

ZUR FRAGE DER LUFTDRUCKPERIODEN

VON

KARL FRISCH

DORPAT 1927

Die Witterungsperioden sind in den letzten Jahrzehnten häufig Gegenstand meteorologischer Untersuchungen gewesen. Ungeachtet der Schwierigkeit des Problems haben die auf diesem Gebiet ausgeführten Forschungen manche erfreuliche Erklärung für die in dem Wetter herrschende Regellosigkeit gegeben.

In den folgenden Ausführungen werden wir uns nur mit den kürzeren, sich etwa auf 60—70 Tage erstreckenden Perioden befassen, und die mehrjährigen Perioden, wie die 11-jährige Sonnenfleckperiode, die von F. Baur¹⁾ gefundenen Perioden u. s. w. ganz ausser Acht lassen.

Zuerst seien in historischer Reihenfolge die von H. Clayton²⁾ entdeckten Perioden kurz erwähnt, die der Ausgangspunkt für die auf diesem Gebiete folgenden Untersuchungen gewesen sind. Nach Clayton haben wir es beim Wetter mit einer ähnlichen Erscheinung zu tun, wie bei den Schallwellen der Luft, wo ausser dem Grundton zugleich auch harmonische Obertöne auftreten, deren Wellenlängen das Zwei-, Drei-, Vier- oder Mehrfache des Grundtons sind. Da Clayton aus den meteorologischen Beobachtungen eine wirkliche Periodizität der Witterung von $5\frac{1}{2}$ und $7\frac{1}{4}$ Tagen gefunden hat, so müssten ausser diesen Perioden noch mehrfache Wellen von

$5\frac{1}{2}$, 11, 22, 44 u. s. w. und

$7\frac{1}{4}$, $14\frac{1}{2}$, 29, 58 Tagen

vorkommen.

Es ist selbstverständlich, dass bei einer so grossen Anzahl von Witterungswellen infolge ihres Zusammenwirkens eine strenge Gesetzmässigkeit des Wetters sich nur in einzelnen günstigen Fällen feststellen lässt, während gewöhnlich infolge der Interferenz der Wellen das Vorhandensein der einzelnen Witterungsperioden nur andeutungsweise zutage tritt. Trotzdem hat schon Clayton

1) F. Baur, Mehrjährige periodische Schwankungen des Niederschlags und des Luftdruckes im rechtsrheinischen Bayern. Deutsches Met. Jahrbuch 1922, Bayern, S. D 1.

2) Meteorol. Zeitschr. 1895 S. 22.

mit gutem Erfolge die von ihm gefundenen Witterungswellen für die praktische Prognose auf mehrere Tage voraus, sowohl für Regen als auch für Temperaturänderungen, angewandt. Schon der hohe Treffprozent der ersten Versuche (im Mittel etwa 70%) zeigt, dass die Anwendung der Periodizität für die Prognose, insbesondere für eine mehrtägige Vorhersagung, gute Resultate ergeben würde.

Weiter hat Defant¹⁾ in einer eingehenden Untersuchung auf Grund der täglichen Niederschlagsbeobachtungen auf das Vorhandensein einer Reihe kurzperiodiger Schwankungen hingewiesen, die sowohl auf der Süd- als auch auf der Nordhemisphäre vorkommen.

In den gemässigten Breiten der Südhemisphäre (Argentinien und Australien) wird die Erde von vier Wellen in West-Ostrichtung umkreist, deren Perioden im Mittel

7, 12, 16 und 21 Tage sind.

Was die Wellenlängen anbelangt, so sind sie nahezu gleich einem aliquoten Teil des Erdumfanges, nämlich die Welle mit der 21-tägigen Periode hat die Länge des ganzen Erdumfanges, diejenige mit der 16-tägigen Periode die Hälfte des Erdumfanges, diejenige mit der 12-tägigen Periode den dritten, und die kürzeste 7-tägige Welle den vierten Teil des Erdumfanges.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen ist beinahe gleich gross und beträgt im Mittel zwölf Längengrade pro Tag, oder 45,6 km pro Stunde; dabei ist sie im Winter etwas grösser, im Sommer dagegen etwas kleiner.

Die Amplituden dieser Wellen sind für die einzelnen Wellen verschieden und zwar bedeutend grösser für die kürzeste, sieben-tägige Welle. Die Amplituden der anderen Wellen sind im Verhältnis zu dieser viel kleiner, jedoch so gross, dass sie aus den Niederschlagsbeobachtungen sich erkennen lassen.

In gleicher Weise haben die Niederschlagsbeobachtungen von Nordamerika, Europa und Japan auch auf der nördlichen Halbkugel das Auftreten ähnlicher, von Westen nach Osten wandernder Schwankungen gezeigt, deren mittlere Periodenlängen 5,7, 8,7, 12,7 und 24—25 Tage sind.

Auch hier ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit für alle Wellen gleich und beträgt im Jahresmittel 14,5° pro Tag oder

1) Sitzber. der Wiener Akad. 121 (März 1912), S. 379.

47.5 km pro Stunde, mit einem Maximum im Winter und einem Minimum im Sommer. Die Wellenlängen entsprechen im Mittel wieder aliquoten Teilen des Erdumfanges, und zwar die der längsten Welle — dem ganzen Erdumfang, die anderen — der Hälfte, einem Drittel und einem Viertel desselben.

