

Werk

Jahr: 1935

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:11

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0011

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0011

LOG Id: LOG_0078

LOG Titel: Einige Untersuchungen über die Struktur der Richtungsschwankungen des Windes

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

Einige Untersuchungen über die Struktur der Richtungs- schwankungen des Windes

Von G. A. Suckstorff, Göttingen — (Mit 10 Abbildungen)

Es wird über Ergebnisse von Windrichtungsregistrierungen mit einem neuen Windmeßgerät berichtet.

Zur Untersuchung der Strömungsvorgänge in und unter Schauerwolken wurde neben photographisch registrierenden Luftdruckmessern und Widerstandsthermo-

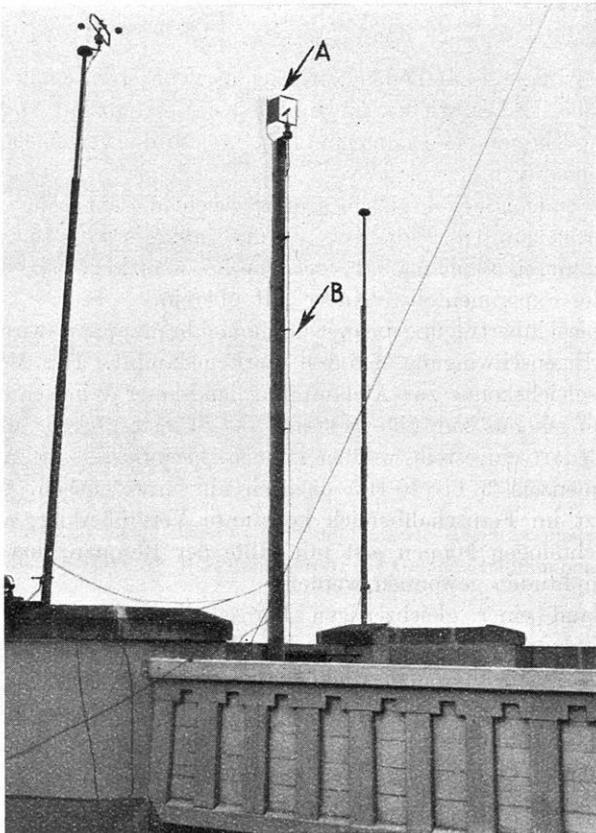


Fig. 1. Windfahne mit Staudüse auf dem Turm des Geophysikalischen Institutes
A Windfahne, in der Mitte die Staudüse; *B* freihängende Stahlachse zur Übertragung der Windrichtung

metern ein mechanisch registrierendes Windmeßgerät benutzt, das die Askania-Werke A. G. zur Verfügung gestellt hatte. Über die hierbei gewonnenen Ergebnisse

ist bereits vorläufig berichtet worden*). Daneben liegen jedoch mit dem erwähnten Windmeßgerät weitere Windregistrierungen vor, bei deren Durchsicht sich so auffällige Strukturbilder der Windrichtungsschwankungen ergaben, daß eine kurze Bearbeitung lohnend erschien.

Das benutzte Windmeßgerät (Fig. 1 und 2), das nach dem Prinzip des Staudruckmessers arbeitet, ist in seinem technischen Aufbau bereits von J. Linke**) beschrieben, so daß hier eine kurze Darstellung genügt.

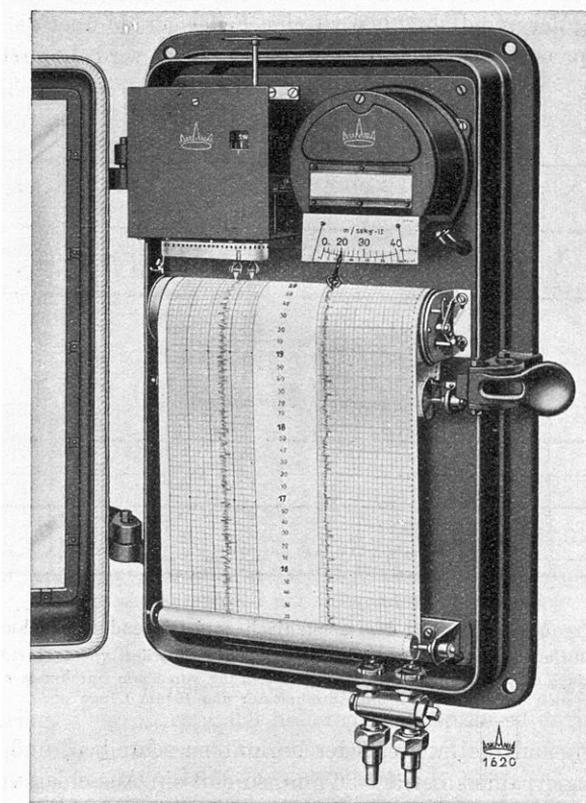


Fig. 2. Schreibgerät der Windmeßanlage

Links Richtungs-, rechts Staudruckregistrierung. An dem links oben sichtbaren Achsstumpf wird die Stahllachse zur Richtungsübertragung befestigt

