

ausgebaut werden muß, was nur dadurch möglich ist, daß man eben auch neue, heute noch fehlende wissenschaftliche Grundlagen schafft.

Die Luftfahrt ist mit der Wetterkunde eng verknüpft und muß von ihr noch viel mehr verlangen, als sie ihr heute schon liefern kann. Nur dann wird die Möglichkeit bestehen, einen wirklichen Welt-Luftverkehr aufzubauen.

Ferner hält Prof. L. Weickmann (Leipzig) folgenden ergänzenden Vortrag.

## 10. DIE 24 TÄGIGE POLARE DRUCKWELLE DES WINTERS 1923/24

Von Prof. L. WEICKMANN, Leipzig

Prof. V. Bjerknes hat uns in einem sehr interessanten Vortrage den komplizierten Mechanismus der thermodynamischen Maschine erläutert, als welche wir die Erdatmosphäre mit ihren mehr oder weniger regelmäßigen Luftströmungen betrachten können. Wir haben gesehen, wie der Äquator die Rolle des Heizkessels, die polaren Gebiete dagegen die des Kondensators spielen, wo der arbeitenden Substanz, der Luft, Wärme zugeführt bzw. entzogen wird.

Da in dieses thermodynamische System Äquator—Pol noch eine ganze Reihe anderer kleinerer Maschinchen eingeschaltet ist mit eigenen Heiz- und Abkühlungsstellen, z. B. die maritim-kontinentalen Systeme, so ist es sehr schwierig, den Arbeitsgang der großen Maschine vollständig zu überblicken, und insbesondere das festzustellen, was wir den Takt bei einer derartigen Maschine nennen. Das ist es aber gerade, was uns hier bei der Behandlung der polaren Probleme der Meteorologie im Rahmen der Luftfahrt am meisten interessiert. Denn der Einblick in den Arbeitsrhythmus wäre gleichbedeutend mit einer weitgehenden Beherrschung der Fragen der Wettervorhersage, die ja eine wichtige Voraussetzung der polaren Luftfahrt ist.

In der Tat sind nun schon einige Ansätze zu solchen Untersuchungen vorhanden, und die norwegische Schule selbst hat für die Störungen, deren Ursache und Verlauf wir soeben kennen gelernt haben, gewisse Wiederkehrgesetze oder besser Regeln angegeben, nämlich für den Ablauf einer Zyklonenfamilie etwa 5—6 Tage, für einen vollen „Umlauf“ des polaren Systems 22 Tage. Eine Reihe anderer Untersuchungen, die in dieser Richtung angestellt worden sind, von Defant, Danilow, Clayton, Gilbert Walker u. a., haben gleichfalls gewisse Periodizitäten im Witterungsverlaufe ermittelt, indem sie langjähriges Beobachtungsmaterial auf die darin versteckten Perioden untersuchten, während Vercelli und Matteucci ein Verfahren anwenden, das nur aus kürzeren Reihen die periodischen Elemente eliminiert.

Ohne Zweifel wird man den besten Erfolg haben, wenn man die Untersuchung auf solche Zeiträume beschränkt, in denen die Atmosphäre sich in besonders ausgesprochener Weise rhythmisch bewegt hat bzw. in denen das Gesetz der Periodizität besonders ausgeprägt ist. Solche Zeiträume erlaubt uns das Gesetz der Symmetrie der Druckkurven zu bestimmen<sup>1)</sup>. Es ist in hohem Grade wahrscheinlich, daß in einer Zeit, in der der Kurvenverlauf zu beiden Seiten des Symmetriepunktes gut symmetrisch ist, auch die Ausbildung der einzelnen Wellen gut sein muß, d. h., daß man mit der Konstanz der Periode und Amplitude rechnen kann. In solchen Zeiten ist es dann auch möglich, zur Bestimmung der einzelnen Wellen die Methode der harmo-

<sup>1)</sup> Vgl. L. Weickmann: Wellen im Luftmeer. (Abhandl. d. Sächs. Akad. der Wissensch., math.-phys. Kl. XXXIX, 2.)

nischen Analyse anzuwenden, wenn man sich durch verschiedene Voruntersuchungen über die Länge der Grundperiode Aufschluß verschafft hat. Darauf kann hier nicht näher eingegangen werden, es mag genügen, zu bemerken, daß die bisherigen Untersuchungen Perioden von etwa 6, 8, 12, 24 Tagen als die Perioden der größten Amplituden ergeben haben.

