

Werk

Jahr: 1928

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:4

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0004

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0004

LOG Id: LOG_0060

LOG Titel: Statistische Mechanik der Atmosphäre

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

mung, namentlich der Strömung an Hindernissen beruht ein wesentlicher Teil der meteorologischen Kleinnavigation, die für das Ansteuern von Inseln und Küsten und für das Starten und Landen in deren Bereich bedeutungsvoll ist.

Literatur.

1) A. Pepler: Die Windverhältnisse im nordatlantischen Passatgebiet. Beitr. z. Phys. d. freien Atmosphäre 1912, S. 35—50.

2) H. U. Sverdrup: Der nordatlantische Passat. Veröffentl. d. Geophys. Instituts Leipzig II, 1. 1917.

3) H. Hergesell: Passatstudien in Westindien. Beitr. z. Phys. d. freien Atmosphäre 1912, S. 153—187.

4) A. Wegener und E. Kuhlbrodt: Der Spiegeltheodolit für Pilot- und freie Registrierballonaufstiege auf See. Annalen d. Hydrographie und maritimen Meteorologie 1922, S. 241—244.

5) Dieselben: Pilotballonaufstiege auf einer Fahrt nach Mexiko März bis Juni 1922. Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte 1922, Nr. 4. — A. Mey: Pilotballonaufstiege auf einer Fahrt nach Mexiko September bis Dezember 1922. A. 1923, Nr. 4. — H. Seilkopf und G. Stüve: Ergebnisse von Höhenwindmessungen auf dem Nordatlantischen Ozean und im Golf von Mexiko Februar bis Mai 1923. A. 1925, Nr. 2. — W. Georgii und H. Seilkopf: Ergebnisse einer flugwissenschaftlichen Forschungsreise nach Columbia (S.-A.). A. 1926, Nr. 3. — P. Perlewitz: Höhenwindmessungen und andere Beobachtungen zwischen dem Kanal und dem La Plata März—Juni 1924. A. 1928, Nr. 3. — K. Knoch und A. Lohr: Ergebnisse von Höhenwindmessungen auf dem Nordatlantischen Ozean und dem Karibischen Meer im April und Mai 1927. A. 1928, Nr. 4.

6) A. Wegener und Kuhlbrodt: Pilotballonaufstiege usw.

7) H. Seilkopf: Flugmeteorologische Ergebnisse der Ozean-Studienfahrten der Deutschen Seewarte. Annalen 1927, S. 177—183, 211—215.

8) L. Prandtl: Die Entstehung von Wirbeln in einer Flüssigkeit mit kleiner Reibung. Zeitschr. f. Flugtechn. u. Motorluftschiffahrt 1927, S. 489—496. — Derselbe: Antworten auf die Ahlbornschen Ausführungen über „Die Ablösungstheorie der Grenzschichten und die Wirbelbildung“. Jahrb. d. Wissenschaftl. Gesellsch. f. Luftfahrt 1927, S. 177—188.

Statistische Mechanik der Atmosphäre.

Von **Fr. Baur**, Berlin.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß bisher alle Versuche, das Wetter oder Teile der Wettererscheinungen mit Hilfe der Gleichungen der klassischen Mechanik vorauszusagen, gescheitert sind. Auch der bislang ausführlichste derartige Versuch, Richardsons „Weather prediction by numerical process“, der sich auf eine Vorhersage für nur sechs Stunden beschränkte, lieferte keine befriedigende Übereinstimmung zwischen dem theoretisch errechneten und dem wirklich eingetretenen Wetter. Die Frage nach dem Grunde dieses Versagens der klassischen Ansätze pflegt von den Meteorologen je nach ihrer grundsätzlichen