Die Windfahne besteht nach Angaben von Duckert und Wenk aus zwei rechteckigen gewölbten Flächen, die an den Seiten eines fast quadratischen Rahmens von etwa 80 cm Kantenlänge befestigt sind. In der Mitte des Rahmens ist die

*) Tagung der Deutschen meteorol. Ges. August 1935 in Danzig.

**) J. Linke: Meteorol. Zeitschr. 52, 150 (1935).

Staudüse angebracht, während am Windfahnschaft der statische Druck abgenommen wird. Stau- und statischer Druck wirken auf die beiden Seiten einer Metallmembran, deren Bewegung durch ein Hebelsystem vergrößert und auf einen abrollenden Papierstreifen aufgeschrieben wird. Bei den erwähnten Untersuchungen an Schauerwolken wurde die mechanische Registrierung der Windstärke durch eine photographische ersetzt, um größere Empfindlichkeit zu erreichen.

Die Registrierung der Windrichtung erfolgt durch Übertragung der Drehung der Windfahne auf ein endloses Stahlband, das drei Schreibfedern trägt. Eine volle Umdrehung der Windfahne bewegt eine Feder gerade über die ganze Breite des Registrierpapiers. Dreht sich die Fahne weiter, so wird die erste Feder vom

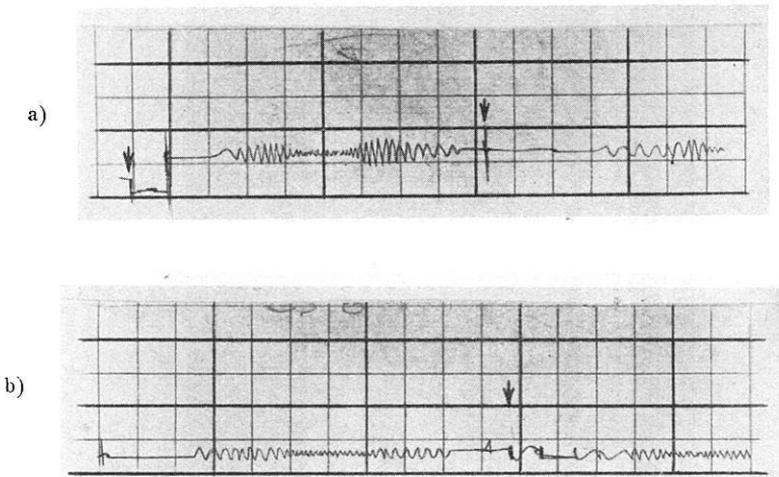


Fig. 3. Frequenzzeichnung des mechanisch registrierenden Druckmessers

Papiergeschwindigkeit 2.8 bzw. 3.8 m/sec. Die Frequenz variiert von 1 bis 8 Hertz

- a) bei direkter Verbindung des Druckmessers über eine Rohrleitung von 8 mm Durchmesser mit der Pumpe,
b) unter Einschaltung einer Kapillare von 1 mm Durchmesser und 15 mm Länge

Papier abgehoben und die zweite Feder beginnt zu schreiben, und so fort. Die Breite des Registrierpapiers beträgt 86 mm, so daß ein Ausschlag von 1 mm 4.20° Winddrehung entspricht.

Die Windfahne mit der Staudüse war während der Registrierungen auf einem Holzmast in 6 m Höhe an der Westkante des Turmes des Geophysikalischen Instituts befestigt. Dieser Platz erwies sich nach Untersuchungen mit einem Vertikalanemometer als fast vollkommen frei von den durch das Haus bedingten Störungen. Eine 7.5 m lange Stahlachse verband die Fahne mit dem Registriergerät.

