

Die Wettervorhersage

Ihre Geschichte, ihr gegenwärtiger
Stand und die Richtung ihrer
Sortentwicklung

von

Dr. ing. **E. Alt**

Konservator

an der Bayer. Landeswetterwarte

Mit 20 Sig.

886-551.509



Verlag Natur und Kultur Dr. Frz. Jos. Völler,
München 1919

Inhalts=Übersicht.

| | Seite |
|---|-------|
| 1. Vorwort | 5 |
| 2. Einleitung | 7 |
| 3. Das Problem der Wettervorhersage bis zur Tätigkeit der Societas Palatina | 10 |

I. Die Wettervorhersage als Aufgabe der Bodens=meteorologie.

| | |
|---|----|
| 4. Die Entwicklung der Wettervorhersage bis zur Auffindung des barischen Windgesetzes. Anfänge und Entwicklung des Wetter=Nachrichtendienstes | 15 |
| 5. Die Wetterkarte und das barische Windgesetz | 21 |
| 6. a) Die Wettervorhersage auf Grund der Wetterkarte | 33 |
| b) Die Praxis der Wettervorhersage | 38 |

II. Die Wettervorhersage als Aufgabe der räumlichen Meteorologie.

| | |
|--|----|
| 7. Die Entwicklung der räumlichen Meteorologie | 49 |
| 8. a) Die Arbeitsmethoden der Aerologie | 58 |
| b) Die Praxis der Wettervorhersage auf Grund der räumlichen synchronen Darstellungen | 65 |
| 9. Anhang. Die Kaltenbrunnersche Methode der Wettervorhersage | 69 |

1. Vorwort.

Das vorliegende Bändchen ist auf Anregung des Verlages durch die erweiterte Bearbeitung eines im „Verein für Naturkunde“ in München gehaltenen und in der Zeitschrift „Natur und Kultur“ abgedruckten Vortrages entstanden.

Ein Lehrbuch der Witterungskunde konnte auf solche Weise nicht geschaffen werden, vielmehr bestand die Absicht, dem gebildeten Laienpublikum eine Schilderung des gegenwärtigen Standes des Problems der Wettervorhersage vorzulegen. Da aber der augenblickliche Stand einer wissenschaftlichen Frage nur richtig verstanden werden kann, wenn die wichtigsten Phasen der geschichtlichen Entwicklung bekannt sind, so ergab sich von vorneherein die Notwendigkeit einer chronologischen Disposition.

Man mag Anhänger oder Gegner der von der modernen Wissenschaft angenommenen Methode der Wettervorhersage sein, jedenfalls muß man das ehrliche Streben nach Erkenntnis der wahren Witterungsursachen anerkennen, das die Arbeiten der Meteorologen kennzeichnet. Die Methode ist einfach genug, um jedem denkenden Menschen einzuleuchten; sie ist getragen von dem Grundgedanken: Lerne in erster Linie die gegebene Wetterlage in möglichst vollkommener Weise kennen und verstehen. Damit bewegt sich aber die wissenschaftliche Witterungskunde auf dem Wege, auf dem bisher alle Naturwissenschaften erfolgreich waren.

Daß die gegenwärtige Zeit ein breiter angelegtes Referat über den Stand der Wettervorhersage rechtfertigt, werden unsere Darlegungen beweisen. Befinden wir uns doch, wenn uns nicht alles täuscht, im Anfange einer neuen Ära meteorologischer Forschung, in dem Bestreben, an die Stelle der Bodenmeteorologie die Meteorologie des Raumes zu setzen.

München, im Herbst 1918.

Der Verfasser.

2. Einleitung.

Der Zweck der Wissenschaft ist, so lehrt die Naturphilosophie, aus den bekannten Teilen einer Erscheinung, andere Teile, die noch nicht bekannt sind, vorauszusagen. Dies beleuchtet uns am deutlichsten die Astronomie, die beispielsweise aus einigen wenigen Beobachtungen der Orte eines Planeten seine künftigen Orte vorzuberechnen vermag und zwar für eine umso fernere Zukunft, je genauer die ersten Beobachtungen waren.

Die Möglichkeit der Vorhersage gilt auch für die Meteorologie und zwar heute schon in weitestem Maße für jene Teile dieser Wissenschaft, die wir speziell der Klimatologie zusprechen. Wir wissen, daß die klimatischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche durch die zeitliche Veränderlichkeit in der Stellung unseres Planeten zur Sonne bedingt sind. Für jene Zonen der Erde, die zwischen den Wendekreisen gelegen, nahezu 50% der Erdoberfläche ausmachen, sind diese zeitlichen Änderungen der relativen Stellung zur Sonne verhältnismäßig gering und dementsprechend weisen auch die klimatischen Erscheinungen im Laufe des Jahres nur geringe Variationen auf. Das Tropenklima trägt den Charakter der Regelmäßigkeit: Tag für Tag kehren die Witterungsercheinungen mit bewundernswerter Gleichmäßigkeit wieder; die Begriffe Wetter und Klima gehen ineinander über.

Aber nicht nur der allgemeine Witterungscharakter, sondern auch bestimmte Erscheinungsphasen des Wetters sind in den tropischen Gegenden genauestens vorherzubestimmen, wie sich aus folgender von Maury stammenden Beschreibung der Land- und Seewinde entnehmen läßt: „Die Bewohner der Seeküste in tropischen Klimaten erwarten jeden Morgen mit Ungeduld die Ankunft der Seebrise. Dieselbe setzt gewöhnlich ein gegen 10 Uhr vormittags. Mit ihrer Ankunft schwindet die drückende Schwüle des Morgens und eine erquickende Frische der Luft scheint allen neues Leben und Lust zu ihren täglichen Arbeiten zu geben. Um Sonnenuntergang tritt abermals Windstille ein. Die Seebrise hat aufgehört und in kurzem setzt nun die Landbrise ein. Dieser Wechsel von Land- und

Seewind, ein Wind von der See bei Tag und vom Lande bei Nacht, ist so regelmäßig in den tropischen Gegenden, daß man ihm mit gleicher Zuversicht entgegenieht, wie dem Auf- und Untergang der Sonne."

In den tropischen Gegenden, in denen der tägliche und jährliche Verlauf durch die langjährigen Erfahrungen genau bekannt ist, besteht kein Bedürfnis nach einer Wettervorhersage.

Das gleiche gilt in allerdings geändertem Sinne für die Polargebiete, in denen während des Winters die Sonne sich überhaupt nicht über den Horizont erhebt und während des Sommers nur geringe Höhen erreicht. Die Jahreschwankung der Temperatur ist zwar in den polaren Breiten erheblich größer als in den Tropen, im übrigen besteht aber in der Nähe der Pole ebenfalls eine auffallende Einförmigkeit des Klimas, insbesondere der kalten Jahreszeit. Barry sagt: „Es ist schwer, sich vorzustellen, daß zwei Dinge einander ähnlicher sein können als zwei Winter in den Polargegenden. Sobald einmal die Erde mit Schnee bedeckt ist, bleibt die traurige, weiße, einförmige Decke ohne jede Unterbrechung durch Tauwetter nicht für Wochen und Monate, sondern für mehr als ein halbes Jahr."

In den gemäßigten Breiten dagegen gehen die Begriffe Klima und Wetter weit auseinander. Wir können zwar noch mit Bestimmtheit voraussagen, daß im Laufe des Jahres vier durch den mittleren Temperaturgang gekennzeichnete Jahreszeiten auftreten werden, aber schon Vorhersagen über den mittleren Witterungsverlauf innerhalb dieser Jahreszeiten sind wissenschaftlich unbegründet. Wenn der Volksmund sagt, daß auf einen strengen Winter ein heißer Sommer folgt, so ist dies eine jener Prophezeiungen, die durch die Erfahrung weder streng bewiesen noch aber auch als falsch erkannt worden sind.

In den gemäßigten Breiten entstehen die das Klima oder den mittleren Witterungsablauf kennzeichnenden Werte durch die Mittelbildung sehr unterschiedlicher Einzelwerte, deshalb ist auch die Verwertung unserer klimatischen Kenntnisse für die Wettervorhersage nur von untergeordneter Bedeutung. Dieser Satz darf aber nicht mißverstanden werden, denn die Kenntnisse jener Faktoren, die das Klima einer Gegend besonders beeinflussen, sind auch für den Prognostiker von größter Wichtigkeit. Beispielsweise wissen wir, daß im Winter über dem asiatischen Kontinente ein mächtiges Hochdruckgebiet lagert, das mit seinen westlichen Ausläufern oft

weit nach Europa hereinreicht. Im Sommer finden wir in der gleichen Gegend niedrigen Druck. Während des ganzen Jahres, besonders aber im Winter finden wir in der Gegend von Irland niedrigen Luftdruck, dessen Einfluß nicht nur das Klima West- und Mitteleuropas wesentlich beeinflusst, sondern auch die Witterung oft nachhaltig bestimmt.

Man nennt die ortsfesten Luftdruckgebilde Aktionszentren der Atmosphäre und mit ihrer Existenz hat auch der Prognostiker in hohem Grade zu rechnen.

Es ist nicht ausgeschlossen, daß diese Aktionszentren für die sogenannte Erhaltungstendenz der Witterung verantwortlich zu machen sind. Die Erhaltungstendenz der Witterung beweist sich aus der Erfahrung, daß die Wahrscheinlichkeit der Fortdauer eines bestimmten Witterungscharakters umso größer ist, je länger diese Witterung bereits angedauert hat. Die Erhaltungstendenz des Wetters fordert aber nicht, daß der bestehende Witterungscharakter in der Folge noch verstärkt auftrete, im Gegenteil, es besteht immer die Neigung zur Rückkehr normaler Witterung.

Wenn also einige Tage schon schlechtes Wetter besteht, so sagt uns die Erfahrung, daß es wahrscheinlicher ist, daß auch morgen noch schlechtes Wetter herrscht, als daß schönes Wetter eintritt. Aber die Erfahrung sagt auch, daß die Verschlechterung keine Steigerung, sondern eher eine Abminderung erfährt. Ähnlich gilt auch der Satz von der Erhaltungstendenz der Witterung für schönes Wetter.

Auf der Tatsache der Erhaltungstendenz beruht auch das Ergebnis einer Berechnung, wonach der Prognostiker, der immer für den kommenden Tag die Witterung des heutigen Tages vorher sagt, Trefferzahlen erreicht, die jenen der wissenschaftlichen Vorhersage nicht weit unterlegen sind. Aber das, was wir anstreben, ist eben gerade die Vorhersage der Änderung und zwar sowohl dem Sinne, der Größe wie der Zeit nach. Das Fehlerhafte dieser Art der Wettervorhersage liegt in dem Umstande, daß es sich prinzipiell mit der Ausgabe von Fehlprognosen einverstanden erklärt. In den Gegenden, in welchen aber eine solche Wettervorhersage berechtigt wäre wie in den Tropen, ist sie überflüssig.

Die nachfolgenden Darlegungen zeigen, welche Fortschritte die Wissenschaft in der Wettervorhersage bis zur Gegenwart gemacht hat.

3. Das Problem der Wettervorhersage bis zur Tätigkeit der Societas Palatina.

Das Problem der Wettervorhersage ist uralt und gehört jedenfalls schon der ältesten Geschichte der Menschheit an. Wenn auch diesbezügliche bestimmte Nachrichten nicht auf uns gekommen sind, so dürfte unserer Behauptung wohl kaum widersprochen werden. Wir müssen uns nur daran erinnern, daß der Mensch zu einer Zeit, da er sich erst wenig vom Naturzustande entfernt hatte, in noch weit höherem Grade von der Witterung abhängig war, als dies heute der Fall ist, wo uns eine jahrhundertelange Erfahrung und eine fortgeschrittene Kultur beim Schutze gegen die Unbilden und Gefahren des Wetters zur Seite stehen.

Wir wissen, daß die ersten Kulturanfänge der Menschheit in den von den Assyriern und Babyloniern, den Indern und Chinesen bewohnten Gegenden zu suchen sind, also in Erdstrichen, wo ein fruchtbarer Boden und ein günstiges Klima den Menschen eine Tätigkeit gestattete, die nicht nur unmittelbar auf das Ziel der Erhaltung des nackten Lebens gerichtet war. In diesen Zonen hat also jedenfalls auch das Problem der Wettervorhersage zuerst bestimmtere Formen angenommen.

Bei dem völligen Mangel wirklicher Einsicht in die Vorgänge des Luftmeeres und bei dem Fehlen tiefergehender naturwissenschaftlicher Erkenntnis ist es nur begreiflich, daß die ersten denkenden Menschen, die ihren Geist auf atmosphärische Erscheinungen hinlenkten, die Witterungserscheinungen als Wirkungen eines mehr oder minder willkürlichen, göttlichen oder dämonischen Waltens betrachteten. Mit dieser Auffassung war das Problem der Witterungsforschung im allgemeinen und der Wettervorhersage im besonderen der priesterlichen Obhut übergeben, die denn auch mit Sorgfalt auf die in den Witterungsvorgängen zutage tretenden göttlichen Willensoffenbarungen ihr Augenmerk richtete.

Das Problem der Wettervorhersage mußte bei dieser Anschauung das Endziel verfolgen, jene Offenbarungen aufzudecken und zu

deuten, die eben den zukünftigen Witterungsverlauf ankündigten. Nun wissen wir aber, daß in den Wohngebieten der ältesten Kulturvölker der geregelte periodische Verlauf der Witterungserscheinungen deutlich zu Tage tritt und nur verhältnismäßig selten von unperiodischen Ereignissen nachhaltig gestört wird. Heiße, fast regenlose Sommer wechseln mit milden regenreichen Wintern. Wenn die glühende Sommersonne den Boden ausgetrocknet hatte und die Vegetation nach reichlichen Regenfällen lechzte, dann wartete man mit Sehnsucht auf die winterlichen Niederschläge, von deren rechtzeitigem Eintritte der Ausfall der Ernte und damit Wohlbefinden und Reichthum abhängig war. Die Wettervorhersage verdichtete sich demnach in die Beantwortung der Frage, wann die winterlichen Regenfälle eintraten, und sie genügte den Anforderungen der Praxis vollkommen, wenn sie ein Naturereignis benennen konnte, das dem Eintritt der Regenfälle früh genug vorausging.

Da nun aber die Regenfälle in diesen Gegenden eine prägnante jährliche Periode aufweisen, so war jede Parallelererscheinung in der Natur, der ebenfalls eine deutliche Jahresperiode eigentümlich war, zur Vorhersage brauchbar. Was lag aber näher, als die Vorgänge am gestirnten Himmel, die so eindrucksvoll im Jahresumlauf sich wiederholten, der Wettervorhersage dienstbar zu machen? Galten doch auch sie von jeher als göttliche Willensäußerungen und als geheimnisvolle Sprache, in der das höchste Wesen den Menschen seinen Willen kundtat und die Zukunft offenbarte.

Wenn die ältesten Kulturvölker beispielsweise den Frühuntergang der Plejaden im November als die Zeit der Saat bezeichnen, so sprechen sie damit nur ihre Erfahrung aus, daß dieses Ereignis am gestirnten Himmel mit dem Eintritt der winterlichen Regenzeit zusammenfällt. Hätten sie sich begnügt, auf solche Weise unzweideutige Zeitangaben wichtiger Witterungsvorgänge zu machen, wäre an ihrem Gebrauche nichts Tadelnswertes zu finden. Aber sehr bald betrachteten sie die zeitlich zusammenfallenden Ereignisse als kausal verknüpft, sie glaubten in den Gestirnen selbst die Ursache der nachfolgenden oder begleitenden Witterungserscheinung erkannt zu haben. Erst durch diese trügerische Schlußfolgerung, die allerdings bei dem damaligen Stande des allgemeinen Wissens sehr begreiflich erscheint, legten sie den Grund zu jener Pseudowissenschaft, die so viele Jahrhunderte jeden gesunden Fortschritt hinderte, zur Astrometeorologie. Wenn sich die Irrlehre nicht über die immerhin engen Grenzen ihres Entstehungsgebietes

ausgebreitet hätte, wäre ihr unheilvoller Einfluß kaum sehr fühlbar geworden. Aber gerade ihre Verbreitung in andere Gegenden, in denen ihr sachlicher Inhalt nicht mehr stimmte, wirkte so außerordentlich lähmend auf den wissenschaftlichen Fortschritt. Wohl erkannte man bald, daß die ausgesprochenen Gesetze keineswegs an allen Orten richtig waren, aber man wagte nicht, an der allgemeinen Richtigkeit der Lehre von dem Einflusse der Gestirne auf die irdische Witterung zu rütteln, sondern sah sich nur veranlaßt, die veränderte Wirkungsweise der stellarischen Kräfte aufzusuchen.

Wir haben hier einen Vorgang vor uns, der sich später nochmals wiederholte. Die Wetterregeln, die unter dem Namen der Bauernregeln noch heute im Volke weite Verbreitung aufweisen, enthalten sicher als der Ausfluß jahrhundertelanger Erfahrung der ackerbautreibenden Bevölkerung einen wahren Kern. Sie sind der Ausdruck einer sehr häufig gemachten Erfahrung in ihrem Entstehungsgebiete und wirkten erst dann widersinnig und schädlich, als sie nach Erfindung der Buchdruckerkunst in Tausenden von Exemplaren der Wetterbüchlein, Kalender und Praktiken weiteste Verbreitung fanden und in Gegenden kritiklos nachgesprochen wurden, in denen sie nicht bodenständig waren.

Es ist unmöglich, an dieser Stelle auch nur in kürzesten Umrissen die Bedeutung der Astrometeorologie zu würdigen, die selbst heute noch, wenn auch oft in etwas verschämter Weise, weiter lebt und der ernststen Forschung Hindernisse bereitet. Es ist eben zu bequem, eine jener zahllosen Praktiken oder Kalender zur Hand zu nehmen und die Witterung für lange Zeit voraus in einfachster Weise sich bekannt geben zu lassen. Dabei ist die Wahrscheinlichkeit, daß die fernhin zielende Vorhersage auch wirklich zutrifft, immerhin 50 vom Hundert, das heißt, der Fall des Eintreffens ist ebenso wahrscheinlich wie der einer Fehlprognose.

Insbefondere hat sich bis in die Gegenwart mit großer Zähigkeit die Ansicht behauptet, daß der Mond der Regler der irdischen Witterung sei. Die modernen Anhänger dieser Anschauung sind sicher frei von dem dunklen Aberglauben der mittelalterlichen Astrometeorologen, mit denen sie einzig und allein den Glauben gemein haben, daß die primären Witterungsursachen nicht solaren und terrestrischen Ursprungs, sondern eben speziell oder überwiegend der Wirkung des Mondes zuzuschreiben sind.

Schon die Astrometeorologie hat aus naheliegenden Gründen den großen Einfluß des Mondes auf die Witterung betont und die-

fer Glaube wurde aufs Neue gefestigt, als Newton 1687 die Grundzüge der Theorie der Ebbe und Flut veröffentlichte. Nun war ja scheinbar der untrügliche Beweis für die Wirkung des Mondes auf das Luftmeer der Erde und damit auf die Witterungsvorgänge geführt. Denn wenn die anziehende Masse des Mondes schon in der Lage ist, die Wassermassen des Weltmeeres in rhythmische Schwankungen zu versetzen, wieviel größer muß die Wirkung dieser Gravitationskraft erst auf den so leicht beweglichen Lustozean sein. So verlockend diese Beweisführung auf den ersten Blick anmutet, so leicht ist sie doch als falsch zu widerlegen. Wir wissen, daß die anziehende Kraft zweier Körper proportional ist dem Produkte der Massen der beiden Körper und umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung der Massenmittelpunkte. Nun sei im Falle der Gravitationswirkung des Mondes und des Weltmeeres die wirksame Kraft zwischen beiden Körpern mit K bezeichnet, dann ist im Falle der Gravitationswirkung zwischen Mond und irdischer Atmosphäre die wirksame Kraft nur ungefähr $\frac{1}{352} K$, da eben die Masse der Luft nur $\frac{1}{352}$ der Masse des Weltmeeres ausmacht. Diese Kraft ist sehr gering und wie die Rechnung ergibt nur im Stande, eine Luftflutwelle von 0,0176 Millimeter (Luftdruckmaß) zu erzeugen. Bei der Geringfügigkeit dieses Wertes ist es begreiflich, daß die durch die Mondgravitation bewirkte Ebbe und Flut im Luftmeere der Erde nur sehr schwer und unsicher nachzuweisen ist.

Obwohl diese Betrachtung von vorneherein die Bedeutung des Mondes als Wetterregler in Zweifel stellt, haben doch eine Reihe namhafter Meteorologen ernsthafte und mühevollen Arbeiten geleistet, um die Frage des Mondeinflusses auf die irdische Witterung klarzulegen. Aber alle diese mit größter Sachlichkeit und Unparteilichkeit bearbeiteten Studien haben zu dem gleichen Resultate geführt: „Wenn überhaupt ein Einfluß des Mondes auf die Witterung unseres Planeten existiert, so ist derselbe jedenfalls so gering, daß er bislang nicht einwandfrei nachzuweisen war.“

Wir sind mit unseren Betrachtungen vom eigentlichen Thema dieses Abschnittes etwas abgelenkt worden. Bis zum Beginn des 17. Jahrhunderts herrschte die Astrometeorologie unumschränkt, wenn auch sicherlich einige erleuchtete Köpfe schon vor dieser Zeit ihre Bedenken gegen diese Art wissenschaftlicher Forschung hatten. Das

beweist uns das Werk aus der Hand von Peder Jakobsen Flemlöse, das in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts erschien und obwohl es den Titel trug: „Elementische und irdische Astrologie über die Veränderung der Luft“, doch nichts mit den verlogenen Methoden der Astrologie zu tun hatte.

Das Buch behandelt die Anzeichen von trockenem und klarem Wetter, von Kälte, Schnee, Hagel, Reif, trübem Wetter und Tau, von Regen und Sturm, Gewitter, Erdbeben, von Fruchtbarkeit und Mißwachs und gab Anleitung, wie aus dem Aussehen der Sonne, des Mondes und der Sterne, aus dem Aussehen der Luft und des Meeres, aber auch aus irdischen Erscheinungen beispielsweise aus dem Verhalten der Tiere und Pflanzen sich Schlüsse für das zukünftige Verhalten der Witterung ziehen lassen. Die durchaus sachlichen und in anerkanntem wissenschaftlichem Sinne gehaltenen Ausführungen konnten aber den tief eingewurzelten Aberglauben, den die Astrologie in jahrhundertelanger Tätigkeit großgezogen hatte, nicht beseitigen.

In die erste Hälfte des 17. Jahrhunderts fällt die Erfindung des Thermometers und des Barometers und damit waren endlich die Vorbedingungen für eine wissenschaftliche Erforschung der atmosphärischen Vorgänge geschaffen. Aber obgleich noch im 17. Jahrhundert eine bemerkenswerte Beobachtertätigkeit entfaltet wurde, blieb doch der Wettervorhersage ein wissenschaftlicher Erfolg versagt. Die Beobachtungen wurden ohne den notwendigen inneren Zusammenhang durchgeführt; es fehlte an der Organisation des Ganzen, sodaß die gewonnenen Resultate untereinander kaum vergleichbar waren. Zwar erschienen einige wissenschaftliche Arbeiten, wie das von Halley aufgestellte und von Hadley begründete Windgesetz, aber das Problem der Wettervorhersage blieb nach wie vor in den Händen wirrer Phantasten oder bewußter und gewissenloser Betrüger.

