

Gewitterstudien

auf Grund von Ballonfahrten.

Von

Leonhard Sohncke.

Abschnitt I.

Der 19. Juni 1889.

§ 1. Einleitung.

Vor mehreren Jahren habe ich die Ansicht zu begründen gesucht, dass der Ursprung der Gewitter-Elektricität auf die in den höheren Luftschichten erfolgende Reibung von Eis- und Wassertheilchen zurückzuführen sei.¹⁾ Nach Ausweis von leicht anzustellenden Laboratoriumsversuchen ist nämlich solche Reibung thatsächlich eine ergiebige Elektricitätsquelle. Ich machte auf die dicht vor Gewittern fast regelmässig zu beobachtenden Cirruswolken als „Eisträger“ aufmerksam und verfolgte die aus Wassertröpfchen bestehenden im Aufsteigen begriffenen Cumuluswolken bis in die Eisregion, die auch im Sommer schon in 3000 bis 5000 Meter Höhe oder noch früher erreicht wird.

Von besonderer Wichtigkeit musste natürlich der Nachweis erscheinen, dass nahe vor dem Ausbruch eines Gewitters die Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse der Atmosphäre in der That solche sind, welche das Auftreten von Wasser- und Eistheilchen in gleicher Höhe nebeneinander und ihre Reibung aneinander bedingen: ein Nachweis, der nur durch Beobachtungen im Luftschiff bei gewitterhafter Wetterlage zu erbringen war. Doch fand ich damals in der Literatur nur ein paar vereinzelte Fahrten aufgezeichnet, die dicht vor einem Gewitter ausgeführt waren, so dass in dieser Beziehung noch viel zu wünschen übrig blieb.

1) L. Sohneke: Der Ursprung der Gewitter-Elektricität und der gewöhnlichen Elektricität der Atmosphäre. Jena. Fischer 1885. 8°. 74 Seiten.

Es ist der Zweck des Folgenden, zur Ausfüllung dieser Lücke einige Beiträge zu liefern, was dadurch ermöglicht wird, dass seither mehrere Luftfahrten an Gewittertagen ausgeführt worden sind. Von den neun zu behandelnden Fällen ist es namentlich einer, für den die Witterung in Folge besonders günstiger Umstände so genau bekannt ist, wie für gar keinen andern Gewittertag. Seine Untersuchung war daher von allergrösster Wichtigkeit für die Prüfung der fraglichen Theorie; sie bildet den Hauptinhalt der vorliegenden Arbeit: Abschnitt I. Die Besprechung der anderen acht Fälle nimmt den Abschnitt II ein. Zu seiner Abfassung bedurfte ich zahlreicher meteorologischer Data, für deren Aufsuchung und Mittheilung ich Herrn Direktor Dr. Erk zu besonderem Danke verpflichtet bin.

Im Sommer 1889 hatten die Herren Professor Dr. Assmann und Ingenieur v. Sigfeld einen gross angelegten Plan zur Erforschung der an einem bestimmten Tage über einem grösseren Ländergebiet gleichzeitig herrschenden atmosphärischen Zustände entworfen. Dieser Plan fand am 19. Juni 1889 seine Verwirklichung, und zwar in noch erweiterter Gestalt, welche durch gemeinsame Berathung der Herren v. Sigfeld, Direktor C. Lang und Hauptmann Brug festgestellt war. Während von München aus die Herren v. Sigfeld und Brug zum Studium der freien Atmosphäre im Ballon aufstiegen, stellte Herr Assmann auf dem Säntis in 2500 m Höhe mit seinem Aspirationspsychrometer meteorologische Beobachtungen an. Gleichzeitig stiegen, auf Anregung des Direktors des k. preussischen meteorologischen Instituts, Herrn v. Bezold, in Berlin drei Ballons der k. preussischen Luftschifferlehrabtheilung auf, deren einer, zu wissenschaftlichen Beobachtungen bestimmt, mit den Herren Premierlieutenants Moedebeck und Gross bemannt war. Herr Lang, der damalige Direktor der k. bayer. meteorologischen Centralstation, veranlasste gleichzeitige stündliche Beobachtungen an sehr vielen bayerischen, sowie an mehreren schweizerischen, württembergischen, österreichischen und preussischen Stationen; auch erwirkte er für denselben Tag bei der deutschen Seewarte in Hamburg Beobachtungen in einem Fesselballon, den Herr Rodeck zur Verfügung gestellt hatte. Alle diese Beobachtungen erfolgten stündlich — oder noch häufiger — und zwar nach Münchener Zeit.

Ein grosser Theil dieses ausgedehnten Beobachtungsmaterials, zu dessen Gewinnung etwa an 120 Stationen, abgesehen von den Ballons, Beobachtungen angestellt waren, liegt in zwei Abhandlungen und einem Feuilletonartikel gedruckt vor¹⁾ und ladet zu weiterer Verwerthung für die vorliegende Frage ein. Denn an demselben Tage kamen im Süden Deutschlands schon zur Mittagszeit, im Norden meist erst gegen Abend an vielen Orten Gewitter zum Ausbruch. Dieselben erscheinen übrigens, wenn auch weit verbreitet, doch keineswegs als besonders grossartig und zahlreich, wie es diejenigen einiger anderer Junitage desselben Jahres waren. Denn an der k. b. meteorologischen Centralstation München liefen für diesen Tag nur 92 Gewittermeldungen ein, für den 13. und 30. Juni 1889 aber 358 und 392.

Als hochbedeutende Ergänzung der bereits publicirten Beobachtungen stellte mir Herr v. Sigsfeld mit liebenswürdigster Bereitwilligkeit seine bei der Münchener Ballonfahrt angestellten, noch unveröffentlichten Beobachtungen zur völlig freien Verfügung; ebenso Herr Assmann seine Beobachtungen vom Säntis. Auch der gegenwärtige Direktor der k. b. met. Centralstation Herr Dr. Erk unterstützte meine Arbeit in jeder Beziehung, insbesondere gestattete er in liberalster Weise die Benutzung des gesammten auf diesen Tag bezüglichen, bei der met. Centralstation zusammengeströmten Beobachtungsmaterials, von welchem Herr Lang hauptsächlich nur die in Zahlen niedergelegten Beobachtungen der met. Stationen bearbeitet hatte. Unter diesem Material fand ich auch die Beobachtungen, welche in Hamburg nicht nur im Fesselballon, sondern auch an der Seewarte selbst, sowie auf dem Michaelskirchthurm ausgeführt und der meteorologischen Centralstation München zur Verfügung gestellt waren. Endlich waren die Direktoren der k. preussischen und der k. k. österreichischen meteorologischen Centralanstalten, die Herren

1) a. Beobachtungen der meteorologischen Stationen Bayerns und der Nachbargebiete am 19. Juni 1889 gelegentlich einer Ballonfahrt. Bearbeitet von C. Lang. In: Beobachtungen der met. Stationen im Königreich Bayern. Herausgeg. von Lang und Erk. Bd. 9. Jahrgang 1889.

b. Einige wissenschaftliche Ergebnisse gleichzeitiger am 19. Juni 1889 angestellter Beobachtungen in den höheren Luftschichten im Luftballon und meteorolog. Hochstationen. Theil I: Ergebnisse mehrerer gleichzeitiger Ballonfahrten. Von Gross. In Zeitschr. f. Luftschiffahrt. Jahrg. 8. 1889. S. 249.

c. Die Luftballonfahrt am 19. Juni. In: Münchener Neueste Nachrichten. Dienstag den 2. Juli 1889. Vorabendblatt. No. 297.

v. Bezold und Hann, so liebenswürdig, mir eine Reihe von Beobachtungsdaten dieses Tages zu übermitteln. Allen diesen Herren sei für die bereitwillige Unterstützung meiner Untersuchung der ergebenste Dank ausgesprochen.

Das so gewonnene reiche Material gestattete nun in der That, für jenen Tag die Ausbildung der Gewitter — wenigstens in Süddeutschland — gleichsam Schritt für Schritt zu verfolgen.

§ 2. Allgemeine Wetterlage um 8 Uhr Vormittags.

a. Luftdruck und Wind.

Seit dem 16. Juni 1889 lagerte hoher Luftdruck im Nordwesten des Continents. In Bayern war — nach Ausweis der gedruckten Terminbeobachtungen von 16 Stationen — der Himmel am 16. und 17. fast dauernd vollständig bedeckt gewesen, und es hatte am 16. viel, am 17. weniger geregnet, an einigen Stationen auch noch in der Nacht zum 18. Der 18. selbst war, vom frühen Morgen an, in Bayern überall regenfrei, der Himmel allgemein viel weniger bedeckt als an den vorhergehenden Tagen. Im nördlichen Bayern war es sogar recht heiter, und es gab hier Morgens Thau. Der 19. brachte einen heiteren, trockenen und warmen Morgen und schnell steigende Temperaturen.

Die Isobaren vom 19. Morgens 8^h zeigen,¹⁾ abgesehen von der pyrenäischen Halbinsel, auf dem übrigen Continent nur Drucke zwischen 760 und 764 mm. Erst im nördlichen Skandinavien und in England treten höhere Drucke auf. Ein Maximum von 764 mm erstreckt sich von Prag bis Krakau, ein Minimum von 760 mm liegt über der südlichen Ostsee. Dieses „verliert bei seinem weiteren südwestwärts gerichteten Fortschreiten nach der Oderniederung rasch an Tiefe, während ein an diesem Tage über Franken erscheinendes flaches Theilminimum rasch östlich nach Mähren wandert und sich am 20. nach Ungarn verlagert.“²⁾ Ueber Süddeutschland finden sich Morgens 8^h nur Druckunterschiede von 2 mm; es zieht sich ein Streifen niedrigen Druckes (762 mm oder weniger),

1) Vgl. Lang a. a. O.

2) Monatsberichte der deutschen Seewarte für 1889.

östlich vom Bodensee beginnend, ungefähr am Nordabhange der Alpen entlang nach Osten, zwei etwas tiefere Depressionen ($761\frac{1}{2}$ mm) aufweisend: eine im Algäu, die andere am Chiemsee. Rings um diesen Streifen steigt der Druck auf süddeutschem Gebiet nicht höher als bis $763\frac{1}{2}$ mm.

Die um 8^h an der Erdoberfläche beobachteten Windrichtungen harmoniren mit dieser Druckvertheilung; aber entsprechend den geringen Druckunterschieden ist die Luftbewegung überall nur sehr schwach, auch vielfach wechselnd, und flaut bis gegen 10 oder 11 Uhr immer mehr ab.

Die Wetterlage entspricht also vollkommen jener, die nach v. Bezold für die Entstehung von Wärmegewittern charakteristisch ist. „Wärmegewitter verlangen zu ihrer Bildung ruhige Luft, ohne ausgesprochene cyclonale oder anticyklonale Bewegung, und ungehinderte, kräftige Insolation.“ „Sie entstehen in Gebieten, über welchen weder ein ausgesprochener aufsteigender noch absteigender Strom vorhanden ist, so dass am Erdboden Gelegenheit zu Ueberhitzungen geboten ist, die alsdann in diesem Theil der Atmosphäre labiles Gleichgewicht zur Folge haben.“ ¹⁾ Der lokale Charakter aller Gewitter dieses Tages geht auch daraus hervor, dass die allgemeine Wetterlage durch sie in keiner Weise geändert wurde. Der folgende Tag (20.) war allgemein bewölkt und warm; und die Druckunterschiede über Europa waren noch geringer geworden wie zuvor, während das Barometermaximum kaum verändert im fernen NNW lagerte.

In der Höhe herrschte übrigens am Vormittag des 19. anderer Wind als in der Tiefe; er wehte oben, wie es scheint, wesentlich aus dem westlichen Quadranten. Das zeigt der Zug der höchsten Wolken (Cirren), wovon nachher die Rede sein wird. Das lehren aber auch die Beobachtungen der Bergstationen.

Sonnblick (3095 m).²⁾ 7—10^h WSW₂, dann bis 3^h p m SW, in den folgenden Stunden Winde aus dem nördlichen Quadranten, während in dem 1500 m tiefer gelegenen Kolm³⁾ um 7^h a m S₁, um 2^h und 9^h p m aber Windstille herrschte.

1) Zur Thermodynamik der Atmosphäre. Vierte Mittheilung. Uebersättigung und Ueberkaltung. Gewitterbildung. S. 18 und 19. In: Sitzgsber. d. k. preuss. Akad. d. Wiss. Berlin 1892. S. 296 und 297.

2) Pernter: Die Windverhältnisse auf dem Sonnblick. Denkschr. der Wiener Akademie. Bd. 58. Wien 1891. S. 78.

3) Gefällige briefliche Mittheilung des Herrn Hann.

Säntis (2500 m). 8—10^h WSW₂, während die benachbarten tiefer gelegenen Schweizer Stationen Altstätten (Canton St. Gallen, 470 m) und Heiden (Appenzell, 800 m) von 8—1^h Nwind hatten. Im benachbarten Gäbris bei Gais (1253 m) war 8^h NNW₁, 9^h W₁, 10^h NW₁.

Schafberg (1776 m). 7—9^h WSW₁₋₂.

Wendelstein (1727 m). Vormittags W₁ bis NW₁.

Hirschberg (1500 m). 7—10^h SW₂₋₄.

Hohenpeissenberg (994 m). 7—9^h SW₂.

Auch die Wege der vier an diesem Vormittag aufgestiegenen Ballons, sobald etwas grössere Höhen erreicht wurden, lehren dasselbe. Ballon Herder schlug von München aus zunächst die Richtung nach W ein; aber schliesslich war seine Bahn fast genau nach Ost gerichtet. Seine Fahrkurve¹⁾ lehrt, dass um 9^h 40^m in 1530 m Meereshöhe WNW mit 2,3 m pro Sekunde herrschte, um 11^h 20^m in 1400 m W, ebenso um 11^h 30^m in 2000—2500 m, in letzteren Höhen mit etwa 15 m pro sec. Die Bahnen der drei in Berlin aufgestiegenen Ballons beweisen das Wehen von WNW in der Höhe, und zwar in 1—2000 m mit 4,2 m pro sec., in grösseren Höhen (3000—3500 m) mit 6,6 m pro sec. Zugleich wurde mit zunehmender Höhe der Wind aus einem WNW immer mehr ein reiner W, ja fast WSW, während unten bei der Landung des Ballon Nautilus bei Kalau (unweit Meseritz) SW herrschte.

b. Temperatur und Feuchtigkeit.

Langs kartographische Darstellung lässt erkennen, dass um 8^h a m der Südrand des erwähnten Streifens von besonders niedrigem Druck, d. h. ungefähr der Nordrand der Alpen vom Bodensee bis zum Austritt des Inn, zugleich durch besonders hohe Temperatur (18^o) ausgezeichnet ist. Eben solche Temperatur herrscht freilich auch auf einem grossen Gebiete Mittelbayerns zu beiden Seiten der Donau. Höhere Temperatur (19^o) besitzt in ganz Süddeutschland nur ein schmaler Streifen längs des Rheins (Rheinpfalz und Baden).

Ein Gebiet hohen Dunstdrucks (12 mm und darüber) erstreckt sich um 8^h a m als breiter Streifen zu beiden Seiten der oberen Donau, den Bodensee mit umfassend, bis gegen den Lech. Indessen ist dieser Feuchtigkeitsgehalt keineswegs aussergewöhnlich gross. Von allen Stationen

1) Münchener Neueste Nachrichten a. a. O.

Süddeutschlands sind es auch nur zwei, für welche der an diesem Morgen beobachtete Dunstdruck verhältnissmässig gross, nämlich der zweit- oder drittgrösste im ganzen Monat ist, d. i. Höchenschwand im Schwarzwald mit 11,6 mm und Hohenpeissenberg im Alpenvorland mit 10,9 mm.

Etwa dasselbe Gebiet besitzt zugleich die grösste relative Feuchtigkeit (80 % und darüber). Aber ein zweites Maximalgebiet der relativen Feuchtigkeit verläuft südlich vom Chiemsee, genau längs des Südrandes des erwähnten zweiten Druckminimums in westöstlicher Richtung. Hier finden sich also gleichzeitig niederer Druck, hohe Temperatur und hohe relative Feuchtigkeit. In Höchenschwand im Schwarzwald bildet die 7^h a m beobachtete relative Feuchtigkeit (85 %) fast das Monatsmaximum. Dies trifft auch für eine Reihe norddeutscher Stationen, meist Küstenorte, zu, nämlich für Aachen (7^h) 92 %, Memel (8^h) 82 %, Keitum (8^h) 86 %, Swinemünde (8^h) 97 %, Kiel (8^h) 91 %; für letztere beide Orte ist es sogar das Monatsmaximum.

c. Himmelsansicht und Bewölkung.

Die frühesten Morgenstunden waren inner- und ausserhalb Bayerns fast allerwärts heiter. Hierfür sprechen zunächst direkte Nachrichten mancher Stationen um 7^h a m (Füssen: klarer Tag, Berge ganz frei; Hittisau, Kempten, Sulzschneid, Wald bei Oberdorf). Auf dem Wendelstein war um 7^h die Aussicht ins Gebirge gut. Während auf dem Sonnblick um 7^h die Bewölkung 5 notirt ist, giebt das tiefer gelegene Kolm die Bewölkung 0 an. Auch in Berlin war beim Aufstieg der drei Ballons um 7^h (Münchener Zeit) der Himmel fast ganz rein, die Sonne strahlte in vollem Glanze. Kein Luftzug war auf der Erde zu spüren, so dass der Aufstieg fast senkrecht erfolgte.

Für Heiterkeit des frühen Morgens spricht ferner die sehr verbreitete Thaubildung (Meldungen darüber von Andechs, Ansbach, Augsburg, Bamberg, Bayreuth, Eggenfelden, Ergoldsbach, Feld bei Miesbach, Hohenpeissenberg, Kaiserslautern, Landshut, München, Nürnberg, Passau, Würzburg, sowie von den sächsischen Stationen Chemnitz, Dresden, Freiberg, Plauen, Zittau, und von vereinzelt preussischen).

Trotzdem war vom frühen Morgen an die Luft fast nirgends völlig klar; sehr viele Orte berichten von Dunst und Nebel (≡).

