

Werk

Jahr: 1940

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:16

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0016

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0016

LOG Id: LOG_0055

LOG Titel: Untersuchungen über Feindruckwellen

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

Untersuchungen über Feindruckwellen

Von **Kurt Köhne**, Göttingen. — (Mit 12 Abbildungen)

Über Luftwogen und Feindruckwellen liegt eine umfangreiche Literatur bereits vor; es sei verwiesen auf Helmholtz [1, 2], Wegener [3], Haurwitz [4—7], Namewaka [9], Trey [8], Suzuki und Oomori [10].

Über die ersten Grundlagen zur Theorie der Luftwogen von Helmholtz [1, 2] und die Untersuchungen Wegeners [3] hinaus entwickelte Haurwitz [4—7] Formeln zur Berechnung der Luftwogen unter den verschiedensten Voraussetzungen. Fast alle bisherigen Veröffentlichungen über Druckwellen und Luftwogen theoretischer und experimenteller Art ergaben Wellenlängen von einigen hundert bis wenigen tausend Metern. Auch Untersuchungen an Wogenwolken ergaben Wellenlängen gleicher Größenordnung. Eine gemeinsame Arbeit von Suzuki und Oomori [10] über Druckwellen, die in einem Dreiecksnetz von Luftdruckvariographen gemessen wurden, zeigten wesentlich größere Wellenlängen von im Mittel 13 bis 25 km.

Aus den ersten Versuchsregistrierungen am Geophysikalischen Institut Göttingen mit einem hochempfindlichen Druckschreiber und gleichzeitig durchgeführten Pilotballonaufstiegen ergab sich ein auffallender Zusammenhang zwischen der Periode der aufgezeichneten Druckwellen und der Höhe eines Windgeschwindigkeitssprunges. Zur näheren Untersuchung dieser Wellen wurden die Ecken eines Dreiecks mit Feindruckschreibern ausgestattet. Die aus den Registrierungen gefundenen Wellenlängen lagen im Mittel bei 10 bis 20 km, es handelt sich also bei diesen Wellen um ähnliche Vorgänge, wie sie von Suzuki und Oomori [10] untersucht worden waren.

Es ist der Versuch unternommen worden, die Fragen nach Höhenlage, Wellenlänge, Richtung und Geschwindigkeit der Druckwellen allein auf Grund von Höhenwindbeobachtungen und Bodendruckaufzeichnungen zu klären. Aus technischen Gründen konnten leider Aufstiege zur Ermittlung der Temperatur-Höhenkurve nicht erfolgen.

Benutztes Instrumentarium

Aufbau und Arbeitsweise des Feindruckschreibers. Die zur Aufzeichnung der untersuchten Luftdruckwellen benutzten Geräte (Fig. 1) sind von Suckstorff [11] am Geophysikalischen Institut Göttingen entwickelt worden und werden von der Firma Wilh. Lambrecht in Göttingen hergestellt. Diese Druckschreiber gestatten es, bei einer Empfindlichkeit von 30 bis 40 mm Ausschlag pro mm Hg Druckänderung noch Luftdruckschwankungen von 0.01 mm Hg auszuwerten. Um bei der höheren Empfindlichkeit des Gerätes mit normaler Registrierpapierbreite auszukommen, wird der Zeiger bei Erreichen des Papierrandes durch eine Umschalt-

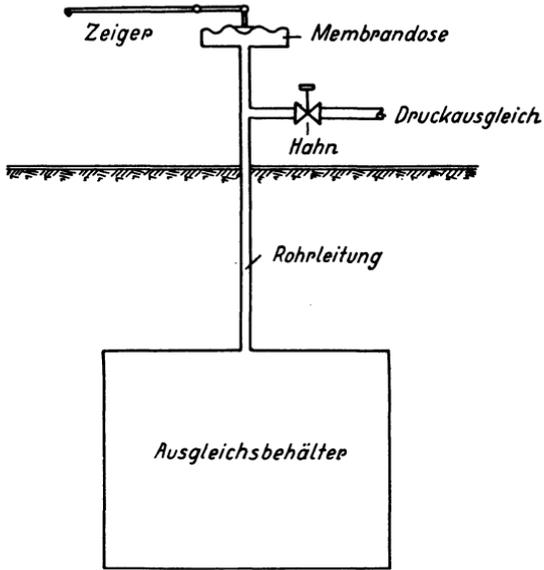


Fig. 1. Der Feindruckschreiber (schematisch)

