

## Werk

**Jahr:** 1936

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:12

**Digitalisiert:** Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

**Werk Id:** PPN101433392X\_0012

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0012](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0012)

**LOG Id:** LOG\_0036

**LOG Titel:** Störung der Windströmung und des Austausches über einem Gebäude

**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](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

## Störung der Windströmung und des Austausches über einem Gebäude

Von Hansgeorg Müller, Göttingen. — (Mit 13 Abbildungen)

Zur Aufstellung eines Böenschreibers wurde mit einem Windmeßgerät (für Neigung und Druck) das Strömungsbild über dem Geophysikalischen Institut in Göttingen untersucht. Aus den Aufzeichnungen der Windgeschwindigkeit und gleichzeitigen Temperaturregistrierungen wurde der thermische und dynamische Austauschkoefizient berechnet und miteinander verglichen.

*Einleitung.* Die Messung der vertikalen Windgeschwindigkeit an einem festen Punkt, deren meteorologische und fliegerische Bedeutung oft genug betont ist, trat bisher aus instrumentellen Schwierigkeiten gegenüber der Messung der horizontalen Komponenten des Windes stark zurück. Dagegen wurden in besonderen Fällen Messungen von Strombahnen mit Hilfe von ausgewogenen und nicht ausgewogenen Ballonen<sup>1)</sup> und Rauchfahnen<sup>2)</sup> in Segelfluggebieten ausgeführt. Die genannten Methoden geben in erster Linie das Strömungsbild an dem betreffenden Hang wieder, die Vertikalgeschwindigkeiten müssen nachträglich berechnet werden. Man erhält die *Bahn* eines *einzelnen* Luftteilchens, es gelingt aber nicht, den zeitlichen Verlauf der Vertikalkomponente des Windes am festen Ort zu messen.

Die Fragestellung der hier beschriebenen Untersuchung entsprang in erster Linie einem praktischen Bedürfnis. Es handelte sich darum, den Gebäudeeinfluß auf die Windströmung festzustellen, um den günstigsten Platz für die Aufstellung eines Böenschreibers zu finden, eine im Wetterdienst sehr wichtige Aufgabe. Insbesondere wurde hier die günstigste Aufstellung auf dem Geophysikalischen Institut gesucht.

Nachdem das vertikale Strömungsbild festgestellt war, lag es nahe, den dynamischen Austausch aus den Messungen der Vertikalkomponente des Windes in diesem besonders gestörten Gebiet des Turmes zu bestimmen, und den aus gleichzeitigen Temperaturmessungen gewonnenen thermischen Austausch damit zu vergleichen.

**1. Apparat.** Kopp<sup>3)</sup> hat wohl zuerst ein Gerät entwickelt, das brauchbare Messungen der Vertikalkomponente des Windes gestattet. Es ist nach der „Methode des festen Punktes in der Atmosphäre“ an einem mit dem Drachendraht gespannten Hilfsdraht aufgehängt. Es wurde aus dem Grönländischen Leichtwindgerät<sup>3)</sup> für horizontale Windschwankungen entwickelt und besteht im wesentlichen aus einem Flügel mit symmetrischem Profil, der sich in einem Rahmen um eine horizontale Achse drehen kann. Auf einer im Innern befindlichen Trommel wird die Windneigung und der Winddruck aufgezeichnet. Der Innenaufbau, mit der Vorrichtung für Dämpfung und lineare Aufzeichnung der beiden gemessenen

Größen, ist allerdings für ein Feldinstrument reichlich kompliziert. Ebenso erscheint das Gerät etwas zu groß, denn bei seinen Ausmaßen sind sehr große Drachen erforderlich.

a) Aus diesen eben genannten Gründen wurde ein ähnliches Gerät, jedoch kleiner und einfacher, entwickelt. Als Baumaterial wurde sowohl für den Rahmen

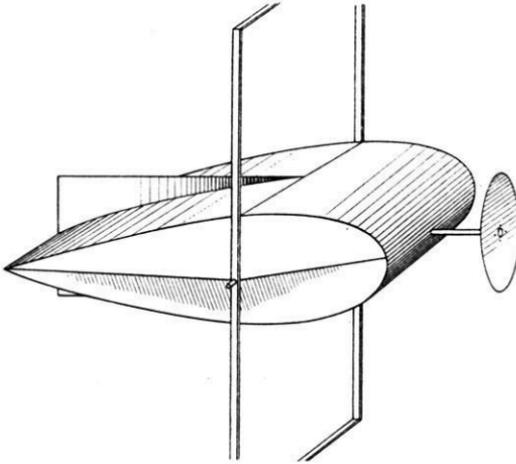


Fig. 1. Das Windmeßgerät für Windschwankungen in der Vertikalen

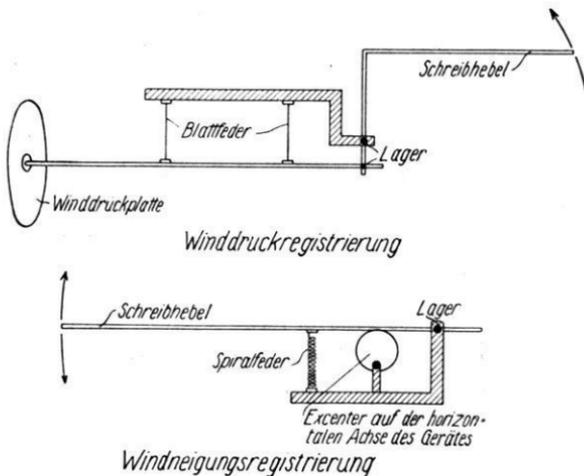


Fig. 2. Das Windmeßgerät, schematisch

und das Gehäuse, wie auch für den Innenaufbau soweit wie möglich Aluminium verwendet. Um genaues Einstellen in die Stromrichtung zu erhalten und störende Wirbel zu vermeiden, wurde das symmetrische Profil des Koppischen Gerätes beibehalten.

Im Gegensatz zum Koppischen Gerät wird die Registriertrommel nicht elektrisch, sondern durch ein Uhrwerk angetrieben. Das Uhrwerk dreht die Trommel vom Durchmesser  $d = 9.56$  cm in einer halben Stunde einmal, so daß die Registriergeschwindigkeit  $1.0$  cm/min beträgt. Der Gang des Uhrwerks ist vor dem Einbau bei Neigung und Beschleunigung kontrolliert worden. Das Instrument wurde zu den einzelnen Messungen entweder ganz ausgewogen, so daß es in jeder Lage im Gleichgewicht war, oder es wurde ihm eine zusätzliche Richtkraft gegeben, die es immer wieder in die horizontale

Lage zurücktrieb. Die Feinregulierung des Gewichtsausgleiches wurde mit zwei kleinen Laufgewichten, eins in der Horizontalen in der Längsrichtung des Ge-

rätes, das andere in der Vertikalen verschiebbar, erreicht. Um ein möglichst genaues Einstellen in die horizontalen Windschwankungen zu erzielen, wurden dem Gehäuse zwei Leitbleche aufgesetzt.

*Die Windgeschwindigkeits- und Windneigungsregistrierung.* Die Windgeschwindigkeit wird als Funktion des Winddruckes aufgezeichnet. Auf eine lineare Aufzeichnung des Winddruckes wurde zugunsten der größeren Einfachheit verzichtet. Verschiedene Versuche, eine möglichst reibungslose Aufzeichnung zu erhalten, führten schließlich zu einer Konstruktion, deren Prinzip in Fig. 2 dargestellt ist.

Die Stärke der Blattfedern ist so dimensioniert, daß Windgeschwindigkeiten von 3 m/sec bis zu 20 m/sec mit einer Genauigkeit von  $\pm 0.5$  m/sec gemessen werden können. Auf den Bereich unter 3 m/sec wurde verzichtet, es ist aber ein leichtes, das Gerät durch Auswechseln der Blattfedern auch für Schwachwindmessungen geeignet zu machen.

Die Aufzeichnung der Windneigung ist, durch den Exzenter bedingt, nicht linear. Die Skala drängt sich für große Neigungswinkel zusammen, wie aus Fig. 7 hervorgeht. In dem Bereich von 0 bis  $60^{\circ}$  kann man bequem  $1^{\circ}$  ablesen, über  $60^{\circ}$  ist die Genauigkeit geringer. Neigungen über  $60^{\circ}$  kommen außerdem in den Aufzeichnungen kaum vor. Da für die Strömungsuntersuchungen und die Austauschberechnungen eine Richtungsangabe auf  $5^{\circ}$  genügt, ist die Ablesegenauigkeit ausreichend.