Was die Amplituden der Wellen anbelangt, so hat die kürzeste, sechstägige Welle die grösste Amplitude, ihr folgen die 24-tägige und die 13-tägige Welle, während die neuntägige die kleinste Amplitude besitzt.

Eine theoretische Erklärung für die Existenz der genannten Wellen hat Exner¹⁾ gegeben.

Von der Hauptgleichung der Thermodynamik und den Bewegungsgleichungen für die rotierende Erde ausgehend, hat er bewiesen, dass die Kontinente eine Reihe von Westen nach Osten laufender Luftdruckwellen erzeugen, deren Wellenlängen aliquote Teile des Erdumfanges in den einzelnen Breiten sind.

In ähnlicher Weise muss nach der Theorie auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit für alle Wellen gleich gross sein, was ebenso den wirklich vorhandenen, von Defant aus den Beobachtungen abgeleiteten Wellen entspricht.

Für die Amplituden der einzelnen Wellen ergibt sich aus der Theorie, dass dieselben für diejenigen Wellen besonders gross sein müssen, deren halbe Wellenlänge der Breite eines Kontinents oder eines Ozeans am nächsten kommt.

Auch diese Annahme scheint mit der Beobachtung übereinzustimmen. So besitzt in der Südhemisphäre die 30°-Welle die grösste Amplitude, weil einerseits der südliche Teil des Atlantischen Ozeans und andererseits Südamerika und Australien einer mittleren Breite von rund 45 Längegraden nahe kommen.

Zusammenfassend ergibt sich, dass die aus den Beobachtungen festgestellten Wellen sich durch die Theorie erklären lassen und wir infolgedessen mit grosser Wahrscheinlichkeit sagen können, dass das Auftreten der erwähnten Luftdruckwellen hauptsächlich von der Land- und Meerverteilung und den dadurch bedingten Temperaturdifferenzen hervorgerufen wird.

Weitere Fortschritte hat die praktische Anwendung der Luftdruckperioden auf die Wettervorhersagung dank den Arbeiten

1) Meteor. Zeitschr. 1908 S. 57.

von Weickmann¹⁾ gemacht. Ausgehend von der Tatsache, dass bei der Superposition der einzelnen Sinuskurven von verschiedenem Phasenwinkel und Amplitude wieder eine Kurve mit Perioden und mit sogenannten Spiegelungspunkten entsteht, von denen aus die Kurve einen symmetrischen Verlauf nimmt, hat Weickmann aus den Luftdruckkurven von Stationen mittlerer Breiten in Europa, Asien und Nordamerika eine Wiederholung des Luftdruckganges im Spiegelbilde nachgewiesen. Es hat sich gezeigt, dass die Symmetrie im Sommer und Winter öfter auftritt, obwohl sie auch im Frühling und Herbst nicht fehlt.

In einzelnen Fällen liess sich eine weit bis über ein halbes Jahr andauernde Ähnlichkeit des Luftdruckes nachweisen, wobei der berechnete Korrelationsfaktor etwa 12 mal seinen wahrscheinlichen Fehler überstieg, so dass eine zufällige Übereinstimmung gänzlich ausgeschlossen sein dürfte. Da aber die Geschwindigkeit der Luftdruckwellen im ganzen im Winter grösser ist als im Sommer, ergibt sich bei Reduktion der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten auf die gleiche Grösse eine noch weit grössere Ähnlichkeit der Luftdruckkurven.

In Anbetracht der Tatsache, dass die an einem Orte vorkommenden Luftdruckveränderungen nicht lokale Erscheinungen sind, sondern in der Umgebung auf Hunderte, ja Tausende von Kilometern sich erkennen lassen, müssen auch die an einem Ort auftretenden Symmetriepunkte in weiterer Umgebung sich wahrnehmen lassen. Es lässt sich daher voraussetzen, dass wir ausser den Symmetriepunkten an einem Orte auch zwischen Wetterkarten eine Symmetrie erwarten können.

Weickmann hat in der oben erwähnten Arbeit vielfach nachgewiesen, dass sowohl über Europa als auch über Nordamerika der Luftdruck sich in solcher Weise korrespondierend verteilt.

Zur Schätzung der Symmetrie zwischen den einzelnen Wetterkarten ist die Korrelationsmethode angewandt worden. Es wurde dazu eine Reihe von Stationen gewählt und nach ihren Luftdruckwerten für die entsprechenden Tage die Korrelation bestimmt. In einzelnen Fällen hat die Korrelation einen beträchtlichen Wert, so zum Beispiel für den 18. August 1923 und für den 20. Januar 1924 0,7, was trotz der verschiedenen Jahreszeit wohl auf die Verwandtschaft der Wetterkarten hindeuten dürfte.

1) L. Weickmann, Wellen im Luftmeer, Leipzig 1924.

Aus dem Obigen folgt, dass durch die erwähnten Untersuchungen über die Luftdruckperioden eine neue Gesetzmässigkeit des Wetters gefunden worden ist, die für die praktischen Zwecke der Wettervorhersagung gute Dienste leisten könnte.

Hervorgehoben werden muss, dass bei der Untersuchung der Perioden und Symmetrien des Luftdruckganges besondere Vorsicht geübt werden muss, da die Luftdruckabweichungen sich bekannterweise ähnlich wie die zufälligen Beobachtungsfehler verhalten.