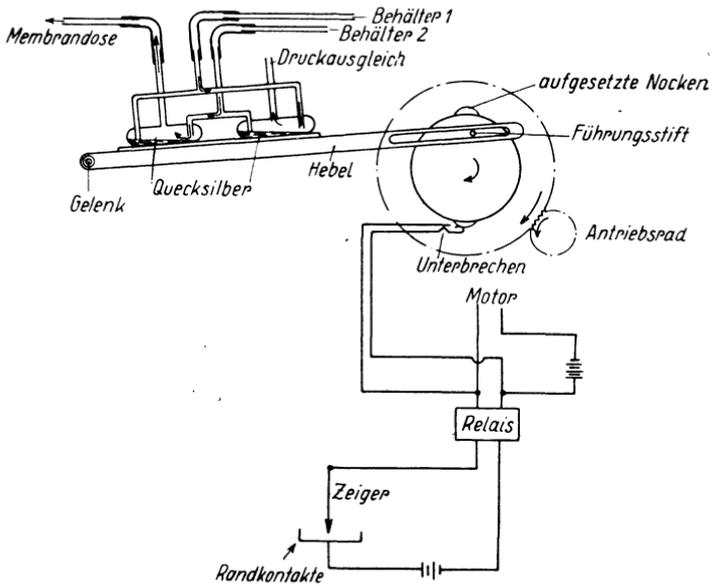


Fig. 2. Die Umschaltvorrichtung (schematisch)

vorrichtung in seine Nullage zurückgeführt. Fig. 2 zeigt die Wirkungsweise der bei den Feindruckschreibern endgültig benutzten Umschaltvorrichtungen. Die Umschaltung der Druckdose an einen zweiten Behälter, der bisher mit der Außenluft in Verbindung stand, erfolgt über ein doppeltes Quecksilberventil, das an einem Hebel befestigt ist, der durch einen Grammophonmotor betätigt wird. Von den Behältern führen zwei Zuleitungen in die Quecksilberröhrchen, wobei je eine durch das Quecksilber verschlossen ist. Ein Röhrchen stellt die Verbindung mit der Membrandose, das andere den Druckausgleich mit der Außenluft her. Erreicht der Zeiger einen der Randkontakte, so wird über das Relais ein Stromkreis zum Motor geschlossen. Durch den Umlauf der auf dem großen Zahnrad befestigten Scheibe wird der Hebel über Führungsstift und Schlitz in Bewegung gesetzt.

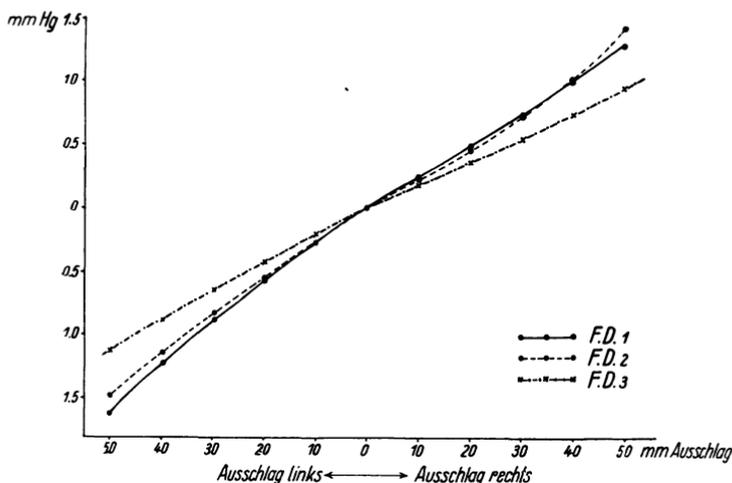


Fig. 3. Eichkurven der Feindruckschreiber

Steht der Hebel horizontal, so öffnet sich das Quecksilberventil, der Druckausgleich wird hergestellt, und der Zeiger geht auf die Mitte des Registrierpapiers zurück. Gleichzeitig wird über den Unterbrecher ein zweiter Stromkreis für den Motor geschlossen. Nach einer Umdrehung der Scheibe von 180° unterbricht die zweite Nocke diesen Stromkreis wieder, der Hebel hat seine untere Extremlage erreicht, womit der Behälter 2 an die Membrandose angeschlossen ist.

Eichung des Feindruckschreibers. Zur Eichung der Druckschreiber wurde ein Mikromanometer einmal an die Druckdose allein und im zweiten Fall an das gesamte System angeschlossen. Bei verschiedenen Drucken wurden Manometerstand und Zeigerausschlag des Feindruckschreibers notiert und auf Millimeterpapier als Eichkurve aufgetragen (Fig. 3).

Stationsnetz. Drei Beobachtungsstationen wurden mit oben beschriebenem Gerät ausgestattet, das Geophysikalische Institut (270 m über NN) mit dem

D. F. 1, die Firma Wilh. Lambrecht (180 m über NN) mit dem F. D. 2 und später der Flughafen (160 m über NN) mit dem F. D. 3 (Fig. 4). Die Feindruckschreiber waren mit einer Zeitmarkierung versehen, welche Minutenkontakte einer Uhr aufzeichnet. Die Uhren wurden nach der Utzschneider-Uhr des Geophysikalischen Instituts kontrolliert. Der Zeitvergleich erfolgte auf telephonischem Wege. Die Registrierpapiergeschwindigkeit von 1 mm pro min ermöglichte es, die Eintrittszeiten der Wellen auf halbe Minuten genau zu bestimmen.