- Hohenpeissenberg. Allgemeiner Dunst den ganzen Vormittag; ebenso Kempten, Krumbach, Lenggries, München, Passau, Speyer, Zaitzkofen.
- Vom Wendelstein, sowie vom Hirschberg bei Tegernsee aus erschien Vormittags das ganze Flachland von Dunst, später von \equiv erfüllt.
- Altstätten. Vor dem Gewitter, das Mittags zum Ausbruch kam, war der Himmel nirgends schön blau, sondern im Allgemeinen weisslich gefärbt.
- Andechs. Seit Nachts lag eine Nebelschicht über der Gegend; erst um 8^h begann sie sich zu zertheilen.
- Bayreuth. 8^h \equiv .
- Bregenz. 9—2^h Dunst.
- Deisenhofen. 7—10^h \equiv .
- Dünzelbach. 7^h \equiv , 7^{1/2}^h verzogen.
- Ecksberg. 7—9^h leichter \equiv und Dunst.
- Eggenfelden. Morgens \equiv im Thal.
- Eglharting. 7—9^h Dunstschichten.
- Ergoldsbach. Morgens Dunst.
- Feld bei Miesbach. \equiv und Dunst.
- Füssen. Um 7^h ist der \equiv verschwunden.
- Gäbris bei Gais. Morgens in den tieferen Thälern starker Dunst und \equiv .
- Heiden. Morgens \equiv und Dunst.
- Hergenweiler. 7^h \equiv .
- Hohenaschau. 7—9^h \equiv .
- Iffeldorf. 7^h starker \equiv .
- Landsberg am Lech. 7—8^h starker \equiv , um 9^h gesunken, aber der Horizont ringsum trüb.
- Lindau. 8—10^h dunstig.
- Moosburg. 7—8^h \equiv .
- Nürnberg. 8^h Bodennebel.
- Otterfing. Bis 8^{1/2}^h die Landschaft in \equiv .
- Ottobeuren. 7^h Dunst.
- Rosenheim. 7—9^h \equiv .
- Rott am Inn. 7—9^h starker \equiv , in S und Ost allmählich aufklärend, 10^h sehr dunstig.
- Salzburg. 8^h in den Bergen Dunst.
- Straubing 7^h. Eine Dunstschicht liegt über der ganzen Ebene, erst um 9^h wird es klarer.
- Wald bei Oberdorf. 5—6^h \equiv , dann heiter.
- Weyarn. 7^h \equiv .
- Wildpoldsried 7^h. Leichter Dunstschleier verhüllt das Gebirge.
- Schloss Zeil. 7^h \equiv^2 im Thal.
- Ballon Nautilus, Berlin. 7^h 2^m. Die Erde erscheint etwas dunstig unter uns, im N leichtes Haufengewölk.
- Ballon Herder erreichte um 11^h 27^m dicht südlich von München die obere Grenze des Dunstes in 2080 m Meereshöhe (1550 m über dem Boden).

Die Bewölkung betrug nach Langs kartographischer Darstellung um 8^h im grössten Theil Bayerns nur $\frac{3}{10}$ der sichtbaren Himmelsfläche oder weniger; im W und besonders im SW (Bodenseegegend) aber mehr. Sie bestand zu dieser Zeit noch allerwärts der Hauptsache nach aus

Cirrus; erst im weiteren Verlauf des Vormittags stellten sich (vgl. später) Haufwolken ein. Von mehr als 80 Stationen liegen Meldungen über das Vorhandensein von Federwolken verschiener Formen (cirrus, cirrostratus, cirrocumulus) an diesem Vormittage vor; auch Sonnenringe, die bekanntlich den Eiskristallen des Cirrostratus-Schleiers ihre Entstehung verdanken, sind zu verschiedenen Vormittagsstunden beobachtet worden. Das Auftreten der Cirren war nicht auf kurze Zeit beschränkt, an den meisten Orten sah man sie von Morgens 7^h an unausgesetzt, so lange sie nicht durch tiefere Wolken dem Blick entzogen wurden. Eine Reihe von Stationen erwähnt ihrer noch in den Nachmittagsstunden, bis die Beobachtungen um 3^h abgebrochen wurden. Es scheint, als seien die Cirren wenigstens über ganz Mitteleuropa verbreitet gewesen; denn ausser von den meisten bayrischen Stationen liegen Cirrusbeobachtungen an diesem Tage auch vor von Altstätten, Heiden, Säntis in der Schweiz, ferner von Brandenburg, Celle, Erfurt, Hamburg, Kassel, Lichtenwalde, Marburg, Marggrabowa, Trier.

Die Bewegung der Cirren war im Allgemeinen sehr langsam; sie zogen ganz überwiegend aus dem westlichen Quadranten, mit Bevorzugung der reinen W-Ostrichtung; doch finden sich auch alle anderen Richtungen der Windrose verzeichnet, letztere freilich insgesamt nur 25 % aller Meldungen ausmachend. Von manchen Stationen werden auch zu verschiedenen Stunden des Tages verschiedene Zugrichtungen gemeldet. Indessen wäre es — namentlich auch in Anbetracht der geringen Genauigkeit der meisten Richtungsbestimmungen — schwerlich eine dankbare Aufgabe, aus allen Nachrichten die oberen Luftströmungen über Mitteleuropa für verschiedene Zeitpunkte dieses Tages kartographisch darzustellen. Auch erscheint ihre Lösung für das eigentliche Ziel der vorliegenden Untersuchung nicht erforderlich. Ich begnüge mich also mit der Anführung einiger wenigen Nachrichten.

Säntis. 7^h ci und altocum.

10^h 20^m ci ziehen langsam aus SSW, 10^h 30^m geflockte und aufgebogene ci, W—E angeordnet, 10^h 40^m geflockte ci fast am ganzen Himmel.

Hirschberg bei Tegernsee. 7—10^h ci aus SW, 12^h ci und cum-str. oben aus NW, unten aus SW, 1^h ci, str und ni oben aus E, unten aus SW, 3^h ci aus W.

Wendelsteinhaus. 7^h ci-cu, cu und cu-str, dazu um 7^h 40^m ci-str } aus W.
 8—10^h ci, ci-cu, ci-str, cu und cu-str
 11—1^h ci-cu, cu und cu-str aus SW.

- Bayrischzell. 7—11^h ci aus W, 12—1^h aus SW, um 9^h Sonnenring und -Hof.
- München. 7—12^h ci-cu oder ci aus W, dazwischen auch einigemal aus WSW; so um 8^h 40^m, wo die Cirren in Streifen || der Richtung NNW—SSE geschichtet sind. 11^h leichter ci-str-filz im S; 2^h ci-str aus SW, 3^h ci-cu aus W, 4^h ci-str, still.
- Straubing (Standpunkt: Stadthurm). 7—3^h ci und ci-str aus WSW, um 9^h schnell ziehend; 11^h auch ci-cu und zwar fast aus W.
- Hergensweiler. ci um 8—9^h aus SW, 10^h aus WSW, 11^h aus ENE, 12^h aus E.
- Friedrichshall bei Heldburg. 7—9^h Anfangs ci, später ci-str aus NW, von 10^h an ci und später ci-cu aus W.
- Passau. 7^h ci aus SW, 8^h ci-str aus NW, 9—10^h ci-str aus W, 11—3^h ci-cu oder ci-str aus SW.
- Odelzhausen. Federwolken aus W, um 7^h dicht, bis 9^h immer loser und leichter werdend.
- Erfurt. 7—12^h ci aus W, um 8^h und 9^h sind es lebhaft ziehende, lange, geradlinige Polarbanden aus W—E, 8^h farbiger Hof und Ringsegment; um 11^h senken sich aus einzelnen Cirren nimbusartige Fahnen herab.
- Hamburg (Michaeliskirchthurm). 7^h cirrusähnliche Wolken von schwerem Ansehen, doch gefasert, darunter cu, am Horizont Wulst-cu. Im W hell. S ganz dicht bedeckt. Zug aus NW. Bedeckung 8. 7^h 30^m Wind wird schwächer. Die oberen Wolken scheinen sich aufzulösen, sind wie ci-str. Die blauen Stellen des Himmels mit feinem Schleier bedeckt. 8^h $\frac{\text{ci-str}}{\text{cum}}$ Bedeckung 6. Kurz vor 8^h Wind sehr flau. Obere und untere Wolken aus NW. 8^h 30^m—45^m. Von W nach E ein breiter Streifen aus ci-ähnlichen Wolken über den Zenith hin. Bedeckung 7. Zug aus NW. 9^h ci-str zieht von W auf; im N und E cum, die aus N ziehen. Bedeckung 8. 9^h 30^m ci-str aus NW. Bedeckung 8. 10^h 30^m $\frac{\text{ci-str}}{\text{cum}}$ -Zug aus NNW (?) sehr langsam. Bedeckung 9. 11^h $\frac{\text{ci-str}}{\text{cum}}$ aus NW. Bedeckung 9. Im Zenith steht nur cirrusähnliches Gewölk, nach SE schäfchenartig geballt, das aus NW oder NNW zieht; am Horizont cu in lockerer Form. Der Horizont besonders im SE ist grau und unsichtig. Bedeckung 9.
- Ballon Nautilus. Beim Aufstieg in Berlin um 7^h nur ganz vereinzelte Cirruswölkchen von W nach E; sonst klar. 7^h 45^m prachtvoller ci aus SW—NE; 7^h 56^m Sonne durch ci verschleiert; 8^h 5^m die ci senken sich allmählich immer tiefer herab, verlieren ihre schöne Federform und verwandeln sich in kleine Schäfchenwolken. 8^h 34^m ci hat sich noch mehr gesenkt und aufgelöst. 10^h 20^m einzelne Cirren. 11^h 30^m die unteren Wolken zertheilen sich mehr und mehr, dagegen bildet sich oben ein dichter Cirruschleier, der die Sonne zeitweise verhüllt. Auch um 1^h 3^m steht die Sonne hinter einem Cirruschleier.

Es verdient hervorgehoben zu werden, dass die Angaben der letzten vier Beobachter übereinstimmend das Herabsinken und Sichauflösen der Cirruswolken beweisen.

§ 3. Die Temperaturabnahme mit zunehmender Höhe.

a. Nach Beobachtungen von Hochstationen.

Ob der Zustand der Atmosphäre stabil oder labil ist, hängt bekanntlich ¹⁾ von der vertikalen Temperaturvertheilung ab. Die Temperaturabnahme auf 100 m Erhebung muss weniger als $0,993^{\circ}$ betragen, damit der Zustand stabil sei. — Dies gilt, so lange keine Condensation von Wasserdampf stattfindet. — Bei schnellerer Temperaturabnahme ist der Zustand labil, so dass Anlass zur Entstehung aufsteigender Luftströme gegeben ist. Hieraus erhellt die besondere Wichtigkeit der Ermittlung der vertikalen Temperaturvertheilung für die vorliegende Untersuchung.

Mir liegen stündliche Temperaturbeobachtungen von 3 Hochstationen und benachbarten tieferen Stationen vor, nämlich von Sonnblick-Kolm in den Tauern, ²⁾ von Säntis-Gäbris-Heiden-Altstätten und von Wendelstein-Bayrischzell.

	Höhe	8 ^h	9 ^h	10 ^h	11 ^h	12 ^h	1 ^h	2 ^h	3 ^h
	m	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Kolm	1600	10,8	11,0	17,2	15,1	14,4	16,6	12,0	10,3
Sonnblick	3095	1,7	2,0	2,5	2,6	3,0	3,5	4,0	3,3
Differenz	1495	9,1	9,0	14,7	12,5	11,4	13,1	8,0	7,0
Abnahme für 100 m .		0,61	0,60	0,98	0,84	0,76	0,88	0,54	0,47
Altstätten	470	19,4	21,1	20,8	21,7	22,3	21,9	19,1	18,9
Heiden	800	17,0	18,3	19,6	18,7	20,8	21,6	24,0	19,2
Gäbris	1253	15,7	16,3	15,4	17,9	19,1	16,4	17,6	14,8
Säntis	2500	6,0	6,6	9,1	11,3	8,6	9,6	9,8	8,1
Diff. Altstätten-Säntis	2030	13,4	14,5	11,7	10,4	13,7	12,3	9,3	10,8
Abnahme für 100 m .		0,66	0,71	0,58	0,51	0,67	0,61	0,46	0,53
Diff. Heiden-Säntis .	1700	11,0	11,7	10,5	7,4	12,2	12,0	14,2	11,1
Abnahme für 100 m .		0,65	0,69	0,62	0,44	0,72	0,71	0,84	0,65
Diff. Gäbris-Säntis .	1247	9,7	9,7	6,3	6,6	10,5	6,8	7,8	6,7
Abnahme für 100 m .		0,78	0,78	0,51	0,53	0,84	0,55	0,63	0,54
Bayrischzell	802	17,1	18,4	19,8	20,9	20,1	22,4	20,9	19,6
Wendelsteinhaus . . .	1727	10,4	11,0	12,5	13,5	11,5	13,3	11,7	10,8
Differenz	925	6,7	7,4	7,3	7,4	8,6	9,1	9,2	8,8
Abnahme für 100 m .		0,72	0,80	0,79	0,80	0,93	0,98	0,995	0,95

1) Th. Reye: Die Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen. Hannover 1872. S. 39 ff.

2) Gefällige briefliche Mittheilung von Herrn Hann (nach Ortszeit).

Schliesslich sei noch die auf das Riesengebirge bezügliche Angabe beigelegt: ¹⁾)

	Höhe	7 ^h	2 ^h
	m	°C	°C
Eichberg bei Hirschberg	349	16,5	20,6
Schneekoppe	1603	8,1	10,2
Differenz	1254	8,4	10,4
Abnahme für 100 m .		0,67	0,83

Um zunächst die Bedeutung der auf den Sonnblick und Kolm bezüglichen Zahlen zu verstehen, vergleichen wir sie mit jenen Zahlen, welche Herr Trabert ²⁾) als vierjährige Mittelwerthe für die im Sommer an heiteren resp. trüben Tagen zwischen Kolm und Sonnblick vorhandenen Temperaturabnahmen für 100 m Erhebung mittheilt.

	8 ^h	9 ^h	10 ^h	11 ^h	12 ^h	1 ^h	2 ^h	3 ^h
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
an heiteren Tagen .	0,85	0,90	0,92	0,95	0,98	0,98	0,96	0,93
an trüben Tagen .	0,68	0,72	0,73	0,74	0,74	0,74	0,74	0,72
am 19. Juni 1889 .	0,61	0,60	0,98	0,84	0,76	0,88	0,54	0,47

Zunächst fällt auf: Während normaler Weise die Abnahme sowohl an heiteren als an trüben Tagen — und zwar in allen Jahreszeiten — um 12^h oder 1^h Mittags ihr Maximum hat (an trüben ist es freilich von 11^h bis 2^h gleich gross), tritt dasselbe am 19. Juni 1889 bereits um 10^h ein, worauf um 1^h ein kleineres Maximum folgt. — Um ferner zu entscheiden, mit welcher der beiden Normalzahlenreihen diejenige des 19. Juni zu vergleichen ist, dient die allgemeine Witterungsschilderung des Beobachters auf dem Sonnblick für diesen Tag: „6^h früh im S alles voll Nebel, ringsum höhere Schichtwolken. 7^h Bewölkung 5. 9^h Nebel-treiben aus SW, ringsum Gewitterwolken. 1^h Sonnblick im Nebel, es fängt an zu regnen bis 4^h. Dann Gewitter mit Schnee bis 7^h Abends; dann aufheiternd, Gewitterwolken ringsum; so auch 9^h Abends“.

1) Ergebnisse der meteorologischen Beobachtungen 1889. Herausgegeben vom preussischen Institut.

2) Der tägliche Gang der Temperatur und des Sonnenscheins auf dem Sonnblick. Denkschr. d. math.-naturw. Klasse der Wiener Akad. d. Wissensch. Bd. 59. 1892. S. 48.

Hiernach unterliegt es keinem Zweifel, dass auch schon Vormittags der 19. Juni zu den trüben Tagen gehörte; und man erkennt, dass gegenüber der zu erwartenden Temperaturabnahme von $0,073$ auf 100 m die um 10^{h} beobachtete von $0,098$ eine ganz ungewöhnlich starke ist; sie ist ja so gross, wie das um 12^{h} oder 1^{h} zu erwartende normale Tagesmaximum der Abnahme an heiteren Tagen.

Die Temperaturabnahme in der Nähe des Säntis und am Wendelstein zeigt ein Maximum ($0,07$ bis $0,08$) schon um 9^{h} a. m. Am Säntis tritt ein zweites Maximum um 12^{h} ein. Am Wendelstein aber steigt der Betrag der Temperaturabnahme, nach geringer kurzer Senkung um 10^{h} , unangesezt bis 2^{h} p. m., wo er $0,0995$ für 100 m erreicht. Diese Abnahme ist merklich dieselbe wie jene, welche in adiabatisch aufsteigender, noch tröpfchenfreier Luft statthaben muss. Um diese Zeit befand sich der Wendelstein im Nebel, und es war Gewitter, doch regnete es nicht. Auch in Bayrischzell fielen um 2^{h} nur wenige Regentropfen. Dieser Zustand ist also zweifellos labil. Aber auch schon die übrigen Werthe der Temperaturabnahme, besonders der um 9^{h} beobachtete von $0,080$ deutet auf einen wenig stabilen Zustand der Atmosphäre. Denn die auf dem Wendelstein gemachten Aufzeichnungen besagen: „ 8^{h} 50^{m} \equiv steigen mehr auf, Thäler dampfen. 9^{h} 20^{m} \equiv wird mehr. 9^{h} 30^{m} Alle Berggipfel mit Nebelschwaden zu“. — Hieraus erhellt, dass die Luft um den Wendelstein dem Sättigungszustand dauernd sehr nahe gewesen sein muss. Direkte Messungen der relativen Feuchtigkeit daselbst ergaben:

um 8^{h} 40^{m}	9^{h}	9^{h} 30^{m}	9^{h} 50^{m}	12^{h}	1^{h}	2^{h}	3^{h}
92%	86%	92%	89%	96%	92%	94%	95%

Nun aber beträgt beim gesättigt feuchten aufsteigenden Luftstrom bei 10° oder mehr und dem Druck von $600\text{--}700\text{ mm}$ die Temperaturabnahme auf 100 m etwa $0,05$. Dieser Betrag war am Wendelstein während des ganzen Tages überschritten.

Als Hauptergebniss der Temperaturbeobachtungen dieser Bergstationen lässt sich also aussprechen:

Zwischen Kolm und Sonnblick ist um 10^{h} a. m. die Temperaturabnahme nach oben ganz ungewöhnlich stark, nämlich $0,098$ für 100 m .

Zwischen Bayrischzell und Wendelstein ist um 2^{h} p. m. die Temperaturabnahme so gross, dass der Zustand der Atmosphäre sicher labil ist.

Ein Maximum der Temperaturabnahme tritt — anstatt wie normal gegen Mittag — am Säntis und am Wendelstein schon um 9^h a m, am Sonnblick um 10^h a m auf.

b. Nach Ballonbeobachtungen.

α) Fahrt des Ballons Herder von München aus.

Von Herrn v. Sigsfeld wurden zu 21 verschiedenen Zeitpunkten Temperaturbeobachtungen mit dem Aspirations-Thermometer gemacht, welche also sehr zuverlässig sind. Sehr günstig für den vorliegenden Zweck ist der Umstand, dass der Ballon in der ganzen Zeit, in welcher Temperaturen abgelesen wurden, in der Nachbarschaft von München verweilte. Denn seit dem Aufstieg 7^h 28^m a m bis um 9^h 20^m entfernte sich der Ballon nach W hin nur bis auf 18 km von der Sternwarte München, sodann kam er durch eine Wendung nach SO und O wieder viel näher heran und war bei der letzten Temperaturbeobachtung um 11^h 40^m nur etwa 7 km von der Sternwarte entfernt. — Zur Ermittlung der Temperaturabnahmen vom Boden bis zur Ballonhöhe dienen die stündlichen Temperaturbeobachtungen der Sternwarte München, welche durch Interpolation die jedesmal gleichzeitige Temperatur an der Erdoberfläche abzuleiten gestatten.