Zusammenfassend können wir sagen, daß bis tief ins 18. Jahrhundert hinein das Flemlösesche Werk den einzigen Versuch einer wissenschaftlichen Wettervorhersage darstellt. Ein durchschlagender Erfolg konnte dieser Arbeit schon aus dem Grunde nicht beschieden sein, weil sie die Witterungsercheinungen als lokale Ereignisse, losgelöst von den Vorgängen über einem größeren Gebiete betrachtete und auch die Wettervorhersage einzig und allein aus lokalen Beobachtungsergebnissen ableiten wollte.

I. Die Wettervorhersage als Aufgabe der Bodenmeteorologie.

4. Die Entwicklung der Wettervorhersage bis zur Auf- findung des barischen Windgesetzes.

Die Anfänge und Entwicklung des Wetternachrichtendienstes.

Bereits 1597 hatte Galilei ein Luftthermometer fertiggestellt und in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts wurden bereits Thermometer mit Weingeist- und Quecksilberfüllung in Gebrauch genommen. Aber die Instrumente waren mangelhaft, da sie keine einheitliche Skala besaßen. Erst Fahrenheit (1686 bis 1736) vervollkommnete die Thermometer und schuf die noch heute in manchen Ländern gebräuchliche, nach ihrem Erfinder benannte Skala. Bald darauf führten dann Réaumur und Celsius ihre Skalen ein und nun erst waren Instrumente geschaffen, welche bei guter Aufstellung fortlaufend kontrollierbare, verlässige und untereinander vergleichbare meteorologische Beobachtungen liefern konnten.

Das Barometer war 1644 von Toricelli erfunden und sofort als wichtiges meteorologisches Instrument erkannt worden. Schon drei Jahre später ließ der berühmte französische Mathematiker Pascal das Barometer auf dem Puy-de-Dôme ablesen und den Stand mit einer gleichzeitigen Ableseung am Fuß des Berges vergleichen. Dieses denkwürdige Experiment bildete nicht nur den Ausgangspunkt der barometrischen Höhenmessung, sondern gestattete zum ersten Male Einblick in die allgemeine vertikale Massenverteilung unserer Atmosphäre.

Nachdem so die wichtigsten meteorologischen Beobachtungsinstrumente, das Thermometer und Barometer einen hinreichenden Grad von Vollkommenheit erreicht hatten, setzte eine ziemlich rege Beobachtertätigkeit ein. Wie schon im vorigen Abschnitte erwähnt, konnte dieselbe aber keine wissenschaftlichen Fortschritte bringen, da ihnen Methode und gemeinsames Ziel fehlten. Wir dürfen diese Beobachtungstätigkeit aber trotzdem nicht als nutzlos bezeichnen, denn sie gab die Möglichkeit, Erfahrungen zu sammeln und den Weg zu systematischer Erforschung der atmosphärischen Vorgänge zu finden.

Die ersten, erfolgreichen Schritte, meteorologische Beobachtungen nach einheitlichem Prinzip über größerem Gebiete durchzuführen, gelangen am Ende des 18. Jahrhunderts der Mannheimer „Societas meteorologica Palatina“, die durch Kurfürst Karl Theodor von der Pfalz und Bayern begründet und unter die Leitung seines Hofkaplans und Direktors des physikalischen Kabinetts Johann Jakob Hemmer gestellt worden war. Die zu den Beobachtungen benützten Instrumente übertrafen alle bisher im Gebrauch befindlichen an Güte, waren sorgfältig geprüft und untereinander vergleichbar. Die Beobachtungen, welche überall an den heute noch üblichen Terminen dreimal täglich angestellt wurden, erstreckten sich nicht allein über Europa, sondern auch über den Ozean hinweg nach Amerika und Grönland. In Deutschland waren 14, in Osterreich-Ungarn 2, in der Schweiz 2, in Italien 4, in Frankreich 3, in Belgien und Holland 4, in Rußland 3, in den skandinavischen Ländern 4, in Grönland 1 und in Nordamerika 2 Beobachtungsstellen an das Netz der Societas angeschlossen. Die Beobachtungen dieser 39 Stationen wurden in den „Ephemerides Societatis Meteorologicae Palatinae“ veröffentlicht. Zwar hatte die Societas Palatina, wie auch die von dem gleichen Fürsten ins Leben gerufene bayerische, akademische, meteorologische Gesellschaft nur kurzen Bestand (1780 bis 1792), aber sie gab doch den Anstoß und das Grundmaterial zur wissenschaftlichen Erforschung der atmosphärischen Vorgänge. Die „Ephemerides Societatis Meteorologicae Palatinae“, zwölf starke Quartbände, in denen die Beobachtungen der 39 Stationen vollständig veröffentlicht wurden, lieferten die Grundwerte einer Reihe hochbedeutender Arbeiten, die von den deutschen Forschern Brandes, Kämk, Dove, Lamont und v. Humboldt durchgeführt wurden. Die eminente Bedeutung der Tätigkeit der Societas Palatina liegt in dem Umstande, daß sie zum ersten Male die gleichzeitigen (synoptischen) Witterungsvorgänge über einem größeren Erdraume feststellte. Dieser Beobachtungsmodus entsprach der klaren Einsicht, daß man tiefere Kenntnisse der atmosphärischen Vorgänge nur durch die Betrachtung der gleichzeitigen Witterungsvorgänge über einem größeren Gebiete erlangen kann, die nicht unabhängig von einander, sondern unter sich kohärent sind. Nun war die Forderung der synoptischen Methode wenigstens in Bezug auf die Beobachtungstätigkeit erfüllt.

Wie außerordentlich fruchtbar dieser Gedanke war, das bewiesen insbesondere die Arbeiten von Brandes, die zu Beginn des 19. Jahrhunderts erschienen und in denen wir bereits grundlegende Bemerkungen über die Bearbeitung des synoptischen Beobachtungsmateriales lesen. Er ging darauf aus, den Zusammenhang zwischen Luftdruck und Wind zu studieren. So bearbeitete er den heftigen Sturm, der am 6. März 1783 Europa durchzog. Er entwarf Karten, auf denen er die Luftdruckverteilung nicht durch Linien gleichen Luftdruckes, die uns geläufigen Isobaren darstellte, sondern durch Linien gleicher Abweichung vom Normalstande, wodurch er sich fast völlig von der Höhenlage der Beobachtungsorte unabhängig machte. In der beigedruckten Fig. 1 ist diese Karte nach der Brandes'schen Ausführung dargestellt. Die eingezeichneten Windpfeile lehrten ihn, daß die Luft schief gegen die Linien gleicher

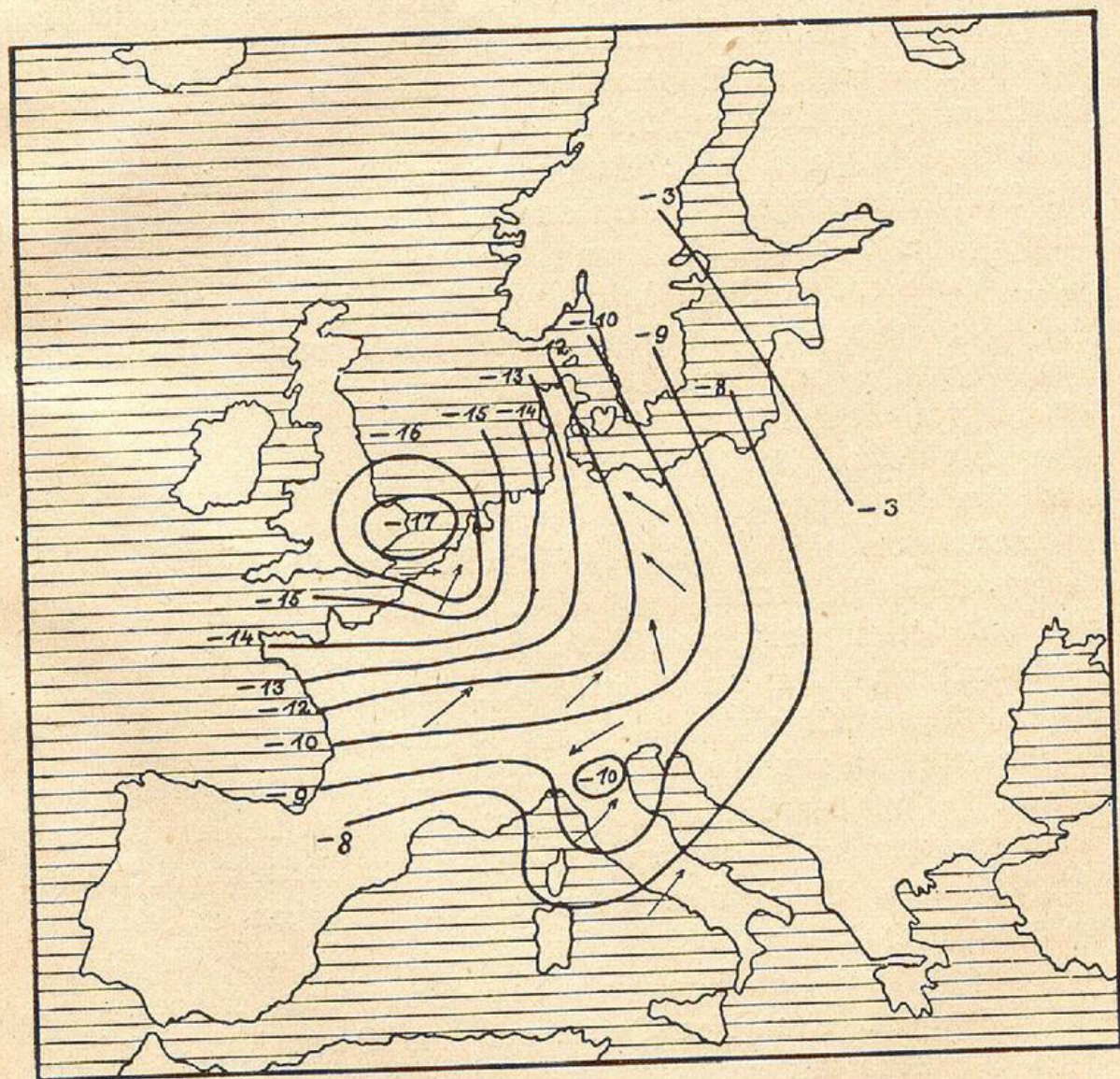


Fig. 1. Wetterkarte nach Brandes vom 6. März 1783.

Druckabweichung fließt, also gleichsam zwei gleichzeitigen Impulsen folgt, einem, der die Luft rotierend um das Tiefdruckzentrum führt, einem weiteren, der die Luft nach dem Orte des tiefsten Druckes einströmen läßt. Brandes betonte insbesondere die zweite Bewegung, die so vor sich gehe, daß die strömende Luft das vorhandene Defizit auszufüllen bestrebt ist.

Brandes bearbeitete in der angedeuteten Weise ein umfangreiches Material und man darf wohl annehmen, daß der weitere Ausbau seiner Ideen unmittelbar zu der synoptischen Methode der modernen Meteorologie geführt hätte, wenn seine Arbeiten nicht durch die glanzvollen Doveschen Untersuchungen in den Schatten gestellt worden wären.

Die Bedeutung Doves, des Altmeisters der Meteorologie, soll hier nicht gewürdigt werden; seine hervorragende Stellung in der Geschichte der Physik der Erde bleibt unerschüttert, trotzdem er gerade die Witterungskunde durch die Aufstellung seines später als falsch erkannten Systemes der Äquatorial- und Polarströme in ihrem Fortschritte entschieden gehindert hat.

Brandes geriet viele Jahrzehnte in Vergessenheit. Erst um die Mitte des vorigen Jahrhunderts trat dann der holländische Meteorologe Buns-Ballot auf, der die Brandesschen Ideen in neuer und vertiefter Form auflegte und dadurch zum geistigen Vater und Begründer der synoptischen Meteorologie wurde. Die wichtigsten Ergebnisse der Buns-Ballotschen Forschertätigkeit werden wir im nächsten Abschnitte mitteilen.

Wir haben schon mitgeteilt, daß Brandes zum ersten Male aus dem Beobachtungsmateriale der Societas Palatina den wichtigen Nachweis geführt hat, daß die Witterung über größeren Erdräumen innere Zusammenhänge besitzt. Er hat gezeigt, daß der Wind und mit diesem auch das Wetter in enger Beziehung zur Luftdruckverteilung stehen und daß die Luftdruckgebilde als die Ursachen der jeweiligen Witterung ihre Lage verändern. Wollte man diese bedeutsamen Erkenntnisse zum Zwecke einer Wettervorhersage verwenden, so mußten Mittel und Wege geschaffen werden, die mit der Verteilung der wichtigsten meteorologischen Elemente (Temperatur, Luftdruck, Wind) über einem möglichst großen Gebiete ohne wesentlichen Zeitverlust bekannt machten. Damit war die Forderung eines Wetter-Nachrichten-Dienstes erhoben.

Schon die Franzosen L a m a r c k und L a v o i s i e r beschäftigten sich 1780 mit der Einrichtung eines solchen Nachrichtendien-

stes und zwar unter Zugrundelegung des eben erfundenen optischen Telegraphen. Die Absichten der beiden Forscher konnten jedoch nicht verwirklicht werden und erst nachdem der elektrische Telegraph durchkonstruiert war, fand derselbe im Dienste der Wetter-Nachrichten-Übermittlung Verwendung. Unter Glais hers Führung fand der Plan zum ersten Male seine Verwirklichung: am 14. Juni 1849 erschien in der englischen Zeitung „Daily News“ die erste, auf telegraphischer Übermittlung beruhende Wetterkarte. Gelegentlich der Weltausstellung in London wurden dann solche Wetterkarten vom 8. August bis 11. Oktober 1851 täglich von der Telegraphenverwaltung ausgestellt. War mit diesem Vorgehen auch in erster Linie der Zweck verfolgt, die Leistungsfähigkeit des Telegraphen ins hellste Licht zu setzen, so war doch gleichzeitig der Beweis geführt, daß man über die Möglichkeit fortlaufender täglicher Witterungsberichte aus einem umfangreichen Beobachtungsgebiete verfügte.

Die regelmäßige Herausgabe täglicher Wetterkarten mit dem ausgesprochenen Zwecke einer Wettervorhersage erfolgte aber erst vom Jahre 1863 ab in Frankreich und zwar gab ein kriegerisches Ereignis hiezu den Anstoß. Während des Krimkrieges wurde durch einen heftigen Sturm am 14. November 1854 das neue französische Linienschiff Henry IV. zerstört. An Leverrier erging die Anfrage, ob es nicht möglich gewesen wäre, bei geeigneten Maßnahmen den Sturm vorherzusagen. Der französische Gelehrte bearbeitete hierauf das vorliegende Beobachtungsmaterial und wies nach, daß das Sturmfeld binnen dreier Tage quer durch Europa gezogen war und daß man durch telegraphische Berichte vom ersten und zweiten Tage über sein Auftreten und über seine Bahn hätte Kenntnis erhalten und sein zu erwartendes Auftreten in der Krim für den dritten Tag hätte vorherzusagen können. Hierauf erhielt Leverrier den Auftrag, in Frankreich einen telegraphischen Wetterdienst einzuführen, sodaß Frankreich das erste Land wurde, in dem fortlaufend seit dem 16. September 1863 bis auf den heutigen Tag eine tägliche Wetterkarte erscheint. Allmählich folgten dann auch die anderen Kulturstaaten mit der Herausgabe täglicher Wetterberichte auf Grund eines international vereinbarten Nachrichtendienstes.

Da die täglichen Karten immer nur beschränktes Beobachtungsmaterial vermitteln können, suchte man für das Studium der Luftdruckverteilung nachträglich noch Karten herzustellen, die das gleich-

zeitige Beobachtungsmaterial eines möglichst großen Teiles der Erdoberfläche verwerten. Diesen Zwecken dienen die nach ihrem Begründer benannten „Hoffmeyer'schen Karten“, die seit Dezember 1873 von dem Dänischen meteorologischen Institut und der Deutschen Seewarte herausgegeben werden. Dieselben erstrecken sich auf einen Teil von Amerika, ganz Europa und das asiatische Rußland und ziehen mit Benutzung der Schiffsbeobachtungen auch den atlantischen Ozean in den Rahmen ihrer Darstellung.

5. Die Wetterkarte und das barische Windgesetz.

Der Grundgedanke der Brandes'schen Arbeitsmethode, der später von Buys-Ballot mit so durchschlagendem Erfolge weiter geführt wurde, wurzelt in dem Verlangen, zunächst eine übersichtliche Darstellung der gleichzeitigen Witterungserscheinungen über einem möglichst großen Erdgebiete zu schaffen. Nur auf diesem Wege konnte man zu einer tieferen Erkenntnis der Ursachen der Witterung gelangen, die sicherlich nicht rein lokaler, sondern regionaler Natur sind.

Buys-Ballot schrieb über die neue graphische Methode: „Man zeichne eine Karte von seinem Bezirke und deute dann mit Punkten die Orte an, von denen man Nachrichten bekommt; für jeden Tag zeichne man die gleiche Karte, aber ohne die politischen Grenzen; eine dieser Karten sei ohne Datum mit Parallelen und Meridianen und mit den Anfangsbuchstaben der betreffenden Orte bezeichnet, worauf man sich auf den übrigen Karten leicht zurechtfinden wird. Man hat dann noch die (Witterungs-)Zustände einzutragen und sieht dann die Witterung der verschiedenen Gegenden in gleicher Weise vor sich, wie man diesen Teil der Erde von einem Punkte außerhalb der Atmosphäre aus sehen würde.“

Der Text mutet uns schwerfällig an; man sieht daraus, daß die neue Methode der damaligen Zeit ganz ungewohnt war und im Kleinsten beschrieben werden mußte. Daß aber Buys-Ballot seine Methode bereits als Grundlage einer wissenschaftlichen Wettervorhersage dachte, das entnehmen wir aus seiner Forderung einer täglichen Karte. Das Beobachtungsnetz, von dem Buys-Ballot tägliche Berichte erhielt, umfaßte folgende Stationen: Orkadische Inseln, Boston, Cluswich, Greenwich, Brüssel, Paris, Haarlem, Amsterdam, Utrecht, Breda, Lecuwarden, Nymwegen, Maastricht, Groningen, Köln, Genf, Paderborn, Karlsruhe, Hamburg, Mühlhausen, Ittendorf, München, Leipzig, Wien, Krakau und Warschau. Buys-Ballot trug anfangs nur die Windrichtungen und die Temperaturabweichungen in die Karten ein, erstere durch Pfeile, letztere durch Schraffierung, und zwar positive Abweichungen durch vertikale, negative durch horizontale Striche, wobei die Dicke der Linien der Größe der Abweichung entsprach. Wir geben diese ersten

synoptischen Karten Buns-Ballots für die Tage 26., 27., und 28. Oktober 1852 in der Fig. 2 wieder. Diese Karten des holländischen Meteorologen bedeuten gegen die von Brandes gezeichneten Karten entschieden einen Rückschritt aus Gründen, die aus unseren weiteren Ausführungen klar werden.

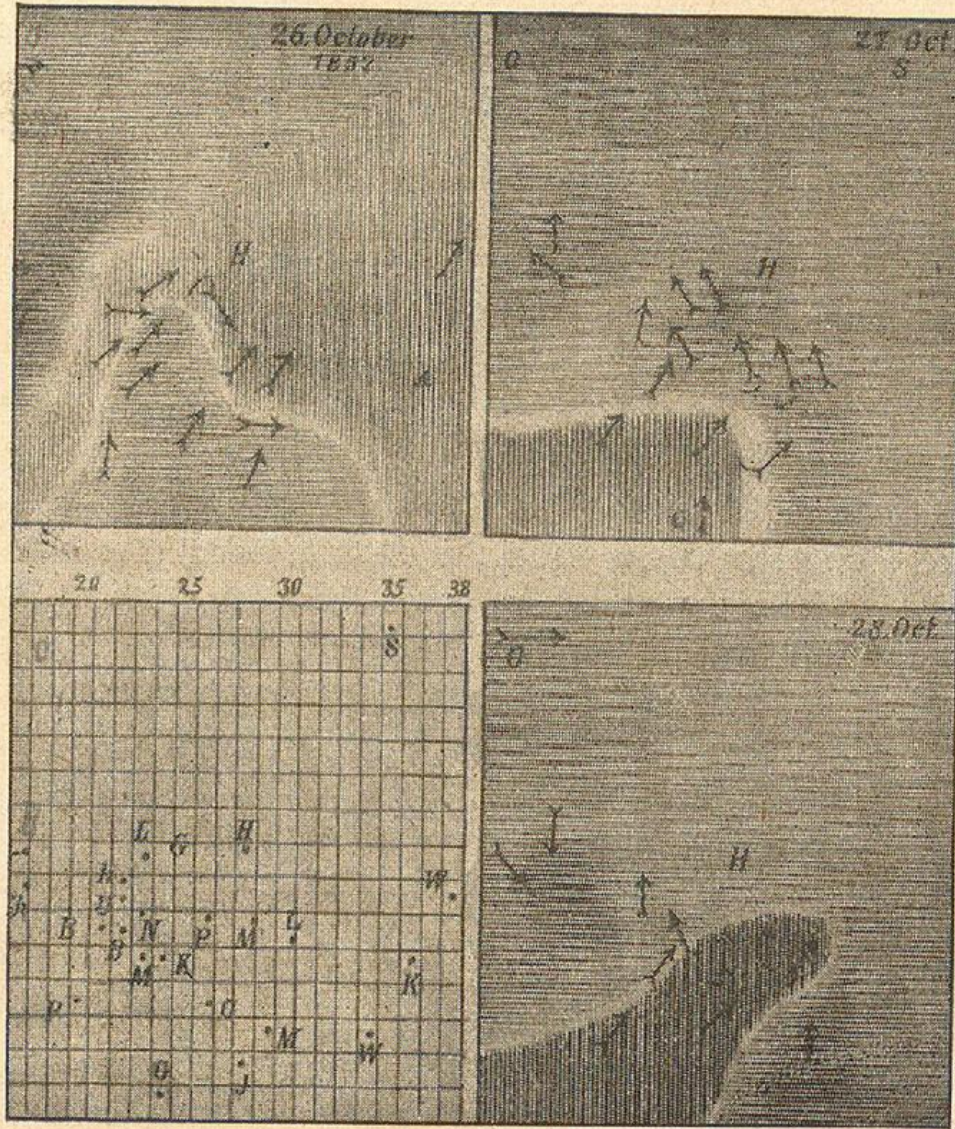


Fig. 2. Synoptische Karten nach Buns-Ballot.

Sehr bald wurde auch Buns-Ballot auf das Studium der Beziehung zwischen Luftdruck und Wind hingelenkt, dessen ausschlaggebende Wichtigkeit bereits Brandes erkannt hatte. Dem holländischen Forscher gelang es bald, seine diesbezüglichen Erfahrungen aus den Wetterkarten, in die Form eines Gesetzes zu fassen, dessen Richtigkeit er zunächst für Holland nachwies, das aber, wie sich bald ergab, für die ganze Erde Gültigkeit besitzt. Dieses Gesetz, das Buns-Ballotsche Gesetz oder das barische

Windgesetz stellt auch heute noch eine der größten Errungenschaften der Meteorologie dar und bildet den Grundstein der wissenschaftlichen Wettervorhersage.

Wir wollen nunmehr zur Kenntnis dieses wichtigen Gesetzes gelangen, indem wir es selbst aus dem Bilde typischer Wetterkarten ableiten, also auf dem gleichen, wenn auch wesentlich abgekürzten und vollkommeneren Wege, durch den es aufgedeckt wurde.

Zu diesem Zwecke wollen wir uns einmal zwei Wetterkarten entwerfen, welche für unsere Absicht besonders günstig sind. Zu Grunde legen wir das Material des internationalen Nachrichtendienstes, das in den Abonnement-Wettertelegrammen der Deutschen Seewarte in Hamburg enthalten ist. Der Bezug dieser Wetternachrichten erfolgt durch Vermittelung der Post- und Telegraphenämter gegen festgesetzte Gebühren.