Zur Kontrolle der Ergebnisse wurde die Empfindlichkeit des Druckmessers und der Windfahne unter den Bedingungen des Einbaues geprüft. (Mit 7.5 m langer Stahlachse zur Übertragung der Richtungsschwankungen und den von der Staudüse zu dem Druckmesser führenden Rohrleitungen.)

Dem Druckmesser wurden durch ein Zuleitungsrohr mit einer kleinen Pumpe periodische Druckschwankungen wechselnder Frequenz aufgeprägt. Das Zuleitungsrohr besaß die Länge der obenerwähnten Rohrleitung. In etwa 10 Sekunden wurde dabei ein Frequenzbereich von 0.2 bis 5 Hertz durchlaufen. Die größte der erzeugten Druckschwankungen entsprach dabei einer Windgeschwindigkeit von 7 m/sec. Die Registrierung einer solchen Eichung zeigt die Fig. 3 a und b. Die obere Kurve wurde durch direkten Anschluß der Pumpe an die Rohrleitungen erhalten, bei der unteren sind in die Druckleitungen zwei Kapillaren von 1 mm Durchmesser und 15 mm Länge eingeschaltet. Die Fig. 4 zeigt die Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Frequenz in graphischer Darstellung. In dieser Figur ist außerdem noch zum Vergleich die Resonanzkurve des photographisch registrierenden Druckmessers dargestellt. Daraus ergibt sich:

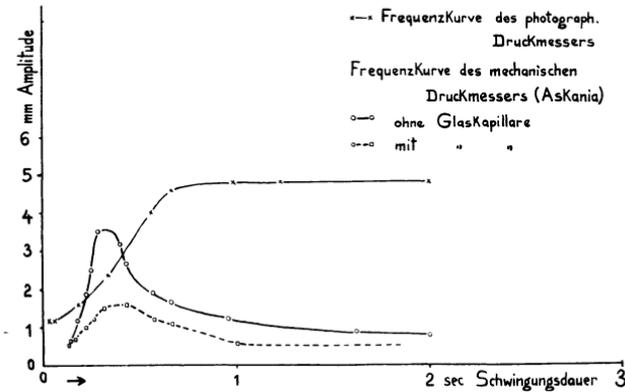


Fig. 4. Graphische Darstellung der Frequenzabhängigkeit des mechanisch und photographisch registrierenden Druckmessers

Der photographisch registrierende Druckmesser ist bis 0.8 Hertz frequenzunabhängig. Bei noch höheren Frequenzen nimmt die Empfindlichkeit stark ab. Diese geringe Vergrößerung der höheren Frequenzen ist darin begründet, daß der photographisch registrierende Druckmesser durch Umbau eines Wiechertschen Schallapparates entstand, bei dem das Füllvolumen ungefähr ein Liter beträgt. Für die damit beabsichtigten Böenuntersuchungen reichte dieser nutzbare Frequenzbereich jedoch vollständig aus, da es sich hier in erster Linie um die Grobstruktur des Windes handelte und ein Resonanzmaximum nicht bestand. Dagegen weist die Kurve des mechanisch registrierenden Druckmessers ein ausgeprägtes Resonanzmaximum bei 3 Hertz auf. Erst bei 6.5 Hertz wird die gleiche Empfindlichkeit wie für lange Schwingungen wieder erreicht und dann bei noch höheren Frequenzen stark unterschritten. Diese Resonanzstelle würde also zur Folge haben, daß eine Windschwankung von 3 Hertz mit fünffach vergrößerten Amplituden aufgezeichnet würde. Eine Dämpfung dieser Eigenschwingung durch in die Rohrleitungen eingebaute Kapillaren zeigt die Fig. 3 b und die Kurve II der

graphischen Darstellung. Hier wurden zwei Kapillaren von 1 mm Durchmesser und 15 mm Länge in die Leitungen eingeschaltet. Dadurch wird das Resonanzmaximum um 54% herabgesetzt, gleichzeitig sinkt aber auch die Empfindlichkeit in dem ganzen untersuchten Frequenzbereich um 25%. Wenn man aber am Zeiger selbst eine Dämpfung einführt, so dämpft man einerseits den bei weitem größeren Teil des schwingenden Systems direkt und müßte eine vollständige Beseitigung der Resonanzstelle erreichen können, ohne einen Empfindlichkeitsabfall im übrigen Frequenzbereich in Kauf nehmen zu müssen. Führt man eine solche Dämpfung ein, dann würde das Vorhandensein der Resonanzstelle die Folge haben, daß nunmehr der mechanische Druckmesser bis zu Frequenzen von etwa 6 Hertz eine konstante Empfindlichkeit hätte, was für alle praktisch auftretenden Windfrequenzen ausreicht. Um diese Einstellgeschwindigkeit praktisch ausnutzen zu können, muß der Auflagedruck der Schreibfeder so klein wie möglich sein. Diese Einstellung des Auflagedruckes konnte durch Regulieren der Tintenfüllung in den benutzten Glasfedern recht gut erfolgen. Der geringe noch verbleibende Rest der Reibung ist in der Fig. 3 a bei den großen Ausschlägen zu erkennen.

