

Veröffentlichungen  
des  
Königlich Preußischen Meteorologischen Instituts

Herausgegeben durch dessen Direktor

G. Hellmann

— Nr. 218 —

Abhandlungen Bd. III. Nr. 5.

Über den Zusammenhang

zwischen

**Gewitterzügen und Niederschlagsgebieten**

Von

R. Süring und A. Mey

—  
Mit 40 Karten auf 10 Tafeln  
—



1910  
Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Preis 4 M

**Veröffentlichungen**  
des  
**Königlich Preußischen Meteorologischen Instituts**

Herausgegeben durch dessen Direktor

**G. Hellmann**

— Nr. 218 —

**Abhandlungen Bd. III. Nr. 5.**

**Über den Zusammenhang**

zwischen

**Gewitterzügen und Niederschlagsgebieten**

Von

**R. Süring und A. Mey**

—  
Mit 40 Karten auf 10 Tafeln  
—



1910

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

—  
Preis 4 *M*

ISBN 978-3-662-22940-8 ISBN 978-3-662-24882-9 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-24882-9

### Einleitung.

Die vom Kgl. Preußischen Meteorologischen Institut seit dem Jahre 1901 regelmäßig durchgeführte Darstellung der Gewitterzüge durch Linien gleichzeitigen Auftretens des ersten Donners (Isobronten) legte den Gedanken nahe, zu untersuchen, ob nicht diese Aufzeichnungen für das Studium des Verlaufs größerer sommerlicher Witterungsstörungen nützlich sein könnten, denn da im Sommer starke Wetterumschläge häufig eingeleitet werden durch ausgedehnte und heftige Gewitter, die in breiter Front einen großen Teil Deutschlands durchziehen, so sind die Isobronten ein wichtiges Hilfsmittel zur Charakterisierung solcher Witterungslagen. Einzeluntersuchungen haben auch in großen Zügen häufig gute Übereinstimmung zwischen der Wanderung von Regengebieten, zwischen der Ausbreitung von Gewittern und zwischen der Bewegung schwacher Teildepressionen gezeigt. So hatte Leß<sup>1)</sup> auf Grund eines ganz kleinen Materials von Regenstationen — für Deutschland nur durchschnittlich 46 Stationen — eine Wanderung der Regengebiete im Sommer 1901 ableiten können, und es zeigte sich später, daß ein genaueres Studium der Gewitterverhältnisse, welches für einen kürzeren Zeitraum jenes Sommers (13.—26. Juli) vorlag<sup>2)</sup>, zum Teil zu ganz ähnlichen Schlüssen über die Wanderung der Gewittergebiete führte, so daß sich beide Arbeiten gegenseitig ergänzten. In dem trocknen Sommer 1901 lagen die Verhältnisse allerdings besonders einfach.

Die Untersuchung von Leß war in der ausgesprochenen Absicht unternommen worden, die Hilfsmittel für die Wettervorhersage zu erweitern; es ist zu erwarten, daß es einen weiteren Fortschritt bedeuten würde, wenn man das Gewitterbeobachtungsmaterial unter ähnlichen Gesichtspunkten verwerten könnte. Einer solchen allgemeinen Studie über die Beziehungen zwischen Gewitter- und Regengebieten stehen jedoch mancherlei Schwierigkeiten im Wege. Zunächst reichen die Aufzeichnungen an der Mehrzahl der Regenstationen nicht aus, um Regen- und Gewittermeldungen streng zu vergleichen, denn der zeitliche Verlauf der Niederschläge wird von den meisten Stationen nur in ganz großen Zügen notiert, und die Regenmenge wird fast durchweg nur einmal täglich (7<sup>a</sup>) gemessen. Um die Ausbreitung der ge-

<sup>1)</sup> E. Leß, Über die Wanderung der sommerlichen Regengebiete durch Deutschland. Meteor. Zeitschr. 22 (1905), S. 496, 529.

<sup>2)</sup> R. Süring, Der Verlauf der Gewitter vom 13. bis 26. Juli 1901. Veröffentl. des Kgl. Preuß. Meteor. Instituts. Ergebnisse der Gewitter-Beobachtungen i. d. J. 1901 und 1902, S. XIII.

fallenen Regenmengen kartographisch darzustellen, ist man daher fast immer auf die um 7<sup>u</sup> gemessenen und für die letzten 24 Stunden gültigen Regenfälle angewiesen. Um aber wenigstens die Richtlinien für spätere Untersuchungen zu gewinnen, wurden zunächst für einige Sommermonate, nämlich Juni, Juli, August 1903 und Juli 1905, tägliche Regenkarten nach den 7<sup>u</sup>-Messungen von durchschnittlich 400 Stationen, die in „Ergebnisse der Niederschlags-Beobachtungen“ veröffentlicht sind, gezeichnet, und in diese Karten wurden alsdann die Isobronten der zugehörigen Tage eingetragen.

Bei der Durchsicht dieser Karten fielen in dem Chaos der Erscheinungen einige Fälle auf, in denen Niederschläge fast nur dort eintraten, wo Gewitter beobachtet wurden, oder wo die Abgrenzung dieser Gebiete charakteristische Übereinstimmung zeigte, wo also gewissermaßen die gefallenen Niederschläge stark elektrisch waren. Es waren dies durchaus keine Böen in dem üblichen Sinne, sondern in der Regel breitere Frontgewitter, so daß die hierbei entfalteten Kräfte räumlich weit ausgedehnt sein mußten. Unter solchen Umständen durfte man erwarten, auch über den Sitz der Kräftequelle etwas zu erfahren und damit einen Einblick in die Mechanik dieser Gewitter zu gewinnen.

Die weitere Untersuchung wurde nun darauf beschränkt, diese relativ wenigen Fälle möglichst genau hinsichtlich der dabei auftretenden Luftdruck- und Temperaturverteilung zu untersuchen, und dabei nach gemeinsamen Zügen in dem Auftreten solcher Phänomene zu forschen. Außerdem schien es gerade für praktische Zwecke nicht unwichtig, die Wetterlage für eine solche Gruppe von äußerlich wenigstens verwandten Fällen genauer zu schildern, als dies mit Hilfe des üblichen wettertelegraphischen Materials möglich ist. Daher ist auf eine eingehende textliche und kartographische Bearbeitung des tatsächlichen Verlaufs besondere Rücksicht genommen, in der Hoffnung, daß sich ihre Benützung bei weitergehenden Forschungen bewährt.

#### Beobachtungsmaterial und Auswahl der Fälle.

Die Untersuchung erstreckte sich über das Gebiet des norddeutschen meteorologischen Stationsnetzes. Das Beobachtungsmaterial wurde in bereits verarbeiteter Form insoweit benützt, als die aus den Gewittermeldungen abgeleiteten Isobronten auf Karten übertragen wurden, welche die innerhalb 24 Stunden gefallenen, um 7<sup>u</sup> gemessenen Regenmengen enthielten. Für die speziellere Untersuchung wurden ferner noch die auf den Isobrontenkarten enthaltenen Einzeleintragungen der Gewitter nach Zugrichtung und Zeit benutzt, ferner die Aufzeichnungen der im Beobachtungsnetz vorhandenen registrierenden Regenmesser und die an einer Anzahl von Stationen gemachten dreimal täglichen Niederschlagsmessungen. Für die ausgewählten Fälle wurden alsdann auf Grund der Beobachtungen an den Stationen 2. und 3. Ordnung mindestens von einem Termin — meist 2<sup>p</sup>, — genaue Karten der Isobaren und Isothermen in Norddeutschland gezeichnet, und hieraus wurde unter der Annahme einer gleichförmigen, je nach Wetterlage und Tageszeit zwischen 0.6 und 1.0 auf 100 m schwankenden, vertikalen Temperaturabnahme eine Karte der oberen Druckverteilung in 2500 m Höhe konstruiert.

Die genauen Karten mit Abständen der Isobaren von 1 mm zeigen — wie bei den schwachen Gradienten von vornherein zu erwarten — im allgemeinen keine prinzipiellen Ab-

weichungen gegen die üblichen Wetterkarten; erheblich größere Verschiedenheiten weisen die Isothermen auf, so daß man zunächst geneigt sein konnte, die Temperaturverteilung unten für die Gewitterbildung verantwortlich zu machen. Unter diesen Umständen schien es erwünscht, sich ein Bild von der Beziehung der Isobronten zur oberen Druckverteilung zu entwerfen. In Ermangelung direkter Daten wurde daher auf das zwar nur ganz angenähert richtige, aber doch bei manchen Untersuchungen wohlbewährte Verfahren zurückgegriffen, aus der unteren Druck- und Temperaturverteilung unter Annahme einer gleichmäßigen vertikalen Temperaturabnahme die obere Druckverteilung zu berechnen<sup>1)</sup>. Da die horizontalen Druckdifferenzen außerordentlich klein sind gegenüber den horizontalen Temperaturdifferenzen, so mußte auch die obere Druckverteilung in erster Linie durch die Temperaturen beeinflusst erscheinen, und die Vergleichung der Gewitterzüge mit der oberen Druckverteilung könnte daher vielleicht im wesentlichen nur ein abgeschwächtes Bild der Beziehung zur Temperaturverteilung geben. Soweit man hieraus Vermutungen über die Entstehung der Gewitter ziehen wollte, würde man sich daher in Zirkelschlüssen bewegen. Wenn aber dieses Verfahren der Konstruktion der oberen Isobaren nach dem ersten Versuch doch für alle folgende Fälle durchgeführt wurde, so geschah es aus der Überlegung heraus, daß die Verteilung und vielfach auch die auf einem kleinen Gebiete ziemlich stark abweichenden Zugrichtungen der einzelnen Gewitter sich überraschend gut in kleinere Störungen der oberen Druckverteilung einpaßten, so daß die Beziehungen hier wesentlich klarer waren als die Abhängigkeit von der unteren Temperaturverteilung. Es war also anzunehmen, daß diese Darstellung doch im allgemeinen als zweckmäßig angesehen werden konnte. Jedenfalls liegt der Fehler nach der Richtung hin, daß die Temperatureinflüsse von unten in die Isobarenkarten für das obere Niveau zu stark eingehen, denn über den „Wärme-Inseln“, welche in erster Linie die oberen Gradienten anscheinend verstärken, wird die vertikale Temperaturabnahme eine schnellere sein als 0.6. Die rechnerische Abschätzung des bei dieser Methode begangenen Fehlers führt gleichfalls zu einem günstigen Resultate, Da der graphischen Darstellung die barometrische Höhenformel in der Gestalt:

$$\log b = \log B - \frac{h}{18460 + 72t}$$

zugrunde liegt (b Luftdruck oben, B Luftdruck unten, h Höhe des zu untersuchenden Niveaus, t mittlere Temperatur der Schicht von der Höhe h), so ergibt sich für die Beziehung zwischen der Luftdruckänderung im Niveau h und der Änderung der Mitteltemperatur von h der Ausdruck:

$$\frac{db}{b} = \frac{2.303 \times 72 h}{(18460 + 72t)^2} dt.$$

Für  $b = 560$  mm,  $h = 2500$  m,  $t = 10^0$  wird

$$db = 0.631 dt$$

d. h. es entspricht einem Fehler der Mitteltemperatur von 1° ein Isobarenfehler von 0.63 mm.

Über die Größe des Temperaturfehlers sind nur Schätzungen möglich. Es wurde versucht, hierzu die bei Berlin und bei Hamburg am gleichen Tage ausgeführten Drachenaufstiege zu benutzen, jedoch zeigten die Vergleichungen einiger Sommermonate, daß die tatsächlichen

<sup>1)</sup> W. Köppen, Über die Gestalt der Isobaren in ihrer Abhängigkeit von Seehöhe und Temperaturverteilung. Meteor. Zeitschr. 5 (1888), S. 470.

Temperaturunterschiede in der Höhe häufig kleiner sind als die scheinbaren Abweichungen, welche dadurch entstehen, daß die Aufstiege nicht zur gleichen Stunde und mit gleicher Geschwindigkeit ausgeführt sind und daß in den diesen Zahlen zugrunde liegenden Angaben der Wetterkarten nur die Temperatur zur Zeit des Aufstieges enthalten ist. Eine bessere und recht befriedigende Kontrolle boten die Temperaturen auf den Gipfelstationen. Die graphische Ableitung der oberen Druckverteilung erscheint auch deshalb weniger bedenklich, weil es in den Karten nicht auf absolute Werte ankommt, sondern nur auf Änderungen in horizontaler Richtung, und dem Sinne nach werden auch die Störungen im oberen Druckgefälle richtig herauskommen. Bei der Betrachtung der oberen Isobaren ist noch zu beachten, daß ihre Gradienten im Verhältnis der entsprechenden Luftdrucke unten (560:760 mm) verkleinert erscheinen, daß also bei gleichbleibender Temperatur einer unteren Druckänderung von 1 mm eine Änderung von 0.7 bis 0.8 mm in 2500 m Höhe entspricht.

Um die oberen Isobaren den von 1 zu 1 mm gezogenen unteren Isobaren bequem anpassen zu können, mußte eine Tabelle mit den einander entsprechenden Werten von  $t$  und  $B$  neu berechnet werden. Die Werte von  $B$  schreiten dabei, entsprechend dem Vorgange von Köppen, in Abständen von  $\Delta = \log B_2 - \log B_1$  ( $\Delta$  ist in diesem Falle 0.00058) fort. Die Tabelle ist nachfolgend abgedruckt, da sie Überschlagsrechnungen nach der hier benutzten Methode und die Konstruktion oberer Isobaren bei direkt beobachteter Temperaturverteilung sehr erleichtert. Eine Erweiterung für niedrigere Drucke ist ungemein einfach.

Luftdruck im Niveau von  
Argumente: Luftdruck im Meeresniveau und

$B=700+$ $t$	49.9	50.9	51.9	52.9	53.9	54.9	56.0	57.0	58.0	59.0
30.5	567.5	68.3	69.0	69.8	70.6	71.3	72.1	72.8	73.6	74.4
29.1	566.7	67.5	68.3	69.0	69.8	70.6	71.3	72.1	72.8	73.6
27.8	566.0	66.7	67.5	68.3	69.0	69.8	70.6	71.3	72.1	72.8
26.4	565.2	66.0	66.7	67.5	68.3	69.0	69.8	70.6	71.3	72.1
25.1	564.5	65.2	66.0	66.7	67.5	68.3	69.0	69.8	70.6	71.3
23.8	563.8	64.5	65.2	66.0	66.7	67.5	68.3	69.0	69.8	70.6
22.5	563.0	63.8	64.5	65.2	66.0	66.7	67.5	68.3	69.0	69.8
21.2	562.2	63.0	63.8	64.5	65.2	66.0	66.7	67.5	68.3	69.0
20.0	561.5	62.2	63.0	63.8	64.5	65.2	66.0	66.7	67.5	68.3
18.7	560.8	61.5	62.2	63.0	63.8	64.5	65.2	66.0	66.7	67.5
17.4	560.0	60.8	61.5	62.2	63.0	63.8	64.5	65.2	66.0	66.7
16.2	559.3	60.0	60.8	61.5	62.2	63.0	63.8	64.5	65.2	66.0
15.0	558.6	59.3	60.0	60.8	61.5	62.2	63.0	63.8	64.5	65.2
13.8	557.8	58.6	59.3	60.0	60.8	61.5	62.2	63.0	63.8	64.5
12.6	557.1	57.8	58.6	59.3	60.0	60.8	61.5	62.2	63.0	63.8
11.4	556.4	57.1	57.8	58.6	59.3	60.0	60.8	61.5	62.2	63.0
10.2	555.6	56.4	57.1	57.8	58.6	59.3	60.0	60.8	61.5	62.2
9.0	554.9	55.6	56.4	57.1	57.8	58.6	59.3	60.0	60.8	61.5
7.9	554.0	54.9	55.6	56.4	57.1	57.8	58.6	59.3	60.0	60.8
6.7	553.4	54.0	54.9	55.6	56.4	57.1	57.8	58.6	59.3	60.0
5.6	552.6	53.4	54.0	54.9	55.6	56.4	57.1	57.8	58.6	59.3
4.4	551.9	52.6	53.4	54.0	54.9	55.6	56.4	57.1	57.8	58.6
3.3	551.2	51.9	52.6	53.4	54.0	54.9	55.6	56.4	57.1	57.8
2.2	550.5	51.2	51.9	52.6	53.4	54.0	54.9	55.6	56.4	57.1
1.1	549.7	50.5	51.2	51.9	52.6	53.4	54.0	54.9	55.6	56.4
0	549.0	49.7	50.5	51.2	51.9	52.6	53.4	54.0	54.9	55.6

Schließlich wurden auch nach Ekholms Vorgänge die barometrischen Fall- und Steiggebiete für jeden der untersuchten Tage einer kurzen Betrachtung unterworfen. W. Peppler<sup>1)</sup> hat die Ansicht ausgesprochen, daß die Ausbildung eines eng umgrenzten Fallgebietes innerhalb einer Antizyklone ein gutes Kennzeichen für die Gewitterbildung sei, da die Ursachen der Auflösung des antizyklonalen Druckgefälles dann in erster Linie thermische sind im Gegensatz zu den Fallgebieten der großen Zyklonen, die hauptsächlich dynamischen Ursprungs sind. Für die Darstellung der Steig- und Fallgebiete waren die für Norddeutschland gezeichneten ausführlichen Luftdruckkarten wegen der geringen Druckunterschiede leider nicht brauchbar; es sind daher aus den Wetterkarten der Deutschen Seewarte die Druckänderungen von 24 zu 24 Stunden abgeleitet worden. Wie schon nach den Pepplerschen Darlegungen zu erwarten war, sind die Beziehungen zwischen Gewitterzügen und Fallgebieten nicht in allen Fällen erkennbar, eine weitere Erörterung ist jedoch erst nach Besprechung der einzelnen Fälle zweckmäßig.

Das Prinzip, nach dem die weiter zu bearbeitenden Gewittertage ausgewählt wurden, war zunächst ein äußerliches. Es wurden, da ja über den Zusammenhang zwischen Gewittern und Niederschlägen Beziehungen herausgefunden werden sollten, möglichst solche Fälle ausgewählt, in denen ein Zusammenhang zwischen beiden sich schon dadurch zeigte, daß die Gewitter- und Regengebiete sich möglichst überdeckten. Vollständig war dies natürlich nur in einzelnen Fällen zu finden. Es wurden deshalb z. T. auch einige Tage herangezogen, wo eine Übereinstimmung der beiden Gebiete in einzelnen Gegenden, besonders dort wo die Gewitter aufhörten,

2500 m über dem Meere.

mittlere Temperatur der zwischenliegenden Schicht.

60.0	61.0	62.0	63.1	64.1	65.1	66.1	67.1	68.2	69.2	70.2
75.2	75.9	76.7	77.5	78.2	79.0	79.8	80.6	81.3	82.1	83.0
74.4	75.2	75.9	76.7	77.5	78.2	79.0	79.8	80.6	81.3	82.1
73.6	74.4	75.2	75.9	76.7	77.5	78.2	79.0	79.8	80.6	81.3
72.8	73.6	74.4	75.2	75.9	76.7	77.5	78.2	79.0	79.8	80.6
72.1	72.8	73.6	74.4	75.2	75.9	76.7	77.5	78.2	79.0	79.8
71.3	72.1	72.8	73.6	74.4	75.2	75.9	76.7	77.5	78.2	79.0
70.6	71.3	72.1	72.8	73.6	74.4	75.2	75.9	76.7	77.5	78.2
69.8	70.6	71.3	72.1	72.8	73.6	74.4	75.2	75.9	76.7	77.5
69.0	69.8	70.6	71.3	72.1	72.8	73.6	74.4	75.2	75.9	76.7
68.3	69.0	69.8	70.6	71.3	72.1	72.8	73.6	74.4	75.2	75.9
67.5	68.3	69.0	69.8	70.6	71.3	72.1	72.8	73.6	74.4	75.2
66.7	67.5	68.3	69.0	69.8	70.6	71.3	72.1	72.8	73.6	74.4
66.0	66.7	67.5	68.3	69.0	69.8	70.6	71.3	72.1	72.8	73.6
65.2	66.0	66.7	67.5	68.3	69.0	69.8	70.6	71.3	72.1	72.8
64.5	65.2	66.0	66.7	67.5	68.3	69.0	69.8	70.6	71.3	72.1
63.8	64.5	65.2	66.0	66.7	67.5	68.3	69.0	69.8	70.6	71.3
63.0	63.8	64.5	65.2	66.0	66.7	67.5	68.3	69.0	69.8	70.6
62.2	63.0	63.8	64.5	65.2	66.0	66.7	67.5	68.3	69.0	69.8
61.5	62.2	63.0	63.8	64.5	65.2	66.0	66.7	67.5	68.3	69.0
60.8	61.5	62.2	63.0	63.8	64.5	65.2	66.0	66.7	67.5	68.3
60.0	60.8	61.5	62.2	63.0	63.8	64.5	65.2	66.0	66.7	67.5
59.3	60.0	60.8	61.5	62.2	63.0	63.8	64.5	65.2	66.0	66.7
58.6	59.3	60.0	60.8	61.5	62.2	63.0	63.8	64.5	65.2	66.0
57.8	58.6	59.3	60.0	60.8	61.5	62.2	63.0	63.8	64.5	65.2
57.1	57.8	58.6	59.3	60.0	60.8	61.5	62.2	63.0	63.8	64.5
56.4	57.1	57.8	58.6	59.3	60.0	60.8	61.5	62.2	63.0	63.8

<sup>1)</sup> W. Peppler, Zur Entstehung und Voraussage der Gewitter. Das Wetter 25 (1908), S. 217.



vorhanden waren. Mitentscheidend für die Wahl war auch, ob der Verlauf der Isobronten auf einen besonders interessanten Gewittertag hinzuweisen schien.

Nachdem so zunächst 7 Tage aus dem Sommer 1903 ausgewählt waren (10., 15., 16., 20., 29. VI., 24., 30. VII.), zeigte sich, daß zwischen allen diesen Fällen, mit einer Ausnahme, ein tieferer Zusammenhang bestand, auf den hier schon hingewiesen werden soll. Die Gewitter dieser ausgewählten Tage zeigen sich bei verhältnismäßig niedriger Temperatur stets am Rande flacher selbständiger Depressionen, die sich über ein meist etwas unter 760 mm liegendes sehr gleichmäßiges Druckfeld bewegen.

Zur Erweiterung wurden dann auch noch drei Tage des Juli 1905 (1., 10., 27. VII.) bearbeitet, die ebenfalls eine gute Übereinstimmung zwischen Regen- und Gewittergebieten zeigen, die sich von den übrigen Fällen aber dadurch unterscheiden, daß an diesen Tagen sehr hohe Temperaturen herrschen, und daß bei außerordentlich gleichmäßigem Druck von etwas über 760 mm keine selbständigen Minima im unteren Isobarenfelde vorhanden sind.

Für jeden dieser zehn Tage sind auf je einer Tafel die Luftdruck- und Temperaturverteilung im Meeresniveau, die Druckverteilung in 2500 m Höhe, die Niederschlagsverteilung (Mengen von 7<sup>a</sup> bis 7<sup>n</sup>) und die Isobronten dargestellt. Auf der Regenkarte bezeichnen einfach schraffierte Gebiete Niederschläge bis zu 10 mm, gekreuzt schraffierte solche mit  $\geq 10$  mm. Von den Gewitterzügen sind nur die wichtigsten eingetragen worden, da das Bild sonst unübersichtlich geworden wäre. Die Pfeile in den Luftdruckkarten für die Erdoberfläche bezeichnen die Windströmungen unten, die Pfeile in den Isobarenkarten für 2500 m die beobachteten Gewitterzugrichtungen innerhalb der dem Beobachtungstermin vorangehenden und nachfolgenden Stunde. Auch hier mußten aus Platzmangel einige Pfeile fortbleiben.