Im Winter 1923/24, der ein ziemlich strenger Winter war, zeigte sich ein sehr gut ausgeprägter Symmetriepunkt am 15. Januar 1924. Die harmonische Analyse ergab sowohl bei Wahl eines 90tägigen als eines 72tägigen Grundintervalls die maximale Amplitude bei 22,5 bzw. 24 Tagen, und zwar für die Station Hamburg, wie für eine große Anzahl anderer Orte (vgl. Tafel V, 1 u. 1a). Für einige Stationen von Nord-europa war durch die 24tägige Welle der Luftdruckgang des betreffenden Zeitintervalls fast vollständig approximiert (vgl. Green Harbour, Tafel V, 2). Dies legte den Gedanken nahe, daß die Zunahme der Amplituden dieser Welle mit dem Fortschreiten nach N. zusammenhänge mit dem speziellen Charakter der 24tägigen Welle des Winters 1923/24. Es wurde daher der Verlauf dieser Welle über der ganzen Nordhemisphäre verfolgt an Hand des erreichbaren Beobachtungsmaterials, das ist durch harmonische Analyse von mehr als 800 Beobachtungsstationen. Leider erweist sich gerade das Polarbecken als viel zu arm an Beobachtungen. Es wäre dringend zu wünschen, daß längs der Sibirischen Küste, außerdem in Kanada und Alaska, viel mehr Beobachtungsposten errichtet werden. Wenn die gegenwärtige Tagung der Studiengesellschaft zur Erforschung der Arktis dazu beitragen würde, daß diese Forderung nach Vermehrung der Beobachtungsstationen im Polargebiet bald erfüllt würde, wäre schon ein erster großer Erfolg erreicht, der nicht nur der polaren Meteorologie, sondern der ganzen Frage der arktischen Forschung und des arktischen Luftverkehrs zugute käme.

Die harmonische Analyse liefert für jede Welle die Werte der Amplitude und die Anfangsphase, d. h. den Bewegungszustand im Anfang des betrachteten Zeitintervalls. Man kann also die Welle darstellen durch die Verteilung der Amplitudenwerte und durch die Linien gleicher Phase. Wenn man z. B. die Welle verfolgen wollte, die ein in ruhendes Wasser geworfener Stein erregt, so würde sich für die Linien gleicher Phase ein System von konzentrischen Kreisen um den Aufschlagpunkt des Steines ergeben.

In solcher Weise wurde also die 24tägige Welle über der Nordhemisphäre verfolgt. Tafel V, 3 gibt den Verlauf der Amplituden, Tafel V, 4 den der Phase beim Beginn der Bewegung wieder. Man sieht, daß Isophasen und Isamplituden geschlossene den Pol umgebende Linien sind, durch die gewissermaßen die Polarluftkalotte abgebildet erscheint. Die Amplituden zeigen die höchsten Werte über Spitzbergen mit mehr als 12 mm, nehmen von da ziemlich gleichmäßig gegen den Äquator ab, und zwar über den bekannten Hauptausbruchgebieten polarer Kältewellen (Grönland, Aleuten und Sibirien) langsamer als über den Kontinenten. In das zusammenhängende Gefüge schneidet der Wärmebringende Golfstrom eine tiefe Rinne hinein, jenseits welcher sich ein sekundäres Maximum der Amplitude über den Britischen Inseln zeigt.

Über dieses Feld der Amplitude legt sich in jedem Zeitpunkte das Feld der Phasenlinien, das zwar im Verlaufe seiner Linien unverändert bleibt, das aber beständig die Werte dieser Linien ändert. Beim Beginne der Bewegung trägt z. B. die über dem Süden von Grönland verlaufende Linie den Wert 270°, d. h. die auf diese Linie treffenden Werte der Amplitude sind mit  $\sin 270^\circ = -1$  zu multiplizieren. Entsprechend sind dann die Amplituden längs der Phasenlinie 90° mit 1 zu multiplizieren, d. h. ungeändert zu lassen, während längs der Phase 180° alle Amplituden den Wert Null annehmen.

