken Schneeflocken aus noch höhern und kältern Federwolkenschichten fallen, den Wasserdampf auf sich verdichten, dadurch sich mit Eis überziehen und als Hagelkörner in die Tiefe stürzen. Auch diese Erklärung kann nicht richtig sein; denn wenn eine Schneeflocke selbst mit einer Temperatur von -30° herabfiele, so würde die Kondensation von weniger als $\frac{1}{20}$ ihres Gewichtes Wasserdampf hinreichen, um ihre Temperatur auf 0° zu erhöhen und eine fernere Eisbildung zu verhindern; ja selbst angenommen, es würde dieses Schneekorn nicht durch Kondensation des Dampfes, sondern durch Aufsammeln von schon ausgeschiedenem Was-

ser wachsen, so würde auch da ein Zuwachs um weniger als die Hälfte seines Gewichtes hinreichen, um seine Temperatur von -30° auf 0° zu erhöhen, selbst wenn das auf der Bahn seiner Fallbewegung aufgesammelte Wasser schon zum Voraus bis auf den Gefrierpunkt erkaltet wäre.

Noch mehr! Nehmen wir an, und das ist die Hageltheorie von Vogel, Nöllner, De la Rive, das Wasser in der Gewitterwolke sei schon zum Voraus bedeutend unter den Gefrierpunkt erkaltet, z. B. auf -10° , ohne zu erstarren, wie das nach den bekannten Versuchen von Mousson und Dufour möglich ist, so ist auch damit nicht geholfen; denn 1) braucht es zur Erwärmung des Wassers von -10 auf 0° nur 10 W.-E., während sein Erstarren 79 W.-E. entstehen lässt, sodass das Schneekorn von -30° , auf welchem jenes Erstarren stattfindet, noch nicht um die Hälfte seines Gewichtes wachsen könnte; und 2) ist auch bei dieser Hypothese die Hauptsache nicht erklärt, die Kondensation des Dampfes zu flüssigem Wasser.

Die Theorie von Mohr, die auf der Bildung eines luftverdünnten Raumes durch Kondensation des Wasserdampfes basirt, umgeht erstlich die Hauptschwierigkeiten und ist ausserdem durch Krönig und Reye als gänzlich unrichtig nachgewiesen worden.

Um nun einen bessern Einblick in den Kausalzusammenhang der Gewittererscheinungen zu erhalten, will ich das Gewitter von seinem Beginn an etwas genauer ins Auge fassen.

Wenn der Wasserdampf der Luft sich kondensiren soll, so muss diese Luft abgekühlt werden. Diese Abkühlung kann auf zwei Arten eingeleitet werden,

nämlich entweder durch eine geeignete Bewegung dieser warmen Luft oder dadurch, dass ein kalter Luftstrom sich in sie hinein ergiesst.

a) Der einfachste Weg, auf dem die warme feuchte Luft abgekühlt werden kann, ist der, dass sie durch den Luftdruck oder eine Wirbelbewegung in eine grössere absolute Höhe gehoben wird. Auch ein Wirbel mit vertikaler Achse kann schliesslich diesen Effekt haben, wenn er durch die Hindernisse, welche der Boden seiner Fortbewegung entgegengesetzt, in eine geneigte Stellung geräth, so dass die Luftmassen nicht mehr in horizontalen, sondern in schiefen Ebenen wirbeln.

Wenn nun durch irgend eine Ursache eine Luftmasse aus der Tiefe in die Höhe gehoben wird, so nimmt der Druck auf sie ab und nach dem Mariotteschen Gesetze im gleichen Verhältniss ihr Volumen zu, so dass fortwährend die Spannkraft der gehobenen Luft gleich ist dem auf sie wirkenden Luftdruck. Unter dieser Voraussetzung findet man die Temperatur t_2 , welche diese Luft in einer bestimmten Höhe in Folge ihrer Ausdehnung annimmt, nach der Gleichung

$$t_2 = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} (a + t_1) - a$$

(s. Zeuner, Grundz. der mech. Wärmetheorie p. 133) wo p_1 der anfängliche, p_2 der schliessliche Druck, κ das Verhältniss der spezif. Wärme der Luft bei konstantem Druck zur spezif. Wärme bei konstantem Volumen, oder 1,410, a der absolute Nullpunkt 273 und t_1 die anfängliche Temperatur.

Wenn wir annehmen, die gehobene Luftmasse habe im Meeresniveau die Temperatur von 25° C., so

finden wir mit dieser Formel für verschiedene absolute Höhen folgende Zahlen :

Absolute Höhe.	Barometer.	Temperatur.	Die anfängl. Temperatur sinkt um
0 ^m	760 ^{mm}	25 ° C.	
1000	675	14,9	10,1 ^o C.
2000	600	5,2	19,8
3000	533	— 4,3	29,3
4000	473	— 13,4	38,4
5000	420	— 22,2	47,2

Wenn die aufsteigende Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, so wird bei ihrem Steigen sogleich ein Theil derselben kondensirt werden müssen, und zwar so viel, dass die Luft in jeder Höhe gerade gesättigt ist. Diese Kondensation ist mit einer Erwärmung verbunden. Berechnet man diese in der oben (S. 63) angegebenen Weise, so findet man folgende Zahlen :

Absolute Höhe.	Abkühlung durch Ausdehnung.	Erwärmung durch Kondensation.	Ganze Aenderung.
1000 ^m	10,1 ^o C.	18,6 ^o C.	+ 8,5 ^o C.
2000	19,8	29,7	+ 9,9
3000 ^s	29,3	35,1	+ 5,8
4000	38,4	39,1	+ 0,7
5000	47,2	41,4	— 5,8

Es folgt aus diesen Zahlen, dass das Sinken der Lufttemperatur in Folge der Ausdehnung bis zu Höhen von mehr als 4000 m. durch das

Steigen derselben in Folge der Dampfkondensation neutralisirt wird; d. h. die Luft von der anfänglichen Temperatur von 25° C. könnte nicht unter diese Temperatur erkalten bis in mehr als 4000 m. absolute Höhe, ja sie würde bei 5000 m. Höhe nur um $5,8^{\circ}$ kälter werden, sie müsste in dieser Höhe noch $19,2^{\circ}$ warm sein, wenn Erwärmung durch Kondensation und Abkühlung durch Ausdehnung gleichzeitig neben einander hergehen würden.

Wenn die Luft am Boden nicht mit Feuchtigkeit gesättigt ist, so muss sie natürlicher Weise höher steigen, damit eine den obigen Zahlen entsprechende Kondensation stattfindet; allein selbst wenn sie nur 75% der möglichen Wassermenge enthielte, könnte sie sogar in einer absoluten Höhe von 5000 m. bloss auf $+7^{\circ}$ erkalten; und selbst wenn der Uebergang in den festen Zustand, die Eisbildung, beginnen würde, so wäre damit nur eine neue Wärmequelle gegeben. Höher aber als auf 5000 m. brauchen wir nicht zu gehen, da die grosse Mehrzahl der Gewitter sich weit unter dieser Höhe ausbildet.

Ein aufsteigender Luftstrom kann auch dadurch zu einem Niederschlag Anlass geben, dass er eine Mischung von kalter und warmer Luft einleitet. Nehmen wir an, es mische sich 1 Kubikmeter gesättigter Luft von 25° mit 1 Kubikmeter gesättigter Luft von 0° und sehen wir zunächst von der Kondensationswärme ab, so erhalten wir 2 Kubikmeter Luft von $12,5^{\circ}$. Nun enthält

1	Kubikmeter Luft von 25°	22,52	Gr. Wasser,
1	„ „ „ 0°	5,40	„ „
2	„ der Mischung	27,92	„ „

Nun finden sich aber in 1 Kubikmeter gesättigter Luft von $12,5^{\circ}$ nur 11,25, in 2 Kubikmetern mithin nur 22,50 Gr. Wasser, und es muss eine Ausscheidung von $27,92 - 22,50 = 5,42$ Gr. erfolgen. Diese Kondensation hat aber eine Steigerung der Temperatur der Luft um

$$\frac{0,00542 \cdot 600}{1,2932 \cdot 2 \cdot 0,2375 + 0,00542} = 5,25^{\circ} \text{ C.}$$

zur Folge, d. h. das Luftgemisch erwärmt sich auf $17,75^{\circ}$. Bei dieser Temperatur enthalten aber 2 Kubikmeter gesättigte Luft 30,26 Gr. Wasser, d. h. mehr als die gesammte Wassermenge der gemischten Luftmassen. Es folgt daraus, dass auch durch Mischung der aufsteigenden Luft mit der kalten Luft der Höhe kein Niederschlag erfolgen kann, sofern die Kondensationswärme zur Geltung kommt.