Es sei hier kurz ein Versuch beschrieben, der mit Würfeln vorgenommen wurde. Es wurden dazu 14 sechsflächige Würfel

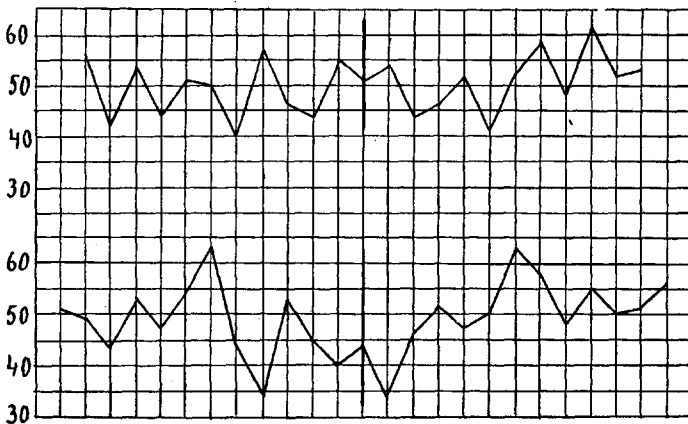


Fig. 1.

benutzt, jeder mit der Augenzahl von 1—6, so dass die kleinste mögliche Summe bei einem Wurf 14 betrug (alle 1), die grösste mögliche aber 14 mal sechs, also 84.

Mit den erwähnten Würfeln wurden unter genauer Kontrolle nacheinander 360 Würfe ausgeführt und jedesmal die Augenzahl notiert. Als minimale Grösse wurde 32 erhalten, als maximale aber 66. Da die Extreme unter den später für die harmonische Analyse benutzten Luftdruckwerten für Dorpat von 360 Pentaden 774 mm und 734 mm betragen, so liegt die durch die Würfe, abgesehen von den Hunderten, entstandene Zahlenreihe ungefähr in denselben Grenzen wie die der Luftdruckpentaden.

Bei der graphischen Darstellung der nacheinander gewürfelten Summen auf Millimeterpapier ergibt sich merkwürdigerweise eine grosse Anzahl von Symmetriepunkten verschiedener Art, von denen

Tabelle I.

	75 Tage	66,6 Tage	60 Tage	54,5 Tage	50 Tage	46,2 Tage	43 Tage	40 Tage
7 IX 1888—30 IV 1890 Amplitude	0.824	3.057	4.896	0.845	1.899	0.107	2.101	2.294
Phase	332° 29'	167° 10'	125° 38'	7° 12'	328° 7'	216° 51'	24° 56'	46° 46'
7 IX 1888—13 VIII 1893 Amplitude	0.364	0.999	1.111	0.963	0.732	0.379	0.398	0.718
Phase	51° 12'	113° 41'	118° 9'	12° 35'	285° 24'	355° 2'	29° 1'	35° 56'

aus die Kurve eine grosse Gesetzmässigkeit und einen langdauernden ähnlichen Verlauf zeigt.

In der Figur 1 sind zwei solche Symmetrien graphisch dargestellt, in welchen die gleichnamige Zu- oder Abnahme sich 11 bzw. 12 mal wiederholt. Es ist als selbstverständlich vorauszusetzen, dass bei einer grösseren Anzahl von Versuchen die Symmetrien viel länger andauern würden.

In den folgenden Auseinandersetzungen habe ich mich bemüht, mein Hauptaugenmerk auf die längeren, etwa 2 Monate andauernden Wetterperioden zu richten, die neben den kürzeren Perioden besonders oft aufzutreten pflegen.

Als Ausgangspunkt dienten die Luftdruckbeobachtungen von Dorpat, in denen ausser den täglichen Werten noch die Pentadenwerte aufgeführt sind. Besonders letztere dürften für die Feststellung der längeren Perioden gut anwendbar sein, da die Benutzung der täglichen Werte die Berechnung bedeutend komplizieren würde.

Meine erste Aufgabe war, durch die harmonische Analyse die einzelnen Luftdruckwellen kennen zu lernen, zu welchem Zweck auf Grund der Pentadenmittel des Luftdruckes in Dorpat zwei Analysen ausgeführt wurden. Die erste Analyse bezieht sich auf den Zeitraum von 360 Tagen vom 7. Sept. 1888 bis zum 30. Apr. 1890, die zweite auf 1800 Tage vom 7. Sept. 1888 bis zum 13. Aug. 1893. Die zweimalige Analyse ist vorgenommen worden, um sich zu überzeugen, welche Unterschiede in den Amplituden sowie in den Phasenwinkeln der einzelnen Perioden bei verschiedener Länge der Beobachtungsreihen entstehen können. Die Amplituden wie auch die Phasenwinkel sind in der nebenstehenden Tabelle aufgeführt.

Die zwischen den beiden Analysen bestehenden Unterschiede zeigen, dass die Länge des benutzten Zeitraumes auf die Grösse der einzelnen Glieder der Periode einen bedeutenden Einfluss hat. Durch die grösste Amplitude zeichnet sich in den beiden Analysen die Periode von 60 Tagen aus, wobei auch die Phasenwinkel annähernd gleich gross sind. Die Betrachtung der Kurve des Luftdruckganges, die durch Auftragen der Pentadenwerte von 1866 bis 1915 auf Millimeterpapier erhalten wurde, zeigt, dass besonders die langen Wellen von etwa 50—60—70 Tagen nicht regelmässig über den ganzen Zeitraum verteilt sind, sondern unregelmässig mit kürzeren oder längeren Zwischenräumen.