Nach 24 Tagen erreichen die Phasen wieder ihre alten Werte, nur vermehrt um  $2\pi$ , was für den Sinus ohne Belang bleibt. Dazwischen aber ändert sich der Wert der Phase, und zwar für je zwei Tage um  $30^\circ$ , so daß also nach zwei Tagen die ursprünglich mit 240 bezeichnete Phase den Wert 270 annimmt, usw.

Will man demgemäß den wirklichen Verlauf der Amplituden kennen lernen, so hat man diese Multiplikation mit dem Sinus der Phase auszuführen. Dies ist von zwei zu zwei Tagen in den folgenden Abb. 5—10, Tafel V, ausgeführt, die demnach die aufeinanderfolgenden Situationen der 24tägigen Welle darstellen, und zwar für 12 Tage. Der 14. bis 24. Tag würde wieder dieselben Bilder liefern, nur mit vertauschten Vorzeichen. Eine eingehendere Besprechung der einzelnen Bilder erscheint überflüssig, man sieht ja sehr deutlich, wie die Wellenbewegung, wenn man z. B. die Nulllinie der Figuren betrachtet, sich auf immer größere Bereiche ausdehnt und insbesondere in den erwähnten Gebieten der Kälteausbrüche in die äquatorialen Breiten sich ergießt. Sehr charakteristisch ist auch die Erscheinung des Umströmens des Felsengebirges von Nordamerika, die besonders auf den ersten drei Figuren deutlich hervortritt. Verfolgt man den Einsatz der positiven Werte auf Tafel V, 8 in seiner Entwicklung auf den folgenden Figuren weiter, so sieht man, wie die von der Südspitze von Grönland ausgehende Bewegung sich rasch über das ganze Polarbecken ausbreitet. Dabei sind die Änderungen vom 16. Dezember 1923 zum 18. Dezember 1923, die sog. zweitägigen Isallobaren, durch einen Druckanstieg über dem ganzen Polargebiet charakterisiert, wie man aus der Tafel V, 11 ersieht. Es ist also nicht so, als sei die Bewegung irgendwie in besonderer Weise mit Grönland verknüpft, sondern sie zeigt sich als eine das ganze Polarbecken beherrschende Erscheinung.

In 24 Tagen läuft somit dieser ganze Rhythmus ab, dessen Periode den Takt der thermodynamischen Maschine der Atmosphäre bestimmt. Bringt man einen vollständigen Satz von zwei zu zwei Tagen auf einer Tafel zur Darstellung, wie dies auf Tafel V, 12 geschehen ist, so erhält man einen sehr guten Überblick der Vorgänge im zirkumpolaren Bereiche der Nordhemisphäre, von denen die Erscheinungen der Polarfront abhängen. Der in 24 Tagen sich abspielende Prozeß des Ausquellens und Wiedereinsaugens der Polarluftkalotte, das „Atmen der Atmosphäre“, wie man es auch genannt hat, ist zugleich der Träger jener periodischen „Störungen“, die uns Prof. Bjerknes erläutert hat.

Führt man längs des 45. Meridians W einen Schnitt durch die von zwei zu zwei Tagen gezeichneten Amplitudenfelder der Abb. 5—10, Tafel V, so muß sich die wellenförmige Bewegung der polaren Luftmasse in besonders übersichtlicher Weise ergeben. Dies ist in der Tafel V, 13 ausgeführt wieder nur für eine halbe Wellenlänge vom 10. bis 22. Dezember 1923 bzw. vom 3. bis 15. Januar 1924 usw. Auf der Seite des Atlantischen Ozeans erscheint die polare Luftmasse abgegrenzt bei etwa  $50^\circ$ , auf der pazifischen bei etwa  $60^\circ$ . Die Amplituden, die im Bereiche des Polarmeeres natürlich sehr hoch sind, nehmen bei der Ausdehnung der Bewegung auf der Kugel ab. Grönland macht sich als Störung in dem sonst mit geradezu mathematischer Regelmäßigkeit verlaufenden Schwingungsvorgange bemerkbar.

Viel größer aber ist die Störung, welche der große asiatische Kontinent verursacht. Dies ist deutlich zu erkennen, wenn man den Schnitt so führt, daß er diesen Kontinent durchsetzt, also etwa durch den Meridian von  $45^\circ$  O (Tafel V, 14). Alaska und das Wolgagebiet treten dabei als mächtige Störungsgebiete hervor, die den Rahmen der polaren Schwingung stark einengen.