*b) Eichung des Instruments. 1. Winddruckplatte.* Auf den Aufzeichnungen soll die Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Windneigung ausgewertet werden. Die Druckplatte zeigt aber den Winddruck  $p$  an, ihr Ausschlag ist also proportional mit  $p$  und

$$p = a \cdot v^2.$$

Der Faktor  $a$  ist für verschiedene Druckplattenformen verschieden, nach Lindenberger Messungen schwankt er zwischen  $\frac{1}{8.2}$  und  $\frac{1}{16}$ . Die Bestimmung dieses Formfaktors für das verwendete Gerät wurde im Windstrom eines kräftigen Ventilators, der durch einen provisorischen Gleichrichter genügend laminar gemacht wurde, durchgeführt. Die Windgeschwindigkeit selbst wurde mit einem geeichten Schalenkreuz gemessen. Nach Kenntnis des Faktors  $a$  wurde die Eichung der Druckplatte durch Gewichtsbelastung ausgeführt. Der Faden an dem die Gewichte befestigt sind, wird über eine am Instrument angebrachte Rolle derart geführt, daß der Zug unabhängig von der Neigung des Gerätes genau in Richtung der Senkrechten auf die Druckplatte wirkt. Wenn man das Gerät um die horizontale Achse dreht, verändert die Schreibfeder der Winddruckaufzeichnung ihre Nullage, weil das Gewicht der Druckplatte als Zug bzw. Druck auf die Blattfedern wirkt. Um diese Erscheinung zu eliminieren, muß die Eichung nicht nur bei waagerechter Lage, sondern auch bei verschiedenen Neigungen des Gerätes durchgeführt werden.

Ausgeführt wurde die Eichung bei  $30^{\circ}$  und  $60^{\circ}$  nach oben und unten, man erhält dann fünf Kurven, die übereinander liegen; der Abstand der Kurven hängt

von dem Gewicht der Druckplatte ab. Die Eichkurve wird für  $g$ -Belastung pro Ausschlag der Druckplatte gezeichnet und dann nach Multiplikation mit dem Faktor  $a$  umgezeichnet in  $m/sec$  pro Ausschlag der Druckplatte.

2. *Neigungseichung.* An dem Rahmen, in dem das Gerät drehbar aufgehängt ist, wird ein Winkelmesser befestigt. Das Instrument wird von  $90^\circ$  nach oben über  $0^\circ$  nach  $90^\circ$  nach unten gedreht, auf der Trommel wird der zugehörige Ausschlag abgelesen und die Eichkurve für Ausschlag pro Grad Neigung gezeichnet.

c) *Eigenschaften des Instruments.* Das Koppssche Instrument war so ausgewogen, daß es in jeder Lage im Gleichgewicht war. Im vorliegenden Falle wurde die Mehrzahl der Versuche mit nicht ausgewogenem Gerät unternommen. Das Gerät hat dann durch exzentrische Schwerpunktlage (unter der horizontalen

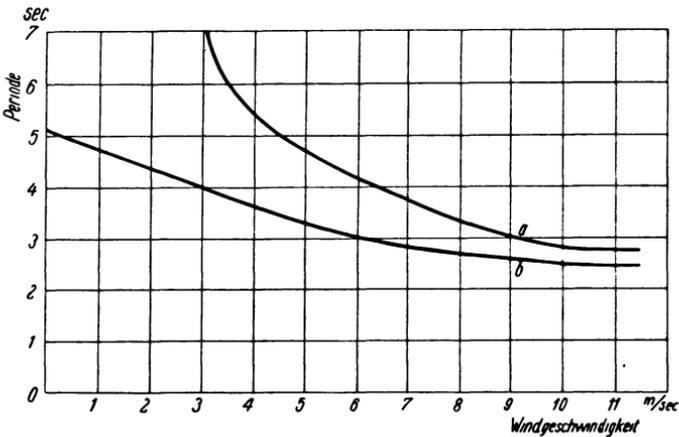


Fig. 3. Änderung der Schwingungsdauer mit wachsender Windgeschwindigkeit

Achse) eine zusätzliche Richtkraft  $D_i$  erhalten, die es in die horizontale Lage zurücktreibt. Bei dem beschriebenen Gerät genügen schon sehr schwache Winde (1 bis 2  $m/sec$ ), um es in die Strömung einzustellen. Das nicht ausgewogene Instrument hat eine Eigenperiode  $T$ , die sich bei ruhender Luft leicht feststellen läßt. Zur Messung der Windschwankungen und der Windperiode muß  $T$  bekannt sein. Sie ist gegeben durch die Formel

$$T^2 = \frac{\pi^2 K}{D_a + D_i}.$$

$K$  = Trägheitsmoment,  $T$  = Periode,  $D_a$  = äußere Richtkraft,  $D_i$  = innere Richtkraft.

Bei Windstille ist  $T$  bestimmt durch die Schwerpunktlage im Instrument, d. h. durch die innere Richtkraft  $D_i$ . Hat das Gerät keine zusätzliche Richtkraft (ausgewogen,  $D_i = 0$ ), so ist für  $v = 0 m/sec$   $T = \infty$ , mit wachsender Richtkraft  $D_i$  nimmt  $T$  quadratisch ab. Außerdem nimmt  $T$  mit der zunehmenden Wind-

geschwindigkeit  $v$  ab (äußere Richtkraft). Das Gerät mußte nun nach zwei Seiten hin untersucht werden. Einmal mußte geprüft werden, wie das Instrument als selbstschwingendes System von bestimmter Eigenperiode eine erzwungene Schwingung (die hier die Windströmung ist) wiedergibt, und zweitens, wie sich das Instrument in die mittlere Strömungsrichtung einstellt.

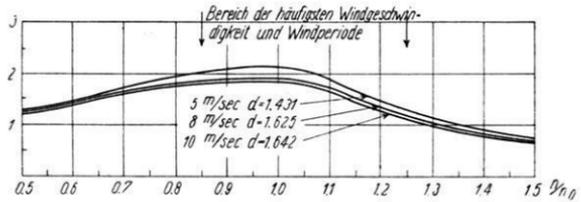


Fig. 4  
Resonanzkurve des Gerätes mit innerer Richtkraft

Das Verhalten des Gerätes gegenüber einer erzwungenen Schwingung geht aus den Fig. 3, 4 und 5 hervor.

Die Resonanzkurve ist in Fig. 4 dargestellt, außerdem ist in dieser Figur der Bereich der häufigsten Windperioden angegeben, soweit sie mit dem Gerät gemessen wurden. Einen Überblick über die gemessenen Windperioden und Windgeschwindigkeiten gibt Fig. 5.

Danach zeigt sich, daß in dem benutzten Periodenintervall die Empfindlichkeit des Instruments praktisch von der Periodenlänge unabhängig ist. Die Fig. 3 zeigt die Abhängigkeit der Eigenperiode des Gerätes von der Windgeschwindigkeit. Ist die innere Direktionskraft  $D_i = 0$  (Kurve a), so bleibt die äußere Direktionskraft  $D_a$  durch den Windstrom allein wirksam. Geht  $v$  gegen 0, so muß daher die Eigenperiode  $T$  gegen  $\infty$  gehen, ist dagegen  $D_i > 0$  (Kurve b), so besitzt das

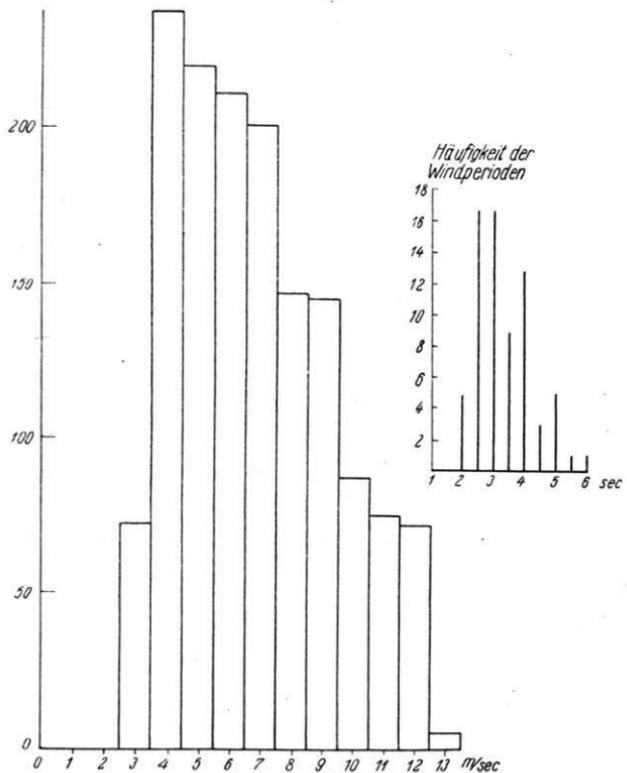


Fig. 5. Häufigkeit der Windgeschwindigkeiten und Windperioden in den ausgewerteten Intervallen