Die Güte einer Windfahne ist durch zwei Größen bestimmt, durch ihre Stellkraft auch bei schwachen Winden und ihre Einstelldauer. Die Stellkraft der benutzten Windfahne war groß genug, um noch bei Winden von 1 bis 2 m/sec eine sichere Einstellung zu erreichen. Die Einstelldauer hängt einerseits von der Direktionskraft ab, die die Fahne in eine bestimmte Richtung zu drehen sucht, also von der Windgeschwindigkeit, andererseits von der Dämpfung dieser Drehung, die am besten aperiodisch sein muß, da sonst unkontrollierbare Eigenschwingungen auftreten würden. Auch diese beiden Größen müssen unter den Bedingungen des Einbaues geprüft werden, da durch den Einbau die Dämpfung entscheidend verändert wird. Unter den oben gegebenen Bedingungen ergab sich folgendes: Bei einer Windgeschwindigkeit von 3 m/sec erfolgte die Einstellung aus einer künstlichen Verdrehung um 90° heraus in 1.5 sec, bei einer Windgeschwindigkeit von 5 m/sec und gleicher Verdrehung in 0.5 sec, und zwar in beiden Fällen praktisch aperiodisch. Diese Zahlen sind nur in ihrer Größenordnung richtig, und ebenso ist es möglich, daß die Einstellung nicht ganz aperiodisch erfolgt, da die Apparatur ja notwendigerweise unter den Betriebsbedingungen geprüft werden müßte, also bei immer etwas böigem Wind und nicht im Windkanal untersucht werden konnte.

Da die Schwankungen des Windes in Richtung und Geschwindigkeit eine Periode von etwa 0.3 bis 0.5 Hertz besitzen, müssen beide Größen richtig wiedergegeben werden, so daß man also wirkliche Augenblickregistrierungen erhält. Das erscheint gerade in Hinblick auf die Registrierung der Windrichtung besonders wichtig, da die bei den bisher zur Umsetzung der Drehung der Windfahne in Bewegungen der Schreibfeder benutzten Nutenwalzen eine zu große Reibung besitzen, um die Feinstruktur der Richtungsschwankungen zu erfassen und die Registrierungseinrichtung nach Whewell nur sehr kleine Registriergeschwindigkeit zuläßt.

Die Registrierungen der Richtungsschwankungen des Windes zeigen zwei deutlich voneinander unterscheidbare Bereiche der Schwankungsfrequenz. Der eine Frequenzbereich umfaßte kleine Schwankungen von 10° bis 20° Amplitude und einer Schwingungsdauer von etwa einer Sekunde. Dieser bei allen Windstärken vorkommenden Schwankung ist eine zweite größere Schwankung überlagert,

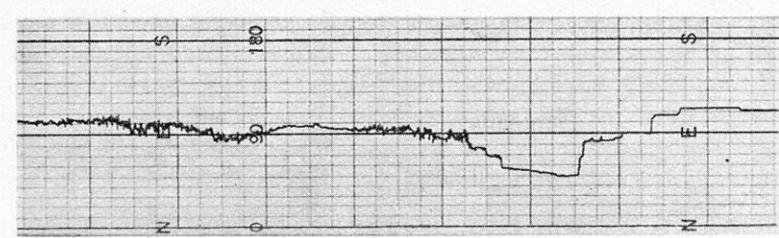


Fig. 5. Registrierung der Windrichtung bei sehr schwachem Wind (0.5 bis 1.5 m/sec) Jeder Teilstrich entspricht einer Zeit von 2.5 Minuten. Die Schwankungen sind klein und unregelmäßig