Durch besonders grosse Amplituden sind die Perioden in der kalten Hälfte des Jahres gekennzeichnet, während in den Sommermonaten solche Amplituden entweder ganz fehlen, oder nur in einzelnen Sommern schwach erkennbar sind. Hieraus ist leicht zu ersehen, weshalb in der ersten Analyse die Amplitude der 60-tägigen Periode bedeutend grösser ist als in der zweiten Analyse: umfasst doch die letztere ausser den Wintern noch 5 Sommer, die erstere dagegen nur einen Sommer. Das unregelmässige Auftreten der erwähnten Wellen erweckt den Eindruck, dass sie an sich nicht kontinuierlich sind, sondern nur dann und wann von unbekanntem Faktoren hervorgerufen werden.

Um die Luftschwankungen von längerer Dauer, nämlich von etwa 50—70 Tagen, näher kennen zu lernen, sind die von der Deutschen Seewarte und dem Dänischen Meteorologischen Institut herausgegebenen täglichen synoptischen Wetterkarten benutzt worden, die ausser dem Norden des Atlantischen Ozeans auch ganz Europa und einen grossen Teil von Nordamerika umfassen. Diese Publikation enthält ausserdem noch für jeden Monat eine Karte mit Isobaren für die mittlere Luftdruckverteilung.

Die ausgeführte harmonische Analyse zeigt das Vorherrschen einer beinahe zweimonatlichen Luftdruckschwankung, wonach wir das Hervortreten der erwähnten Erscheinung auch auf den Monatsisobarenkarten erwarten können, besonders weil die betreffenden Schwankungen in der Luftdruckkurve nur in einzelnen Jahreszeiten stark ausgeprägt vorkommen. Um die Benutzung der monatlichen Isobarenkarten für die Analyse der längeren Luftdruckschwankungen zu erleichtern, sind die Luftdruckdifferenzkarten von Monat zu Monat nach der von Bjerknes aufgestellten graphischen Methode gezeichnet. Die auf solche

Weise erhaltenen Isallobarenkarten von Monat zu Monat zeigen, dass in der Verteilung des Luftdruckes oft eine wellenartige Veränderung zutage tritt, wobei an den Stellen, wo auf der vorhergehenden Karte eine Luftdruckzunahme herrschte, auf der folgenden Karte eine Luftdruckabnahme sich zeigt, und umgekehrt.

Nach der erwähnten graphischen Methode wurden die Monatsluftdruckkarten untersucht und dabei diejenigen Karten einer näheren Analyse unterzogen, auf welchen an Stelle eines Luftdruckzunahmegebietes im folgenden Monat eine Luftdruckabnahme sich zeigte oder umgekehrt, während die Karten, auf denen entweder grosse Verschiebungen der betreffenden Gebiete erkennbar waren, oder eine solche Erscheinung überhaupt nicht zum Vorschein kam, unberücksichtigt blieben. Eine solche Auswahl wurde vorgenommen, um aus dem umfangreichen Beobachtungsmaterial nur diejenigen Fälle zu verwerten, die sich einigermassen einem Wellenbilde näherten, und sich infolgedessen besser zur Beurteilung der Natur solcher langperiodiger Luftdruckschwankungen eigneten.

Es sei hier gleich bemerkt, dass man es in keinem einzigen Fall mit einer regelmässigen Wellenerscheinung zu tun hat, sondern eher mit einer Art von Pulsation, die sich höchstens 3—5 Monate erkennen lässt, um dann wieder zu verschwinden. Als eine solche Pulsation werden wir in den folgenden Ausführungen nur die Fälle ansehen, in denen ein Wechsel von Steiggebieten und Fallgebieten wenigstens drei Monate nacheinander zutage trat, das heisst, wenn einer Luftdruckzunahme im ersten Monat eine solche im dritten Monat entsprach, während im dazwischenliegenden Monat eine Luftdruckabnahme stattfand, oder umgekehrt.

Auf diese Weise wurden in den Jahrgängen 1885 bis 1900 etwa 30 Fälle gefunden, die den angestellten Bedingungen entsprachen und daher näher analysiert wurden. Bevor wir zur Betrachtung der einzelnen Fälle schreiten, möchte ich einige Worte über die weitere Bearbeitungsmethode vorausschicken.

Die erste Frage, welche bei dieser wellenartigen Pulsation zu lösen ist, ist die, ob wir es hier mit stehenden oder fortschreitenden Wellengattungen zu tun haben.

Nehmen wir an, dass in Fig. 2 die ausgezogene Kurve aa den mittleren Luftdruck eines Monats in einem Durchschnitt, der den erwähnten Luftdruckkarten des Atlantischen Ozeans entnommen

ist, darstellt. Ebenso stellen die ausgezogenen Kurven bb und cc den mittleren Luftdruck der darauffolgenden Monate dar.

Bei einer solchen Luftdruckschwankung haben wir es mit einer wellenartigen Erscheinung zu tun, wobei die Punkte A und B die Wellenberge bzw. Wellentäler markieren, der dazwischen liegende Punkt C dagegen den Knotenpunkt. Zur Beurteilung der Frage über die Natur der Fortpflanzung der Welle wäre es nötig, die Veränderung des Luftdruckes von Tag zu Tag zu berücksichtigen. Da aber die täglichen Luftdruckwerte infolge der fortwährenden Verschiebung der Zyklone stets grosse Veränderungen von Tag zu Tag aufweisen und deshalb kein deutliches Bild von langperiodigen Luftdruckschwankungen liefern können, habe ich dazu Mittelwerte vom 15. bis zum 15. jedes Monats gebildet und diese Mittelwerte untereinander verglichen.