Gerät auch für die Geschwindigkeit  $v = 0$  m/sec eine endliche Eigenperiode  $T$ . Bei hohen Windgeschwindigkeiten überwiegt immer mehr die äußere Richtkraft  $D_a$ , so daß beide Kurven zusammenfallen und beide gegen die Periode 0 für die Windgeschwindigkeit  $v = \infty$  gehen müssen. Aus der Fig. 3 geht hervor, daß bei einer Windgeschwindigkeit  $v$  von rund 4 m/sec  $D_i = D_a$  ist, und daß bei einer Windgeschwindigkeit von  $v = 11$  m/sec  $D_i$  gegen  $D_a$  zu vernachlässigen ist. Aus der Fig. 3 ergibt sich auch der Grund für die Einführung der zusätzlichen Richtkraft  $D_i$ . Gemessen wurde in dem Bereich zwischen 3 bis 13 m/sec, in diesem Bereich ändert sich die Eigenperiode  $T$  des Gerätes mit innerer Richtkraft  $D_i$  von 4 bis 2.5 sec, die des Gerätes ohne innere Richtkraft ( $D_i = 0$ ) von 7 bis 2.5 sec.

Die Einstellung in die mittlere Stromrichtung wurde mit Hilfe von Rauchfahnen, die das Gerät umströmten, untersucht. Trotz der zusätzlichen Richtkraft  $D_i > 0$  stellte sich das Gerät gut in die Stromrichtung ein. Das gleiche ergibt sich

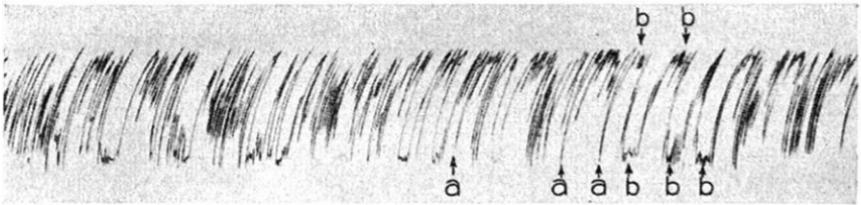


Fig. 6. Strömung am Haus

Starkes langperiodisches Schwanken der Windgeschwindigkeit, das sich in der dazugehörigen Windneigung ausprägt (bei *b*). Ferner kurzes Schwanken (bei *a*), das auf Pendeln des Gerätes bei plötzlich abflauendem Wind zurückzuführen ist

aus Vergleichsmessungen, bei denen teilweise  $D_i = 0$  und teilweise  $D_i > 0$  war. Für  $D_i > 0$  werden lediglich die Schwankungen mit sehr kleinen Amplituden (nur wenige Grade) unterdrückt.

Ein Nachteil der zusätzlichen Richtkraft  $D_i$  ist das Pendeln bei abflauendem Wind. Wenn z. B. bei einer beliebigen Windstärke und einer beliebigen Windneigung der Wind plötzlich abflaut, dann treibt die Direktionskraft das Gerät in die Nulllage, bevor es aber in dieser zur Ruhe kommt, pendelt es über sie hinaus (Fig. 6 bei *a*), entweder ein- oder mehrmals, das hängt ganz von der Windgeschwindigkeitsdifferenz ab. Es zeichnet also Schwankungen in der Windneigung auf, die in Wirklichkeit garnicht vorhanden sind, man kann sie jedoch an ihrer ganz charakteristischen Form und Periode als solche erkennen, zumal die Windgeschwindigkeit gleichzeitig registriert wird.

Umgekehrt treten auch bei Winddruckzunahme, wenn diese plötzlich genug erfolgt, Neigungsschwankungen auf, diese sind aber tatsächlich reell und bedeuten das Einstellen des Gerätes in die dem stärkeren Winddruck entsprechende Strömungsrichtung (Fig. 6 bei *b*). Derartige Erscheinungen treten allerdings nach den Erfahrungen nur an Gebäuden oder ähnlichen Hindernissen auf; im freien Felde sind sie nicht zu finden.

Das Beispiel einer Windneigungsregistrierung zeigt Fig. 7. In dieser Figur ist eine gleichzeitige optische Registrierung der Windgeschwindigkeit und der Temperatur mit der entsprechenden Registrierung der Windneigung zusammen-

Windvektor im  
Vertikalschnitt

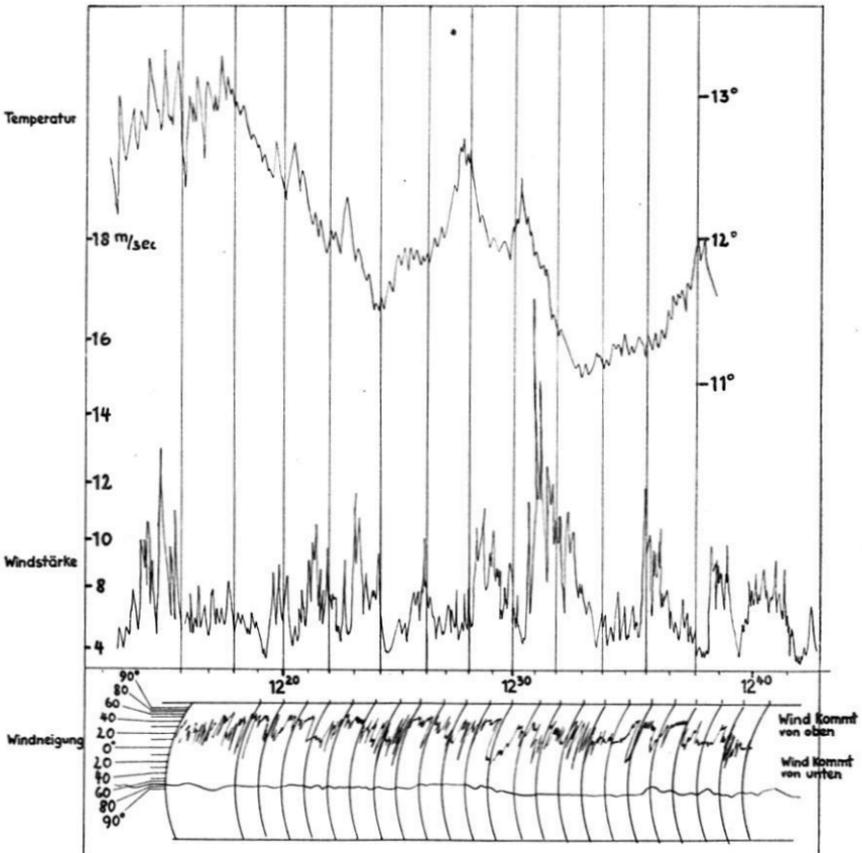


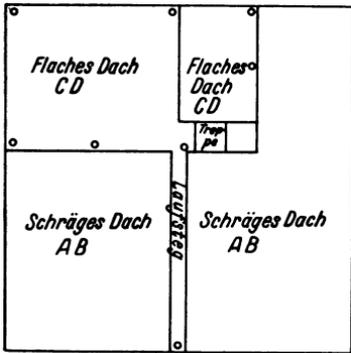
Fig. 7. Beispiel einer Registrierung mit dem beschriebenen Gerät

Unten Windneigung, Mitte Windgeschwindigkeit, oben Temperatur. Der Zusammenhang zwischen plötzlicher Änderung der Windgeschwindigkeit und Windneigung ist deutlich zu erkennen. In der Registrierung der Windneigung kommt die Zusammendrängung der Skala für große Neigungswinkel zum Ausdruck

gestellt. Das Gerät befand sich auf dem Dache des Geophysikalischen Instituts, und zwar in einem Punkt, in dem die Stromlinien sich sehr stark mit der Windgeschwindigkeit änderten. Das Instrument muß also bei Änderungen der Wind-

geschwindigkeit entsprechende Windneigungsänderungen aufzeichnen. Dieser Zusammenhang zeigt sich am deutlichsten um 12.21,8<sup>h</sup> und 12.29,9<sup>h</sup>; zu diesen Zeiten fällt die Windgeschwindigkeit stark ab, gleichzeitig ändert sich die Neigung von rund 50° (gegen die Horizontale) auf 10°. Danach steigt die Windgeschwindigkeit wieder an, entsprechend ändert sich die Windneigung und kehrt langsam auf den ursprünglichen Wert zurück.