	8 ^h	9 ^h	10 ^h	11 ^h	12 ^h
Sternwarte:	16,°0	18,°8	20,°1	21,°0	21,°5

In der folgenden Tabelle findet man den Zeitpunkt der Beobachtung (Spalte 1), die augenblickliche Höhe h über dem Niveau der Sternwarte auf 5 m abgerundet (Spalte 2), die beobachtete Temperatur t (Spalte 3), die Temperaturabnahme Δ vom Boden bis zur Ballonhöhe (Spalte 4), die Temperaturabnahme Δ_{100} für 100 m (Spalte 5), die relative Feuchtigkeit r (Spalte 6), endlich Bemerkungen (Spalte 7).

Man erkennt, wie die Temperaturabnahme für 100 m mit vorrückender Tageszeit ziemlich stetig zunimmt. Allerdings erfährt diese Stetigkeit schon ganz früh einmal eine Unterbrechung, indem um 9^h in 365 m Höhe über Wald Δ_{100} weit grösser ist, als dem adiabatischen Zustand entspricht, nämlich 1,°18, so dass hier ein labiler Zustand der Atmosphäre vorliegt. Um 10^h in 1025 m Höhe befand sich der

Ballon in den Randtheilen einer Wolke, denn es wurde eine Aureole beobachtet, deren Entstehung nach Fraunhofer die Anwesenheit von Tröpfchen um den Kopf des Beobachters erheischt. Hier herrschte beinahe adiabatische Temperaturabnahme ($0,986$), fast ebensogrosse um $10^h 10^m$, 20^m , 50^m in 950 m, 970 m, 865 m Höhe. Um $10^h 40^m$ in 720 m und um 11^h in 1100 m, als der Ballon unmittelbar oberhalb eines Haufwolkenkopfes sich befand, war die Temperaturabnahme für 100 m = $1,07$, also der Zustand der Atmosphäre vollständig labil. Durch diese Ballonfahrt ist also festgestellt, dass von 10^h bis 11^h der Zustand der Atmosphäre bis 1100 m über dem Boden theils völlig, theils beinahe labil war.

Zeit	h	t	Δ	Δ_{100}	r	
	m	°C	°C	°C	‰	
$7^h 55^m$	620	13,4	2,4	0,39	61	
8 0	580	13,4	2,6	0,45	63	
10	365	15,0	1,5	0,41	67	
20	695	14,8	2,1	0,30	56	
40	905	11,5	6,4	0,71	70	
50	770	12,9	5,4	0,70	75	
9 0	365	14,5	4,3	1,18	67	über Wald.
10	670	13,8	5,2	0,78	71	
30	1080	11,8	7,7	0,71	93	
40	1000	10,8	8,9	0,89	85	cumuli ringsum
50	1135	10,0	9,9	0,87	82	cumuli unter uns.
10 0	1025	10,0	10,1	0,986	80	cu östlich, Aureole.
10	950	11,1	9,1	0,96	73	
20	970	11,1	9,3	0,96	84	
30	1090	12,0	8,6	0,79	70	
40	720	13,0	7,7	1,07	78	
50	865	12,4	8,5	0,98	76	≡, cu unter uns.
11 0	1100	9,2	11,8	1,07	91	dicht unter uns ≡.
20	905	13,6	7,6	0,84	75	
40	1985	8,2	13,1	0,66	63	

β) Fahrt des Ballons Nautilus von Berlin aus.

Die bei dieser Fahrt beobachteten Temperaturen lassen keine ganz so sicheren Schlüsse zu wie die vorigen, und zwar aus zwei Gründen. Zunächst sind die Beobachtungen noch nicht mit dem (damals erst in

sehr wenig Exemplaren vorhandenen) Aspirationsthermometer angestellt, sondern mit dem Schleuderthermometer. Wenn in Folge dessen nun auch einige Temperaturangaben vielleicht zu hoch sein mögen, so wird dieser Fehler sicher nicht gross sein. Denn Herr Gross giebt um 7^h 31^m und um 7^h 39^m an, dass die Temperatur des im Schatten ungeschleuderten Thermometers 21° bezw. 18° betrug, während sie sich beim Schleudern im ersten Falle zu 13,0° herausstellte, im zweiten zwischen 13,0° und 12,5° lag. Hier ist eine so energische Wirkung des Schleuderns ersichtlich, dass die erhaltenen Werthe den wahren Lufttemperaturen vermuthlich ziemlich nahe kommen. — Als wesentlich grösserer Nachtheil erweist sich die Unmöglichkeit, für diese ziemlich ausgedehnte Fahrt die vertikal unter dem Ballon gleichzeitig am Boden herrschenden Temperaturen hinlänglich genau zu ermitteln. Zwar verdanke ich der Liebenswürdigkeit des Herrn v. Bezold die Kenntniss der stündlichen Temperaturen von Spandau bei Berlin.

7 ^h	8 ^h	9 ^h	10 ^h	11 ^h	12 ^h	1 ^h	2 ^h
19,01	20,00	19,09	21,05	22,02	21,09	22,09	20,08.

Aber diese Temperaturen kann man nicht ohne weiteres als für die Bodenluftschicht vertikal unter dem Ballon geltend annehmen. Denn erstens wurde am Abfahrtsorte um 7^h die Temperatur 18,5° abgelesen, welche 0,6° niedriger als in Spandau ist; und zweitens beobachtete Herr Gross beim Landen in Kalau bei Meseritz, 158 km von Berlin, um 1^h 40^m — und zwar bei sehr langem Schleudern, wie er ausdrücklich angiebt¹⁾ — 25,5°, also 2,6° mehr als die höchste Temperaturangabe Spandaus (22,09°). Und Kalau liegt noch dazu etwa 100 m höher als Berlin. So ist man auf einigermassen willkürliche Annahmen für die Temperaturen der tiefsten Luftschicht angewiesen. Ich nehme als solche für 7^h die Abfahrtstemperatur 18,5°, für 8^h 19,06°, für die folgenden Stunden bis 12^h die Spandauer Temperaturen, für 1^h 23,0°, für 1^h 40^m 25,05°. Für zwischenliegende Zeitpunkte sind die Temperaturen interpolirt. Für die Höhenberechnung ist dann als mittlere Temperatur der Luftsäule das arithmetische Mittel der oben beobachteten und der unten angenommenen Temperatur gewählt.

Die 8 Spalten der folgenden Tabelle enthalten nacheinander Zeit, Barometerstand b , Temperatur t , angenommene Bodentemperatur t' , Mitteltemperatur der Luftsäule $\frac{t+t'}{2}$, Höhe h über dem Berliner Niveau, auf 5 m abgerundet, Temperaturdifferenz $t' - t = \Delta$, Temperaturabnahme für 100 m = Δ_{100} .

Zeit	b	t	t'	$\frac{t+t'}{2}$	h	Δ	Δ_{100}
	mm	°	°	°	m	°	°
7 ^h 0 ^m a m	766,5	18,5	18,5	18,5	0		
2	749	18,0	18,5	18,2	200	0,5	0,25
5,5	738	17,5	18,6	18,0	325	1,1	0,34
—	728	15,5	18,6	17,0	440	3,1	0,70
20	720	15,5	18,9	17,2	535	3,4	0,64
22	713	15,0	18,9	17,0	620	3,9	0,63
25	704,5	13,5	19,0	16,3	720	5,5	0,76
31	696	13,0	19,1	16,0	820	6,1	0,74
36,5	687	13,0	19,2	16,1	930	6,2	0,67
42	682	12,5	19,2	15,8	995	6,7	0,67
45,5	680,7	13,0	19,3	16,1	1010	6,3	0,62
56	681,5	12,5	19,5	16,0	1000	7,0	0,70
8 5	668	11,0	19,6	15,3	1170	8,6	0,74
15	661,5	9,5	19,7	14,6	1250	10,2	0,82
25	648	8,0	19,7	13,9	1420	11,7	0,82
33	645	7,8	19,8	13,8	1460	12,0	0,82
41	632	6,8	19,8	13,3	1625	13,0	0,80
48	636,5	8,0	19,8	13,9	1570	11,8	0,75
53	621,5	5,0	19,9	12,5	1765	14,9	0,84
9 2	618	5,0	19,9	12,5	1810	14,9	0,82
10	608,5	4,5	20,2	12,3	1940	15,7	0,81
22	619	4,0	20,4	12,2	1795	16,4	0,91
39	633,5	5,5	21,0	13,2	1605	15,5	0,97
50	604,5	3,5	21,2	12,3	1995	17,7	0,89
51	609	—	21,2	12,3	1935	unterer Wolkenrand	
54	588	1,5	21,3	11,4	2225	19,8	0,89
55	580	0	21,3	10,7	2330	21,3	0,91
57	565,5	— 1,5	21,4	10,0	2535	22,9	0,90
59	565	— 2,0	21,5	9,8	2540	23,5	0,93
10 0	560	— 2,5	21,5	9,5	2610	24,0	0,92

Zeit	b	t	t'	$\frac{t+t'}{2}$	h	Δ	Δ_{100}
	mm	°	°	°	m	°	°
10 ^h 8 ^m a m	559	— 2,5	21,6	9,5	2625	24,1	0,92
14,5	541	— 3,5	21,7	9,1	2895	25,2	0,87
16	531,5	— 4,0	21,7	8,9	3040	25,7	0,85
18	530,5	—	—	—	—	oberer Wolkenrand	
22	514	— 6,0	21,7	7,9	3305	27,7	0,84
35	497	— 2,0	21,9	9,9	3610	23,9	0,66
45	505	— 1,5	22,0	10,2	3480	23,5	0,67
11 0	495	— 2,5	22,2	9,9	3645	24,7	0,68
7	510	— 4,5	22,2	8,8	3380	26,7	0,79
11	516	— 4,5	22,2	8,8	3285	26,7	0,81
17	520	— 0,5	22,1	10,8	3245	22,6	0,70
25	520	— 2,5	22,1	9,8	3230	24,6	0,76
51	531,5	— 3,5	22,0	9,2	3045	25,5	0,84
12 6 p m	523	— 2,5	22,0	9,8	3185	24,5	0,77
19	495	— 7,0	22,2	7,6	3615	29,2	0,81
22	490	—	—	—	—	oberer Wolkenrand	
32	513	— 3,0	22,5	9,8	3345	25,5	0,76
1 11	520	— 2,0	23,6	10,8	3245	25,6	0,79
27	537,5	— 1,5	24,7	11,6	2975	26,2	0,88
30	580	+ 2,0	24,9	13,5	2355	22,9	0,97
31	600	4,0	24,9	14,5	2075	20,9	1,01
32	614	6,0	25,0	15,5	1885	19,0	1,01
33	640	8,0	25,1	16,5	1540	17,1	1,11
35	670	11,0	25,2	18,1	1155	14,2	1,23
40	762	25,5	—	—	—	—	—

Mit Rücksicht auf die erhebliche Unsicherheit der Temperaturen am Boden können die einzelnen Werthe der berechneten Temperaturabnahme für 100 m nicht für besonders zuverlässig gelten. Nur die zeitliche Aenderung dieser Grösse wird einigermaßen richtig hervortreten. Von 7—8^h während der Erhebung bis 1100 m beträgt Δ_{100} 0,6 bis 0,7 oder wenig mehr (im Mittel 0,69); von 8^h 15^m bis 9^h 10^m in Höhen von 1200 bis 1900 m etwa 0,8, sodann $\frac{3}{4}$ Stunden lang (von 9^h 22^m bis 10^h 8^m) in Höhen zwischen 1600 und 2600 m über 0,9 — diese hohen Werthe meist während Aufenthaltes in einer Wolke, wobei sich auch das trockne Thermometer mit Eis überzog, so dass seine Angaben hier wenig

zuverlässig sind —, sodann 3 Stunden lang in grösseren Höhen (2900 m bis 3600 m) wieder merklich weniger, von unter $0,^{\circ}7$ bis über $0,^{\circ}8$ schwankend. Auf die hohen Werthe in den letzten 10 Minuten der Fahrt darf, wegen des ungemein schnellen Abstiegs und der dabei unvermeidlichen Unzuverlässigkeit der Instrumente, offenbar kein Gewicht gelegt werden. Auch noch aus dem weiteren Grunde müssen sie fehlerhaft sein, weil als gleichzeitige Temperaturen im Niveau Berlin diejenigen angenommen sind, welche in dem um 100 m höheren Kalau geherrscht haben.

Das Hauptergebniss dieser Ballonbeobachtungen ist der Nachweis, dass um $9^{\text{h}} 39^{\text{m}}$ in tröpfchenfreier Luft die Temperaturabnahme $0,^{\circ}97$ auf 100 m betrug, welche diejenige des adiabatischen Zustandes schon beinahe erreicht, und dass überhaupt von $9^{\text{h}} 22^{\text{m}}$ bis nach 10^{h} die durchschnittliche Temperaturabnahme für 100 m sich sehr hoch, nämlich fast immer grösser als $0,^{\circ}9$ herausstellte. Und dabei befand sich der Ballon seit $9^{\text{h}} 51^{\text{m}}$ in tröpfchenführende Luft, nämlich inmitten einer Wolke von etwa 1100 m Mächtigkeit. Hier oben war also der Zustand der Atmosphäre sicher nicht mehr stabil, sondern hier stieg gesättigt feuchte Luft auf.

γ) Hamburger Fesselfahrten.

In Hamburg wurden zwischen $12^{\text{h}} 15^{\text{m}}$ und $3^{\text{h}} 25^{\text{m}}$ p m (Münchener Zeit) 6 Aufstiege im Fesselballon ausgeführt. Die von der Direktion der Seewarte hierüber der k. b. meteorologischen Centralstation mitgetheilten Beobachtungen sind (mit Ausschluss der Anemometerangaben) in der folgenden Tabelle wiedergegeben.

Zunächst sollen alle 6 Reihen in der Weise benutzt werden, dass die Temperaturabnahme für 100 m aus der Temperatur in der Maximalhöhe und der gleichzeitigen Temperatur am Boden abgeleitet wird. Letztere ist zu Anfang und Ende des ersten Aufstiegs unverändert $19,^{\circ}0$; ebenso beim dritten $19,^{\circ}7$. Beim zweiten zeigt sie sich zwar nach dem Abstieg um $1,^{\circ}2$ gesunken; das ist aber augenscheinlich die Folge des feinen Regens, der um $1^{\text{h}} 9^{\text{m}}$ beginnt. Die Maximalhöhe ist aber schon vorher (um $1^{\text{h}} 7^{\text{m}}$) erreicht; also darf zu dieser Zeit die Temperatur am Boden noch so wie vor 7 Minuten, nämlich = $19,^{\circ}5$ angenommen werden. Während des nicht volle 10 Minuten währenden vierten

Temperaturbeobachtungen im Fesselballon am 19. Juni 1889.

(Corr. des Thermometers — 0,3 bei 18° noch nicht angebracht.)

No. der Fahrt	Zeit	Höhe m	Temp. ° C.	Bemerkungen	Beobachter
I.	12 ^h 15 ^m	0	19,0	} Himmel bedeckt	Dr. Grossmann
	20	220	16,7		
	30	0	19,0		
II.	1 0	0	19,5	} bedeckt } feiner Regen beginnt } Messung im Schutze des Ballons schwacher Regen	Köppen und Preller
	6	190	17,3		
	7	210	17,0		
	8	180	17,1		
	9	150	17,0		
	10	110	16,8		
	11	100	17,3		
	12	70	17,4		
	13	30	18,0		
	17	0	18,3		
III.	2 18	0	19,7	} bewölkt mit Lücken } Ballon und Ballonplatz im Wolkenschatten	Köppen und Preller
	21	190	18,0		
	22	193	17,6		
	23	195	17,3		
	24	200	17,0		
	26	210	17,0		
	28	150	17,0		
	30	115	17,1		
31	40	17,7			
	35	0	19,7		
IV.	2 45	0	19,2	} bedeckt	Voss
		200	17,0		
		180	17,2		
		100	17,5		
		50	17,8		
	0	19,6			
V.	2 55	0	19,6	} bedeckt	Voss
		200	17,2		
		150	17,5		
		130	18,0		
		90	18,0		
	0	19,2			
VI.	3 10	0	19,2	} bedeckt, trocken } einige Tropfen } bedeckt trocken; gleich darauf Regen	Köppen und Preller
		140	18,5		
		160	17,8		
		180	17,2		
	3 15	190	17,0		
		190	17,0		
		80	17,4		
	70	17,8			
	3 25	0	19,4		

Aufstiegs nimmt die Temperatur am Boden um $0,^{\circ}4$ zu; schätzt man die Zeit bis zur Erreichung der Maximalhöhe zu 5 Minuten, so ist für diesen Zeitpunkt unten die Temperatur = $19,^{\circ}4$ anzusetzen. Während des fünften, wohl gegen 15 Minuten währenden Aufstiegs sank unten die Temperatur um $0,^{\circ}4$; die höchste Höhe wird nach 5 Minuten erreicht sein, dann musste unten etwa die Temperatur $19,^{\circ}5$ herrschen. Beim sechsten Aufstieg darf als gleichzeitige Temperatur am Boden $19,^{\circ}27$ angenommen werden. — So erhält man folgende Tabelle, deren letzte Spalte die Temperaturabnahme für 100 m Steigung angiebt.

No.	Zeit	Höhe m	Temperatur		Diff.	Abnahme für 100 m
			unten	oben		
I.	12 ^h 20 ^m	220	19,0	16,7	2,3	1,04
II.	1 7	210	19,5	17,0	2,5	1,19
III.	2 26	210	19,7	17,0	2,7	1,28
IV.	2 50	200	19,4	17,0	2,4	1,20
V.	3 0	200	19,5	17,2	2,3	1,15
VI.	3 15	190	19,27	17,0	2,27	1,19

Hiernach betrug zwischen 1^h und 3^h (also mit Weglassung des ersten Aufstiegs) in den untersten 200 m die Temperaturabnahme für 100 m = $1,^{\circ}2$.

Die Beobachtungen im Fesselballon mögen jetzt noch anders verwerthet werden. In jeder Reihe wird das Mittel der höheren Lagen (von 150 m an) gebildet, desgleichen das Mittel der dortigen Temperaturen, und hierdurch wird die Temperaturabnahme auf 100 m bestimmt. Bei der zweiten Reihe werden nur die Beobachtungen vor Beginn des Regens benutzt. So entsteht folgende Tabelle:

No.	Zahl der Be- obachtungen	Mittlerer Zeitpunkt	Mittl. Höhe m	Temperatur		Diff.	Abnahme für 100 m
				unten	oben (mittlere)		
II.	3	1 ^h 7 ^m	193	19,5	17,13	2,37	1,23
III.	6	2 24	190	19,7	17,32	2,38	1,25
IV.	2	2 50	190	19,4	17,10	2,30	1,21
V.	2	3 1	175	19,45	17,35	2,10	1,20
VI.	4	3 14	180	19,27	17,25	2,02	1,12

Das Mittel dieser Werthe von Δ_{100} ist $1,02$ wie vorher. Dieser Betrag der Temperaturabnahme beweist die vollständige Labilität der Atmosphäre zu jenen Beobachtungszeiten.