Wenn an Stelle des Knotenpunktes sich ein Wellenberg oder Wellental gebildet hat und an Stelle von A und B sich gleicher-

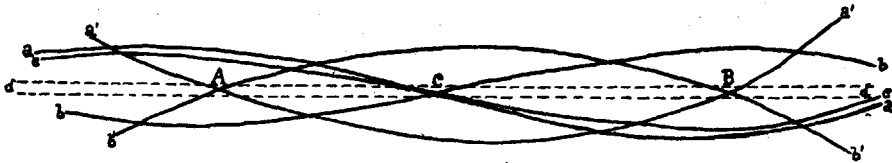


Fig. 2.

weise ein Knotenpunkt erkennen lässt, so haben wir eine sich fortbewegende Welle vor uns, während im Fall, wo sich die Luftdruckkurven vom 15. bis zum 15. in allen Punkten einander nähern, die Welle als eine stehende zu betrachten ist (dd).

In dieser Weise wurden auf Grund der Karten des mittleren Monatsluftdruckes diejenigen Fälle untersucht, in denen von Monat zu Monat die Luftdruckzunahmegebiete mit Luftdruckabnahmegebieten abwechseln. Im weiteren werden wir einige solche Fälle, wo die beschriebene Erscheinung mit dem schematischen Bilde übereinstimmt, näher betrachten.

Die Luftdruckschwankung im Nov. und Dez. 1897
und Jan. 1898.

Die mittlere Verteilung des Luftdruckes der betreffenden Monate zeigt im November zwei Tiefdruckgebiete, von denen eins sich im nördlichen Teil des Atlantischen Ozeans befindet, mit einem

Zentrum von 750 mm zwischen Süd-Grönland und Island, das andere dagegen in Nordosteuropa mit einem Zentrum von 746 mm zwischen der Halbinsel Kola und Nowaja-Semlja. Südlich von den Tiefdruckgebieten lagerten zwei Hochdruckgebiete, wobei das westliche Maximum von 766 mm sich westlich von den Azoren befand, das Zentrum des östlichen Hochdruckgebietes (772 mm) dagegen auf der Balkanhalbinsel. Beide Hochdruckgebiete waren getrennt durch eine von Island bis Afrika sich hinziehende Tiefdruckrinne, wobei zwischen den beiden Tiefdruckgebieten über der Nordsee und Süd-Skandinavien ein Hochdruckkeil sich ausgebildet hatte.

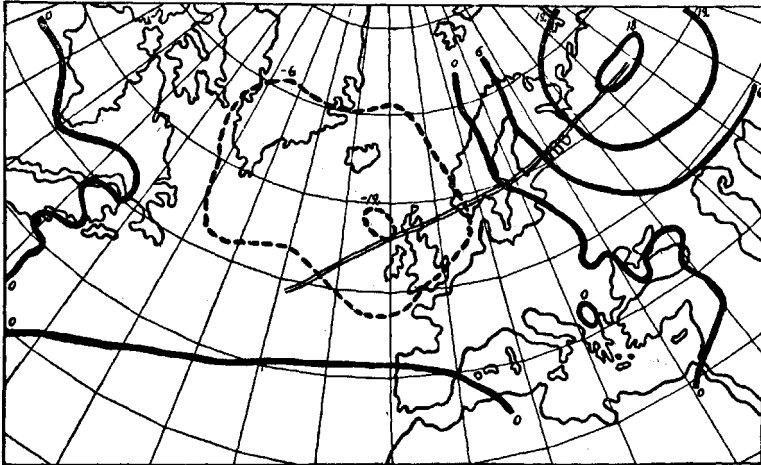


Fig. 3.

Im folgenden Monat, Dezember, hat die Lage sich insofern verändert, als das Islandminimum sich bis zu 742 mm vertieft hat, während in Nordosteuropa eine starke Luftdruckzunahme stattgefunden hat, so dass an Stelle eines Tiefdruckgebietes im Eismeer nur eine kleine Ausbuchtung der 760 mm - Isobare sich erkennen lässt. Das Azorenmaximum hat sich südostwärts der afrikanischen Küste genähert.

Im Januar 1878 hat sich das Islandtief weiter bis 738 mm vertieft, während zwischen Nowaja-Semlja und Kola wieder ein Minimum von 740 mm erschienen ist. Das Azorenmaximum hat sich ostwärts verschoben, so dass sein Zentrum von 772 mm sich in Südeuropa befindet.

Im Zusammenhang mit der Veränderung des Luftdruckes von Monat zu Monat zeigen die Luftdruckdifferenzkarten einerseits zwischen Dezember und November und andererseits zwischen Januar und Dezember ein wellenartiges Bild der Luftdruckverschiebung. Auf der ersten Karte (Fig. 3) sehen wir ein Luftdruckabnahmegebiet von 10 mm zwischen Irland und Island, während ein starkes Luftdruckzunahmegebiet von 18 mm sich in Nordosteuropa befindet.