**2. Messungen mit dem Instrument.** a) *Strömungsvorgänge um das Institutsgebäude.* Das Geophysikalische Institut liegt am W-Hang des Hainberges 120 m



über dem Leinetal und zwar im Wald, der jedoch auf allen vier Seiten nicht gleichmäßig nahe an das Haus heranreicht. In etwa 15 km Entfernung nach W erheben sich jenseits des Leinetales die Leine- und Weserberge, man kann also die allgemeine Strömung aus dieser Richtung als ziemlich ungestört annehmen. Anders verhält sich die Ostströmung, diese muß, bevor sie das Institut erreicht, erst das sehr hügelige Gelände zwischen Eichsfeld und Leinetal überqueren. Der den Meßort umgebende Wald bedingt eine sehr starke Turbulenz der gesamten Strömung. Die in Göttingen vorherrschende Windrichtung ist SW, die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt etwa 4 m/sec. Die N- und S-Strömung zieht praktisch ungestört an dem Abhang des Hainberges entlang.

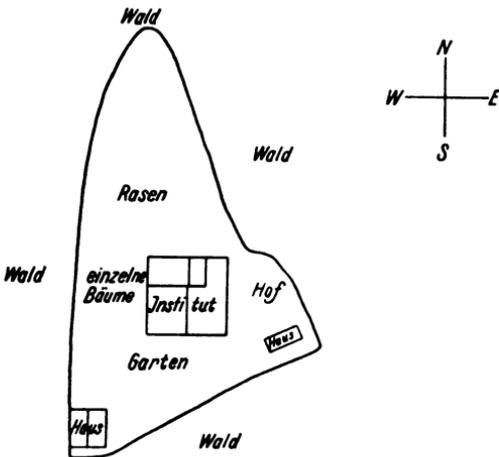


Fig. 8. Anordnung der Meßstellen auf dem Dach des Geophysik. Institutes in Göttingen  
○ = Meßstellen

Die Meßpunkte (Fig. 8) liegen auf dem flachen Dach (CD) des Institutsturmes, in der Mitte (1 bis 8 m Höhe über dem Dach), am Westrand (5 m Höhe), am Nordrand (5 m Höhe), am Ostrand (5 m Höhe) und am Südrand (5 m Höhe), ferner liegt noch ein Punkt in 3 m Entfernung vor und 3 m unter der Oberkante des Daches (CD) an der Westseite. An den Meßpunkten waren Masten errichtet, so daß eine feste nicht schwankende Aufstellung gewährleistet war.

Die Untersuchungen dienen der Aufstellung eines neuen Windmessers. Es sollte eine Aufstellung gefunden werden, an der die allgemeine Strömung bei möglichst allen Windrichtungen horizontal verläuft.

Windgeschwindigkeiten über 20 m/sec sind nicht aufgezeichnet worden, da die Haltevorrichtung des Gerätes dafür nicht geeignet war. Die Angaben über die Strömung und die Windgeschwindigkeiten sind Mittelwerte, die aus halbstündlichen, mehrfach aber auch stündlichen oder noch längeren Aufzeichnungen entnommen wurden.

b) *Ergebnisse.* N-Wind ist die am Meßort seltenste Windrichtung. Bei schwachem Wind findet in 8 m Höhe ein glattes Überströmen statt, in 4 m zeigt sich ein schwaches Abwärtsströmen, in 1 und 2 m eine schwache Aufwärtskomponente. Diese letztere ist durch eine kleine Mauer, über der sich der Meßpunkt befindet, hervorgerufen. Bei mäßigem Wind ist von 1 m bis zu 8 m ein einheitliches Abwärtsströmen zu erkennen, und zwar in 8 m am schwächsten und in 1 m am stärksten. Der Einfluß der kleinen Mauer ist verschwunden, er macht sich also nur bei einer bestimmten Geschwindigkeit bemerkbar. Das Abwärtsströmen erklärt sich aus der Saugwirkung des schrägen Daches (*AB*), das sich von der Mitte des Hauses nach S erstreckt.

Bei starkem Wind tritt derselbe Fall ein, wie er eben beschrieben wurde, jedoch wesentlich verstärkt. In 8 m Höhe ist eine mittlere Neigung von  $30^{\circ}$ , diese Neigung bleibt auch in den anderen Höhen erhalten. Dieses sehr starke Abwärtsströmen erklärt sich wohl aus der vermehrten Saugwirkung des schrägen Daches (*AB*). Wenn der Wind über das Haus hinwegstreicht, bildet sich über dem schrägen Dach (*AB*) ein Gebiet verminderten Druckes aus, dem die Luftbewegung folgen muß. Dieses Nachströmen der Luft ist in dem steilen Abwärtsströmen zu erkennen. Vor dem Haus an der Luvseite tritt ein Aufwärtsströmen ein, wie es bei jedem Hindernis der Fall ist.

Bei E-Wind ist die Strömungsrichtung nicht von der Windstärke abhängig. Der Wind strömt den Hang herab, und das nur wenig aus dem Wald herausragende Gebäude stört den allgemeinen Verlauf nicht. Die Strömung ist durch die rauhe Oberfläche des Waldes sehr turbulent. In den Aufzeichnungen des Instruments zeigt sich dies in dem starken Schwanken der Richtung der Stromlinien bei gleichen Windgeschwindigkeiten. Das Hin- und Herschwanken der Stromlinien ist bei schwachem Wind am stärksten und wird mit zunehmender Windgeschwindigkeit herabgemindert, weil mit zunehmender Windgeschwindigkeit die Durchmischung der Luft wächst, und somit die Störungen von der Größe des Apparates unterdrückt werden.

S-Wind zeigt ähnliche Erscheinungen wie der N-Wind, bei schwachem Wind ein glattes Überströmen des Hauses. Bei mäßigem Wind findet schon ein leichtes Abwärtsströmen statt, der Punkt an der Luvseite zeigt noch horizontale Strömung an. Auch bei starkem Wind ist an diesem Punkt eine waagerechte Strömungsrichtung erkennbar. Aus Augenbeobachtungen konnte ein Luvwirbel festgestellt

werden. Der Rauch aus einem an der S-Seite des Hauses gelegenen tieferliegenden Schornstein trieb auf das Institut zu, kurz vor diesem steil aufwärts und an der Hauskante steil abwärts. Der Meßpunkt liegt aber über der Hauskante und damit in dem horizontalen Teil des Wirbels. Das Abwärtsströmen an der Leeseite, hervorgerufen durch den Sog des an dieser Seite des Hauses gelegenen Trogtes (zwischen Haus und Wald), ist nicht so steil wie bei dem N-Wind über dem schrägen Dach (*AB*).

SW-Wind (Fig. 9) nimmt eine Sonderstellung ein. Der Strömungsverlauf über dem flachen Dach (*CD*) des Turmes wird hauptsächlich durch das schräge

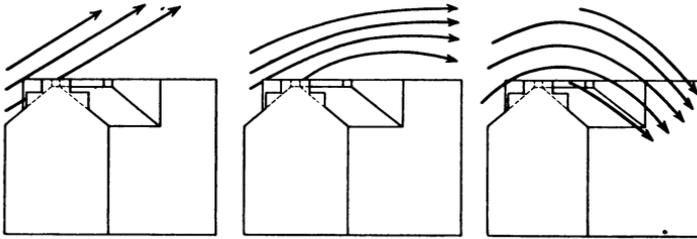


Fig. 9. Windströmung bei SW-Wind

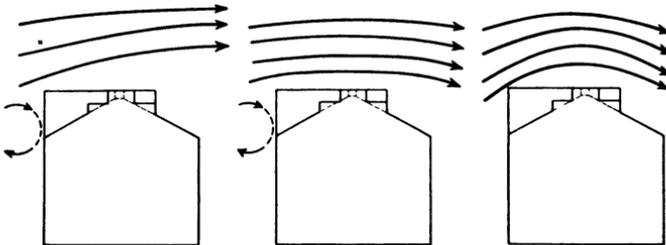


Fig. 10. Windströmung bei W-Wind

Das Kreuz gibt den Ort der endgültigen Aufstellung des Windmessers an

Fig. 9 und 10. Darstellung der Windströmung über dem Gebäude

Dach (*AB*) bestimmt. Die Wirkung des Hauses als Hindernis in der Strömung tritt dagegen zurück. Bei schwachem Wind strömt die Luft das schräge Dach hinauf und behält ihre Strömungsrichtung auch über dieses hinaus bei. Bei mäßigem Wind verläuft die Richtung wieder horizontal, die untersten beiden Meßpunkte in 4 m geben schon eine schwach abwärts gerichtete Komponente.