Die Wettertelegramme sind sogenannte chiffrierte Telegramme, welche die Beobachtungsergebnisse der einzelnen Stationen in fünfstelligen Zifferngruppen wiedergeben. Den Abonnenten der Nachrichten wird ein Schlüssel zur Verfügung gestellt.

Die allgemeine Formel für die Depeschen lautet:

BBB WW SHTTV β ARR.N.

Es bedeuten:

BBB den auf 0°, den Meeresspiegel und die Schwere in 45° Nordbreite umgerechneten Barometerstand in Millimetern und Zehntelmillimetern; z. B. 624 = 762,4; es ist also stets die 700 zu ergänzen.

WW die wahre Windrichtung nach dem astronomischen Norden bestimmt:

| | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 02 (52) = NNO | 10 (60) = OSO | 18 (68) = SSW | 26 (76) = WNW |
| 04 (54) = NO | 12 (62) = SO | 20 (70) = SW | 28 (78) = NW |
| 06 (56) = ONO | 14 (64) = SSO | 22 (72) = WSW | 30 (80) = NNW |
| 08 (58) = O | 16 (66) = S | 24 (74) = W | 32 (82) = N. |

(00) 50 = Windstille.

Die nicht eingeklammerten Zahlen bedeuten zugleich, daß das Barometer um 8 Uhr morgens höher als um 5 Uhr morgens stand, die eingeklammerten, je um 50 vergrößerten Zahlen, daß es um 8 Uhr niedriger stand. Diese Windrichtungszahlen geben also zugleich an, ob die Barometertendenz A (siehe weiter unten) positiv oder negativ ist.

S die Windstärke nach Beaufortskala 0—12;

0 = Windstille

| | | |
|-----------------|---------------|---------------------|
| 1 = sehr leicht | 5 = frisch | 9 = Sturm |
| 2 = leicht | 6 = stark | 10 = starker Sturm |
| 3 = schwach | 7 = steif | 11 = heftiger Sturm |
| 4 = mäßig | 8 = stürmisch | 12 = Orkan. |

Da nur eine einziffrige Zahl für S eingesetzt werden darf, so wird bei größerer Stärke als 9 eine Angabe in Worten am Schlusse des Telegramms nötig.

H die Hydrometeore und die Bewölkung zur Zeit der Beobachtung:

0 = wolkenlos

| | | |
|---------------------------|------------------|---------------|
| 1 = $\frac{1}{4}$ bedeckt | 4 = ganz bedeckt | 7 = Dunst |
| 2 = $\frac{1}{2}$ bedeckt | 5 = Regen | 8 = Nebel |
| 3 = $\frac{3}{4}$ bedeckt | 6 = Schnee | 9 = Gewitter. |

TT die Temperatur des trockenen Thermometers auf ganze Grade Celsius abgerundet. Im Falle die Temperatur 10° nicht erreicht, ist die erste Ziffer durch eine Null zu ersetzen; bei Temperaturen unter 0° wird zur Anzahl der abgelesenen Grade 50 hinzugefügt. Z. B. 16 = 16° ; 06 = 6° ; 59 = -9° ; 66 = -16° .

Die Abrundung der in Zehntel Graden beobachteten Temperaturen auf ganze Grade erfolgt in der Weise, daß bei allen Zehnteln, die kleiner oder größer als 5 sind, stets der nächste der beiden benachbarten ganzen Grade und bei 5 Zehnteln derjenige dieser ganzen Grade gewählt wird, der im Sinne steigender Temperatur der höhere ist, daß also $-2,5^{\circ}$ durch 52 und $+2,5^{\circ}$ durch 03 ausgedrückt wird. Eine besondere Chiffrierung findet innerhalb eines halben Grades in der Umgebung des Nullpunktes statt, indem 50 die Temperaturen von $-0,5^{\circ}$ bis $-0,1^{\circ}$ und 00 die Temperaturen von $0,0^{\circ}$ bis $+0,4^{\circ}$ anzeigen.

V den Witterungsverlauf der letzten 24 Stunden:

| | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 0 = vorwiegend heiter, | 5 = nachmittags Niederschlag |
| 1 = ziemlich heiter | 6 = nachts Niederschlag |
| 2 = meist bewölkt, | 7 = Gewitter |
| 3 = Wetterleuchten | 8 = Niederschläge in Schauern |
| 4 = vormittags Niederschlag | 9 = anhaltende Niederschläge. |

Nähere Erläuterungen zu dieser Ziffer sind in dem erwähnten Schlüssel gegeben.

β den (an einem Barographen ersichtlichen) Gang des Luftdruckes während der letzten drei Stunden vor der Morgenbeobachtung (Charakteristik):

- 0 = beständig (ohne wesentliche Änderung)
- 1 = unbeständig (mehrfach hin- und herschwankend)
- 2 = stetig steigend
- 3 = stetig fallend
- 4 = zuerst fallend, dann steigend
- 5 = zuerst beständig, dann steigend
- 6 = zuerst beständig, dann fallend
- 7 = zuerst fallend, dann beständig
- 8 = zuerst steigend, dann beständig oder fallend
- 9 = Gewitternase

0 mit nachfolgender Ziffer 9 für A bedeutet ein Fehlen der Angaben für β und A.

A die Änderung des Barometers von 5 bis 8 Uhr morgens (Barometertendenz) nach der Skala:

| | |
|--------------------|-----------------------|
| 0 = 0,0 bis 0.4 mm | 5 = 4,5 „ 5.4 mm |
| 1 = 0,5 „ 1.4 „ | 6 = 5,5 „ 6.4 „ |
| 2 = 1,5 „ 2.4 „ | 7 = 6,5 „ 7.4 „ |
| 3 = 2,5 „ 3.4 „ | 8 = 7,5 „ 8.4 „ |
| 4 = 3,5 „ 4.4 „ | 9 = nicht beobachtet. |

Bei negativen Werten der Barometertendenz gilt dieselbe Chiffreskala, doch wird zugleich den Ziffern der Windrichtung in der ersten Gruppe (WW) die Zahl 50 hinzugerechnet.

RR die von gestern Morgens 8 Uhr bis heute Morgens 8 Uhr gefallene Niederschlags-, oder (bei gefrorenen Niederschlägen) Schmelzwassermenge in ganzen Millimetern ihrer Höhe. Es bedeuten insbesondere 00 keinen Niederschlag, 97 Spur von Niederschlag (Betrag kleiner als 0,5 mm), 98 Niederschlagsmenge größer als 96 mm, 99 Niederschlag gefallen, aber nicht gemessen.

N die in den Formularen vorgedruckte Einerziffer der laufenden Nummer des Ortes im Wettertelegramm; diese fortlaufenden Nummern ersetzen in dem chiffrierten Telegramm die Ortsnamen.

Als Ergänzung zum Haupt-Morgentelegramm gibt die Deutsche Seewarte noch ergänzende Extratelegramme, Nachmittags- und Abendtelegramme heraus, die zum Teil nach der gleichen, zum Teil nach abweichenden Formeln zusammengestellt sind. Die notwendigen Erläuterungen gibt der Schlüssel.

Das chiffrierte Telegramm für eine Beobachtungsstation laute beispielsweise:

62 028 31 026 22 021,

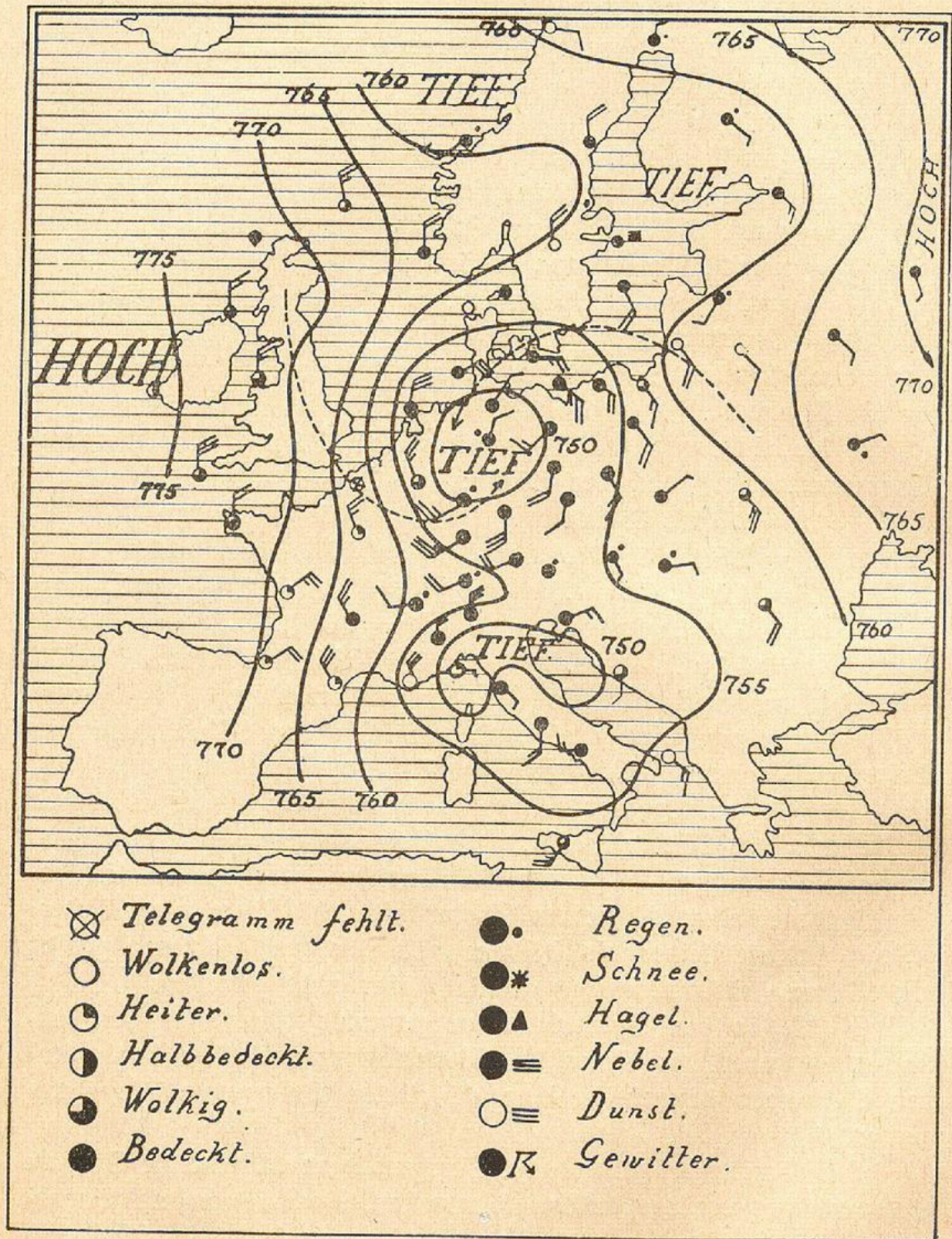


Fig. 3. Wetterkarte, darstellend ein Tiefdruckgebiet über Mitteleuropa.

so ergibt der Schlüssel für die letzte Ziffer 1 des Telegramms die Station Borkum. Für diesen Ort entnehmen wir dann folgende Beobachtungsdaten:

Barometerstand am Morgen in Millimetern: 762,0

Windrichtung am Morgen: NW

Windstärke am Morgen: 3

Wetter am Morgen: heiter

Temperatur am Morgen: + 2

Witterungsverlauf der letzten 24 Stunden: nachts Niederschlag

Gang des Luftdruckes von 5 bis 8 Uhr früh: stetig steigend

Änderung des Luftdruckes von 5 bis 8 Uhr früh in Mill. 1,5 bis 2,4
gestiegen

Niederschlag der letzten 24 Stunden in Mill. 2 mm.

Nun erfolgt der teilweise oder vollständige Eintrag dieser Beobachtungsdaten in Karten unter Anwendung symbolischer Zeichen, die am Rande der beiden Hauptkarten (siehe Fig. 3, 4, 5 u. 6) er-

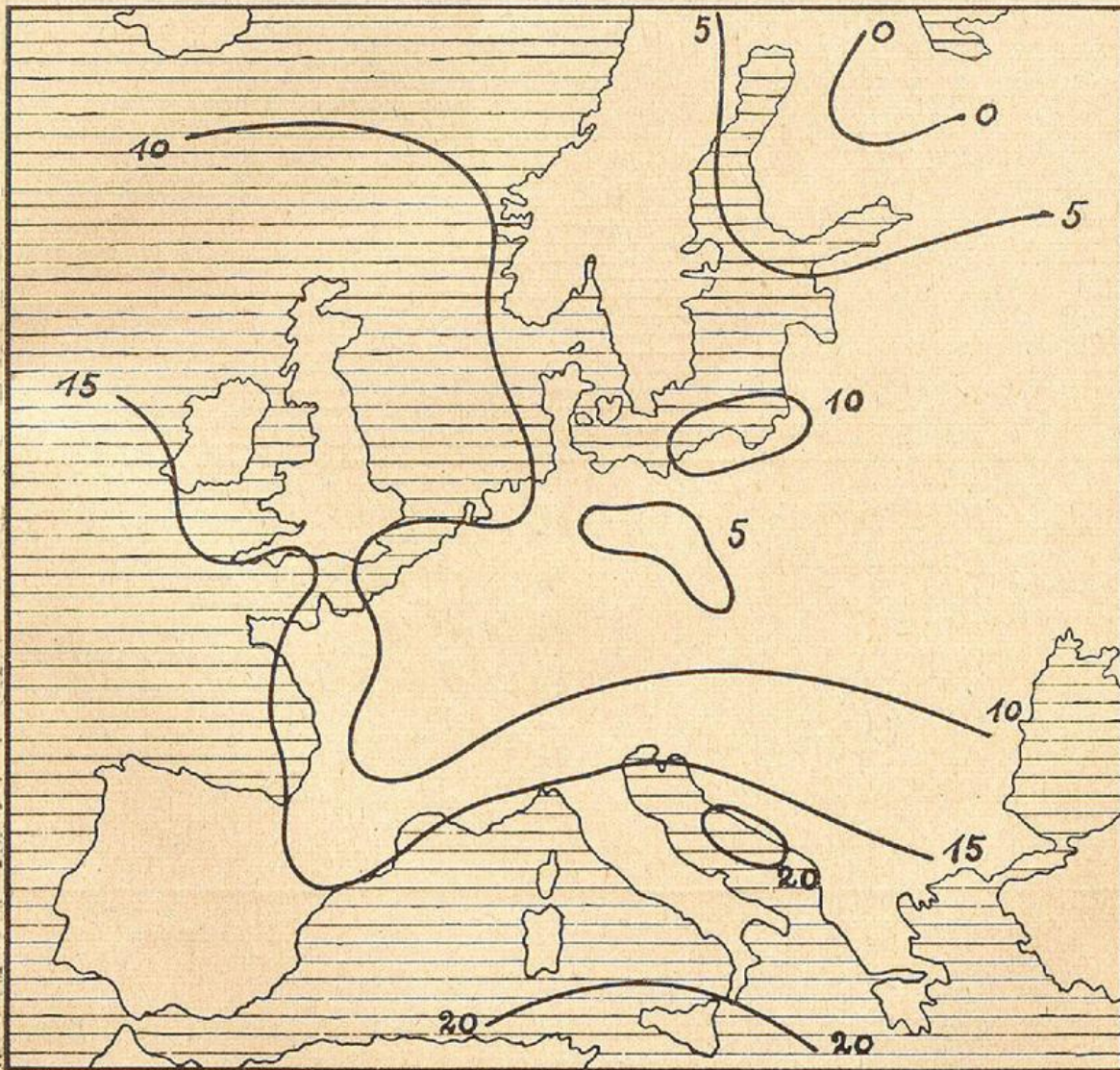
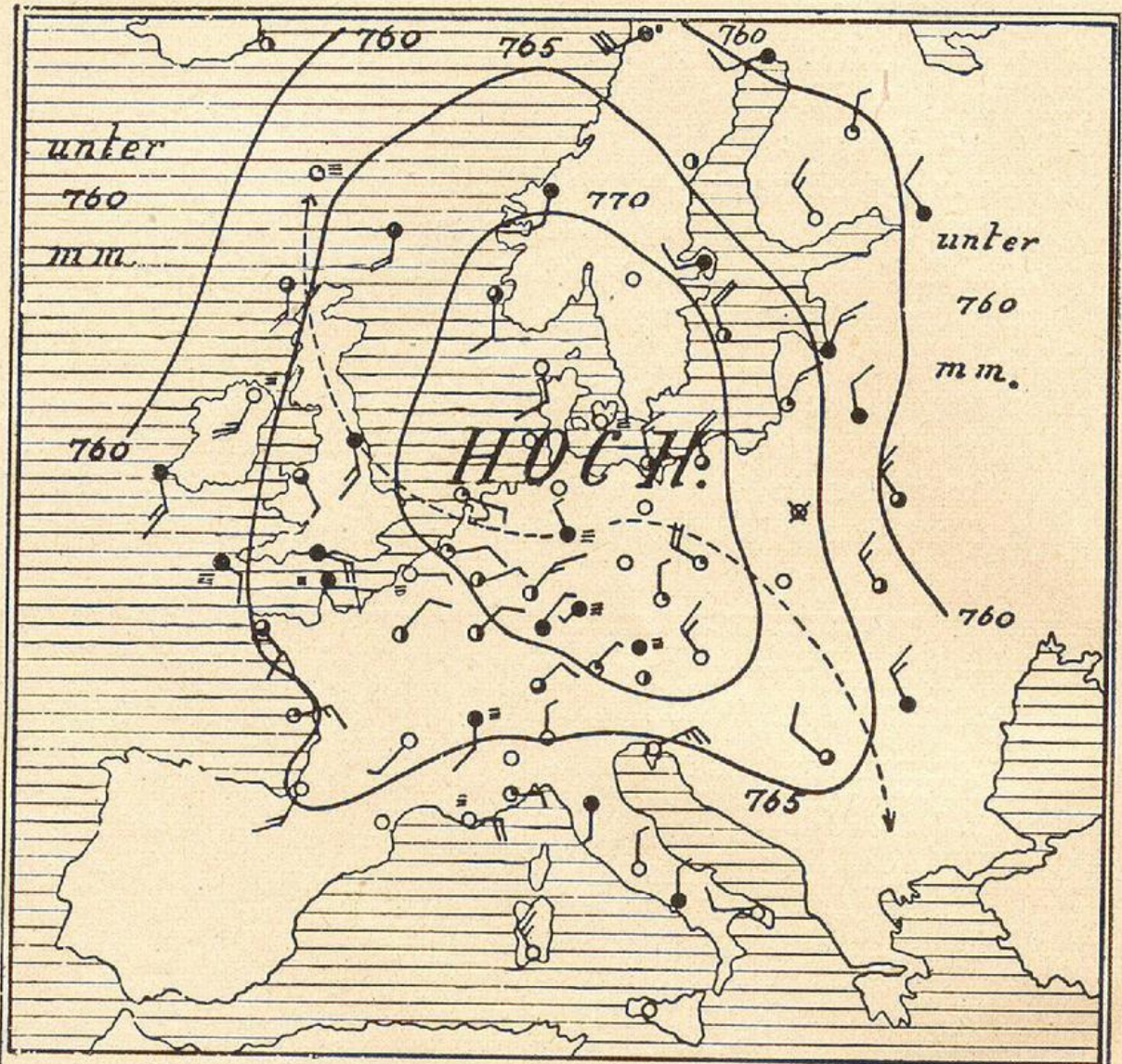


Fig. 4. Temperaturverteilung zur Wetterlage der Karte 3.



- | | |
|--------------------|--------------|
| ⊗ Telegramm fehlt. | ● Regen. |
| ○ Wolkenlos | ●* Schnee. |
| ◐ Heiter. | ●▲ Hagel. |
| ◑ Halbbedeckt. | ●≡ Nebel. |
| ◒ Wolkig. | ○≡ Dunst. |
| ● Bedeckt. | ●⚡ Gewitter. |

Fig. 5. Wetterkarte, darstellend ein Hochdruckgebiet über Mitteleuropa.

läutert sind. Man tut gut, um die Übersichtlichkeit nicht zu stören, auf einer Karte nur die Beobachtungswerte des Luftdruckes, der Windrichtung und Windstärke, der Himmelschau und der Luftdruck-

tendenzen einzutragen, hingegen die anderen noch interessierenden Daten, wie Temperatur usw. auf Nebenkarten einzuzichnen. Hierbei verfährt man erfahrungsgemäß am besten auf folgende Weise: Man zeichnet zunächst den Stationskreis, dessen Beobachtungsergebnisse man in die Karte aufnehmen will, und zeichnet in und an diesen Kreis die Symbole für Himmelschau und Hydrometeore. Hierauf stellt man die beobachtete Windrichtung dar, indem man einen in der gegebenen Richtung gegen den Ort fliegenden Pfeil einträgt. Die Windstärke bringt man durch die Befiederung des Pfeiles zur Darstellung, indem man die Stärke 1 durch einen kurzen, die Stärke 2 durch einen langen Fiederstrich wiedergibt; Windstärke 5 wird dann durch 2 lange und einen kurzen Fiederstrich dargestellt. Es ist für das entstehende Kartenbild vorteilhaft, die Befiederung immer

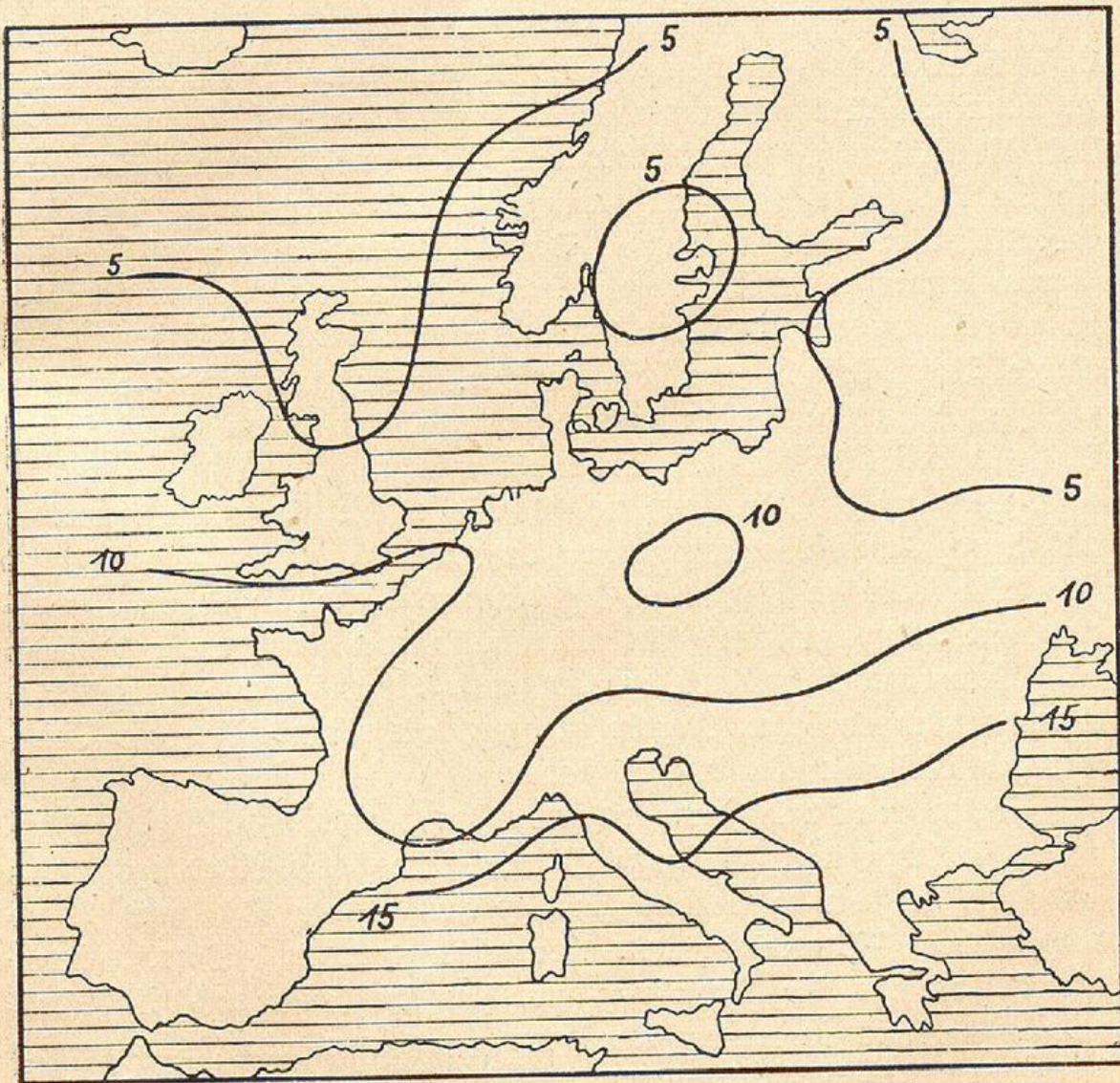


Fig. 6. Temperaturverteilung zur Wetterlage der Karte 5.

an der linken Seite des Pfeilschaftes anzubringen unter der Voraussetzung, daß man in der Richtung des fliegenden Pfeiles auf dessen Ziel (Station) hinblickt. Endlich trägt man in die Nähe des Stationsortes noch den Barometerstand ein und zwar in Zehntelmillimetern mit Hinweglassung der selbstverständlichen Anfangszahl 7. Die Luftdrucktendenzen kann man in verschiedenster Weise zur Darstellung bringen, etwa durch Eintragung roter Ziffern oder durch einmaliges oder mehrmaliges Unterstreichen der Ortslage mit roter Farbe bei steigendem, mit blauer Farbe bei fallendem Barometer.