Einstellung verschieden beantwortet zu werden, und zwar kann man in bezug hierauf zwei Richtungen unterscheiden: Die Klassiker der Meteorologie sind der Anschauung, daß nach Überwindung gewisser mathematischer Schwierigkeiten, die in der vollständigen Integration aller maßgebenden Differentialgleichungen liegen, und bei Vorhandensein eines umfassenden Beobachtungsstoffs aus der ganzen Atmosphäre die Lösung des Problems der Wettervorhersage im Sinne der deterministischen Physik möglich sein müßte, daß also das bisherige Versagen der klassischen Mechanik in bezug auf die Wettervorhersage nur an dem derzeitigen unbefriedigenden Stand der theoretischen Meteorologie und an dem Mangel ausreichender Beobachtungsgrundlagen liege. Die Romantiker der Meteorologie dagegen sind der Meinung, daß selbst nach Überwindung der Schwierigkeiten, die in der mathematischen Durcharbeitung des Problems und in der Beschaffung wirklich vollständiger Beobachtungsgrundlagen liegen, eine „absolut sichere“ Wettervorhersage nicht möglich sein werde, da nach ihrer Ansicht infolge vorhandener Unstetigkeiten gewisse zufällige Züge im Wetter enthalten seien.

Nach meiner Auffassung -- die in gewissem Sinne zwischen den eben geschilderten einander entgegengesetzten Anschauungen vermittelt -- ist es ohne Belang, ob wir annehmen, daß wir alle das Wetter ausmachenden kommenden Zustände genau vorausberechnen könnten, wenn wir die genauen Anfangsbedingungen und alle Einflüsse kennen würden, oder ob wir das nicht annehmen; denn es wird kaum je möglich sein zu entscheiden, ob jene Annahme richtig oder unrichtig ist, da es wohl als ausgeschlossen gelten kann, daß wir je über so vollständige Beobachtungen aus der ganzen Erdatmosphäre verfügen werden, daß wir aus einem gegebenen Anfangszustand im Sinne der klassischen Mechanik die Bewegung eines beliebig abgegrenzten Massenteils der Atmosphäre in ihrem zeitlichen Ablauf eindeutig bestimmen könnten. Diese Einsicht weist gebieterisch auf die Notwendigkeit hin, zur Lösung des Problems der Wetter- und Witterungsvorhersage und anderer Aufgaben der Physik der Atmosphäre eine andere Berechnungsweise aufzubauen. Wegen ihrer gleich näher zu besprechenden Eigenart können wir sie als statistische Mechanik der Atmosphäre bezeichnen.

Wenn wir die Gleichungen der klassischen Mechanik auf die atmosphärischen Erscheinungen anwenden, so bedienen wir uns dabei stets gewisser vereinfachender Annahmen. Dadurch geht die getreue Abbildung der Wirklichkeit verloren. Halten wir uns an die tatsächlichen Beobachtungen, so erscheinen die uns durch die Erfahrung zugänglichen Zusammenhänge nicht als funktionelle, sondern als stochastische. Wir setzen demnach an die Spitze unserer statistischen Mechanik der Atmosphäre das Axiom: Die bei den dynamischen und thermodynamischen Vorgängen in der Atmosphäre auftretenden Abhängigkeiten sind (für uns) stochastische Zusammenhänge, d. h. eine von irgendwelchen Veränderlichen X_1 bis X_n abhängige Veränderliche X_0 erscheint auch nach dem Festlegen der Werte von $X_1 \dots X_n$ immer noch als eine „zufällige Ver-

änderliche“ im Sinne der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Damit stellen wir uns nicht etwa einseitig auf die Seite der Romantiker. Wir haben ja ausdrücklich die Frage, ob sich die Bewegung eines beliebig abgegrenzten Massenteils der Atmosphäre eindeutig bestimmen ließe, wenn ein Anfangszustand vollkommen gegeben wäre, offengelassen. Jenes Axiom ist vielmehr nur ein Ausdruck dafür, daß wir eben nicht den gesamten Ursachenkomplex der atmosphärischen Erscheinungen überblicken können.

Als zweites Axiom stellen wir die Behauptung auf, daß die relativen Häufigkeiten der Erscheinungen und Vorgänge in der Atmosphäre in unbegrenzt fortgesetzt gedachten Folgen, die unter den gleichen wesentlichen Bedingungen stattfinden, Grenzwerte besitzen. Diese Behauptung gründet sich auf die Erfahrung, daß die Schwankungen in der relativen Häufigkeit meteorologischer Erscheinungen immer kleiner werden, je größer die Zahl der angestellten Beobachtungen ist, was ich speziell für die Tagestemperatur im Januar in Berlin in meinem Büchlein „Korrelationsrechnung“ aufgezeigt habe.