#### Beschreibung der Fälle und Diskussion.

10. Juni 1903. Die Witterung in Europa stand schon seit Anfang Juni unter dem Einfluß eines Hochdruckgebietes, das sich langsam vom Atlantischen Ozeane vorschob. Am 9. morgens bedeckt dieses Hochdruckgebiet mit über 770 mm das Nordmeer, Skandinavien und Finnland; der Gradient ist nach SW gerichtet, wo über Westfrankreich ein flaches Minimum lagert. Vom 9. zum 10. ändert sich die Wetterlage dadurch, daß der Luftdruck über Skandinavien stark fällt und so eine Druckrinne erzeugt wird, in die das Minimum aus SW ziemlich rasch einrückt.

Am 10. umschließt die 760 mm-Isobare Kontinentaleuropa, dessen Wetter durch die schon erwähnte, morgens über Südwestdeutschland und Böhmen lagernde und bis Mittag bis nach Norddeutschland vordringende Depression unter 755 mm bestimmt wird. Diese Depression zeigt, auf einer spezielleren Isobarenkarte für Preußen betrachtet, um 2<sup>P</sup> zwei getrennte Kerne, der eine liegt über Bayern und beeinflusst nur die Witterung im SW von Preußen, der andere hat seinen tiefsten Druck ( $< 753$  mm) über dem mittleren Norddeutschland (vergl. Tafel I).

Seit dem 7. läuft infolge der Verlagerung des nördlichen Hochdruckgebietes der Wind in Norddeutschland allmählich aus NE nach E bis SE um, und die Temperatur, die an diesem Tage weit unter dem Mittel bleibt, steigt wieder, ohne jedoch bis zum 10. besonders große Extremwerte zu erreichen. Es scheint in diesen Tagen in Norddeutschland zumeist wolkig gewesen zu sein, die ostpreußische Seenplatte und Posen, sowie ein durchschnittlich 80 km breiter Streifen von Rügen bis Magdeburg haben am 8., ganz Schlesien und der größte Teil Pommerns am 9. Regen. Im Kulmerland ist nachts vom 8. zum 9. ein kleiner Gewitterzug beobachtet worden.

Gerade in diesem Regengebiete entstehen am 10. mittags eine Reihe von Gewittern, für welche die Ursache wohl weniger in der absoluten Höhe der Temperatur als vielmehr in der horizontalen

Temperaturdifferenz zu suchen ist. Diese Temperaturdifferenz wird hervorgerufen durch die warmen, bei einem Gradienten von etwa 2 mm ziemlich lebhaften, östlichen bis südlichen Luftströmungen einerseits und durch den Mangel an Tageserwärmung andererseits, die im mittleren Norddeutschland bis nach Schlesien besteht, wo es teilweise schon nachts, dann aber auch während des Vormittags regnet. Aus ähnlichen Ursachen entstehen wohl auch die Gewitter im SW und NW.

Im einzelnen sind am 10. folgende Gewitterzüge zu verzeichnen:

Ein Gewitter beginnt um  $10^{3/4}^a$  im nordöstlichen Masuren und zieht mit einer Geschwindigkeit von 36 km nach N, wo es gegen  $2^p$  die russische Grenze überschreitet.

Um  $11^{1/4}^a$  bildet sich ein Gewitter auf der Posener Hochfläche, das mit 48 km Geschwindigkeit nordnordwestlich zieht, und dessen östlicher Rand um  $2^p$  an der oberen Rega endet, während sein westlicher Teil um  $4^p$  in Nordpommern erlöscht. In derselben Richtung und mit ungefähr gleicher Geschwindigkeit zieht ein Gewitter aus dem Gebiete zwischen Oder und Weida; es scheint zwischen  $6$  und  $8^p$  ausgesetzt zu haben und endet um  $9^p$  in Hinterpommern.

Im Riesengebirge entstehen um  $3^{1/4}$  und  $4^p$  Gewitter, die ebenfalls nach NNW bis N ziehen und ihren Abschluß in der Görlitzer Heide ( $6^{1/2}^p$ ) und der östlichen Niederlausitz ( $8^p$ ) finden. Sie ziehen sehr langsam mit etwa 25 km Geschwindigkeit. Alle diese Gewitter haben nur schmale Fronten, im Maximum 100 km.

Ein weiteres Gebiet mit Gewittertätigkeit ist die Südwestecke Preußens. Ein um  $1^{3/4}^p$  an der unteren Nahe beginnender Zug verbreitert sich rasch, hat um  $5^p$  eine Ausdehnung von 270 km zwischen Rhön und Kölner Bucht, nimmt aber schnell wieder an Breite ab und endet  $9^{1/2}^p$  auf der nördlichen Implatte. Die Zugrichtung ist aus SW, die Geschwindigkeit 30 km. In ungefähr gleicher Richtung, aber etwas langsamer, zieht von der nordwestlichen Eifel und vom Hunsrück zwischen  $3$  und  $4^p$  ein Gewitterzug über Oberhessen, Rhön, Thüringer Wald und Saalplatte und überschreitet kurz nach Mitternacht die sächsische Grenze. Ein kurzer Zug bewegt sich auch zwischen  $7$  und  $9^p$  von Neuwied-Frankfurt ostnordöstlich bis zur mittleren Lahn. Die Gewitter in diesem Gebiet gaben in erster Linie dazu Veranlassung, den 10. Juni eingehender zu studieren.

In dritter Linie kommt noch ein Gewitterzug im Nordwesten in Betracht, der vom Teufelsmoor, von der unteren Weser um  $1^{3/4}^p$  ausgehend, nach SSW zieht und gegen  $5^p$  die holländische Grenze überschreitet; Geschwindigkeit 30 km.

Die interessante Verteilung der Gewitter und die Verschiedenheit der Zugrichtung fallen sofort auf, und ein Blick auf die Beziehung zwischen Luftdruckverteilung und Gewittern, wie sie für  $2^p$  auf Tafel I dargestellt sind, zeigt den Zusammenhang zwischen beiden. Demnach entstehen die Gewitter am Rande der flachen Depression und umkreisen dieselbe im Sinne des herrschenden Windes. Der Kern selbst ist gewitterfrei, er hat nur Regen. Das deutet darauf hin, daß ihm eine wesentliche Bedingung für das Entstehen von Gewittern fehlt, nämlich das horizontale Temperaturgefälle. Dieses ist am Rande am größten nachmittags, und da setzen denn auch die meisten Gewitter ein; sie sind mit einer Ausnahme bereits am frühen Abend erloschen, und auch in den Ausnahmefällen ist die Gewittertätigkeit offenbar nur noch gering. In den Isobaren zeigen sich dort, wo Gewitter auftreten, die bekannten Ausbuchtungen; für das Gewitter in NE scheint das kleine Minimum über der Odermündung maßgebend zu sein.

Für dieselbe Uhrzeit ( $2^p$ ) wurde auch die Karte der zugehörigen Luftdruckverteilung in 2500 m Höhe entworfen, und in sie wurden außerdem die einzelnen Gewitter zwischen  $1$  und  $3^p$  nach ihrem Zug eingetragen. Sie lehrt uns, daß im großen und ganzen in dieser Höhe dieselbe Druckverteilung herrscht, doch zeigen sich die Ausbuchtungen der Isobaren an den Stellen, wo Gewitter sind, noch viel besser ausgeprägt, teilweise bis zur Bildung eines selbständigen Minimums, wie uns ein solches zwischen Rhön und Thüringer Wald entgegentritt. Auch das östlich davon liegende Teilminimum ist fast abgeschnürt. Aber auch in den übrigen Gewittergebieten zeigen sich deutliche Teilminima, am wenigsten allerdings bei dem nordwestlichen Gewitter. Offensichtlich tritt auch zutage, daß die Zugrichtung der einzelnen beobachteten Gewitter im engen Zusammenhange steht mit der nach der Luftdruckverteilung mutmaßlichen Windrichtung in der höheren Luftschicht. Die verschiedenen Abweichungen, die allerdings sofort bemerkt werden, sind wohl zumeist auf fehlerhafte Beobachtung zurückzuführen.

Regen ist an diesem Tage fast im ganzen Beobachtungsgebiete gefallen. Es heben sich als regenfrei nur heraus ein etwa 50 km breiter Streifen, der sich von Sachsen-Altenburg aus nach W zwischen Thüringer Wald und Harz bis ins Sauerland erstreckt, und das Gebiet zwischen Weichsel und den masurischen Seen. Als Gebiete mit sehr starken Regenmengen sind drei hervorzuheben. Das ausgedehnteste überdeckt ungefähr Mecklenburg und die Mark; es ist gewitterfrei, und die vorliegenden Meldungen lassen erkennen, daß anhaltende Regenschauer während des ganzen Tages niedergegangen sind. Das zweite Gebiet kennzeichnet sich ungefähr durch die Grenzen Oldenburgs. Es ist dasselbe Gebiet, über welches auch das Gewitter mit Zugrichtung nach SSW hinweggegangen ist. Das dritte Bereich bedeutenderer Niederschläge lagert über dem Taunus und Oberhessen; hier scheinen Gewitter und Regenmenge zusammenzugehören, wie sich ja auch bei diesen Gewittern im SW Gewittergebiet und Regenzone sehr gut überdecken.

Vereinzelte sehr starke Niederschläge sind noch zu erwähnen in Posen, Pommern und im Riesengebirge, über alle diese Gegenden sind Gewitter gezogen. Hierbei ist zu bemerken, daß die Gewitter um 2<sup>p</sup> am Rande von Gebieten liegen, in denen es zwischen 7<sup>a</sup> und 2<sup>p</sup> geregnet hat, während vor ihnen, in der Zugrichtung der Isobronten, noch kein Regen an diesem Tage niedergegangen ist, so daß der Niederschlag dieser Randgebiete den Gewittern zuzuschreiben ist oder wenigstens von ihnen eingeleitet wird.

Das Gesamtbild ist folgendes: Um eine flache und am Boden ziemlich kühle Barometerdepression, deren Kern im mittleren Norddeutschland zwischen Elbe und Oder liegt, sind Gewitterzüge zyklisch gruppiert. Ihrer Zugrichtung nach gehören hierzu auch die Gewitter im SW, welche nach der Druckverteilung unten einer besonderen, sogar noch tieferen Depression zugeschrieben werden müßten. In 2500 m ist die Lage des Depressionszentrums wenig verändert; die Ränder sind jedoch stärker ausgebuchtet. Die Niederschläge sind dem zyklonalen Witterungstypus entsprechend weiter verbreitet als die Gewitter; die Gebiete stärkerer Regenintensität ( $\geq 10$  mm in 24 Stunden) treten am Nordrande und im Zentrum der Zyklone als Landregen auf, im übrigen als ausgesprochene Gewitterregen. Die Gewitter schreiten im allgemeinen so fort, daß die höchsten Temperaturen rechts liegen bleiben: sie bilden sich mit besonderer Vorliebe in den Gegenden, wo die Isobaren in mittlerer Höhe am meisten ausgebuchtet sind. Dies tritt vielfach gerade da ein, wo die Luft tags zuvor oder morgens durch Regen abgekühlt ist. Regen- und Gewittergebiete überdecken sich dort am besten, wo die Gewitter am meisten den Charakter von Wärmegewittern tragen, und wo die unteren Luftströmungen am meisten von der Zugrichtung der Gewitter abweichen.

15. Juni 1903. Am 15. Juni ist das Wetter in Deutschland morgens überall trübe und kalt, im W regnet es schon vielfach. Die Luft erwärmt sich auch bis zum Nachmittag nirgends besonders, die Temperatur bleibt vielmehr meist unter dem Mittel, z. B. in München und Kassel um 6°, und steigt nur im Osten (Breslau und Memel) ein wenig über die Normale. Der Luftdruck über Europa ist ziemlich gleichmäßig, die 760 mm-Isobare umschließt den ganzen Kontinent, und innerhalb dieses Gebietes wandern verschiedene flache Depressionen. Eine derselben mit nordwestlicher Zugrichtung, erzeugt mittags über Nord- und Mitteldeutschland einen Sattel, dessen Troglinie sich von Bremen über Magdeburg nach Grünberg in Schlesien hinzieht.

Innerhalb des Gebietes niedrigsten Druckes zeigen sich die Gewitter dieses Tages anscheinend dort, wo zwei verschiedene Windströmungen zusammenstoßen: eine südwestliche, kräftigere und eine aus NE bis SE. Der SW bringt die niedrigere Temperatur mit, er kommt aus einer Gegend, die tags vorher starke Niederschläge und Gewitter gehabt hat (München 35 mm, Frankfurt a. Main 40 mm). In Preußen hat es am vorhergehenden Tage in der ganzen Westhälfte ebenfalls geregnet, im Rheinlande und Hessen recht ergiebig, doch ohne Gewitterbildung. Die Isobronten für 2<sup>p</sup> liegen östlich der Troglinie, bereits im Bereiche der östlichen Luftströmung.

Die Gewitter des 15. haben sämtlich Zugrichtung nach NE bis N, das erste tritt um 10<sup>a</sup> in der Oberlausitz über die sächsisch-preußische Grenze, und zeigt sich um 11<sup>a</sup> als ein über 200 km langer, vielfach unterbrochener Zug, der sich durch ganz Schlesien, parallel der Gebirgskette erstreckt. Er findet meist schon bald nach 12 Uhr mittags an der Oder sein Ende, nur in Oberschlesien überschreitet er diese und tritt nach 1<sup>p</sup> über die russische Grenze. — Ein zweiter Zug entsteht um Mittag in der Alt-

mark und westlich des Flämings, gewinnt zunächst nach SE an Breite, ist aber schon um 2<sup>p</sup> nach dieser Seite hin mehrfach unterbrochen, und endet 4<sup>p</sup> als 30 km breiter Zug in der Uckermark. Ein dritter Zug kommt um 0<sup>1/2</sup><sup>p</sup> aus der westlichen Altmark (Letzlinger Heide), nimmt zunächst an Breite nach SE zu, später wieder ab und endet um 7<sup>p</sup> in Vorpommern. Von 3<sup>1/4</sup> bis 4<sup>3/4</sup><sup>p</sup> zieht noch ein schmaler Zug östlich aus der Lüneburger Heide nach der Letzlinger Heide. In der zeitlichen Verschiebung des Beginns der verschiedenen Gewitterzüge und in der örtlichen Verlagerung der Entstehungsherde nach NW äußert sich auch das Zusammenprallen der verschieden gerichteten Luftströmungen. Nicht minder charakteristisch für deren Einfluß ist das Auflösen der Gewitterfronten, das im allgemeinen an der Südflanke beginnt.

Niederschläge treten an diesem Tage in dem ganzen Gebiete westlich der Oder auf mit Ausnahme von Thüringen und Oberhessen und außerdem noch in einem Streifen östlich der Oder, dessen Grenze ungefähr parallel der Gewitterfront läuft und in Pommern und Posen etwa 100 km östlich über diese hinausliegt. Die größten Tagesmengen sind verzeichnet: erstens auf einem Gebiete, das ungefähr das Sauerland und Bergische Land überdeckt und keine Gewitter hatte und zweitens innerhalb des Gewittergebietes. Soweit uns die Aufzeichnungen einiger registrierender Regenmesser und dreimal tägliche Beobachtungen Aufschluß geben, scheint es, als sei der für die 24stündige Tagesmenge des 15. berechnete Niederschlag im Westen ausschließlich in den Morgenstunden bis höchstens Mittag gefallen, andererseits scheint der Niederschlag östlich der Oder den Morgenstunden des 16. anzugehören.

Würde man die in der Hauptgewitterzeit (11<sup>a</sup> — 5<sup>p</sup>) gefallenen Regenmengen von den übrigen absondern können, so würde man anscheinend am Ostrande der Gewitter- und Regengebiete eine gute Übereinstimmung finden, diese Grenze deckt sich auffallend mit dem Oderlauf abwärts bis Schwedt und weiterhin mit den ehemaligen Abflüssen der Oder nach Vorpommern. Desgleichen zieht sich ein schmaler Streifen mit stärkeren Regenfällen (> 10 mm) am linken Oderufer hin.

Die Temperaturverteilung am Erdboden ist ziemlich regelmäßig; größere Gebiete mit starken Gradienten sind nicht vorhanden. Um 7<sup>a</sup> ist es am wärmsten in Schlesien (18° reduziert auf Meeresniveau) und nimmt nach N hin bis zur Ostsee um etwa 6° ab. Um 2<sup>p</sup> ist es am wärmsten in der Neumark (24°), am kältesten längs der holländischen Grenze (12°), und ähnlich ist die Verteilung um 9<sup>p</sup>. Die Verteilung steht damit im Zusammenhang, daß östlich der Elbe die trockenen Ostwinde den ganzen Tag anhielten. Eine recht lehrreiche Ergänzung bietet in diesem Falle die Isobarenkarte für 2500 m, welche ungefähr in der Richtung der am Erdboden erkennbaren Troglinie niederen Druckes gut ausgebildete Teildepressionen zeigt, in welche die Gewittergebiete hineinfallen. Zwischen 1 und 3<sup>p</sup> gruppieren sich die Gewitter um eine vom Ostrande der Lüneburger Heide bis an die Oder südöstlich sich erstreckende Teildepression, wobei wiederum die beobachtete Zugrichtung der Gewitter in den meisten Fällen mit der mutmaßlichen Luftzirkulation um diese oberen Teildepressionen gut übereinstimmt. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Gewitter betrug 30—40 km p. St.; das entspricht ungefähr dem Wege (29—38 km), den die an diesem Tage vorherrschende SW-Strömung in einer Stunde zurücklegen konnte. Ferner muß hervorgehoben werden, daß die mittlere Zugrichtung der Gewitter um 1 bis 2 Strich von der Normalen, zur Isobrontenrichtung nach links abweicht. Die Isobronten verlaufen durchschnittlich von NW nach SE; die Gewitter dagegen ziehen vorwiegend aus S und werden nur auf der Rückseite der oberen Teildepressionen zeitweilig bis SW abgelenkt. Anscheinend verlagern sich die Isobronten in derselben Richtung wie die Depression, während die Gewittermassen selbst den Isobaren in mittlerer Höhe entlang getrieben werden.

16. Juni 1903. Die allgemeine Luftdruckverteilung hat sich seit dem 15. nicht wesentlich verändert, die 760 mm-Isobare umfaßt noch immer den Kontinent. Dagegen hat eine Verlagerung der über Europa verteilten flachen Depressionen stattgefunden, so daß an diesem Tage die Witterung in Deutschland von zweien derselben beeinflusst wird. Die eine liegt über England und hat nördliche Zugrichtung. Sie veranlaßt, daß in Westdeutschland die Winde vorzugsweise aus S bis SW wehen, nur im NW sind sie südöstlich. Der Kern der anderen liegt nach den Wetterkarten in Rußland und reicht mit einem Ausläufer nach Ostdeutschland hinein, in Mittelddeutschland westliche bis nordwestliche, in Ost- und Westpreußen östliche Winde hervorrufend.

Das allgemeine Temperaturgefälle geht von E nach W. In Deutschland ist morgens die Temperatur überall, mit Ausnahme des Ostens, unter Normal, da tags zuvor weit verbreitete Regenfälle nieder-

gegangen sind und der Himmel auch morgens noch meist stark bewölkt ist. In einem Streifen, der sich von Vorpommern längs der Oder bis Oberschlesien hinzieht, regnet es um 7 Uhr, das ist auch die Gegend, wo mittags die Temperatur noch sehr niedrig ist und infolgedessen nach Osten hin einen ziemlich stark ansteigenden Gradienten aufweist, der dadurch verstärkt wird, daß östlich vom Regengebiet das relativ wärmste Gebiet liegt. Eine weitere Kälteinsel mit größerem Temperaturgradienten liegt früh rechts vom Rhein über dem Bergischen Land und Rheinland. Dieselbe Temperaturverteilung findet sich noch mittags vor; auch da bleiben die Temperaturen meist unter dem Mittel, sie übersteigen dasselbe etwas im Osten.

An diesem Tage sind zwei verschiedene Gewittergebiete zu unterscheiden. Am Rande der über England lagernden Depression entsteht über der Gegend mit dem stärksten Temperaturgefälle gegen 11<sup>a</sup> ein Gewitterzug im Rheintale zwischen Nahe und Kölner Bucht, und zieht mit einer Geschwindigkeit von 32 km nördlich. Er hat zunächst eine Breite von über 200 km, zieht aber von 6<sup>p</sup> ab nur noch als schmaler Zug an der friesischen Küste entlang, setzt beim Überschreiten der Unterelbe offenbar aus, und endet um 9<sup>p</sup> im mittleren Holstein, um 9<sup>3/4</sup><sup>p</sup> an den nordfriesischen Inseln. Ein kürzerer Zug bildet sich um 4<sup>1/4</sup><sup>p</sup> im Bergischen Lande und am Niederrhein, wandert nach NNE und endet um 5<sup>3/4</sup><sup>p</sup> im westlichen Münsterland. Die andere Gruppe von Gewittern überdeckt Hinterpommern und Westpreußen. Der erste Zug entsteht um 2<sup>1/2</sup><sup>p</sup> im östlichen Westpreußen, zieht mit 40 km Stundengeschwindigkeit nach Osten und endet 5<sup>1/2</sup><sup>p</sup> im mittleren Masuren. Der zweite zeigt sich gegen 3<sup>p</sup> auf der mittleren pommerschen Seenplatte von der Ostsee bis zur Netze mit ostnordöstlicher Zugrichtung. Er hat um 4<sup>p</sup> eine Breite von 220 km, ist aber da schon teilweise unterbrochen. Er erlischt an der Nogat um 7<sup>p</sup>. Ein dritter Gewitterzug entsteht um 5<sup>p</sup> an den Netzeseeen, reicht um 5<sup>1/2</sup><sup>p</sup> bis zur westlichen Tucheler Heide und zieht mit 25 km in der Stunde nach ENE, bis er 8<sup>1/4</sup><sup>p</sup> in dem nordöstlichen Pommerellen erlischt.

Auf der für 2<sup>p</sup> gezeichneten speziellen Isobarenkarte für Preußen (Tafel III) zeigt sich ungefähr in der Gegend der für diese Stunde in Betracht kommenden Isobronte der westlichen Gewittergruppe eine Ausbuchtung in den Isobaren. Dagegen ergibt die Karte für die Höhe von 2500 m, welche bei den geringen Druckunterschieden unten fast vollständige Übereinstimmung mit der Isothermenkarte zeigt, ein geschlossenes Isobarensystem um einen Kern tiefsten Druckes im nördlichen Sauerlande. Um dieses Tiefdruckgebiet herum gruppieren sich die Gewitter zwischen 1 und 3<sup>p</sup>. Die östlichen Gewitter erscheinen erst nach 2<sup>p</sup>. Dort, wo sie gegen 3<sup>p</sup> entstehen, finden wir um 2<sup>p</sup> im Meeresniveau eine Druckrinne, in der 2 verschiedene Luftströmungen zusammentreffen. Hier fällt an einzelnen Stellen schon Regen, überall aber finden wir bedeckten Himmel, während östlich davon die Bewölkung noch gering ist und Sonnenschein herrscht. In der höheren Schicht machen sich die bevorstehenden Gewitter durch eine besondere Form der Isobaren nicht bemerkbar. Die in Ostdeutschland auftretenden Gewitter entstehen offenbar unter ganz ähnlichen Bedingungen wie tags zuvor die Gewitter längs der Oder. Dabei ist für die westlich der Weichsel ausgebrochenen Züge diesmal anscheinend das Flußtal der Weichsel ein Hindernis.