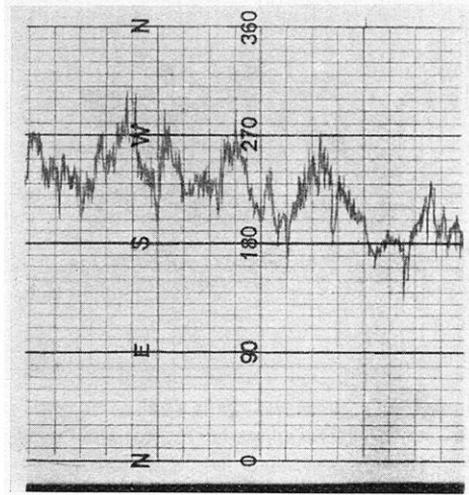
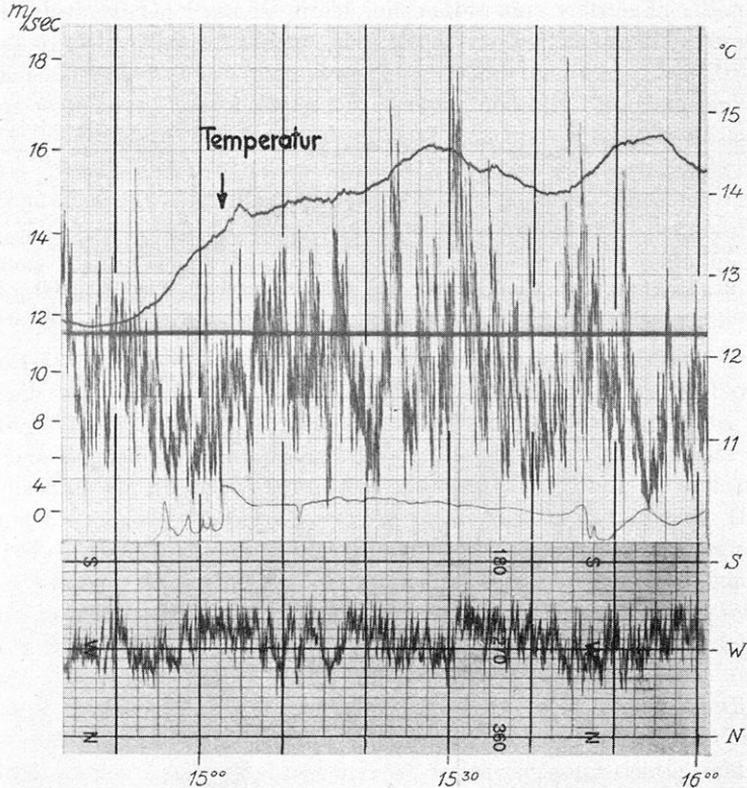


Fig. 6. Registrierung der Windrichtung bei einer Windgeschwindigkeit von 3 bis 4 m/sec Jeder Teilstrich entspricht einer Windgeschwindigkeit von 2.5 Minuten. Neben den kleinen kurzperiodischen Schwankungen treten nun bedeutend größere mit einer Periode von 3 bis 4 Minuten auf. Die Änderung der Windrichtung erfolgt zeitlinear, die Umkehrpunkte sind Spitzen

deren Amplitude 40 bis 90° beträgt und deren Periode von einigen Minuten in verhältnismäßig enger Beziehung zur Windgeschwindigkeit steht.

Die kleinen kurzperiodischen Schwankungen werden wohl durch die allgemeine Turbulenz der Luft verursacht. Die sie verursachenden Turbulenzkörper müssen demnach je nach der Windgeschwindigkeit einen Durchmesser von einigen Metern bis Dekametern haben. Die langperiodischen Schwankungen großer

Amplitude dagegen müssen wohl als wirbelähnliche Gebilde mit vertikaler Achse von einigen hundert bis tausend Metern Durchmesser aufgefaßt werden, denn diese Schwankungen erfolgen nicht sprunghaft, sondern die Änderung der Richtung erfolgt ganz allmählich im Laufe einiger Minuten.



19. 6. 35.