Bei starkem Wind ist einheitlich in allen Höhen über der Mitte des Daches ein Abwärtsströmen zu erkennen. Auch über dem kleinen Türmchen (*CD*) am E-Rand des Daches strömt die Luft herab; da das schräge Dach (*AB*) größer ist als das flache Türmchen (*CD*), überwiegt natürlich auch der Einfluß des schrägen Daches (*AB*). Die Luft strömt steil aufwärts, um über der Mitte des Daches (*AB*)

scharf umzubiegen in steil abwärts gerichtete Strömung. Das starke plötzliche Umbiegen der Stromlinien wird durch den bei starkem Wind vergrößerten Sog im Lee des Daches (*AB*) und des Hauses hervorgerufen.

W-Wind (Fig. 10). Bei schwachem Wind zeigt der Punkt vor und unter der Dachkante eine abwärts gerichtete Komponente an. Ein Hilfspunkt, der noch 4 m tiefer lag, gibt aber eine aufwärts gerichtete Komponente; es muß also zwischen diesen beiden Punkten ein Wirbel liegen. Der Punkt in 5 m über der W-Kante des Daches (*CD*) läßt einen horizontalen Verlauf der Stromlinien erkennen. In der Mitte und am E-Rand des Daches (*CD*) steigt die Luft dem Hang folgend aufwärts. Der Punkt in der Mitte liegt in 8 m Höhe. Vielleicht ist auch der Punkt am E-Rand auf einen Leewirbel zurückzuführen.

Bei mäßigem Wind liegt der Luvwirbel vor dem Haus, genau wie bei schwachem Wind. In 5 m Höhe über der W-Kante des Daches (*CD*) verläuft die Strömung horizontal, in 8 m über der Mitte dagegen und am E-Rand macht sich schon wieder eine schwache Abwärtskomponente bemerkbar.

Bei starkem Wind ist der Luvwirbel nicht mehr vorhanden, die Strömung steigt vor dem Institut steil an, verläuft an der W-Kante des Daches (*CD*) in 5 m

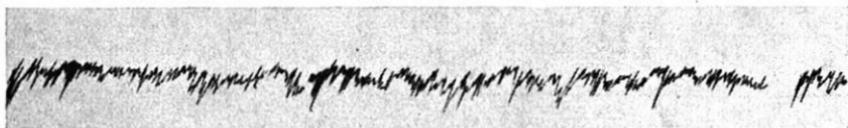


Fig. 11. Strömung über Stoppelfeld  
Schwache für Feldmessungen charakteristische Amplituden in der Windneigung

nur wenig aufwärts (in 1 m über der Dachkante verläuft die Strömung steil aufwärts), und steigt in 8 m über der Dachmitte schon wieder ab, über den Punkt am E-Rand des Daches (*CD*) hinweg. Der Hangeinfluß ist nur an der Luvseite des Hauses zu bemerken, an der Leeseite dominiert der Hauseinfluß.

Aus den Messungen ergibt sich: Über dem westlichen Teil des flachen Daches (*CD*) des Geophysikalischen Instituts verlaufen die Stromlinien in 5 m bei allen Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen praktisch horizontal, außerdem treten bei diesen Windgeschwindigkeiten in dieser Höhe keine ortsfesten Wirbel auf. Über dem schrägen Dach (*AB*) dagegen zeigen die Stromlinien noch in 8 m Höhe eine starke Neigung, die von der Windgeschwindigkeit abhängig ist. Aus diesem Grunde wurde der Windmesser an der W-Kante des flachen Daches (*CD*) in 6 m Höhe aufgestellt. Zu bemerken ist noch, daß der Einfluß des Berghanges, an dem das Geophysikalische Institut liegt, gegenüber dem Gebäudeeinfluß unmerkbar klein ist.

Die zum Vergleich über freiem Feld durchgeführten Messungen zeigten, daß in der Ebene die mittleren Neigungsschwankungen bedeutend kleiner sind als über dem Gebäude. Das ist zu erwarten, da ja über dem Gebäude nach den

bildlichen Darstellungen des Stromlinienverlaufs eine starke Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit besteht.

Wechselnde Windstärke bedingt also auf dem Haus wechselnde Windneigung (mit Ausnahme der W-Kante des flachen Daches). Über freiem Felde beträgt die mittlere Neigungsschwankung nur  $10^{\circ}$ , die entsprechende über dem Gebäude  $30^{\circ}$  bis  $40^{\circ}$ .

**3. Besprechung des Austauschkoefizienten.** a) Die Formeln für den dynamischen und thermischen Austausch. Mit dem beschriebenen Windmeßgerät kann die momentane Vertikalwindgeschwindigkeit berechnet werden. Damit besteht die Möglichkeit, nach einer einfachen von Hesselberg angegebenen Formel, den dynamischen Austausch zu bestimmen, ohne daß eine Kenntnis des vertikalen Windgradienten nötig ist. Gleichzeitige Temperaturregistrierungen am gleichen Ort gestatten außerdem den Austausch aus den Temperaturschwankungen (thermischer Austausch) zu bestimmen, wobei Gleichheit in den Ergebnissen beider Methoden zu erwarten ist. Wieweit eine Übereinstimmung zwischen dynamischem und thermischem Austausch gefunden wurde, zeigt die Tabelle, die später eingehend besprochen wird. Die Messungen wurden in 8 m Höhe über dem Dach des Geophysikalischen Instituts ausgeführt. Die Größe der gewonnenen Austauschkoefizienten läßt also einen Schluß zu, wieweit das Gebäude die Turbulenz der Luftströmung erhöht.

Zur Berechnung des dynamischen Austausches wurde eine von Hesselberg<sup>4)</sup>, zur Berechnung des thermischen Austausches eine von Ertel<sup>5)</sup> angegebene Formel benutzt. Der Austauschkoefizient ist definiert durch die Gleichung:

$$A = \frac{\Sigma l m}{F t},$$

$l$  = Weglänge,  $m$  = Masse,  $F$  = Fläche,  $t$  = Zeit.

Durch den vertikalen Austauschkoefizienten wird also der sekundliche Massentransport irgendeiner Eigenschaft der Luft durch eine horizontale Einheitsfläche angegeben, wobei sowohl ein Transport nach unten wie auch nach oben stattfinden muß. Ein einseitig gerichteter Massentransport trägt zur Größe des Austauschkoefizienten nichts bei. Hesselberg und Ertel fassen die gemessene turbulente Strömung als eine Summe aus einer ausgeglichenen und einer ungeordneten turbulenten Zusatzströmung auf.

Die Hesselbergsche Formel beruht auf folgender Vorstellung: Die ungeordnete Zusatzströmung wird als vertikale Schwingung mit einer bestimmten Periode  $P$  des einzelnen Luftpakets senkrecht zur horizontalen Einheitsfläche aufgefaßt. Dann ergibt sich für den Austauschkoefizienten folgende Formel:

$$\eta = \frac{1}{4} P \rho (u_z^2)_m,$$

$u_z$  = ungeordnete Zusatzgeschwindigkeit,  $\rho$  = Luftdichte,  $\eta$  = Austauschkoefizient.

In der Hesselbergschen Formel steckt die Vorstellung, daß im Mittel die Schwankungsperiode des Windes konstant ist, daß man also bei der Berechnung eine bestimmte Periode in die Formel einsetzen kann. Wieweit diese Annahme gerechtfertigt ist, wird später bei der Besprechung der Tabelle untersucht werden.

Die Berechnung des Austausches aus Temperaturregistrierungen kann nur unter der Annahme erfolgen, daß alle Temperaturschwankungen aus adiabatischen Temperaturänderungen bei dem Heben und Senken der Luftballen entstehen. Andere Effekte dürften keine Temperaturschwankungen erzeugen. Die Temperaturschwankungen sollen also ein getreues Abbild der Vertikalbewegung der Luft sein. Unter dieser Voraussetzung ergibt sich die Formel von Ertel:

$$A = \rho \frac{S_m(T)_t M_m \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right)_t}{\left( \frac{\partial T}{\partial z} \right)^2},$$

$\rho$  = Luftdichte,

$S_m(T)_t$  = mittlere Schwankung der Temperatur,

$M_m \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right)_t$  = mittlere Schwankung der zeitlichen Änderung der Temperatur,

$\frac{\partial T}{\partial z}$  = Temperaturgradient. Gerechnet werden muß aber mit  $\gamma - \frac{\partial T}{\partial z}$ ,

wobei  $\gamma$  der adiabatische Temperaturgradient ist.

Beide Formeln gelten nur unter einer fundamentalen Voraussetzung, in dem zur Berechnung des Austauschkoeffizienten benutzten Zeitraum müssen alle Phasen der Turbulenz (große und kleine Perioden und Amplituden) erfaßt werden. Das bedeutet nicht nur, daß der Zeitraum groß genug gewählt werden muß (um die großen Perioden zu erfassen), sondern ferner, daß die Instrumente auch die kleinen Perioden wiedergeben. Die letzte Bedingung war durch die Art der verwendeten Instrumente erfüllt (Eigenperiode rund 2 sec). Wieweit die erste Bedingung des genügend langen Zeitraumes erfüllt ist, ergibt sich aus der Tabelle.