Ich glaube, das Gesagte nöthigt unbedingt zu dem Schluss, dass, wenn keine andere Kraft in Wirksamkeit tritt, das Steigen feuchter warmer Luft erst in sehr grossen Höhen von einem Niederschlag begleitet sein kann, und dass dieser Niederschlag nicht mit der Schnelligkeit und in derjenigen absoluten Höhe zu erfolgen vermag, wie es beim Gewitter wirklich beobachtet wird.

Sieht man von der Aenderung des Aggregatzustandes ab, so sind die gewöhnlichen Vorgänge, durch welche Wärme aus einem Körper entweicht, Leitung und Strahlung. Das so äusserst geringe Leitungsvermögen der atmosphärischen Luft lässt die erstere Ursache sogleich als unwirksam für die Abkühlung aufsteigender Luftströme erkennen. Aber auch die

Strahlung kann bei der Raschheit der Gewitterbildung keinen wesentlichen Einfluss haben; denn 1) ist das Ausstrahlungsvermögen der trockenen Luft jedenfalls nur ganz ausserordentlich gering, 2) ist der Wasserdampf in zu geringer relativer Menge vorhanden, um einen bedeutenden Einfluss zu üben, selbst wenn man annehmen wollte, dass die Versuche von Magnus nicht genügen, die Tyndall'sche Ansicht zu widerlegen, und 3) ist beim Gewitter über der eigentlichen Gewitterwolke in der Regel noch eine Federwolken-schicht ausgespannt, welche in allgemein bekannter Art die Ausstrahlung nach dem Weltraum verhindert. So darf man es wol als feste Thatsache aussprechen, dass weder Leitung noch Strahlung die Kondensationswärme des Wasserdampfes zu beseitigen vermögen.

b) Es breche ein kalter Luftstrom in die warme feuchte Luft ein. Wenn ein kalter Polarstrom in warme feuchte Luft einfällt, so kann ein Niederschlag erfolgen, weil die Kapazität der Luft für Dampf in einem stärkern Verhältniss abnimmt als die Temperatur. Indess sind solche Gewitter bei uns selten und in der Regel nicht von massenhaften Niederschlägen begleitet; denn im Winter, wenn der Polarstrom sehr kalt sein kann, ist die Luft bei uns nicht warm und daher ihr absoluter Dampfgehalt nur gering, und im Sommer, wenn wir feuchte warme Luft haben, ist der Polarstrom selber nicht kalt genug. Im Frühling zeigen sich bisweilen solche Gewitter als Vorboten eines überhandnehmenden Polarstromes und kalter Witterung. Es gilt natürlich für diesen Fall das Nämliche, was oben für die Mischung warmer

und kalter Luft durch den aufsteigenden Luftstrom gefunden wurde.

Wenn im Sommer ein kalter Luftstrom zur Gewitterbildung Anlass geben soll, so muss er von oben, aus einer höhern Region, einbrechen. Es kann dann etwa durch einen Wirbel eine kalte Luftmasse aus der Höhe in die Tiefe geführt werden. Aber wie diese kalte Luft in die Tiefe sinkt, so kommt sie unter einen stärkern Luftdruck, wird auf ein kleineres Volumen zusammengepresst und dadurch erwärmt. Wenn z. B. aus der Höhe von 5000 m. Luft von $-22,2^{\circ}$ bis zur Meeresoberfläche herabsinkt, so erwärmt sie sich auf $+25^{\circ}$, d. h. die Erwärmung ist ebenso stark, als bei der entgegengesetzten Bewegung die Abkühlung. Wenn man nun ausserdem bedenkt, dass diese Luft aus der Höhe wegen ihrer anfänglichen niedern Temperatur nur eine sehr geringe Menge Wasser in Dampfform enthält, dass sie daher bei ihrem Sinken und der damit unzertrennlichen Erwärmung noch eine bedeutende Menge Wasser aufzulösen vermag, so muss man zu dem Schluss kommen, dass ein niedersinkender kalter Luftstrom gar keine Dampfkondensation, geschweige denn ein Gewitter veranlassen kann, dass er im Gegentheil die schon niedergeschlagenen Wassermassen wieder auflöst und einen heitern Himmel schafft. Es kann das um so weniger bezweifelt werden, als die oben angenommene Temperaturdifferenz von 25° in der Tiefe und $-22,2^{\circ}$ in 5000 m. Höhe schon abnorm gross ist, 1° C. auf 106 m. Höhendifferenz. —

Da wegen der Kondensationswärme die Bewe-

gung der Luft zur Erklärung des Gewitters nicht ausreicht, so muss der Vorgang der Dampfkondensation näher untersucht werden, denn an diesem hängt ja das ganze Problem.

Es ist Jedermann bekannt, dass eine Abkühlung eines mit Dampf gesättigten Luftraumes von einem Uebergang des gasförmigen Dampfes in tropfbar flüssiges Wasser begleitet ist. Dieser Uebergang findet entweder an den Wänden des betreffenden Gefäßes statt oder im freien Raum. Im erstern Fall beschlägt sich die kalte Wand mit Wassertropfen, und diesen Fall haben wir für unsern Zweck nicht weiter zu untersuchen, im zweiten Fall dagegen bilden sich Wasserbläschen, sogen. Nebelbläschen. Man kann diese schon mit blossem Auge, wenn auch schwierig, als einen feinen Staub erkennen, deutlich sieht man sie mit dem Vergrößerungsglas. Dass aber der Nebel wirklich aus Bläschen und nicht aus massiven Kügelchen von Wasser besteht, das folgt mit Nothwendigkeit aus seinem optischen Verhalten. Bestünde er aus Tröpfchen, so müsste auffallendes Sonnenlicht in ihm einen Regenbogen bilden wie in den wirklichen Wasserkugeln des fallenden Regens. Einen solchen Regenbogen bemerkt man nie im Nebel, also besteht er überhaupt nicht aus Wasserkügelchen; sondern, was uns das bewaffnete Auge in allen einzelnen Fällen wahrnehmen lässt, gilt allgemein: Nebel und Wolken bestehen aus Bläschen.

Die Grösse dieser Bläschen erkennt man aus ihrem optischen Verhalten, sie erzeugen nämlich durch Beugung die farbigen Lichtkränze um Sonne und

Mond, und die Durchmesser dieser Lichtkränze stehen in umgekehrtem Verhältniss zu den Durchmessern der Bläschen. Wenn D der Durchmesser des Bläschens und R_1 , R_2 , R_3 die Durchmesser der aufeinander folgenden Ringe für Roth, vermindert um den scheinbaren Durchmesser der Sonne und des Mondes, so ist nach Fraunhofer

$$\begin{aligned} D &= \frac{0,00000696}{R_1} \\ &= \frac{0,00000696 + 0,00000579}{R_2} \\ &= \frac{0,00000696 + 2 \cdot 0,00000579}{R_3} \text{ Meter.} \end{aligned}$$

Die Bläschen sind bei anhaltend schönem Wetter am kleinsten und nehmen beim Eintritt von Regenwetter rasch an Grösse zu. Die nämliche Wolke zeigt in ihrer ganzen Ausdehnung das nämliche Verhalten, dagegen weichen bei veränderlichem Wetter verschiedene Wolken in bedeutendem Grade von einander ab. Ebenso wechselt die Grösse der Bläschen von einer Jahreszeit zur andern, ihr Durchmesser beträgt nämlich nach den Beobachtungen von Kämtz

im Winter	0,0257 mm.
„ Frühling	0,0195
„ Sommer	0,0165
„ Herbst	0,0244
„ Jahr	0,0215
„ Maximum	0,0606
„ Minimum	0,0095.

Es sind mithin die kleinsten Bläschen fast $6\frac{1}{2}$ mal kleiner als die grössten. Was die Dicke des Wasserhäutchens betrifft, aus dem das Bläschen

besteht, so ist dieselbe noch wenig genau untersucht; man hat aus dem optischen Verhalten auf eine Stärke derselben von 0,000675 mm. geschlossen. Natürlich kann das nur eine mittlere Zahl sein. Wenn man mit Clausius annimmt, dass die blaue Farbe des Himmels von der Reflexion des Lichtes an Wasserbläschen herrühre, und diese Annahme ist in hohem Grad plausibel, so muss die Wandstärke derselben gegen 7 mal geringer sein als obige Zahl und kann nur etwa 0,0001 mm. betragen.

Es ist gewiss merkwürdig, dass das Wasser aus dem gasförmigen Zustand sich nicht in massiven Kügelchen, sondern in Bläschen ausscheidet, und ich hoffe, weiter unten zeigen zu können, dass diese Erscheinung in genauem ursächlichem Zusammenhang mit der Erscheinung des Gewitters steht. Vorläufig will ich aber den unmittelbaren Einfluss der Bläschenform auf die Temperatur untersuchen.