Wir unterscheiden für diesen Tag auch zwei verschiedene Regengebiete, die durch eine regenfreie, über der Provinz Sachsen und der Mark Brandenburg liegende Zone getrennt sind. Das westliche Gebiet ist vielfach noch von niederschlagsfreien Flächen durchsetzt, und die Mengen, die hier gefallen sind, sind allgemein gering und sind wohl in der Hauptsache im Zusammenhang mit den Gewittern niedergegangen; teilweise hat es auch noch während der Nacht geregnet. Von größerem Interesse ist das östliche Regengebiet. Hier haben wir zunächst einen Landstrich (ganz Schlesien, Posen und Hinterpommern), der z. T. eine erhebliche Tagesmenge verzeichnet, ohne Gewitter gehabt zu haben. Wie anfangs erwähnt, regnete es hier bereits um 7<sup>a</sup>, und die Registrierungen sowie die dreimal täglichen Messungen zeigen, daß die Hauptmenge auf die Zeit bis 2<sup>p</sup> fällt, so in Bromberg, Schreiberhau, Steinau a. O., Liegnitz, Pammin. In Schivelbein, das an der Westgrenze des Gewittergebietes liegt, fallen zwischen 2 und 3<sup>p</sup> 13 mm noch ohne Gewittererscheinung; gegen 3<sup>p</sup> beginnen dann die Gewitter östlich davon, und das ganze Gewittergebiet hat starke Regengüsse. Die Regengrenze selbst fällt im E recht gut mit der Endlinie der Gewittertätigkeit zusammen, sie überschreitet dieselbe nur wenig. Der Einfluß des starken Regens am vorhergehenden Tage im westlichen Gewittergebiete macht sich auch darin geltend,

daß über diesem Gebiete die Gewitterzüge eine Unterbrechung erleiden; erst jenseits des Kältegebietes zeigt sich eine ununterbrochene Isobronte.

Wir haben also am 16. Juni das lehrreiche Beispiel, daß in einer in Ostdeutschland von WSW vordringenden sehr feuchten Luftströmung Gewitter erst dann auftreten, wenn die Luftmassen sich stärker aufstauen, auch wenn das Gebiet nicht überhitzt ist (das östliche Hinterpommern war jedenfalls durchschnittlich nicht wärmer als das westliche), dieser Aufstau dürfte vielleicht in geringem Maße durch die Bodenerhebungen der Pommerschen Seenplatte bedingt, zum größten Teil aber durch die östliche Luftströmung unten hervorgerufen sein. Trotzdem die Isobarenkarte der oberen Schichten gerade für diesen Tag recht unsicher ist, wird der dort in Hinterpommern angedeutete charakteristische Druckabfall vielleicht noch zu wenig steil gezeichnet sein, denn nach den Berliner Drachenaufstiegen vom 15. und 16. Juni ist die Temperaturabnahme in der östlichen Luftströmung langsamer gewesen als in der ihr folgenden südwestlichen. Sind die Gewitter durch einen solchen Stau-Prozeß einmal eingeleitet, dann gehen anscheinend Regen- und Gewitterverlauf ziemlich parallel. Bei den Gewittern in West-Deutschland wird das geschlossene Minimum in der Höhe vielleicht nur durch starke Abkühlung im Rücken der Gewitterfront »vorgetäuscht«, aber die Umbildung des unten schwach angedeuteten »Gewittersacks« zu einer stärkeren Teildepression oben dürfte reell sein, wie aus dem Hineinfallen der Gewittermeldungen in dieses Gebiet hervorgeht. Auch scheinen sich wiederum die einzelnen Zugrichtungen etwas dem Verlauf der oberen Isobaren anzupassen. Beachtenswert sind die Krümmung der Isobronten und — ähnlich wie am 15. Juni — die Abweichungen der Gewitterzugrichtungen von der Normalen zu den Isobronten im mittleren Teile der Front. An der rechten, dem Gebiete höheren Drucks zugewendeten Seite der Isobronten fallen Regen- und Gewittergebiete gut zusammen.

20. Juni 1903. Der 20. Juni steht am Ende einer Reihe von Gewittertagen, die mit dem 15. begann. Jeder Tag brachte seitdem in einem Teile Deutschlands, vorzugsweise im W, Gewitter. Für die Wetterlage charakteristisch sind in diesen Tagen meist süd-nördlich wandernde flache Depressionen bei sonst ziemlich gleichmäßigem, etwas unternormalem Drucke. Wie an dem oben besprochenen 15. und 16. Juni sind diese Minima auch an den folgenden Tagen für die Entwicklung der Gewitter maßgebend gewesen. Eine Änderung in der Wetterlage wird seit dem 19. abends dadurch eingeleitet, daß sich ein im Nordwesten Europas befindliches Hoch nach SE zu verlagern beginnt, und in dieser Bewegung fortfährt, so daß es am 21. die Witterung in Deutschland beherrscht. Am 20. Juni verursacht es in Verbindung mit einem über Rußland liegenden Hoch eine von N nach S verlaufende Druckrinne über Zentral-Europa. In ihr wandert eine flache Depression nordwärts, die mit ihrem Kern mittags über Mecklenburg und der westlichen Ostsee lagert. Bei dieser Druckverteilung hat Nordwestdeutschland morgens lebhaft bis starke Nordostwinde und Niederschläge, West- und Mitteldeutschland leichte westliche bis südwestliche, die Ostseeküste und der Osten mäßige östliche bis südliche Winde. Die Temperatur ist an der Nordseeküste weit unter Normal und steigt nach Osten zu an, wo sie etwas über dem Mittel liegt.

Mittags hat sich in der Windverteilung wenig geändert, nur in Ostdeutschland sind die Winde von Ost nach Südost herumgegangen und haben an Stärke zugenommen. Im NW ist es noch immer sehr kalt, während im Osten jetzt der Mittelwert stark überschritten ist; Memel hat 26°, Königsberg i. P. und Marggrabowa haben 27°.

Die Gewittertätigkeit beginnt schon in den frühesten Morgenstunden und dauert bis zum Abend an. Wir unterscheiden 3 verschiedene Gewittergebiete, in denen eine Reihe von Zügen aufeinanderfolgen. Das eine liegt im SW und W und überdeckt Rheinland, Hessen und das südliche Westfalen. Das zweite befindet sich zu beiden Seiten der unteren Oder und über der Niederlausitz, das dritte im westlichen Ostpreußen. Die Gewitter ziehen meist aus W bis SW, nur die beiden am Ostrande der Depression kommen mehr aus Süden. Die Zuggeschwindigkeit der einzelnen Züge liegt im allgemeinen zwischen 20 und 37 km p. St., der Gewitterzug im E macht eine Ausnahme mit einer Geschwindigkeit von 72 km.

Die spezielle Karte der Luftdruckverteilung zeigt uns für 2<sup>p</sup> sehr stark verzerrte Isobaren um 2 Kerne tiefsten Druckes, deren einer über der nördlichen Lüneburger Heide liegt, während der andere von Vorpommern südostwärts zur Unter-Oder reicht. Mit letzterem scheinen besonders zwei Gewitter-

züge in Beziehung zu stehen, und auch die Lage der übrigen  $2^p$ -Isobronten kennzeichnet sich durch Ausbuchtungen in den Isobaren.

Die Luftdruckverteilung in 2500 m zeigt — mit einer Ausnahme an der Küste — über den Gewittergebieten selbständige Minima, um die sich die Gewitter zwischen  $1$  und  $3^p$  gruppieren. Von besonderem Interesse sind die Verhältnisse in Vorpommern und an der unteren Oder. Ein sehr kräftiges Gewitter, das sich rechts der Oder in der Neumark schon vor  $1^p$  entwickelt hatte, wobei starker Regen niedergegangen war, hatte starke Abkühlung (Landsberg a. W. etwa  $6^\circ$ ) hervorgerufen. Dadurch entstehen oben starke und unregelmäßig verlaufende Druckgradienten in der Richtung nach der Gewitterdepression hin, so daß die an der Unter-Oder gebildeten Gewitter teilweise geradezu in das schon einmal betroffene Gebiet hineingezogen werden, während die Gewitterzüge auf der Vorderseite der Depression eine stark südliche Komponente erhalten und so von der mittleren Zugrichtung (nach E) abgelenkt werden. Vielleicht liegt in dieser Ablenkung der Grund dafür, daß der heftig beginnende Gewitterzug schon so bald wieder sein Ende erreicht. Würde sich die obere Druckverteilung genauer zeichnen lassen, so würde der Zusammenhang wahrscheinlich klarer hervortreten.

Im westlichen Gewittergebiet sind die Niederschläge fast durchweg gering; es hat anscheinend während des meist bewölkten Tages zeitweilig geregnet, nicht nur während des Gewitters. Das östliche Regengebiet ist ausgedehnter, es überdeckt ganz Schlesien, Norddeutschland zwischen Oder und Weichsel und reicht über letztere noch hinaus bis an den östlichen Teil der ostpreußischen Seenplatte.

Während in Ostdeutschland die Westgrenze des Regengebietes mit dem Anfang der Gewitterzone ziemlich gut zusammenfällt, aber die Niederschläge sich länger und weiter ostwärts ausdehnen, fallen im SW Regen- und Gewittergebiete hinsichtlich ihrer seitlichen und vorderen Ränder gut zusammen. Sowohl im E wie im W Deutschlands dringen die Regen- und Gewitterfronten gegen ein Gebiet höherer Temperatur vor, aber im E reicht die hohe Temperatur nicht aus, um das umfangreiche Depressionsgebiet zu zerstören, während in Westdeutschland mit der hohen Temperatur auch erhöhter Druck verbunden ist. Im ersten Falle werden nur die Gewitterzüge, im zweiten Falle Regen und Gewitter gleichzeitig aufgehalten. Anscheinend sind für diese Verschiedenheiten in erster Linie die Luftströmungen in der Höhe verantwortlich.

29. Juni 1903. Die Isobarenkarte des 29. Juni zeigt uns den charakteristischen Fall eines sogen. »Gewittersackes«. Über ganz Kontinentaleuropa lagerte schon ziemlich lange hoher Luftdruck, der auch am 29. noch vorhanden ist, in der Form eines breiteren ungefähr von E-ENE nach WSW sich hinziehenden Rückens von mehr als 765 mm. Die Gradienten sind durchschnittlich sehr gering, aber die Gleichmäßigkeit im Zuge der Isobaren erleidet dadurch eine Unterbrechung, daß die 765 mm-Isobare, welche zu der über dem Nordmeer lagernden Depression gehört, über der deutschen Nordsee plötzlich nach S umbiegt und mit einer schmalen, aber tiefen Bucht bis zur Mainmündung hineinreicht. Über Holstein und Südschweden kehrt sie wieder in ihre alte Richtung zurück. Diese Bucht überdeckt morgens in ihrem südlichen Teile eine Wärmeinsel von über  $25^\circ$ . Dieses ausgeprägte flache Teilminimum wandert im Laufe des Tages mit einer stündlichen Geschwindigkeit von nur etwa 20 km ostwärts. Es ist am Abend als kleines selbständiges Minimum über Mecklenburg und in Ausbuchtungen von Isobaren nördlich vom Harz und über dem Thüringer Wald zu erkennen. Es erzeugt offenbar die Gewitter, die an diesem Tage im Westen Preußens von früh ab auftreten und in ost-südöstlicher Richtung in meist breiten Fronten fortziehen, um am Nachmittag oder frühen Abend zu erlöschen.

Das erste Gewitter erscheint schon um  $7^a$  auf Sylt und in Nordfriesland und zieht über das westliche Schleswig zunächst in südöstlicher Richtung bis an die Unterelbe. Diese überschreitet es gegen Mittag, wobei die Gewittertätigkeit anscheinend aussetzt, und bildet sich dann aber bald zu mächtiger, 400 bis 450 km breiter, fast ununterbrochener Front mit ost-südöstlicher Zugrichtung aus. Mit wieder schmalere Front erlöscht es gegen  $8^p$  zwischen Implatte und Unterharz.

Diesem Zuge folgt nach 2 Stunden ein zweiter, der um  $9^a$  über die dänische Grenze nach Schleswig kommt, die Unterelbe zwischen  $1$  und  $2^p$  unbehindert überschreitet und seine größte Ausdehnung um  $3^p$  aufweist. Er nimmt dann wieder an Breite ab und endet  $6\frac{1}{2}^p$  am unteren Eichsfelde.

Gegen  $1^p$  tritt ein sich bald zu großer Front auswachsender Zug über die holländische Grenze und wandert bis nach Thüringen, wo er gegen  $8^p$  zwischen oberer Werra und Unterharz erlischt.

Um 5<sup>p</sup> entsteht ein Gewitterzug an der oberen Hunte, der rasch seine Front entwickelt, die um 6<sup>p</sup> bereits von der oberen Ruhr bis nach Ostholstein reicht. Der größte Teil endet gegen 8<sup>p</sup> im Braunschweigischen, während die nördliche Flanke noch weiter ostwärts bis Rügen wandert, das 9<sup>1/2</sup><sup>p</sup> erreicht ist.

Kurze und schmale Züge finden sich noch zwischen 6 und 8<sup>p</sup> im mittleren Rheinland, zwischen 10 und 11<sup>p</sup> im Rheingau. Die hauptsächlichsten Gewitter dieses Tages zeichnen sich aus durch ihre ausgedehnten Fronten. Über deren Lage zu dem Gewittersack gibt uns die Isobarenkarte für 2<sup>p</sup> Aufschluß (Tafel V). Sie zeigt uns den Gewittersack von Südschleswig südsüdwestlich bis zum Nordostrande der Eifel gelagert. Betrachtet man die Isobronten für 2<sup>p</sup>, so fällt die des zeitlich ersten Zuges ungefähr mit der »Troglinie« zusammen, während die der nächsten beiden Züge auf der Rückseite liegen, die sich durch eine regelmäßige Druckstufe auszeichnet. Teilminimum und Gewitter schreiten nach der Seite der höheren Temperatur fort; der Temperaturgradient ist ziemlich groß.

Der Verlauf der für die Höhe von 2500 m gezeichneten Isobaren zeigt ziemlich starke Abweichungen von den Isobaren im Meeresniveau. Dort finden sich zwei in Richtung des Gewittersackes nebeneinander lagernde Minima, deren eines seinen Kern zwischen Unterelbe und Unterweser, das andere über dem Sauerlande hat. Die Gruppierung der einzelnen Gewitter (zwischen 1 und um 3<sup>p</sup>) um diese Tiefdruckgebiete zeigt auch wieder in Bezug auf deren Zugrichtung einen deutlichen Zusammenhang zwischen beiden Erscheinungen. Von einer Zeichnung der oberen Isobaren über Ostdeutschland ist abgesehen worden, da hier Regen und Gewitter nicht vorgekommen sind und da unten so gleichmäßiger Druck herrscht, daß oben fast ausschließlich die Temperaturwirkung zur Geltung kommen würde.

Regen ist an diesen Tagen nur innerhalb des Gewittergebietes gefallen. Die Mengen sind in dem mittleren Teile des Regengebietes, wo auch streckenweise vernichtender Hagel niedergegangen ist, bedeutend. Es sind dies anscheinend Gebiete, über welche Flanken von Gewitterzügen hinweggegangen sind.

Ein solches Zerteilen der Gewitterfronten wird bei genauerer Betrachtung der synoptischen Karten auch verständlich. Das Gebiet höchster Temperatur liegt mit mehreren Kernen vor der Front der Gewitterzüge. Da hier gleichzeitig auch relativ hoher Druck liegt, so werden die herannahenden Luftströmungen das Bestreben zeigen, nach links auszuweichen. Am deutlichsten tritt dies wiederum in der oberen Druckverteilung hervor, wo sich eine Zunge hohen Druckes in den »Gewittersack« keilförmig einschleibt und nun einerseits eine Unterbrechung der Gewitter an ihrer rechten Flanke, andererseits ein Hineindrängen der Luftmassen in die nördlich von ihr befindlichen Gewitterzüge bewirkt. So entstehen namentlich über dem südöstlichen Westfalen und südlichen Hannover starke obere Gradienten, die Gleichgewichtsstörungen der Atmosphäre veranlassen, und es ist wohl nicht als zufällig zu betrachten, daß gerade von hier die starken Hagel- und Regenfälle ausgegangen sind. Mehr als 20 mm Niederschlag hatten an jenem Tage u. a. Osnabrück, Bigge im Kreise Brilon (26,2 mm Tagessumme), Paderborn (21,9 mm in 25 Minuten), Winterberg im Kreise Brilon (47,3 mm in einer Stunde), Grasdorf, Kreis Hannover (55,1 mm Tagessumme, davon 53,8 mm in 1 1/2 Stunden). Die Hagelschäden waren besonders in den Kreisen Osnabrück, Wittlage, Lübbecke, Tecklenburg, Meyenburg und Steinfurt streckenweise derartig große, daß staatliche Beihilfe zur Beseitigung gewährt wurde. Die Unwetter sind hier offenbar nicht durch orographische oder hydrographische Verhältnisse bedingt worden, sondern lediglich durch die obere Druckverteilung, welche ihrerseits allerdings wieder stark von der Temperaturverteilung am Erdboden abhängig ist. Südlich und besonders südsüdwestlich von dieser Hauptgewitterzone sind die Gewitter- und Regenfälle wesentlich schwächer oder setzen sogar ganz aus, und erst wieder im Rheintal findet eine Verstärkung statt, entsprechend einer zweiten kleinen Depression in der Höhe. Ob ein Zusammenhang der weiter rheinaufwärts ziehenden Gewitter mit denen im mittleren Westdeutschland bestanden hat, ist zweifelhaft. — Da das flache Hochdruckgebiet zwischen Elbe und Weichsel bis zum Abend ziemlich stationär bleibt, so decken sich die Gebiete der Gewitter und Regenfälle fast vollständig und brechen längs einer fast geradlinigen Grenze — ungefähr gekennzeichnet durch den Verlauf des 12. Längenmeridians — ab.

24. Juli 1903. Am 24. Juli entsteht über Kontinental-Europa dadurch ein flacher Luftdrucksattel, daß sich von SW her ziemlich rasch ein Hochdruckgebiet vorgeschoben hat. Ein abgeschlossenes



Gebiet niederen Druckes lagert über der südlichen Nordsee und bewirkt, daß in Nord- und Mitteldeutschland durchweg südöstliche Winde herrschen. Tags vorher sind in Süddeutschland Gewitter gewesen, am 24. morgens regnet es da noch meist, und ebenso hat das westliche Preußen schon morgens vielfach Regen, während es im Norden und Osten meist klar ist. Die Temperatur ist vormittags ziemlich gleichmäßig und normal; im S und W etwas niedriger, im E etwas höher als der Durchschnitt. Der Unterschied zwischen W und E steigert sich aber im Laufe des Vormittags infolge der Niederschläge im W. Um 2<sup>P</sup> zieht ein schmales Band mit steilen Temperaturgradienten von der südöstlichen Lüneburger Heide über Braunschweig und Harz, biegt dann scharf nach W zum Eichsfelde um und verläuft nun wieder in der ursprünglichen Richtung nach SE über die Thüringer Hochfläche zur Saale, wo wiederum eine Ausbuchtung nach W stattfindet. Die Gradienten betragen im Mittel etwa 1° auf 10 bis 12 km Entfernung, steigern sich aber im Thüringer Wald und am Nordrande des Harzes bis zu 1° auf 4 km.

Mit diesem Temperaturanstieg ist ein für sommerliche Verhältnisse sehr starker Feuchtigkeitsabfall verbunden, der mit dem Aussetzen der Regenfälle und Gewitter längs der Temperaturstufe in ursächlichem Zusammenhang gestanden haben dürfte. In der folgenden Tabelle sind einige Angaben über die thermischen Verhältnisse an der Westseite, auf der Mitte des Abhangs und im Osten der Temperaturstufe enthalten.

Westseite			Mitte			Ostseite		
Station	t <sub>0</sub>	R. F. %	Station	t <sub>0</sub>	R. F. %	Station	t <sub>0</sub>	R. F. %
Wasserleben . . .	19.4	86	Celle . . . . .	22.8	64	Helmstedt . . . .	25.7	46
Erfurt . . . . .	17.4	91	Braunschweig . .	24.2	56	Magdeburg . . . .	27.0	31
Stadtilm . . . . .	18.9	75	Nordhausen . . .	22.6	59	Quedlinburg . . .	24.2	52
Jena . . . . .	18.0	70	Sondershausen . .	22.7	61	Bromberg . . . . .	26.9	40
			Rudolstadt . . . .	22.6	68	Halle . . . . .	25.2	42

Wir sehen nun nach 2<sup>P</sup> zwei kurze Gewitterzüge entstehen, den einen um 2<sup>1</sup>/<sub>4</sub><sup>P</sup> auf der östlichen Thüringer Hochfläche mit 32 km stündlicher Geschwindigkeit nach E ziehend bis zum oberen Saaletale, das um 4<sup>1</sup>/<sub>4</sub><sup>P</sup> erreicht ist, den anderen um 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub><sup>P</sup> am Ober- und Südharz beginnend mit Zug nach N und in der Braunschweiger Niederung um 4<sup>P</sup> endend. Ein schwacher Zug geht noch von 4<sup>1</sup>/<sub>4</sub> bis 5<sup>P</sup> von der nordwestlichen Lüneburger Heide über die Unterelbe nach Dithmarschen.

Die Luftdruckverteilung, speziell für Norddeutschland ist die folgende: Über der Ostsee, Pommern einerseits und in Südwestdeutschland andererseits ist der Luftdruck am höchsten. In Mitteldeutschland haben die Isobaren eine Richtung von NW nach SE, so daß eine Rinne entsteht, die am tiefsten (< 757 mm) links der Elbe ist. Im Nordwesten macht sich das über der Nordsee lagernde Minimum geltend. Die Isobronten für 2 und 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub><sup>P</sup> liegen etwas westlich dieser Troglinie, die Isobaren für das Meeresniveau zeigen nur geringe Ausbuchtung. Auch die oben erwähnte Temperaturstufe liegt an der Westseite der Troglinie (vergl. Tafel VI).

Geht man aber in die Höhe von 2500 m, so finden wir zwei in der Richtung der unteren Isobaren nebeneinander gelagerte außerordentlich starke Ausbuchtungen über den Gewittergebieten und eine andere noch weiter nordwestlich, die wohl für die nach 3<sup>P</sup> entstehenden Gewitter in Betracht kommen kann. Die einzelnen Gewitter selbst gruppieren sich um diese kleinen Depressionen und zeigen auch in ihren Zugrichtungen die schon mehrfach gefundene Eigenschaft. Die Niederschlagsgrenze im Osten und die Endlinie der Gewitter stimmen außerordentlich gut überein. Regen fällt in dem einmal davon betroffenen Gebiete noch teilweise bis zum Abend, aber er schreitet nicht ostwärts weiter. Die Isobarenkarte für 9<sup>P</sup> zeigt auch, daß die Druckrinne wenig nordostwärts vorgeschritten ist, sie lagert jetzt über dem Unterlauf der Elbe. Die größten Regenmengen (> 10 mm) sind im Gewittergebiet gefallen, hier erreichen sie am Nordrande des Harzes in Harzburg 51.3 mm, davon 44 mm in 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Stunden, ferner in Thüringen in Greiz 46.2 mm, Hohenleuben bei Greiz 43.0 mm, Pößneck a. O. 55.3 mm.