*b) Erläuterung zur Tabelle.* Die optischen Temperaturregistrierungen und mechanischen Windregistrierungen wurden in einem Abstand von 2 bis 3 sec ausgewertet. Außerdem wurde aus der Windregistrierung die mittlere Periode  $P$  entnommen. Für die Berechnung des Austausches aus den Temperaturschwankungen nach der Ertelschen Formel ist die Kenntnis des mittleren vertikalen Temperaturgradienten zur Meßzeit notwendig. Der Temperaturgradient wurde aus dem Temperaturunterschied zwischen dem Geophysikalischen Institut (272 m) und dem Leinetal, der Sternwarte in Göttingen (148 m) bestimmt. Nach eingehenden Untersuchungen konnte festgestellt werden, daß die beiden Thermographen gut miteinander vergleichbar waren. Auch ihre thermische Trägheit war

1. Datum	2. Zeit	3. Wind- periode $P$	4. Wind- neigung $\varphi$	5. Wind- geschwin- digkeit $v$	6. Vertikal- geschwin- digkeit $v_z$	7. Schwan- kung $(u_z^2)_m$	8. $(u_z^2)_m^2 \frac{\pi}{2}$	9. Diffe- renz 7-8
31. Mai 1935	12.17—18	4.6	14 <sup>0</sup>	3.7	0.8	0.36	0.35	0.01
Reg. Nr. 33	20—21	3.2	21	4.2	1.5	1.32	1.66	— 0.34
N-Wind	23—24	3.5	35	3.8	2.1	0.64	0.71	— 0.07
	25—26	4.6	13	4.2	0.7	1.22	1.40	— 0.18
	26—27	2.9	39	5.1	3.2	0.45	0.46	— 0.01
	29—30	2.0	36	5.7	3.3	1.38	1.52	— 0.14
	30—31	5.0	— 0.6	4.7	— 0.5	0.83	0.79	+ 0.04
	33—34	6.0	20	4.8	1.4	2.26	2.45	— 0.19
	36—37	3.8	19	4.4	1.3	1.54	1.41	+ 0.13
	38—39	5.5	14	4.2	1.0	0.65	0.60	+ 0.05
31. Mai 1935	11.42—43	3.5	— 21	3.9	1.5	1.90		
Reg. Nr. 32	45—46	3.8	31	3.9	2.1	1.15		
	48—49	3.5	26	5.3	2.4	2.01		
5. Juni 1935	11.10—11	2.7	— 0.5	5.9	— 0.6	11.55	14.13	— 2.58
Reg. Nr. 47	13—14	3.8	— 0.1	5.6	— 0.2	8.97	10.68	— 1.71
SW-Wind	16—17	2.5	9.0	6.9	0.7	21.15	28.26	— 7.11
	18—19	2.5	21	6.6	1.9	17.2	17.9	— 0.70
	19—20	4.0	9	6.6	0.8	20.66	17.7	+ 2.94
	23—24	2.4	2	7.7	0	26,27	34.2	— 7.93
Reg. Nr. 45	11.44—45	3.8	3	5.3	0	12.65	9.81	+ 3.74
SW-Wind	47—48	3.8	— 5	4.9	— 0.6	4.78	6.10	— 1.32
	51—52	3.8	9	5.4	— 1.2	6.66	8.09	— 1.43
	56—57	3.5	— 0.9	4.7	— 0.2	3.61	3.08	+ 0.53
	12.01—02	3.5	1	4.7	0.1	3.03	2.67	+ 0.36
	04—05	3.2	— 0.7	4.2	— 0.2	3.83	4.77	— 0.94
Reg. Nr. 47	12.58—59	3.0	1	7.6	0.2	11.13	13.19	— 2.06
SW-Wind	13.02—03	2.4	27	9.7	4.3	2.19	17.10	— 14.91
	07—08	2.9	26	8.0	3.8	4.50	4.02	+ 0.48
	11—12	2.3	24	9.6	3.3	8.64	7.69	+ 0.95
	14—15	3.0	3	9.5	0.5	20.80	25.12	— 4.32
	17—18	2.1	39	9.8	6.0	6.24	7.22	— 1.98
	20—21	2.5	37	9.9	5.9	6.19	6.92	— 0.73
Reg. Nr. 49	14.28—29	2.4	30	9.1	4.3	5.54	6.28	+ 1.54
S-Wind	31—32	2.2	29	9.5	4.3	7.67	7.60	+ 0.07
	37—38	2.9	15	8.0	2.0	18.04	24.18	— 6.14
	40—41	2.7	20	8.8	3.1	4.72	3.77	+ 0.95
	44—45	3.8	5	6.3	0.2	11.39	9.81	+ 1.58
	47—48	3.0	27	7.3	3.5	3.80	3.78	+ 0.02
6. Juni 1935	9.11—12	3.3	20	8.5	2.7	1.94	2.20	— 0.26
Reg. Nr. 52	13—14	3.0	20	7.9	2.8	3.12	3.60	— 0.48
SW-Wind	16—17	3.2	17	9.4	2.8	5.14	5.65	— 0.49
	19—20	5.0	18	6.8	1.9	1.45	1.48	— 0.03
	22—23	1.9	27	10.0	4.5	3.54	3.83	— 0.29
	25—26	3.0	8	6.6	0.8	1.45	1.27	+ 0.18
	28—29	5.0	15	6.5	1.4	0.76	0.91	— 0.15
Mittelwerte						6.59	6.99	

10. Temperatur- gradient	11. Dyna- mischer Aus- tausch $\eta$	12. Gruppen- mittel $\eta_m$	13. Thermi- scher Aus- tausch $A$	14. Gruppen- mittel $A_m$	15. Diffe- renz $\frac{7-8}{7}$ in %	16. Bemerkungen
0.0	5.4		9.0			} schwache Windschwankungen, sehr gut ausgeprägte Periode von rund 2—3 Min.
0.08	11.5		173			
0.13	7.2		98.5			
0.16	18.2		136.0			
0.18	4.2	13.6	420.0	159.0	— 6	
0.22	8.9		61.0			
0.24	13.7		506.0			
0.05	36.5		43.9			
+ 0.14	18.9		26.7			
+ 0.27	11.6		174.0			
0.21	21.7		54.0			} Luftkörperwechsel nur in Temperatur- messungen erkennbar
0.16	14.2	19.6	3560.0	1221.3		
0.14	23.0		50.0			
0.32	100.5		33.0			} starke Windschwankungen, in der Mitte des Abschnittes ein Minimum der Windgeschwindigkeit
0.27	109.4		92.4			
0.22	171.5	165.2	36.1	44.0	— 12	
0.22	139.5		69.1			
0.16	265.6		18.0			
0.16	204.8		15.7			
0.28	156.2		55.1			} schwächere Windschwankungen als vor- her, ausgesprochen große Periode von rund 8 Min.
0.18	58.9		32.1			
0.08	81.9	68.7	100.0	60.0	+ 0.9	
0.08	41.0		68.8			
0.11	34.6		22.1			
0.20	39.7		81.9			
0.34	108.2		26.7			} mittelgroße Windschwankungen, längere Windperiode von 2 Min. Perioden- dauer schwach angedeutet
0.34	17.0		17.4			
0.48	42.2		147.0			
0.50	64.6	53.7	51.9	96.6	— 27	
0.26	203.5		46.6			
0.14	42.2		53.4			
0.0	49.9		16.1			
0.25	43.0		175.0			} mittelgroße Windschwankungen, schwach angedeutete Windperiode von 2 Min. Dauer, zu Anfang und am Schluß des Abschnittes gut, in der Mitte weniger stark ausgeprägt
0.36	54.4		114.0			
0.50	172.8	81.8	105.0	51.3	— 5	
0.72	41.2		25.6			
0.48	140.2		71.9			
0.30	39.7		87.5			
0.14	20.8		29.3			} starke Windschwankungen, gut erkenn- bare Periode von 2—3 Min. Dauer
0.26	30.3		16.8			
0.46	53.1	25.1	15.8	71.3	— 8.5	
0.70	23.5		73.0			
0.75	21.8		36.2			
0.80	14.1		134.0			
0.82	12.3		193.0			
		68.0		80.4	5	

ungefähr gleich groß. Die Gradientbestimmung beruhte also auf der richtigen Anzeige zweier dauernd kontrollierter Thermographen. Die relative Temperaturmessung wird also wohl keinen größeren Fehler als  $0.1^{\circ}$  aufweisen, das bedeutet, daß der Gradient im ungünstigsten Falle um  $\pm 15\%$  falsch sein kann, im Mittel eines größeren Zeitraumes aber bestimmt kleiner ist. Als Beispiel der Austauschberechnungen mögen die Werte für den dynamischen und thermischen Austausch am 5. Juni 1935 um 13.11<sup>h</sup> bis 13.12<sup>h</sup> dienen.