Ohne Zweifel bietet diese Betrachtungsweise der Periodizität der atmosphärischen Störungen wichtige Anhaltspunkte nicht allein für die Theorie dieser Erscheinungen,

sondern auch für die praktischen Gesichtspunkte, die die Studiengesellschaft in erster Linie im Auge hat. Es ist beabsichtigt, diese Untersuchungen, über die ich Ihnen hier in aller Kürze berichten konnte und die sich ja vorläufig nur auf einen einzigen Winter erstrecken, fortzuführen. Ich zweifle nicht, daß es gelingen wird, aus dem Verhalten der einzelnen Wellen in den verschiedenen Wintern Schlüsse auf den Charakter der zu erwartenden Witterung zu ziehen. Zu der hier gezeigten polar-äquatorialen Schwingung gesellt sich noch das maritim-kontinentale System, das einen 36tägigen Rhythmus zeigt, sowie eine Anzahl mehr untergeordneter Systeme. Ihre völlige Beherrschung wäre gleichbedeutend mit der Lösung des Problems von der Periodizität der atmosphärischen Bewegungen, mit der Beantwortung also der Frage nach dem Takte der thermodynamischen Maschine der Atmosphäre.

## 11. DIE METEOROLOGISCHEN UNTERSUCHUNGEN UND ERGEBNISSE DER „MAUD“-EXPEDITION

Von Prof. HARALD U. SVERDRUP, Bergen

Im Jahre 1917 wurde das Schiff „Maud“ für Kapitän Roald Amundsen gebaut und ausgerüstet. Die „Maud“-Expedition verließ Norwegen 1918 unter seiner Leitung. Die Absicht war, zur Ostseite der Neusibirischen Inseln hervorzudringen, um von dort aus die berühmte Trift der „Fram“ über dem Polarmeer zu wiederholen. Der ungünstigen Eisverhältnisse wegen konnte aber das Schiff sich während dreier Sommer nicht von der Küste entfernen, und drei Winter wurden an verschiedenen Stellen der Nordsibirischen Küste verbracht. Beim letzten Versuch, ins Treibeis hineinzudringen, wurde die Propellerachse beschädigt und im Sommer 1921 mußte die „Maud“ nach Seattle an der amerikanischen Westküste gesegelt werden. Zahlreiche meteorologische Beobachtungen nebst Ergebnissen von Drachen- und Pilotballonaufstiegen liegen aus diesen Jahren vor. Das Material ist aber noch nicht bearbeitet und ich werde mich deswegen im wesentlichen mit den Ergebnissen des folgenden Teiles der Expedition beschäftigen (s. Abb. 1).

Der unbedeutende Schaden wurde in Seattle ausgebessert, neue Ausrüstung wurde angeschafft und zum Teil wurden neue Mitglieder der Expedition geworben. Im Juni 1922 kehrten wir zur Arktis zurück. Kapitän Roald Amundsen verließ das Schiff an der Küste von Alaska, um die Expeditionen mit Flugzeug zu leiten und die „Maud“ suchte unter Kommando von Oskar Wisting einen Weg ins Eis hinein. Am 8. August 1922 wurde das Schiff an der Ostseite der Wrangelinsel vom Eis eingeschlossen und trieb dann während zweier Jahre mit dem Eise, bis es am 9. August 1924 an der Nordseite der Neusibirischen Inseln wieder frei wurde. Die Drift verlief im ganzen parallel der Drift des amerikanischen Schiffes „Jeanette“, Kapitän de Long, und endete nahe der Stelle, wo Fridtjof Nansens Schiff, die „Fram“, im Jahre 1893 ihre berühmte Drift begonnen hatte. Wenn wir fortgesetzt hätten, hätten wir wahrscheinlich die „Fram“-Drift wiederholt. Kapitän Wisting hatte aber im Frühjahr 1924 eine drahtlose Order erhalten, infolgederen weitere Versuche, über das Polarmeer zu treiben, aufgegeben werden sollten und die Expedition durch die Beringstraße zurückkehren sollte. Wir suchten deswegen zur Küste zurück, folgten dieser gegen O, trafen aber wieder ungünstige Eisverhältnisse an und mußten nochmals einen Winter an der Küste verbringen, und zwar an den Bäreninseln, unweit der Stelle, wo wir den Winter 1919/20