Fig. 7. Registrierung der Windgeschwindigkeit (photographisch), der Windrichtung (mechanisch) und der Temperatur (Widerstandsthermometer)

Die mittlere Windgeschwindigkeit schwankt zwischen 8 und 12 m/sec. Der Charakter der Richtungsschwankungen ist gegen die Fig. 4 nur wenig geändert. Außer den kurzperiodischen Schwankungen treten weiter langperiodische auf, nur ist die Periode auf 1 bis 2 Minuten gesunken. Der Zusammenhang zwischen Richtungs- und Geschwindigkeitsböigkeit ist deutlich zu erkennen

Die Fig. 5, 6, 7 und 8 zeigen diesen Charakter der Windrichtungsschwankungen an einigen typischen Beispielen. Bei sehr kleinen Windgeschwindigkeiten um 1 m/sec treten kleine Schwankungen von einigen Sekunden Schwingungsdauer und 5 bis 10° Amplitude auf. Da bei dieser Geschwindigkeit jedoch der Schwellwert für das Ansprechen der Windfahne liegt, so ist wohl die Periode, aber nicht

die Amplitude als sichergestellt zu betrachten. Steigert sich nun die Windgeschwindigkeit auf 3 m/sec, so werden die kleinen Schwankungen kurzperiodischer (1 bis 2 sec) und außerdem bilden sich die obenerwähnten langperiodischen Richtungsschwankungen besonders schön heraus, wie die Fig. 6 zeigt. Für diese langperiodischen Schwankungen ist weiter charakteristisch, daß ihre Aufeinanderfolge nicht stetig, sondern sprunghaft erfolgt. Die Richtung ändert sich fast linear mit der Zeit, bis das Maximum erreicht ist. Dann tritt ein Sprung ein, und die Rückdrehung erfolgt wieder zeitlinear. Der zeitliche Abstand von einem Maximum zum nächsten beträgt bei dem angeführten Beispiel 3 bis 4 Minuten. Das entspricht bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 3,5 m/sec einer Luftversetzung von 600 bis 800 m. Bei weiterer Zunahme der Windgeschwindigkeit bis rund

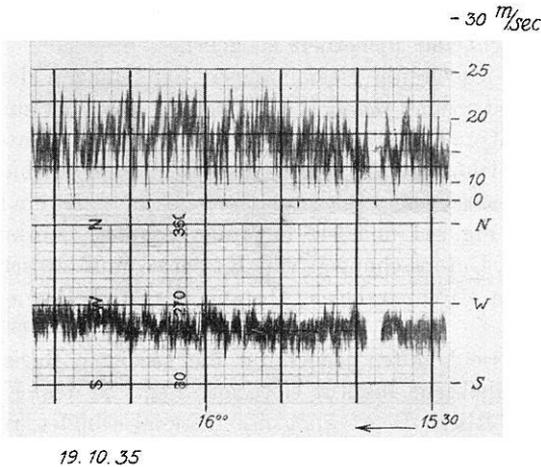


Fig. 8. Registrierung der Windgeschwindigkeit und Windrichtung (beide mechanisch) bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 18 m/sec

Die Unterscheidung in kleine kurzperiodische und große langperiodische Schwankungen ist nicht mehr zu machen, es besteht nur eine Schwankungsform mittelgroßer Amplitude und hoher Frequenz

10 m/sec ändert sich dieser Charakter der Richtungsschwankungen nicht wesentlich, wie die Fig. 7 zeigt. Die kurzperiodischen Schwankungen werden in ihrer Amplitude etwas größer (20 bis 30°), die langperiodischen dagegen behalten vollkommen ihre Form, nur wird die Periode kürzer. Sie beträgt bei einer Windgeschwindigkeit von 8 bis 9 m/sec nur noch 1 bis 2 Minuten. Diese Änderung der Periodenlänge erfolgt im großen und ganzen proportional der Windgeschwindigkeit, und zwar derart, daß das Produkt aus Periodenlänge und Windgeschwindigkeit rund 800 beträgt. Es bilden sich also offenbar außer den normalen „Turbulenzkörpern“ noch bedeutend größere Wirbelsysteme aus, deren Durchmesser von rund 800 bis 1000 m nicht von der Windgeschwindigkeit abhängt.

Oberhalb einer Windgeschwindigkeit von 15 m/sec ändert sich jedoch dieses Bild entscheidend, wie die Fig. 8 zeigt, die das Beispiel einer Sturmregistrierung darstellt. Danach verschwindet bei Windgeschwindigkeiten über 15 m/sec die deutliche Trennung der kleinen kurzperiodischen von den langperiodischen Schwankungen. Es tritt nunmehr praktisch nur noch eine einzige Schwankungsform von mittelgroßer Amplitude (20 bis 30⁰) und hoher Frequenz (nach Augenbeobachtungen rund 1 sec) auf, die nur einige nichtperiodische Unstetigkeiten zeigt.