Mit der Annahme dieser beiden Axiome werden wir in die Lage versetzt, die Operationen der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf die atmosphärischen Vorgänge anzuwenden. Dabei sind zwei Eigentümlichkeiten für den wahrscheinlichkeitstheoretischen Aufbau der statistischen Mechanik der Atmosphäre kennzeichnend: 1. werden als Ausgangswahrscheinlichkeiten die tatsächlich beobachteten relativen Häufigkeiten eingesetzt, worin die Berechtigung zur Bezeichnung „statistische“ Mechanik liegt, und 2. wird von mehreren Kollektiven mit im allgemeinen verschiedener Verteilung ausgegangen. Hierin unterscheidet sich die statistische Mechanik der Atmosphäre wesentlich von der sogenannten „physikalischen Statistik“, die in der Regel nur von einem Kollektiv (z. B. der Gesamtheit der Moleküle eines Gases), oder zwar von mehreren, aber gleichverteilten Kollektiven ausgeht und welche die Ausgangswahrscheinlichkeiten auf Grund von Hypothesen über gleichmögliche Fälle gewinnt. Die Aufgabe der statistischen Mechanik der Atmosphäre ist eine doppelte: 1. die in der Atmosphäre auftretenden stochastischen Zusammenhänge zu untersuchen und vermitteltst geeigneter Maßzahlen zu messen, 2. Wetterelemente und ihre Änderungen aus den Veränderlichen, mit denen sie stochastisch verbunden sind, durch geeignete Verfahren in ähnlicher Weise zu berechnen (vorauszurechnen), wie dies im Bereich der funktionellen Zusammenhänge durch die Gesetzesformeln geschieht.

Die Beschaffenheit der Ausgangswerte und die Eigenart der Aufgabe weisen der statistischen Mechanik der Atmosphäre einen bestimmten, erst in den letzten Jahrzehnten entstandenen Zweig der Wahrscheinlichkeitsrechnung als theoretisches Rüstzeug zu, nämlich die Korrelationsrechnung. Darunter ist mehr zu verstehen als die allgemein bekannte, zuweilen aber recht gedankenlos gebrauchte Korrelationsmethode, die sich mit der Berechnung von einfachen Korrelationskoeffizienten und einer meistens noch dazu falschen Bestimmung ihrer wahrscheinlichen Fehler begnügt. Die Korrelationsrechnung,

die zu einem rationellen Aufbau einer statistischen Mechanik der Atmosphäre nötig ist, liegt noch nicht fertig vor, sondern ist erst in der Entwicklung begriffen.

Als ein Beispiel dafür, welche neuen Einblicke in den Mechanismus der Atmosphäre durch die Aufstellung geeigneter Maßzahlen zur Messung der stochastischen Zusammenhänge gewonnen werden können, sei erwähnt, daß die Korrelationsrechnung die Beantwortung der Frage nach dem „Sitze“ der Luftdruckschwankungen ermöglicht. Es lassen sich nämlich Maßzahlen aufstellen, die unmittelbar angeben, zu welchem Bruchteil der Schwankungen einer Veränderlichen X_0 jede einzelne der mit ihr stochastisch verbundenen Veränderlichen X_1 bis X_n beiträgt*).

Die Anwendung auf die Münchner Morgen-Registrierballonfahrten im Monat Mai ergibt folgende Maßzahlen:

	$s=0$ (p_0)	1 ($t_{0-10 \text{ km}}$)	2 ($t_{10-13 \text{ km}}$)	3 (p_{13})
P_{0s}	—	0.235	0.09	0.675
P_{1s}	0.06	—	0.17	0.77
P_{2s}	0.09	0.63	—	0.28
P_{3s}	0.19	0.74	0.07	—