Es ist nun von Interesse zu bemerken, dass diese Temperaturabnahme keineswegs gleichmässig ist, sondern wesentlich stärker in den tieferen Schichten. Allerdings sind immer nur beim Abstieg Temperaturen in niedrigeren Lagen abgelesen worden, und man könnte einwerfen, dass die hier beobachteten niedrigen Temperaturen auf Rechnung der Trägheit der Thermometer zu setzen seien. Dieser Einwurf erweist sich aber als ungerechtfertigt durch Vergleichung der gleichzeitig auf dem Michaeliskirchthurm in Hamburg in 111 m Höhe über dem Elbspiegel beobachteten Temperaturen, welche waren:

1^h	$18,01$	2^h	$17,01$	} Ballon ist oben.
	$17,03$	3^h	$17,01$	
	$17,02$		$17,02$	
$1^h 30^m$	$16,01$		$17,01$	
	einige Tropfen, dann stärkerer Regen.		$17,06$	} Ballon ist oben.

Nun nehmen wir von den Ballonbeobachtungen jene, welche in demselben Niveau mit dem Beobachtungspunkt auf dem Michaelisthurm an gestellt wurden. Dazu dient die Bemerkung,¹⁾ dass der Ballonplatz 21 m über der Nordsee, also etwa ebensoviel über der Elbe liegt. Daher ist die Höhe von 90 m des Ballons über dem Boden in demselben Niveau mit dem Beobachtungspunkt auf dem Thurm. In der folgenden Tabelle sind die gleichzeitig auf dem Thurm und in gleicher Höhe im Ballon abgelesenen Temperaturen zusammengestellt. Letztere sind, wo nicht in genau entsprechender Höhe Temperaturablesungen gemacht sind, interpolirt. An den Temperaturen im Ballon ist die erforderliche Correction $-0,03$ angebracht; die oben mitgetheilten Ablesungen auf dem Thurme sind bereits korrigirt. Als Temperatur auf dem Ballonplatz ist bei Fahrt II die 6 Minuten nachher bei der Rückkunft im Regen abgelesene Temperatur benutzt; bei den Fahrten IV, V, VI wurde die gleichzeitig am Boden voranzusetzende Temperatur durch Interpolation gewonnen.

1) Gefällige briefliche Mittheilung des Herrn Köppen.

No.	Zeit	Temperatur		Ballonhöhe	Temperatur auf dem Ballonplatz	Abnahme für 100 m
		auf dem Thurm	im Ballon			
		°	°	m	°	°
II.	1 ^h 11 ^m	17,3	17,0	90	18,0	1,1
III.	2 30	17,1	17,0	90	19,4	2,66
IV.	(2 50)	17,1	17,3	90	19,2	2,1
V.	3 5	17,1	17,7	90	19,0	1,4
VI.	3 20	17,3 ?	17,1	80	19,05	2,4

An den beiden in gleichem Niveau liegenden Orten sind also in diesen Fällen Temperaturen beobachtet, die meist nur um 0,^o1 bis 0,^o3 differiren; nur bei der fünften Fahrt beträgt die Differenz 0,^o6, hier jedoch im entgegengesetzten Sinn, als aus etwaiger Trägheit des Thermometers folgen würde. Daher dürfen die im Ballon auch bei schnellem Abstieg beobachteten Temperaturen als hinlänglich zuverlässig gelten. So erkennt man, dass — abgesehen von der Fahrt II, deren Temperaturangaben durch den gleichzeitigen Regen gestört sind — die Temperaturabnahme für 100 m in dieser untersten, nur 90 oder 80 m mächtigen Schicht fast doppelt so stark ist als die vorher bis 200 m hinauf berechnete, nämlich im Mittel der letzten vier Fahrten = 2,^o1 auf 100 m, im Mittel aller fünf = 1,^o93.

Eine noch schnellere Temperaturabnahme ergibt sich bei den Fahrten III und IV für die unterste Schicht von 40 oder 50 m Mächtigkeit.

Will man obige mit Fesselballon gewonnenen Werthe der vertikalen Temperaturvertheilung mit sonst schon bekannten Werthen vergleichen, so ist es wesentlich, die Bewölkungsverhältnisse in Betracht zu ziehn. Nach Beobachtungen auf der Plattform des Seewartethurms war die Bewölkung um 12^h, 1^h und 3^h vollständig (= 10), um 2^h 90 % des sichtbaren Himmels; und nach den Beobachtungen, die bei den Fahrten selber angestellt wurden, war nur bei der dritten die Bedeckung keine vollständige; die zweite und sechste aber vollzogen sich sogar z. Th. bei schwachem Regen. Während also diese Beobachtungen bei stärkster Bewölkung, z. Th. sogar bei Regen, angestellt wurden, liegen auf den Hochsommer (Ende Juli und Anfang August) bezügliche Zahlen vor, welche von Glaisher und von Sherman theils bei heiterem, theils bei wolkeigem Wetter gewonnen wurden. Auf Grund der in Sprungs Lehrbuch

enthaltenen Angaben sind die auf 100 m berechneten Temperaturabnahmen (Δ_{100}) zwischen 0 und 91,4 m und zwischen 0 und 182,9 m hier mit den Hamburger Zahlen in Vergleich gestellt.

	10 ^h a — 6 ^h p ¹)	3 ^h — 4 ^h p ²)		Hamburg
		wolkig	heiter	
0 — 91,4 m	1,091	1,082	1,088	2,01 (1,093)
0 — 182,9	1,043	1,034	1,054	1,02

Man erkennt dass Δ_{100} in Hamburg für die grössere Höhenstufe hinter jenen Werthen zurückbleibt, welche für den Hochsommer bei heiterem oder wolkigem, jedenfalls aber trockenem Wetter durchschnittlich statthaben, — was mit Rücksicht auf die regnerische Witterung bei den Hamburger Fahrten nicht merkwürdig ist. Um so merkwürdiger aber ist es, dass trotz dieses Umstandes der Hamburger Werth von Δ_{100} für die kleinere Höhenstufe den durchschnittlichen Werth sogar übertrifft.

Das Ergebniss der sämtlichen bei Luftfahrten angestellten Beobachtungen ist also in Uebereinstimmung mit den Beobachtungsergebnissen an Bergstationen. Sowie sich hier die Temperaturabnahme nach oben ungewöhnlich gross ergeben hatte, so ist auch bei der Münchener Fahrt der Zustand längere Zeit hindurch zweifellos labil; bei der Berliner Fahrt innerhalb der Wolke ebenfalls. Die Hamburger Fahrten haben dauernd während labilen Zustandes stattgefunden. So bestätigt die Witterung des 19. Juni 1889 auf's vollkommenste die Ansicht, die ich in meinem „Ursprung der Gewitter-Elektricität“ S. 10 — 16 wahrscheinlich zu machen gesucht habe, dass die besonders schnelle Temperaturabnahme nach oben und folglich die besonders niedrige Lage der Isothermfläche 0° charakteristisch sei für die Wetterlage nahe vor Ausbruch eines Gewitters — speciell eines Wärmegewitters.

1) Sprung, Lehrb. d. Meteorologie. Hamburg 1885. S. 89.

2) Ebenda S. 91.

§ 4. Die aufsteigenden Ströme.

Nachdem festgestellt ist, dass die Temperaturabnahme an Bergen um 9^h oder 10^h eine besonders starke war, und dass in der freien Atmosphäre bei München bereits um 9^h und dann wieder von 10—11^h der Zustand labil oder fast labil war — was auch bei Berlin von 9^{1/2}—10^h sich bestätigt —, so erscheint es als eine nothwendige Folge dieses labilen Zustandes, dass im Laufe des Vormittags, und besonders von 9^h an, vielfach aufsteigende Luftströme entstehen mussten. Sobald ein solcher Strom so weit vordringt, dass der mitgeführte Wasserdampf den Thaupunkt erreicht, muss der Strom in seiner weiteren Fortsetzung als säulenförmig aufsteigende Haufwolke erscheinen. Und in der That ist dies der Inhalt einer grossen Anzahl von Nachrichten der Beobachter. Die folgende kleine Zusammenstellung giebt zuerst Nachrichten aus den Alpen, etwa in der Reihenfolge von W nach O, und dann solche aus dem Vorgelände und dem Flachland.

Gäbris bei Gais. 7^h blockförmige Bewölkung.

Kempton. 7^h wolkenlos; in den Bergen steigen Nebel auf.

Sulzschneid. 7^h heiter; in der Tiefe Nebel, die in die Höhe steigen. 8—9^h leichte Wolken aus W, 9—10^h stärkere Wolkenbildung, ziehend aus N, 10—12^h Gewitterwolken im S, 12^h 50^m Gewitter im S.

Füssen. 8^h erscheinen kleine Wolken an einzelnen Bergspitzen, 10—11^h grössere Wolken an einzelnen Bergen im W, 8—900 m über dem Thal; 12^h 20^m kleines Gewitter im Osten.

Mittenwald. 7^h Berge ganz frei, doch im SW ein geschlossener Wolkenzug; 9^h Wettersteinspitze in eine Wolke gehüllt; 9—10^h steigen überall einzelne Wolken auf; 12^h S und W ganz mit Gewitterwolken bedeckt.

Rothholz bei Jenbach. Seit 9^h erscheinen Haufwolken.

Hirschberg am Tegernsee. 8^h Nebelhaufen steigen vom Flachland in die Höhe; gegen 1^h Gewitter im S.

Wendelsteinhaus. 7^{1/2}^h Nebel steigen aus den Thälern und nehmen Cumulusformen an; 8^h 50^m Nebel steigen mehr auf, die Thäler dampfen, die Aussicht wird schlecht; 9^h 30^m alle Gipfel durch Nebelschwaden verhüllt, das ganze Flachland im Nebel; 1^{1/2}^h Gewitter.

Schlechting. 9^h Stockwolken; 3^h Gewitter.

Salzburg. 8^h in den Bergen Dunst, über den Bergen säulenförmige cumuli; 9^h, 10^h und 11^h an den Bergen grosse cumuli.

Schafberg in Oberösterreich (1776 m). 9—10^h Thalnebel steigend, 10^h Gewitterwolken, 11^h und 12^h Wolken in gleicher Höhe wie der Schafberg, 1^h Gewitterwolken höher als der Schafberg; 2^h Gewitter gegen S.

Sonnblick in den Tauern (3100 m). 7^h Nebeltreiben aus SW, aufsteigender Nebel; 9^h Gewitterwolken im S und SW; 1^h im Nebel, es fängt an zu regnen bis 4^h, dann

- Gewitter und Schneefall bis 7^h, dann aufheiternd und ringsum Gewitterwolken mit ruhigem Stand; so auch Abends 9^h.
- Mussenhausen. 9^h trübt sich der Sonnenschein; 11^h bilden sich Stockwolken wie zu einem Gewitter im SW.
- Krumbach. 9^h bilden sich kleine cumuli, von SE nach NW ziehend.
- Iffeldorf. Seit 8^h bilden sich starke Wolken am Gebirge (Benediktenwand); 2^h 24^m Gewitter.
- Pittenhart. 11—12^h obere Wolken aus W, Gewitterwolken stabil.
- Ergoldsbach. 10^h cumuli sich bildend ohne wahrnehmbare Zugrichtung.
- Straubing (Beobachterstandpunkt: Stadthurm). 10^{1/2}^h bilden sich überall cumuli, sie bleiben im Ganzen an ihrem Platz, verändern sich aber stark. Im S. eine dichte Wand von ci-cu bis ci-str; auch 12—1^h ringsum cu, sehr wechselnd, aber kaum fortschreitend.
- Ansbach. Nach 9^h erscheinen cumuli. U. s. f.

Wo möglich noch unmittelbare Nachricht von der Wolkenbildung und von aufsteigenden Luftströmen geben die Beobachtungen im Luftschiff.

In der Beschreibung ¹⁾ der Fahrt des Ballon Herder heisst es: „An der Grenze der beiden Windzonen fand eine grossartige Wolkenbildung statt“. Dass diese Wolken aber ausschliesslich cumuli waren, sagen die Notizen der v. Sigsfeld'schen Beobachtungstabelle (S. 607).

Bei der Fahrt des Ballons Nautilus von Berlin aus machte Herr Gross folgende Beobachtungen ²⁾: „Von 9^h ab bewölkte sich der Himmel sehr schnell; mächtige Kumuluswolken entstanden vor uns, deren Köpfe weit über uns emporragten. Sehr bald entzogen uns die immer massiger werdenden Wolken zeitweise den erwärmenden Einfluss der Sonne. . . . Um 9^h 17^m (640 mm) stieg vor uns eine an ihrem unteren Rande tief blauschwarze mächtige Wolke rapide auf, indem sie sich gleichzeitig immer näher auf den Ballon zuwälzte“. Das Beobachtungsjournal berichtet schon 9^h 50^m von „dicken Regenwolken“, und 9^h 51^m vom Eintritt des Ballons in eine Wolke ³⁾: „Die Temperatur sank schnell unter den Gefrierpunkt herab, die Korbleinen, unsere Uniformen und Bärte bereiften, das nasse Thermometer fror ein, das trockne bedeckte sich beim Schleudern mit einer dicken milchigen Eiskruste. Gleichzeitig wurden wir durch den in der Wolke tobenden Wirbel-

1) Münchener Neueste Nachrichten a. a. O.

2) Zeitschr. f. Luftschiff. a. a. O. S. 253.

3) Ebenda S. 254.

wind erfasst, durch den der Ballon, bisher ein Urbild der Ruhe, hin und her geschleudert wurde. Die Nebelschichten der Wolke rasten wild durch einander um uns herum“.

Sehr interessant heisst es auch in der Beobachtungstabelle des Ballons Orion, der in Berlin von derselben Stelle aus, zehn Minuten früher als der Nautilus, aufgestiegen war¹⁾: „9^h 35^m (612 mm). Eine aus dem Scharmützelsee aufsteigende Wolke nimmt uns mit hoch“. Schon 10 Minuten später (9^h 45^m) lautet die Aneroidablesung 572 mm.

Durch alle diese verschiedenen Nachrichten ist unzweifelhaft erwiesen, dass am Vormittag des 19. Juni 1889, besonders von 9^h an, in Deutschland und in den südlich angrenzenden Alpen an den verschiedensten Orten zahlreiche Luftströme unter Haufwolkenbildung aufstiegen.

§ 5. Die Höhe der beginnenden Condensation.

Die untere Wolkengrenze der Cumuli kennzeichnet die Höhe, in welcher der aufsteigende Strom seinen Sättigungszustand erreicht. Nun liegen aus dem Laufe des Vormittags mehrere Beobachtungen von Wolkenhöhen (über dem Meere) vor, bei denen Berge als Pegel gedient haben. Aus der Lang'schen Abhandlung seien hier, unter gleichzeitiger Benutzung der Originalmittheilungen, einige Angaben hergesetzt:

Oberstdorf. 7^h alle Spitzen frei.

9—10^h etwas über 2000 m (Nebelhorn, Ifen, Widderstein, Hochvogel, Höffatspitze).

11^h 1600—1700 m (Söllereck).

12^h 2600 m (Fellhorn).

Füssen. 9^h 1600—1700 m (nämlich 800—900 m über dem Thale).

12^h 1900 m (Säuling).

1^h fast alle Berge frei.

Lenggries. 8^h 1600 m (cumuli hüllen die Spitze des Brauneck und Waxenstein theilweise ein).

11^h Berge frei.

Rothholz bei Jenbach. 9^h 1460 m (nämlich cumuli 910 m über dem Thal).

12^h 2230 m (Nebel auf Sonnenwendjoch).

Wendelstein. 9^h cu am Miesing und im W bis 1500 m herab.

Schlechting. 7—8^h 1200 m.

12^h 1680 m (Haidenholzalpe und Kampenwand).

Vorher (10^h circa) tiefer, nämlich unter der Haidenholz- und Wuhrstetalpe.

Schafberg. 11^h 1775 m (nämlich in gleicher Höhe wie der Schafberg), vorher niedriger, nämlich aus den Thälern aufsteigend, nachher höher.

1) Ebenda S. 262.

Man kann aus dieser Zusammenstellung entnehmen, dass um 9—10^h die untere Wolkengrenze meist in etwa 1500—1600 m Seehöhe sich befand, jedoch im W etwas höher.

Noch unmittelbarere Nachricht von der Höhenlage der unteren Wolkengrenze geben die Ballonbeobachtungen. Bei der Münchener Fahrt wurden notirt (vgl. S. 607):

9^h 40^m, 1000 m über der Sternwarte, also 1529 m Seehöhe: cumuli ringsum.

10^h 0^m, 1554 m Seehöhe: cumuli östlich, Aureole.

Weil letztere Erscheinung das Vorhandensein von Tröpfchen um den Kopf des Beobachters beweist, so war der Ballon hier im Randgebiet einer Wolke.

9^h 50^m, 1664 m Seehöhe: cumuli unter uns.

Hiernach darf man annehmen, dass um 9^{1/2} bis 10^h die untere Wolkengrenze etwa in 1500 m Seehöhe gelegen haben wird. Uebereinstimmend hiermit heisst es in der Beschreibung der Fahrt ¹⁾: „Es war möglich, den Ballon von 7^h 30^m bis 11^h 30^m im Allgemeinen in der Nähe der besagten beiden einander entgegengesetzten Luftströmungen und damit in der wolkenbildenden Zone zu erhalten. So oft das Luftschiff die Höhe von etwa 1000 m (N. B. über dem Abfahrtsort, also 1529 m über dem Meere) überstieg, gelangte es in die obere Windzone und wurde in östlicher Richtung abgetrieben“. Hier ist also ebenfalls die Meereshöhe von etwa 1500 m als Höhe der unteren Wolkengrenze erkennbar. Freilich schon um 10^h 50^m lag diese Grenze wesentlich tiefer; denn um diese Zeit heisst es im Beobachtungsjournal (in 1394 m Seehöhe): cumuli unter uns! — Ueberhaupt herrschte keineswegs gleichmässige Vertheilung der Luftfeuchtigkeit; z. B. gleich beim Beginn der Fahrt wurde notirt: „7^h 55^m. Bei 270 m über dem Boden Nebel, obere Grenze bei 450 m“. Somit lag um diese Zeit eine 180 m mächtige Wolke bereits in 800 m Seehöhe.

Bei der Berliner Fahrt des Nautilus heisst es im Beobachtungsjournal: 9^h 5^m 622 mm (1755 m Höhe): „Es bildet sich ganz plötzlich eine mäch-

1) Münchener Neueste Nachrichten a. a. O.

tige dunkle Wolke unter uns“. Somit war der Punkt der beginnenden Condensation unterhalb 1755 m. Ferner aber heisst es: 9^h 51^m 609 mm (1935 m Höhe): „Unterer Rand der Wolke“. Also hatte dieser Rand seine Höhenlage mittlerweile um ein paar hundert Meter geändert.

Die Temperaturen, welche in jenen Höhen beginnender Condensation herrschten, sind durch die Ballonbeobachtungen ebenfalls bekannt. Bei der Münchener Fahrt wurden um 9^h 40^m und 10^h 0^m in 1529 und 1554 m Seehöhe 10,^o8 und 10,^o0 beobachtet; dies sind solche Temperaturen, dass die vom Boden bis dahin stattfindende Temperaturabnahme 0,^o89 und 0,^o986 auf 100 m betrug. Beide Abnahmen sind sehr beträchtlich; letztere schon beinahe gleich der adiabatischen eines ohne Condensation aufsteigenden Luftstromes. Von hier an stieg der Strom mit Condensation auf, d. h. hier begann die Wolkenbildung.