In einem Kapillarröhrchen von 1 mm. Durchmesser steigt das Wasser um 30 mm. über das umgebende Niveau. Dieses Steigen ist die Folge der Anziehung zwischen den Molekülen an der Oberfläche des Wassers, eines Kohäsionsdruckes, welcher durch die konkave Form der Wasseroberfläche im Röhrchen eine einseitige Richtung, nämlich nach dem Mittelpunkt der Krümmung hin, erhält. Dieser Kohäsionsdruck ist also stark genug, um einer Wassersäule von 30 mm. das Gleichgewicht zu halten. Theorie und Erfahrung zeigen, dass die Stärke dieses Kohäsionsdruckes in zwei Röhren sich umgekehrt verhält wie die Durchmesser der Röhren. Die Stärke des Kohäsionsdruckes hängt nur von der Form der

Oberfläche ab; sie ist daher ganz gleich, ob das Wasser in einem Röhren eingeschlossen sei, oder ob es aus irgend einem andern Grund eine kugelförmige Oberfläche annehme; dieser Druck muss daher auch in einem Wasserbläschen wirksam sein; und da dasselbe zwei wirksame Oberflächen hat, so muss der Druck in ihm 2 mal grösser sein als in einer Kapillarröhre von gleichem Durchmesser, d. h. er wird in einem Bläschen von 1 mm. Durchmesser dem Druck von 60 mm. Wasser das Gleichgewicht halten, natürlich unter der Voraussetzung, dass die Dicke der Wasserhülle vernachlässigt wird.

Berechnet man den Kohäsionsdruck für einige der oben angegebenen Bläschengrössen, so findet man folgende Zahlen:

Durchm. des Bläschens in mm.		Druck in mm. Wasser.	Druck in mm. Quecksilber.	Druck in Atmosphären.
Winter	0,0257	2334,6	171,7	0,226
Sommer	0,0165	3636,4	267,4	0,352
Jahr	0,0215	2790,7	205,2	0,270
Maximum	0,0606	990,1	72,8	0,096
Minimum	0,0095	6315,8	464,4	0,611

Die Bläschenluft hat natürlich ausser diesem Kohäsionsdruck noch denjenigen der umgebenden Luft auszuhalten.

Aus den Bläschen kann ein Niederschlag nur dann entstehen, wenn sie zusammenfliessen und zerplatzen, wenn also die eingeschlossene komprimierte Luft frei wird und sich auf den dem herrschenden Luftdruck entsprechenden Raum aus-

dehnt. Diese Ausdehnung hat einen Wärmeverbrauch, ein Sinken der Temperatur, zur nothwendigen Folge, und es ist nun zu untersuchen, ob diese Abkühlung durch Ausdehnung der Bläschenluft auf die Gewitterbildung von Einfluss sein könne.

Die Luft wird in diesem Fall plötzlich einem konstanten äussern Druck ausgesetzt, welcher kleiner ist als der anfängliche Druck der Luft, man findet ihre Endtemperatur t_2 nach der Gleichung

$$t_2 = \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{1}{1,410} \left(\frac{p_1}{p_2} + 0,410 \right) (a + t_1) - a \quad (\text{s. S. 66})$$

(Zeuner, Grdz. der mechan. Wärmetheorie, p. 150).

Damit findet man für die Abkühlung durch Ausdehnung der Bläschenluft je nach dem Druck und der Temperatur der umgebenden Luft folgende Zahlen:

für das kleinste Bläschen (Dchm. 0,0095 ^{mm})	32,9 bis 38,6° C.
„ „ grösste „ („ 0,0606)	7,6 „ 10,9
„ „ mittlere „ („ 0,0215)	18,4 „ 24,1

Auf den ersten Blick scheint diese Abkühlungsursache für die Erklärung der raschen Wolkenbildung beim Gewitter von Wichtigkeit zu sein; allein es scheint wirklich nur so. Die Bildung der Bläschen, die Kompression ihrer Luft ist von einer Wärmezeugung begleitet, welche ebenso stark ist wie obige Abkühlung. Wenn wir aber auch davon absehen und annehmen, dass zwischen der Bildung und dem Platzen der Bläschen so viel Zeit verfliesse, dass sie sich inzwischen auf die Temperatur der umgebenden Luft abkühlen können, so erhalten wir doch kein günstiges Resultat. Zunächst ist nämlich klar, dass durch die Ausdehnung der Bläschenluft die umgebende Luft

zusammengepresst und in dieser eine Wärmemenge erzeugt wird, welche gleich ist der zur Ausdehnung der Bläschenluft verbrauchten, in der Wolkenluft wird daher durch das Platzen der Bläschen keine Temperaturänderung eintreten können. Es folgt daraus, dass die zu jener Ausdehnung nothwendige Wärme nur aus dem Bläschen, d. h. aus seiner Wasserhülle herkommen kann, wir haben daher nur zu berechnen, wie stark dieses Bläschenwasser dadurch abgekühlt wird. Bezeichnen wir mit t die Abkühlung der Bläschenluft in Graden des hunderttheiligen Thermometers, mit L das Gewicht der Luft, mit W dasjenige des Wassers eines Bläschens, mit c die spezif. Wärme der Luft, so ist die Abkühlung des Bläschenwassers

$t_1 = t \cdot \frac{L}{W} c$. Nun ist für einen Luftdruck von 760 mm.

Quecksilber $\frac{L}{W}$

im kleinsten Bläschen (0,0095 mm. Dchm.) = $\frac{1}{430}$,

im grössten „ (0,0606 „) = $\frac{1}{59}$,

im mittlern „ (0,0215 „) = $\frac{1}{209}$,

und es beträgt demnach die Abkühlung t_1 des Bläschenwassers im kleinsten Bläschen $0,023^\circ \text{C}$.

„ grössten „ 0,047

„ mittlern „ 0,029 .

Es folgt daraus, dass die Abkühlung des Wassers durch die sich ausdehnende Bläschenluft fast vollkommen unmerklich ist.

Es lässt sich endlich noch ein Einfluss des Kohäsionsdruckes in Rechnung ziehen. Wenn nämlich

der Wasserdampf aus einer Luftmasse sich in Bläschenform ausscheidet, so muss wegen der Zusammenpressung der Bläschenluft durch den Kohäsionsdruck das Volumen der Luftmasse abnehmen. Wäre diese Abnahme bedeutend, so müsste sie das Zuströmen neuer Luft veranlassen, und das hätte möglicher Weise einen Einfluss auf die weitere Ausbildung des Gewitters. Nun beträgt aber jene Verminderung des Volumens bei der Ausscheidung von 20 Gr. Wasser in 1 Kubikmeter bei den kleinsten Bläschen nur $\frac{1}{28000}$, bei den grössten nur $\frac{1}{36000}$ des anfänglichen Volumens. Diese nämliche Volumenverminderung könnte auch erreicht werden durch eine Erniedrigung der Lufttemperatur um weniger als $0,01^{\circ}$ C., und man darf daraus schliessen, dass auch diese Wirkung des Kohäsionsdruckes auf die Gewitterbildung nur einen verschwindend kleinen Einfluss hat.

Aus diesen Betrachtungen folgt mit Nothwendigkeit, dass der Einfluss des Kohäsionsdruckes auf die Temperatur der Wolkenluft und auf die Entstehung und Ausbildung des Gewitters verschwindend klein sei.

Wenn nun keine der betrachteten Ursachen im Stande ist, die rasche Kondensation des Wasserdampfes zu Gewitterregen und Schlossen zu erklären, weder die Abkühlung durch Leitung und Strahlung und durch das Aufsteigen feuchter Luftmassen, noch das Einbrechen kalter Ströme, noch der Kohäsionsdruck, so müssen wir uns nach einer andern Kraft umsehen, und diese ist, glaube ich, gegeben in der Elektrizität.