Hat man das Beobachtungsmaterial sämtlicher verfügbarer Orte in solcher Weise eingetragen, so ergibt sich bereits ein recht anschauliches Bild für die über dem Gebiete beobachteten Windströmungen. Hingegen ist die Luftdruckverteilung, die ja zunächst nur durch die den Stationen beigeschriebenen Luftdruckwerte gekennzeichnet ist, noch sehr unübersichtlich. Um auch die Verteilung des Luftdruckes über dem ganzen Gebiete auf einen Blick überschauen zu können, ziehen wir nunmehr die sogenannten *Isobaren*, das sind die Linien gleichen Luftdruckes. Man wählt zumeist die durch die Zahl 5 ohne Rest teilbaren ganzen Luftdruckwerte, also 740, 745, 750 usw. und zieht unter Berücksichtigung der eingeschriebenen Barometerstände die Isobaren so, daß sie mit möglichster Annäherung jene Kartenpunkte verbindet, in denen der der Isobare zugehörige Wert des Luftdruckes herrschte. Wir haben hier ein graphisches Interpolationsverfahren vor uns, das schon nach einigen Übungen mit hinreichender Sicherheit erfolgt.

Nun wissen wir, auf welche Weise die in den Figuren 3 und 5 gegebenen Wetterkarten entstanden sind.

Die Kärtchen Fig. 4 u. 6 geben uns die gleichzeitigen Temperaturverteilungen wieder. An alle Stationsorte wurde der beobachtete Temperaturwert angeschrieben und hierauf wurden die Isothermen nach analogen Regeln gezogen, wie wir sie für das Zeichnen der Isobaren vorgetragen haben.

Betrachten wir nun unser erstes Kartenbild (Fig. 3) genauer, so sehen wir, daß ganz Süd-, Mittel- und Nordeuropa von niedrigem Luftdrucke bedeckt sind, während über Ost- und Westeuropa hohe Barometerstände beobachtet wurden. Vorerst interessiert uns nur die Beziehung zwischen Luftdruck und Windströmung, die wir in erster Annäherung in dem Satze aussprechen können: Die Luft strömt aus den Gebieten mit hohem Luftdrucke heraus, und in die Gebiete mit

niedrigem Luftdrucke ein. Um zu einer präziseren Fassung unserer Erfahrung zu gelangen ist es vorteilhaft, sogenannte Strömungslinien einzuzeichnen, was mit Hilfe der Windpfeile ohne Schwierigkeit gelingt. In der Kartenbeilage sind solche Strömungslinien durch die gestrichelten Kurvenzüge dargestellt. Nun können wir unsere Erkenntnis bereits genauer aussprechen: Die Luft strömt aus dem Hochdruck gegen den Tiefdruck, aber nicht in geraden, sondern in gekrümmten Linien. Auch über den Sinn der Krümmung werden wir sofort Klarheit gewinnen, wenn wir auf einer der Strömungslinien vom Hochdruck zum Tiefdruck vorwärts schreiten: Die Krümmung verläuft so, daß in jedem Punkte der Strömungslinie das Zentrum des niedrigen Druckes zur linken Hand und etwas voraus, der Kern des hohen Druckes zur rechten Hand und etwas zurück liegt.

Diese Erfahrungstatsache, die sich in gleicher Weise auch in dem zweiten Kartenbilde, dem Falle eines Hochdruckes über Centraleuropa, bestätigt findet, bildet den Inhalt des Buys-Ballot'schen Gesetzes oder des barischen Windgesetzes.

Noch eine weitere Erfahrungstatsache drängt sich uns bei näherer Betrachtung der beiden Wetterkarten auf: Wir sehen, daß über jenen Erdstellen die Winde am kräftigsten wehen, wo die Isobaren am gedrängtesten verlaufen, das heißt den geringsten Abstand voneinander aufweisen. Die Windstärke ist abhängig vom Luftdruckgefälle oder vom Gradienten. Der Gradient wird gemessen durch die Anzahl der Millimeter, um welche der Luftdruck sich ändert, wenn man senkrecht zu den Isobaren die Strecke von 111 Kilometern (Länge eines Äquatorgrades) durchmißt.

Daß die Stromlinien als in ganz bestimmtem Sinne gekrümmte Kurven auftreten, hat seine Ursache in einer Kraft, welche bei jeder Bewegung eines Körpers auf der rotierenden Erde auftritt. Dieselbe ist proportional der Geschwindigkeit der Bewegung und sucht den bewegten Körper fortgesetzt aus seiner Bahn abzudrängen und zwar auf der nördlichen Hemisphäre nach rechts, auf der südlichen nach links. Am Äquator ist die Kraft Null, ihre Größe nimmt gesetzmäßig zu mit der Annäherung an die Pole. Die Kraft ist sehr gering, daß sie aber doch bei den Luftströmungen eine so bedeutende Rolle spielt, kommt daher, daß diese einmal sehr lange

andauern, dann aber auch unter sehr geringen Reibungswiderständen ablaufen.

Will man das Barische Windgesetz für die südliche Halbkugel ansprechen, so muß man die Richtungsbezeichnungen rechts und links vertauschen. Schreitet man also auf einer Stromlinie in der Strömungsrichtung fort, so liegt hier der niedrige Druck rechts und etwas voraus, der hohe Druck links und etwas zurück.

6a. Die Wettervorhersage auf Grund der Wetterkarte.

Die Wetterkarte, im Zusammenhang mit den gewonnenen Nebenkarten, gibt uns nunmehr ein anschauliches Bild der augenblicklichen Wetterlage. Damit ist nun schon ein außerordentlicher Fortschritt erzielt; wir sind jetzt in der Lage, die gleichzeitige Witterung über einem größeren Gebiete zu überblicken und die Ursachen der jeweiligen Witterung wenigstens zum Teil zu erkennen. Zunächst beschränken wir uns darauf, die Herkunft der Luft, die uns der Wind zuträgt, genauer zu untersuchen.

Es ist allgemein bekannt, daß in erster Linie der Wind der Träger des allgemeinen Witterungscharakters ist. Gerade bei uns in Mitteleuropa sind die für westliche und östliche Windströmungen typischen Wetterlagen derartig charakteristisch und unterschieden, daß man geradezu von einem West- und Ostwetter sprechen kann. Im Winter tragen die westlichen Winde die relativ warme und feuchte Luft des Atlantischen Ozeans in unser Gebiet herein, sodaß vorwiegend trübes, regnerisches Tauwetter besteht; die östlichen Winde führen in der gleichen Jahreszeit die trockene und kalte Luft des Kontinentes zu, sodaß trockenes, heiteres oder nebeliges Frostwetter vorherrscht. In der warmen Jahreszeit bedingt die westliche Luftzufuhr naßkaltes Wetter, die östliche trockene, sehr warme Witterung. Auch andere Windrichtungen haben typische Wetterlagen im Gefolge. Beobachten wir in München beispielsweise südliche Luftströmung, so verzeichnen wir in der Regel eine durch heiteren Himmel, mehr oder minder große Lufttrockenheit und relativ hohe Wärme ausgezeichnete Witterung. Wir haben Föhnlage, d. h. eine Witterung, die durch die Eigenschaften einer Luftströmung bestimmt ist, welche an der Südseite der Alpen durch die Geländeerhebung zu aufsteigender Bewegung, an der Nordseite hingegen zu absteigender Bewegung gezwungen wurde. Die aufsteigenden Luftmassen am Südhange der Alpen gelangen unter immer geringeren Luftdruck, dehnen sich aus und erfahren hiedurch, da eine nennenswerte Wärmezufuhr fehlt, kräftige Ab-

kühlung. Es tritt Kondensation des mitgeführten Wasserdampfes und starke Niederschlagsbildung ein. Bei der Niederschlagsbildung wird aber die sogenannte Kondensationswärme frei, die nun von den Luftmassen über den Alpenkamm mitgeführt wird. Beim Abstiege wird dann die unter höheren Luftdruck gelangende Luft noch weiter kräftig erwärmt, die Kondensationsprodukte verdunsten, es bildet sich heiterer Himmel und die Luft gelangt relativ trocken und warm in die Niederung.

Weht dagegen in München nördlicher Wind, so strömt die Luft gegen das Gebirge an und wird nun durch den Geländeaufbau am Nordrande der Alpen zum Anstiege gezwungen. Es tritt wieder rasche Abkühlung der Luftmassen, Trübung und Niederschlagsbildung ein. Bei nordwestlichen bis nördlichen Winden ist in unserer Gegend die Niederschlagsbildung am kräftigsten und führt mitunter zu katastrophalen Hochwässern.

Wir erkennen jetzt schon, daß für den Witterungszustand nicht die augenblickliche, örtliche Windrichtung bestimmend ist, sondern die Herkunft der in der Windströmung transportierten Luftmassen. Über diese gibt aber nur die Wetterkarte die erwünschte Auskunft.

Weiterhin wissen wir, daß zwischen den Luftströmungen und der jeweiligen Luftdruckverteilung eine innige, durch das barische Windgesetz ausgesprochene Beziehung besteht. Besteht über einer Erdzegend niedriger Luftdruck, so strömt nach derselben von allen Seiten her die Luft zu. Diese zugeführte Luft muß wieder abtransportiert werden und wir erkennen leicht, daß dies nur durch vertikal nach aufwärts gerichtete Luftbewegung geschehen kann. Die Luft nimmt also über Tiefdruckgebieten aufsteigende Bewegung an, gelangt dabei unter immer geringeren Luftdruck und dehnt sich dementsprechend aus. Diese Ausdehnung ist aber mit Abkühlung verbunden, die endlich zu Wolkenbildung und Niederschlägen führt. Wir sehen also, daß im Gefolge der Tiefdruckgebiete trübes und niederschlagsreiches Wetter eintreten muß.

Betrachten wir hingegen ein Hochdruckgebiet, aus dem nach allen Seiten nach den Regeln des barischen Windgesetzes die Luft abgeführt wird, so erkennen wir, daß diese Luft durch absteigende Bewegung über dem Hochdruckkerne ersetzt werden muß. Die aus den höheren Atmosphärenschichten absteigenden Luftmassen gelangen aber unter immer höheren Druck, erwärmen sich bei der stattfindenden Volumenvereinigung, sodaß heiteres und trockenes Wetter folgt.

Nun haben wir schon wichtige Gesichtspunkte gewonnen, die uns in den meisten Fällen den kausalen Zusammenhang der jeweiligen Witterung mit der Luftdruckverteilung und den Strömungsverhältnissen in der weiteren Umgebung erkennen lassen. Wir können nun aber auch bereits die Frage stellen, deren präzise Beantwortung das Problem der Wettervorhersage lösen würde. Sie lautet: „Wie gestaltet sich die Luftdruckverteilung in der kommenden Zeit?, oder aber „Wie verlaufen die Luftströmungen in der nächsten Zukunft über der weiteren Umgebung des Prognosenbezirk?“ Beide Fragestellungen sind bis zu einem gewissen Grade gleichwertig, da wir ja die gegenseitige Abhängigkeit der Luftdruck- und Windverteilung auf Grund des barischen Windgesetzes kennen.

In der Einleitung haben wir bereits erwähnt, daß es Erdgegenden gibt, in denen der Wind in ziemlich festen Perioden seine Richtung ändert. In solchen Gegenden gestaltet sich das Problem der Wettervorhersage sehr einfach. In unseren Breiten hingegen erfolgt die Änderung der Windrichtung, wie auch der Windgeschwindigkeit anscheinend völlig regellos, wenigstens was die zeitliche Aufeinanderfolge der Windrichtungen und deren Dauer betrifft. Die Windrichtung ändert sich fortgesetzt mit der Luftdruckverteilung über einem größeren Erdraume, in bestimmtem Rhythmus wiederkehrende Perioden sind uns unbekannt.

Nun müssen wir uns fragen: „Können wir aus einer durch eine Wetterkarte gegebenen Luftdruckverteilung auf eine zu einem späteren Zeitpunkte schließen?“ Unmöglich ist die Lösung dieser Aufgabe an sich nicht, denn die meteorologischen Elemente sind unter sich und zeitlich durch die Gesetze der Physik verknüpft. Aber vorerst sind wir von der Verwirklichung der Aufgabe, aus einer gegebenen Luftdruckverteilung die kommende durch Rechnung abzuleiten, noch sehr weit entfernt. Es sind Schwierigkeiten teils theoretischer, teils praktischer Art, welche sich dieser exakten Lösung der Wettervorhersage entgegenstellen.

Vorerst arbeitet der Prognostiker nur auf der Grundlage seiner Erfahrung, und seine Tätigkeit ist sehr ähnlich jener des Arztes, der den mutmaßlichen Verlauf einer Krankheit nur aus bestimmten, mehr oder minder sicheren Symptomen bestimmen kann. Durch eingehendes Studium und langjährige Erfahrung sind gewisse Vorgänge im Luftmeere in Zusammenhang gebracht worden mit Er-

scheinungen, welche für den Eintritt der fraglichen Vorgänge symptomatisch sind. Diese Symptome richtig zu erkennen und in ihrer Wirkung abzuschätzen, bildet vorerst noch die grundlegende Aufgabe der Wettervorhersage.

Aus tausendfältiger Erfahrung wissen wir, daß die Hoch- und Tiefdruckgebiete, die nach Aussage des barischen Windgesetzes als Divergenz- und Konvergenzorte der Luftströmungen zu betrachten sind, zumeist eine von West nach Ost gerichtete Bewegung aufweisen, deren Geschwindigkeit allerdings von Fall zu Fall sehr veränderlich ist. Wir wissen weiter, daß die Tiefdruckgebiete im allgemeinen mehr beweglich sind, als die Hochdruckgebiete, die mehr das stabile Element der Luftdruckverteilung darstellen. Endlich wissen wir, daß die Tiefdruckgebiete mit Vorliebe bestimmte Zugstraßen verfolgen und daß die Frequenz dieser Zugstraßen nach den Jahreszeiten wechselt.

Diese Tatsachen, die allerdings nur im großen Ganzen, nicht aber in jedem Einzelfalle richtig sind, müssen nun im Zusammenhange mit fortgesetzten Beobachtungen wichtiger Erscheinungen, wie Wolkenform und Zug, Barometergang, Temperaturverlauf, Verhalten des Windes die Grundlagen für die Wettervorhersage bilden.

Nun kommt es also in erster Linie darauf an, jedes typische Symptom eines Vorgangs möglichst frühzeitig zu erkennen und dann richtig in seiner Tragweite zu beurteilen.

Eines der wichtigsten Symptome einer bevorstehenden Veränderung des atmosphärischen Zustandes ist das Auftreten eines Tiefdruckgebietes über dem Atlantik. Da nach unserer Erfahrung die Tiefdruckgebiete vorwiegend west-östliche Bahn verfolgen, so werden wir bemüht sein, den unserer Beobachtung und Nachrichtenübermittlung zugänglichen Erdraum möglichst weit nach Westen auszudehnen, um so möglichst frühzeitig die vordringende Depression zu erkennen. Hierauf werden die für die Wettervorhersage ausschlaggebenden Fragen vor allem folgende sein: Welchen Weg verfolgt die Depression, mit welcher Geschwindigkeit bewegt sie sich fort und welche Veränderungen an Stärke und Ausdehnung erfährt sie während ihrer Bewegung?

Auch die Beantwortung dieser Fragen kann nicht exakt erfolgen, sondern wieder nur auf Grund langjähriger Erfahrung und symptomatischer Erscheinungen. Zunächst wird die gegebene Wind-, Luftdruck- und Temperaturverteilung in Betracht zu ziehen sein.

um dann auf Grund bestimmter Regeln die Richtung des Fortschreitens der Depression, sowie die Wahrscheinlichkeit ihrer Vertiefung oder Ausfüllung voranzubestimmen. Solche Regeln sind in beträchtlicher Zahl aufgestellt worden, in zusammenfassender Weise besonders klar und originell von Guilbert. In einer für die praktische Verwendung günstigen Diktion lauten dieselben folgendermaßen:

„Wo der Wind stärker weht, als es dem bestehenden Luftdruckgefälle entspricht, steigt der Luftdruck innerhalb der nächsten 24 Stunden, wo er zu schwach ist, fällt das Barometer. Ist ein Tiefdruckgebiet allseitig von zu starken Winden umgeben, so füllt sich die Depression aus, wenn überall zu schwache Winde herrschen, so vertieft sich die Depression. Sind die Winde zu stark auf der einen Seite, zu schwach auf der anderen, so schreitet das Tiefdruckgebiet nach der Seite fort, wo die schwachen Winde herrschen. Der Luftdruck steigt auf der Seite der übernormalen Winde.“

Gestützt auf die Erfahrungen der täglichen Wetterkarten hat Defant Untersuchungen über das gegenseitige Verhalten der Änderungen von Temperatur und Luftdruck an der Erdoberfläche angestellt, die zu einer beachtenswerten Regel führten. Defant entwarf für die Morgenkarten sogenannte Isallobaren und Isallothermen, das heißt, er zog die Linien gleicher 24stündiger Änderungen des Barometers und des Thermometers und untersuchte die Beziehungen, die zwischen den von diesen Linien umschlossenen Änderungsgebieten und den Luftströmungen an der Erdoberfläche bestehen. Er fand: „Verlaufen die Strömungslinien der Luft von einem Fallgebiet der Temperatur in ein Steiggebiet der Temperatur, so findet in letzterem Gebiete eine Druckzunahme statt, die umso größer ist, je größer die isallothermische Differenz beider Gebiete ist, verlaufen die Strömungslinien von einem Steiggebiet in ein Fallgebiet der Temperatur, so fällt der Druck in letzterem Gebiete“.

Nun kennen wir bereits eine Reihe wichtiger Erfahrungstatsachen und Regeln, die bei der Stellung der Wettervorhersage als Grundlage dienen können. Wir wollen nun einmal für einen gegebenen Fall eine Vorhersage ableiten.

6 b. Die Praxis der Wettervorhersage.

Die große Bedeutung der Wetterkarte liegt nach unseren bisherigen Ausführungen darin, daß sie uns die augenblickliche Wetterlage eines größeren Erdraumes zu übersehen gestattet und Symptome erkennen läßt, welche für den weiteren Witterungsverlauf typisch sind. In dieser Hinsicht gilt uns die Wetterkarte als Grundlage der Wettervorhersage, wir vergessen aber nicht, daß sie immer nur ein unvollkommener Behelf sein kann. Zunächst stellt ja die Wetterkarte nur eine Momentaufnahme einer fortdauernden und stetig veränderten Handlung dar, dann aber vermag sie mit ihren Symbolen und Zahldaten doch nur ein recht beiläufiges Bild des an den einzelnen Orten beobachteten Wetters zu geben. Genau so notdürftig, wie das sorgfältigste Studium der über ein Ereignis aufgenommenen Akten das wirkliche Miterleben ersetzt, führt uns der Entwurf und das Studium der Wetterkarte über die Unmöglichkeit direkter Beobachtung der gleichzeitigen Witterungsvorgänge über einem größeren Erdraume hinweg. Da aber der Witterungsverlauf an einem Orte immer als Phase des Witterungsablaufes über der weiteren Umgebung des Ortes anzusehen ist, so sind auch Rückschlüsse aus örtlichen Beobachtungen auf die regionalen Vorgänge möglich und bei Abfassung einer guten Wettervorhersage geradezu unentbehrlich. Wir wollen nunmehr an einem Beispiel die wahre Methode der Wettervorhersage charakterisieren.

Betrachten wir die Wetterkarte vom 8. April 1912 für die Morgenstunde 8 Uhr (Fig. 7). Über Südwesteuropa, sowie über Ostbayern und Österreich lagen Kerne hohen Druckes mit Barometerständen von mehr als 765 Millimetern. Nördlich von Schottland lag eine tiefe Depression mit Barometerständen von weniger als 740 Millimetern. Im äußersten Nordosten unseres Kartenbildes ist noch eine weitere Depression zu erkennen, der Luftdruck beträgt dortselbst noch weniger als 735 Millimeter. Der Verlauf der Isothermen Fig. 8 zeigt uns, daß über dem Mittelmeergebiete Temperaturen von mehr als $+ 10^{\circ}$, hingegen über Nordeuropa Temperaturen von weniger als $- 5^{\circ}$, über Finnland und Lappland sogar von weniger als $- 10^{\circ}$ Celsius verzeichnet wurden.

Die erste Frage, die wir uns bei Betrachtung der Wetterkarte vorlegen werden, ist die nach der Herkunft der hauptsächlichsten Luftdruckgebilde, oder, wie man sie wohl auch nennt, der Hauptaktionszentren. Mit anderen Worten, wir wollen wissen, wie sich die augenblickliche Wetterlage allmählich entwickelt hat. Die Wetterkarten der vorangehenden Tage lassen erkennen, daß die im Nordosten unserer Karte befindliche Depression auf dem Wege von Island über Nordskandinavien und Lappland gezogen war, daß seit einer Reihe von Tagen der Kern des hohen Druckes über Südwesteuropa lagerte und daß die nördlich von Schottland vorhandene Depression noch am Tage vorher weit im Westen auf dem Ozeane gelegen war. Am Abende des Vortrages war sie bereits deutlich südlich von Island nachweisbar.