Die bei der Berliner Fahrt nahe der unteren Wolkengrenze beobachteten Temperaturen (5,^o0 5,^o5 3,^o5) waren solche, dass die vom Boden bis dahin stattfindende Temperaturabnahme auf 100 m betrug:

um 9 ^h 2 ^m in 1810 m Höhe	0, ^o 82
„ 9 39 „ 1605 „ „	0, ^o 97
„ 9 50 „ 1995 „ „	0, ^o 89.

Auch diese Temperaturabnahmen sind sehr beträchtlich; und namentlich jene bis 1605 m entspricht wieder beinahe der trockenen adiabatischen.

Schliesslich soll nun noch der Versuch gemacht werden, in einigen durch die Beobachtung kontrollirbaren Fällen die Höhenlage der unteren Wolkengrenze auf dem Wege der Rechnung zu ermitteln; d. h. es soll auf Grund des bekannten Zustandes der Luft am Boden berechnet werden, bis zu welcher Höhe ein vom Boden aufsteigender Luftstrom vordringen muss, damit der mitgeführte Wasserdampf sich kondensire. Die Aufgabe ist vermittlest der bekannten graphischen Methode von Hertz leicht lösbar.

In Rothholz bei Jenbach (536 m Meereshöhe) wurde um 9^h beobachtet: 718,2 mm; 19,^o8; Dampfspannung 11,3 mm; relative Feuchtigkeit 66 %. Weil bei diesem Zustande 14,9 g Wasserdampf im kg feuchter Luft zur Sättigung erforderlich sein würden, so erkennt man als thatsächlich vorhanden 9,83 g Wasserdampf im kg feuchter Luft.

Beim Aufsteigen muss Condensation eintreten, wenn Druck und Temperatur auf 653 mm und 11,08 gesunken sind. Die zugehörige Höhe über dem Boden berechnet sich zu 810 m, d. i. 1346 m Seehöhe.

In München wurde um 9^h 40^m auf der Sternwarte (529 m Meereshöhe) und auf der meteorologischen Centralstation (525 m Meereshöhe) beobachtet:

	Luftdruck	Temperatur	Dampfspannung	Rel. Feuchtigkeit
Sternwarte	716,8 mm	19,067	12,47 mm	73 %
Centralstation	717,1 mm	20,05	12,1 mm	68 %

Aus diesen Daten leitet man (nach Hertz) ab, dass die Condensation eintreten musste bei

665 mm und 13,05 } d. h. in Höhen über { 639 m = 1168 m Meereshöhe.
658 mm und 13,01 } dem Boden { 734 m = 1259 m „

In München wurde um 10^h beobachtet:

Sternwarte	716,8 mm	20,01	12,4 mm	71 %
Centralstation	717,1 mm	21,0	12,1 mm	66 %

Hienach sollte Condensation eintreten bei

662 mm und 13,035 } d. h. in den Höhen { 678 m = 1207 m Meereshöhe.
650 mm „ 13,00 } { 839 m = 1364 m „

Vergleichen wir nun diese berechneten Höhen der unteren Wolken-
grenze über dem Meer mit den beobachteten:

	beobachtet	berechnet	Differenz
Rothholz 9 ^o	1460 m	1346 m	114 m
München Sternwarte	} 9 ^h 40 ^m 1529 m	1168 m	361 m
„ Centralstation		1259 m	270 m
„ Sternwarte	} 10 ^h 0 ^m 1554 m	1207 m	347 m
„ Centralstation		1364 m	190 m

Die Abweichungen zwischen Beobachtung und Rechnung sind gross, besonders wenn man bedenkt, dass die fraglichen Luftsäulen in Wahrheit etwa 530 m niedriger sind, da der Boden selbst diese Meereshöhe besitzt. Zudem zeigt sich, dass alle Abweichungen dasselbe Vorzeichen haben: die Condensation erfolgt thatsächlich in grösserer Höhe als

errechnet. Also muss irgend ein wesentlicher Umstand bei der Rechnung unberücksichtigt geblieben sein.

Wenn z. B. das Aufsteigen nicht vom Boden aus erfolgt, sondern von einem höheren Niveau, und wenn in diesem etwa dieselbe Temperatur herrscht wie am Boden (was nach Ausweis nächtlicher Luftfahrten im Hochsommer sicher in den Morgenstunden oft der Fall ist), so kann die Condensation erst in grösserer Höhe beginnen.

Eine andere mögliche Ursache obiger Nichtübereinstimmung könnte in etwaiger Uebersättigung¹⁾ gesucht werden. Jedoch geben die v. Sigsfeldschen Beobachtungen nie eine Andeutung von Uebersättigung, vielmehr nur zweimal einen 90 % überschreitenden Betrag der relativen Feuchtigkeit, nämlich um 9^h 30^m in 1609 m Seehöhe 93 %, und um 11^h 0^m in 1629 m 91 %; dagegen um 9^h 40^m in 1529 m nur 85 %, und um 10^h 0^m in 1554 m gar nur 80 %.

§ 6. Die Wetterlage um 11 Uhr Vormittags.

Ehe die Wolken in ihrem Aufsteigen weiter verfolgt werden, überzeugen wir uns noch kurz davon, wie sich mittlerweile die Wetterlage in den späteren Vormittagsstunden gestaltet hat. Hierzu verhilft besonders die von Lang für 11^h a m gegebene kartographische Darstellung von Luftdruck, absoluter und relativer Feuchtigkeit, Bewölkung und Temperatur.

Der Luftdruck ist über ganz Süddeutschland um 11^h geringer als um 8^h, seine Extreme betragen jetzt nur 759 und 762 1/2 mm. Das vom Bodensee durch die nördlichen Voralpen nach Osten sich erstreckende Minimalgebiet hat sich etwa in seiner früheren Gestalt erhalten; die beiden Depressionscentra sind nach wie vor deutlich darin unterscheidbar, ihr Druck ist aber von dem früheren Werthe 761 auf 759 herabgegangen. (Letzteres trifft auch noch für 2^h zu, doch sind die Druckdifferenzen alsdann noch geringer geworden.) Beide Depressionscentra werden cyclonal von schwachen Winden umkreist.

Die relative Feuchtigkeit zeigt 2 Maximalgebiete (70 %); das eine bedeckt den Bodensee und die westlich von ihm liegenden Gegenden.

1) Vgl. v. Bezold a. a. O. S. 2–9.

Das andere, charakteristischere ist ungefähr am früheren Orte: es fällt fast genau mit dem Gebiet geringsten Luftdrucks zusammen, noch ausgeprägter als um 8^h; es erstreckt sich nämlich von W nach E über die nördlichen Voralpen und das Alpenvorland vom Isarursprung bis nach Berchtesgaden.

Die Bewölkung hat wesentlich zugenommen; ihr Maximum (über $\frac{8}{10}$ der sichtbaren Himmelsfläche) findet sich nordöstlich vom Bodensee und über den nördlichen Voralpen mit einer geringen Unterbrechung beim Wettersteingebirge.

Die Temperatur ist in Süddeutschland überall auf 20 bis 22^o gestiegen, in Nordbaden und der Rheinpfalz auf 23^o.

Nicht ohne Interesse ist ein Blick auf die Meldungen der einzelnen Stationen über die zu dieser Vormittagszeit (etwa 10^h oder 11^h) beobachtete Wetterlage. Die meisten Orte notiren schwache Winde, welche im Laufe des Vormittags die halbe Windrose oder mehr durchlaufen. Auffällig ist jedoch der Umstand, dass vielfach um 10^h oder 11^h eine plötzliche Aenderung der Windrichtung berichtet wird, wie folgende Auswahl von Nachrichten zeigt.

Cassel. 10^h untere cu aus S, obere aus N.

11—1^h untere cu aus NNE, obere aus SSW.

Eisenhofen. 10^{1/2}^h NW₂, vor- und nachher ENE.

Ehingen. 7—9^h NNE, 10—11^h E.

Ergoldsbach. 10^h 10^m dreierlei Luftströmungen über einander: cu wellenförmig aus SW, cu aus SE, gestreifte Wolken aus NW.

Friedrichshall bei Heldburg. Bis 11^h N₁₋₂, dann SW₂.

Geisenheim. 9^h SSW₁, 10^h ESE₂.

Hechingen. 9—11^h N₂, dann SW₁.

Hergensweiler. 8—9^h N₂, 10—11^h E₄, cu um 10^h aus NNE, um 11^h aus WSW.

Hohenpeissenberg. 9^h SW₂, 10^h NW₂.

Hörlkofen. 7—11^h E₂, nur 10^h NE₂.

Krumbach. 9—12^h S, nur 10^h SE.

Landsbut. Bis 11^h SE₂, dann SW₂.

Lenggries. Bis 10^h NNW, dann NNE.

Mussenhausen. 7—9^h E₂, 10^h S₂, dann SW₂.

Moosburg. Bis 10^h E₂ oder ESE₂, dann SW₂.

Oberdorf. 9—12^h cu aus NW, nur um 11^h aus W.

Oberstdorf. 11^h NE₂, vor- und nachher SE.

Osterhofen. Vormittags immer E, nur 11^h NE.

Passau. 10^h E₁, vor- und nachher SW.

Pittenhart. 9—10^h untere Wolken aus W, obere (flockig) aus E, seit 11^h auch aus W.

Rott am Inn. 9^h N₄, 10^h E₄, 11^h W₄.

Schafberg. 11^h veränderlicher Wind, vorher WSW, nachher W.

Scheyern. Bis 10^h ENE₃, von 11^h N₃.

Speyer. Bis 10^h NE₂, dann SE₂.

Weihenstephan. Vormittags immer E₂, nur um 10^h SE₂.

Manche Orte berichten auch von Windstille zu dieser Zeit:

Kissingen. 9—11^h still, vor- und nachher NE.

München Centralstation. Bis 10^h ENE bis still, dann schwacher E.

München Sternwarte. 11^h obere Wolken unbewegt, vorher aus NE, nachher aus W.

Salzburg. Von 11^h an still, vorher NW und N.

Weissenburg am Sand. 10^h still, jedoch untere Wolken aus SW. Vorher NWwind, nachher NE₂.

Würzburg. 11^h still.

Dass gegen 10^h besonders starke Haufwolkenbildung eintrat, wurde schon (§ 4) durch einige Nachrichten belegt. Ergänzend seien hier noch einige weitere Meldungen angeführt.

Säntis. 11^h starke Bewölkungszunahme.

Kohlgrub. 10^h allgemeine Bewölkungszunahme.

Altstätten und Sonnblick haben um 10^h ein Bewölkungmaximum.

Rott am Inn. 10^h sehr dunstig.

Lindau. Dunstig bis 10^h.

München. Dunst den ganzen Vormittag, nur merkwürdigerweise 10^{1/2}^h auf kurze Zeit verschwunden.

Mit Rücksicht auf die gerade um 10^h oder 11^h besonders starke Haufwolkenbildung ist es nicht verwunderlich, dass um diese Zeit hier und da auch schon einige Regentropfen fallen; so in Bregenz um 10^{1/2}^h, Friedrichshafen 10^h 50^m, Hergensweiler 10^h, Immenstadt 11^h, Schloss Zeil 11^h 12^m, Wildpoldsried 10^h 36^m.

In augenscheinlichem Zusammenhange mit der Bewölkungszunahme gegen Mittag hin steht der eigenthümliche Gang der Temperatur an vielen Stationen, den die von Lang a. a. O. gegebene Tabelle III erkennen lässt. Ein Rückgang oder wenigstens Stillstand der Temperatur zeigt sich hier

von 9 ^h — 10 ^h in 5 Fällen,	von 11 ^h — 12 ^h in 14 Fällen,
„ 10 — 11 ^h „ 5 „	„ 12 — 1 „ 10 „

Auch in Spandau sank die Temperatur von 11^h — 12^h, desgleichen auf dem Säntis von 11^h — 12^h 50^m; in Chemnitz in Sachsen von 11^h — 2^h; in Hamburg auf dem Michaeliskirchthurm von 12^{1/4}^h an für einige Mi-

nuten, noch ehe Tropfen fielen. — Indessen nicht in allen diesen Fällen ist der Temperaturrückgang dadurch zu erklären, dass die Bewölkung gerade am Beobachtungsorte zugenommen hat. Für Kirchberg ist z. B. an beiden Terminen ausdrücklich helles Wetter bezeugt, und für Chemnitz an zwei Terminen (11^h und 12^h) Sonnenschein bei halbedecktem Himmel. Hier ist wohl anzunehmen, dass kühlere Luft entweder aus benachbarten, stärker bewölkten Gegenden, oder vielleicht auch aus der Höhe herbeigeströmt ist.

§ 7. Die Erreichung der Eisregion.

Nachdem, hauptsächlich auf Grund süddeutscher Nachrichten, nachgewiesen ist (§ 4), dass im Laufe des Vormittags, besonders seit 9^h, über weiten Gebieten Deutschlands zahlreiche aufsteigende Luftströme sich entwickelten, und nachdem die Höhe ermittelt ist (§ 5), in welcher innerhalb dieser Ströme Condensation eintrat, soll jetzt die weitere Temperaturabnahme in den unter Condensation aufsteigenden Strömen verfolgt werden bis dahin, wo die Abkühlung bis 0° vorgeschritten ist. Auch diese Aufgabe ist vermitteltst der graphischen Methode von Hertz ohne Weiteres lösbar.

Bei der Münchener Ballonfahrt wurde um 10^h 0^m bei 1554 m Seehöhe im Wolkenrand beobachtet 10,0° und 635,1 mm Luftdruck. Ein unter Condensation von hier weiter aufsteigender Luftstrom muss bei 512 mm, d. h. nach Steigung um weitere 1764 m oder in einer Meereshöhe von etwa 3320 m die Temperatur 0° erlangen.

20 Minuten zuvor wurde in 1529 m Seehöhe — während sich ringsum cumuli befanden — beobachtet 10,08° und 637,1 mm. Unter der Annahme, dass hier der Ausgangspunkt eines unter steter Condensation aufsteigenden Luftstromes sei, findet man für den Eintritt der Temperatur 0° den Druck 503 mm, wozu ein Anstieg um 1894 m, also die Erreichung einer Meereshöhe von 3423 m erforderlich ist. — Diese beiden Ergebnisse stimmen hinlänglich überein. Zur Zeit der Münchener Ballonfahrt hatten die aufsteigenden Haufwolken diese Höhe aber noch nicht erreicht; denn um 11^h 0^m befand sich der Ballon dicht über den Wolken in einer Meereshöhe von 1629 m, und um 11^h 27^m in 2080 m Höhe hatte er die obere „Grenze des Dunstes“ erreicht.

Bei der Berliner Fahrt trat der Ballon um 9^h 51^m in den unteren Rand einer Wolke bei 1935 m Höhe über dem Abfahrtsort (welcher selbst etwa 37 m über dem Meeresspiegel liegt); der Druck betrug 609 mm. Die Temperatur war 1 Minute vorher 3,^o5 gewesen und das in einer um 60 m grösseren Höhe; 3 Minuten nachher war sie nur 1,^o5. In Ermangelung eines anderweitigen bestimmten Anhaltspunktes möge sie zu 3,^o0 angenommen werden. Der unter Condensation aufsteigende Strom muss bei 572,2 mm, d. h. nach einer Steigung um 504 m oder in 2439 m Höhe die Temperatur 0^o erlangen. In Wahrheit wurde diese Temperatur schon bei 580 mm Druck, also nach einer Steigung um 395 m oder in einer Höhe von 2330 m angetroffen. — Die Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung ist also wenigstens leidlich gut.

Bedingung für das Aufsteigen eines Luftstromes ist, dass die Temperatur ausserhalb desselben schneller abnehme als innerhalb, weil nur so die in der erreichten Höhe schon vorhandene Luft schwerer als die emporgestiegene ist, also nur so ein Antrieb zum Weitersteigen vorhanden ist. Bei der Berliner Fahrt sind einige Zahlen gewonnen, welche mit diesen Schlüssen übereinstimmen. Nämlich der untere Wolkenrand lag 9^h 51^m in 1935 m Höhe über der Abfahrtsstelle und hatte die Temperatur + 3,^o0 (ungefähr). Dagegen herrschte um 10^h 16^m in 3040 m Höhe innerhalb der Wolke nahe unter ihrem oberen Rande die Temperatur — 4,^o0, so dass in der Wolke auf einen Höhenunterschied von 1105 m eine Temperatursenkung von 7,^o0 kam oder durchschnittlich 0,^o63 auf 100 Meter. — Hingegen wurde um 9^h 50^m dicht vor dem Eintritt in die Wolke bei 1995 m Höhe + 3,^o5, und um 10^h 22^m bald nach dem Austritt aus dem oberen Wolkenrande in 3305 m Höhe — 6,^o0, also auf einen Höhenunterschied von 1310 m eine Temperatursenkung von 9,^o5 beobachtet, d. i. 0,^o73 auf 100 Meter.

Daraus, dass die Temperaturabnahme nach oben innerhalb des unter Condensation aufsteigenden Stroms, d. h. innerhalb der Wolke, eine langsamere ist als ausserhalb, folgt nothwendig, dass die Isothermfläche 0^o ausserhalb eine niedrigere Höhenlage haben muss als in der Wolke. Diese Fläche musste also in der Gegend von München gegen 10^h Vormittags etwa in 3300 m Meereshöhe (oder nur wenig höher) liegen, in der Berliner Gegend aber 1000 m tiefer.

Hier möge man sich nun einiger am Schluss des § 2 angeführter Cirrusbeobachtungen erinnern, wonach vier verschiedene Beobachter übereinstimmend vom Herabsinken und Sichauflösen der Cirruswolken Nachricht geben. Wenn nun die Eiskrystalle solcher Wolken, in tiefere und wärmere Luftschichten herabsinkend, sich in Dampf verwandeln, so muss durch Verdunstungskälte eine wesentliche Abkühlung dieser Schichten herbeigeführt werden. Hierin kann sehr wohl ein Grund für ein besonders tiefes Herabsinken der Isothermfläche 0° liegen.

Wie gross diese Abkühlung gelegentlich sein kann, lehrt folgendes Beispiel: Die Eiskrystalle mögen die Temperatur 0° haben und so vereinzelt sein, dass sich etwa 0,001 g im Liter Luft befinden. Die bei der Verdampfung von Eis von 0° verbrauchte Wärmemenge ist gleich der Summe seiner Schmelzwärme und der Verdampfungswärme des Wassers von 0° , also hier $= 0,001 \cdot (80 + 607) = 0,687$ Grammmcalorien. Diese Wärme wird dem Liter Luft entnommen. Der Vorgang möge in etwa 3000 m Seehöhe, also bei etwa 534 mm Druck vor sich gehn. Ein solches Liter Luft wiegt 0,909 Gramm. Entnimmt man ihm obige Wärmemenge, so beträgt die Abkühlung t° , wo t aus der Gleichung folgt

$$0,909 \cdot 0,2377 \cdot t = 0,687,$$

wenn 0,2377 die spezifische Wärme der Luft bei constantem Drucke ist. So folgt $t = 3,018$. Also die Verdampfung eines Milligramms Eis von 0° in 1 Liter Luft in 3000 m Höhe bewirkt eine Temperatursenkung dieses Liters um mehr als 3° .

Es unterliegt keinem Zweifel, dass dieser Umstand geeignet ist, das Empordringen aufsteigender Luftströme in grosse Höhen wesentlich zu befördern.