In früherer Zeit hat man dem Blitz einen grossen Einfluss auf die Gewittererscheinung zugeschrieben; seitdem man aber von der Erklärung des Hagels durch Volta zurückgekommen ist, scheint man allgemein die Elektrizität nur als Folge des Gewitters, gleichsam als Nebenprodukt des Gewitterprozesses, betrachtet und angenommen zu haben, dass sie keinen Einfluss auf seine Entstehung besitze. Und doch ist es im höchsten Grade auffallend, dass von der Gewitterwolke Hunderte, ja Tausende von Blitzen ausgehen. Diese Blitze sind elektrische Ströme von so bedeutender Spannung, dass sie die Luft auf Stunden weit durchbrechen. Der Blitz, der eine gewisse, oft sehr bedeutende Arbeit von mechanischer, chemischer, elektrischer, thermischer Natur leistet, kann nicht aus dem Nichts entstanden sein, seiner Arbeit muss wie jeder andern ein bestimmter Wärmeverbrauch zu Grunde liegen. Bei jeder künstlichen Erzeugung von Elektrizität findet ein solcher Wärmeverbrauch statt. Bei der Reibungs- und Influenzelektrisirmaschine und bei der Magnetelektrisirmaschine ist es die Körperwärme des Experimentators, die verbraucht wird, in der Volta'schen Kette die Verbrennungswärme des Zinks oder eines andern sogen. positiven Metalles, in dem thermoelektrischen Element und bei der Pyroelektrizität die Wärme einer beliebigen äussern Wärmequelle.

Wenn ein Stück Zink bei Sauerstoffzutritt zum Glühen erhitzt wird, so verbrennt es unter Licht- und Wärmeentwicklung; im Volta'schen Element dagegen verbrennt es zwar auch, aber ohne Licht- und Wärmeentwicklung, dafür entsteht ein elektrischer

Strom. Wir erhalten mithin durch den nämlichen chemischen Prozess das eine Mal Wärme, das andere Mal Elektrizität, und wir schliessen daraus, dass Wärme und Elektrizität auf einem ähnlichen innern Vorgang beruhen.

Wir halten uns um so eher zu diesem Schluss berechtigt, als der elektrische Strom wieder in Wärme verwandelt werden kann und in der geschlossenen Volta'schen Kette wirklich verwandelt wird. Die Wärme, welche im Leitungskreis des Stromes durch diesen entwickelt wird, ist, wenn derselbe keine weitere Arbeit verrichtet, gleich der zu seiner Erzeugung verbrauchten Wärme. Der elektrische Strom vertheilt die zu seiner Erzeugung verbrauchte Wärme über seine ganze Leitung.

Ich sehe nun keinen Grund ein, der uns verhindern könnte anzunehmen, dass in der Gewitterwolke ein ähnlicher Vorgang stattfindet, dass die elektrischen Ströme, die Blitze, die Kondensationswärme des Wasserdampfes über einen weiten Raum vertheilt, damit eine Erwärmung der Wolkenluft verhinderten und eine weitere Dampfkondensation ermöglichten. Es scheint mir, es könne gar kein ernstlicher Zweifel darüber walten, dass die von einer Wolke ausgehenden Blitze wirklich diesen abkühlenden Einfluss auf die Wolke haben, sofern die Gewitterelektrizität in der Wolke selber entsteht. Wäre sie nämlich etwas von aussen dazu Gekommenes, so könnte sie ohne weitere Folgen auch wieder weggenommen werden. Die Wolke würde sich dann nur verhalten wie ein gewöhnlicher elektrisirter Konduktor einer

Elektrisirmaschine, der durch den Entzug seiner Ladung keinen abkühlenden Einfluss erleidet, weil die Wärme, die zur Bildung der Elektrizität verbraucht wurde, nicht ihm entzogen worden ist. Es ist also jetzt zu untersuchen, ob die Gewitterelektrizität in der Wolke selber entstehe oder ob sie ihr von aussen zugeführt werde.

Durch die sorgfältigsten Versuche von Reich und Riess, die auch durch die Erfahrungen an der Hydroelektrisirmaschine vollkommen bestätigt werden, ist die Verdampfung des Wassers von keiner Elektrizitätsentwicklung begleitet, wie Pouillet aus seinen Versuchen geschlossen hatte; mit dem von der Erdoberfläche aufsteigenden Wasserdampf kann daher keine Elektrizität in die Region der Gewitterwolken gelangen. Dagegen ist die atmosphärische Luft in der Regel positiv elektrisch und zwar nach den Beobachtungen von Quetelet in Brüssel im Januar im Durchschnitt 9 mal stärker als im Juni, also in der gewitterreichsten Zeit am schwächsten. Es ist nicht einzusehen, wie diese Luftelektrizität sich in einer Wolke zu solcher Spannung anhäufen könnte, um Blitze zu erzeugen; denn die Luft häuft sich ja nicht an in der Gewitterwolke, es kann daher auch keine Ansammlung der Elektrizität aus verschiedenen Luftmassen an der nämlichen Stelle des Raumes erfolgen, im Gegentheil, die Luft, in welcher die Wolke entsteht, ist aus tiefen Regionen aufgestiegen, wo die Elektrizität nach allen Beobachtungen schwächer ist als in der Höhe, durch den aufsteigenden Luftstrom kann daher die Luftelektrizität in der Wolkenregion nur geschwächt, nicht verstärkt werden. Und

wenn man sich vorstellen wollte, dass die elektrischen Erscheinungen des Gewitters dadurch zu Stande kämen, dass die schlecht leitende Luft an sich keine bedeutende elektrische Wirkung nach aussen, keine Funken zu erzeugen vermöchte, dass sie dagegen an die ausgeschiedenen Nebelbläschen ihre Elektrizität abgeben könnte, worauf diese als leitende Körper zur Funkenbildung Anlass gäben, so widerspricht dem entschieden, abgesehen von andern Gründen, schon die Erfahrung, dass in sehr vielen Fällen Nebelbläschen ausgeschieden werden, ohne dass elektrische Entladungen erfolgten; man denke nur an unsre Nebel und daran, dass nicht blitzende Wolken ausserordentlich viel häufiger sind als blitzende; ferner dass im Winter, wo die Luft am stärksten elektrisch ist, Gewittererscheinungen am seltensten eintreten. Auch der Umstand, dass künstliche Wolken, die durch Kondensation des Dampfes siedenden Wassers entstehen, keine elektrischen Erscheinungen wahrnehmen lassen, spricht durchaus gegen die Annahme, dass die Gewitterelektrizität nichts anderes sei, als die in der Wolke als Konduktor angesammelte Elektrizität der atmosphärischen Luft. So hat man denn auch von jeher angenommen, dass die Gewitterelektrizität in der Wolke selber entstehe, dass sie ein die Kondensation des Dampfes begleitender Vorgang sei, und man neigt sich vielfach der Ansicht zu, dass die Reibung der ursächliche Vorgang sei. Allein wo soll diese Reibung stattfinden? Jedenfalls nicht an der Berührungsstelle von bewegter und ruhender Luft, denn es entsteht keine irgend bedeutende Elektrizität, wenn gleichartige Körper an einander gerie-

ben werden. Es ist aber auch keine Elektrizitätsentwicklung durch Reibung von Luft an den Wasserbläschen denkbar; denn diese schwimmen in und mit der Luft und setzen ihrer Bewegung einen kaum merkbaren Widerstand entgegen. So bleibt uns keine andere Annahme als die, dass die Gewitterelektrizität durch den Prozess der Dampfkondensation selbst entstehe.

Die lebendige Kraft der Molekularbewegung eines Körpers, die wir als Wärme empfinden, kann auf einen andern Körper in drei Arten wirken: Entweder überträgt sie sich auf diesen so, dass derselbe im Ganzen eine Bewegung ausführt, indem sich die lebendigen Kräfte der einzelnen Moleküle zu einer Resultirenden vereinigen; oder es findet die Uebertragung auf die einzelnen Moleküle des zweiten Körpers in der Art statt, dass dieser selber warm wird; oder aber die Wärmebewegungen des ersten Körpers werden bei der Aufnahme durch den zweiten so verwandelt, dass sie uns als Elektrizität erscheinen. Ich halte nun dafür, diese letztere Umsetzung von Wärme in Elektrizität erfolge bei der Kondensation des Wasserdampfes in der atmosphärischen Luft, bei der Bläschenbildung; die Kondensationswärme wird dann als solche nicht wahrnehmbar, sie tritt in der Form von Elektrizität auf.

Positive und negative Elektrizität sind Bewegungszustände, die immer gleichzeitig entstehen und in ihrer Art einander entgegengesetzt sind. Wenn die Wärmeschwingungen sich in Elektrizität umwandeln, so müssen sie sich in diese beiden Bewegungen

zerlegen, und wenn sich diese elektrischen Bewegungen wieder vereinigen, so geht als Resultirende diejenige Bewegung hervor, die wir Wärme nennen. Findet Elektrizitätsentwicklung bei der Bläschenbildung statt, so müssen ebenfalls beide elektrischen Zustände entstehen. Die beiden Körper, die hiebei in's Spiel kommen, sind Luft und Wasser. Wie man aus der regelmässigen positiven Elektrizität der atmosphärischen Luft schliessen kann, nimmt bei der Bläschenbildung die Luft die positive, das Wasser die negative Elektrizität an.