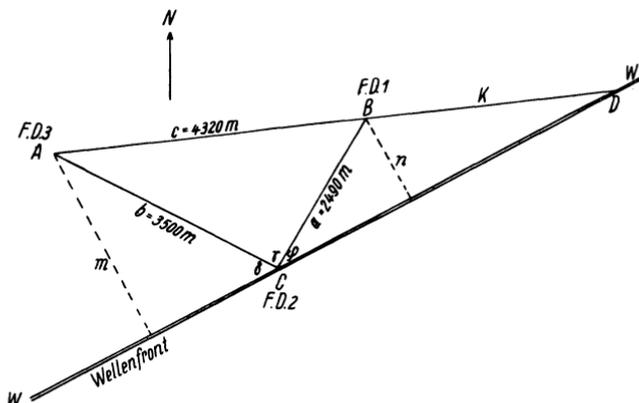


Fig. 4. Zur Berechnung der Geschwindigkeit und Richtung der Wellen

Höhenwindmessungen. Bei den Voruntersuchungen über Luftdruckwellen wurden zur Festlegung der Diskontinuitätsfläche Höhenwindmessungen der benachbarten Wetterwarten herangezogen. An Hand dieses Materials war es jedoch nicht immer möglich, die Lage der Diskontinuitätsfläche am Beobachtungsort einwandfrei zu bestimmen. Am Geophysikalischen Institut wurden daher nach dem Einfachanschnittverfahren mit dem Zeisschen Ballon-Registrier-Theodolithen Pilotballonaufstiege ausgeführt.

Auswertung und Zusammenstellung des Registriermaterials

Auswertung. Die Fig. 5 gibt das Beispiel einer Druckregistrierung an den drei Stationen. Die Wellen zeigen nur angenähert Sinusform, meist geben sie das Bild mehr oder weniger unregelmäßiger Schwingungen. Zur Auswertung sind ähnliche Kurven notwendig, damit zusammengehörige Punkte erkannt und einander zugeordnet werden können. Das bedingt eine verhältnismäßig nahe Lage der Stationen, womit gleichzeitig eine hohe Zeitgenauigkeit verlangt wird, die bei einer Registrierpapiergeschwindigkeit von 1 mm/min nicht beliebig gesteigert werden kann. Eine Steigerung der Papiergeschwindigkeit nutzt jedoch nichts, da die Wellen verflachen und dadurch die Auswertung ungenau wird. Die ersten Unter-

suchungen beschränkten sich lediglich auf die Ausmessung von Perioden der Druckwellen; nachdem das Dreiecksnetz aufgebaut war, erfolgte darüber hinaus die Bestimmung der Einsatzzeiten identischer Punkte in den Druckregistrierungen zwecks Bestimmung von Wellenrichtung und -geschwindigkeit.

Berechnung von Geschwindigkeit und Richtung der Wellen. Die Bestimmung der Geschwindigkeit der Wellen erfolgte graphisch. In Fig. 4 bedeuten A, B, C die drei Beobachtungsstationen; a, b, c ihre Abstände voneinander; WW die Wellenfront, die die Verlängerung von AB über B hinaus in D trifft. $BD = k$.

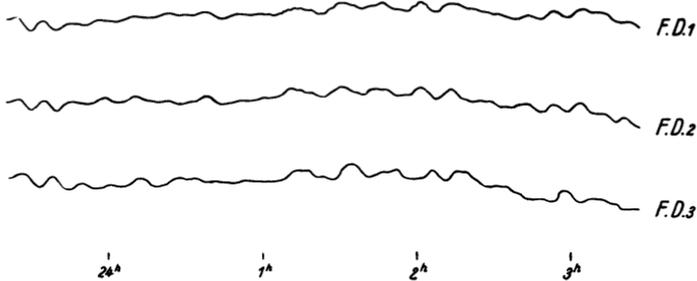


Fig. 5. Feindruckregistrierung an Dreipunktstation am 4./5. 6. 1939

Die Senkrechten von A und B auf WW seien m und n . Die Druckwellen erreichen zuerst C dann B , dann A . Mit ΔT sei die Differenz der Ankunftszeiten in A und C , mit Δt in B und C bezeichnet. Dann gilt:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{m}{n} = \frac{k+c}{k}; \quad k = \frac{c}{\frac{\Delta T}{\Delta t} - 1}$$

Für $\Delta T = \Delta t \neq 0$ wird $m = n$ und $k = \infty$; Wellenfront und Richtung AB sind parallel.