Auf den folgenden Luftdruckdifferenzkarten (Fig. 4) zwischen Januar und Dezember ist die Lage vollständig verändert. An

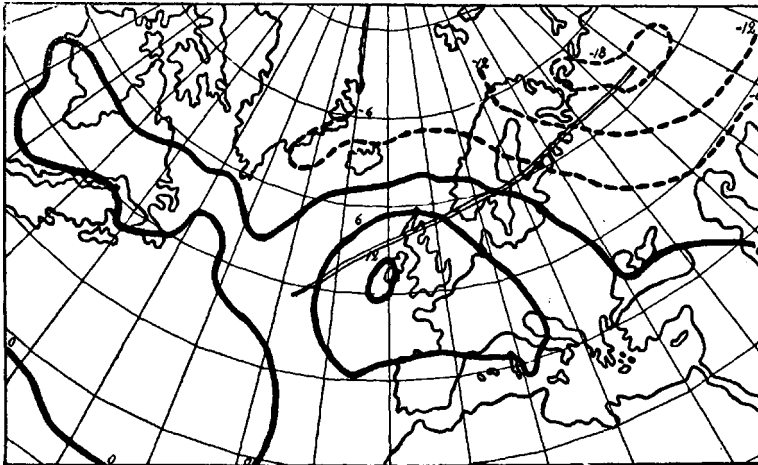


Fig. 4.

Stelle des Luftdruckabnahmegebietes auf dem Atlantischen Ozean ist ein Luftdruckzunahmegebiet erschienen, während in Osteuropa ebenso das Luftdruckabnahmegebiet dem Luftdruckzunahmegebiet Platz gemacht hat. Um über diese Erscheinung eine bessere Übersicht zu gewinnen, ist auf Fig. 5 unten der mittlere Monatsluftdruck für Nov., Dez. und Jan. für eine Strecke von England bis Nordosteuropa durch die Kurven XI, XII, I dargestellt. Die Lage dieser Strecke ist auf den Isallobarenkarten (Fig 3, 4) durch eine Doppellinie bezeichnet.

Gleicherweise stellen die oberen Linien den mittleren Luftdruck vom 15. Nov. bis zum 15. Dez. bzw. vom 15. Dez. bis zum 15. Jan. für dieselbe Strecke dar.

Der Verlauf der erwähnten Kurven zeigt, dass die in diesen Monaten stattgefundenen Luftdruckschwankungen eine nach Nord-

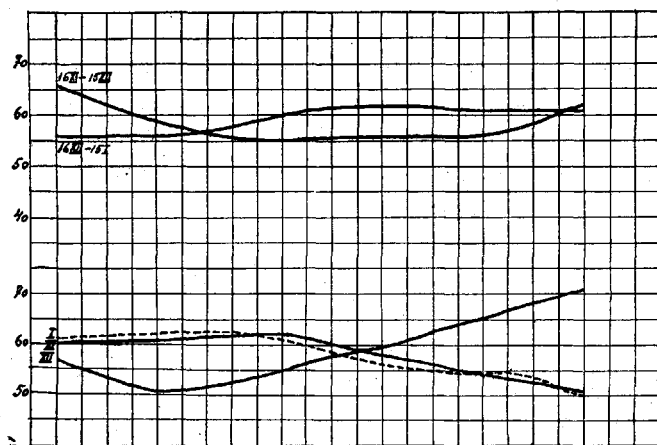


Fig. 5.

osten fortschreitende Luftdruckwelle darstellen, mit einer Periode von etwa 60 Tagen, was mit dem Verlauf der Monatsisobaren übereinstimmt.

Es sei hierzu bemerkt, dass ähnliche Luftdruckverteilungen in der kälteren Hälfte des Jahres oft vorkommen, was mit einer 60-tägigen Pulsation in Zusammenhang steht. Gewöhnlich lassen sich die beschriebenen Luftdruckschwankungen 3—4 Monate lang erkennen, um später wieder zu verschwinden.

Was die Periodenlänge anbetrifft, so ist sie keinesfalls streng konstant 60 Tage, sondern schwankt, sich verkürzend oder verlängernd, zwischen 45 und etwa 75 Tagen.

Luftdruckschwankung im März—Juli 1891.

Ausser den beschriebenen vorwärtsschreitenden 60-tägigen Luftdruckschwankungen macht sich auf den Monatskarten des mittleren Luftdrucks noch eine andere Art von Luftdruckpulsationen bemerkbar, die ungefähr dieselben Periodenlängen haben, jedoch zu den stehenden Wellen gehören. Die Anzahl der letzteren ist im Vergleich zu den ersteren bedeutend kleiner, da unter den erwähnten 30 Fällen nur 4 Fälle auf die stehenden Wellen kommen.

Als ein typisches Beispiel dafür möchte ich den mittleren Luftdruck der Monate März bis Juli 1881 vorführen. In dem genannten

Zeitraum fand eine periodische Luftdruckschwankung statt, wobei als Stellen der Hoch- und Tiefdruckgebiete abwechselnd einerseits die Westküste Skandinaviens und andererseits der Norden des Atlantischen Ozeans von etwa 45° bis 50° Breite und von 35° bis 40° Länge westlich von Greenwich sich zeigte.

So sehen wir auf der Karte des mittleren Luftdrucks für den Monat März ein Luftdruckmaximum von 766 mm westlich von Irland, wogegen sich zwischen Island und Norwegen ein breites Tiefdruckgebiet von 748 mm ausgebildet hat. In dem folgenden Monat, April, herrschte umgekehrt über dem Norden des Atlantischen Ozeans an Stelle des Luftdruckmaximums ein Luftdruckminimum von 754 mm, während über Skandinavien der mittlere Luftdruck auf 765 mm angestiegen war.