Wenn nun aber das negativ elektrische Wasser mit der positiv elektrischen Luft in Berührung bleibt, so können die beiden Elektrizitäten nicht getrennt bleiben, sie vereinigen sich wieder und verwandeln sich dadurch in Wärme; die Kondensationswärme, deren Aequivalent sie sind, erscheint daher bei der Bläschenbildung nicht im Augenblick des Dampfnierschlags, sondern um eine gewisse Zeit später, als Resultat des sekundären Vorganges der elektrischen Ausgleichung. Wenn aber auch diese Ausgleichung in der Wolke längere Zeit in Anspruch nähme und die Elektrizitäten während dessen getrennt blieben, so könnte doch keine elektrische Wirkung nach aussen sich zeigen, da sich die entgegengesetzten Elektrizitäten als unmittelbar neben einander liegend gegenseitig neutralisirten, wie die magnetischen Moleküle eines nicht magnetisirten Stahlstabes. Soll daher bei der Kondensation des Wasserdampfes der Luft eine elektrische Wirkung nach aussen sich zeigen, so müssen mit der Kondensation die beiden entgegengesetzt elektrischen Körper, Luft und

Wasser, von einander getrennt werden, und diese Trennung ist möglich, ja sie findet in der Gewitterwolke wirklich statt.

Zur Gewitterbildung ist nämlich, wie ich schon im Anfang sagte, eine rasche Kondensation des Wasserdampfes, die massenhafte Bildung von Bläschen nothwendig. Man kann das auch schon aus dem raschen Anwachsen und der grossen Dunkelheit der Gewitterwolke schliessen. Es entstehen dabei wegen ungleicher Stärke der Wandungen Bläschen von verschiedenem Gewicht; die schwereren werden im Fallen die leichteren einholen und sich mit ihnen vereinigen; dabei werden sie im Allgemeinen platzen, ihre Luft entweicht, sie ziehen sich auf ein kleineres Volumen zusammen, fallen nun mit beschleunigter Geschwindigkeit und reissen andere Bläschen mit sich. Indem aber diese Tropfen durch die Wolke fallen, nehmen sie die negative Elektrizität mit und lassen die Luft im positiv elektrischen Zustand zurück. Es spielt vielleicht bei dieser Tropfenbildung auch die Elektrizität eine Rolle, indem ältere Bläschen, die ihre Elektrizität schon verloren haben, von frisch gebildeten elektrischen angezogen und zur Vereinigung gezwungen werden; doch lässt sich die Tropfenbildung auch ohne diesen Vorgang erklären, namentlich wenn man die heftigen Bewegungen berücksichtigt, welche in der Gewitterwolke immer beobachtet werden.

Es lässt sich nun, wenn auch nur sehr annäherungsweise, berechnen, wie viel Wärmeeinheiten bei einem Gewitter von bestimmter Grösse in Elektrizität umgesetzt werden müssen, wenn

der wirklich beobachtete Niederschlag von Wasser und Eis möglich sein soll. Nehmen wir an, das Gewitter sei 10 Mal kleiner als jenes im Anfang berechnete vom 13. August 1832, d. h. es finde bei ihm eine Ausscheidung von 1000 Mill. Kgr. Wasser statt, es werde durch einen aufsteigenden Luftstrom erzeugt, der anfänglich 25° warm und zu 75 % mit Dampf gesättigt sei, d. h. in 1 Kubikmeter 16,9 Gr. Wasser enthalte, und diese Luft steige in eine Höhe von 3000^m . Damit aus dieser Luft 1000 Mill. Kilogr. Wasser niederfallen können, müssen 80000 Mill. Kubikmeter derselben in jene Höhe aufsteigen und sich dabei auf $-4,3^{\circ}$ abkühlen. Diese Luft hat ein Gewicht von 100000 Mill. Kilogr., ihre Abkühlung um $25 + 4,3^{\circ} = 29,3^{\circ}$ entspricht mithin einer Wärmemenge von 100000 Mill. $\cdot 0,2375 \cdot 29,3 = 700000$ Mill. Wärmeinheiten. Wenn aber diese Luft eine solche Wärmemenge in sich aufnehmen und sich auf $-4,3^{\circ}$ abkühlen soll, so darf sie keine Wärme von aussen zugeführt erhalten, d. h. es darf sich kein Dampf in flüssiger Form ausscheiden und seine Kondensationswärme an die Luft abgeben, sondern diese gesammte Kondensationswärme muss in Form von Elektrizität auftreten; es beträgt aber dieselbe ungefähr $1000 \text{ Mill.} \times 600 = 600000$ Mill. Wärmeinheiten.

Diese in Elektrizität umgesetzte Wärmemenge entspricht der Verbrennungswärme von etwa 80000000 Kilogr. Steinkohle oder dem Verbrauch von mehr als 400 Mill. Kilogr. Zink in der Bunsen'schen Kette. Es geben diese Zahlen wenigstens eine ungefähre Vorstellung von der Grossartigkeit jenes Kraftmagazins, aus dem die Wärme in Blitzgestalt ausstrahlt. Selbst

wenn ein bedeutender Theil der Kondensationswärme durch andere Vorgänge, wie Leitung, Strahlung, das Einbrechen kalter Luftströme verloren ginge, ist doch dieser Kraftvorrath gross genug, um für die Erklärung der Gewitterelektrizität hinzureichen.

Es drängt sich hiebei die Frage auf, ob die vorhandene Wassermasse genüge, diese enorme Quantität von Elektrizität oder vielmehr die Hälfte derselben, da die andere Hälfte an die Luft übergeht, aufzunehmen. Die Menge der freien Elektrizität, welche ein Körper aufnehmen kann, hängt bekanntlich von der Grösse seiner Oberfläche, nicht von seiner Masse ab. Besteht nun eine Gewitterwolke aus Bläschen der grössten Art (von $0,0606^{\text{mm}}$ Durchmesser und $0,000675^{\text{mm}}$ Wandstärke) und finden sich 20 Gr. solcher in 1 Kubikmeter Luft, so ist ihre Anzahl 2725 Mill., die Oberfläche eines einzelnen = $0.011537^{\square^{\text{mm}}}$ und die aller zusammen = $31,4^{\square^{\text{m}}}$. Die oben angenommene Wassermasse von 1000 Mill. Kil. erfordert unter diesen Umständen eine Luftmasse von 50000 Mill. Kubikmetern (à 20 Gr. Wassergehalt), und die Bläschen dieser Luftmasse haben eine Oberfläche von mehr als 28000 geogr. Quadratmeilen (die Meile zu 7420^{m}), das ist mehr als der Flächeninhalt von Portugal, Spanien, Frankreich und Italien zusammengekommen. Gewiss kann ein solcher Konduktor selbst bei äusserst schwacher Ladung doch eine enorme Menge von lebendiger Kraft in Gestalt von freier Elektrizität enthalten, resp. bei seinem Fall aus der Wolke wegführen. Auf 1 Kubikmeter der Gewitterluft von der eben angenommenen Beschaffenheit, also auf einen Konduktor von $31,4$ Quadratmeter Oberfläche

träfe es so viel Elektrizität, als durch den Verbrauch von ungefähr 2,5 Gr. Zink in der Bunsen'schen Kette entsteht. Diese Elektrizität ist äquivalent einer Wärmemenge von ungefähr 2,5 Wärmeeinheiten, d. h. sie wäre durch ihren Uebergang in Wärme im Stande, ungefähr 2,5 Kilogr. Wasser um 1° C. zu erwärmen.

Die Entstehung und Ausbildung eines Gewitters hat man sich nun in folgender Weise vorzustellen:

Wir gehen von dem Fall aus, dass das Gewitter durch einen aufsteigenden Luftstrom zu Stande komme, weil sich in diesem Falle am besten ein Einblick in den Zusammenhang der Erscheinung gewinnen lässt und die so gewonnenen Resultate dann in der Hauptsache auch auf diejenigen Gewitter anwendbar sind, welche auf andere Art entstehen. Es ist gleichgültig, auf welche Art der aufsteigende Luftstrom zu Stande komme, ob in Folge der Auflockerung durch die Wärme oder durch den Feuchtigkeitsgehalt der steigenden Luft (denn feuchte Luft ist bei gleicher Spannkraft leichter als trockene) oder durch einen horizontalen Luftstrom, der an einer Bergwand oder an einem andern derartigen Hinderniss in die Höhe steigt, oder durch einen Wirbel mit horizontaler oder schiefer Achse.