Für $\Delta t = 0$ wird $n = 0$; die Richtung der Wellenfront fällt mit der Richtung von BC zusammen.

Für $\Delta T = 0$ wird $m = 0$; die Wellenfront fällt mit der Richtung AC zusammen.

Die Hilfsgröße k wurde berechnet und mit ihrer Hilfe die Wellenfront eingezeichnet und die Abstände m und n der Stationen von der Wellenfront in der Zeichnung ausgemessen; aus ihnen und den Zeitdifferenzen ΔT und Δt folgt die Geschwindigkeit.

Eine genauere rechnerische Bestimmung der Richtung φ und der Geschwindigkeit V der Druckwelle ist auf dem Wege möglich, den Krug [13] zur Berechnung der Geschwindigkeit mikroseismischer Bodenwellen benutzt hat.

$$V = \frac{a \sin \varphi}{\Delta t}; \quad \text{tg } \varphi = \frac{p \sin \gamma}{1 - p \cos \gamma}; \quad p = \frac{b}{a} \frac{\Delta t}{\Delta T}$$

In den angeführten Beispielen bedeuten Δt und ΔT die Zeitdifferenzen zur Station des F. D. 2, k die zu berechnende Hilfsstrecke, δ und V die Richtung bzw. Geschwindigkeit der Wellenfront. Die beiden letzten Spalten von δ und V zeigen die Abweichungen vom gemessenen Wert an, die infolge ungenauer Bestimmung der Zeitdifferenzen auftreten. Als gegebener, d. h. als gemessener Wert ist in beiden Beispielen jeweils die mittlere Zeile anzusehen. Von solch einem

Einfluß der Fehler in ΔT und Δt auf V

F. D. 1 Δt min	F. D. 3 ΔT min	k m	Richtung			Geschwindigkeit		
			δ Grad	$\Delta \delta$ Grad	$\frac{\Delta \delta}{\delta}$ %	V m/sec	ΔV m/sec	$\frac{\Delta V}{V}$ %
+ 1.5	+ 4.0	2590	147	+ 10	+ 2.8	12.4	+ 0.3	+ 2.5
+ 1.5	+ 4.5	2160	144	+ 7	+ 1.9	11.3	- 0.8	- 6.6
+ 1.5	+ 5.0	1850	140	+ 3	+ 0.8	10.6	- 1.5	- 12.4
+ 1.0	+ 4.0	1440	138	+ 1	+ 0.3	13.3	+ 1.2	+ 10
+ 1.0	+ 4.5	1235	137	0	0	12.1	0	0
+ 1.0	+ 5	1080	136	- 1	- 0.3	11.0	- 1.1	- 9.1
+ 0.5	+ 4	617	130	- 7	- 1.9	14.2	+ 2.1	+ 17.5
+ 0.5	+ 4.5	540	128	- 9	- 2.5	12.8	+ 0.7	+ 5.8
+ 0.5	+ 5	480	127	- 10	- 2.8	11.4	- 0.7	- 5.8

2. Beispiel:

± 0.0	+ 0.5	0	118	- 45	- 12.5	116.3	+ 70.8	+ 155.0
± 0.0	+ 1	0	118	- 45	- 12.5	58.3	+ 12.6	+ 27.6
± 0.0	+ 1.5	0	118	- 45	- 12.5	38.8	- 6.9	- 15.1
+ 0.5	+ 0.5	∞	173	+ 10	+ 2.8	64.5	+ 18.8	+ 41.3
+ 0.5	+ 1	4320	163	0	0	45.7	0	0
+ 0.5	+ 1.5	2160	144	+ 19	- 5.3	34.0	- 11.7	- 25.6
+ 1.0	+ 0.5	4320	187	+ 24	+ 6.7	37.4	- 8.3	- 18.2
+ 1.0	+ 1	∞	173	+ 10	+ 2.8	32.2	- 13.5	- 29.6
+ 1.0	+ 1.5	8640	152	- 11	- 3.1	27.6	- 18.1	- 39.7

festen Wertepaar Δt und ΔT ausgehend werden unter Berücksichtigung eines maximalen Zeitfehlers von $\frac{1}{2}$ Minute die sich daraus jeweils ergebenden Richtungen und Geschwindigkeiten berechnet und ihre Abweichungen vom Mittelwert bestimmt. Im ersten Beispiel wird für ΔT eine große, im zweiten dagegen eine kleine Zeitdifferenz den Berechnungen zugrunde gelegt. Bei großem ΔT sind die Fehler in Richtung und Geschwindigkeit der Wellen gering, dagegen treten bei kleinem ΔT bedeutende Abweichungen in den beiden Größen auf; die hohen Geschwindigkeiten sind nur unter gewissen Vorbehalten als reell anzusehen.