Verfolgen wir nun die aufsteigenden Ströme noch weiter! Die bei der Berliner Fahrt in der Wolke angestellten Beobachtungen lehren unmittelbar, dass die Nebeltheilchen der Wolke „nicht gefroren waren, obgleich bis 7° Kälte in ihnen herrschten. Erst beim Ansetzen an die Kleider und das Tauwerk des Ballons erstarrten sie zu Reif und bildeten um die Instrumente eine Eiskruste von milchigem Ansehen“. ¹⁾ Schon frühere Beobachtungen des Herrn Assmann auf dem Brocken hatten

1) a. a. O. S. 257.

gelehrt, dass die Wolken im Winter vielfach aus überkältetem Wasser bestehen. Vermuthlich ist der Vorgang sogar in der Regel der, dass die Tröpfchen beim weiteren Aufsteigen zunächst nicht sofort gefrieren, sondern dass sie sich merklich überkälten: ein Vorgang, auf dessen grosse Wichtigkeit für das Verständniss der Hagelbildung und der plötzlichen Luftdrucksteigerung bei plötzlicher Auslösung der Ueberkältung zuerst Herr v. Bezold nachdrücklich hingewiesen hat.

Mit Erreichung der Temperatur 0° ist also noch nicht sogleich auch die Eisregion erreicht; indessen kann dieselbe nicht mehr fern sein. Denn wenn die Tröpfchen nicht erstarren, so wird keine Wärme erzeugt, und daher muss der bis 0° abgekühlte Luftstrom bei weiterem Aufsteigen sich weiter abkühlen. Alsdann aber muss der fortan sich kondensirende Dampf unmittelbar als Eis sich niederschlagen. Auf diese Art trägt der Luftstrom ein Gemisch von überkälten Wassertröpfchen und kleinsten Eistheilchen empor. Die Zahl der letzteren wird besonders bei schnellem Aufsteigen nicht unbeträchtlich sein. Bei den unregelmässigen inneren Bewegungen dieser emporstrudelnden Wolke und der verschiedenen Fallgeschwindigkeit der Wasser- und Eistheilchen in der widerstehenden Luft ist nun offenbar nicht selten Gelegenheit zur Berührung der Tröpfchen mit Eistheilchen gegeben, wobei sofort Erstarren der Tröpfchen eintreten muss. Da dieser Process überall durch den ganzen Querschnitt des aufsteigenden Stroms hin stattfindet, so muss diese „Auslösung der Ueberkältung“ über eine grössere Fläche hin merklich gleichzeitig vor sich gehen, wodurch mir die von Herrn v. Bezold hervorgehobene Schwierigkeit¹⁾ im Wesentlichen beseitigt zu sein scheint.

§ 8. Der Gewitter-Ausbruch.

Während im Flachlande die Gewitter vielfach erst um 4^h, 6^h oder noch später gegen Abend auftraten, kamen sie an einzelnen Stellen der Alpen schon Mittags zum Ausbruch (Gäbris bei Gais 12^h, Ettal 12^h, Mittenwald 12^h 5^m, Füssen 12^h 20^m u. s. f.), in Uebereinstimmung mit der Thatsache, dass hier gegen Mittag geringster Druck, höchste relative Feuchtigkeit und hohe Temperatur gleichzeitig vorhanden waren. Die

1) a. a. O. S. 28.

Zusammenstellung von Wolkenhöhen (§ 5) lehrt, dass bis zu diesem Zeitpunkt (12^h) sicher das Aufsteigen der Luftströme fortgedauert hat. Denn überall finden sich dort die Wolken um 12^h in grösserer Höhe als vorher. Das bis über Mittag hinaus dauernde Aufsteigen wird ferner durch die Beobachtungen einiger Bergstationen ausdrücklich bezeugt. Man vergleiche hierzu die oben mitgetheilten Beobachtungen vom Schafberg und Sonnblick (§ 4).

Verknüpfen wir nun folgende Thatsachen: Im Voralpengebiet lag um 9—10^h die untere Wolkengrenze, wie § 5 gezeigt, in 1500—1600 m Meereshöhe, im W sogar etwas höher. Die Mächtigkeit der Haufwolken aber kann nach Analogie der bei der Berliner Fahrt gemessenen Mächtigkeit (§ 3) sicher durchschnittlich zu 1000 m oder mehr angenommen werden, so dass die Wolkenköpfe etwa bis 2600 m hinauftrugen. Das Aufsteigen dauerte bis Mittag oder noch länger, also mindestens noch 3 Stunden fort. Hiernach unterliegt es keinem Zweifel, dass die emporströmenden Luftmassen an vielen Orten schon gegen Mittag bis zur Eisregion vorgedrungen sind, denn diese begann, wie gezeigt, in Süddeutschland damals schon zwischen 3000 und 4000 m Meereshöhe. Und mit der Erreichung dieser Höhe kamen dann die Gewitter zum Ausbruch.

Dass in der That auch bei den Gewittern dieses Tages das Eis eine gewisse Rolle gespielt hat, wird durch mehrere direkte Nachrichten über das Auftreten von Eis beim Gewitter bezeugt. Auf dem Sonnblick (3095 m) regnete es von 1 bis 4^h p m, dann trat Gewitter mit Schneefall ein bis 7^h. In Egenried bei Obersöchering fielen etwa um 1^h kleine Hagelkörner. Um 6^h 35^m—8^h 30^m fiel in Biburg sehr starker Regen, vermischt mit Hagel. In München wurde auf der Sternwarte um 6^h 25^m, auf der Centralstation 10 Minuten später Hagel mit Regen beobachtet. Auch aus Baden, Württemberg, Sachsen und Preussen liegen von diesem Tage beziehungsweise 6, 4, 4 und 32 Meldungen über Hagel vor.

Bis hierher haben wir es nur mit den Ergebnissen unmittelbarer Beobachtungen oder doch mit einfachen Schlussfolgerungen aus denselben zu thun gehabt. Der Process des eigentlichen Gewitterausbruchs dagegen, die Entstehung der grossen Elektrizitätsmengen und hohen elektrischen Spannungen, ist bisher noch nicht der direkten Beobachtung zugänglich gewesen. Hier tritt also die Hypothese ein. Nach meiner Ansicht ist

das Auftreten der grossen Mengen hochgespannter Elektrizität auf Reibungsvorgänge zwischen Wasser- und Eistheilchen in der Höhe zurückzuführen. Das Gewitter währt so lange, als diese Reibungsprocesse dauern. Aber es ist begreiflicher Weise schwierig, zu einigermaßen genaueren Vorstellungen über diesen Vorgang zu gelangen. Zwei Arten solcher Reibungsprocesse verdienen indessen hervorgehoben zu werden.

1) Dass sehr häufig heftige relative Bewegungen benachbarter Luftschichten vorkommen, wird durch Ballonbeobachtungen bezeugt. Wiederholt wird von Luftströmen berichtet, die mit sehr verschiedener Geschwindigkeit und Richtung horizontal über einander hinfließen, was man ja auch vom Boden aus nicht selten am Wolkenzuge beobachten kann. Sehr häufig werden auch emporwirbelnde Luftmassen getroffen. Schon vorher (§ 4) wurde von dem in der Wolke tobenden Wirbelwind berichtet, den die Berliner Luftfahrer an diesem Tage erlebten. Bei dieser Gelegenheit schreibt Herr Gross ferner:¹⁾ „In der grossen Cumuluswolke war, wie ich dies fast stets gefunden, ein wirbelartiger Wind, welcher die einzelnen Theile der Wolke in wilder Jagd durch einander trieb. Dieser Wirbel . . . ist häufig so stark, dass der Ballon dadurch geradezu in gefährliche Schwankungen gerathen kann. Ich entsinne mich zweier Fahrten, wo wir uns auf den Gondelboden kauerten und krampfhaft an den Gondelleinen anklammern mussten, so stark waren die Schwankungen des Ballons, in welchen der Wind eine Delle eindrückte und eine unheimliche Musik durch sein Sausen hervorrief.“

In demselben Sinne äussert sich Herr Hauptmann H. Hörnes²⁾ über eine am 3. September 1888 gegen 4 Uhr Nachmittags³⁾ ausgeführte Fahrt: „In circa 800 m Höhe dahinschwebend, sahen wir mit rasender Schnelligkeit eine schwarze Wolke uns nacheilen, die uns schon nach wenig Augenblicken aufnahm und in ein undurchdringliches Grau hüllte. Dabei stieg der Ballon fortwährend über seine Gleichgewichtslage hinaus, von einem Wirbelsturm emporgerissen. Nach circa 2 Minuten Dauer begann die Gondel so stark zu schaukeln, dass wir uns mit beiden Händen an die Haltestricke anklammern mussten, um nicht herausgeschleudert zu

1) A. a. O. S. 257.

2) Ueber Ballonbeobachtungen. Hartlebens Verlag. 1892. S. 7.

3) Das Datum verdanke ich gefälliger brieflicher Mittheilung.

werden. Dabei bedeckte sich unser Bart mit dichten Eisnadeln und heftiger Frost stellte sich ein, der unsere Glieder erstarrte. Zum Glück dauerte die ganze Affaire nicht länger als circa 20 Minuten“ u. s. f. — Die im II. Abschnitt mitgetheilten 2 Fahrten (§ 10 und § 13) geben weitere Beispiele solcher aufwirbelnder Ströme. Wenn nun z. B. die von dem emporwirbelnden Luftstrom getragenen Theilchen Wassertröpfchen sind, während ausserhalb des Luftstromes Eistheilchen schweben, so sind die Bedingungen für die Reibung von Wasser und Eistheilchen, sowie für die sofortige Trennung der durch Reibung entgegengesetzt elektrisch gewordenen Theilchen gegeben. Das Ganze stellt eine schraubenförmig gebaute Reibungs-Elektrirmaschine vor. Aehnliches gilt, wenn das Gewitter, wie Herr Vettin will,¹⁾ in Gestalt einer horizontal wirbelnden Luftwalze fortschreitet. Freilich ist es bisher noch nicht gelungen, genau denselben Vorgang im Laboratorium herbeizuführen, d. h. zwei Luftströme, die beziehungsweise mit Wassertröpfchen und Eistheilchen beladen sind, reibend an einander vorbei zu treiben, so dass eine Scheidung der Elektricitäten einträte. Aber man hat einen ziemlich vollkommenen Ersatz für diesen noch nicht ausgeführten Versuch in einem anderen. Es ist nämlich experimentell ganz zweifellos bewiesen, dass ein mit Tröpfchen beladener Luftstrom, der gegen ein Eisstück stösst, letzteres positiv elektrisirt, während die Wassertröpfchen negativ werden. Diesen von Faraday zuerst ersonnenen Versuch habe ich vielfach wiederholt und variirt,²⁾ und dabei Eis von -2° bis -10° durch Reibung mit den im gegebeneblasenen Luftstrom schwebenden Tröpfchen regelmässig stark positiv elektrisch werden gesehen.

2) Ein zweiter Reibungsvorgang, der vermuthlich bei jedem Gewitter auftritt, findet sein vollständiges Analogon im Laboratoriumsexperiment. Nämlich das eben genannte Experiment ist in der freien Atmosphäre genau verwirklicht jedes Mal, wenn Hagel durch eine aus Tröpfchen bestehende Wolke herabfällt. Denn für den Reibungsvorgang ist nur die relative Bewegung der Wassertröpfchen und des Eises massgebend, so dass es auf dasselbe hinauskommt, ob die Tröpfchen gegen das Eis stossen oder das Eis gegen die Tröpfchen. Nun spielt der Hagel bei den Gewittern vermuthlich eine sehr wichtige Rolle,

1) Verhandlungen der phys. Gesellsch. zu Berlin im Jahre 1856. V. Jahrg. S. 94.

2) Ursprung der Gewitter-Elektricität. Jena. Fischer. 1855. Abschn. IV. S. 36—41.

wenn er auch oft nur geschmolzen zur Erde gelangt und daher un-
erkannt bleibt.

Auf diese Rolle des Hagels habe ich gelegentlich schon in der ersten Darstellung meiner Theorie¹⁾ hingewiesen; nachdrücklicher aber in der Abhandlung „Gewitter-Elektricität und gewöhnliche Lufterlektricität“²⁾ bei Behandlung des aufsteigenden Stromes. „Auf den zuerst gebildeten Eiskrystallen kondensiren sich schnell grössere Mengen aus den nachdringenden Wasserwolken, besonders wenn letztere überkaltet waren; vermöge ihres erheblichen Gewichts fallen die so entstandenen Eiskörner als Hagel durch die Wasserwolken herab und geben so Anlass zu heftiger Reibung von Wasser und Eis und sofortiger Trennung der geriebenen Theilchen“.

In erfreulicher Uebereinstimmung mit dieser Ansicht stehen Aeusserungen des Herrn v. Bezold³⁾: „Es ist nicht unwahrscheinlich, dass viele Gewitterregen in der Höhe die Form von Graupeln oder Hagel besitzen und erst in den tieferen Schichten der Atmosphäre sich in Regen verwandeln. Wenigstens werden Graupeln und Hagel an höher liegenden Stationen im Allgemeinen häufiger beobachtet als im Tieflande“. Ferner: „Ich halte es deshalb für wahrscheinlich, dass Graupeln und Hagel beim Gewitter noch eine weit grössere Rolle spielen, als man es gewöhnlich annimmt, und dass ihr verhältnissmässig seltenes Auftreten am Erdboden eben nur darauf zurückzuführen ist, dass sie häufig in geschmolzenem Zustande unten ankommen“.

Freilich erscheint es demselben Autor „schwer verständlich, wie durch die Reibung der herabfallenden Graupel- oder Hagelkörner eine dauernde Scheidung der Elektricitäten zu Stande kommen soll, da bei Temperaturen unter 0° die Wassertheilchen sofort mit den Eisstückchen zusammenfrieren müssen, während bei Temperaturen über 0° die Oberfläche des Hagelkorns bereits mit Wasser überzogen ist und demnach nur Reibung von Wasser an Wasser stattfinden könnte“. Diesem Bedenken gegenüber berufe ich mich einfach auf meine oben citirten, nach Faraday's Vorgange ausgeführten Experimente, bei denen Wassertröpfchen

1) a. a. O. S. 32.

2) Met. Zeitschr. November 1888. S. 416/17.

3) Zur Thermodynamik der Atmosphäre. a. a. O. S. 29.

von nicht genauer bekannter, Temperatur mit Eis von -2° bis -10° zur Reibung gebracht wurden und letzteres dabei kräftigst positiv elektrisirten. Ein Zusammenfrieren von Eis und Wassertheilchen fand hier also nicht statt! In genau derselben Weise müssen Hagelkörner, deren Temperatur unter 0° liegt, sobald sie durch eine Schaar von Wassertröpfchen hindurch fallen, positiv elektrisch werden und die Tröpfchen negativ zurücklassen, ohne dass sie mit ihnen zusammengefrieren müssten. — Wie sich hierbei überkaltete Tröpfchen verhalten, ist noch nicht durch eigene Versuche ermittelt, für die vorliegende Frage aber auch ohne sonderliche Bedeutung, da das Zusammentreffen von Eis mit überkalteten Tröpfchen im Allgemeinen nur auf einer verhältnissmässig kurzen Strecke des ganzen Weges, der vielmehr überwiegend gewöhnliche Tröpfchen darbietet, stattfinden kann.

Es sei hier gestattet, aus der neuesten Literatur einen sehr merkwürdigen Fall anzuführen, der sich durchaus ungezwungen aus obigen Anschauungen erklärt. Herr Trientl in Hall berichtet¹⁾: „Zu Ehrenburg im Pusterthal habe ich folgende Erscheinung bei einem Hagelwetter erlebt. Nach wenigen recht schweren Regentropfen folgte ein starker Blitz und Donner und unmittelbar darauf, durch einige Minuten, ein Hagel von etwa 1 cm im Durchmesser haltenden Körnern. Der Hagel hörte vollständig auf und fast kein Regentropfen fiel mehr. Aber nach kaum einer Minute erfolgte wieder Blitz, Donner und Hagel; das ganze Schauspiel wiederholte sich dreimal“.

Für den engen Zusammenhang des Hagels mit dem Gewitter sprechen ferner, wie ich schon 1888 a. a. O. angeführt habe, die Ergebnisse der ausgedehnten Gewitterstudien der k. b. meteorologischen Centralstation. Herr F. Horn sagt neuerdings darüber²⁾: „Bereits 1887 hat sich ergeben, dass die Hagelschläge zeitlich stets mit Gewittern zusammenfallen; dass der Gleichlauf der Gewitter- und Hagelhäufigkeit feststeht; ebenso die Thatsache, dass kein Hagelschlag ohne Gewitterentladung auftritt“. Woraus man natürlich nicht ohne Weiteres berechtigt ist, den unge-

1) Meteorolog. Zeitschr. 1893. S. 475.

2) Die Gewitterforschung an der k. b. met. Centralstation seit dem Jahre 1879. In „Beobacht. d. met. Stationen im Kgr. Bayern. Herausgeg. von Lang und Erk. Bd. XIV. Jahrgang 1892. S. 5, 6, 7 und 10.

kehrten Schluss zu ziehen. „Auch die mehrjährigen Zusammenstellungen und Untersuchungen (N. B. für Bayern, Württemberg, Baden und Hohenzollern) haben zum gleichen Ergebnisse geführt. . . . Die beiden Curven, welche den säculären Verlauf beider Erscheinungen (Gewitterhäufigkeit und Hagelhäufigkeit) veranschaulichen, gehen vollständig parallel.“ „Der tägliche Gang der Hagelfallshäufigkeit ist mit jenem der Gewitter identisch.“ „Die geographische Vertheilung der Hagelfallshäufigkeit bietet das gleiche Bild wie jenes für die Gewitter.“ — „Schliesslich wurden auch Flächen gleichzeitigen Hagelschlags dargestellt. Ihre verschiedene Gestalt, die Einschnürung und Erweiterung derselben, stimmt mit der Form der zugehörigen Flächen gleichzeitigen Donners überein. Nun ist klar, dass über derjenigen Gegend, wo diese Flächen breiter sind, mehr Hagel gefallen ist als dort, wo sie sich sehr einengen: der erwähnte Umstand über das Verhalten der beiden Flächensysteme lässt daher den Schluss zu, dass hier ein Zusammenhang zwischen der Hagelfallsintensität und der elektrischen Intensität vorhanden ist.“

Hiermit habe ich die Ausbildung der Gewitter des 19. Juni 1889 vom ersten Keime bis zum vollen Ausbruch verfolgt. Die in meinem „Ursprung der Gewitter-Elektricität“ für den Eintritt von Gewittern aufgestellte Hauptbedingung: „das Vorhandensein von Wasser- und Eistheilchen in gleicher Höhe der freien Atmosphäre und heftige relative Bewegungen derselben, so dass Reibung stattfinden muss,“ ist im vorliegenden Falle als thatsächlich erfüllt nachgewiesen. Aber auch die anderen Züge, die ich damals als charakteristisch für die Wetterlage vor dem Ausbruch von Wärmegewittern hinstellte: die in der freien Atmosphäre stattfindende besonders schnelle Temperaturabnahme nach oben hin (labiler Zustand), und im Zusammenhange damit die besonders niedrige Höhenlage der Isothermfläche 0° , so dass die aufsteigenden tröpfchenführenden Luftströme leicht bis zur Eisregion vordringen können, haben sich im vorliegenden, so genau übersehbaren Falle bis ins Kleinste bewährt.