Wenn nun auf eine dieser Arten eine warme feuchte Luftmasse in die Höhe steigt, so folgt aus den Zahlen S. 68, dass eine lebhaftere Dampfkondensation erst in einer Höhe von mehr als 4000^m eintreten kann, weil die Abkühlung durch Ausdehnung und die Erwärmung durch Dampfkondensation sich bis in diese Höhe das Gleichgewicht halten. Es ist dabei von dem

abkühlenden Einfluss der Wärmeableitung durch die umgebende Luft und der Ausstrahlung aus den S. 71 angeführten Gründen abgesehen. Die aufsteigende feuchte Luft wird deswegen bis in um so grössere absolute Höhe keine Wolkenbildung veranlassen, je höher ihre anfängliche Temperatur und je weniger sie ursprünglich mit Wasserdampf gesättigt ist. In einer gewissen Höhe nun aber wird die Ausscheidung beginnen, und wenn sie mit hinlänglicher Lebhaftigkeit erfolgt, so wird dadurch die Gewitterbildung eingeleitet. An der Stelle der Kondensationswärme erscheinen die beiden elektrischen Zustände; da keine Erhöhung der Lufttemperatur eintritt, so wird die Bläschenbildung energisch genug, um sogleich zur Tropfenbildung zu führen. Vielleicht wird die Tropfenbildung auch durch Bildung von Eiskrystallen, von Schnee ersetzt. Tropfen und Schnee nehmen nun beim Fallen die negative Elektrizität mit sich. Die trocknen Schneekrystalle wären dazu vielleicht besser geeignet als Wassertropfen, weil sie die bei ihrer Bildung aufgenommene Elektrizität als schlechte Leiter nicht so leicht an die Luft abtreten.

Wie dem aber auch sei, so gelangt das ausgeschiedene Wasser mit sehr niedriger Temperatur in eine tiefere wärmere Region, kühlt diese ab und leitet nun auch in dieser die heftige Bläschenbildung ein, die Gewitterwolke wächst in Folge hievon von oben nach unten, die Abkühlung pflanzt sich von oben nach unten fort, nicht durch herabsinkende Luft, diese kann ja nach dem S. 72 Gesagten keinen abkühlenden Einfluss auf die tiefern Regionen ausüben, sondern durch die herabstürzenden kalten Wasser-

oder Eismassen. Man erkennt den Einfluss derselben schon an der Form der Gewitterwolke. Alle Beobachter von hagelnden Wolken reden von sackartigen Anhängseln an der untern Fläche der Wolke; es sind das eben die Stellen, an welchen kalte Wasser- oder Eismassen niederstürzen und die zur Dampfkondensation nöthige Abkühlung veranlassen.

Da die Bläschen nur sehr kurze Zeit elektrisch sind, indem sie entweder ihre Elektrizität an die entgegengesetzt elektrische Luft abtreten oder zu Tropfen zusammenfliessen und aus der Wolke fallen, und da sie in verschiedenen Parthien der Wolke sich nicht zu gleicher Zeit ausbilden, so ist damit auch der Einwurf widerlegt, dass, falls die Bläschen elektrisch wären, sie einander abstossen und aus einander weichen müssten, dass die Gewitterwolke sich in Folge hievon zerstreute.

Wenn die Bläschen in Tröpfchen zusammenfliessen, so vermindert sich ihr Volumen durch den Austritt der Bläschenluft, so dass es zu einem Tropfen von 1 Kubikmillimeter Inhalt 136000 Bläschen von 0,0606^{mm} Durchmesser braucht. In Luft von der S. 88 angenommenen Beschaffenheit sind diese Bläschen in einem Raum von ungefähr 50 Kubikcentimetern enthalten; eine solche Luftmasse wird mithin durch die Bildung eines Tropfens von 1 Kubikmillimeter Inhalt frei. Nun ist die Oberfläche dieses Tropfens 325 Mal kleiner als diejenige der zu seiner Bildung aufgebrauchten Bläschen; es ist mithin auch die Spannung der auf ihm angehäuften negativen Elektrizität 325 Mal grösser als auf einem Bläschen. Wenn nun solche stark negativ elektrische Tropfen auf die untern

noch unelektrischen Luftschichten fallen, so können sie eben wegen dieser hohen Spannung ihrer Elektrizität diese an die Luft abtreten und die Entstehung einer negativ elektrischen Luftmasse veranlassen. Während also die Luft in der Höhe positiv ist, kann die unter ihr negativ werden. Durch die Winde, die ja beim Gewitter nie fehlen, können dann solche entgegengesetzt elektrische Luftmassen auch neben einander zu liegen kommen. So mag sich die Erscheinung erklären, dass in der nämlichen Gewitterwolke positiv elektrische Parthien mit negativ elektrischen abwechseln.

Unter andern Umständen kann aber der Regen sich auch positiv verhalten. Wenn er nach Abgabe seiner negativen Elektrizität durch eine stark positiv elektrische Luftmasse stürzt, so kann er durch Aufnahme von deren Elektrizität positiv werden und in diesem Zustande an die Erdoberfläche gelangen. Es wird das um so eher geschehen, je länger die Regentropfen in der positiv elektrischen Luftschicht verharren, z. B. je langsamer sie fallen. Damit stimmt auf's Ungezwungenste die Erscheinung überein, dass die Regen, namentlich die Gewitterregen, bei ihrem Beginn fast immer negativ elektrisch sind. Daher mag es zum Theil kommen, dass der Schnee immer positiv elektrisch ist. Ausserdem ist der Schnee durch seine Spitzen und Kanten besonders befähigt, seine negative Elektrizität auszustrahlen und die positive der Luft aufzunehmen, sobald er feucht und leitend ist.

Ist diese Ansicht richtig, so erklärt sich daraus auch die Verschiedenheit der Zickzackblitze und der Flächenblitze. Letztere sind nach den spektrosko-

pischen Untersuchungen von Herrn Professor Kundt Büschelentladungen. Nun bestehen künstliche Büschelentladungen in dem Uebergang der Elektrizität von einem abgerundeten Leiter auf die Luft. Es scheint daher, die Flächenblitze entstehen dadurch, dass die stark elektrischen fallenden Regentropfen als kugelförmige Leiter an die Luft ihre Ladung negativer Elektrizität abgeben oder unter andern Umständen von der stark positiven Luft diese positive Elektrizität aufnehmen. Die Zickzackblitze dagegen sind mit den Funken zu vergleichen, die aus einem elektrischen Nichtleiter, einer geriebenen Siegellack- oder Glasstange u. dgl., gezogen werden können. Es wird daraus auch begreiflich, dass die Zahl der Flächenblitze so ungleich viel grösser ist als die der Zickzackblitze; jene können durch jede vereinzeltere Kondensation, jeden einzelnen Regenfall verursacht werden; diesen dagegen muss eine viel stärkere Ansammlung vorangehen, weil sie einen viel grössern Widerstand zu überwinden haben. Solche Zickzackblitze können aber bloss von der Wolkenluft, nicht von den Bläschen ausgehen, wie man sonst wol angenommen hat, weil die Bläschen nur sehr kurze Zeit elektrisch bleiben, und, wie schon oben gesagt, nur in kleinern Wolkenparthien gleichzeitig im elektrischen Zustand vorhanden sind. Dazu kommt, dass die Luft ein Kontinuum, einen zusammenhängenden Körper bildet, der nur durch molekuläre Zwischenräume unterbrochen ist, während die Bläschen durch verhältnissmässig weite Zwischenräume von einander getrennt sind. Bei der oben vorausgesetzten Häufigkeit der Bläschen (2725 Mill. in 1 Kubikmeter Wolkenluft) ist ihr gegenseitiger Abstand 11,8 mal grösser

als ihr Durchmesser. Nun wird man aber einen isolirten kugelförmigen Leiter künstlich kaum so stark laden können, dass er auf eine derartige Distanz Funken abgibt; und doch liesse sich die Entstehung des Blitzes aus einer Bläschenmasse nur so denken — wenn es überhaupt nicht der Natur der Dinge widerspräche — dass die Elektrizität von Bläschen zu Bläschen überspränge. Wir kennen freilich die Eigenschaften einer durch und durch elektrisirten Luftmasse noch zu wenig, um darüber mehr als Vermuthungen aussprechen zu können; aber die merkwürdige Eigenthümlichkeit der Luft, bei starker Verdünnung zu einem Leiter zu werden, spricht wol für die Möglichkeit, dass aus einer elektrisirten Luftmasse von grosser Ausdehnung Blitze hervorbrechen können.