Hinsichtlich der Endstellen von Regen und Gewittern scheinen die Verhältnisse ähnlich zu liegen, wie am 29. Juni. Die südwestlichen und westlichen Luftströmungen sind an einem Gebiete mit warmen

und trocknen Winden abgeprallt, an den Grenzen haben sich kleine Depressionen mit wahrscheinlich besonders starken Vertikalbewegungen entwickelt, welche die vorher typischen Landregen (Depressionsregen) in Gewitterregen mit elektrischen Entladungen umwandeln und die Luftströmungen vorwiegend nach N ablenken.

30. Juli 1903. Seit dem 26. Juli fallen im Westen unseres Gebietes täglich Niederschläge, die sich zugleich mit dem Minimum, dem sie ihre Entstehung verdanken, allmählich ostwärts ausbreiten. Auch an Intensität nehmen die Niederschläge bis zum 28. zu, am 29. morgens wird an den meisten Beobachtungsstationen westlich der Elbe eine Tagesmenge von mehr als 10 mm gemessen, an einer Reihe Stationen aber auch 20 mm überschritten. Gewitter hat es in diesen Tagen aber an keinem Orte des Regengebietes gegeben. Erst am 29. setzt eine rege Gewittertätigkeit ein; eine ganze Reihe von Gewitterzügen zieht von Mittag bis zum Abend aus dem Nordwesten Deutschlands über Norddeutschland in östlicher Richtung hin, teilweise bis in das westliche Hinterpommern. Das Regengebiet überdeckt ganz Preußen westlich der Weichsel.

Am 30. wiederholen sich die Gewitter von Mittag ab, es verlaufen mehrere Züge in ungefähr gleichen Intervallen hintereinander her, und erst damit ist die Gewittertätigkeit erschöpft. Die nächsten Tage bringen dann wieder nur ausgebreitete Niederschläge.

Die Gewitter zeigen sich am 29. am Südostrande, am 30. am Süd- bis Südwestrande des schon erwähnten Minimums, das am 30. morgens mit seinem Kern von weniger als 743 mm über Südnorwegen lagert und in ganz Deutschland eine frische südwestliche Luftströmung aus dem relativ wärmsten Teile Europas veranlaßt. Die Temperatur ist am Morgen in Norddeutschland allgemein unter Normal, der Himmel meist stark bewölkt (nur in einzelnen verstreuten Gebieten ist um 7<sup>a</sup> Sonnenschein), und im NW und W regnet es teilweise schon. Auch bis zum Mittag kann sich die Luft nicht bedeutend erwärmen. Die Isothermen zeigen um 2<sup>p</sup> eine sehr unregelmäßige Temperaturverteilung mit einer Reihe von Wärme- und Kälte-Inseln, besonders im W, so daß dadurch stellenweise ein größeres Temperaturgefälle entsteht. Abgesehen vom östlichen Ostpreußen kommen Temperaturen von mehr als 22° nur an der hinterpommerschen Küste, an der Grenze von Neumark und Niederschlesien gegen Posen, sowie in Anhalt vor. Von Anhalt erstreckt sich eine Zunge relativ hoher Temperatur bis in das mittlere Westfalen hinein.

Von 12 Uhr mittags ab beginnen die Gewitter, die periodenweise mit meist kurzen Fronten im westlichen Teile aus südwestlicher, in Mitteldeutschland aus mehr westlicher Richtung — also ungefähr getragen von der herrschenden Windrichtung — mit mittleren Geschwindigkeiten von 40 bis 50 km p. St. hinziehen. Ihre Zahl ist ziemlich groß. Sie überdecken in ihrer Gesamtheit ganz Preußen westlich der Elbe und Mitteldeutschland bis zur Weichsel, nur die mecklenburgische Seenplatte und Schlesien frei lassend. Sie erlöschen meist am Spätnachmittage oder Fröhabend.

Die Luftdruckkarte von 2<sup>p</sup> (Tafel VII) zeigt für das Meeresniveau im Nordwesten unseres Gebietes stark verzerrte Isobaren der weiter nördlich recht kreisähnlichen Zyklone. Der Luftdruck ist im NW am niedrigsten (< 752 mm) und nimmt nach SE und E zu bis 759 mm. Eine schmale Zunge mit 752 mm Druck erstreckt sich von der Elbmündung bis Hannover. Rechts und links von diesem »Gewittersack«, in Abständen von etwa 100 km, liegen kleinere Teildepressionen, die gleichfalls Gewitterwolken mit sich führen. Eine andere Teildepression — auch in Verbindung mit Gewittern — liegt am rechten Oder-Ufer in der bereits genannten Wärme-Insel an der Posenschen Grenze.

In der Höhe von 2500 m ergibt die Konstruktion über dem Gebiete westlich der Elbe eine größere Anzahl nebeneinander lagernder selbständiger Tiefdruckgebiete, um welche sich auch hier wieder die Gewitter in meist recht regelmäßiger Anordnung gruppieren. Besonders charakteristisch tritt hier hervor, wie die Zentren dieser kleinen Depressionen gewitterfrei sind, und wie die elektrischen Entladungen sich an der Vorder- und Rückseite der Depressionen in der Nähe der stärksten Gradienten häufen. Will man diese Entwicklung der kleinen oberen Depressionen als reell gelten lassen, so würde dadurch erklärt sein, warum die Gewitterzüge etwa doppelt so schnell — in Abständen von etwa einer Stunde — aufeinanderfolgen wie die Teildepressionen, man würde dann weniger die Luftdruckrinne als die Gebiete steilsten Druckgefälles an beiden Seiten der oberen Depressionen als den Sitz der Gewitterzüge ansehen müssen. Jedenfalls ist bei den elektrischen Entladungen des 30. Juli in Westdeutschland die Temperaturverteilung viel weniger wichtig gewesen als die Druckverteilung. Anders ist es

östlich der Elbe, wo die Gewitter sich um das Hauptwärmegebiet gruppieren, während in der Höhe keine eigenen Depressionen und nicht einmal überall starke Druckgradienten über den Gewittergebieten zu erkennen sind.

Die Übereinstimmung zwischen Regen- und Gewittergebieten wird um so besser, je weiter man sich nach Osten begibt. Westlich der Elbe fallen die meist sehr schmalen Züge — die breiteren Züge sind wahrscheinlich auch viel häufiger unterbrochen gewesen, als dies eine kartographische Darstellung erkennen läßt — in ein ausgedehntes Regengebiet hinein, während im Osten, beim Eintritt in das Gebiet höherer Temperatur, Regen- und Gewitterfronten vielfach Ähnlichkeit haben. Die hier stärker vordringenden Ausläufer des Hochdruckgebietes im Süden — in der Höhe ist das Maximum sogar sehr viel deutlicher ausgeprägt — werden die Niederschlagsgebiete in ähnlicher Weise eingeengt haben, wie dies für den 29. Juni und 24. Juli 1903 ausgeführt worden ist.

1. Juli 1905. Der 1. Juli 1905 ist ein außerordentlich heißer Tag, schon morgens 8<sup>a</sup> finden wir teilweise Temperaturen von über 25°, und die höchsten Tagestemperaturen sind 34°.

Der Luftdruck ist über dem Kontinent sehr gleichmäßig. Auf der allgemeinen Wetterkarte durchzieht um 8<sup>a</sup> die 760 mm-Isobare als einzige den Kontinent in sehr geschwungener Linie von N nach S (Elbmündung bis Nizza). Diese Druckverteilung bewirkt, daß im Westen Deutschlands das Windsystem recht verwickelt ist. Der niedrigste Druck liegt im SW, der höchste im NE Europas. Um 2<sup>p</sup> verläuft diese Isobare mit großen Ausbuchtungen von Irland aus nach ESE bis Mittelddeutschland, die Abendkarte zeigt ein großes, geschlossenes, flaches Tief über Süd-England, Kanal und Normandie, und einige kleine Teilminima über Südwestfrankreich, über Mittel- und über Süddeutschland.

Bei ähnlicher Wetterlage sind an den vorhergehenden Tagen schon wiederholt Gewitter in vielen Teilen Deutschlands gewesen, und es tritt auch nach dem 1. Juli noch keine Witterungsänderung ein. Der 30. Juni war allerdings ziemlich gewitterfrei, nur westlich des Rheines, über Pommerellen und in Schleswig, entladen sich Gewitter; auch lokale Gewitter kommen hier und da vor.

Am 1. Juli ist schon morgens überall in Deutschland die Temperatur weit über Normal, die Abweichung vom Mittel erreicht in Grünberg i. Schlesien + 10.5°, der Himmel ist meist teilweise bewölkt. Abgesehen von einem morgendlichen Gewitterzuge in der Prignitz und in Mecklenburg beginnt die Gewittertätigkeit an diesem Tage am frühen Nachmittage im östlichen Hinterpommern und Pommerellen, wo zwei Züge von weniger als 100 km Breite hintereinander in 1¼ stündigem Abstände nach Südosten ziehen und die russische Grenze überschreiten.

Ein weit größeres Gewittergebiet haben wir im W, wo am Nachmittage verschiedene Gewitterzüge entstehen. Ihre Ursprungsgegenden sind: 3¼<sup>p</sup> die nördliche Lüneburger Heide, 2, 3, 4<sup>p</sup> Ostfriesland, 4¼<sup>p</sup> die westliche Lüneburger Heide, 4<sup>p</sup> Unter-Weser, 4<sup>p</sup> die untere Hunte, 4<sup>p</sup> Hunsrück, 4½<sup>p</sup> Schneifel, 7<sup>p</sup> obere Hase, 5½<sup>p</sup> Saar (lothringische Grenze). Sie sind, soweit sie nicht auf die Ostsee hinaustreten, bis zum Abend bezw. bis Mitternacht zu verfolgen. Ihre Zugrichtung ist allgemein von SW nach NE gerichtet. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit schwankt zwischen 30 und 60 km, und wechselt auch teilweise innerhalb desselben Zuges.

Von mindestens 13 Gewitterzügen dieses Tages sind auf Tafel VIII nur 6 zur Darstellung gekommen, um das Bild nicht zu verwirren, aber schon diese Karte genügt, um zu zeigen, wie Gewitter- und Regengebiete vollkommen zusammenfallen. Anscheinend sind Niederschläge nur in Begleitung von Gewittern aufgetreten. Die Gebiete stärksten Regenfalls liegen nicht an den Rändern, wie bei mehreren der früher besprochenen Fälle, sondern scheinbar regellos verteilt im Innern der Regenzone. Die größere Intensität im nördlichen Hessen sowie im südlichen Hannover und Westfalen hängt vielleicht damit zusammen, daß ein rasch von Lothringen heranziehendes Gewitter ein am Vogelsberg entstandenes überholt oder sich mit ihm vereinigt. Hier sind an einigen Orten sehr beträchtliche Regenmengen in kurzer Zeit gefallen, so in Bigge (Kreis Brilon) 30 mm in 30 Minuten, Nienstedt (Kreis Springe) 52 mm in 2¾ Stunden, Rinteln 62.5 mm in 2½ Stunden, Langenholzhausen (Fürstentum Lippe) 72.6 mm in 1 Stunde 10 Min. Etwas ähnliches findet im östlichen Schleswig statt (vergl. Ergebnisse der Gewitterbeobachtungen [in Preußen] 1903, 1904 und 1905, S. 90).

Da die stärkste Gewittertätigkeit erst auf die späten Nachmittagsstunden fällt, so sind auf Tafel VIII die speziellen Isobaren- und Isothermenkarten für den Abendtermin mitgeteilt. Die Temperaturen

sind um 9<sup>p</sup> durchweg noch sehr hoch — besonders im mittleren Deutschland zwischen Elbe und Oder — aber recht gleichmäßig verteilt. Auch die unteren Isobaren verlaufen innerhalb des Gewittergebietes ziemlich glatt; die meisten Gewitter fallen in eine ganz flache Depression hinein. Wesentlich verwickelter ist die Druckverteilung in der Höhe, aber sie entspricht recht gut der Ausbreitung der Gewitter; letztere seharen sich namentlich um das über Westfalen lagernde Minimum und drängen sich im Bereiche der stärksten Gradienten zusammen, wobei eine Ablenkung entgegen dem Uhrzeiger unverkennbar ist. Bei dem weiteren Vordringen nach NE dürften die Gewitterzüge noch weiter nach N abgelenkt und dabei schließlich zum Stillstand gekommen sein. In dem zweiten Minimum über Schleswig-Holstein lassen sich die Vorgänge nicht mit gleicher Genauigkeit verfolgen, da hier das Beobachtungsmaterial zu gering ist, um die oberen Isobaren graphisch abzuleiten.

Insgesamt ist die obere Druckverteilung so unregelmäßig und so wenig von großen Luftströmungen beeinflusst, daß man wohl annehmen kann, die Temperaturverhältnisse seien hierfür in erster Linie maßgebend gewesen. Dieser Voraussetzung entspricht auch die Intensität und die Verteilung des Niederschlags.

10. Juli 1905. Seit dem 7. Juli lagerte ein ausgedehntes Tiefdruckgebiet über dem nördlichen Rußland. Ein zweites Minimum zeigt sich am 10. nordwestlich von England, während der höchste Druck über dem östlichen Spanien liegt. Die Gradienten über Mitteleuropa sind sehr schwach. Die leichten Winde im Osten Deutschlands stehen unter dem Einflusse der nordöstlichen Zyklone, während sie im Westen einer ganz flachen, morgens über der südlichen Nordsee und Nordwestdeutschland lagernden Depression folgen. Die genaue Isobarenkarte für 2<sup>p</sup> (Tafel IX) läßt diese Teildepression bis zum Harz erkennen, während der Kern an der Unterelbe liegt. Bis zum Abend verschiebt sich der Kern nach dem östlichen Mecklenburg. Dabei dringt das Hochdruckgebiet langsam von SW her nach NE vor. Außerordentlich gering sind die Druckänderungen zwischen Oder und Weichsel; östlich davon fällt der Luftdruck rascher in Richtung nach dem russischen Minimum ab.

Die Temperaturen liegen morgens, nach einem in fast ganz Deutschland heiteren Vortage (nur der Westen hatte vereinzelt Gewitter gehabt) einige Grade über dem Mittel. Die Temperaturen steigen an der Küste bis zum Mittag nur wenig an, erreichen aber im Südwesten und besonders im Südosten verhältnismäßig hohe Werte (Ratibor 31.3°). Abends haben sich die Temperaturunterschiede im Westen fast völlig ausgeglichen, dagegen sind die Gradienten in Posen und Westpreußen ziemlich steil.

Die Morgengewitter, die an diesem Tage in west-östlicher Richtung ziehen, sind offenbar die Fortsetzung zweier Gewitterzüge, die am Vortage zwischen 8 und 9<sup>p</sup> über die deutsch-belgische Grenze gekommen sind. Auf der Karte der Tafel IX sind diese Gewitter, die in den ersten Vormittagsstunden schon wieder erlöschen, nicht weiter berücksichtigt.

Nach einer ungefähr halbtägigen Pause entstehen gegen 12 Uhr mittags von neuem Gewitter östlich des Rheines, die in vielfach unterbrochenen, nach E gerichteten Fronten ganz Preußen zwischen Rhein und Elbe überdecken, und in mehreren schmalen Streifen auch noch Elbe und Oder überschreiten, bis sie auf der Posener Platte und im westlichen Pommerellen erlöschen. Zwei ebenfalls nach Osten wandernde Gewitterzüge entstehen am frühen Nachmittage am Riesengebirge und am Eulengebirge, und durchlaufen Oberschlesien.

Die obere Druckverteilung spiegelt bei dem großen Mißverhältnis zwischen Druck- und Temperaturgradienten unten natürlich das Bild der unteren Temperaturverteilung wieder. Die in der Höhe angedeutete Depression über Nordwestdeutschland paßt sich jedoch den Gewitterzügen recht gut an; namentlich ist in dem südlichen Ausläufer dieser Depression eine Ablenkung der Züge nach S und vor der Depression eine Abweichung nach N erkennbar. Im Zentrum oberhalb der unteren Weser sind die Gewitter zwischen 1 und 3<sup>p</sup> häufig unterbrochen, und wenn man sich das an der Unter-Elbe befindliche kleine Druckmaximum nur ein klein wenig nach N verschoben denkt, würde es mit der Gewitter- und Regengrenze zusammenfallen. Als zweiter Gewitterherd tritt zwischen 1 und 3<sup>p</sup> der südliche Teil der Provinz Hessen hervor, wo gleichfalls ein kleines Minimum und ziemlich steile Gradienten erkennbar sind. Weniger einfach gestalten sich die Verhältnisse östlich der Oder, wo überdies die meisten Gewitter zwischen den Terminen 2 und 9<sup>p</sup> auftreten. Um 9<sup>p</sup> zeigt sich tatsächlich östlich der Oder ein kleines Teilminimum mit steilen Gradienten an seiner Vorderseite; noch weiter östlich, wo die Temperatur unten

— und demgemäß auch der obere Barometerstand — ansteigt, erlöschen die Gewitter. Die Gewitter in Oberschlesien fallen merkwürdigerweise in ein Gebiet, wo um 2<sup>p</sup> oben hoher Druck angezeigt ist; jedoch beginnen die elektrischen Entladungen erst nach 2<sup>p</sup> und überdies ist — wie schon früher hervorgehoben — die graphische Darstellung an den Landesgrenzen ganz unsicher.

Hinsichtlich der Abgrenzung von Regen- und Gewittergebieten ist zweierlei bemerkenswert. In Westdeutschland breitet sich eine geschlossene Regenzone aus, die in ihrer ganzen Breite von Gewitterfronten durchzogen wird. Die Temperaturunterschiede sind, obgleich sie ziemlich stark sind, anscheinend ohne großen Einfluß geblieben, sondern Regen und Gewitter haben sich in Abhängigkeit von der Luftdruckverteilung als lange Streifen fortgepflanzt. Vielleicht wird man die Vorgänge als Regenstreifen im Sinne der Definition von Sprung<sup>1)</sup> deuten können. Wesentlich verschieden ist der Witterungsverlauf östlich der Elbe; hier dringen die Regenfronten zungenförmig vor, teils in den Gebieten stärkster Temperaturgradienten (Mecklenburg und Pommern), teils dort, wo es am wärmsten ist (Oberschlesien). Im allgemeinen decken sich hiermit die Gewitterfronten, und die größere Erstreckung des Regengebietes hängt voraussichtlich damit zusammen, daß infolge der späten Tagesstunde die Bedingungen für die Entwicklung von Wärmegewittern keine günstige waren. Direkt nachweisbar ist dies für Mittelschlesien, wo meist schwacher Regen erst in den Abendstunden einsetzte, und wo vielfach Wetterleuchten beobachtet wurde.

27. Juli 1905. Auch dieser Fall zeigt uns Gewitter, die an einem sehr heißen Tage bei einem Luftdruck von mehr als 760 mm entstehen.

Am 23. waren im Beobachtungsgebiete weit verbreitete Gewitter gewesen, und in den darauf folgenden beiden Tagen wird das Gewittergebiet durch den aus W heranziehenden hohen Druck immer weiter östlich gedrängt. Der 26. Juli ist gewitterfrei und hat auch nur in vereinzelt kleinen Gebieten Regen gebracht; im allgemeinen herrscht heißes Wetter, so daß am Morgen des 27. die Temperaturen durchgängig einige Grad über der Normalen liegen. Die Isobarenkarte der Deutschen Seewarte zeigt am 27. um 8<sup>a</sup> über Mitteleuropa nur die 760 mm-Isobare, welche in allgemein ostwestlicher Richtung von den russischen Ostseeprovinzen über die südliche Ostsee, Südschweden, Jütland, den nördlichen Rand der Nordsee, Schottland nach dem Atlantik führt. Eine zweite geschlossene 760 mm-Isobare umschließt ein flaches Tiefdruckgebiet in Nordwestfrankreich, das im Laufe des Tages ostnordostwärts wandert. Die Luftbewegung ist außerordentlich schwach und lokal beeinflußt. Die Temperatur ist in Süd- und Mitteldeutschland sehr hoch und fällt nach N ab.

Da die meisten Gewitter erst gegen Abend auftreten und bis weit in die Nacht hinein, z. T. bis zum nächsten Morgen dauern, so ist eine genaue Luftdruck- und Temperaturkarte für 9<sup>p</sup> gezeichnet und auf Tafel X veröffentlicht worden. Am Erdboden sinkt der Luftdruck von einem sich von Dänemark über Hinterpommern und Westpreußen nach Polen erstreckenden, flachen Hochdruckrücken nach SW und nach NE. Dementsprechend kommen die Winde östlich der Oder überwiegend aus W, während westlich der Oder östliche Winde vorherrschen. Die Temperatur nimmt ziemlich gleichmäßig von S nach N ab. Einige kleine Kälte-Inseln in Norddeutschland sind wohl als Folge von Gewitterregen zu deuten; die stärkere Abkühlung über Thüringen rührt dagegen anscheinend von starker Ausstrahlung bei heiterem Himmel her.

Die Gewitter und Niederschläge dieses Tages treten der Hauptsache nach in einem breiten Streifen auf, der am Rhein in zwei schmaleren Streifen beginnend in der Richtung nach ENE weiter zieht und von der Elbe an ziemlich parallel der Ostseeküste und etwa 120 km breit verläuft. Aus den Beobachtungen geht deutlich hervor, daß an den meisten Orten Gewitter und Regen gleichzeitig gefallen sind, und es decken sich daher die von ihnen betroffenen Gebiete außerordentlich gut. Damit stimmt auch die langgestreckte Zone mit Niederschlägen von mehr als 10 mm Regenhöhe gut überein, die sich von der Lüneburger Heide bis zur Tucheler Heide erstreckt. Hier ist auch sehr viel Hagel gefallen. Gebiete stärksten Niederschlags oder Hagels finden sich besonders an den Rändern der Regenzone mit 10 mm Niederschlag, so in der Lüneburger Heide, an der Letzlinger Heide (Born 35,8 mm, davon 24,5 mm in 8 Minuten), in der Havelniederung (Rathenow 46,5 mm in 2 Stunden), an der mecklenburgisch-

<sup>1)</sup> A. Sprung, Über Regenstreifen. Das Wetter 23 (1906), S. 49—59.

pommerschen Grenze (Neustrelitz 59 mm). In dem schmalen Regenstreifen, der sich ohne Gewitter vom Westerwald bis nach dem Harz erstreckt, ferner in Westfalen und schließlich im östlichen Ostpreußen sind die Niederschläge nur in der Nacht gefallen, nachdem weiter westlich die Gewitter schon um 10<sup>p</sup> ungefähr aufgehört hatten. Der hauptsächlichste Entstehungsherd für Gewitter sind Weser und Aller, wo elektrische Entladungen um 2, 3, 5 und 7<sup>p</sup> beginnen, und sich mit sehr schmalen Fronten nach Ost ausbreiten.

Ein abgetrenntes Regengebiet liegt vormittags in Schleswig; auch diese Zone deckt sich vollständig mit einem Gewitterzug, der — um 7<sup>a</sup> bei Helgoland bemerkbar — um 9<sup>a</sup> die Ostsee erreicht. Die Niederschläge des ganzen Tages tragen also durchaus den Charakter von Gewitterregen.