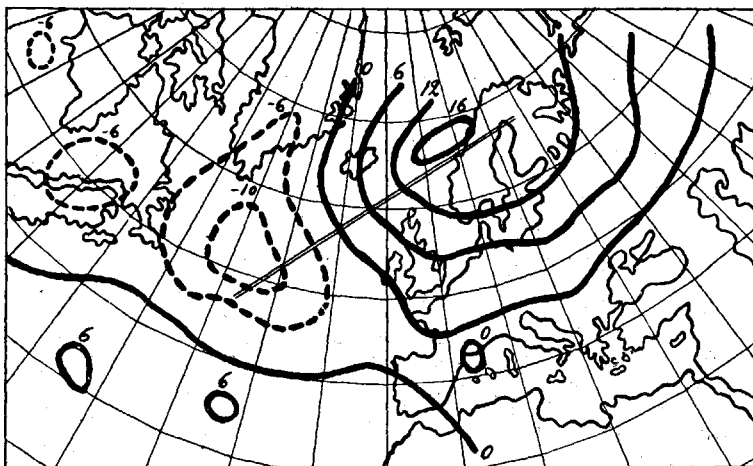


Fig. 6.

Die Luftdruckverteilung vom Mai zeigt über Skandinavien und England wieder ein flaches Tief von 756 mm. Ein zweites Tief von 758 mm ist zwischen Grönland und der Küste von Kanada erschienen, und infolgedessen hat sich an Stelle des Tiefdruckgebietes des vorigen Monats südlich von Island ein Luftdrucksattel von 762 mm gebildet.

Auch in den folgenden Monaten Juni und Juli dauert die beschriebene Pendelung des Luftdruckes in den betreffenden Gebieten fort. So haben wir im Juni über dem Norden des Atlantischen Ozeans ein Luftdruckminimum von 756 mm, im folgenden Monat dagegen ein breites Hochdruckgebiet, während über Skan-

dinavien das Hochdruckgebiet des Juni im folgenden Monat Juli durch ein Luftdrucktief von 758 mm ersetzt ist.

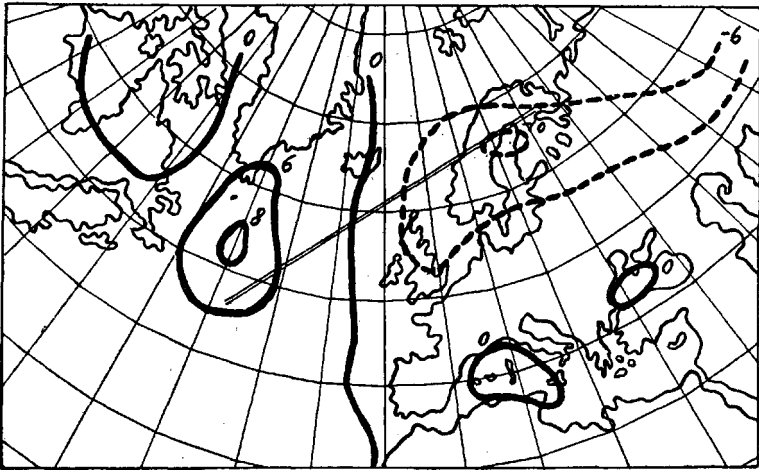


Fig. 7.

Zusammenfassend können wir sagen, dass die betreffenden Monate hindurch eine deutlich erkennbare Pendelung der Luftmassen über dem Norden des Atlantischen Ozeans und Skandinavien

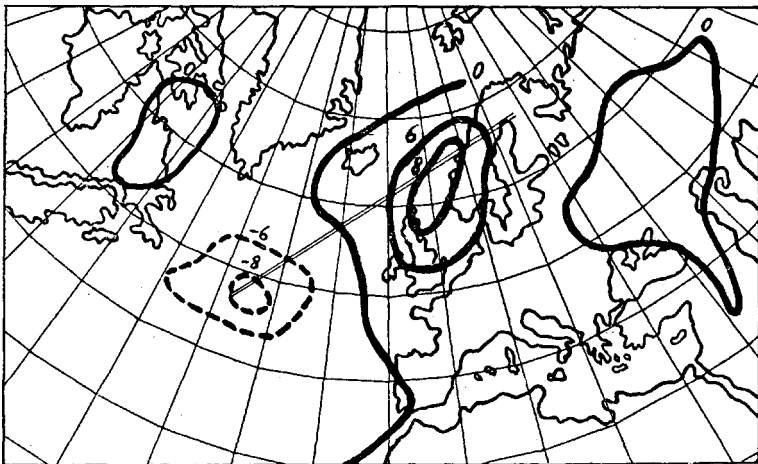


Fig. 8.

stattgefunden hat mit einer Periode von etwa 60 Tagen. Die beschriebene Erscheinung tritt besonders klar hervor auf den Luftdruckdifferenzkarten, auf denen wir an den genannten Orten regelmässig abwechselnd Luftdruckzunahme- und -abnahmegebiete finden.

Verhältnismässig grosse Unterschiede im Monatsmittel des Luftdruckganges zeigen März—April (Fig. 6), wo die betreffenden Werte bis zu 16 mm ansteigen, während es sich in den folgenden Monaten um 6—8 mm handelt (Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9). Es sei an dieser Stelle hervorgehoben, dass im allgemeinen ähnliche Luftdruckpulsationen in den Wintermonaten durch viel grössere Amplituden charakterisiert werden als im Sommer, so dass sie in dieser Beziehung mit den gewöhnlichen Zyklonen übereinstimmen.