Wenn die Flächenblitze durch den Uebergang der negativen Elektrizität der Wassertropfen auf die positiv elektrische Luft entstehen, so haben sie eine Ausgleichung der getrennten Elektrizitäten und damit eine Wärmeerzeugung in der Wolke selber zur Folge; in diesem Falle verzögern sie daher die Dampfkondensation und verlangsamen den Gang des Gewitters. Die Zickzackblitze dagegen führen die lebendige Kraft der Kondensationswärme in die weitere Umgebung ab und verbrauchen sie hier zur mechanischen Zertrennung, Zusammenpressung und Erschütterung der Luft (der Donner verzehrt auch eine gewisse Wärmemenge der Gewitterwolke), auch zur Zersetzung derselben. Dass die letztere eine bedeutende Wärmemenge repräsentirt, folgt aus der Ozonentwicklung beim Einschlagen des Blitzes und aus dem Gehalt des Gewitterregens an Salpetersäure. Letztere kann nur entstehen, wenn

durch die Elektrizität das Band gelöst wird, welches die Atome des Stickstoffs, Sauerstoffs und Wasserstoffs zu Molekülen zusammenschliesst, so dass ihre Valenzen zur Bildung neuer Verbindungen frei werden. Ausserdem wird der Zickzackblitz auf seinem Wege auch Wärme erzeugen, wie er das ja beim Einschlagen in reichem Maasse thut; denn im Grund ist der Blitz nichts anderes als ein elektrischer Strom, durch welchen entgegengesetzte Elektrizitäten entfernter Luftmassen sich ausgleichen, in Wärme zurückverwandeln. Möglicherweise hängt damit die Erfahrung zusammen, dass beim Hagelschlag der Hagel manchmal in zwei parallelen Strichen fällt, die durch einen hagelfreien Strich von einander getrennt sind. Es wäre wenigstens denkbar, dass die zwischen den hagelnden Wolkenmassen hin- und herzuckenden Blitze die dazwischen liegende Luft sich nicht in dem zur Hagelbildung nothwendigen Grade abkühlen liessen.

Sehr gut stimmt mit unserer Annahme von der Entstehung und Bedeutung der Gewitterelektrizität die bekannte Thatsache überein, dass kurz nach dem einem heftigen Blitz, gewöhnlich noch vor Donner, ein verstärkter Regen- oder Hagelfall wahrgenommen wird. Da der Schall sich in einer Sekundè 340 Meter weit fortpflanzt, die Fallgeschwindigkeit des Regens oder Hagels jedenfalls aber viel geringer ist als 340 Meter, nämlich für eine Wasserkugel von 0,02 Meter Durchmesser wegen des Luftwiderstandes nur 10,5 Meter (s. Röber in Schlämilch, Zeitschr. für Math. u. Phys., Bd. X, 123), so muss Regen und Hagel, der mit dem Schall oder noch vor ihm auf dem Boden anlangt, jedenfalls vor dem

Blitze in der Wolke entstanden sein. Erst wenn der Regen aus der Wolke, in welcher er entstanden, gefallen ist und die negative Elektrizität mit sich in die Tiefe genommen hat, kann die positive Elektrizität der Wolkenluft sich in einem Funken, dem Blitz, entladen.

Sobald die Kondensationswärme des Wasserdampfes in Form von Elektrizität beseitigt ist, so bietet die Erklärung der Hagelbildung keine wesentlichen Schwierigkeiten mehr. Ist die Luft durch ihr Aufsteigen in 3000 Meter Höhe auf $-4,3^{\circ}$ abgekühlt und die in ihr schwimmenden Wasserbläschen mit ihr, so werden diese beim Zusammenfließen erstarren; dabei wird nun allerdings eine bedeutende Menge Wärme entwickelt, nämlich auf jedes Kilogramm Eis 79 Wärmeeinheiten; diese wird aber von der $-4,3^{\circ}$ kalten Luft aufgenommen. Die Menge derselben beträgt nach der obigen Berechnung 100,000 Mill. Kilogramm. Um diese Luft von $-4,3$ auf 0° zu erwärmen, bedarf es

$$100000000000 \cdot 4,3 \cdot 0,2375 = 102000000000$$

Wärmeeinheiten, d. h. mehr als die Erstarrungswärme der gesamten Wassermenge von 1000 Mill. Kilogr., welche aus der Wolke ausgeschieden wird, und von welcher ein grosser Theil in flüssiger Form auf der Erde anlangt. Aus dem Gesagten folgt übrigens, dass wenigstens im Sommer der Beginn der Hagelbildung in grosser Höhe zu suchen ist. Wenn nun das entstehende Hagelkorn durch die Wolkenmasse fällt, von der wir annehmen wollen, dass sie überall gleich reich an Bläschen sei, und dasselbe immer die gleiche Seite nach unten kehrt, was man aus seiner im Durchschnitt

pyramidalen Form schliessen kann, so wächst es durch Aufnahme der von ihm getroffenen Bläschen beim Fall durch 1 Meter um 0,02 Millimeter in die Länge; denn so hoch würde das Wasser aus einem Kubikmeter dessen Boden bedecken. 1000 Meter Fallhöhe vermehren demnach die Länge des fallenden Hagelkornes um 20 Millimeter. Es ist natürlich, dass das Wasser sich grösstentheils auf der untern Seite des Kornes ansetzt und dass in Folge hievon das Korn da nicht bloss an Länge, sondern auch an Breite zunimmt, was eben jene pyramidale Form entstehen lässt. Auch bei diesem Anwachsen wird das Korn durch die von ihm verdrängte Luft abgekühlt, da diese immer etwa 30 Mal schwerer ist, als die aus ihr abgeschiedene Wassermenge.

Während beim Gewitter die Schwerkraft die Trennung der durch Dampfkondensation entstandenen entgegengesetzten Elektrizitäten veranlasst, geschieht es bei den Tromben durch die Zentrifugalkraft. Durch die wirbelnde Bewegung entsteht eine Verdünnung der Luft in der Achse der Trombe; die Folge davon ist eine Abkühlung, welche Bläschenbildung veranlassen kann. Da nun die Zentrifugalkraft proportional ist der Masse des rotirenden Körpers, die Bläschen aber 60—400 Mal schwerer sind als die von ihnen verdrängte Luft, so werden sie diese bei ihrer zentrifugalen Bewegung überholen und aus den innern Theilen der Trombe weggeschleudert werden. Der Erfolg ist daher der nämliche, wie bei der raschen Tropfenbildung in der Gewitterwolke: die Luft in der Trombe wird in den positiv elektrischen Zustand versetzt und kann dadurch zu elektrischen

Explosionen, zu Blitzen, befähigt werden. Die Stärke dieser Entladungen ist mithin abhängig von der Lebhaftigkeit der wirbelnden Bewegung.

Die lebhafteste Dampfkondensation findet da statt, wo der Temperaturunterschied mit zunehmender absoluter Höhe und der Dampfgehalt der Luft am grössten sind, d. h. in der heissen Zone. Hier sind die Niederschläge mit elektrischen Explosionen die Regel, diejenigen ohne solche die Ausnahme. Mit der Entfernung vom Aequator werden die Gewitter seltener, die Niederschläge ohne elektrische Entladungen häufiger, und in den kalten Zonen fehlt das Gewitter überhaupt und wird durch das Polarlicht ersetzt. Indess zeigen sich auch an den gewöhnlichen Niederschlägen elektrische Erscheinungen, nur in viel schwächerem Grade. So ist der Nebel um so stärker elektrisch, und zwar fast immer positiv, je dicker er ist, je mehr also die Möglichkeit gegeben ist, dass die Wasserbläschen zusammenfliessen, zu Boden fallen und die Luft im positiv elektrischen Zustand zurücklassen. Der Regen ist bald negativ und bald positiv. Negativ muss er werden durch rasche Kondensation des Dampfes (s. S. 84—85). Die positive Elektrizität kann nur davon herrühren, dass der Regen die positive Elektrizität der Luft aufnimmt. Bei der langsamen Wolkenbildung haben nämlich die Bläschen vor ihrem Zusammenfliessen Zeit, ihre Elektrizität an die entgegengesetzt elektrische Luft abzutreten, so dass die sich bildenden Regentropfen unelektrisch sind. Es ist nicht möglich, dass dieser Regen durch die positiv elektrische Luft fällt, ohne selbst positiv-elektrisch zu werden (s. S. 92).

In der Elektrizität, welche die Bläschenbildung begleitet, ist nun wol auch die Quelle der normalen atmosphärischen Elektrizität zu suchen. Wenn der Regen bei seinem Entstehen negative Elektrizität annimmt, so darf man mit ziemlicher Sicherheit erwarten, dass er vorwiegend mit negativer Elektrizität auf dem Boden anlangen wird, dass also mehr positive als negative Elektrizität in der Luft zurückbleibt. Wenn aber von der Luft Blitze ausgehen, so wird sie als schlechter Leiter noch einen Theil ihrer Elektrizität zurückbehalten, und dieser elektrische Rückstand der Luft ist die normale atmosphärische Elektrizität, die eben desswegen positiv ist.