Die aus der unteren Druck- und Temperaturverteilung hergeleitete obere Isobarenkarte zeigt ungewöhnlich große Abweichungen gegen unten: Das Minimum liegt um 9<sup>p</sup> bereits über der Ostsee mit einer Ausbuchtung im östlichen Westfalen; hoher Druck dringt von S vor. Hiernach ist also in Westdeutschland eine westliche Luftströmung oberhalb der Ostwinde am Boden zu erwarten. Dieser oberen Druckverteilung entsprechen die Gewitterzüge vollständig; sie sind um 9<sup>p</sup> über Westfalen dort unterbrochen, wo die Troglinie der Luftdruckrinne liegt, und sind an den Rändern dieser Druckrinne sowie an der Grenze des vom Königreich Sachsen nach Norden sich ausbreitenden Hochdruckgebietes besonders stark. Die Krümmungen der oberen Isobaren in Nordostdeutschland finden sich mehrfach in den beobachteten Gewitterzugrichtungen wieder.

#### Beziehungen zwischen Gewittergebieten und barometrischen Fallgebieten.

Wie schon auf S. 6 erwähnt, erschien es wünschenswert, zu untersuchen, ob die im vorigen Abschnitt behandelten Gewittertypen irgend welche Beziehungen zur unteren Druckverteilung erkennen lassen. Nach den Feststellungen von W. Peppeler konnte speziell in den Fällen, wo die Temperaturverteilung für die Gewitterbildung ausschlaggebend gewesen ist, erwartet werden, daß die barometrischen Fallgebiete im Sinne Ekholms<sup>1)</sup> sich gewissermaßen als das „Aktionszentrum“ für die Gewitter erweisen würden, daß dagegen in den Beispielen aus dem Jahre 1903, wo Gewitter ohne vorangegangene Erwärmung auftraten, Verschiedenheiten des Verhaltens der Gewitter zu den Fallgebieten auftreten würden.

Auf Grund einer vorläufigen Prüfung ergab sich, daß ein Zeichnen der Isallobaren in zwölfstündigen oder noch kürzeren Intervallen, wie sie im allgemeinen unerlässlich sind, im vorliegenden Falle nicht angängig und vielleicht auch nicht einmal zweckmäßig war. Auf kleineren Gebieten, z. B. nur innerhalb Deutschlands sind die Druckunterschiede bei den hier behandelten Wetterlagen so gering und innerhalb des Tages durch periodische Einflüsse, z. B. den täglichen Temperaturgang so stark entstellt, daß ein klarer Überblick über den wirklichen Verlauf der Isallobaren nicht gewonnen werden kann. Das Zeichnen der Isallobaren in 24-stündigen Intervallen läßt jedoch trotz der langsamen Druckänderungen fast immer eine ganz charakteristische und regelmäßige Verschiebung der Fall- und Steiggebiete erkennen, so daß über den Weg der Zentren dieser Gebiete kaum ein Zweifel bestehen bleibt. Aus den Ausbuchtungen der Isallobaren in der Umgebung der Fallgebiete ließen sich sogar manchmal Schlüsse auf sekundäre Fallgebiete ziehen.

<sup>1)</sup> Nils Ekholm, Wetterkarten und Luftdruckschwankung. Meteor. Zeitschr. 21, (1904), S. 345; Die Luftdruckschwankungen und deren Beziehung zu der Temperatur der oberen Luftschichten. Hann-Band der Meteor. Zeitschr. (1906), S. 228.

Das Material für die folgenden Ausführungen wurde in der Weise bearbeitet, daß für jeden Gewittertag in zwei Karten die Druckunterschiede sowohl gegen den Vortag als auch gegen den folgenden Tag in Abständen von 1 mm eingetragen wurden. Steig- und Fallgebiete wurden durch verschiedenfarbige Zeichnung kenntlich gemacht, außerdem wurden in beide Karten die Bahnen der Gewitterzüge eingezeichnet, so daß man diese sowohl mit den vorangegangenen als auch mit den nachfolgenden Druckänderungen unmittelbar vergleichen konnte.

Zunächst möge der Befund für die einzelnen Tage gegeben werden.

10. Juni 1903. Während ein flaches Minimum von 755 mm von Süddeutschland bis zum 11. Juni nach den Dänischen Inseln wandert, ist ihm ein Fallgebiet von 9—10 mm vorgelagert, das sich jedoch in der Richtung nach NW bewegt. In Ostdeutschland, wo der Gewitterverlauf anscheinend auch durch vorher gefallenem Regen beeinflusst ist, sind die Hauptgewitterzüge nach der Bahn des Fallgebietes hin gerichtet; ihre Fortpflanzungsrichtung ist angenähert die gleiche wie die des Fallgebiets. Von den ganz anders gerichteten Zügen fallen die in Nordwestdeutschland in eine Ausbuchtung des Fallgebiets, hingegen findet sich für die nach NE gehenden Gewitter im südlichen Mitteldeutschland, welche für diesen Tag gerade die beste Übereinstimmung mit den Regengebieten zeigen, kein entsprechendes Fallgebiet, und der regelmäßige Verlauf der Isallobaren in diesen Gegenden macht es auch wenig wahrscheinlich, daß sich ein selbständiges Fallgebiet für kürzere Zeit ausgebildet hat.

15. und 16. Juni 1903. Die Wetterlage, bei der eine allgemeine Temperaturerhöhung für die Gewitterbildung an diesen Tagen nicht in Frage kommt, läßt schon von vornherein vermuten, daß die Gewitter nicht im Zusammenhang mit vorher bestehenden Fallgebieten stehen. Bei dem Auftreten der verschiedenen Depressionen ist nicht einmal eine klare Beziehung der Fallgebiete zu den Depressionen zu erkennen. Die Gewitterherde liegen am 15. zum Teil weit ab von den Kernen der Fallgebiete und befinden sich am 16. sogar nahe dem Zentrum des Steiggebiets. Anscheinend haben sich die Gewitter nur wenig später als die Druckstörungen entwickelt, so daß die Fallgebiete in diesem Falle keine Anzeichen für Gewitter und Gewitterregen sind.

20. Juni 1903. Das langsame Verschieben einer Depression durch ein Hochdruckgebiet nach N bis NE spricht sich auch in dem flachen Fallgebiet aus, das in großer Ausdehnung dem Minimum vorgelagert ist. Die Richtung der Gewitter weist deutlich nach der Bahn des Fallgebiets hin, so daß die Lage des letzteren am Morgen ungefähr die Gewitter-Endpunkte umfaßt. Hier liegt auch das Gebiet der stärkeren Niederschläge. Über die Entstehungsherde der Gewitter läßt sich aus dieser Darstellung der Fallgebiete nichts aussagen.

29. Juni 1903. Die Verhältnisse liegen ähnlich wie am 20. Juni; die erwarteten Beziehungen treten jedoch noch schärfer hervor. Während die Depression mit ihrem „Gewittersack“ nach E wandert, zieht der Kern des Fallgebiets nach SSE, und gegen die Bahn dieses Kerns sind auch die meisten Gewitterzüge gerichtet. Die Gebiete mit stärkstem Regen und Hagel liegen nahe dieser Bahn. Am Morgen des 29. befindet sich der Kern des Fallgebiets freilich noch über Südnorwegen; es ist fraglich, ob seine Fortbewegung nach S vorher erkannt werden konnte, so daß die praktische Bedeutung dieses Zusammenhangs zunächst gering ist.

24. Juli 1903. An diesem Tage liegen die Kerne des Fallgebiets an der deutschen Nordseeküste und über Steiermark. Der nördliche Kern ist einer Depression vorgelagert, in deren Randgebiet einige kurze Gewitterzüge auftreten. Die Züge bilden sich zwischen den Kernen der Fallgebiete aus. Die thermischen Verhältnisse, welche der weiteren Entwicklung der Niederschläge und Gewitter hinderlich sind, haben die Verschiebung der Fallgebiete nach E nicht aufgehalten.

30. Juli 1903. Die in Abständen von etwa einer Stunde hinter einander herlaufenden Gewitterzüge zeigen keinerlei Zusammenhang mit den größeren Fallgebieten; sie treten sogar hart am Rande eines Steiggebiets auf. Würde eine genauere Darstellung möglich sein, so wären Beziehungen der Gewitterzüge zu den Luftdruckänderungen auch nur in Ostdeutschland zu erwarten, da hier die Erwärmung des Geländes mehr hervortritt. Aber die Karte läßt nichts derartiges erkennen.

1. Juli 1905. Die Luftdruckänderungen sind sowohl gegen den Vortag als auch gegen den folgenden Tag so gering, daß die Darstellung der Isallobaren für 24-stündige Intervalle nicht ausreicht, um ein klares Bild zu gewinnen. Die Gewitter liegen weit ab von großen Fallgebieten, vielmehr an den Abhängen eines schmalen Steiggebiets. Das Vorhandensein kleinerer Fallgebiete ist zwar möglich, aber es ist fraglich, ob sie sich so vorzeitig entwickelt haben, daß sie als Anzeichen für Gewitterbildungen hätten dienen können.

10. Juli 1905. Die Gewittergebiete decken sich im Wesentlichen mit den Ausläufern eines großen Fallgebiets, dessen Kern an der deutschen Nordseeküste liegt, und auch die Fortbewegung der einzelnen Züge entspricht der Verschiebung des Fallgebiets. Die ausgebreitete und unregelmäßige Form des Fallgebiets läßt vermuten, daß sich mehrere kleine Kerne ausgebildet haben, welche in der von W. Peppler geschilderten Art den Gewittern voraneilen.

27. Juli 1905. Das ziemlich umfangreiche Fallgebiet pflanzt sich vom 25. bis zum 27. Juli in breiter Masse von der Biskaya-See über Frankreich bis Ostdeutschland fort. Sein Hauptkern ist immer dem Depressionszentrum etwas vorgelagert; sekundäre Kerne sind besonders am Ostrande des Fallgebiets angedeutet, und sie begünstigen anscheinend die Entwicklung von Gewitterzügen.

Nach diesen Zusammenstellungen lassen sich die Beziehungen der Gewitter zu den Fallgebieten in drei Gruppen einordnen. Bei der ersten Gruppe, die namentlich die heißen Tage umfaßt, ist ein ausgedehntes Fallgebiet der Depression vorgelagert. In diesem Gebiet treten auch die Regen- und Gewitterzonen auf, und decken sich wahrscheinlich teilweise mit mehreren schon einige Stunden vorher entwickelten sekundären Fallgebieten. Bei einer zweiten Gruppe, wo gleichfalls das Minimum der Isallobaren der Depression vorgelagert ist, sind die Gewitterzüge zwar nach den Bahnen der Fallgebiete gerichtet, aber der Verlauf der Regen- und Gewitterzonen zeigt wesentlich größere Mannigfaltigkeit als die Fallgebiete, oder die beiderseitige Ausbildung erfolgt ziemlich gleichzeitig, so daß aus der Art der Fallgebiete keine weitgehenden praktischen Schlüsse gezogen werden können. Auch wird anscheinend die Bewegung der Regen- oder Gewitterregionen durch die Druckänderungen unten weniger beeinflußt als durch andere Umstände, z. B. Luftströmungen in der Höhe (29. Juni 1903). In eine dritte Gruppe sind diejenigen Fälle zu rechnen, wo die großen Fallgebiete keinerlei Beziehung zur Entwicklung von



Gewittern und Gewitterregen erkennen lassen, und wo etwa vorhandene sekundäre Fallgebiete sich nur ganz wenig früher ausbilden als die Gewitter. Hierher gehören vor allem die Gewitter bei kühlem, böigem Wetter mit periodischer Aufeinanderfolge (z. B. 30. Juli 1903).

Ein eingehenderes Studium der barometrischen Fallgebiete scheint daher zur Ermittlung des Gewittercharakters am gleichen Tage manchmal Erfolg zu versprechen. Da derselbe Gewittertypus meist einige Tage andauert, so lassen sich auch für eine Vorhersage auf den nächsten Tag zuweilen aus den Fallgebieten ergänzende Schlußfolgerungen zur allgemeinen Prognose ziehen.

#### Zusammenfassung der Ergebnisse.

1) Die behandelten Fälle zeigen deutlich eine Gliederung in zwei verschiedene Gruppen bezüglich der Wetterlage. Für die eine Gruppe, welche die sämtlichen Fälle von 1903, mit Ausnahme des 29. Juni, umfaßt, ist charakteristisch, daß die Gewitter als Randerscheinungen flacher Tiefdruckgebiete oder in den durch letztere gebildeten Rinnen auftreten. Dabei ist der Luftdruck im Beobachtungsgebiet zwischen 760 und 750 mm, die Tagestemperaturen sind nirgends besonders hoch. Die andere Gruppe, die den 29. Juni 1903 und die 3 Julifälle von 1905 umfaßt, zeigt hohe Temperaturen bei einem Drucke von etwas über 760 mm. Das Isobarenfeld ist noch flacher. Der Fall vom 29. Juni zeichnet sich dabei noch dadurch aus, daß die Isobaren eine tiefe schmale, nach N offene Bucht, einen sog. Gewittersack bilden.

Bei der ersten Gruppe herrscht allgemein die Neigung zu Niederschlägen, während in der zweiten Gruppe Regen nur in Verbindung mit Gewittern erscheint.

2) In den Beispielen der ersten Gruppe decken sich Regen- und Gewittergebiete nur in einigen Teilen; namentlich sind es die Ausläufer von größeren Regengebieten, in welche die Gewitterzüge hineinfließen. Meist treten die Niederschläge also in den beiden Formen als Landregen und als Gewitterregen auf. Die Ursache hierfür liegt vermutlich darin, daß sich die meist schon am Erdboden gut ausgebildeten Depressionen in der Höhe noch mehr verstärken, so daß typische weit verbreitete Depressionsregen einsetzen, während sich in den Randgebieten durch Temperatur- und Windstörungen sekundäre Depressionen mit Gewitterregen ausbilden. In den geschilderten Beispielen konnten verschiedene Arten solcher Störungen, die sich fast immer durch starke Temperaturgradienten unten bemerklich machen, nachgewiesen werden.

3) Die Entstehung der Gewitter der ersten Gruppe hängt keineswegs immer mit einer Temperatursteigerung am Boden zusammen, sondern auch eine starke Abkühlung, z. B. infolge heftiger Niederschläge bei vorangegangenen Gewittern wirkt in demselben Sinne. Außerdem spielt nicht allein die Temperatur am Erdboden, sondern der Wärmezustand in mittelhohen Schichten eine Rolle. Am deutlichsten zeigt sich das dann, wenn Luftströmungen aus verschiedenen Richtungen zusammentreffen. Andererseits können die Winde in mittleren Schichten die Temperaturunterschiede unten ausgleichen oder direkt ein Hindernis für die Gewitter bilden. Niedrige Anhöhen oder flach eingeschnittene Flußtäler können in demselben Sinne wirken, falls sie in horizontaler Richtung in so weiter Ausdehnung gleichartig sind, daß dadurch die Luftströmungen auf großem Gebiete abgelenkt werden. Ein solches Verhalten wies das mittlere Odertal am 15. VI. 1903 auf. In gleicher Weise werden die Gewitterregen durch Gebiete mit

hoher Temperatur und großer Trockenheit aufgehalten oder abgelenkt (24. VII. 1903). Dagegen wirkt ausgesprochen hügeliges Gelände mit starker und unregelmäßiger Bodenfaltung zuweilen Gewitter begünstigend, weil es die horizontalen Temperaturgegensätze verschärft.

4. Bei den Gewittern der zweiten Gruppe, wo eine starke Erwärmung unten streckenweise steile Temperaturgradienten bedingt, ist das Zusammenfallen von Gewitter- und Regen gebieten ein fast vollständiges, und würde noch vollkommener sein, wenn die Zeiten, während welcher der Niederschlag gefallen ist, genauer bekannt wären. Es würden sich dann unter unsern Karten auch sehr viel mehr Fälle finden, welche in diese Gruppe gehören.

5. Die Vergleichung einer genau gezeichneten Isothermenkarte für den Erdboden mit der Gewitterverteilung vermag in der Regel nur das Verhalten der Gewitter in großen Zügen zu erklären, während mancherlei Eigentümlichkeiten der Bahnen unverständlich bleiben. In den meisten Fällen wird das Bild wesentlich deutlicher, wenn in allererster Annäherung die mittleren Zustände der Atmosphäre dadurch berücksichtigt werden, daß man Druck- und Temperaturverhältnisse unter der Voraussetzung gleichförmiger vertikaler Temperaturabnahme zu einer Darstellung der oberen Druckverteilung kombiniert. Mit ganz wenigen Ausnahmen passen sich die Gewitterzüge weit besser der Druckverteilung in 2500 m Höhe an als der unteren Wetterkarte. Meist ist es klar erkennbar, daß der Kern der oberen Depression Landregen ohne Gewitter hat oder ganz trocken bleibt, während die Randgebiete dort, wo sich die Gradienten verstärken, als eigentliche Gewitterherde hervortreten. Wo sich durch örtliche Verhältnisse oder anders gerichtete Luftströmungen kleine Hochdruckgebiete ausbilden, werden sowohl Regen- als auch Gewittergebiete aufgehalten. Da schon diese höchst unvollkommenen oberen Wetterkarten manche charakteristische Einzelheiten zeigen, erscheint die genaue Zeichnung von oberen Isobaren außerordentlich lohnend.

6. Die oberen Isobarenkarten lassen ferner erkennen, daß die Fortbewegung der einzelnen Gewitter häufig durch die obere Druckverteilung von der mittleren Fortpflanzungsrichtung der Isobronten abgelenkt wird, so daß sich die Einzelzüge dieser Druckverteilung besser anpassen als dies zuweilen die Isobronten tun. Einem der Tageszeit nach unerwarteten Aussetzen der Gewitterzüge entspricht manchmal eine stärkere Abweichung der beobachteten Zugrichtung von der Isobrontenrichtung; desgleichen wird durch das Ablenken ein Zusammentreffen oder Interferieren verschiedener Züge veranlaßt. In solchen besonderen Störungsgebieten kommen dann die stärksten Niederschläge, oder Hagelfälle vor.

7. Die klaren Beziehungen, welche gerade diejenigen Gewitterzüge, welche sich mit Regengebieten decken, zu der obern Druckverteilung zeigen, läßt es gerechtfertigt erscheinen, sich auch für praktische Zwecke zuweilen ein ungefähres Bild von dieser Druckverteilung zu entwerfen. Vielleicht genügt dazu schon, daß man für einzelne, allerdings nicht allzu kleine Gebietsteile — etwa zwei bis drei Provinzen umfassend — die Isobaren und Isothermen durch die Beobachtungen von möglichst vielen Stationen zweiter Ordnung ergänzt. Die meisten norddeutschen Wetterdienststellen besitzen schon jetzt ziemlich viel Material dieser Art. Der Nutzen eines solchen Verfahrens würde besonders bei geringen Druck- und Temperaturunterschieden unten hervortreten, denn man ist jetzt noch viel zu häufig gezwungen, sich mit der Vorhersage „Gewitterneigung“ zu helfen. Die genaueren Wetterkarten und die Kombination der Druck-

und Temperaturkarten, auch wenn sie sich nur auf den vorhergehenden Tag beziehen, ermöglichen es, die etwaige Tendenz zu Witterungsstörungen schärfer zu erkennen. Konstruiert man sich außerdem die barometrischen „Fallgebiete“ im Sinne Ekholms, so wird man über den Zusammenhang mit den größeren Depressionen noch besser unterrichtet sein und namentlich über die Fortbewegung der einzelnen Gebilde Anhaltspunkte gewinnen. Kleine sekundäre Depressionen in der oberen Druckverteilung wird man als kritische Gebiete aufzufassen haben, die sich in ihrem weiteren Verlaufe zu kritischen „Bändern“ umbilden. In diesen „Bändern“ sind Witterungsstörungen durch Lokal-Einflüsse am wahrscheinlichsten. Bei dieser Betrachtungsweise trägt man sowohl der Wirkung der oberen Luftströmungen als auch der Wirkung der unteren Temperaturverteilung Rechnung.

Besonders gilt dies für die hier in die erste Gruppe eingereihten Gewitter, bei denen die Temperaturschwankungen im Laufe des Tages relativ klein sind und bei denen der allgemeine Witterungstypus meist einige Tage der gleiche bleibt, so daß schon die genaue Kenntnis des Witterungsverlaufs am vorhergehenden Tage Anhaltspunkte für analoge Vorgänge in den nächsten Tagen gibt und eine Verwertung für die Vorhersage ermöglicht, sobald man die neu gebildeten Störungsgebiete erkannt hat. Für die vorliegende Untersuchung sind verschiedentlich auch Wetterkarten für Morgentermine gezeichnet, und es ließen sich auch da sekundäre obere Depressionen erkennen, die sich im Laufe des Tages als „kritische“ Gebiete erwiesen. Für praktische Zwecke beachtenswert ist ferner der unter 3) schon erwähnte Fall, daß auch starke Abkühlung unten zu starken Temperatur- und Druckgradienten in der Höhe und damit zur Wiederholung von Witterungsstörungen führen kann.

8. Als maßgebender Faktor für die Entstehung und Fortpflanzung der Gewitter zeigt sich im Sommer fast immer die horizontale Temperaturverteilung an der Erdoberfläche. Nur dort, wo der Temperaturgradient einen wesentlich größeren Wert annimmt als in der Umgebung, bilden sich Gewitter. Das tritt bei Gewittern der ersten Gruppe in zwei Lagen ein; zunächst am Rande eines abgeschlossenen Tiefdruckgebiets, während im Innern die Temperatur gleichmäßig ist. Hierher gehören der 10., 16. (Gewitter im Westen), 20. Juni und 30. Juli 1903. Die Entstehungsursache für die Temperaturgradienten liegt offenbar in den meteorologischen Verhältnissen im Innern der Depression (Bewölkung und Niederschlag), hängt also indirekt mit den dynamischen Vorgängen in oberen Luftschichten zusammen.

Steile Temperaturgradienten bei Gewittern der ersten Gruppe treten ferner dann ein, wenn in einer Luftdruckrinne zwei verschieden warme Luftströmungen zusammenstoßen. Die Temperaturunterschiede kommen dann meist daher, daß der eine Luftstrom aus nördlichen Richtungen kommt (29. Juni 1903), oder aus Gegenden, in denen es tags zuvor oder am Morgen desselben Tages geregnet hat, so daß Abkühlung eingetreten ist. Dies war der Fall am 15., 16. Juni (Gewitter im Osten) und am 24. Juli 1903.

Bei den typischen Wärmegewittern im Juli 1905 traten die Gewitter gleichfalls an den Orten mit den größten Temperaturgradienten zuerst ein. In den allermeisten Fällen war ersichtlich, daß die Gewitter sich in der Richtung nach der höheren Temperatur hin fortpflanzten.