Zur Beantwortung der Frage über die Natur der Wellen sind, wie im ersten Beispiel, die Luftdruckmittelwerte vom 15. bis zum

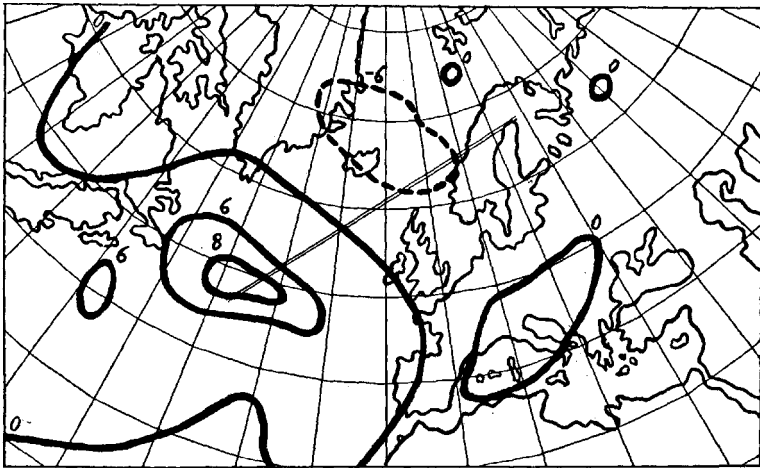


Fig. 9.

nächsten 15. berechnet und graphisch neben den gewöhnlichen Monatsmittelwerten für eine und dieselbe Strecke dargestellt worden (Fig. 10).

Die ersten drei Kurven, numeriert mit III, IV und V, stellen die Monatsmittelwerte für eine gerade Strecke dar, deren Lage auf den Luftdruckdifferenzkarten durch eine Doppellinie bezeichnet ist. Die nächstfolgenden Kurven, bezeichnet durch 16. III—15. IV und 16. IV—15. V, geben die Luftdruckwerte vom 16. März bis zum 15. April bzw. vom 16. April bis zum 15. Mai für dieselbe Strecke.

An dem Verlauf der ersten drei Kurven können wir deutlich eine wellenartige Pulsation des Luftdruckganges erkennen mit zwei Wellenbergen und einem Knotenpunkt dazwischen. Ein

bis auf 2—3 mm vermindert hat. Theoretisch müsste bei einer reinen, regelmässigen, stehenden Welle die erwähnte Differenz Null sein, was beim Luftdruck infolge der kontinuierlichen Zyklonenwanderung nicht zu erwarten ist.

Die folgenden Kurven der Fig. 10 zeigen gruppenweise den mittleren Luftdruck für die Monate April, Mai, Juni und unten für Mai, Juni, Juli, während die paarweisen Kurven den mittleren Luftdruck vom 16. V—15. VI bzw. vom 16. VI—15. VII darstellen. Auch diese Kurven bestätigen unsere Annahme über die stehende Welle, da auch hier die Luftdruckkurven vom 16. bis zum 15. keinen Wellenberg an Stelle des Knotenpunktes zeigen und ausserdem keine bedeutenden Luftdruckunterschiede vorkommen.

Was die Ursache der Bildung der beschriebenen stehenden Luftdruckwellen betrifft, so dürften hier als Hauptfaktor die entgegengesetzten Luftströmungen erwähnt werden, da die Windregistrierungen an der europäischen Küste oft wochenlang andauernde Ostwinde zeigen (besonders in den Wintermonaten), die zusammen mit der Westströmung auf dem Atlantischen Ozean einen Anstoss zur Bildung der stehenden Wellen geben können.

An der Hand dieser Beispiele möchte ich zum Schluss die Hauptergebnisse der Arbeit zusammenfassend darstellen.

Die harmonische Analyse des Luftdruckganges in Dorpat zeigt eine Reihe verschiedener Luftdruckperioden, unter denen diejenige von 60 Tagen sich durch ihre verhältnismässig grosse Amplitude hervorhebt.

Die aus den Pentadenwerten erhaltene Luftdruckkurve von Dorpat zeigt eine grosse Anzahl von 45—75 Tage andauernden Luftdruckschwankungen, deren unregelmässige Verteilung jedoch eine Anhäufung in den Wintermonaten erkennen lässt.

Die Differenzkarten der mittleren Luftdruckverteilung von Monat zu Monat lassen in gleicher Weise über dem Norden des Atlantischen Ozeans und den anliegenden Kontinenten das Auftreten einer wellenartigen Luftdruckpulsation erkennen, deren Amplitude ihre grössten Werte in den Wintermonaten erreicht.

Die Dauer dieser Luftdruckpulsation erstreckt sich höchstens auf 3—5 Monate, wobei die Periodenlänge im Mittel etwa 2 Monate beträgt, in einzelnen Fällen aber zwischen 45 und 75 Tagen schwankt.

Grösstenteils tragen die vorkommenden Luftdruckpulsationen die Merkmale vorwärtsschreitender Wellen, obwohl in einzelnen Fällen sich auch stehende Wellen erkennen lassen. Es ist anzunehmen, dass in Wirklichkeit die Zahl der stehenden Wellen viel grösser ist, da von den letzteren diejenigen Wellen auf den Luftdruckdifferenzkarten sich nur schwach erkennen lassen, deren Wellenberge oder -täler auf den Schluss resp. den Anfang der Monate fallen.