Aus den eben dargestellten Eigenheiten der Richtungsschwankungen folgt zunächst zweierlei. Zunächst erscheint die Existenz von Wirbelsystemen mit vertikaler Achse und einem Durchmesser von rund 800 m, sowie die Unabhängigkeit dieses Durchmessers von der Windgeschwindigkeit wahrscheinlich. Ferner ergibt sich die Tatsache, daß bei einer Windgeschwindigkeit zwischen 10 und 15 m/sec ein Umschlag in der Strömungsart der Luft eintreten muß, der diese großen Wirbelsysteme vernichtet. Eine Erklärung für das Auftreten dieser Wirbelsysteme ist nicht mit Sicherheit zu geben.

Vergleicht man jedoch die gleichmäßigen Pendelungen der Windrichtung mit der Strömung hinter einer länglichen Platte, die senkrecht zur Stromrichtung aufgestellt ist, so fällt eine überraschende Ähnlichkeit auf. Hinter einer solchen Platte bildet sich gleichfalls unter bestimmten Bedingungen eine pendelnde Bewegung der Strömung aus, wobei abwechselnd rechts und links ein kräftiger Wirbel erzeugt wird (siehe Fig. 941 und 942 in Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik, Bd. I, 2. Teil). Nach Untersuchungen von Kàrmàn muß zwischen dem stromsenkrechten und dem stromparallelen Abstand der Wirbelkerne das Verhältnis 0.28 bestehen.

Solche Verhältnisse könnten jedoch für die gezeigten Registrierungen vorliegen. Das Geophysikalische Institut Göttingen liegt auf dem Kamm des Hainberges, der hier die östliche Begrenzung des Leinetales bildet, rund 100 m über dem Tal. Die westliche Begrenzung bildet das Wesergebirge, dem einzelne Berggipfel nach Osten hin vorgelagert sind (Hohe Hagen, Fuchsberg, Bramberg). Bildet sich hinter diesen Bergen eine Hindernisströmung der obenerwähnten Art aus, so wird sie ohne weitere Hindernisse das Leinetal überschreiten und müßte sich in den Registrierungen verhältnismäßig ungestört abbilden.

Es ist beabsichtigt, die Richtigkeit dieser Anschauung durch gleichzeitige Registrierung der Windrichtung an zwei einige hundert Meter voneinander entfernten Stationen zu prüfen, denn dann könnte auch festgestellt werden, ob auch für diese Wirbel das von Kàrmàn zu 0.28 bestimmte Verhältnis von stromsenkrechtem zu stromparallelem Abstand der Wirbelkerne erfüllt ist. Eine weitere Prüfungsmöglichkeit ergäbe sich durch Registrierungen auf verschiedenem Gelände, da das Auftreten der Wirbel ja ein Geländeeffekt sein soll.

Neben diesen periodischen Schwankungen der Windrichtung wurde noch verschiedentlich deutliche „Stufenbildung“ auch in den Registrierungen der Windrichtung gefunden, wobei sich diese Stufenbildung in den Schwankungen der Windrichtung sehr viel deutlicher ausbildete als in denen der Windgeschwindigkeit.

Auf diese stufenartige Struktur des Windes hat zuerst Robitsch*) aufmerksam gemacht und Beispiele von dem stufenartigen Charakter der Windgeschwindigkeit veröffentlicht und bemerkt dazu: „Synchron mit dieser stufenartigen Änderung

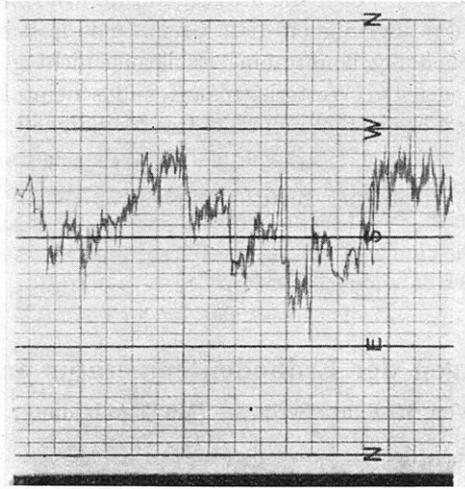


Fig. 9

Deutliche Stufenbildung in der Windrichtung bei einer Windgeschwindigkeit von 4 m/sec
Die Stufen sind treppenartig angeordnet