Die Ableitung der Normalelektrizität aus der chemischen Einwirkung des Meerwassers auf die Stoffe der festen Erdrinde (Theorie von De la Rive und Bequerel) ist wol desswegen nicht annehmbar, weil diese Stoffe im Zustand des geschlossenen Stromkreises sich befinden, da sie einerseits durch das Wasser, andererseits durch den festen Erdboden mit einander in Verbindung stehen, etwa wie zwei zusammengelöthete Platten von Kupfer und Zink, die so in's Wasser getaucht sind, dass die Löthstelle zum Theil von diesem bedeckt ist. In diesem Falle entstehen wol elektrische Ströme, dagegen ist keine freie Elektrizität wahrnehmbar.

So lange nun freilich der nähere Vorgang bei dem Uebergang der Gasmoleküle in die Bläschenform nicht aufgeklärt ist, hält es schwer, sich von dem elektrischen Prozess, der dabei vor sich geht, eine sichere Vorstellung zu machen. Immerhin sind einige Umstände geeignet, wenigstens einiges Licht

auf die Sache zu werfen. Zunächst ist bemerkenswerth, dass nach den Beobachtungen von Meissner (Untersuchungen über den Sauerstoff, 1863) der Wasserdampf nur in einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre zu Bläschen kondensirt, bei Abwesenheit von Sauerstoff dagegen unmittelbar in massive Tropfen übergeht, ob nun die Ausscheidung in Stickstoff, Wasserstoff, Kohlensäure oder Wasserdampf vor sich gehe. Wenn nun auch diese Thatsache nicht zu der Annahme berechtigt, welche Meissner aufstellt, dass alle elektrischen Erscheinungen in der Atmosphäre durch die positive Elektrizität des Antozons hervorgerufen werden, welches durch die Oxydationsprozesse an der Erdoberfläche entsteht, so lässt sie doch den Schluss ziehen, dass bei der Bläschenbildung noch andere Kräfte thätig sind als bloss die Kohäsion der Wassermoleküle.

Nun hat ferner die Bläschenbildung einen Einfluss auf die Diffusionserscheinungen. Da die Bläschenluft unter dem oben berechneten Kohäsionsdruck steht, so sollte man erwarten, dass dieselbe von dem Wasser des Bläschens in einer diesem Drucke entsprechenden Menge aufgenommen würde, und dass daher, da der Druck von aussen kleiner ist, diese absorbirte Luft nach der Seite des kleinern Druckes diffundirte, und zwar mit zunehmender Geschwindigkeit, weil beim Kleinerwerden des Bläschens der Kohäsionsdruck grösser wird, d. h. dass die Bläschenluft rasch verschwände und das Bläschen sich in ein Wassertröpfchen verwandelte. Da das letztere in gesättigter Luft nicht beobachtet wird, so kann auch jene Diffusion nicht stattfinden, das so äusserst dünne

Wasserhäutchen bildet für das eingeschlossene Gas eine undurchdringliche Schranke. Es ist gerade so, wie wenn in Folge des Kohäsionsdruckes die Moleküle des Wassers so dicht bei einander wären, dass diejenigen der Luft nicht zwischen sie einzudringen vermöchten.

Eine fernere Eigenthümlichkeit der Bläschen ist ein gewisser Widerstand derselben gegen die Verdunstung. Die Wasserbläschen (s. S. 75), welche das diffuse Tageslicht, die blaue Farbe des Himmels und die Erscheinung der Morgen- und Abendröthe bedingen, müssen zu allen Zeiten in der Luft schwimmen, bald in grösserer, bald in geringerer Menge, sonst müsste ja der Himmel zeitweise schwarz erscheinen. Nun ist aber die Luft bei recht klarem Himmel nicht mit Wasserdampf gesättigt, weder in den tiefen, noch in den hohen Regionen. Man sollte nun erwarten, dass in solcher Luft diese zarten Bläschen durch Verdunstung rasch verschwinden müssten. Dass das nicht geschieht, scheint dafür zu sprechen, dass die Wassermoleküle in den Bläschen durch eine stärkere Kraft zusammengehalten und an einander gebunden werden, als es sonst beim Wasser der Fall ist.

Es scheint mir, diese Nichtdiffusion der Luft durch die Bläschenwand und der Widerstand der letztern gegen die Verdunstung seien in theoretischer Hinsicht sehr wichtige Erscheinungen, welche darauf hinweisen, dass die Wassermoleküle im Bläschen in einer besondern Art gruppirt sind. Da die Bläschen nach allen Richtungen die nämlichen Erscheinungen zeigen, so kann diese Gruppierung nicht wol anders als eine regelmässige sein, etwa zu vergleichen

mit derjenigen der Moleküle eines Krystalles. Von dieser Regelmässigkeit der Anordnung kann aber auch ein elektrischer Einfluss erwartet werden; sehen wir doch in vielen Krystallen beim Erwärmen elektrische Erscheinungen eintreten und nimmt man ja allgemein an, dass beim Entstehen des galvanischen Stromes die Moleküle in der Flüssigkeit der Säule in bestimmter Art regelmässig gruppirt sind, in der Art z. B., dass in allen Wassermolekülen das Sauerstoffatom zunächst nach dem positiven Metall hin gerichtet ist.

Wie mir scheint, lässt sich bloss auf experimentellem Wege entscheiden, ob die vorgetragene neue Theorie des Gewitters der Natur entspreche oder nicht. Diese Prüfung sollte nicht allzu schwer sein und lässt sich in verschiedener Art ausführen; es handelt sich nur darum, die Wasserbläschen kurz nach ihrer Bildung aus der Luft, in der sie entstanden sind, zu entfernen. Das lässt sich entweder dadurch erreichen, dass man feuchte warme Luft so stark abkühlt, dass ein künstlicher Regen oder Schneefall entsteht, oder dadurch, dass man die Bläschen durch Zentrifugalkraft aus der Luft entfernt. Jene Abkühlung kann wieder auf zwei verschiedene Arten erreicht werden: Entweder lässt man in die feuchte warme Luft einen sehr stark abgekühlten Luftstrom eintreten, wobei man sich daran erinnern mag, dass einst in einem Theater in Petersburg durch Einschlagen eines Fensters ein künstlicher Schneefall entstand, oder man presst die Luft zusammen, lässt sie mit Dampf sich sättigen und bringt die nöthige Abkühlung dadurch hervor, dass man das Gefäss mit der komprimirten Luft öffnet und diese sich ausdehnen

lässt. Die Abkühlung durch einen kalten Luftstrom dürfte die sichersten Resultate geben, weil dabei keine Reibung stattfindet. Es dürfte sich endlich auch fragen, ob nicht mit der Armstrong'schen Hydroelektrisirmaschine ein Resultat zu gewinnen wäre, wenn man den Dampfstrahl einen kalten Luftstrom in sich aufsaugen liesse, statt ihn durch ein Gefäss voll Wasser abzukühlen.

N o t i z e n.

Orthoklas an der Fibia am St. Gotthard. — An einem kleinen Krystalle des Orthoklas, welcher 20 Millimeter hoch, 15 Millimeter breit und dick und an beiden Enden ausgebildet ist, fand ich eine zwölfzählige Combinationsgestalt: In der vertikalen Zone herrscht das Prisma ∞P mit stark glänzenden und fein vertikal gestreiften Flächen vor, untergeordnet sind die Längsflächen $\infty P \infty$ und die Prismenflächen $\infty P \beta$. Die letztern sind schimmernd und rauh durch feinen erdigen rauhen Anflug, während die Längsflächen glänzen. Sehr schmal und glänzend sind die Querflächen sichtbar, welche an zwei kleineren, mit paralleler Stellung der Hauptachsen angewachsenen und nach der Längsachse reihenförmig verbundenen Krystallen, breit und stark glänzend sind. Am Ende des grossen Krystalles treten auf der einen Seite das hintere Querhemidoma $P' \infty$, das hintere Querhemidoma $\frac{2}{3}P' \infty$ und die Basisflächen oP auf, während auf der andern Seite die Basisflächen stark vorherrschen. Die letztern haben den stärksten Glanz unter den Flächen der horizontalen Zone und sind horizontal unterbrochen gekerbt, wie es oft an den Krystallen von der Fibia vorkommt, die andern beiden Flächen glänzen weniger und zeigen feine horizontale Streifung. Ferner sind sichtbar das Längsdoma $2P \infty$, rauh wie die Prismenflächen $\infty P \beta$, die hintere Hemipyramide P' glänzend