5. Juni, 1935 13.11<sup>h</sup> bis 13.12<sup>h</sup>

1. Dynamischer Austausch

$P$ Schwankungs- periode	$v$ Wind- geschwin- digkeit	$\varphi$ Neigungs- winkel	$v_z$ Vertikale Windgeschwin- digkeit	$(\frac{\partial}{\partial z})_m$
2.3 sec	9.6 m/sec	24 <sup>o</sup>	3.3 m/sec	4.9 (m/sec) <sup>2</sup>

Die hier angegebenen Werte sind Mittelwerte.

$$\eta = \frac{1}{4} P \cdot \rho (u_z^2)_m$$

$$\eta = \frac{1}{4} \cdot 2.3 \cdot 0.0013 \cdot 4.9 \cdot 10^4 = 64.6 \text{ cm}^{-1} \text{ g} \cdot \text{sec}^{-1}$$

2. Thermischer Austausch

$S_m(T)_t$ Mittlere Schwankung der Temperatur	$M_m \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right)$ Mittlere Schwankung der zeitlichen Ände- rung der Temperatur	$\frac{\partial T}{\partial z}$ Temperaturgradient
2.42 · 10 <sup>-2</sup> °C	4.16 · 10 <sup>-3</sup> °C	— 05 <sup>o</sup> /100 m = 0.5 <sup>o</sup> /100 m

$$A = \rho \frac{S_m(T)_t \cdot M_m \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right)_t}{\left( \frac{\partial T}{\partial z} \right)^2}$$

$$A = 1.3 \cdot 10^{-3} \frac{2.42 \cdot 10^{-2} \cdot 4.16 \cdot 10^{-3}}{2.5 \cdot 10^{-9}}$$

$$A = 52 \text{ cm}^{-1} \text{ g} \cdot \text{sec}^{-1}$$

Aus der Tabelle ergibt sich zunächst ein außerordentlich starkes Schwanken der Austauschoeffizienten. Eine Konstanz der Austauschoeffizienten ist bei der Kürze der Intervalle von 1 min auch nicht zu erwarten, weil damit die entscheidende Voraussetzung nicht erfüllt sein kann, alle Phasen der Turbulenz zu erfassen. Mittelt man die gesamten Austauschwerte (dabei ist die Gruppe vom 31. Mai 1935, 11.42<sup>h</sup> bis 11.49<sup>h</sup> ausgelassen, da der thermische Austausch aus später zu erörternden Gründen nicht reell sein kann) sämtlicher Tage, so ergibt sich für den dynamischen Austausch  $\eta = 68.0 \text{ cm}^{-1} \text{ g} \cdot \text{sec}^{-1}$ , für den thermischen Austausch  $A = 80.4 \text{ cm}^{-1} \text{ g} \cdot \text{sec}^{-1}$ . Diese Übereinstimmung ist verhältnismäßig recht gut

und dürfte wohl mehr zufällig sein, wie man aus den Schwankungen der Gruppenmittel erkennt. Zumindest geht aber aus diesem Gesamtittel hervor, daß die Strömung in der Höhe von 8 m durch das Gebäude nicht wesentlich turbulenter wird, als man in gleicher Höhe (140 m) und ähnlicher Wetterlage (Sonneneinstrahlung bei mäßigem bis frischem Wind) erwarten kann. Vergleicht man die Gruppenmittel des thermischen und dynamischen Austausches, so treten Unterschiede bis zu einer Größenordnung auf. Dabei ist der thermisch berechnete Austausch als unzuverlässiger anzusehen, wie aus dem Gruppenmittel vom 31. Mai 1935 von 11.42<sup>h</sup> bis 11.49<sup>h</sup> zu ersehen ist. Der enorm hohe Wert des thermischen Aus-

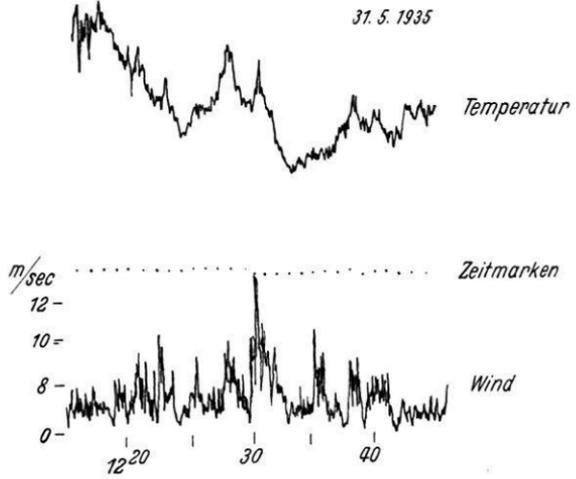
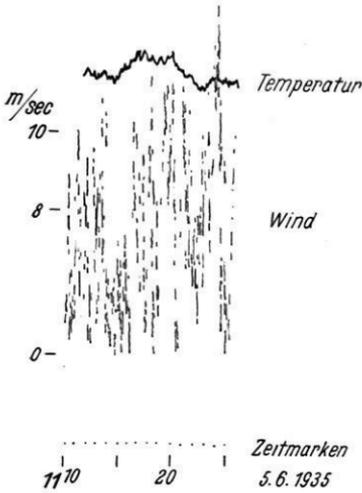


Fig. 12. Beispiel der Windstruktur mit Vorherrschen einer einzigen mittleren Periode von wenigen Sekunden. Eine überlagerte Periode von 10 min ist schwach zu erkennen

Fig. 13 Beispiel der Windstruktur mit zwei deutlich ausgeprägten mittleren Perioden von einigen Sekunden und einigen Minuten

tausches um 11.45<sup>h</sup> bis 11.46<sup>h</sup> wird dadurch erzeugt, daß ein plötzlicher Temperatursprung von 1° C auftritt, der nichts mit dem Austauschvorgang zu tun hat, sondern einen kleinen Luftkörperwechsel darstellt.

Die thermische Berechnung des Austausches macht die Voraussetzung, daß alle Temperaturänderungen *nur* durch Höhenänderungen der einzelnen Luftballen hervorgerufen werden. Der dynamisch berechnete Austausch dagegen ergibt sich aus den direkt beobachteten vertikalen Luftmassenversetzungen. Berechnet man ihn jedoch nach der Formel von Hesselberg, so macht man damit die Annahme, daß nur eine mittlere Schwankungsperiode *P* existiert. Aus den Registrierungen der Windstärke kann man direkt ersehen, wieweit diese Voraussetzung erfüllt ist. Als Beispiele dienen die beiden Fig. 12 und 13. Die Figuren stellen die photographische Registrierung der *horizontalen* Windgeschwindigkeit und der Temperatur dar.

Die Fig. 12 stellt das Beispiel einer Windregistrierung dar, in der eine kurzperiodische Schwankung des Windes vorherrscht, es besteht also gar kein Zweifel, welche Periode  $P$  in die Hesselbergsche Formel einzusetzen ist. Die Fig. 13 zeigt das Gegenteil. Diese Aufzeichnung läßt neben der kurzen Schwankungsperiode von wenigen Sekunden noch deutlich eine andere Schwankungsperiode von einigen Minuten erkennen. Dabei sind die Amplituden beider Schwankungen gleich groß. Nimmt man zunächst einmal an, daß es gleichgültig ist, welche Periode  $P$  man in die Hesselbergsche Formel einsetzt, so kann das nur gültig sein, wenn ein ganz bestimmter Zusammenhang zwischen der Größe der mittleren Windschwankung und der Periode besteht. Es mögen in ein und demselben Zeitintervall die Perioden  $P_1$  und  $P_2$  vorkommen mit den Schwankungen  $u_{z_1}$  und  $u_{z_2}$ . Der Austausch muß sich in beiden Fällen gleich groß ergeben. Dann muß sein:

$$Q \cdot P_1 \cdot (u_{z_1}^2)_m = Q \cdot P_2 \cdot (u_{z_2}^2)_m$$

also

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{(u_{z_2}^2)_m}{(u_{z_1}^2)_m},$$

d. h. die Perioden müssen sich umgekehrt verhalten, wie die Mittel der Schwankungsquadrate. Für die Registrierung Fig. 13 ist das sicher nicht der Fall. Nun stellt allerdings die Fig. 13 einen Sonderfall dar, die übrigen zur Mittelbildung verwendeten Aufzeichnungen haben mehr die Form der Fig. 12, wenn auch in jeder Windregistrierung neben den kurzperiodischen Schwankungen mehr oder weniger große Schwankungen mit einer Periodendauer von einigen Minuten vorkommen. In den Bemerkungen zur Tabelle ist angegeben, wieweit in den gemessenen Zeitintervallen solche größeren Windperioden vorkommen. Zu einer genaueren Untersuchung, wieweit durch die verschiedenen Perioden eine Fälschung der Austauschberechnung eintritt, muß noch mehr Material gesammelt werden. Hier sei angenommen, daß die Hesselbergsche Voraussetzung richtig ist, und man die Periode der *kurzen* Schwankungen in die von ihm angegebene Formel einsetzen kann.