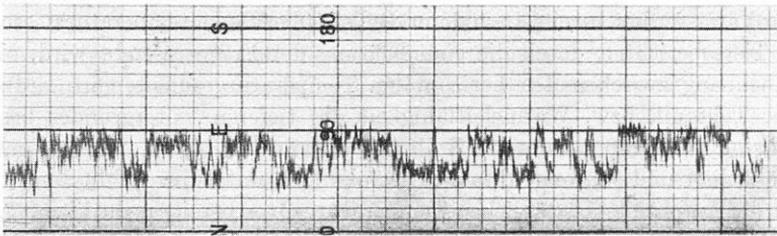


Fig. 10

Deutliche Stufenbildung in der Windrichtung bei einer Windgeschwindigkeit von 8 m/sec
Die Windrichtung pendelt nur zwischen zwei Grenzwerten unter Überspringung der Zwischenwerte hin und her. Die treppenartige Anordnung der Stufen wie in Fig. 9 kommt bei diesen Windgeschwindigkeiten nicht mehr vor

der mittleren Windstärke beobachtet man in der Regel auch Änderungen der mittleren Windrichtung.“ Die Fig. 9 und 10 geben ein Beispiel für stufenförmigen Wind von etwa 4 m/sec und 8 m/sec. Bei schwachem Wind zeigt sich sehr deutlich

*) Robitsch: die Arbeit d. Aeronaut. Obs. Lindenberg, XIII, 63 (1919).

das plötzliche Springen der Windrichtung, das anschließende Verharren in dieser mit recht kleinen Schwankungen und das erneute Springen in eine neue Richtung. Anders werden diese Vorgänge bei höherer Windgeschwindigkeit, für die die Fig. 10 ein Beispiel gibt. Hier pendelt die Windrichtung eigentlich nur zwischen zwei Grenzwerten hin und her, wobei die Zwischenwerte vollkommen übersprungen werden und die Windgeschwindigkeit diese Grenzstufen in keiner Weise erkennen läßt. Für diese Erscheinung konnte eine Erklärung nicht gefunden werden, sie trat bei den verschiedensten Wetterlagen auf und scheint immer dann vorzukommen, wenn stufenförmiger Wind eine Geschwindigkeit von 6 bis 8 m/sec überschreitet.

Göttingen, Geophysikalisches Institut, November 1935.

Über Messungen der Erdbodentemperatur an Salzdomen

Von M. Paul, Berlin — (Mit 1 Abbildung)

Es wird über Messungen der Bodentemperatur an Salzdomen berichtet, durch die untersucht werden soll, ob Unterschiede in der Wärmeleitfähigkeit des tieferen Untergrundes auf die horizontale Temperaturverteilung im Erdboden Einfluß nehmen. Bisher wurden rund 700 Temperaturbestimmungen in 2 m Bodentiefe durchgeführt. Hierbei waren die mittleren Bodentemperaturen über dem Salz durchweg höher als die mittleren Temperaturen im Vorgelände des Salzstockes. Die Untersuchungen werden fortgesetzt.

Der Verfasser hat bereits an anderer Stelle ¹⁾ über Bodentemperaturmessungen in 2 m Tiefe berichtet, durch die eine Klärung der Frage erstrebt wird, ob ein Zusammenhang zwischen den horizontalen Temperaturgradienten im Erdboden und der Tektonik bzw. Wärmeleitfähigkeit des tieferen Untergrundes besteht. An sich sind die Temperaturen im Erdboden bekanntlich bis zu einer bestimmten Tiefe täglichen und jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. In 2 m Bodentiefe ist die Amplitude des täglichen Temperaturganges bereits recht klein. Außer einer jährlichen Periode tritt — als zweites Fouriersches Glied — noch eine halbjährliche Schwingung hervor, deren Amplitude in 2 m Bodentiefe auch schon ziemlich gering ist. Dagegen ist die Amplitude der jährlichen Schwingung in 2 m Tiefe noch recht erheblich. Sie ist für unsere Breite von der Größenordnung 4° C.

Wir wollen nun den Temperaturbewegungen in 2 m Bodentiefe eine feste Temperatur als Nullwert zuordnen, um den herum die jahreszeitlichen Schwingungen verlaufen. Allerdings ist ein solcher Nullwert nicht präzise angebar, da auch der spezielle Jahrescharakter in den Temperaturgang eingeht. Aber die hieraus auftretenden Abweichungen von einem über längere Zeiten gemittelten Nullwert der Temperaturschwingungen sind gering und sollen für unsere Zwecke