Materialzusammenstellung

Das in dieser Arbeit behandelte Material entstammt dem Zeitraum Frühjahr und Herbst 1937, Sommer 1938 und von Januar bis Anfang August 1939. Es standen zur Verfügung 126 Auswertungen von Druckperioden, die sich im Durchschnitt über einen Zeitraum von 70 Minuten erstrecken, womit die gesamte Auswertzeit sich auf 140 bis 150 Stunden beläuft.

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die in oben angeführtem Zeitraum ausgewerteten Druckperioden und deren Häufigkeitsverteilung, sowie über die Anzahl der Pilotballonaufstiege.

Tabelle 1

1937.

Nur fremde Pilotballonaufstiege.

43 Perioden:	1mal von 0— 5 min	4mal von 15—20 min
	15 „ „ 5—10 „	1 „ „ 20—25 „
	22 „ „ 10—15 „	

1938.

Gesamt: 16 Pilotballonaufstiege.

Mit Windsprung: 7 Piloten.

Ohne Windsprung: 9 Piloten.

7 Perioden:	5mal von 5—10 min	2mal von 10—15 min
-------------	-------------------	--------------------

1939.

Gesamt: 56 Pilotballonaufstiege.

Mit Windsprung: 14 Piloten.

Ohne Windsprung: 42 Piloten.

76 Perioden:	3mal von 0— 5 min	8mal von 20—25 min
	22 „ „ 5—10 „	3 „ „ 25—30 „
	29 „ „ 10—15 „	2 „ „ 30—35 „
	9 „ „ 15—20 „	

Gesamt:

72 Pilotballonaufstiege; 21 mit Windsprung; 51 ohne Windsprung.

126 Perioden:	4mal von 0— 5 min	9mal von 20—25 min
	42 „ „ 5—10 „	3 „ „ 25—30 „
	53 „ „ 10—15 „	2 „ „ 30—35 „
	13 „ „ 15—20 „	

Fig. 6 gibt eine Gesamtdarstellung der Perioden sämtlicher während des oben angegebenen Zeitraumes ausgewerteter Druckwellen, wobei eine Periode als Mittelwert einer Gruppe von 8 bis 10 Einzelperioden anzusehen ist. Auffallend ist das stark ausgeprägte Maximum in der Verteilung von 5 bis 15 min, während die übrigen Perioden nur in wesentlich geringerem Ausmaß auftreten.

Nachdem im Frühjahr 1939 das Dreiecksnetz aufgebaut war, konnten aus den Registrierungen der drei Feindruckschreiber in 127 Fällen Richtung und Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen am Boden bestimmt werden.

Eine Häufigkeitsverteilung der Ausbreitungsgeschwindigkeiten am Boden gibt Fig. 7 wieder; in ihr liegt das Geschwindigkeitsmaximum zwischen 10 und 30 m/sec. Nach kleineren Werten ist ein sehr schroffer Abfall vorhanden, Geschwindigkeiten unter 5 m/sec treten bei vorliegender Untersuchung überhaupt