Die hier verwendete Hesselbergsche Formel macht gar keine Annahme darüber, nach welcher Verteilungsfunktion die Schwankungen erfolgen. Hesselberg und Björkdal<sup>6)</sup> konnten an Hand der Untersuchung von Robitzsch<sup>7)</sup> zeigen, daß für die Schwankungen der *horizontalen* Windgeschwindigkeit mit großer Annäherung das Gaußsche Verteilungsgesetz gilt. D. h. daß die kleinsten Schwankungen am häufigsten, die größten am seltensten sind. Besteht eine solche Gaußsche Häufigkeitsverteilung, so gilt die Beziehung:

$$(u_z^2)_m = \frac{\pi}{2} (u_{\sigma_m})^2.$$

Auf Grund dieser Beziehung kann also entschieden werden, ob diese Gaußsche Häufigkeitsverteilung auch bei der hier ausgeführten Messung der vertikalen Windgeschwindigkeit gültig ist.

In der Tabelle ist für jedes ausgewertete Intervall  $(u_z^2)_m$  und  $(u_{z_m})^2 \frac{\pi}{2}$  angegeben.

Diese beiden Größen müssen also bei Vorhandensein einer Gaußschen Schwankungsverteilung gleich groß werden. In der letzten Spalte der Tabelle ist die Differenz dieser beiden Größen in Prozenten angegeben. Das Gesamtmittel dieser Differenz beträgt für alle Messungen — 5%. In dem Gruppenmittel ist die Abweichung etwas größer, in einem Falle geht sie sogar bis zu 27%. Man wird aus dieser verhältnismäßig guten Übereinstimmung folgern können, daß im Mittel genügend große Zeitintervalle die Schwankung der Vertikalkomponente des Windes einer Gaußschen Häufigkeitsverteilung mit einer Genauigkeit von etwa  $\pm 10\%$  genügt.

*Zusammenfassung.* Nach einem von Kopp angegebenen Vertikalaneurometer wurde ein verkleinertes und vereinfachtes Gerät dieser Art gebaut. Nach eingehender Prüfung der Eigenperiode, Dämpfung und Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit wurde die mittlere Störung der Luftströmung durch das Gebäude des Geophysikalischen Instituts untersucht, um hier den geeigneten Platz zur Aufstellung eines Böenschreibers zu finden. Daraus ergab sich, daß in 5 m Höhe über dem flachen Dach des Gebäudes die Stromlinien bei allen Windstärken und Windrichtungen horizontal verlaufen; daß dagegen über dem schrägen Dach bis 8 m Höhe die Stromlinien gekrümmt waren, und die Krümmung mit der Windgeschwindigkeit und Windrichtung variierte. Auf Grund des mittleren Stromlinienbildes wurde der Böenschreiber in 6 m Höhe über der W-Kante des flachen Daches aufgestellt.

Dieses Ergebnis an einem einzelnen Gebäude läßt sich wohl dahin erweitern, daß in 6 bis 7 m über einem flachen Dach keine nennenswerte Störung der Windströmung mehr besteht, daß dagegen die Aufstellung eines Windmessers in der Nähe eines schrägen Daches prinzipiell falsche Ergebnisse liefert.

Außerdem wurden mit dem Gerät Austauschmessungen in 8 m Höhe über dem Dach des Geophysikalischen Instituts durchgeführt. Diese Austauschmessungen ergaben, daß eine wesentliche Turbulenzerhöhung in 8 m Höhe über dem Gebäude gegenüber anderen Messungen in gleicher Höhe der freien Atmosphäre nicht eintritt.

Ferner wurde der dynamische Austausch mit dem durch gleichzeitige Temperaturmessungen gewonnenen thermischen Austauschkoefizienten verglichen. Im Mittel aller Messungen waren beide Koeffizienten gleich groß, einzelne Meßreihen unterschieden sich dagegen bis zum Zehnfachen.

Aus der mittleren Schwankung der vertikalen Windgeschwindigkeit ergab sich, daß über große Zeitintervalle die Schwankungen der Gaußschen Häufigkeitsverteilung mit einer Genauigkeit von etwa  $\pm 10\%$  genügen.

Zum Schluß möchte ich Herrn Prof. Angenheister für die Anregung zu dieser Arbeit und Bereitstellung der Mittel und Herrn Dr. Suckstorff für seine stete Hilfsbereitschaft und Unterstützung durch Rat und Tat aufrichtig danken.

### Literatur

- <sup>1)</sup> Höhndorff: Beitr. z. Phys. d. fr. Atm. **17**, 69; **16**, 138; Mildner-Hänsch-Griessbach: ebenda **17**, 181; Jaumotte: Met. Zeitschr. 1931, S. 237; Koschmieder: Gerlands Beitr. z. Geophys. **15**, 285 u. a.
- <sup>2)</sup> Büdel: Beitr. z. Phys. d. fr. Atm. **20**, S. 9; Raethjen: ebenda **13**, 148.
- <sup>3)</sup> Kopp: Ber. ü. d. Tätigkeit d. pr. met. Inst. i. Jahre 1933.
- <sup>4)</sup> Hesselberg: Ann. d. Hydr. u. mar. Met. 1929, S. 319.
- <sup>5)</sup> Ertel: Beitr. z. Geophys. **25**, 279.
- <sup>6)</sup> Hesselberg-Björkdal: Beitr. d. Phys. d. fr. Atm. **15**, 121.
- <sup>7)</sup> Robitzsch: Arbeit d. pr. Areon. Obs. Lindenberg XIII, S. 66.

Göttingen, Geophysikalisches Institut, April 1936.

---

## Über Messungen mit dem Quarzfaden-Horizontalintensitätsmagnetometer von la Cour in Potsdam, Seddin und Niemeck

Von G. Fanselau. — (Mit 1 Abbildung)

Bericht über relative Messungen der Horizontalintensität des erdmagnetischen Feldes mit Hilfe der neuen Quarzfadenmagnetometer von la Cour.

Dank dem freundlichen Entgegenkommen von Herrn Direktor la Cour, Kopenhagen, war es möglich, mit drei Instrumenten seiner bewährten Konstruktion Q. H. M. (Quartz Horizontal-Force Magnetometer) Nr. 3, 5 und 7 eine Zahl von Messungen auszuführen. Diese Messungen hatten einerseits nach dem eigenen Wunsch des Konstrukteurs den Zweck, weitere praktische Meßfahrten zu sammeln, von seiten des Magnetischen Observatoriums wurde mit dieser Meßreihe versucht — neben einem Vergleich des Dänischen Observatoriums Rude Skov und Niemeck —, die Lokaldifferenzen in der Horizontalintensität zwischen den drei Hauptbeobachtungsplätzen in Deutschland — Potsdam, Seddin, Niemeck — zu bestätigen bzw. neu festzulegen. Es wurde dabei in jedem Observatorium nur je ein ganz bestimmter Platz für die Messungen ausgewählt und von der Möglichkeit, die Feldinhomogenitäten mit Hilfe der Q. H. M. — wozu sich diese Instrumente ganz vorzüglich eignen — zu untersuchen, absichtlich kein Gebrauch gemacht, einmal, weil für solche Inhomogenitäten an allen drei Plätzen keine Anhaltspunkte vorliegen, vor allem aber deshalb, weil die Zeit für alle diese Messungen nicht ausgereicht hätte. Insgesamt wurden mit allen drei Instrumenten 19 Messungen zu je 7 Einzeleinstellungen gemacht. Über die erzielten Ergebnisse soll im folgenden kurz berichtet werden.

Es erübrigt sich, ausführlich auf Konstruktion und Theorie des Instruments einzugehen, da ja hier die Beschreibung von la Cour selbst\*) die beste und zu-

---

\*) Le Quartz-Magnétomètre Q. H. M. Det Danske Meteorologiske Institut, Communications Magnétiques Nr. 15, 1936.