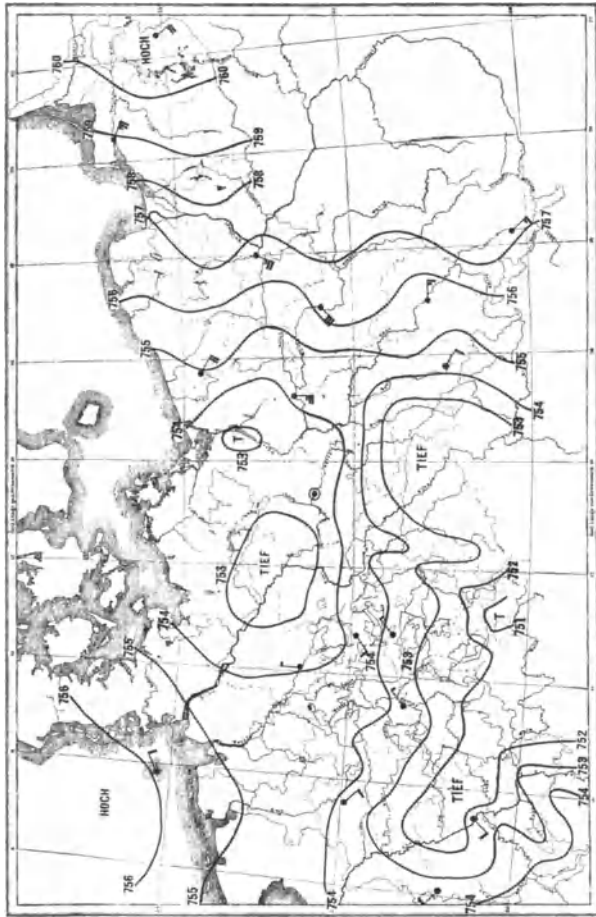
9. Hinsichtlich der Beziehung der Regen- und Gewittergebiete zu der Luftdruckverteilung im Meeresniveau ist zu bemerken, daß an den Gewittertagen der ersten Gruppe die

größten Niederschlagsmengen oft als Landregen in den gewitterfreien Gebieten des Depressions-Innern gefallen sind, während mit den Gewittern in den Randzonen nur strichweise starke Regenfälle verbunden waren. An den Gewittertagen der zweiten Gruppe traten die Regenfälle meist nur an den Depressionsrändern und immer in Begleitung von Gewittern auf. In einigen Fällen bestand auch ein deutlicher äußerer Zusammenhang zwischen der Isobarenkarte für das obere Niveau und dem Gesamtregengebiet insofern, als dort, wo sich oben ein sekundäres Luftdruckmaximum zeigt, auf der Regenkarte sich ein kleines niederschlagsfreies Gebiet findet, das von Orten mit Niederschlag rings umgeben ist. Für eine genauere Verfolgung dieser Erscheinung genügten die Niederschlagskarten nicht.

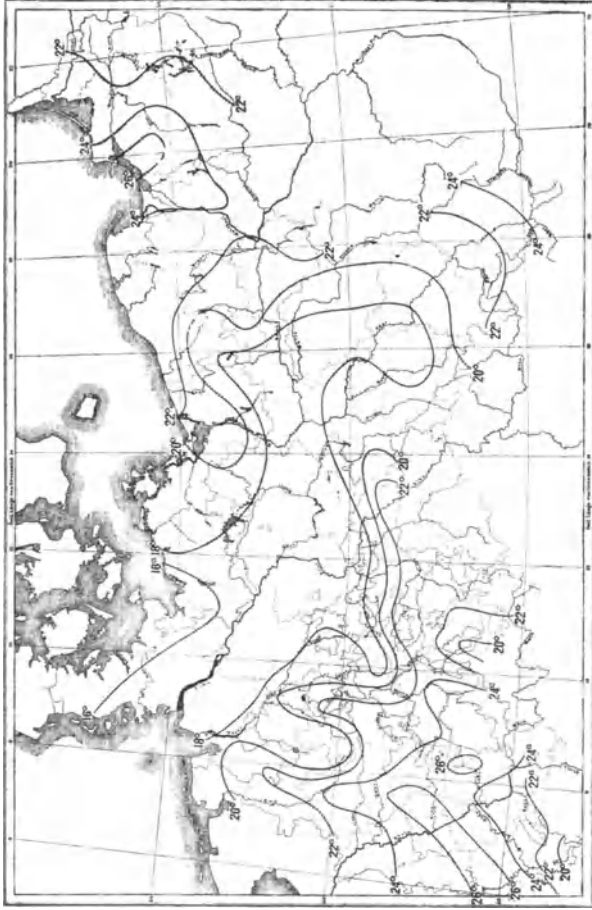
---

10. Juni 1903.

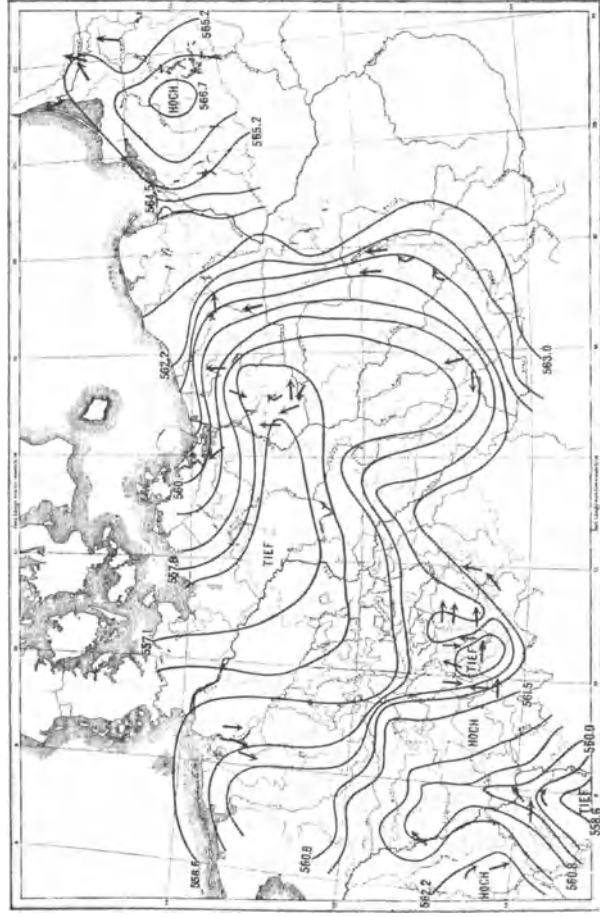
Tafel I.



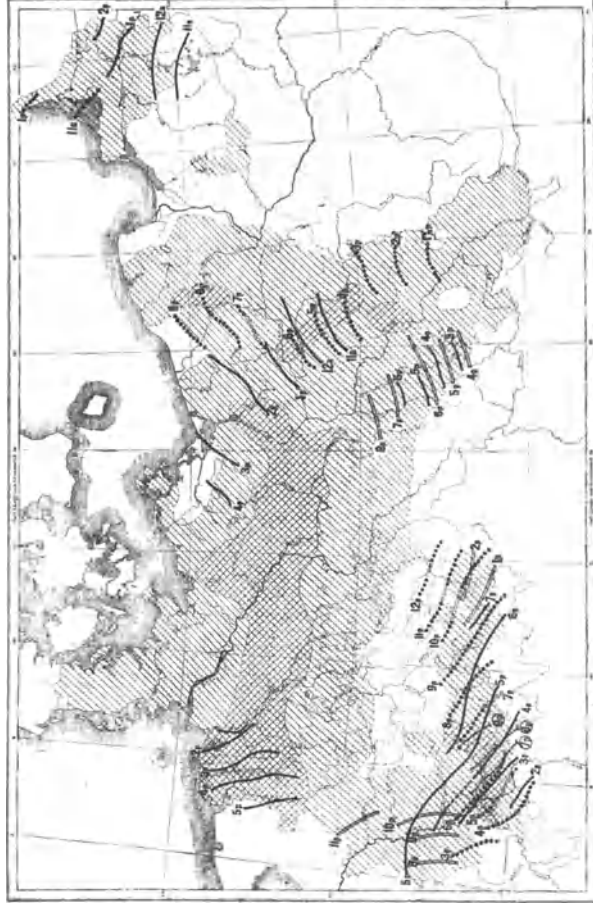
Luftdruck im Meeresniveau und Winde 2P.



Temperatur im Meeresniveau 2P.



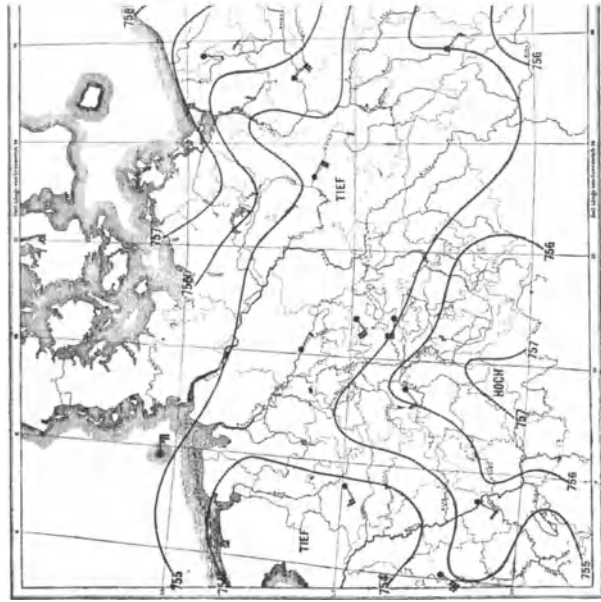
Luftdruck in 2500 m Höhe 2P und Gewitterzrichtungen 1-3P.



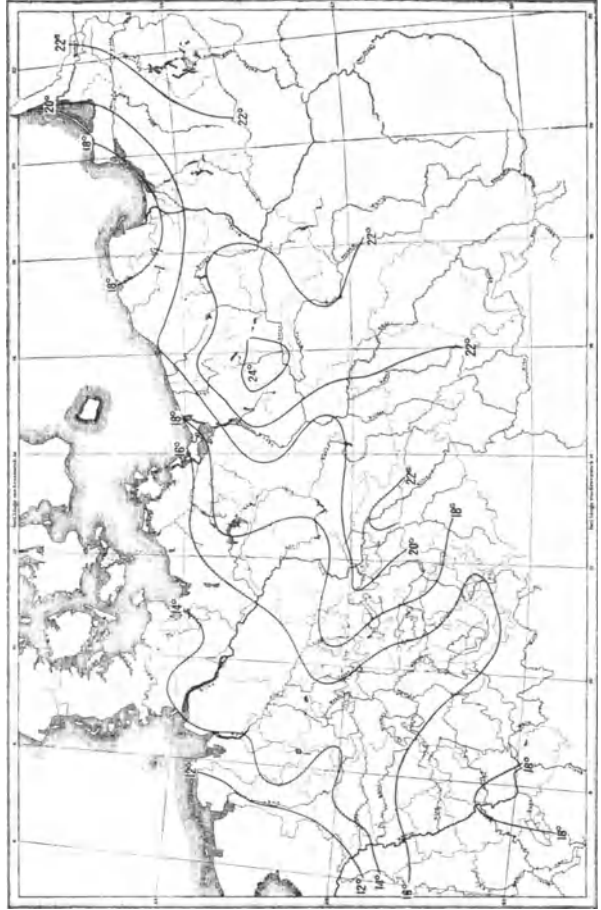
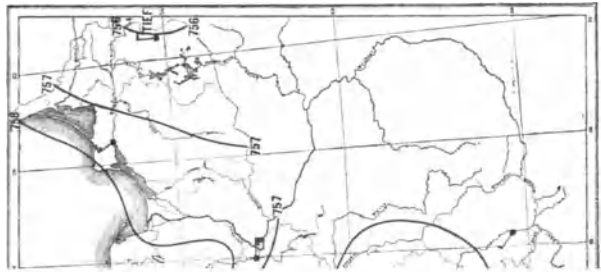
Niederschlagsverteilung und Isobronten.

15. Juni 1903.

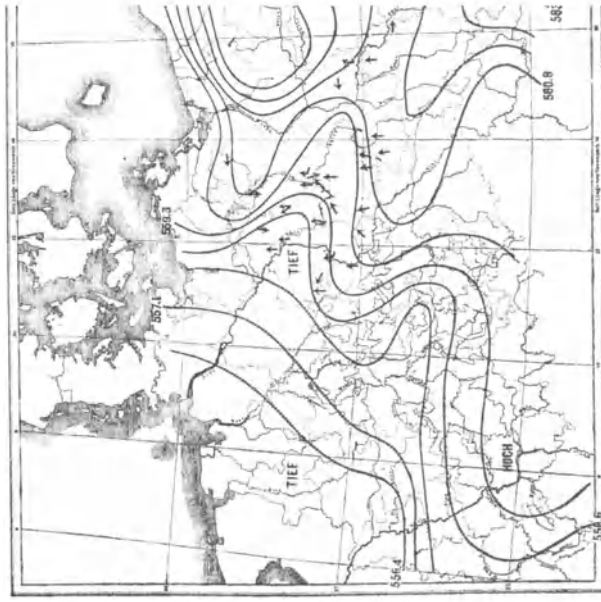
Tafel II.



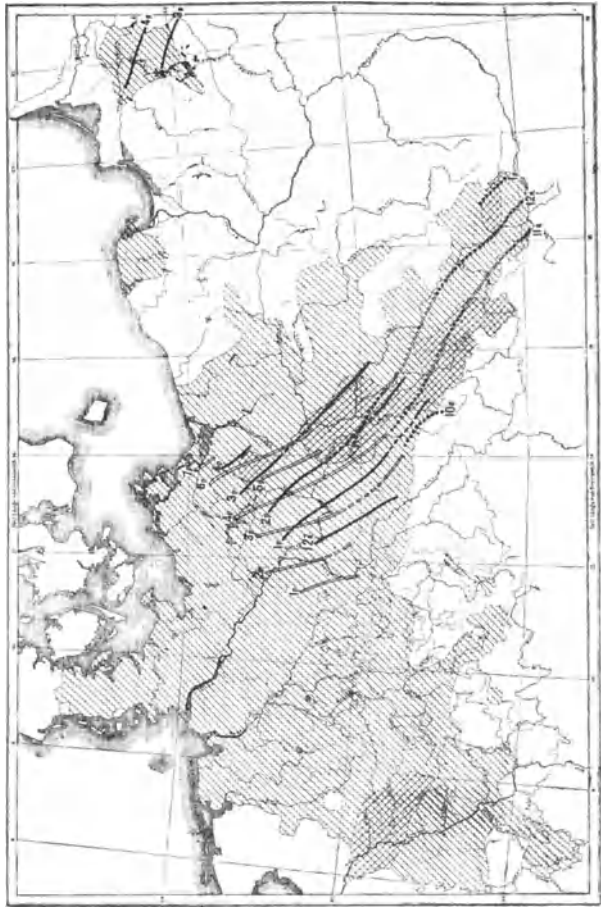
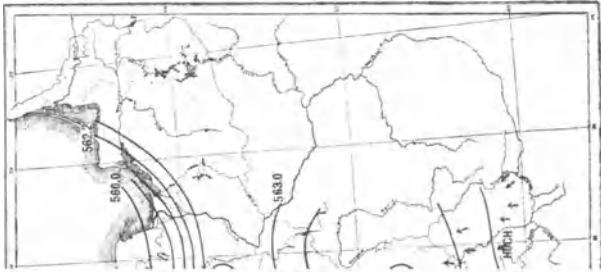
Luftdruck im Meeresniveau und Winde 2P.



Temperatur im Meeresniveau 2P.

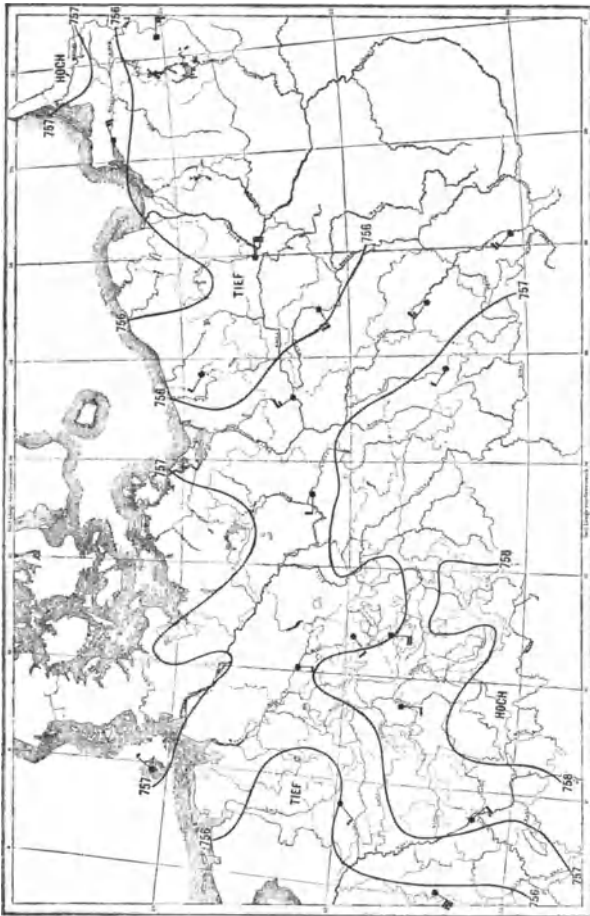


Luftdruck in 2500 m Höhe 2P und Gewitterzugrichtungen 1-3P.



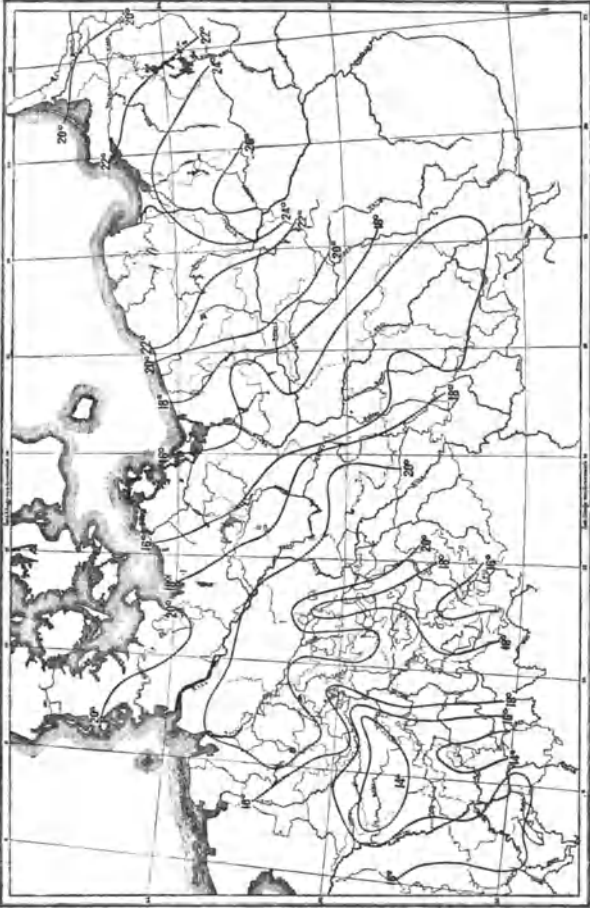
Niederschlagsverteilung und Isobronten.

16. Juni 1903.

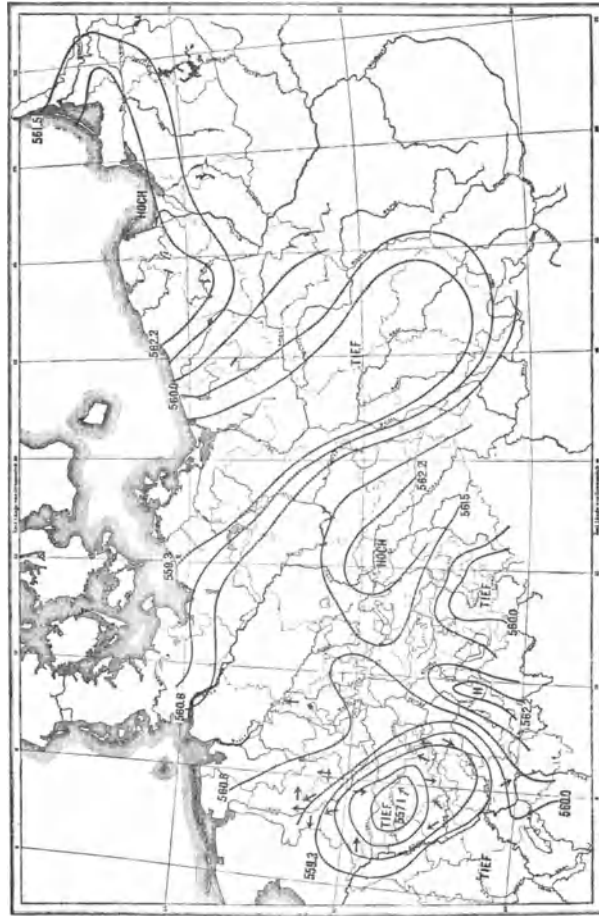


Luftdruck im Meeresniveau und Winde 2P.

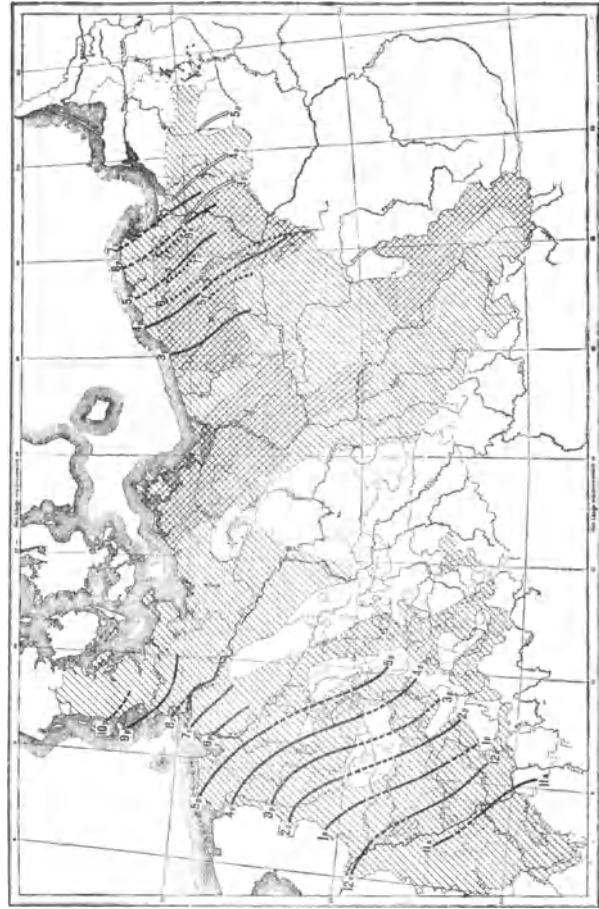
Tafel III.



Temperatur im Meeresniveau 2P.



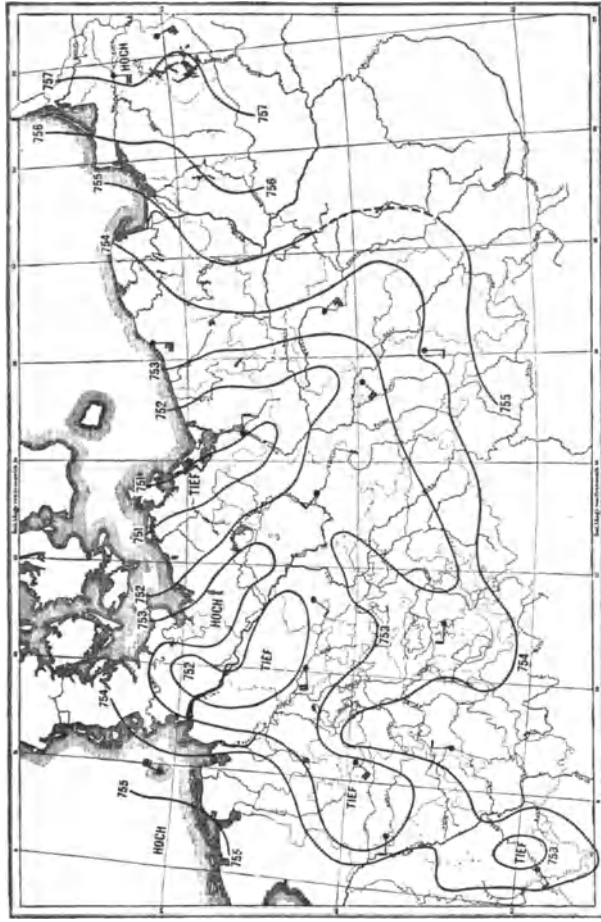
Luftdruck in 2500 m Höhe 2P und Gewitterzugrichtungen 1-3P.