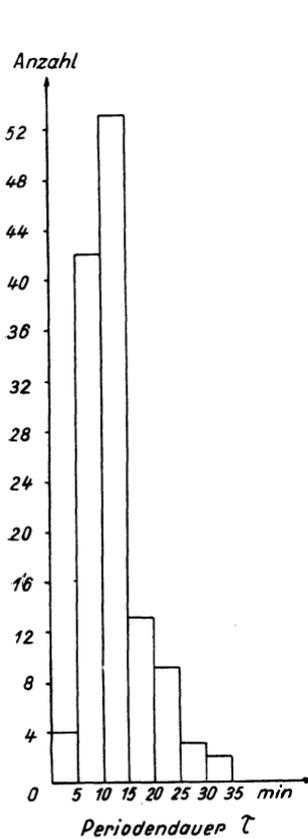


Fig. 6

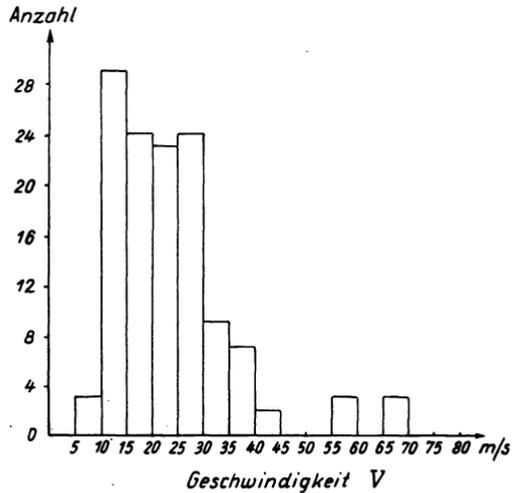


Fig. 7

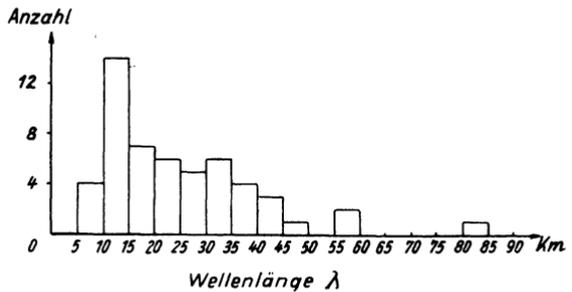


Fig. 8

Fig. 6—8. Häufigkeitsverteilung von Perioden, Geschwindigkeiten und Wellenlängen

nicht auf; nach größeren Werten hin tritt der Abfall nicht in dem Maße in Erscheinung, jedoch ist hier zu berücksichtigen, daß gerade die großen Wellengeschwindigkeiten nicht mit genügender Genauigkeit bestimmbar sind.

Für die Ausbreitung der Druckwellen gilt

$$\lambda = V \cdot \tau,$$

wobei λ in m, V in m/sec und τ in sec eingesetzt werden sollen. Aus zusammengehörigen Werten von V und τ konnten 53 Wellenlängen berechnet werden, die

Tabelle 2

Datum	Uhrzeit	Wellen- richtung Grad	Wellen- geschwin- digkeit V m/sec	Periode τ		Wellen- länge $\lambda = \tau \cdot V$ m
				sec	min	
19. 5. 39	01 ^h 30 ^m —26 ^h 45 ^m	200	9.3	1500	25	14000
21./22. 5. 39	22 ^h 00 ^m	188	18.5	1450	24.2	26800
	22 45	165	19.3	1620	27	31300
	23 10	150	13.75	1620	27.4	22300
	23 40	155	16.9	1620	27	27400
	00 30	136	22	1540	25.6	34000
	01 00	130	26.6	1620	27	43000
4./5. 6. 39	23 15	143	11.2	700	11.7	7900
	23 30	128	13.7	700	11.7	9600
	00 10	130	15.7	750	12.5	11800
	01 ^h 25 ^m —02 ^h 15 ^m	138	13.4	930	15.5	12500
7. 6. 39	02 45 — 03 05	136	12	600	10	7200
	02 ^h 30 ^m	173	16	660	11	10500
	02 35	166	14.6	870	14.5	12700
	02 50	162	13.7	900	15	12300
	03 00	157	12.4	960	16	11900
	03 15	154	11.4	940	15.5	10700
	03 25	150	10.7	1020	17	10900
23. 6. 39	18 ^h 00 ^m —19 ^h 00 ^m	297	23.2	640	10.7	14700
16. 7. 39	16 30 — 20 10	155	35.8	560	9.3	20000
21. 7. 39	03 10 — 09 40	230	24.7	1120	18.7	27700
22. 7. 39	13 55 — 14 20	300	31.4	660	11	20700
	14 30 — 16 00	280	69	600	10	41500
	16 25 — 16 50	280	27.5	1380	23	38000
	17 00 — 17 30	275	35	1140	19	39900
27. 7. 39	03 30 — 05 30	173	32	1800	30	57700
31. 7. 39	11 50 — 12 15	205	30.8	600	10	18500
4. 8. 39	18 20 — 18 40	60	68	570	9.5	38700
	18 ^h 50 ^m	190	18.75	530	8.8	10000
	19 05	210	39.8	530	8.8	21100
	19 ^h 15 ^m —20 ^h 10 ^m	220	21	530	8.8	11100
	03 ^h 25 ^m	190	15.3	740	12.3	11300
	03 ^h 30 ^m —04 ^h 20 ^m	195	25.4	740	12.3	18800
5. 8. 39	05 ^h 50 ^m	205	26.7	740	12.3	19800
	05 55	195	25.4	740	12.2	18800
	06 00	200	12.7	740	12.3	9400
	06 30	205	26.7	740	12.3	19800
	06 40	195	25.4	740	12.3	18800
	10 40	120	29.1	900	15	26200
	10 50	175	34.4	900	15	31000
	11 15	135	22	900	15	19800
	11 40	120	38.7	900	15	34800
	11 50	120	29.1	900	15	26200
6. 8. 39	13 50	120	58	1440	24	83500
	13 55	135	22	1440	24	31700
	14 05	135	26.7	1440	24	38500
	14 15	160	17	1440	24	24500
	14 40	155	22.8	1440	24	32800
	14 55	173	32	1440	24	46000
	16 00	120	29.1	1440	24	42000
	16 10	120	38.7	1440	24	55800

in einer Häufigkeitsverteilung (Fig. 8) dargestellt sind. Die Differenz zwischen Anzahl der zur Berechnung der Häufigkeit verwendeten Wellenlängen und Wellengeschwindigkeiten ist darauf zurückzuführen, daß zur Geschwindigkeitsbestimmung nicht nur Kurven gut ausgebildeter Perioden, sondern auch in den drei Registrierungen identische Einsätze herangezogen werden konnten, bei denen einheitliche Perioden fehlten. In der Häufigkeitsverteilung tritt nach schnellem Anstieg das Maximum der Wellenlängen zwischen 10 und 15 km klar hervor, nach größeren Werten hin erfolgt ein allmählicher Abstieg bis zu 50 km. Die darüber hinaus liegenden Einzelwerte werden nicht reell sein; sie wurden aus großen Wellengeschwindigkeiten berechnet, deren Existenz bereits weiter oben als unwahrscheinlich dargestellt wurde.