Das Studium des genauest bekannten Tages mit Wärmegewittern bildet somit ein vorzügliches Beweisstück für die von mir vertretene Ansicht vom Ursprunge der Gewitter-Elektricität.

Abschnitt II.

Acht Luftfahrten an Gewittertagen.

§ 9. Der 20. Juni 1886.

Um 5^h 45^m Nachmittags unternahm Herr Lecoq von Clermond-Ferrand aus eine Luftfahrt, welche bis 8^h 5^m währte;¹⁾ der NOwind trieb den Ballon in dieser Zeit 135 km weit, woraus die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit 16 m sekundlich folgt. Um 7^h 30^m vernahm er einige Male sehr schwaches Rollen. Und in der That erfuhr er am nächsten Tage, dass man während seiner Fahrt auf den nahen Puy de Dôme Donner gehört habe. Nach den Angaben der Annales du Bureau central mét.²⁾ haben am Nachmittag dieses Tages von 1—2^h und von 5—6^h Gewitter die Auvergne durchzogen. Die Fahrt hat also unzweifelhaft bei gewitterhafter Wetterlage stattgefunden. Was sie nun besonders interessant macht, ist der Umstand, dass der Ballon um 6^h 37^m in 1450 m Höhe in eine Wolke sehr kleiner Eiskrystalle eintrat, welche sich aber nicht zu Flocken ballten. Beim Eintritt in die Wolke wurde die Temperatur + 4,^o7 notirt; die tiefste Temperatur + 2,^o1 wurde um 7^h 5^m in 1800 m Höhe beobachtet. Um 7^h 40^m gelangte das Luftschiff in so dichten Nebel, dass der 6 m oberhalb des Korbes schwebende Ballon nicht mehr zu sehen war. Der Nebel war trocken und warm (5—7^o), so dass der Ballon in ihm von selbst von 1700 bis zu 1900 m stieg. — Auf der Bergstation Puy de Dôme (1467 m hoch) wurden an diesem Tage Graupeln beobachtet.

Durch diese Fahrt ist also Eis in so geringer Höhe der Atmosphäre nachgewiesen, dass an diesem Gewittertage unzweifelhaft Wasser- und Eistheilchen dicht neben einander bestanden haben, womit eine Hauptbedingung für die Gewitterentstehung (nach meiner Theorie) erfüllt war.

1) Annuaire de la Soc. Mét. de France. t. 34. 1886. p. 273. Relation d'une ascension aérostatique effectuée à Clermond-Ferrand le 20 juin 1886.

2) „Orages en France.“

§ 10. Der 25. Juni 1887.

Um 7^{1/4}^h (a m oder p m?) unternahm Herr Lecoq mit einem Begleiter von Versailles aus in einem nur 700 cbm fassenden Ballon eine Luftfahrt.¹⁾ Bei SW stieg man schnell bis 600 m; die Sonne erschien durch leichtes pallium hindurch wie eine brennend rothe Scheibe. Im Moment der Abfahrt hatte sich eine Gewitterwolke gebildet, welche sich nun um 7^{1/2}^h dem Ballon schnell näherte. Dieser stieg von selbst gegen die Wolke hin auf; kleine Papierschnitzel eilten ihm voraus. Um 7^h 40^m in 1100 m Höhe drang man in einen Haufen grünlich-grauer Dämpfe ein. Auf die nicht seltenen Blitze folgten schnell die sehr kurzen Donnerschläge.

Der Ballon drehte sich beständig, stieg von selbst auf und ab. Fast dauernd wurde ziemlich starker Wind gefühlt, und der Nachen schwankte mit ziemlich beträchtlicher Schwingungsweite. In gewissen Momenten war das Gefühl eines Stromes von warmer Luft sehr merklich, gleichzeitig mit rapidem Steigen, welches sich auch durch den Gasgeruch verrieth. So gelangte der Ballon zu seiner Maximalhöhe 1600 m. — Das Gewitter wurde sehr stark: fast unmittelbar folgte der Donner, der einen viel trockneren Ton als gewöhnlich hatte, auf den Blitz. Schon um 8^h 10^m erfolgte die Landung in Vaugirard (Paris) bei strömendem Regen, der schon vorher begonnen hatte.

Weil abgesehen vom Aneroid gar keine wissenschaftlichen Instrumente mitgenommen worden waren, und weil wegen Kleinheit des Ballons auch keine nennenswerthe Höhe erreicht wurde, so beschränkt sich das Ergebniss dieser Fahrt für den vorliegenden Zweck lediglich auf den Nachweis stark aufsteigender Ströme und überhaupt heftiger relativer Bewegungen verschiedener Luftmassen innerhalb der Gewitterwolken.

§ 11. Der 23. Juni 1888.

Um 9^h 21^m a m stiegen die Herren Kremser, Opitz und v. Sigsfeld mit Ballon „Herder“ in Berlin auf und legten bis 4^h p m den Weg bis

1) Annuaire de la Soc. Mét. de France. t. 35. 1887. p. 301. Lettre de M. H. Lecoq sur une ascension aérostatique effectuée le 25 juin 1887.

Bunkenburg bei Celle in ziemlich genau ost-westlicher Richtung zurück.¹⁾ Beobachtungen wurden von 10^{1/2}^h a m bis 3^h p m mit dem Aspirationspsychrometer angestellt. Während die Wetterlage einigermaßen anticyklonal war, fanden doch an diesem Tage im fernen SW von der Flugbahn zahlreiche und schwere Gewitter statt. In Aachen entlud sich 4^{1/4}^h p m ein starkes Gewitter, von Osten kommend, und währte bis zur Nacht; es lieferte 33 mm Niederschlag.²⁾ Nach den Wetterberichten der deutschen Seewarte hatte Süddeutschland Gewitter mit starken Regenfällen (Kaiserslautern 30 mm, Wiesbaden 25 mm). In Karlsruhe tobten von 11^h a m bis 10^h p m Gewitter und brachten um 2^h p m Hagel. Altkirch hatte um 6^h p m, Bamberg Nachts Gewitter mit leichtem Regen. Cirren waren an diesem Tage weit verbreitet. Sie wurden um 8^h Morgens z. B. in Münster und Kaiserslautern beobachtet, ebenso cirrostratus in München; ferner um 2^h cirrostratus in Neufahrwasser und in Breslau. Den Luftfahrern selber „zeigte sich gegen Schluss der Fahrt im SW zusammenhängendes Cirrostratusgewölk“. Am Horizont sahen sie „das Dunstmeer sich ziemlich scharf gegen den Himmel abheben; auf dem Dunstmeer schwammen vereinzelt, infolge des Durchblicks jedoch scheinbar perlschnurartig aneinander gereiht, kleine Cumuli“. Die Wetterlage war also im fernen SW von der durchfahrenen Gegend sicher gewitterhaft; für das durchfahrene Gebiet selber lässt sich — wenigstens auf Grund der mir vorliegenden Nachrichten — darüber nichts Sicheres aussagen.

Der Bearbeiter der Fahrt hat zuverlässige Werthe für die Temperaturabnahme mit der Höhe abgeleitet, begünstigt durch den Umstand, dass der Ballon etwa zur Zeit der regelmässigen Nachmittagsbeobachtungen (2^h) sehr lange oberhalb der meteorologischen Station Gardelegen schwebte. Vom Boden bis 1240 m hinauf betrug die durchschnittliche Temperaturabnahme für 100 m 1,004; sie entspricht einem labilen Zustand der Atmosphäre. Derselbe ist aber nur bis gegen 1500 m hin vorhanden; nach oben hin verringert sich die Temperaturabnahme ziemlich schnell. „Die Feuchtigkeit, absolute wie relative, ist in derselben Schicht bedeutenden und ganz plötzlichen Schwankungen unterworfen. Einmal,

1) Zeitschr. für Luftschiffahrt. 1890. 9. S. 73 ff. Dr. Kremser: Meteorologische Ergebnisse der Fahrt des Ballons Herder vom 23. Juni 1888.

2) Ergebnisse der met. Beobacht. für 1888. Herausgeg. vom preuss. Institut.

um 1^h 26^m, als der Ballon sich in einer Höhe von 2370 m befand, geschah es sogar, dass in unmittelbarer Nähe, augenscheinlich nur wenige hundert Meter entfernt, und in gleicher Höhe, im Verlauf weniger Sekunden eine Wolke sich bildete, die allerdings nach einigen Minuten wieder aufgelöst war, — während gleichzeitig im Ballon nur 16 % Feuchtigkeit beobachtet wurde. Diese grossen irregulären Schwankungen in horizontaler Richtung deuten ohne Zweifel auf schnellen Wechsel des Regimes auf- und absteigender Ströme.“ . . . „Jene plötzlich auftauchende Wolke war sicherlich nichts anderes als das Kapital einer vom Erdboden mit Macht empordringenden und durch die niedersinkende Atmosphäre noch nicht gestörten Luftsäule.“ In der That berechnet Herr Kremser aus dem damals an der Erdoberfläche herrschenden Zustande die Höhe der beginnenden Condensation — in vorzüglicher Uebereinstimmung mit der Beobachtung — zu 2420 m. Weil übrigens „eine exorbitant schnelle vertikale Abnahme der absoluten Feuchtigkeit“ und gleichzeitig eine auffallende Verringerung der relativen Feuchtigkeit beobachtet wurde, so ist es begreiflich, dass in dieser Gegend keine grösseren Gewitter entstanden.

Durch diese Fahrt an einem Tage, welcher freilich nur ziemlich fernen Gegenden im SW schwere Gewitter brachte, ist der labile Zustand der Atmosphäre bis gegen 1500 m hinauf, sowie das Auftreten aufsteigender Luftströme erwiesen. Zugleich geben vielfache Beobachtungen von cirrostratus die Gewissheit, dass Eis in der Höhe vorhanden war.

§ 12. Der 10. Juli 1889.

Um 8^h 55^m a m stiegen in München die Herren Brug, Kollmann und Vogel im Ballon Herder auf.¹⁾ Die Fahrt ging zunächst östlich bis Wasserburg am Inn, dann dem Inn parallel, bis um 12^h 22^m p m gelandet wurde. Von Mitternacht bis gegen 5^h Morgens waren Gewitter über die Neckar- und Maingegenden und weiter nach NO gezogen. Aus der Zeit nach der Fahrt liegen für denselben Tag ebenfalls drei verein-

1) Jahresbericht des Münchener Vereins für Luftschiffahrt für 1890. S. 19 ff. „Die Fahrt des Ballons Herder am 10. Juli 1889. Bearbeitet von Erk und Finsterwalder.“ — Auszüglich in der Zeitschr. für Luftschiffahrt. 1891. S. 18.

zette Gewittermeldungen vor. Nämlich von 12^h 42^m p bis 2^h 12^m p war Gewitter in Schönbrunn, welches in der verlängerten Fahrriichtung weit nordöstlich von München, nahe der österreichischen Grenze liegt. Sodann war von 3^h 30^m bis 6^h 35^m p Gewitter in Schlehdorf am Kochelsee, süd-südwestlich von München. Endlich war um 9^{1/4} bis 10^{3/4} p Gewitter in Dinkelscherben westnordwestlich von München. Die Wetterlage am Tage der Fahrt war also entschieden gewitterhaft.

„Die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit war 5,7 m pro sec. Im Allgemeinen wich die Geschwindigkeit von diesem Mittelwerth während der ganzen Fahrt nur sehr wenig ab. Ausnahmen finden sich nur an zwei, jedesmal durch eine südliche Ausbuchtung gekennzeichneten Stellen vor, nämlich über der Rieder Filze und über der Stadt Wasserburg. In beiden Fällen erfuhr die Geschwindigkeit zunächst eine Steigerung bis zu 10 m, worauf dann eine plötzliche Abnahme auf 3—4 m eintrat. Der Grund dieser Unregelmässigkeit liegt zweifellos in aufsteigenden Luftströmen, die es in hohem Grade wahrscheinlich machen, dass lokale Einflüsse (ungewöhnliche Strahlungsverhältnisse auf der ausgedehnten Moorfläche, bezw. über einer Stadt) die Entstehung von cyklo-nalen Luftwirbeln mit einem über Erwarten kleinen horizontalen Durchmesser ermöglichen. . . . Das Wetter war durchgehend klar, nur über dem Inn zeigte sich vorübergehend Cumulusbildung. Das Gebirge war verschleiert.“

Die Bearbeiter haben die Temperaturabnahme pro 100 m, welche zwischen 900 und 2880 m Meereshöhe um 9^h bis 11^h 50^m am statthatte, zu 0,^o71 bis 0,^o87, im Mittel zu 0,^o793 ermittelt. Eine ausgesprochene Veränderlichkeit der Temperaturabnahme mit der Höhe findet in diesen höheren Schichten nicht statt; doch weisen grössere Einzelabweichungen von 0,^o6, ja von 0,^o8 auf zeitliche und lokale Störungen der Wärmeschichtung der Luft hin, für deren Vorhandensein auch andere Gründe sprechen. „Während also die Temperaturabnahme mit der Höhe in den Luftschichten oberhalb 900 m (mehr als 400 m über dem Terrain) im Grossen konstant ist, findet ein sehr bedeutender Unterschied statt, sobald wir die tiefer gelegenen Schichten ins Auge fassen. Auf einer Reihe von Stationen sind zwischen 7^h a m und 3^h p m stündliche Thermometerablesungen gemacht worden; wir greifen aus denselben diejenigen vier

(München Sternwarte, Weißenstephan, Landshut, Salzburg), welche der Flugbahn des Ballons am nächsten liegen, heraus, rechnen für jede die Temperaturabnahme gegenüber 1244 m, und vereinigen die für einen Termin geltenden zu einem Mittel.“ In jenem Punkt der Atmosphäre ist die Temperatur nur zu einigen naheliegenden Zeitpunkten wirklich beobachtet worden, sodann aber ist als täglicher Gang daselbst jener angenommen, den die barometrische Mitteltemperatur der benachbarten Luftsäulen Bayrischzell-Wendelstein, deren Mittelpunkt etwa ebenso hoch liegt, aufwies. So sind folgende Temperaturabnahmen (pro 100 m) zwischen dem Erdboden und 1244 m erhalten:

7 ^h	8 ^h	9 ^h	10 ^h	11 ^h	12 ^h	1 ^h	2 ^h	3 ^h
0,°21	0,°51	0,°67	0,°83	1,°01	1,°04	1,°06	1,°12	1,°13.

„Schon um 11^h am erreichen die Temperaturabnahmen den Betrag, bei welchem ein stabiles Gleichgewicht in der Atmosphäre nicht mehr möglich ist, also aufsteigende und absteigende Bewegungen nothwendig entstehen müssen. . . Die Temperaturabnahme nimmt von 7^h bis 11^h pro Stunde durchschnittlich um 0,°2 zu, dann aber, nachdem die Möglichkeit für Strömungen gegeben war, nur mehr um 0,°03. Deutlicher noch macht sich der Einfluss der Strömungen geltend, wenn wir die sogenannte potentielle Temperatur der Luft in 1244 m Höhe auf 450 m Höhe umgerechnet vergleichen mit den am Erdboden in dieser gleichen Höhe beobachteten Temperaturen. . . Von 11^h am verschwindet der Unterschied zwischen den potentiellen und den am Boden in 450 m Höhe beobachteten Temperaturen fast gänzlich, was also beweist, dass von diesem Zeitpunkt ab die Luft in der Höhe von 1244 m in den Kreislauf der vom Boden ausgehenden und zu ihm zurückkehrenden auf- und absteigenden Strömungen einbezogen ist.“

Durch diese Fahrt vor dem Ausbruch von Gewittern ist der labile Zustand der Atmosphäre in den unteren Luftschichten (seit 11^h am mindestens bis 1244 m hinauf) und das Auftreten auf- und absteigender Luftströme sicher erwiesen. Dass gleichzeitig in nicht allzu fernen Gegenden Eis in den höheren Regionen vorhanden war, wird u. A. durch die Nachricht bewiesen, dass in Hohenpeissenberg sowohl um 8^h am als 8^h pm Cirrostratus aus Westen beobachtet wurde.

§ 13. Der 25. Juni 1890.

Um 11^h 38^m am stiegen die Herren Feilitzsch, Finsterwalder und v. Sigsfeld im Ballon Herder von München auf und gelangten in 1 Stunde 20 Minuten bis Hirschbühel unweit Grafing südöstlich von München.¹⁾ Die einigermaßen gewitterhafte Wetterlage des Tages erhellt daraus, dass Morgens 8^h in Bärenfels, etwa halbwegs zwischen Bayreuth und Nürnberg, also ziemlich weit nördlich von der durchfahrenen Region, ein Gewitter stattgefunden hatte. Den Wetterberichten der Deutschen Seewarte zufolge wurden Morgens 8^h beobachtet: Cirrusstreifen in Wilhelmshafen und Helgoland (hier aus S); Cirrostratusstreifung aus W in Rügenwaldermünde; Cirrocumulusstreifung aus NE in Friedrichshafen; um 2^h pm Cirren in Hamburg und Kaiserslautern (hier aus N); Cirrocumulus in Keitum und München (hier aus WNW).

Der Bearbeiter der Fahrt schreibt: „Während der Fahrt waren die atmosphärischen Bedingungen derart, dass eine Reihe auf- und absteigender Luftströme einander ablöste, was sich in lebhafter Cumulusbildung, in vereinzelt Regenschauern und in verschiedenen Vorkommnissen während der Fahrt selbst bemerkbar machte.“ Bei einer bald nach der Fahrt in den Tagesblättern veröffentlichten Schilderung heisst es, nachdem die Ueberschreitung der unteren Wolkengrenze bei etwa 1400 m Seehöhe berichtet ist, weiter: „Ein düsteres Nebelmeer, durch dessen Lücken grüne Fluren, Strassen und Häuser heraufblickten, wogte im Schatten der Wolkenberge unter uns; in rascher Folge schossen traubig geformte Ballen in korkzieherartigen Windungen empor, die bald wie in Parade stille stehen, bald vom Winde zerzaust in kurzer Frist zerstieben.“

Weil alle Ablesungen innerhalb 40 Minuten gemacht wurden, während der Ballon einen Weg von etwa 25 km zurücklegte, so sind die Beobachtungen zeitlich und örtlich vergleichbar. Sie wurden mit dem Aspirationspsychrometer angestellt. In 610 m Höhe über dem Boden (1140 m Seehöhe) herrschte die Temperatur 10,⁰2, am Boden 18,⁰0, so

1) I. Jahresbericht des Münchener Vereins für Luftschiffahrt für 1890. S. 8. II. Jahresbericht des Münch. Ver. f. Luftschiff. f. 1891. Anlage 9. Finsterwalder, Adiabatische Zustandsänderungen in der Atmosphäre.

dass hier eine Temperaturabnahme von $1,028$ auf 100 m vorhanden war, entsprechend einem labilen Zustand der Atmosphäre. Die weitere Temperaturabnahme oberhalb der beginnenden Condensation stellt sich, nach Herrn Finsterwalders Rechnung, ziemlich genau so heraus, wie sie in einem unter Condensation aufsteigenden Ströme sein muss. In 2649 m Seehöhe wurde $0,08$ beobachtet. Der Sonnblick (3095 m) hatte um 7^h a m — $2,02$, um 9^h p — $0,08$, bei Schnee. Auf dem Wendelstein (1727 m) betrug Mittags die relative Feuchtigkeit 100% ; innerhalb der Wolken gaben die Ballonbeobachtungen 93 bis 97% .