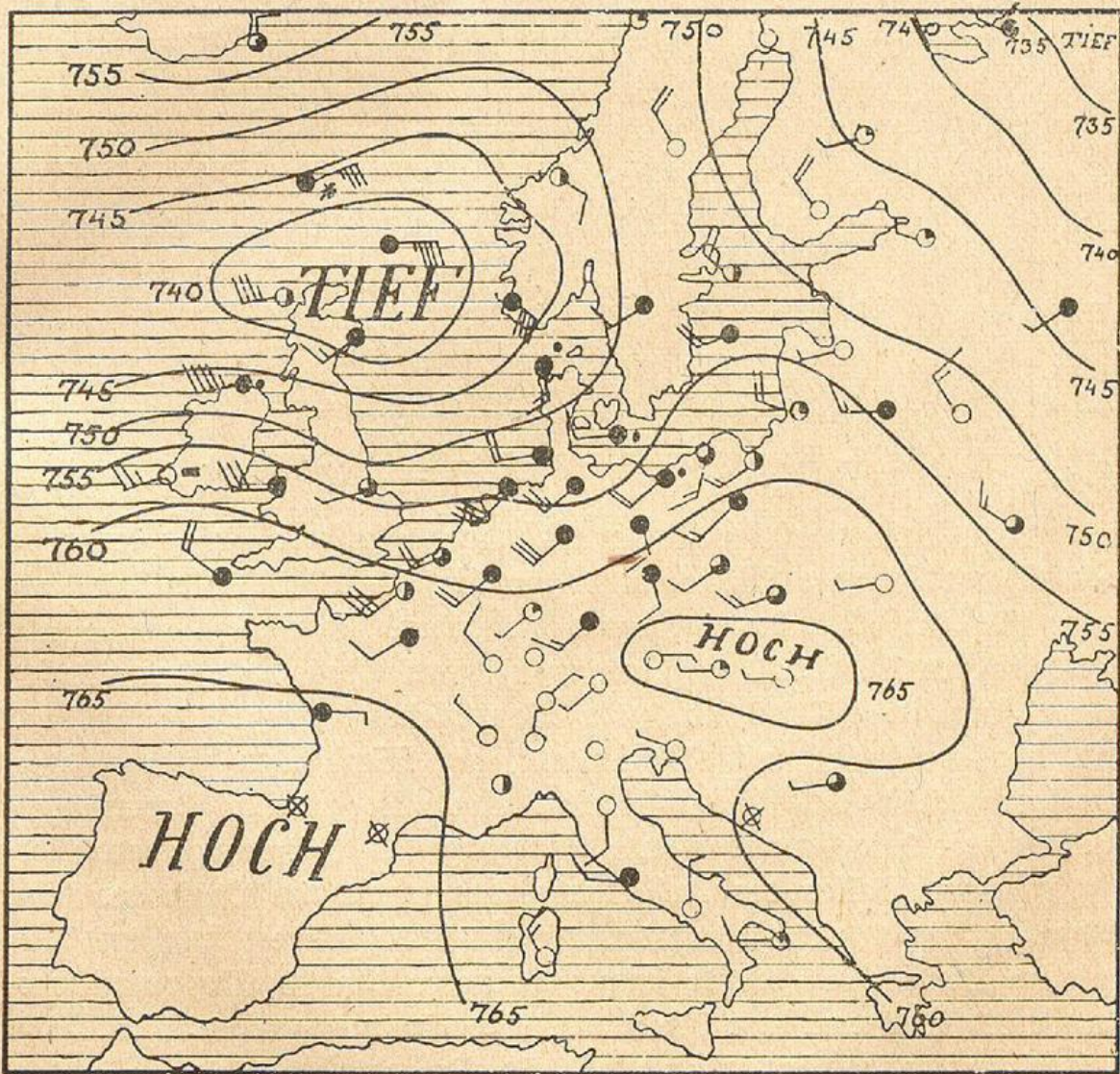


Fig. 7. Wetterkarte vom 8. April 1912 morgens.

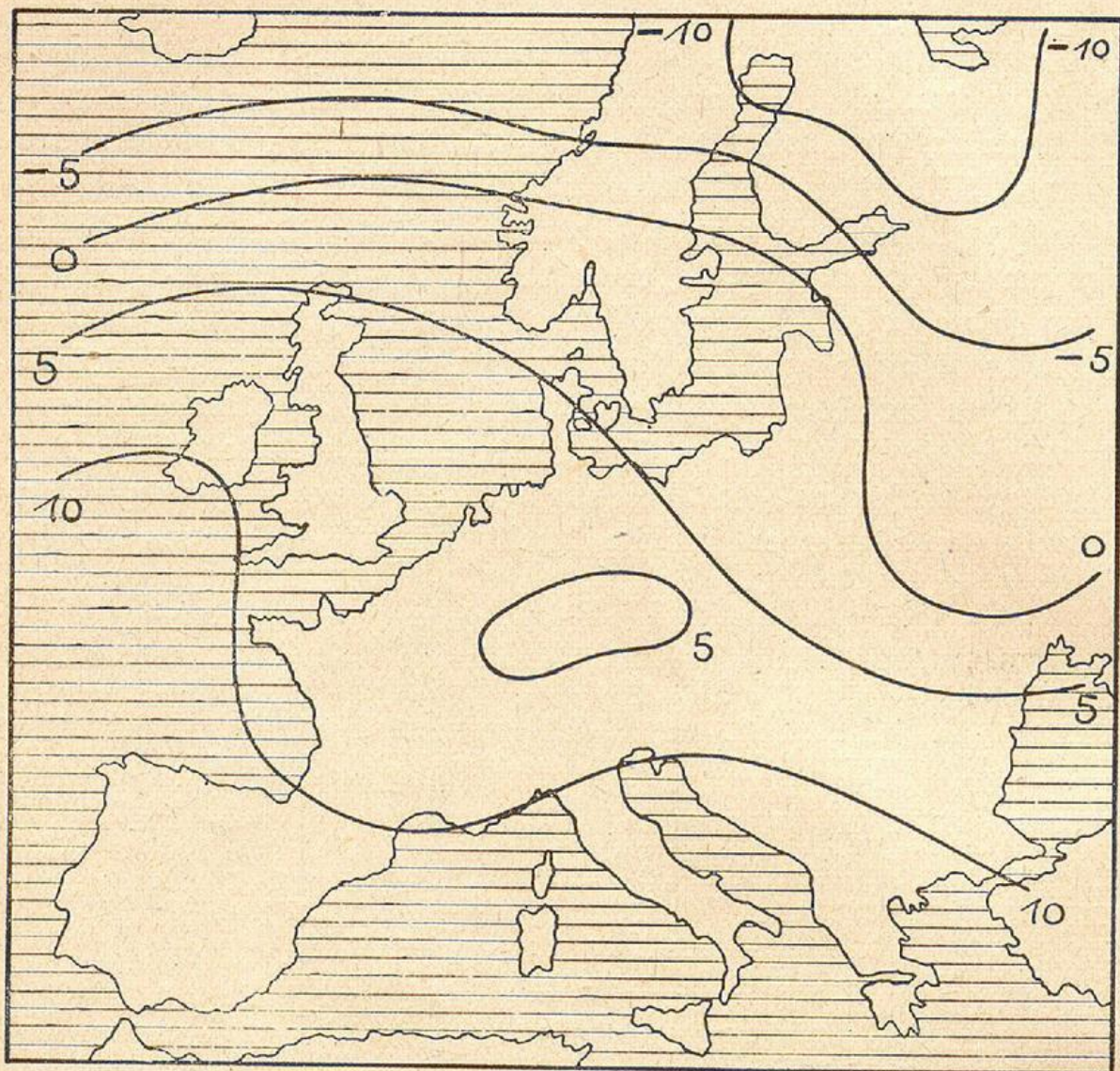


Fig. 8. Temperaturverteilung vom 8. April 1912 morgens.

Nun wollen wir versuchen, auf Grund unserer bisher errungenen Kenntnisse eine Wettervorhersage für die allernächste Zeit und zwar für die Münchener Gegend zu gehen. Dortselbst wurde am Morgen des 8. April wolkenloser Himmel beobachtet, das Barometer stand auf 717,2 mm, die Temperatur betrug 7,3° Celsius, die relative Feuchtigkeit 76 Prozent, der Wind kam mit geringer Geschwindigkeit aus Südwest. Im Laufe der ersten Vormittagsstunden trat keine nennenswerte Änderung des Witterungscharakters ein, nur das Fallen des Luftdruckes, das bereits im Laufe der vergangenen Nacht eingesetzt hatte, dauerte unvermindert fort und die relative Feuchtigkeit wurde immer geringer. Um 10 Uhr vormittags wurde ein Luftdruck von 715,3 mm, eine Temperatur von 13,5 Grad und eine relative Feuchtigkeit von 54 Prozent beobachtet. Weitere Beobachtungen sollen bei Ausgabe der Vorhersage nicht zur Verfügung sein.

Man wird nunmehr in erster Linie die Zusammenhänge zwischen den Beobachtungsergebnissen und der allgemeinen Wetterlage, wie sie durch die Wetterkarte gegeben ist, herzustellen suchen. Das ist im vorliegenden Falle nicht schwierig. Zunächst ist das fortgesetzte Fallen des Luftdruckes durch das Auftreten der neuen Depression im Westen Europas vollständig erklärt. Der heitere Himmel bei verhältnismäßig hohen Temperaturen und großer Lufttrockenheit läßt auf Föhnlage schließen. Auch die große Durchsichtigkeit der Luft, die durch das deutliche Hervortreten der Alpenkette im Süden Münchens bewiesen wurde, rechtfertigt diesen Schluß. Aus alledem ergibt sich unzweifelhaft, daß das die Witterung der Münchener Umgebung beherrschende Aktionszentrum das im Norden Schottlands gelegene Tiefdruckgebiet ist. Von dessen Verhalten wird auch in Zukunft die Witterung in erster Linie abhängen.

Nunmehr wollen wir unsere Wetterkarte zur Hand nehmen und nachsehen, ob wir nicht bestimmte Anhaltspunkte für die zu erwartende Ortsverlagerung des Tiefdruckgebietes vorfinden. Da sehen wir nun, daß über dem ganzen Ostseegebiete Winde aus nördlicher bis westlicher Richtung wehen, während doch die über Nordschottland gelegene Depression südliche bis südöstliche Winde fordern würde. Wir verzeichnen demnach über dem Ostseegebiete Winde, welche in Bezug auf die heranziehende Depression *divergent* sind und nach langjähriger Erfahrung ist dadurch die Bahn der Depression mit großer Wahrscheinlichkeit festgesetzt. Die Depression wird sozusagen in der Richtung der *divergierenden* Winde fortgezogen, sie wird also im vorliegenden Falle gegen die südliche Ostsee vordringen. Wir haben hier die Guilbert'schen Regeln in einer etwas anderen Fassung mitgeteilt, als wir sie früher zitierten, doch ist die gleiche Bedeutung *divergierender* und *übermäßig schwacher* sowie *konvergierender* und *übermäßig starker* Winde wohl ohne weitere Ausführung klar. Wir hätten auch die Luftdruckverteilung mit anderen Worten charakterisieren und folgendes aussagen können: „Auf eine Depression über Nordrußland folgt ein schwacher Hochdruckrücken über dem Ostseegebiete und hierauf eine neue Depression über dem Europäischen Nordmeere.“ Dann hätten wir nach dem Großmann'schen Prinzipie schlußfolgern können: „Tiefdruckgebiete schreiten mit Vorliebe in 24 Stunden nach der Stätte der ihnen vorangehenden Hochdruckgebiete und diese nach derjenigen des vorangehenden Tiefdruckgebietes fort.“ Auch die Anwendung dieses Prinzipes

hätte uns auf das gleiche Ergebnis geführt, daß die Depression ostwärts vordringen und am folgenden Tage über der Ostsee anzutreffen sein wird.

Wie wird sich dann die neue Luftdruckverteilung gestalten? Mit dem Vordringen des Tiefdruckzentrums nach der Ostsee wird der Luftdruck über ganz Mitteleuropa noch weiter fallen. Nach dem barischen Windgesetze werden über Deutschland westliche Winde, über Frankreich nordwestliche und über den britischen Inseln nördliche Winde auftreten. Die nach Südbayern zugeführte Luft wird also in Bälde aus der Gegend von Nordwesteuropa stammen, woselbst niedrige Temperaturen bestehen. Unsere Temperaturprognose wird also auf Abkühlung lauten. Mit dem östlichen Vordringen der Depression wird aber auch die Föhnlage bald ihr Ende erreichen. Dieselbe ist durch südliche Windrichtung in der Höhe bedingt, die aber bald durch nordwestliche Richtung abgelöst werden wird. Es wird also bald zunehmende Bewölkung, dann völlige Trübung und Niederschlag zu erwarten sein. Der Niederschlag wird der Jahreszeit entsprechend zunächst als Regen, bei fortschreitender Abkühlung als Schnee fallen. Die Vorhersage würde also mit einem vollkommenen Wettersturz zu rechnen haben und etwa folgendermaßen auszusprechen sein: Zunahme der Bewölkung bis zu völliger Trübung, Auftreten von Regenfällen, die bei andauernder Abkühlung in Schnee übergehen werden. Tatsächlich wurde in München am 9. April 1912 am Morgen noch eine Temperatur von 8.9° Celsius bei völlig bedecktem Himmel und leichtem Regen beobachtet, mittags 2 Uhr betrug die Temperatur nur mehr 2.9 Grad, der Niederschlag fiel als ein Gemisch von Regen und Schnee, der Himmel war völlig von schweren Wolken bedeckt.

Wir haben in diesem Beispiele gesehen, wie man auf Grund der Kenntnisse der vorangegangenen und der gegenwärtigen Wetterlage und unter eingehender Berücksichtigung des tatsächlichen, örtlichen Witterungsverlaufes durch die Anwendung gewisser aus der Erfahrung gewonnener Regeln zu vollauf befriedigenden Erfolgen gelangen kann. Die Grundlage seiner wissenschaftlichen Vorhersage bildet immer möglichst umfassende Kenntnis der gegebenen Wetterlage, dann kann mit Hilfe lokaler Beobachtungen schon sehr viel erreicht werden. Unter diesem Gesichtspunkte wollen wir nun einmal die so häufig geübte Methode der Wettervorhersage auf Grund der Angaben eines Barometers allein einer kurzen Kritik unterziehen.

Nach unseren früheren Ausführungen sind die Tiefdruckgebiete von trübem und regnerischem, oft auch stürmischem Wetter begleitet, während unter der Herrschaft hohen Luftdruckes heiteres und trockenes Wetter besteht. Man hat versucht, diese Erfahrungstatsache für eine Wettervorhersage einfachster Art zu benützen. Fallendes Barometer deutet auf die Annäherung einer Depression, also auf das Aufkommen trübem, regnerischen und unruhigen Wetters hin, steigendes Barometer zeigt das Herannahen hohen Druckes an, der heiteres, trockenes und ruhiges Wetter mit sich führt. Würden diese Sätze überall und zu allen Zeiten streng richtig sein, dann könnte man aus dem Gange des Luftdruckes wenigstens für die allernächste Zeit ungefähre Vorhersagen ableiten und das Barometer mit einigem Recht als „Wetterglas“ ansprechen. Aber wir überzeugen uns bald, daß die eben ausgesprochenen Beziehungen nicht immer gültig sind.

Vergleichen wir einmal den Gang des Luftdruckes und den gleichzeitigen Witterungsverlauf in München, wenn eine Depression quer durch Zentraleuropa hindurchzieht. Solange die Depression westlich von München sich befindet, also etwa vom Kanale gegen Mitteldeutschland vordringt, verzeichnet das Ortsbarometer in München andauernde Luftdruckabnahme. Nach dem barischen Windgesetze muß in München südöstliche bis südliche Luftströmung herrschen, also Föhnlage mit heiterem, warmem und trockenem Wetter. Sobald nun die Depression die Länge von München überschritten hat, beginnt das Barometer zu steigen, und der Wind geht rasch von Süd über West auf Nordwest über. Damit hat die Föhnlage ihr Ende erreicht, es kommt aus Gründen, die wir bereits an früherer Stelle aufgeführt haben, zu Trübung, Abkühlung und Niederschlägen. Wir sehen also, daß im vorliegenden Falle das Sinken des Luftdruckes von schönem Wetter, das Steigen desselben von ungünstigem Wetter begleitet ist, sodaß also die auf den Skalen der Barometer häufig angebrachten Witterungsbezeichnungen ganz unrichtig sind.

Durch den Geländeaufbau der nächsten Umgebung, hier die Nähe der Alpen, kann der Witterungscharakter einer Gegend ganz wesentlich umgestaltet werden. In Norddeutschland, etwa in Berlin, würden die Aufschriften der Barometer schon besser stimmen, da dortselbst der Einfluß der Alpen nicht mehr bemerkbar wird. Dort tritt in der Regel bei fallendem Luftdruck Verschlechterung, bei steigendem Luftdruck eine Besserung des Wetters auf. Aber ein zuverlässiger Wetterprophet ist das Barometer auch dort nicht, da

wir eben ohne die Grundlage einer Wetterkarte über die wahren Ursachen des Luftdruckganges völlig im Unklaren sind. Sobald wir aber durch das Studium der Wetterkarte fortlaufend unsere Kenntnisse über die allgemeine Wetterlage Europas auf dem Laufenden erhalten, werden wir aus lokalen Beobachtungen wertvolle Aufschlüsse über den künftigen Witterungsverlauf, wenigstens für die allernächste Zeit, ziehen können.

Zumeist wird man sich mit der Feststellung des Luftdruckes, der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit mit Hilfe von Instrumenten, sowie mit der Beobachtung des allgemeinen Witterungscharakters begnügen müssen. Die Ablesungen an den Instrumenten besitzen nur dann wissenschaftlichen Wert, wenn die Apparate gut gearbeitet und geprüft und in vorschriftsmäßiger Aufstellung untergebracht sind. Insbesondere die Feststellung der wahren Lufttemperatur und des wahren Feuchtigkeitszustandes ist mit nicht unbedeutenden Schwierigkeiten verbunden. Man muß sorgfältig darauf achten, daß die Instrumente vor jeder direkten und indirekten Strahlung der Sonne oder künstlicher Wärmequellen geschützt sind und daß sie dabei mit der Luft, deren Wärme- oder Feuchtigkeitszustand gemessen werden soll, in möglichst innige und unmittelbare Berührung kommen. Das Barometer, am besten ein gutes Quecksilberbarometer, soll in einem ungeheizten Raume so aufgestellt werden, daß es vor allen Einflüssen geschützt ist, die eine rasche Temperaturänderung des Instrumentes zur Folge haben könnten. Nähere Angaben über günstige Aufstellung der Instrumente finden sich in den Anleitungen zur Ausführung meteorologischer Beobachtung der staatlichen Beobachtungsneze, auf welche hier verwiesen werden muß.

Die Beobachtungen ohne Zuhilfenahme von besonderen Instrumenten beziehen sich auf Windrichtung und Windstärke, Bewölkung, Niederschlag usw. Auch hierüber möge nähere Belehrung aus den erwähnten Anleitungen erholt werden.

Man muß einige Zeit systematisch beobachten und die Ergebnisse der Beobachtungen in Vergleich bringen mit den Angaben der Wetterkarten, um brauchbare Erfahrungen für die Wettervorhersage zu sammeln. Die Möglichkeit einer verlässigen Voraussage wächst mit der Kenntnis der vergangenen und gegenwärtigen Wetterlage, und um diese Kenntnis möglichst umfassend und tiefgehend zu gestalten, muß man fortgesetzt lokale Beobachtungen anstellen und dieselben einordnen in die durch die Wetterkarten gegebene allgemeine Wetterlage Europas. Solche Studien sind viel erfolgreicher,

als das Sammeln und Anwenden zahlreicher Regeln, die vielleicht im allgemeinen Durchschnitte ihre Bestätigung finden, im Einzelfalle aber völlig versagen können.

Wer über eine gute Instrumentenaufstellung verfügt, der kann mit Erfolg eine Art Wettervorhersage durchführen, die für mannigfache Zwecke des Lebens von großer Bedeutung ist, nämlich eine *Nachtfrostprognose*.

Unsere Luft enthält zu jeder Zeit mehr oder minder große Mengen Wasserdampf, der durch die fortgesetzt stattfindende Verdunstung an allen freien Wasserflächen und durch die Tätigkeit der Pflanzen herbeigeführt wird. Die Aufnahmefähigkeit der Luft für Wasserdampf ist aber nicht unbegrenzt, sondern für jede Temperatur besteht ein Maximalbetrag, die sogen. Sättigungsmenge. So kann ein Kubikmeter Luft von 0 Grad höchstens 4,6 g Wasserdampf, hingegen ein Kubikmeter Luft von 20 Grad 17,3 Gramm festhalten. Sehr häufig kommt nun der Fall vor, daß die Luft so sehr abkühlt, daß sie den in ihr enthaltenen Wasserdampf nicht mehr halten kann. Dann tritt Kondensation oder Verdichtung des Wasserdampfes ein, das heißt der Wasserdampf geht in den flüssigen Zustand über und wird als Niederschlag (Nebel, Tau, Regen usw.) sichtbar. Bei dem Vorgange der Kondensation wird aber Wärme frei, welche der Luft zugeführt wird und der weiteren Abkühlung entgegenwirkt. Findet also Abkühlung der Luft statt, so wird dieselbe mit dem Eintritte der Kondensation aufhören oder zum mindesten

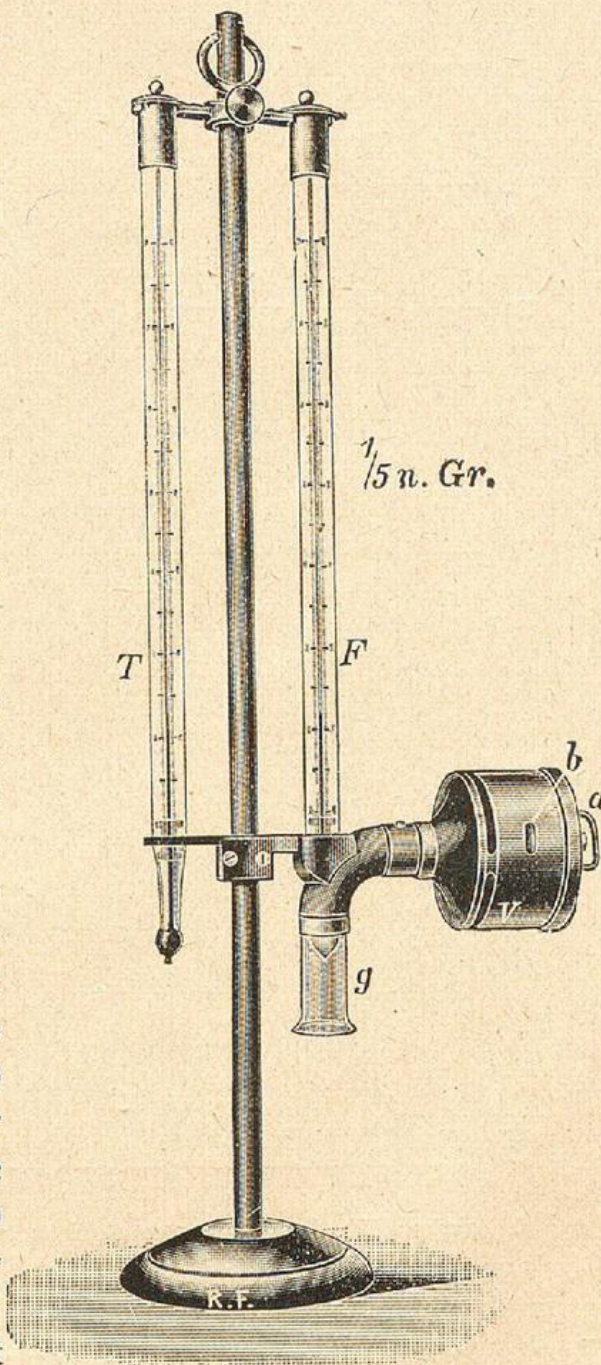


Fig 9. Psychrometer mit Aspirationsvorrichtung des feuchten Thermometers.