Eine Zusammenfassung von entsprechenden Werten der Wellengeschwindigkeit, Periode und der daraus berechneten Wellenlänge ist in Tabelle 2 gegeben.

Aus der Tabelle folgt, daß Wellenlängen unter 5 km überhaupt nicht beobachtet wurden. Gerade die Wogenwolken, die sicher als sichtbare Vertreter der Helmholtz'schen Luftwogen anzusehen sind, haben jedoch nur Wellenlängen zwischen einigen 100 und wenigen 1000 m. Sie wirken sich im Druckverlauf am Erdboden gar nicht aus. Das ist nicht weiter erstaunlich. Die in der Höhe entstandenen Druckwellen erzeugen am Erdboden eine Druckschwankung, die um so größer ist, je größer ihre Wellenlänge gegenüber ihrem Bodenabstand ist. Bei kleiner Wellenlänge der Druckwoge und im Verhältnis dazu großem Bodenabstand gleichen sich die Druckunterschiede am Boden aus. Dieses theoretisch verständliche Ergebnis wurde beim Vorüberzug von Wogenwolken am Beobachtungsort immer wieder bestätigt.

Zusammenstellung der einzelnen Beobachtungsgrößen

In der später folgenden Tabelle 3 sind Periodendauer von Feindruckwellen, sowie der Geschwindigkeits- und Richtungsprung einer gleichzeitig beobachteten Winddiskontinuität aufgeführt. Die Höhe der Winddiskontinuität ist in der Tabelle nicht in m über NN, sondern in m Höhe über Grund angegeben. Dies wirkt sich besonders stark bei den in der Tabelle mit angeführten Beobachtungen in Afrika aus, da dort die Beobachtungsstationen selbst bereits eine Höhe von 1150 bzw. 1450 m über NN hatten. Die Höhenwindbeobachtungen fielen zeitlich mit dem Auftreten von Wellen in den Feindruckregistrierungen zusammen, so daß beides miteinander in Beziehung zu setzen ist.

Zusammenstellung 31. 7. und 4. 8. 1939

Im folgenden werden die Meßergebnisse von zwei Tagen zusammengestellt, an denen Druckwellen am Boden aufgezeichnet wurden, und gleichzeitig ein Windsprung in der Höhe festgestellt wurde.

31. 7. 1939. Wellen: 12^h15^m—13^h45^m; Pilot: 12^h07^m—12^h28^m.

Perioden in min:

F. D. 1 (270 m NN): 13.6 min; F. D. 2 (180 m NN): 14.3 min;

F. D. 3 (160 m NN): 14.8 min; Mittel 14.2 min = 852 sec.

Höhenwindbeobachtung: Maximale Höhe des Piloten 2000 m über Grund.

Höhe des Windsprungs: 1260—1500 m, Mittel: 1380 m über Grund.

Geschwindigkeitsänderung: 12.5—21 m/sec; $\Delta v = 8.5$ m/sec = 40.5% der oberen Geschwindigkeit.

Richtungsänderung tritt nicht auf.

Richtung und Geschwindigkeit der Wellenfront: 230°, 25 m/sec im Mittel.

Richtung und Geschwindigkeit des Oberwindes: 245°, 21 m/sec.

Wellenlänge: $852 \times 25 = 21.2$ km.

4. 8. 1939. Wellen: 18^h20^m—19^h00^m; Pilot: 18^h40^m—19^h00^m.

Perioden in min:

F. D. 1 (270 m NN): 9.0 min; F. D. 2 (180 m NN): 9.3 min;

F. D. 3 (160 m NN): 9.5 min = 570 sec.

Höhenwindbeobachtung: Maximale Höhe des Piloten 2500 m über Grund.

Höhe des Windsprungs: 880—1130 m, Mittel: 1000 m über Grund.

Geschwindigkeitsänderung: 4.9 m/sec; $\Delta v = 5$ m/sec = 56% der oberen Geschwindigkeit.

Richtungsänderung: 190—180°; $\Delta \vartheta = 10^\circ = 2.8\%$ des Vollkreises.

Richtung und Geschwindigkeit der Wellenfront: 190° 19 m/sec.