Diese Fahrt lehrt, dass die unteren Schichten in labilem Zustande sich befanden und dass auf- und absteigende Ströme herrschten. Wenn es trotz des in der Höhe vorhandenen Eises nur ganz vereinzelt zur Gewitterbildung kam, so wird die Ursache darin zu suchen sein, dass die Ströme nicht hinreichend hoch aufgestiegen sind.

§ 14. Der 3. August 1891.

Dicht vor 9^h Morgens stiegen die Herren Berson, Gurlitt und Killisch v. Horn mit dem Ballon M. W. von Berlin auf¹⁾ und landeten bald nach Erreichung der Maximalhöhe von 1719 m gegen $11\frac{1}{2}^h$ a m in Gossow (Kreis Königsberg in der Neumark). Der Ballon schwamm die ganze Zeit in einer Lücke zwischen den Cumuli, ohne dass man die Erde aus den Augen verlor; aber „die umgebenden Cumulibänke sahen gegen Mittag recht gewitterdrohend aus, während über Bärwalde, in nächster Nähe des Landungsortes, ein tüchtiger Gewitterschauer niederhing, und in Norddeutschland im Laufe des Tages zahlreiche Gewitter stattfanden, u. A. in Prenzlau, Penkun, Liebenwalde“. Die mit dem Aspirationspsychrometer ausgeführten Beobachtungen lehren, dass die mittlere Abnahme der Temperatur $1,02$ für 100 m betrug, also einem labilen Zustande der Atmosphäre entsprach. Die Temperaturabnahme war schneller in den unteren, langsamer in den höheren Luftschichten. „Die Feuchtigkeitsverhältnisse waren sehr starken und plötzlichen Schwankungen unterworfen, und dies sowohl als die verhältnissmässig geringe

1) Zeitschrift für Luftschiffahrt. 10. 1891. S. 216. Berson, Die Fahrt des Ballons M. W. am 3. August 1891.

Zunahme der Trockenheit oder des Sättigungsdeficits hängt jedenfalls auch mit dem unruhigen, bei ungleichmässiger Bewölkung zur Gewitterbildung neigenden Charakter der Witterung zusammen“. Bald nach 10^h wurden über dem Ballon Cumulocirri und Altocumuli gesehen; und für 10^h 22^m lautet eine Bemerkung des Beobachtungsjournals: „Cumulibank rings; freier Himmel mit starker Sonne über dem Ballon, nur wenige sehr leichte Altocumuli, auch falsche Cirri — unterhalb und neben dem Ballon sehr nahe einzelne schöne Cumuli“.

Diese Fahrt lehrt, dass vor dem Gewitterausbruch der Zustand der Atmosphäre labil war, und dass in den höheren Schichten Eis (cirrus) vorhanden war.

§ 15. Der 4. Juli 1892.

Nahe vor 10^{1/2}^h am stiegen die Herren Finsterwalder, v. Gumpen-berg und v. Weinbach in München auf, legten in ziemlich genau östlicher Richtung während 2 Stunden 2 Minuten 16,4 km, also durchschnittlich 2,2 m pro sec. zurück, erreichten 1830 m Höhe und landeten bald nach 12^h Mittags bei Purfing unweit Zorneding.¹⁾ Die Beobachtungen wurden mit einem Aspirationspsychrometer mit Balgtrieb angestellt. „Der 4. Juli war der letzte einer viertägigen Periode schönen Wetters unter der Herrschaft eines Sommermaximums, dessen Kern ursprünglich über Süddeutschland lag, aber am 4. Juli durch eine von Irland über die Nordsee und das nördliche Skandinavien ziehende Depression nach SE gedrängt wurde und zwischen sich und dem eigentlichen Depressionsgebiet eine breite Zone unregelmässigen Druckes mit sehr veränderlichen Gradienten eingeschoben hatte. Der Wetterumschlag erfolgte am Abend des 4. Juli bei sehr starker Gewitterthätigkeit. Nach Mittheilung des Herrn Dr. Horn konnten am Nachmittag des 4. Juli 26 Gewitterzüge innerhalb Bayerns, Württembergs, Hohenzollerns und Badens nachgewiesen werden, die sich in rascher Aufeinanderfolge, zumeist mit geringer Frontentwicklung und langer Dauer, namentlich in Unterfranken, dem Nordrand des Jura entlang vom Schwarzwald bis zum

1) Beobachtungen der meteorolog. Stationen im Königreich Bayern. Herausgegeben von Lang und Erk. 14. 1892: Die freie Fahrt des Ballons München am 4. Juli 1892. Von Dr. S. Finsterwalder. — Auch im Jahresbericht des Münchener Vereins f. Luftschiffahrt f. 1892 S. 17.

Böhmerwald und am Nordrande der Alpen entluden. Ueber München zogen um 6^h 10^m und 6^h 30^m p zwei Gewitter, das erste vom Algäu her mit ungewöhnlich breiter Frontentwicklung kommend, während das zweite dem Ries entstammte. München hatte von 6^h 10^m p bis zum andern Morgen 28 mm, der Hirschberg 35 mm Niederschlag“. — Weil somit das durchfahrene Gebiet nach einigen Stunden der Schauplatz heftiger Gewitter war, so ist diese Fahrt von besonderer Bedeutung für den vorliegenden Zweck.

Die Luftfahrer fanden das Wetter etwas dunstig, ohne weite Aussicht; der Himmel war mit Ausnahme des südwestlichen Horizonts, an welchem aus dem Dunste aufsteigende Cumuli beobachtet wurden, ganz klar. Der Bearbeiter der Fahrt berechnet aus den Temperaturbeobachtungen die auf das Niveau München bezüglichen potentiellen Temperaturen und zieht den Schluss, „dass die Temperaturabnahme nach oben in der freien Atmosphäre sowohl, als auf den Bergstationen bis zur Höhe des Wendelstein (1727 m) dem Gesetze der adiabatischen Zustandsänderung (tröpfchenfreier Luft) folgt. Noch schlagender tritt dies hervor, wenn wir die mittlere Temperaturabnahme mit der Höhe aus den Ballonbeobachtungen berechnen. Zu diesem Zweck sind die Temperaturdifferenzen zwischen Ballon und Erde (met. Centralstation München) zusammengestellt. Bildet man ihre Summe, so erhält man 96,^o6. Die Summe der Höhendifferenzen zwischen Ballon und Erde beträgt 9700 m. Aus dem Verhältniss beider Summen ergiebt sich eine durchschnittliche Temperaturabnahme von 0,^o996 pro 100 m. . . . Ganz ähnlich wird das Verhältniss bei den Bergstationen Peissenberg (994 m), Hirschberg (1512 m), Wendelstein (1727 m); hier beträgt die Summe der Temperaturdifferenzen gegen München 26,^o6, die Summe der Höhendifferenzen 2650 m, also die mittlere Temperaturabnahme 1^o pro 100 m“.

Ferner berechnet Herr Finsterwalder die in verschiedenen Höhen zu erwartenden „relativen Feuchtigkeiten unter Zugrundelegung einer solchen adiabatischen Zustandsänderung der Luft, welche sich den beobachteten Temperaturen möglichst anschmiegt, und für welche eine absolute Feuchtigkeit von 9,3 g pro kg Luft vorausgesetzt wurde. Die berechneten relativen Feuchtigkeiten weichen von den beobachteten um verhältnissmässig wenige Procen te ab, während die beobachteten Werthe auf

der Erde, selbst bei ganz nahen Stationen wie München und Bogenhausen, beträchtlich auseinander gehen“. Unter denselben Annahmen berechnet Herr Finsterwalder die Höhe der beginnenden Condensation zu 2450 m und schliesst aus dem thatsächlichen Fehlen der Wolkenbildung, dass zur Zeit der Ballonbeobachtungen die Mischung der Luft durch auf- und absteigende Ströme noch nicht bis zu 2450 m Höhe vorgedrungen war.

Dass es an diesem Tage in den höheren Regionen nicht an Eis gefehlt hat, beweist die grosse Anzahl von Hagelmeldungen dieses Tages (129). Auch in München selbst (Neuwittelsbach) fiel von 6^h 53^m bis 6^h 56^m pm Hagel von Haselnuss- bis Wälschnussgrösse.

Durch diese Fahrt an einem ausgesprochenen Gewittertage ist bewiesen, dass sechs Stunden vor Gewitterausbruch die Temperaturvertheilung in der Atmosphäre bis etwa 1800 m hinauf die adiabatische war, wie sie durch den Austausch höherer und tieferer Luftmassen mittelst auf- und absteigender Ströme sich herstellen muss. Zugleich ist die Existenz von Eis in der Höhe durch verbreitete Hagelfälle nachgewiesen.

§ 16. Der 11. Juli 1892.

Morgens 6^h 27^m stiegen die Herren Kiefer und Vogel mit Ballon A in Oberwiesenfeld bei München auf; ihnen folgten, 13 Minuten später, von Haidhausen bei München, beim Herannahen des ersteren Ballons die Herren Erk und v. Weinbach im Ballon München. Ballon A landete um 10^h 40^m bei Munderfing (an der österreichischen Bahnlinie Steindorf-Braunau), Ballon München um 8^h 28^m etwas südlich von Wasserburg am Inn.¹⁾

Der Tag war ein ausgesprochener Gewittertag. Nämlich „nicht nur in Süddeutschland, sondern fast in ganz Europa traten am 10. und 11. Juli Gewitter auf. Dieselben stehen nicht mit einander in Verbindung und hatten, wenigstens in Süddeutschland, keine grössere räumliche Erstreckung, während sie sich in rascher Reihenfolge wiederholten. Sie

1) Beobachtungen der met. Stationen im Königreich Bayern. Herausg. von Lang und Erk. 14. 1892. Eine wissenschaftliche Fahrt mit zwei Ballons am 11. Juli 1892. Von F. Erk. — Auch im Jahresbericht des Münchener Vereins für Luftschiffahrt für 1892. S. 24.

gehörten also zum Typus der sommerlichen Wärmegewitter“. . . . „Im bayerischen Alpenvorlande hatten in der Nacht vom 10. zum 11. Juli bereits zahlreiche Gewitter stattgefunden,“ so auch in München selbst; und als die Doppelfahrt begann, stand im SW ein Gewitter. Kurz zuvor (6^h 5^m a) wurde an der meteorologischen Centralstation München leichter Donner aus S gehört. Diese Doppelfahrt fand also nach und bei Gewittern statt; und wenn ihr auch Gewitter folgten (zwar nicht genau in der durchfahrenen Gegend, aber doch im benachbarten Alpengebiet: Hohenpeissenberg, Wendelstein, Hirschberg bei Tegernsee, Oberstdorf, Schafberg, Obir, Sonnblick), so vollzog sie sich doch unter ganz anderen Bedingungen als alle vorher untersuchten Fahrten.

Weil in der durchfahrenen Gegend Nachts Gewitter und Regen geherrscht hatten, so war die Temperaturabnahme nach oben hin natürlich noch keineswegs adiabatisch, wie wir sie bei den anderen Fahrten gefunden haben. Aber mit fortschreitender Tageszeit wächst der Werth der Temperaturabnahme für 100 m (Δ_{100}) stetig, wie folgende Tabelle lehrt, die auf Grund der Beobachtungen in den Ballons und an der Münchener Sternwarte entworfen ist. Die Ballonbeobachtungen wurden mit Aspirationspsychrometern mit Balgbetrieb gewonnen.

Zeit	Ballon	Höhe über	Δ_{100}	
		der Sternwarte		
		m	°C	
7 ^h 6 ^m	A	656	0,32	
6	München	944	0,30	
29	A	815	0,49	
30	München	1634	0,46	
8 0 ¹⁾	A	1000	0,53	1) Mittel aus zwei Beobachtungen.
27 ¹⁾	A	1507	0,58	
9 4	A	1801	0,56	
25	A	1955	0,63	
10 7	A	2266	0,69	

Dass für das Wachsen der Werthe Δ_{100} in dieser Tabelle wirklich die zunehmende Tageszeit und nicht etwa die ebenfalls zunehmende Höhe als Ursache zu gelten hat, folgt aus gleichzeitigen Beobachtungen beider in verschiedenen Höhen befindlichen Ballons, wie folgende Tabelle zeigt. In derselben findet man die Höhe über der Sternwarte

München (529 m Meereshöhe), sowie die auf 100 m berechnete Temperaturabnahme 1) vom Boden bis zum tieferen Ballon A, und 2) in der Schicht zwischen beiden Ballons.

Zeit	Höhe des		Höhendifferenz M — A	Δ_{100}	
	Ballons A	Ballons München		für A	für M — A
	m	m	m	o	o
7 ^h 0 ^m	571	712 1)	141	0,28	0,21
6	656	941	288	0,32	0,24
25	793 2)	1568	775	0,56	0,23
42	866 3)	1750	884	0,61	0,53
57	1038	1809 4)	771	0,58	0,44

Man erkennt, dass Δ_{100} allemal in der tieferen Schicht einen grösseren Werth hat als in der höheren. Daher ist der vorher gezogene Schluss berechtigt, dass die Temperaturabnahme mit zunehmender Tageszeit immer grösseren Werthen zustrebt.

Weder an der Sternwarte, noch in den von den Ballons durchfahrenen Gegenden fiel Regen; auch waren beide Ballons nie im Innern von Wolken trotz der stets ziemlich starken Bewölkung. Nur einmal, um 7^h 0^m notirt Ballon München: leichte Dunstschicht. Die ermittelten Werthe der Temperaturabnahme beziehen sich also im Ganzen auf tröpfchenfreie Luft. Die höchste vom Ballon München beobachtete relative Feuchtigkeit war 89 % (um 7^h 6^m, 944 m über dem Boden), während Ballon A wiederholt 93, 95, ja 97 % notirte.

Während diese Ergebnisse sich auf Luftschichten beziehen, in denen im Laufe dieses Tages keine Gewitter mehr zum Ausbruch kamen, liegen die Verhältnisse sehr anders in Gegenden, die noch denselben Vormittag von Gewittern heimgesucht wurden: Auf dem Hohenpeissenberg war Morgens 6^h 0^m, sodann von 8^h 0—45^m Gewitter mit Regen, dann wieder von 12^h 32^m p bis 1^h 45^m und von 4^h 0—50^m, sowie um 5^h 15^m Gewitter. Die Temperaturabnahme zwischen dem nahe benachbarten, 369 m tiefer gelegenen Bad Sulz bis Hohenpeissenberg betrug um 6^h 0^m 0,087 im Regen, um 8^h 0^m 1,003 im Regen; von 9^h 45^m bis 10^h 45^m 0,092, um 11^h 52^m

1) 2 Minuten früher.

2) Mittel aus 2 Beobachtungen.

3) Mittel aus 3 Beobachtungen.

4) 5 Minuten früher.

0,°98, um 11^h 30^m 1,°11. Hiemit ist der völlig labile Zustand der dortigen Luftschichten nachgewiesen.

Das Stationspaar Hirschberg bei Tegernsee und Scharling am Fusse des Hirschbergs, mit 744 m Höhendifferenz, hatte Nachts Gewitter gehabt; dann war wieder von 6—8^h am Regen, und 6^h 45^m Gewitter im W, darauf 8^h 27^m Gewitter im NW bis E, und um 1^h p Gewitter im NW. Hier betrug Δ_{100} um 6^h 30^m 0,°89, um 7^h 0^m 0,°70, beidemale im Regen. Dadurch ist ebenfalls ein labiler Zustand charakterisirt. Das Stationspaar Wendelstein und Bayrischzell am Fuss des ersteren, mit einer Höhendifferenz von 927 m hatte von früh bis 10^h 45^m lokale Gewitter, und um 6^h, 7^h, 8^h—10^h Regen. Hier betrug

um	6 ^h	7 ^h	8 ^h	8 ^h 15 ^m	8 ^h 30 ^m	10 ^h 30 ^m
Δ_{100}	0,°79	0,°74	0,°83	0,°84	0,°83	0,°79

und zwar stets bei Regen; so dass wieder labiler Zustand festgestellt ist.

Von diesem Tage liegt nun seit den frühen Morgenstunden auch eine grosse Anzahl von Cirrusbeobachtungen vor; so von Augsburg, Bad Sulz, Bayrischzell, München, Oberstdorf, Passau, Regensburg, Säntis, Zürich. Vom Ballon A aus sah man um 8^h 18^m unter sich cu, in der Höhe cirri; längs des Gebirges ausgedehnten Nimbus. Auch an Hagel und Schnee hat es bei den Gewittern dieses Tages nicht gefehlt. Bad Sulz hatte Mittags leichten Hagel, Hohenpeissenberg von 1^h 22^m—26^m p Hagel während des Gewitters. Auf dem Schafberg war am vorhergehenden Nachmittags Hagel bei Gewitter gefallen. Auf dem Obir gab es von 4^h bis 4^{3/4}^h p Gewitter mit Regen und Hagel; auf dem Sonnblick 15 Minuten nach Mittag Hagel, Regen und Schnee, und Nachmittags noch öfter Schnee.

So zeigt auch dieser Gewittertag, gleich den übrigen hier untersuchten Gewittertagen, alle für die von mir vertretene Anschauung der Erzeugung der Gewitter-Elektricität charakteristischen Züge: Labilen Zustand der Atmosphäre und folglich aufsteigende Luftströme, in der Höhe aber Cirren, sowie schliesslich Hagel oder Schnee.

I n h a l t.

Abschnitt I.

Der 19. Juni 1889.

		Seite
§ 1.	Einleitung	593
§ 2.	Allgemeine Wetterlage um 8 Uhr Vormittags.	
	a. Luftdruck und Wind	596
	b. Temperatur und Feuchtigkeit	598
	c. Himmelsansicht und Bewölkung	599
§ 3.	Die Temperaturabnahme mit zunehmender Höhe.	
	a. Nach Beobachtungen von Hochstationen	603
	b. Nach Ballonbeobachtungen.	
	α. Fahrt des Ballons Herder von München aus	606
	β. Fahrt des Ballons Nautilus von Berlin aus	607
	γ. Hamburger Fesselfahrten	611
§ 4.	Die aufsteigenden Ströme	617
§ 5.	Die Höhe der beginnenden Condensation	619
§ 6.	Die Wetterlage um 11 Uhr Vormittags	623
§ 7.	Die Erreichung der Eisregion	626
§ 8.	Der Gewitterausbruch	629

Abschnitt II.

Acht Luftfahrten an Gewittertagen.

§ 9.	Der 20. Juni 1886. Clermont-Ferrand	636
§ 10.	Der 25. Juni 1887. Versailles	637
§ 11.	Der 23. Juni 1888. Berlin	637
§ 12.	Der 10. Juli 1889. München	639
§ 13.	Der 25. Juni 1890. München	642
§ 14.	Der 3. August 1891. Berlin	643
§ 15.	Der 4. Juli 1892. München	644
§ 16.	Der 11. Juli 1892. München	646