sehr verzögert werden. Die Kondensation tritt aber ein, wenn die Temperatur der Luft so weit gesunken ist, daß die vorhandene Wasserdampfmenge zur vollen Sättigung ausreicht. Diese Temperatur nennt man den Taupunkt. Liegt der Taupunkt einige Grade über dem Gefrierpunkte, so ist Nachtfrost nicht zu befürchten, wohl aber,

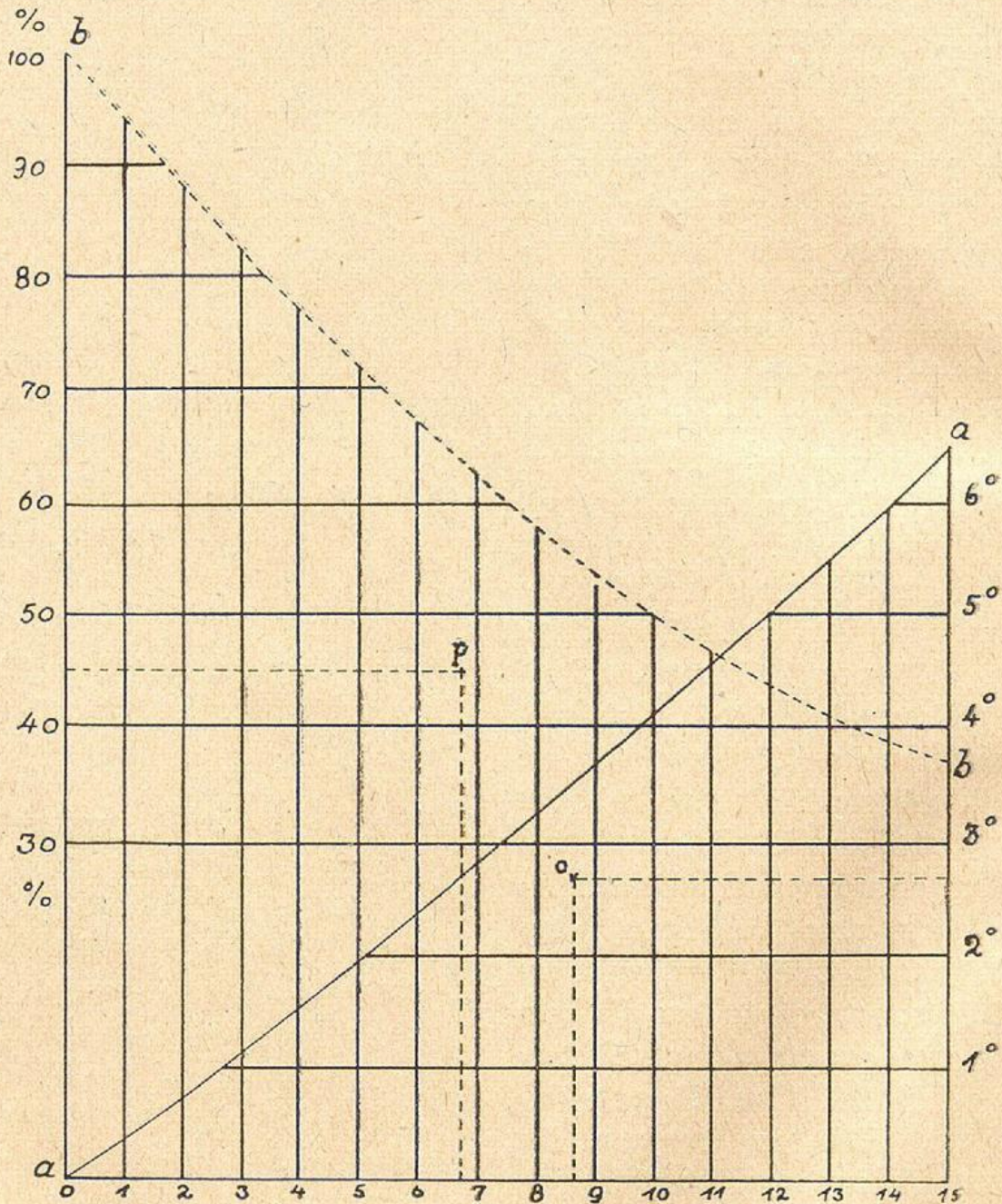


Fig. 10. Graphische Grundlage zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit. (Nachtfröstpoggnose).

wenn derselbe unter dem Gefrierpunkte sich befindet. Um also zu einer Nachtfrostprognose zu gelangen, ist es nur nötig, kurz nach Sonnenuntergang den Taupunkt zu bestimmen, um beurteilen zu können, ob Nachtfrost zu erwarten ist oder nicht.

Als Instrument zur Bestimmung des Taupunktes bedient man sich am besten des Psychrometers, das aus zwei in ihren Angaben völlig übereinstimmenden Thermometern besteht, welche nebeneinander aufgehängt sind (Fig. 9). Die Kugel des einen Thermometers ist mit Musselin umwickelt, der in ein unmittelbar darunter stehendes Gefäß mit destilliertem Wasser reicht, sodaß die Kugel beständig feucht erhalten wird. Solange nun die Luft nicht völlig mit Wasserdampf gesättigt ist, findet an jeder freien Wasseroberfläche Verdunstung statt, also auch an der Kugel des feuchten Thermometers. Zur Verdunstung ist jedoch Wärme erforderlich, welche der Quecksilbermasse des feuchten Thermometers entzogen wird, sodaß dieses in allen Fällen niedriger steht als das trockene, solange die Luft den Sättigungszustand nicht erreicht hat. Je trockener die Luft ist, umso rascher erfolgt die Verdunstung und umso größer ist der Temperaturunterschied beider Thermometer, oder, wie man sagt, die psychrometrische Differenz. Aus der Temperatur der Luft und derjenigen des feuchten Thermometers läßt sich nun die jeweilige Luftfeuchtigkeit mit Hilfe der beistehenden graphischen Darstellung (Fig. 10) rasch ableiten. Die Temperaturen (Angaben des trockenen Thermometers) sind in der Figur wagerecht, die Psychrometerdifferenzen senkrecht eingetragen. Die Linie aa führt zur Ermittlung des Taupunktes, das heißt jener Temperatur, bei welcher die Luft bei der vorhandenen Wasserdampfmenge völlig gesättigt wäre, die punktierte Linie bb zur Feststellung der relativen Feuchtigkeit, die das Verhältnis der tatsächlich vorhandenen Wasserdampfmenge zur Maximalmenge bei der herrschenden Temperatur angibt, wobei dieser Quotient mit 100 multipliziert wird.

Nehmen wir an, wir hätten am trockenen Thermometer 8,6, am feuchten dagegen 5,9° abgelesen, so ergäbe sich eine Psychrometerdifferenz von 2,7° Celsius. Man sucht nun in der wagerechten Temperaturreihe an der Basis der Figur den Ort der trockenen Temperaturangabe und in der vertikalen Reihe den Ort der psychrometrischen Differenz und zieht nun eine vertikale und eine horizontale Linie, so wie in der Figur angedeutet. Man gelangt zum Punkte O, der in unserem Beispiele unterhalb der Linie aa zu liegen kommt. Bei dieser Lage ist Nachtfrost nicht wahrscheinlich und zwar umso weniger, je tiefer Punkt O unter der Linie aa liegt.

Viele Beobachter besitzen kein Psychrometer, sondern ein Hygrometer, ein Instrument, das ohne festgesetzte Kontrolle allerdings nur

recht fragliche Angaben liefert (Fig. 11). Nehmen wir an, man beobachtet an diesem Instrumente 45° relative Feuchtigkeit, während das trockene Thermometer $6,8^{\circ}$ zeigt. Die Figur zeigt, wie man zum Punkte p gelangt. In diesem Falle ist Nachtfrost wahrscheinlich, weil der Punkt p unter der Linie bb sich befindet. Nachtfrost wäre dagegen nicht wahrscheinlich, wenn der Punkt p über der Linie bb zu liegen kommt.

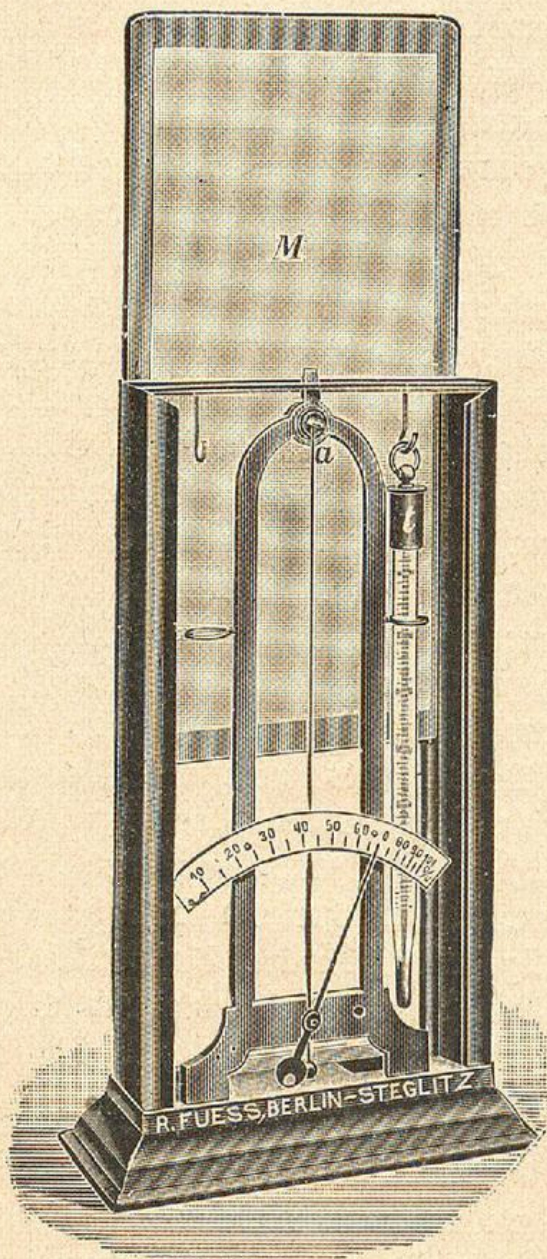


Fig. 11. Haarhygrometer.

Diese Art der Wettervorhersage eines besonderen Ereignisses läßt sich auch ohne Kenntnis der allgemeinen Wetterlage mit Erfolg durchführen, immerhin ist auch hier die Anlehnung an die allgemeine Wetterlage von großem Vorteil. Läßt die allgemeine Lage starke nächtliche Ausstrahlung bei wolkenfreiem Himmel und Windstille erwarten, also eine Witterung, wie sie unter der Herrschaft hohen Druckes vorkommt, so ist die Tatsache fortgesetzter nächtlicher Abkühlung verbürgt und, wenn dann der Taupunkt noch negativ bestimmt wird, der Eintritt von Nachtfrost als völlig sicher anzunehmen.

II. Die Wettervorhersage als Aufgabe der räumlichen Meteorologie.

7. Die Entwicklung der räumlichen Meteorologie.

Die Darlegungen der beiden letzten Abschnitte bewiesen uns, daß man durch den Entwurf einer Wetterkarte und durch systematische Beobachtung des örtlichen Witterungsverlaufes zu beachtenswerter Kenntnis der allgemeinen Wetterlage gelangen kann. Das ist aber die Grundbedingung einer erfolgreichen Wettervorhersage.

Betrachten wir jedoch das uns zur Beurteilung der gegebenen, wie der kommenden Wetterlage zu Gebote stehende Material etwas genauer, so erkennen wir rasch die Unvollkommenheit desselben und damit auch die wichtigste Ursache der gar nicht seltenen Fehlprognosen. Die Wetterkarte gibt uns die Luftdruckverteilung in einer Horizontalfläche, nämlich im Meeresniveau, die Verteilung der Temperatur, der Windrichtung und Windstärke hingegen längs der unregelmäßig geformten Erdoberfläche; die Beobachtungen am Orte beziehen sich gleichfalls mit Ausnahme der Bewölkung auf Vorgänge und Erscheinungen in nächster Nähe des Bodens. Die Witterungsvorgänge spielen sich aber im Raume ab und eine erschöpfende Darstellung der augenblicklichen Wetterlage kann nur eine Darstellung der Verteilung der wichtigsten meteorologischen Elemente im Raume sein. Die Methoden der Bodenmeteorologie sind nur richtig und hinreichend, wenn die Vorgänge im Luftraume sich eindeutig in typischen Erscheinungen auf einer Schnittfläche oder wenigstens der einer horizontalen Schnittfläche ziemlich benachbarten Erdoberfläche äußern. Dies ist aber, wie wir wissen, keineswegs der Fall. Allerdings weisen die Tief- und Hochdruckgebiete bestimmte vertikale Anordnungen der meteorologischen Elemente auf und dem ist es auch zu danken, daß die Methode der Wettervorhersage auf Grund der Wetterkarte nicht völlig erfolglos war. Aber die räumliche Verteilung der meteorologischen Elemente ist doch noch vieldeutig, selbst wenn wir voraussetzen, daß die Erscheinungen in einem

Horizontalschnitte die gleichen sind. Die Aufgabe, deren Lösung demnach zu einer Verbesserung der Wettervorhersage führen muß, ist also die, an die Stelle einer Flächendarstellung der synoptischen Erscheinungen der Witterung eine räumliche synchrone Darstellung zu setzen.

Man hat in meteorologischen Kreisen diese Notwendigkeit, Beobachtungen auch aus höheren Atmosphärenschichten bei der Erforschung der Wetterlage zu berücksichtigen, sehr bald erkannt. Zunächst stellte man umfangreiche und systematische Beobachtungen der Wolkenformen und Wolkenhöhen, der Richtung und der Geschwindigkeit des Wolkenzuges an und gewann hierdurch wertvolle Ergebnisse. Insbesondere die Beobachtung des Wolkenzuges gab interessante Aufschlüsse über den dynamischen Aufbau der Tief- und Hochdruckgebiete: Schon um die Mitte des vorigen Jahrhunderts hatte ein britischer Forscher den Erfahrungssatz aufgestellt: „Stellt sich ein Beobachter mit dem

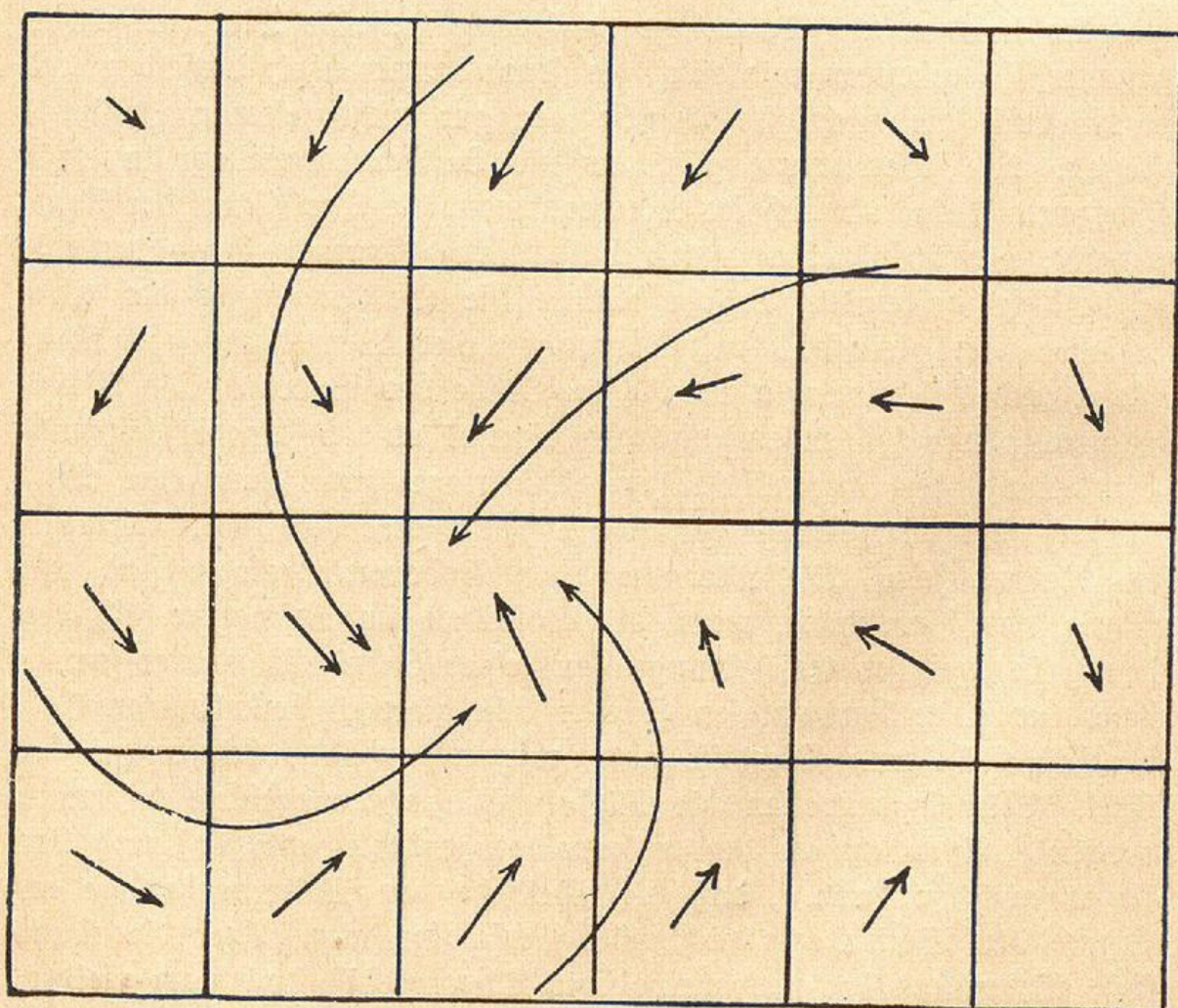


Fig. 12. Windströmungen in der Umgebung eines Tiefdruckzentrums an der Erdoberfläche.

Gesicht gegen die einer Depression zufließende Luftströmung, so kommen die Wolken aus einer Himmelsgegend zur Rechten des Windes, und der Winkel wird umso größer, je höher die Wolken sind." Diese Regel bedarf allerdings einer wesentlichen Einschränkung: sie gilt nicht für die Winde mit einer nördlichen Richtungskomponente, die vielmehr mit dem Anstieg in höhere Niveaus eine Drehung nach links aufweisen. Die beiden folgenden Figuren bringen das Beobachtungsergebnis, die Zirkulation der Luft um ein Barometerminimum an der Erdoberfläche und die gleichzeitigen Luftströmungen im Niveau der Cirruswolken (Eisnadelwolken in etwa 8000 Meter Höhe) zur Anschauung. Allerdings ist dieses Verhältnis (Fig. 12 u. 13) der unteren und oberen Windströmungen nicht über allen Erdteilen das gleiche. Von größter Wichtigkeit für die Wettervorhersage war die Erkenntnis, daß die Cirren dem eigentlichen Depressionszentrum oft sehr weit (viele hundert Kilometer) vorausseilen

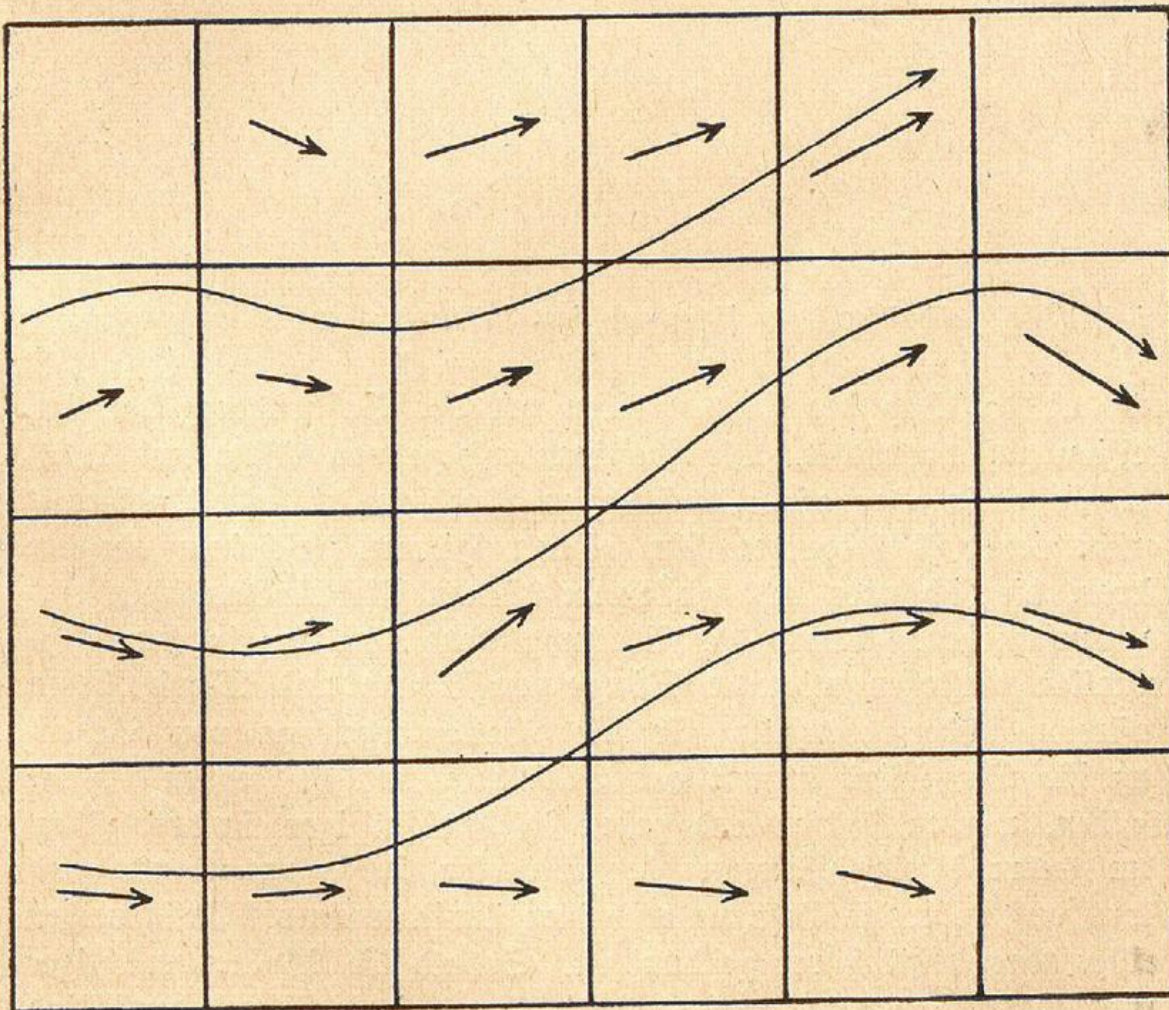


Fig. 13. Windströmungen in der Umgebung eines Tiefdruckgebietes im Cirrusniveau.