Der Luftdruck am Boden wird also im Mai zu $23\frac{1}{2}$ Proz. durch die Troposphären-temperatur vom Boden bis zu 10 km Höhe, zu 9 Proz. durch die Temperatur der Luftschicht von 10 bis 13 km Höhe, die wir, mittleren Verhältnissen entsprechend, schematisch als Substratosphäre bezeichnen wollen, und zu $67\frac{1}{2}$ Proz. durch den Druck in 13 km Höhe bestimmt. Da die Beziehungen, wenigstens zum Teil, wechselseitige sind, kann man nicht von einer „Verursachung“ sprechen, sondern nur davon, daß die Schwankungen der einen Größe zu dem angegebenen Prozentsatz in den Schwankungen der anderen enthalten sind. Die Wechselseitigkeit der Einflüsse sehen wir sehr schön an den Maßzahlen P_{13} und P_{31} . Die Temperatur der Troposphäre wird zu 77 Proz. durch den Druck in 13 km Höhe bestimmt, umgekehrt dieser zu 74 Proz. durch die Troposphärentemperatur: Es kann ebenso die Erhöhung des Druckes in 13 km Höhe durch die Erwärmung der Troposphäre bewirkt werden, indem letztere eine Hebung der Flächen gleichen Druckes und damit — solange die Luft in den obersten Schichten nicht seitlich abfließt — eine Steigerung des Druckes in 13 km Höhe hervorruft, wie auch die Erwärmung der Troposphäre durch Erhöhung des Druckes in 13 km Höhe und dadurch erzeugte Kompression der darunterliegenden Schichten bedingt sein kann.

Ein (vorläufiges) Bild des Jahresganges der Maßzahlen für den Anteil der Temperatur der Troposphäre, der Temperatur der Substratosphäre und des

*) Die einschlägigen Formeln wurden in meinem Vortrage über „Probleme der Mehrfachkorrelation“ in der Abteilung „Mathematik“ gegeben. Vgl. auch F. Baur, Zeitschr. f. angew. Mathematik u. Mechanik 1928.

Druckes in 13 km Höhe an den Schwankungen des Bodendruckes in München (im Zeitraum 1906 bis 1927) gibt nachstehende Tabelle:

	P_{01}	P_{02}	P_{03}	Zahl der Aufstiege
Winter (XII + I + II)	0.32	0.02*	0.66	25
Mai	0.23	0.09	0.68	28
Juni und Juli	0.25	0.31	0.44*	35
August und September	0.16*	0.20	0.64	28
Oktober	0.28	0.03	0.69	24

Als Beispiel aus dem zweiten Aufgabenkreis der statistischen Mechanik erwähne ich das Problem der Vorhersage von Druckänderungen an einem Orte. Von einer Darstellung der Zustandsverteilung in der Atmosphäre durch eine Schar von Isothermenflächen und eine Schar von Isentropenflächen ausgehend, läßt sich zeigen, daß in trockener Luft, ohne Berücksichtigung von Wärmezufuhr und Wärmeentziehung durch Strahlung, Druckzunahme eintritt, wenn die horizontale Luftströmung am Erdboden im Sinne der wachsenden Entropie vor sich geht, dagegen Druckabnahme bei Strömung in Richtung der fallenden Entropie. Zur Bestimmung der Größe der Druckänderung und des Zeitbedarfes ihrer Ausbildung mit den Mitteln der klassischen Mechanik müßte die Zustandsverteilung in der ganzen Atmosphäre bekannt sein. Mit Hilfe der Korrelationsrechnung jedoch lassen sich die (stochastischen) Abhängigkeitsgesetze zwischen Luftversetzung und Entropiegefälle einerseits und Größe der Druckänderung innerhalb einer bestimmten Zeitspanne andererseits auch aus den heute verfügbaren Beobachtungen ermitteln. Daraus und in Verbindung mit anderen zahlenmäßigen Beziehungen lassen sich nichtlineare Beziehungsgleichungen aufstellen, die eine Wettervorhersage für drei Tage ermöglichen. Die erforderlichen Rechnungen wurden zunächst für die Voraussage der Sonnenscheindauer im Juli in Potsdam auf Grund der Beobachtungen von passend gewählten 12 europäischen Stationen an den 992 Julitagen der Jahre 1893 bis 1924 durchgeführt mit dem Ergebnis, daß die Voraussagen „heiter“ (für eine mittlere tägliche Sonnenscheindauer der drei Folgetage von mehr als 12 Stunden), „wolkig“ (für 4 bis 12 Stunden täglicher Sonnenscheindauer) und „vorwiegend bedeckt“ (für eine mittlere tägliche Sonnenscheindauer von weniger als 4 Stunden) mit einer größeren Eintreffwahrscheinlichkeit gegeben werden können, als sie den täglichen Bewölkungsvorhersagen nach der üblichen rechnungslosen subjektiven Methode zukommt.