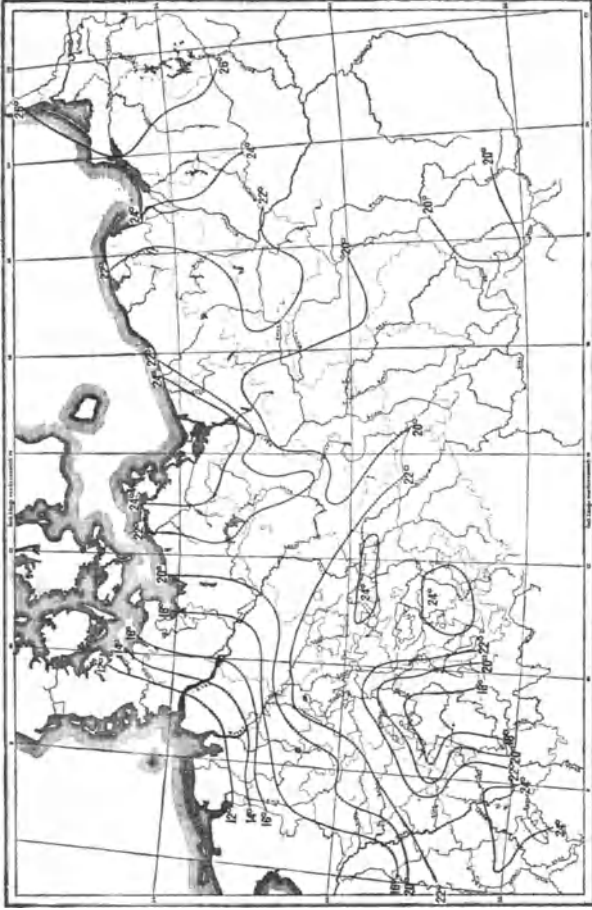
Niederschlagsverteilung und Isobronten.

20. Juni 1903.

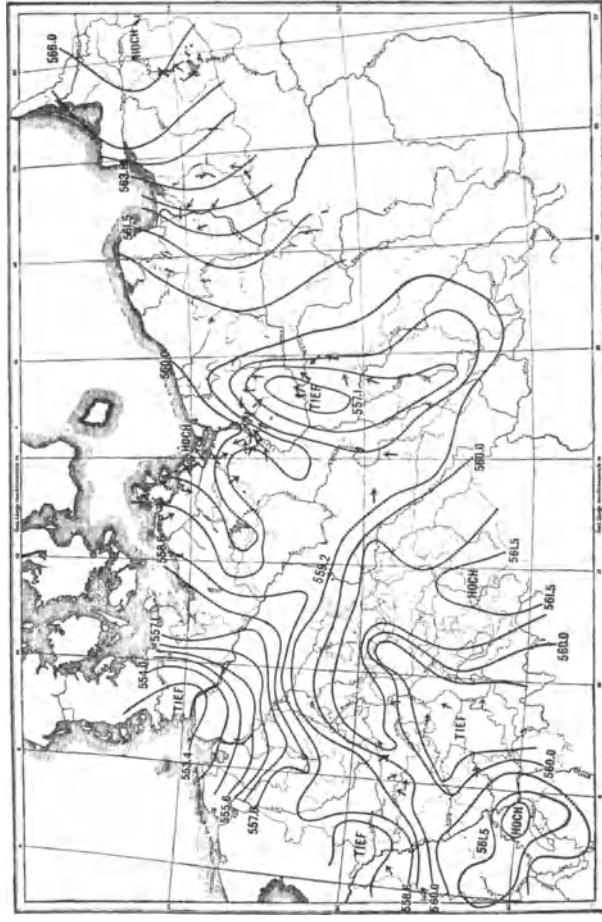
Tafel IV.



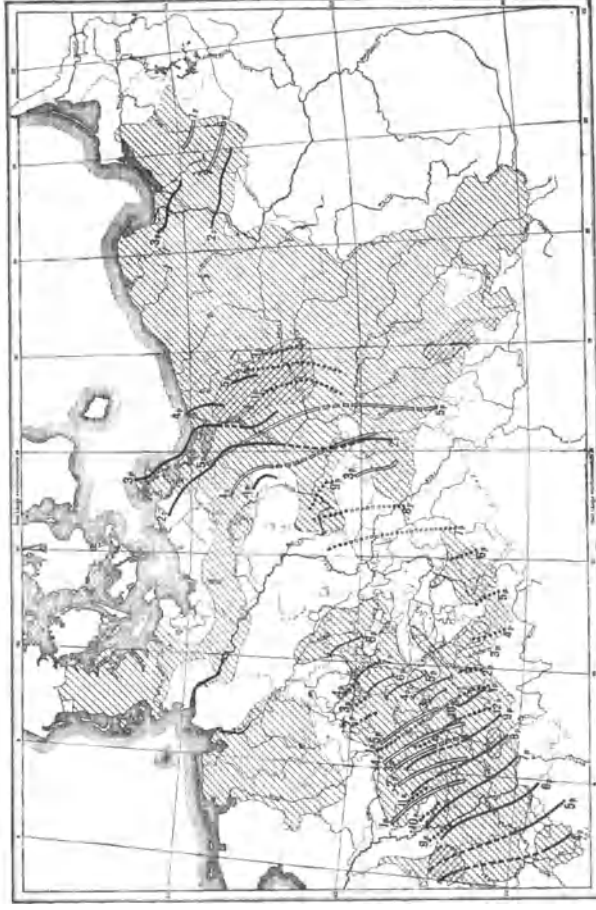
Luftdruck im Meeresniveau und Winde 2P.



Temperatur im Meeresniveau 2P.



Luftdruck in 2500 m Höhe 2P und Gewitterzrichtungen 1-3P.

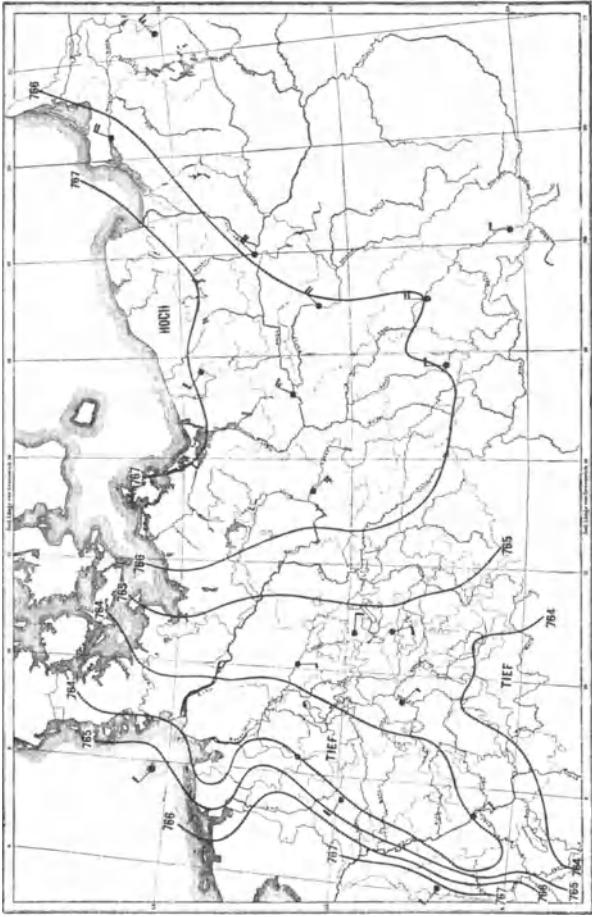


Niederschlagsverteilung und Isobronten.



29. Juni 1903.

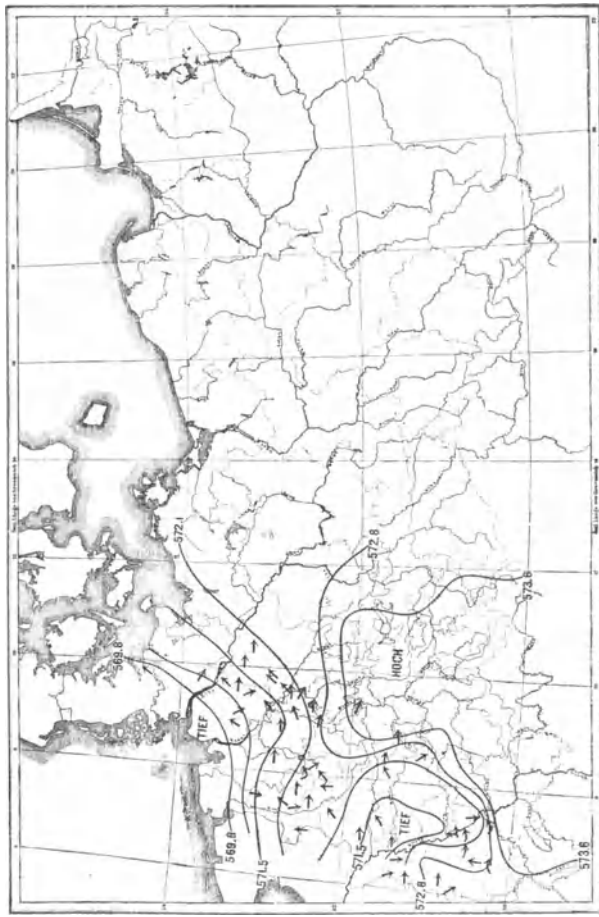
Tafel V.



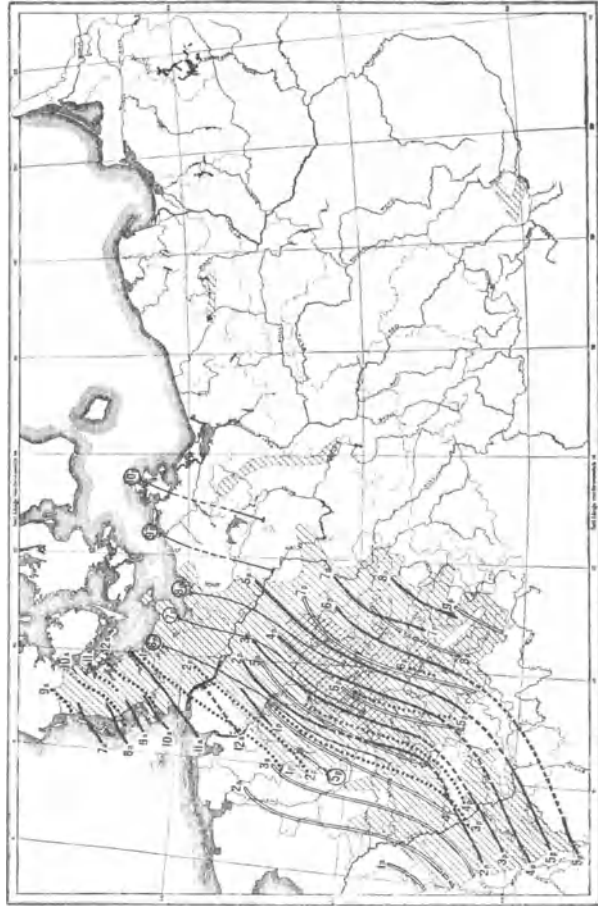
Luftdruck im Meeresniveau und Winde 2P.



Temperatur im Meeresniveau 2P.



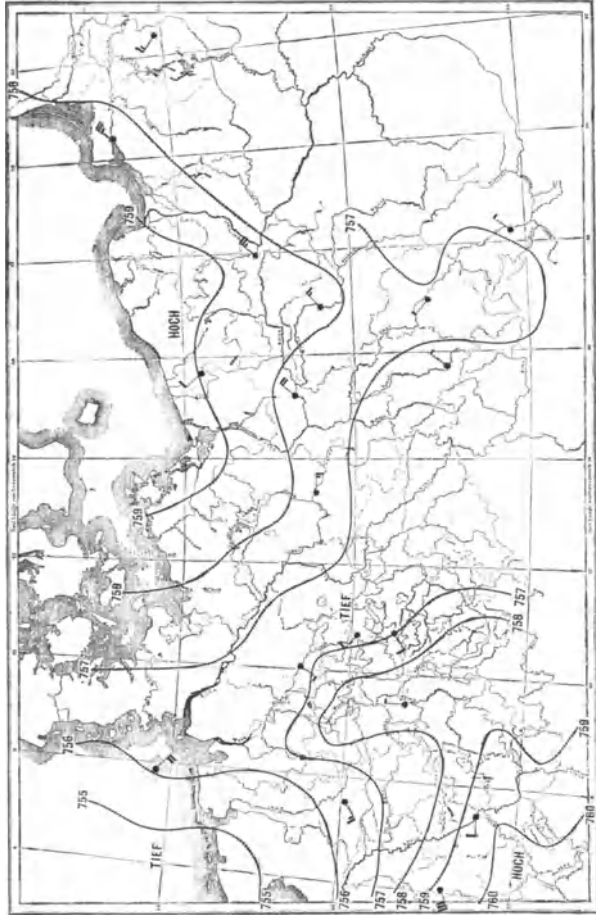
Luftdruck in 2500 m Höhe 2P und Gewitterzugrichtungen 1-3P.



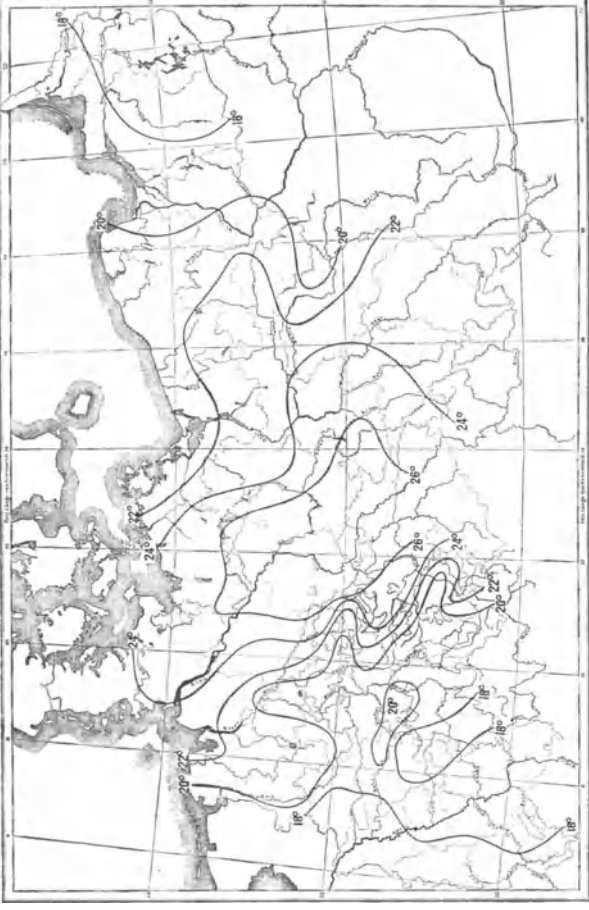
Niederschlagsverteilung und Isobronten.

24. Juli 1903.

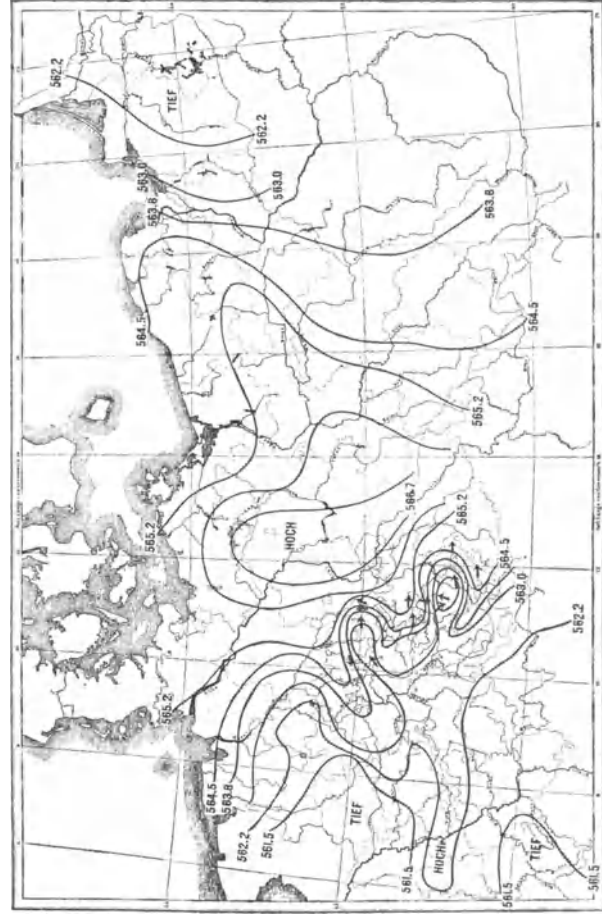
Tafel VI.



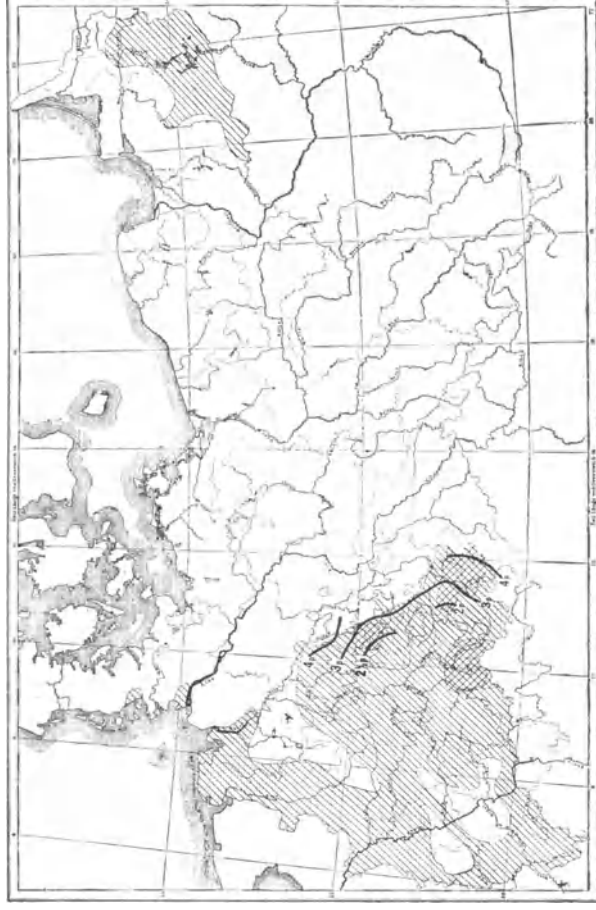
Luftdruck im Meeresniveau und Winde 2P.



Temperatur im Meeresniveau 2P.



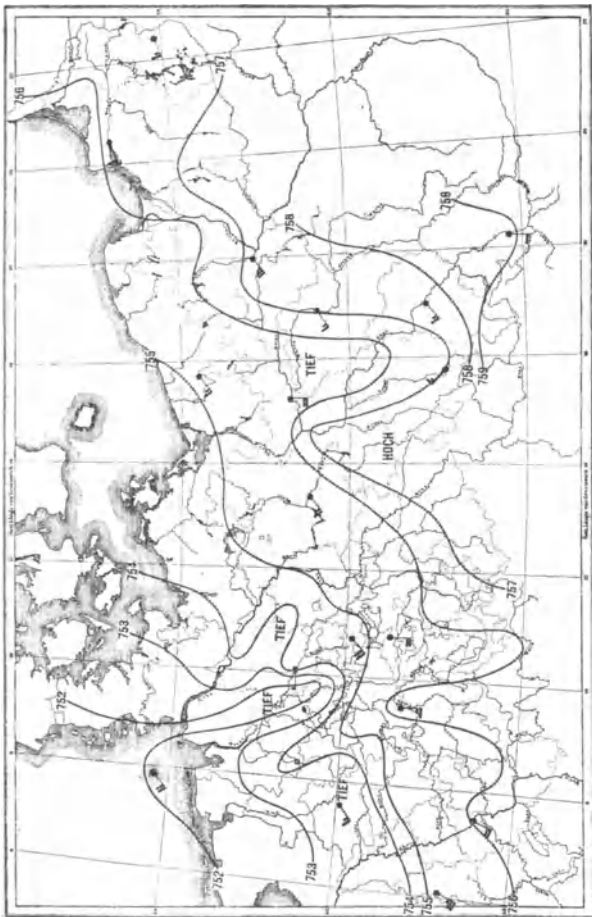
Luftdruck in 2500 m Höhe 2P und Gewitterzuehrichtungen 2-3P.



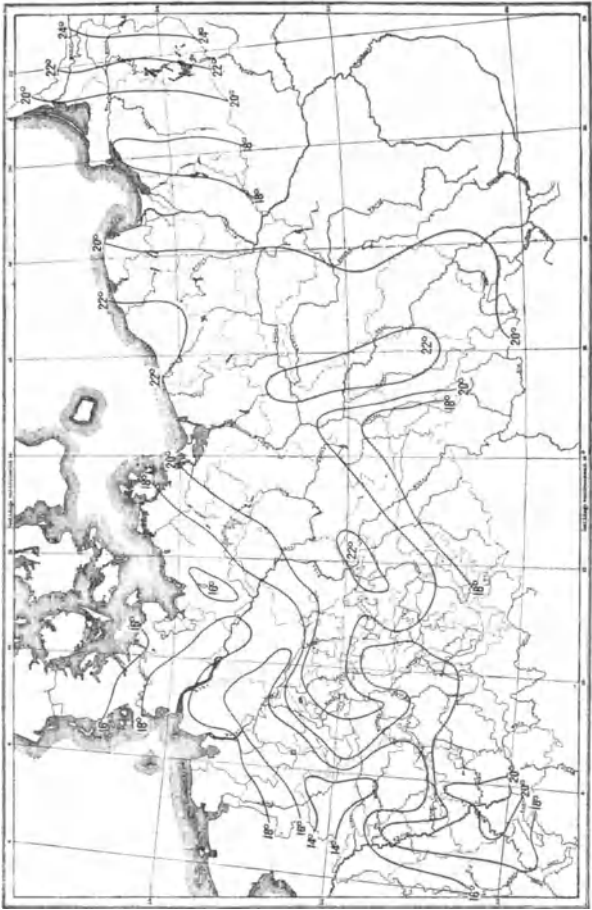
Niederschlagsverteilung und Isobronten.