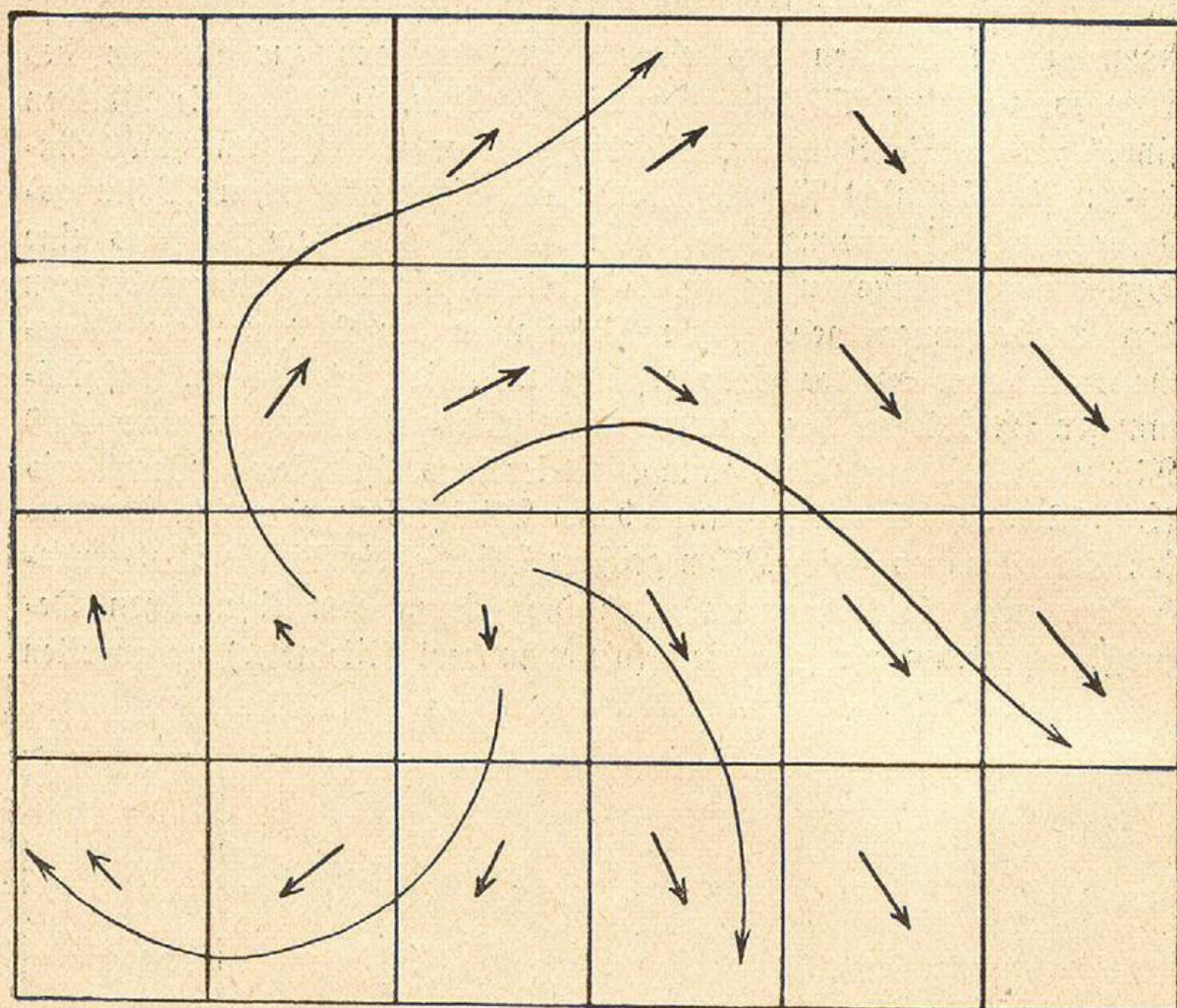


Fig. 14. Windströmungen in der Umgebung eines Hochdruckgebietes an der Erdoberfläche.

und daß der Zug der Cirruswolken mit der Bahnrichtung der Depression zusammenfällt. Die Aufeinanderfolge von Wind und Wolken für einen Beobachter, auf dessen Nordseite ein Tiefdruckgebiet vorüberzieht, ist folgende: Am blauen Himmel erscheinen einzelne Cirren, die sich aber bald zu einem dünnen Cirrostratusschleier zusammenschließen. Durch die Brechung der Strahlen in den Eiskristallen entstehen mitunter Ringe um Sonne und Mond, deren Auftreten daher ebenfalls für die Wettervorhersage von Bedeutung ist. Der Wind kommt aus Südost. Allmählich senken sich die Wolken, werden dichter und gehen in den flüssigen Zustand über. Nun treten infolge Beugung der Strahlen Höfe um Sonne und Mond auf, d. h. die Gestirne erscheinen inmitten eines bläulichweißen Feldes, das deutlich rot gesäumt ist. Sobald die Wolken mächtiger geworden sind (Stratocumulus) tritt Regen ein, während der Wind auf Südwest übergegangen ist. Der Luftdruck ist während der gan-

zen Zeit gesunken; dann geht der Wind oft unter böenartiger Anschwellung rasch auf West und Nordwest, das Barometer steigt und allmählich tritt wieder Aufklaren ein.

Diese Darstellung gilt für die weiten Meeresflächen und ebenes Land. Wo hohe Gebirge sich den Luftströmungen entgegenstellen, kann der zeitliche Verlauf der Witterung beim Vorüberzug einer Depression, wie wir schon wissen, erheblich verändert werden.

Die Luftbewegung in einem Hochdruckgebiete an der Erdoberfläche und im Niveau der Cirren veranschaulichen die nachstehenden Abbildungen (Fig. 14 u. 15). Schon die Tatsache, daß auch in den Hochdruckgebieten Cirren auftreten, die der Luftzirkulation des Hochdruckgebietes selbst angehören und nunmehr schönes Wetter anzeigen, beweist, daß Wettervorhersagen auf Grund von Wolken (Cirren-)Beobachtungen nur Erfolg haben können, wenn man durch eine Wetterkarte über die allgemeine Luftdruckverteilung orientiert ist.

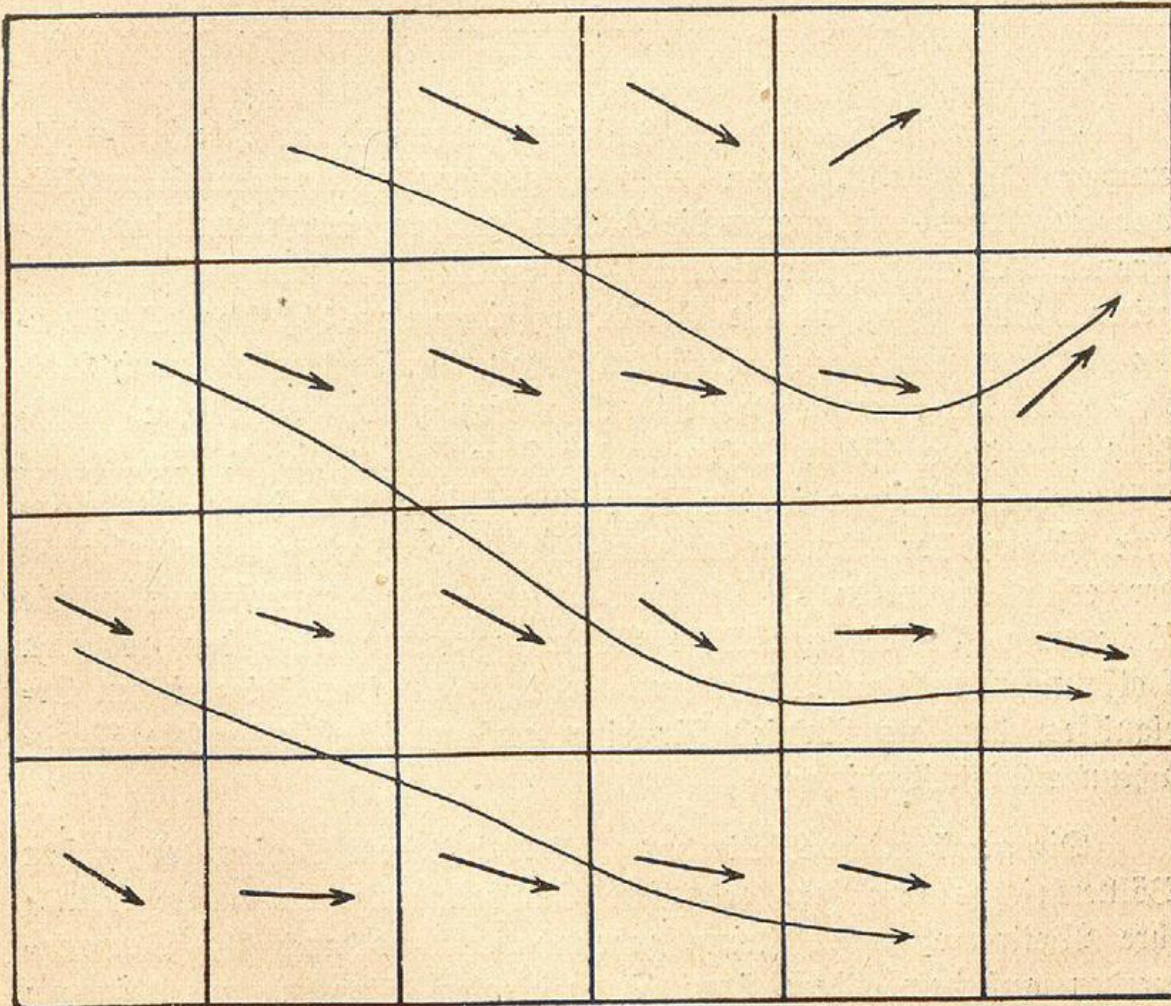


Fig. 15. Windströmungen in der Umgebung eines Hochdruckgebietes im Cirrusniveau.

Da Wolkenbeobachtungen doch immer nur gelegentlich angestellt werden können und zudem auch nur beschränkte Ergebnisse liefern können, so ging man an die Errichtung von Bergobservatorien, um auf diese Weise eine dauernde Beobachtung der meteorologischen Elemente und Vorgänge zu ermöglichen. Der Betrieb dieser Hochstationen hat unsere meteorologischen Kenntnisse ganz erheblich erweitert. Weil man aber die Knotenpunkte des Beobachtungsnetzes in den höheren Atmosphärenschichten nicht beliebig legen könnte, weiterhin die erreichten Höhen nur sehr gering waren, und weil endlich die Erhebung der Gebirge die Verhältnisse in der freien Atmosphäre nicht unwesentlich beeinflusst, so konnte das Unternehmen die erhoffte Verbesserung der Wettervorhersage nicht in dem wünschenswerten Ausmaße bringen. Damit soll keineswegs gesagt werden, daß die Bedeutung der Hochobservatorien nicht voll und ganz deren Errichtung und Betrieb rechtfertige, nur liegt der Schwerpunkt der Ergebnisse mehr auf dem Gebiete der allgemeinen atmosphärischen Forschung als auf dem der praktischen Witterungskunde.

Erst als die Technik der Ballonaufstiege und der Drachensondierungen (Fig. 16 u. 17) einen hohen Stand der Vollkommenheit und Sicherheit erlangt hatte, waren die Voraussetzungen einer räumlichen, synchronen Darstellung der meteorologischen Zustände und Vorgänge gegeben. Man ging an die Errichtung äronautischer Observatorien und Versuchstationen heran, die fortlaufend durch Ballon- und Drachenaufstiege eine Sondierung des vertikalen, statischen und dynamischen Aufbaues der Atmosphäre bis in beträchtliche Höhen durchzuführen in der Lage sind. Aber Rücksichten, insbesondere finanzieller Art, gestatteten nicht, die Beobachtungsstellen in der erstrebenswerten Dichte zu schaffen, sodaß vorerst wieder die Bedeutung für die praktische Witterungskunde nicht den gehegten Hoffnungen entsprach. Wiederum bedurfte es eines kriegerischen Ereignisses, das als Antrieb für eine umfangreiche ärologische Beobachtungstätigkeit wirkte.

Die gewöhnliche Wetterkarte erfuhr mit dem Beginn des großen Völkerkrieges eine sehr erhebliche Einschränkung, da unsere Feinde ihre Wettermeldungen streng geheimhalten und auch ihr Bekanntwerden auf dem Wege über die neutralen Staaten zu verhindern mußten. Wir waren daher darauf angewiesen, den empfindlichen Ausfall der wertvollen Nachrichten, insbesondere aus dem Westen

Europas, immer mehr durch Beobachtungen aus der freien Atmosphäre zu ersetzen.

Eine äußerst wichtige Erfahrungstatsache hatten die ärologischen Arbeiten nämlich bereits gelehrt, daß kommende Witterungsänderungen in den höheren Atmosphärenschichten viel eher durch ty-

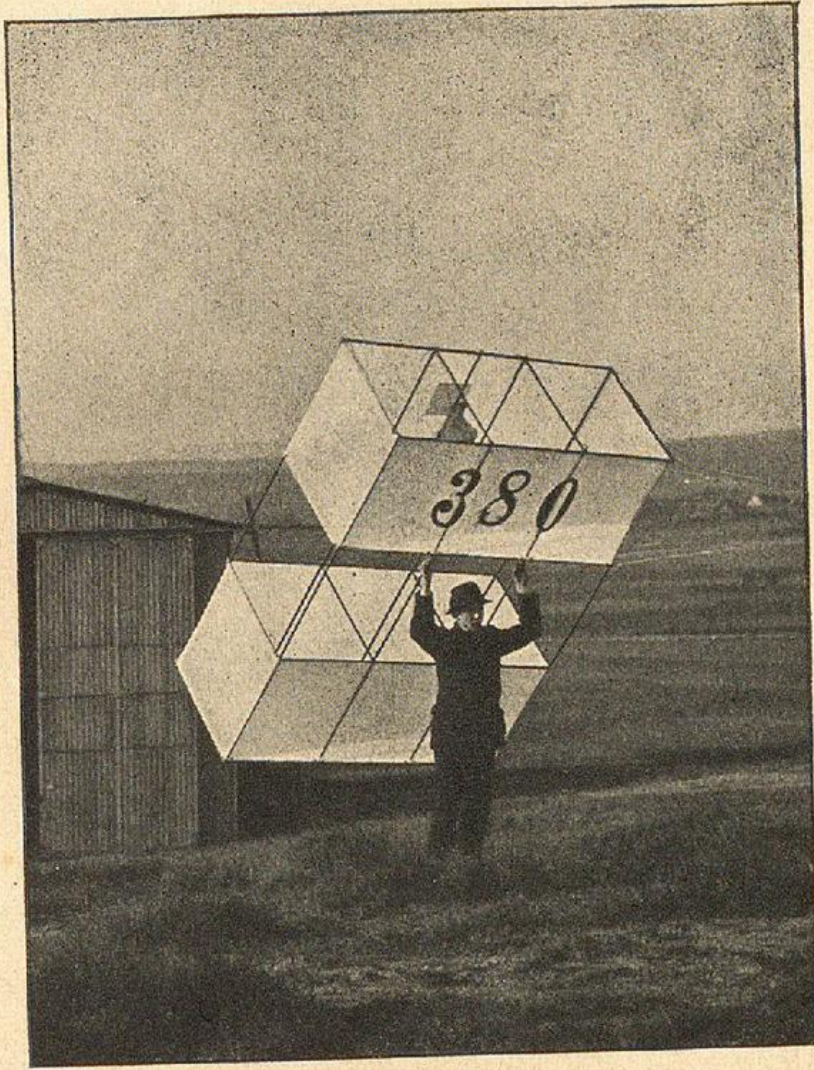


Fig. 16. Drachen zum Hochtragen meteorologischer Registrierinstrumente.

pische Symptome angezeigt werden als an der Erdoberfläche. So kündet sich beispielsweise ein herannahendes Tiefdruckgebiet, besonders in der kalten Jahreszeit, zumeist in der Höhe durch Drehen des Windes auf südliche und südwestliche Richtung bereits zu einer Zeit an, zu welcher am Boden vielleicht noch östliche Winde wehen.

Da nun zahlreiche militärische Aktionen, nicht nur die der Luftstreitkräfte, in weitgehendem Maße von der Witterung abhängig sind, so wurde als Ergänzung zu dem bereits aus Friedenszeiten

übernommenen Beobachtungsreihe ein ziemlich dichtes Netz militärischer Wetterwarten errichtet, die angewiesen sind, regelmäßig Windmessungen in der Höhe mit Hilfe von Pilotballonen anzustellen und in großer Zahl Drachen- und Ballonaufstiege zu veranstalten. Es ist

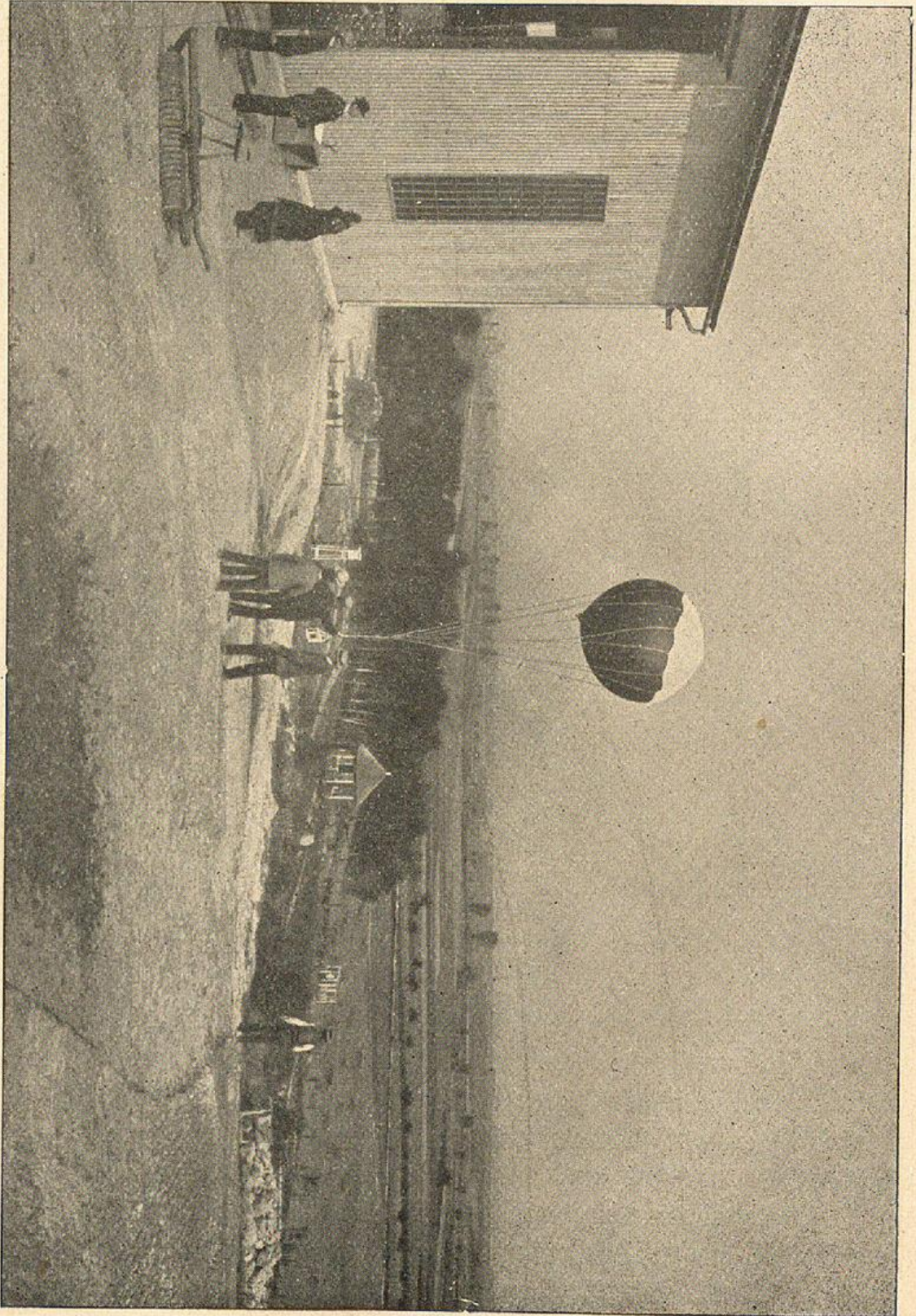


Fig. 17. Gummiballon zum Hochtragen meteorologischer Registrierinstrumente (Registrierballon).

leider noch nicht möglich, über die Ausdehnung dieses Beobachtungsnetzes heute schon nähere Angaben zu machen, aber soviel kann doch ausgesprochen werden, daß wir über ärologische Beobachtungen in einer Zahl verfügten, die ein Erfassen der gleichzeitigen atmosphärischen Zustände und Vorgänge über einem großen Raume Europas ermöglichten.

Damit war eine Ausdehnung der synoptischen Methode von einer Horizontalfläche auf den Raum durchführbar geworden und es ist zu erwarten, daß dieser Vorgang wieder einen Markstein in der Entwicklung der Wetterkunde bilden wird, wie ihn die Einführung der synoptischen Methode in die Bodenmeteorologie darstellte.

§ a. Die Arbeitsmethoden der Aerologie.

Die Wissenschaft, welcher die Erforschung der Zustände und Vorgänge in der freien Atmosphäre zur Aufgabe gestellt ist, nennt man Aerologie. Wir müssen zunächst die Beobachtungsmethoden und die Instrumente kennen lernen, mit welchen die neue Wissenschaft arbeitet. Es kann sich natürlich nicht darum handeln, hier die Technik der Ballon- und Drachenaufstiege eingehend zu schildern, als vielmehr darum, die Prinzipien kennen zu lernen, durch welche verlässige Angaben über den statischen und dynamischen Aufbau der Atmosphäre gewonnen werden.

Je nach den Windverhältnissen läßt man durch Drachen oder Fesselballone sorgfältig geprüfte und geeichte Meteorographen (Fig. 18) in die höheren Atmosphärenschichten heben, auf denen automatisch Zeitkurven des Luftdruckes, der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit, sowie der Windstärke aufgezeichnet werden. Nach der Sondierung, welche sich natürlich in möglichst beträchtliche Höhen zu erstrecken hat, holt man die Instrumente ein und wertet nunmehr die Diagramme der Meteorographen aus. Auf diese Weise erhält man Stichproben über die vertikale Verteilung der wichtigsten meteorologischen Elemente, deren Ergebnis dann ohne Zeitverlust an die Zentralstelle weiterzugeben sind. Dortselbst findet dann die Verarbeitung des einlaufenden Materiales nach später noch eingehender zu schildernden Gesichtspunkten statt.