30. Juli 1903.

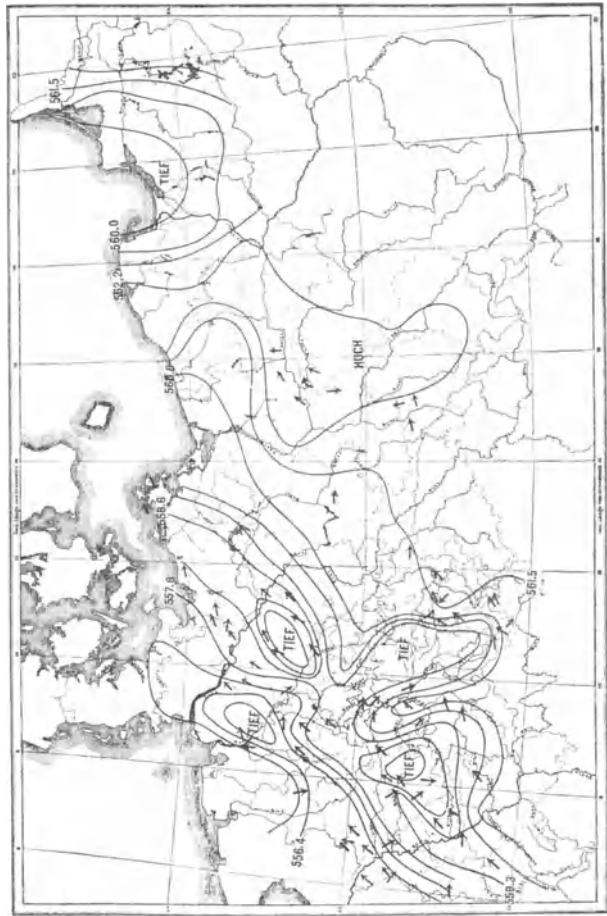
Tafel VII.



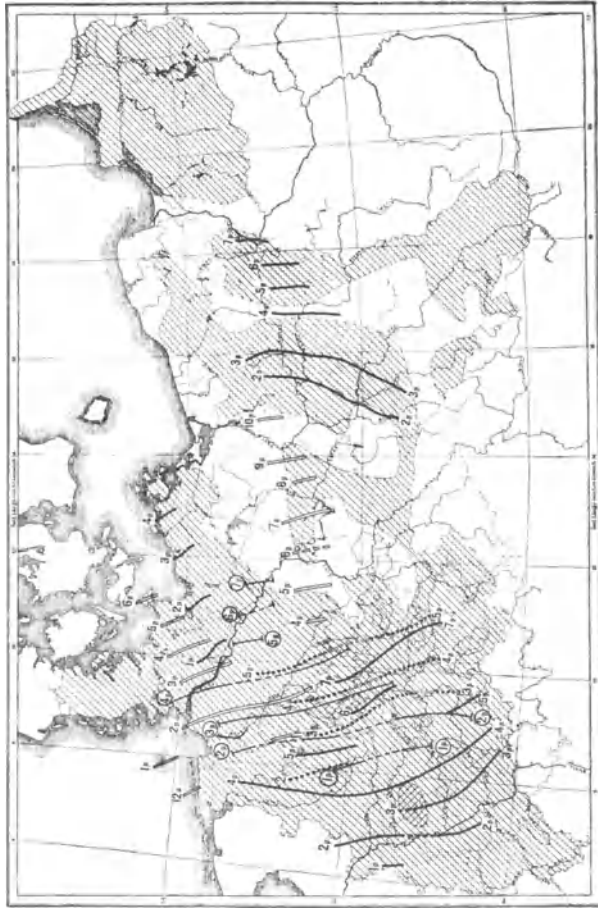
Luftdruck\* im Meeresniveau und Winde 2P.



Temperatur im Meeresniveau 2P.



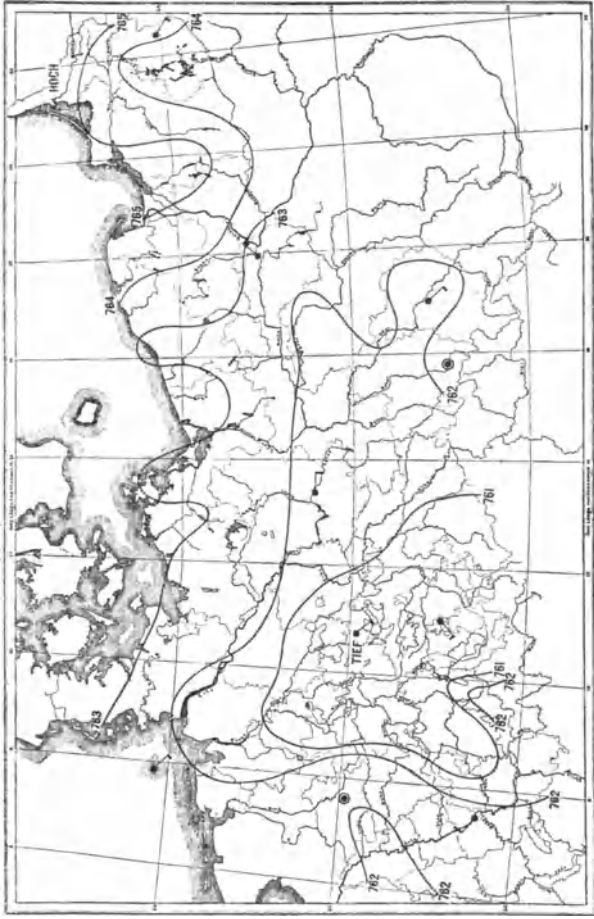
Luftdruck in 2500 m Höhe 2P und Gewitterzuehrichtungen 1-3P.



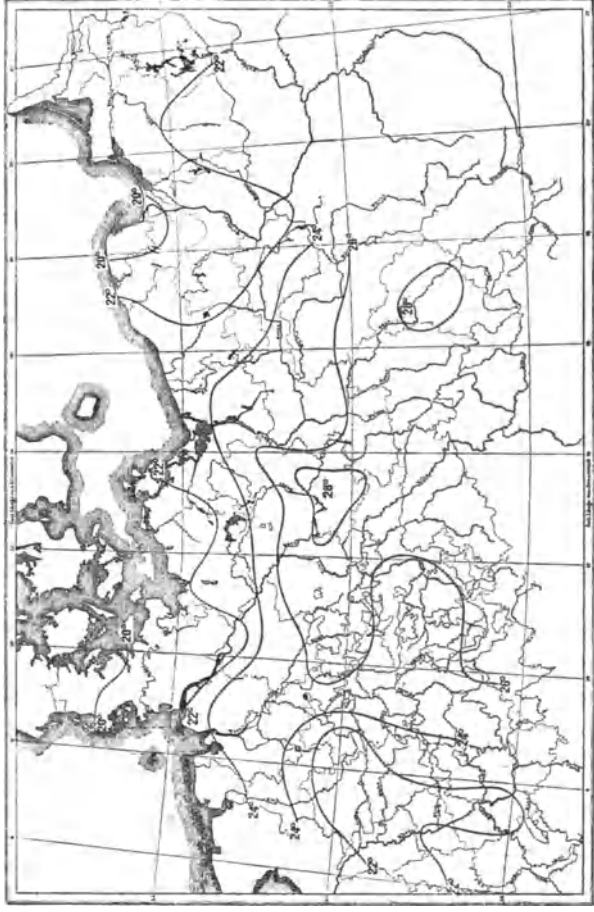
Niederschlagsverteilung und Isobronten.

1. Juli 1905.

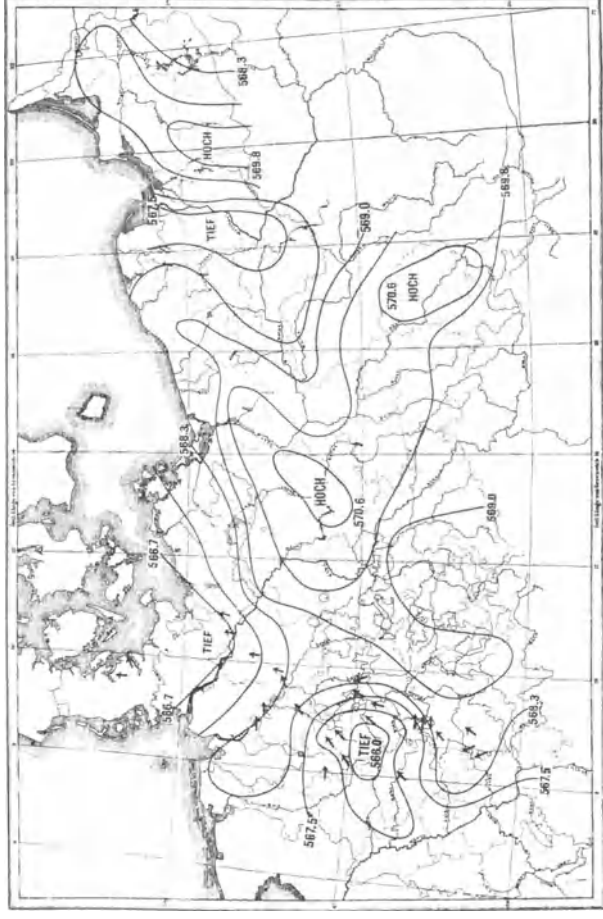
Tafel VIII.



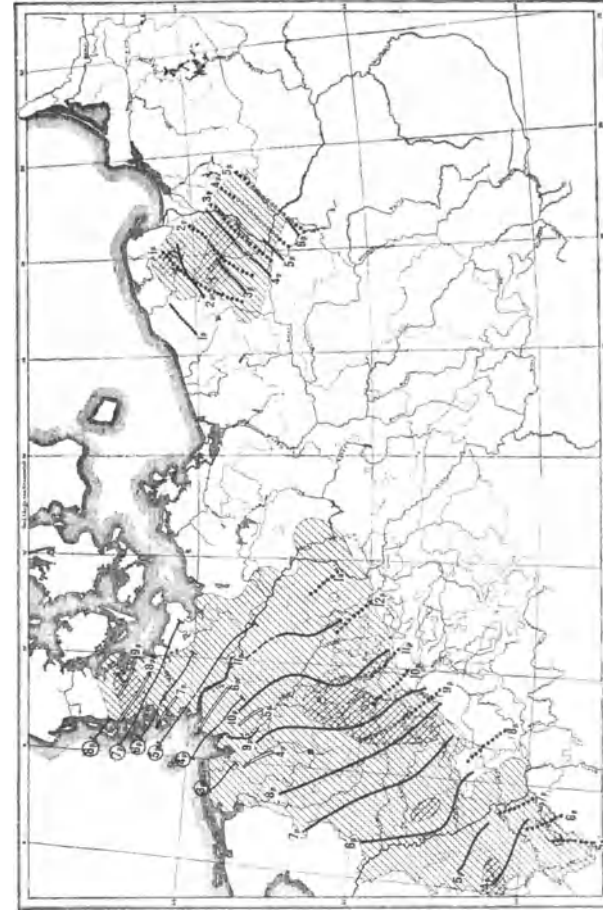
Luftdruck im Meeresniveau und Winde 9P.



Temperatur im Meeresniveau 9P.



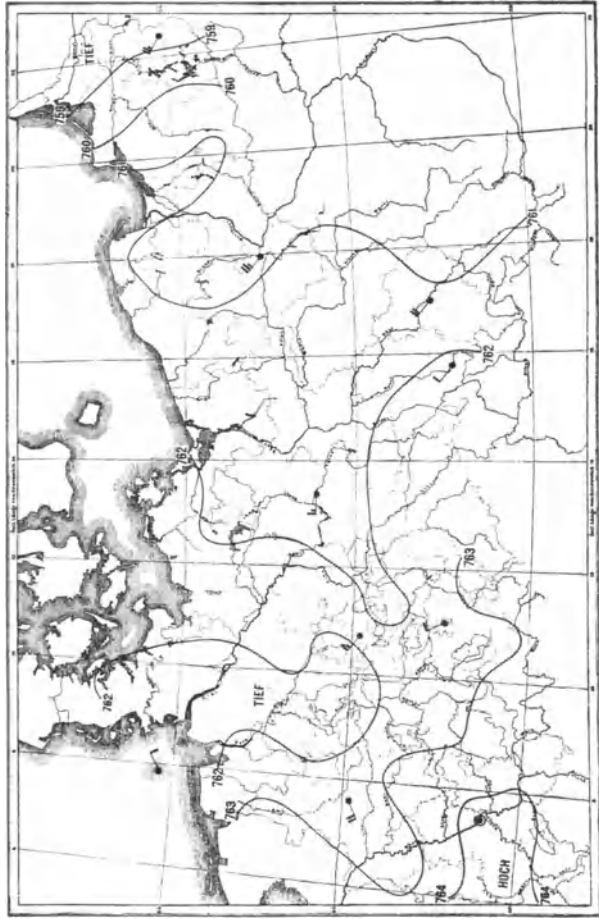
Luftdruck in 2500 m Höhe 9P und Gewitterzuehrichtungen 8-10P.



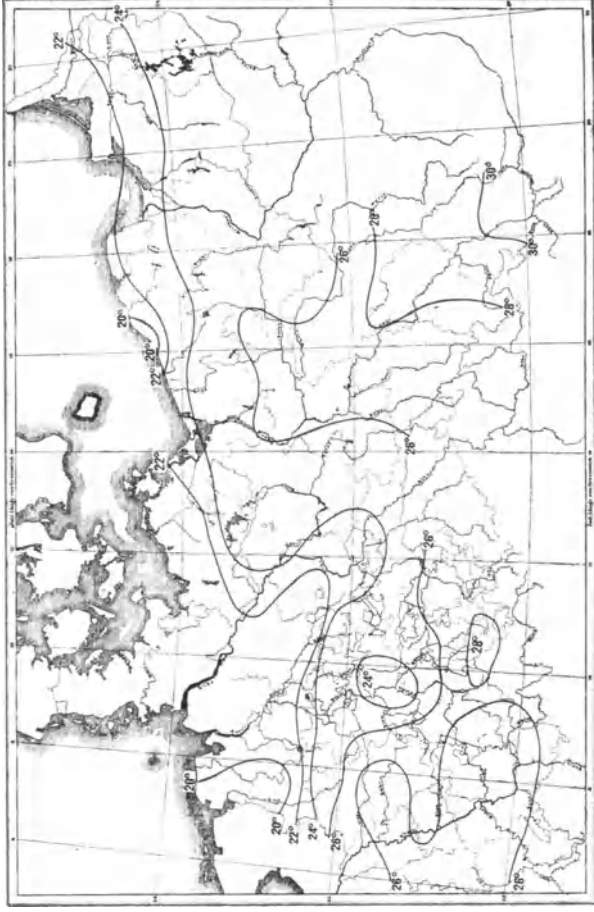
Niederschlagsverteilung und Isobronten.

10. Juli 1905.

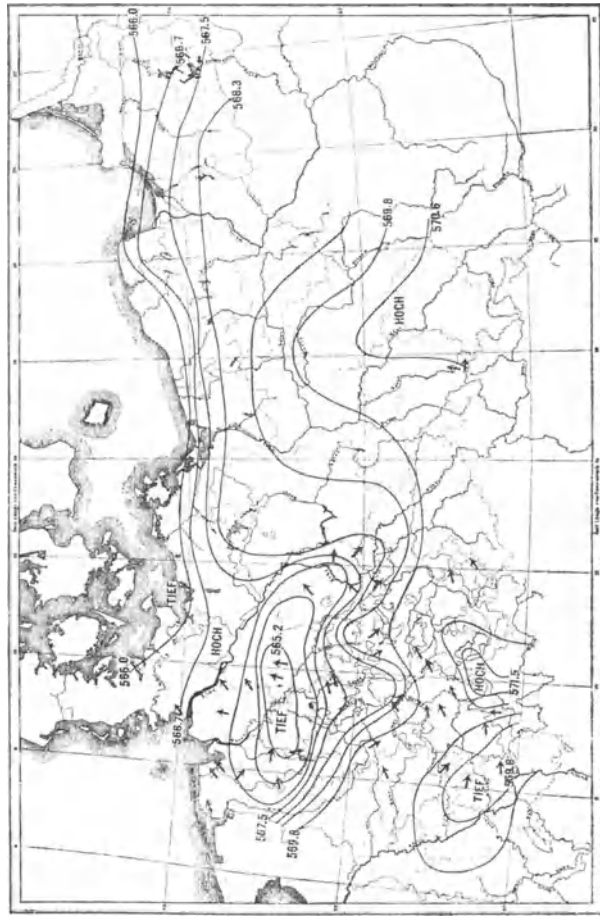
Tafel IX.



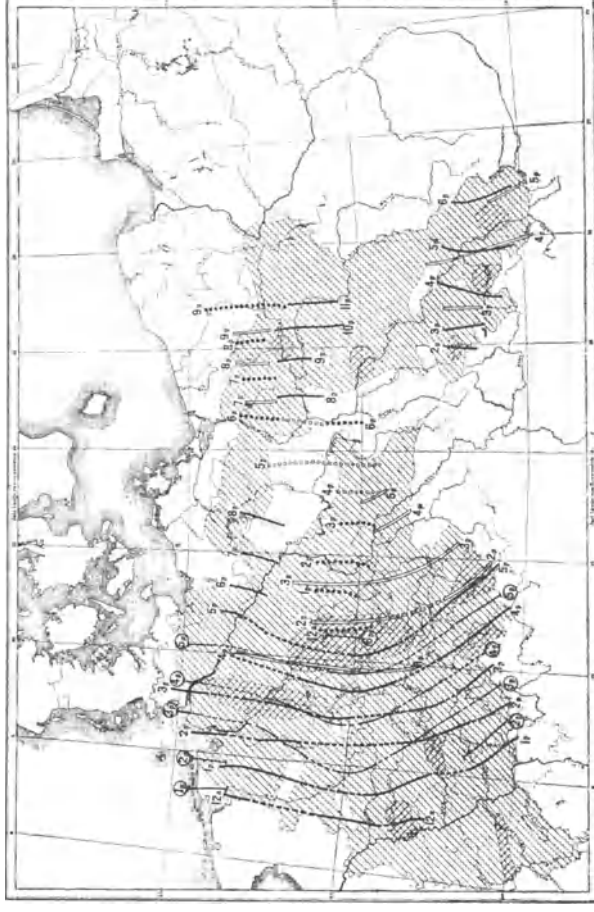
Luftdruck im Meeresniveau und Winde 2P.



Temperatur im Meeresniveau 2P.



Luftdruck in 2500 m Höhe 2P und Gewitterzugrichtungen 1-3P.



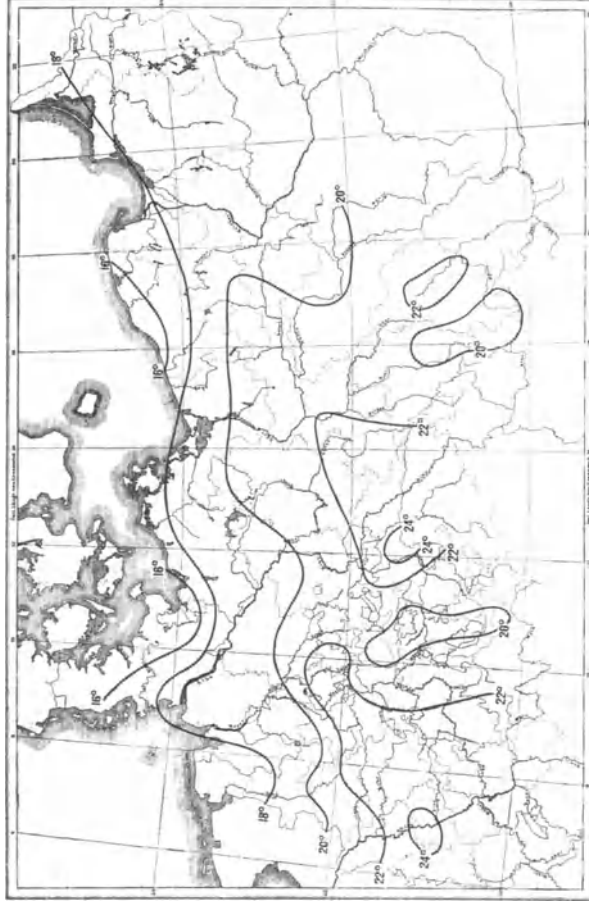
Niederschlagsverteilung und Isobronten.

27. Juli 1905.

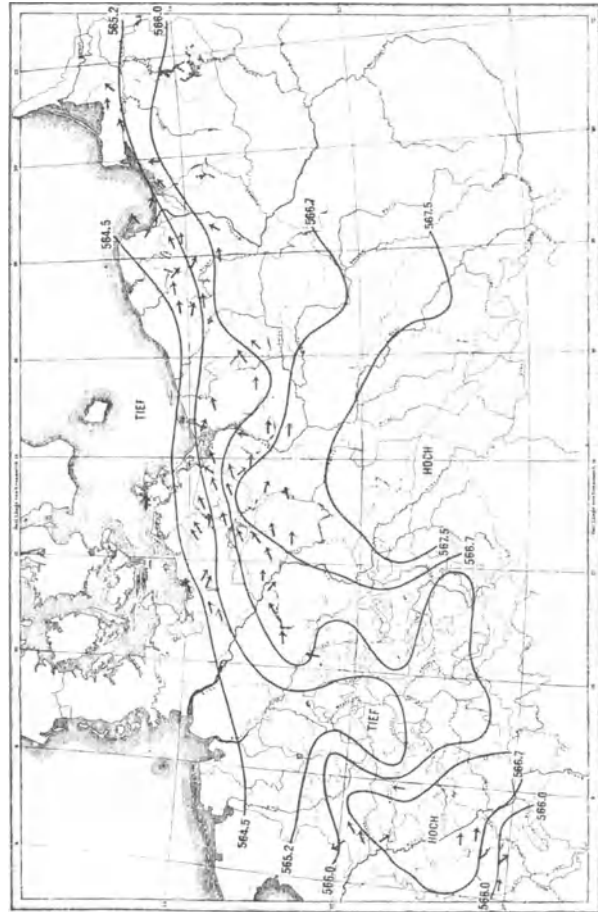
Tafel X.



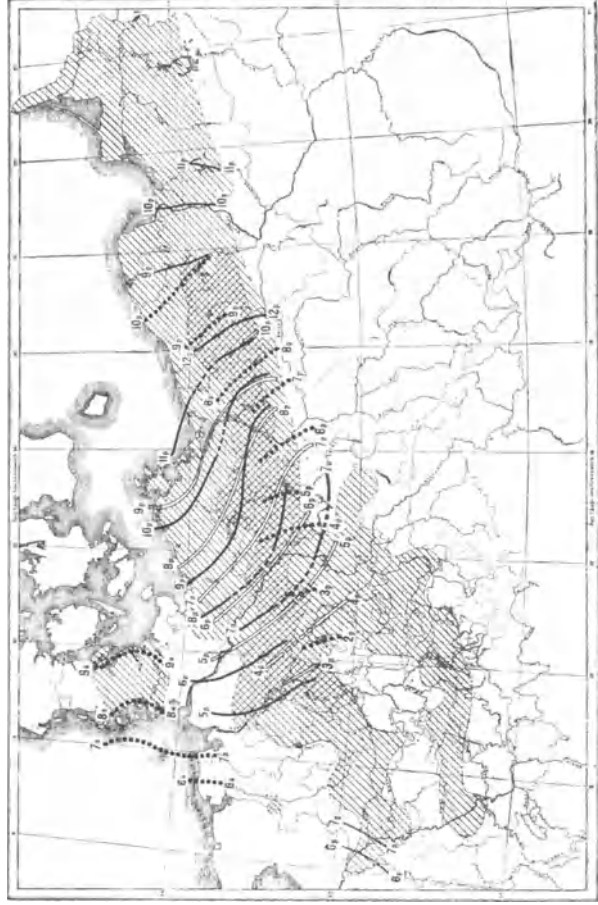
Luftdruck im Meeresniveau und Winde 9<sup>h</sup>.



Temperatur im Meeresniveau 9<sup>h</sup>.



Luftdruck in 2500 m Höhe 9<sup>h</sup> und Gewitterzrichtungen 8-10<sup>h</sup>.



Niederschlagsverteilung und Isobronten.