Von ganz besonderem Interesse für den Prognostiker sind die dynamischen Zustände des Lustraumes. Deshalb ist man bemüht, das Netz der Warten für Höhenwindmessungen möglichst dicht zu gestalten, während man Drachen- und Ballonwarten aus verschiedenen, insbesondere finanziellen Gründen, nur in großen Zwischenräumen errichten kann. Diese Höhenwindmessungen werden vermittels der Methode der Pilotballonaufstiege durchgeführt. Die Pilotballone sind kugel- oder birnförmige Ballone aus Gummi oder Papier, die durch Füllung mit Wasserstoffgas eine an einer Füllwage genau zu bestimmende Steigkraft erhalten (Fig. 19). Wenn man die Füllung und damit die Steigkraft in richtiges Verhältnis zum Ballongewicht bringt, so kann man mit einer bei den Gummiballonen konstanten, bei den Papierballonen gesetzmäßig abnehmenden

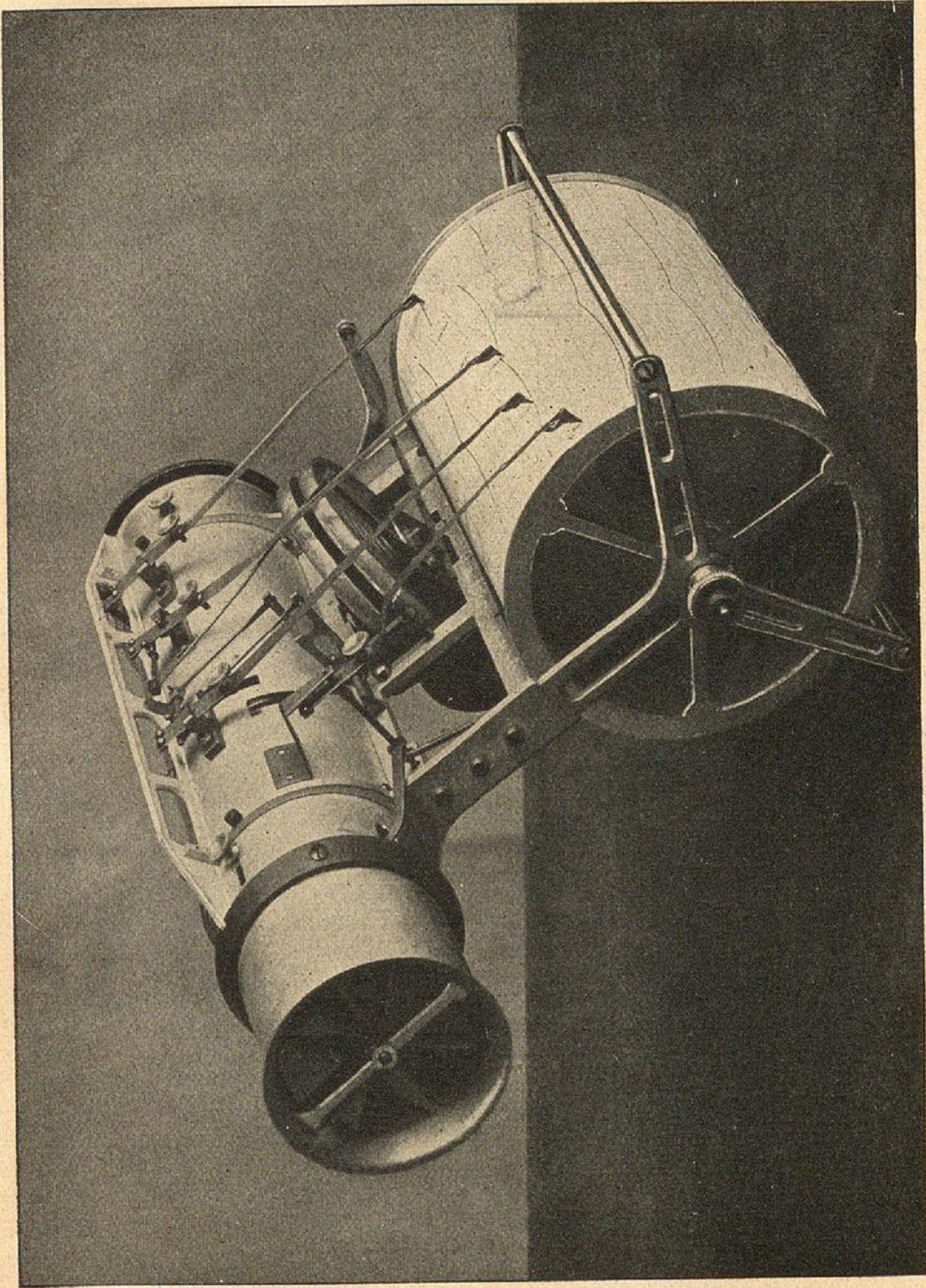


Fig. 18. Meteorologisches Registrierinstrument Meteorograph.

vertikalen Steiggeschwindigkeit rechnen. Man weiß nun nach Ablauf einer bestimmten Zeit, in welcher Höhe über dem Erdboden der Ballon sich befindet. Der Pilot wird nun von der in den einzelnen Höhenschichten herrschenden Luftströmung mitgeführt, ändert also in Abhängigkeit vom dynamischen Aufbau der Atmosphäre mit der Zeit seine Lage zum Startorte. Der Ballon wird nun fort-dauernd im Fadenkreuze eines Spezialtheodolithen (Fig. 20) gehalten und in bestimmten Zeitintervallen (meist von Minute zu Minute) wer-

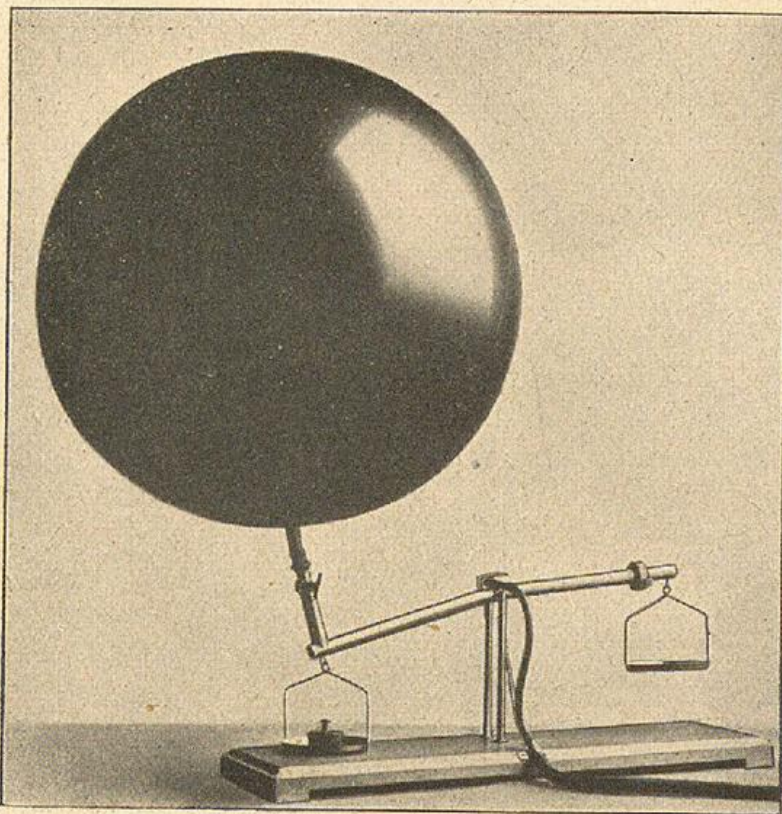


Fig. 19. Pilotballon an der Füllwage.

den Azimut und Höhenwinkel festgestellt. Durch einfache rechnerische oder graphische Auswertmethoden gelingt es dann rasch und mühelos, Windrichtung und Windstärke für jedes gewünschte Niveau mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen. Die Methode der Höhenwindmessungen mit Pilotballonen arbeitet rasch und hinreichend verlässig, ist aber natürlich nur bei sichtigem Wetter anwendbar. Nacht-aufstiege ermöglicht man durch Anfügen einer durch eine Batterie gespeisten elektrischen Glühbirne an die Ballonhülle.

Mit der Feststellung des vertikalen, dynamischen Aufbaues der Atmosphäre mittels Wolkenbeobachtungen und Pilotsondierungen glaubte man einen wesentlichen Gewinn für die Wet-

tervorhersage erzielt zu haben. Erner, ein Wiener Gelehrter, war bei seinen Studien zur Aufstellung einer Regel gelangt, die für die Prognostiker höchst wertvoll sein mußte. Sie lautet: „Dreht der Wind mit zunehmender Höhe, in der Bewegungsrichtung gesehen, nach rechts von der Isobaren-

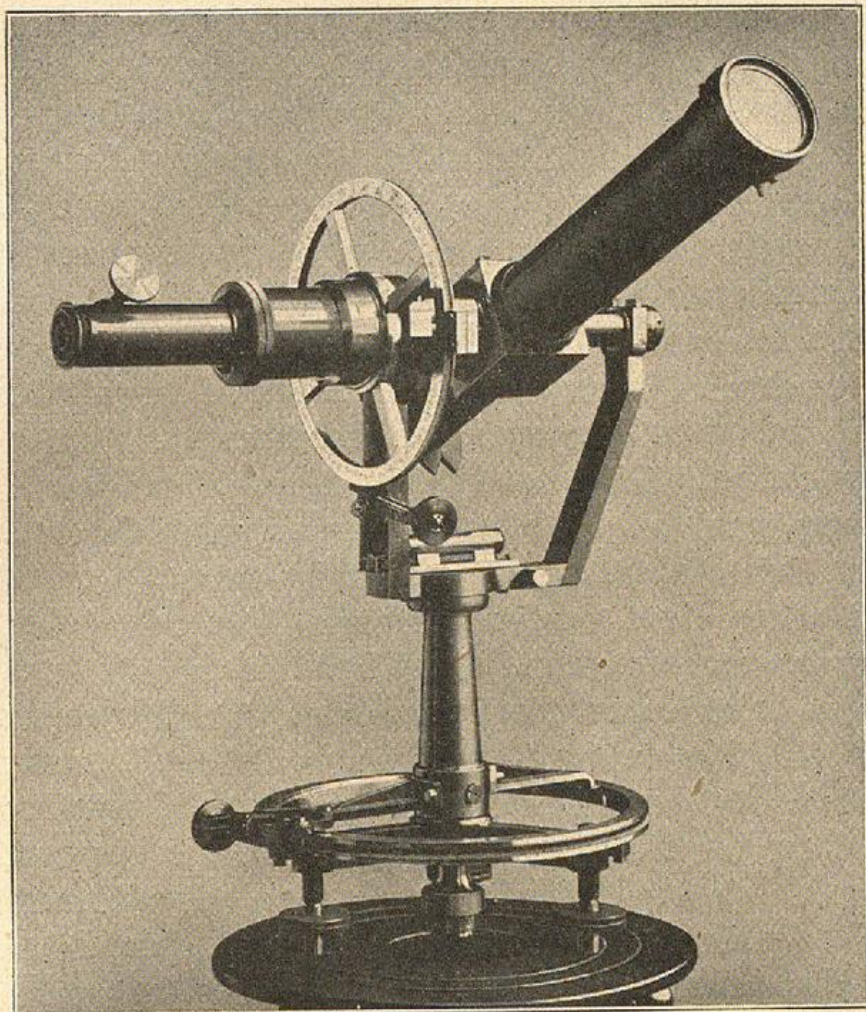


Fig. 20. Theodolit zum Verfolgen der Pilotballone.

richtung am Boden, so fällt der Druck (die Temperatur steigt), dreht er nach links, so steigt derselbe (die Temperatur sinkt). Leider haben sich die Erwartungen, welche man an die Brauchbarkeit dieser auf theoretischem Wege gefundenen Regel knüpfte, nicht erfüllt, wohl deshalb, weil in der Natur die der Theorie zu Grunde liegenden einfachen Verhältnisse nur sehr selten anzutreffen sind. Auch andere Versuche, so derjenige Börnsteins, nur aus der Feststellung der Bewegungszustände in der Atmosphäre für das Problem der Wettervorhersage

sichere Grundlagen zu gewinnen, blieben ohne den wünschenswerten Erfolg.

Man mußte nun dazu übergehen, auch für die übrigen wichtigen meteorologischen Elemente die synchrone, räumliche Verteilung festzustellen. Das für die Wettervorhersage wichtigste meteorologische Element ist, wie uns bereits aus dem Inhalte des barischen Windgesetzes bekannt ist, der Luftdruck. Es wird daher die wichtigste Aufgabe sein, in erster Linie die räumliche Verteilung des Luftdruckes, oder, was sehr nahe das Gleiche ist, die Massenverteilung in der Atmosphäre festzulegen. Man wird dies zumeist in der Weise durchführen, daß man für passend gewählte Flächen, etwa für die 1000 m, 2000 m, 3000 m usw. Seehöhenfläche Isobarenkarten entwirft, die genau der entsprechen, die man für das Meeresniveau dargestellt hat. Es ist dies nicht die einzige Möglichkeit, die Massenverteilung im Luftmeere darzustellen. Man könnte auch nach dem Vorgange von Bjerknes die Kurven gleicher Höhe oder gleichen Schwerepotentials einer räumlichen Isobarenfläche zeichnen, ganz so, wie man auf den Meßtischblättern der Landesaufnahme den Aufbau der Erdoberfläche durch Höhenlinien dargestellt hat. Dies bietet gewisse hier nicht näher zu erörternde Vorteile, die aber für den praktischen Wetterdienst nicht ins Gewicht fallen. Man wird daher die Verwendung der Isobarenkarten in bestimmten Höhenlagen vorziehen, die sich erstens unmittelbar an die bekannten auf den Wetterkarten gegebenen Darstellungen der Druckverteilung im Meeresspiegel anschließen, die des weiteren in Korrespondenz mit den Höhenwindmessungen gebracht werden können und die in ihrer räumlichen Lage nicht wie die Bjerknesschen topographischen Karten veränderlich sind.

Der Entwurf einer Isobarenkarte in einem bestimmten Niveau, beispielsweise in 2000 m Seehöhe, fordert nun möglichst genaue Luftdruckangaben aus diesem Niveau von einer möglichst großen Zahl von Beobachtungsstellen in dem zu bearbeitenden Erdraume. Diese Luftdruckangaben können aber im allgemeinen nicht durch direkte Beobachtungen gewonnen werden, sondern müssen errechnet werden auf Grund der Luftdruckbeobachtungen an der Erdoberfläche und der vertikalen Verteilung der Temperatur und Feuchtigkeit. Diese Berechnungen erfolgen durch Anwendung einer mathematischen Formel, in welcher die Höhendifferenz, der Temperatur- und Feuchtigkeitszustand der Luft in Beziehung zum Luftdrucke gebracht sind. Man muß sich bemühen, die Reduktion mit möglichst geringem Zeit-

aufwände durchzuführen und gleichzeitig die Genauigkeit der Rechnung im richtigen Verhältnis zu der Verlässigkeit der Beobachtungen zu halten.

Wir sehen demnach, daß wir zur Darstellung der Massenverteilung in der Atmosphäre neben Luftdruckbeobachtungen auch möglichst vollkommene Kenntnisse über die vertikale Temperatur- und Feuchtigkeitsverteilung benötigen. Selbstverständlich besitzen diese Angaben über den vertikalen Aufbau der Atmosphäre hinsichtlich Temperatur und Luftfeuchtigkeit nicht nur Bedeutung als Grundlage zur eben besprochenen Berechnung der Massenverteilung, sondern haben auch selbständigen Wert. Den thermischen Aufbau der Atmosphäre wird man am bequemsten durch den Entwurf von Isothermenkarten darstellen, die sich entweder auf die gleichen Niveaus beziehen, für welche man Isobarenkarten bezeichnet hat, oder aber die mittlere Temperaturverteilung bestimmter Schichten, beispielsweise der Schicht zwischen dem Meeresniveau und 2000 m Seehöhe wiedergeben.

Die Feuchtigkeitsverhältnisse wird man wohl kaum gesondert darstellen, sondern in den Temperaturkarten mitberücksichtigen, indem man Linien gleicher virtueller Temperatur entwirft. Die virtuelle Temperatur ist diejenige, die trockene Luft haben müßte, um dieselbe Dichte zu besitzen, wie die gegebene Masse feuchter Luft. Die Einführung der virtuellen Temperatur ermöglicht zugleich genaueste Berechnung der Luftdruckwerte für die einzelnen Niveaus der Isobarenkarten.

Tragen wir nunmehr in die Isobarenkarten der höheren Niveaus noch die Ergebnisse der Pilotballonvisierungen (oder Wolkenzugsbeobachtungen) ein, so besitzen wir für diese Niveaus kartographische Darstellungen der Wetterlage, welche mit unserer Wetterkarte für das Meeresniveau völlig konform sind. Zumeist wird man, wie im Meeresniveau, auch in den höheren Schichten die Luftdruckkarten durch Windpfeile mit symbolischer Angabe der Strömungsrichtung und -stärke ergänzen und so die Karten auch äußerlich ähnlich machen. Man kann aber auch, um recht anschauliche und vollständige Bilder der Strömungsverhältnisse zu gewinnen, mit Benutzung der Einzelmeldungen Stromlinien und Kurven gleicher Windgeschwindigkeiten zeichnen.

Die Wetterkarten der verschiedenen Niveaus geben uns nun jeweils das Anschauungsmaterial an die Hand, auf das wir unsere Kenntnisse von der gegebenen Wetterlage gründen. In Wirk-

lichkeit ist die räumliche Darstellung des Witterungszustandes nichts anderes, als eine mehrfache Wiederholung ebener Darstellungen in bekannten Niveaus. Man darf nie vergessen, daß die Darstellungen der verschiedenen Niveaus nicht ganz gleichwertig sind, da ja die Druckverteilung in den höheren Flächen durch Rechnung aus der an der Erdoberfläche gefunden wurde. In dieser Rechnung ist aber nur die vertikale Verteilung der Temperatur und Feuchtigkeit berücksichtigt, nicht aber der Einfluß von Luftströmungen horizontaler und vertikaler Richtung.

§ 6. Die Praxis der Wettervorhersage auf Grund der räumlichen synchronen Darstellungen.

Wir wollen nunmehr noch einige Hindeutungen geben, wie die räumlichen synoptischen Darstellungen zur Vorhersage des künftigen Wetters verwertet werden. Es handelt sich natürlich wieder darum, zunächst nach Erscheinungen in den verschiedenen Höhenkarten zu suchen, welche für die kommenden Druckänderungen am Meeresspiegel symptomatische Bedeutung haben. Denn wissen wir erst, wie sich der Luftdruck im Niveau des Meeresspiegels ändert, so können wir auf die zu erwartende Witterung ohne Schwierigkeit schließen.

Da wir uns erst in den Anfängen der synoptischen räumlichen Meteorologie befinden, so besitzen wir noch geringe Kenntnisse und Erfahrungen, welche der Wettervorhersage förderlich sind. Wir geben daher die nachfolgenden Darlegungen weniger mit der Absicht, abgeschlossene Forschungsergebnisse mitzuteilen, als vielmehr zu dem Zwecke, die unbestreitbare Entwicklungsmöglichkeit der neuen Methode zu beleuchten.

Wir haben schon erwähnt, daß nach der Erfahrung der Höhenwind früher auf eine herannahende Depression anspricht als der Bodenwind. Da nun aber zwischen dem Winde und der Luftdruckverteilung die durch das bariische Windgesetz ausgesprochene Beziehung besteht, so muß also auch die Änderung der Druckverteilung in der Höhe der am Meeresspiegel zeitlich vorangehen. Da die Druckverteilung in den höheren Niveaus aus den Angaben der Barometer am Meeresspiegel und der vertikalen Verteilung der virtuellen Temperaturen berechnet wird, so kann das Voraussagen der Ereignisse in den Höhenschichten nur durch die räumliche Verschiedenheit der virtuellen Temperaturen bedingt sein. In manchen Fällen sind die Temperaturdifferenzen so groß, daß schon in verhältnismäßig geringen Höhen sehr verschiedener Isobarenverlauf verursacht wird. Zumeist wird aber durch die Betrachtung der räumlichen Verteilung der virtuellen Temperatur selbst ein

Änderungen in der Druckverteilung fortdauernd Beschleunigungen und Verzögerungen ausgesetzt.

Man kann nun nach den Grundsätzen der Vektoranalysis den tatsächlich beobachteten Wind mit dem berechneten Normalwind vergleichen und gewinnt durch solche Vergleiche die Möglichkeit, Schlüsse auf die zu erwartende Druckänderung zu ziehen. Vorerst sind erst die ersten tastenden Versuche mit dieser Methode durchgeführt worden, die aber zu begründeter Hoffnung auf eine wesentliche Besserung der wissenschaftlichen Wettervorhersage berechtigen.

Allerdings stellt dieser Ausbau der neuen Methode weitgehende Forderungen an die Ausgestaltung des Beobachtungs- und Nachrichtendienstes. Die ärologischen Stationen, welche vermittlems Drachen und Ballonen fortgesetzt Sondierungen bis in die höchsten Atmosphärenschichten vornehmen, müssen noch erheblich vermehrt, die Instrumente weiter verbessert und die Auswertmethoden auf den höchsten Stand der Leistungsfähigkeit gebracht werden, damit es gelingt, in kürzester Frist zuverlässiges Beobachtungsmaterial in genügender Menge an die Zentralen gelangen zu lassen.

9. Anhang.

An dieser Stelle soll noch einer neuen Methode der Wettervorhersage gedacht werden, die von Stefan Kaltenbrunner in Linz erdacht und von wissenschaftlicher Seite auf ihre Brauchbarkeit untersucht worden ist.

Das Grundprinzip der Kaltenbrunner'schen, sogenannten statistischen Methode lautet: „Auf gleiche Wetterfaktoren folgt wiederum das gleiche Wetter, d. h. war einmal ein Tag schon da, der die gleichen wichtigen Wetterfaktoren, wie Luftfeuchtigkeit, Luftdruck usw. ebenso aufwies, wie der heutige Tag, so wird menschlicher Voraussicht und Wahrscheinlichkeit nach auch das Wetter des morgigen Tages wiederum das gleiche werden, wie es jenes war, welches auf die damaligen gleichen Wetterfaktoren gefolgt ist.“

Für die praktische Durchführung seiner Methode stellte Kaltenbrunner aus 30 Jahrgängen der Jahrbücher der k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien mit vieler Mühe und Sorgfalt Prognosentabellen für die Sommermonate zusammen, aus denen man die Charakteristik des Wetters entnehmen konnte, das auf die um 2 Uhr nachmittags beobachteten Wetterfaktoren am folgenden Tage zu erwarten ist.

Die ersten Erfolge mit der statistischen Methode waren vielversprechend und erweckten das Interesse wissenschaftlicher Kreise. Im Jahre 1917 gab die k. k. Zentralanstalt in Wien Tabellen zur statistischen Wettervorhersage für Niederösterreich und angrenzende Landstriche gültig für den Winter heraus, 1918 folgten die Grundlagen für den Sommer. Der Bearbeiter der Tabellen gibt folgende Einführung: „Die vorliegende Veröffentlichung gibt jedermann ein Mittel an die Hand, mit sehr geringen Kosten und Zeitaufwand selbständig das Wetter des nächsten Tages für Niederösterreich und die angrenzenden Landstriche (die Gebirgsgegenden ausgenommen) mit einiger Sicherheit vorzubestimmen. Sie wird insbesondere dort willkommen sein, wo die Prognose der k. k. Zentralstation für Meteorologie nicht rechtzeitig bekannt gegeben werden kann.“

Als wichtigste und für die Gestaltung des zukünftigen Wetters maßgebende Faktoren sind den Tabellen zu Grunde gelegt: die um 2 Uhr nachmittags herrschende Windrichtung, das jeweilige Wetter (die Bewölkung) um 2 Uhr, der Luftdruck um 2 Uhr und seine Änderung seit ungefähr 7 Uhr früh. Auch ist die Lufttemperatur und die Luftfeuchtigkeit um 2 Uhr nachm. aufgenommen, doch sind diese beiden Faktoren zur Prognosenstellung, die ungefähr um 2 Uhr nachmittags erfolgen soll, nicht unbedingt notwendig.

Das einzige Instrument, welches der Prognosensteller unbedingt zur Verfügung haben muß, ist ein Barometer, welches den Luftdruck auf ganze Millimeter abzulesen gestattet. Es genügt dazu das gewöhnliche, vielfach verbreitete Birnbarometer, oder ein sogen. Aneroid (Holostrerikbarometer). Bequem ist es, wenn dieses mit einem zweiten einstellbaren Zeiger ausgestattet ist. Ein im Freien ordnungsgemäß aufgestelltes Thermometer und Haarhygrometer sind zur Erhöhung der Treffsicherheit sehr empfehlenswert, jedoch nicht unbedingt notwendig.

Es sei darauf aufmerksam gemacht, daß das Barometer vor Gebrauch mit einem richtig funktionierenden Instrumente verglichen und auf dessen Stand gebracht werden muß.

Die Kaltenbrunnersche Methode ist sicherlich der eingehenden Beachtung wert und insbesondere kann die gleichzeitige Übung der synoptischen und der statistischen Methode zu weiteren Erfolgen Anlaß geben.

Ein tieferer, wissenschaftlicher Wert kann aber vorerst der statistischen Methode nicht zugesprochen werden, ja man wird sie sogar als ein im allgemeinen gar nicht richtiges Prinzip ansprechen müssen. Denn wir wissen, daß oft dem gleichen äußeren Wetterbilde sehr verschiedene allgemeine Wetterlagen zugehören. Wir müssen aber weitere Erfahrungen mit der statistischen Methode erst abwarten, bevor wir ein abschließendes Urteil abgeben.