Richtung und Geschwindigkeit des Oberwindes: 180° 9 m/sec.

Wellenlänge: $\lambda = 570 \times 19 = 10.3$ km.

In gleicher Weise sind die übrigen in Tabelle 3 zusammengefaßten Messungen gewonnen und bearbeitet.

Außer den Göttinger Beobachtungen von Druckwellen sind in Tabelle 3 auch Beobachtungen aus Zentralafrika enthalten. Das Material für die afrikanischen Beobachtungen wurde mir von Herrn Dr. habil. Suckstorff [12] zur Verfügung gestellt.

Die Auswertung zeigt folgendes Bild:

30. 8. 1938. Bukoba am Viktoriasee, 1150 m über NN.

Periodendauer der Feindruckwellen:

12, 12, 12, 11, 15, 15, 15, 13, 17, 10, 10, 11, 12, 15 min:

Mittel: 12.9 min.

Windsprung in 1250 m über Beobachtungsort:

von 170° 10 m/sec auf 200° 20 m/sec.

18. 9. 1938. Goma am Kiwusee, 1450 m über NN.

Periodendauer der Feindruckwellen:

14, 13, 13, 14, 13, 16, 14, 12, 13, 13 min; Mittel: 13.5 min.

Windsprung wurde durch Augenbeobachtung in 1400 m über Beobachtungsort festgestellt, der Wind springt dabei von 90° 3 m/sec auf 115° 8 m/sec.

Diese Windverhältnisse wurden an den Rauchfahnen des Vulkans Niragongo (3500 m über NN) und Nyamlagira (3000 m über NN) beobachtet, und die Größe des Windsprunges von 4 bis 6 m/sec anlässlich einer Besteigung des Niragongos gemessen. Diese Beobachtungen in Afrika erscheinen trotz ihrer geringen Anzahl aus zwei Gründen als besonders gesichert. In der Umgebung von Bukoba und im Hochland von Kenya, sowie im ganzen Gebiet der zentralafrikanischen Seenkette traten regelmäßig Druckwellen ähnlicher Größe auf. Diese Druckwellen zeichneten

Tabelle 3. Periode der Druckwelle und Höhe, Richtung und Größe des Windsprunges

Datum	Periode τ min	Höhe d. Windsprunges in m über Grund			ΔH m	Geschwindigkeitssprung				Richtungs- änderung	
		von	bis	mittlere Höhe		von m/sec	bis m/sec	Δv m/sec	Δv %	ϑ Grad	$\Delta \vartheta$ Grad
9. 8. 38	5	450—	600	520	150	7	— 3	4	57	110—100	— 10
12. 8. 38	9	950—1050		1000	100	2	— 5	3	60	92— 90	— 2
13. 8. 38	13	1200—1320		1260	120	4	— 8	4	50	92—105	+ 13
31. 8. 38	15	1350—1450		1400	100	6	— 10	4	40	332—328	— 4
2. 9. 38	5.5	500—	600	550	100	1	— 4	3	75	385—300	+ 15
3. 9. 38	6.5	600—	720	660	120	3	— 7	4	57	277—280	+ 3
28. 9. 38	5	360—	600	480	240	2	— 7	5	71.5	150—170	+ 20
18. 1. 39	7.5	540—	780	660	240	9	— 15	6	40	217—232	+ 5
24. 2. 39	14	1350—1470		1410	120	5.5—10		4.5	45	152—160	+ 8
24. 2. 39	24	2310—2550		2430	240	25	— 6.5	4	61.5	270—230	— 40
25. 2. 39	7	510—	870	690	360	9	— 17	8	47	235—245	+ 10
31. 7. 39	14	1260—1500		1380	240	12.5—21		8.5	40.5	245—245	\pm 0
1. 8. 39	6.5	540—	780	660	240	4	— 10	6	60	245—250	+ 5
2. 8. 39	9	750—	870	810	120	5.5—10		4.5	45	265—270	+ 5
4. 8. 39	9	880—1130		1000	250	4	— 9	5	55.5	190—180	— 10

Afrikanische Beobachtungsstationen

30. 8. 38	12.9	1000—1500	1250	500	10	— 20	10	50	170—200	+ 30
18. 9. 38	13.5	?	1400	?	3	— 8	5	62.5	90—115	+ 25

Mittelwert: 54%

sich im Vergleich zu den in Göttingen aufgezeichneten Wellen durch besondere Regelmäßigkeit aus. In den genannten Gebieten wurde ferner aus dem Wolkenzug stets ein Windsprung in der Höhe beobachtet, allerdings konnte seine Höhe nur in den beiden oben angeführten Fällen zahlenmäßig festgelegt werden. Es handelte sich dabei im Hochland von Kenya um eine aus dem Kontinent herausfließende Strömung, in dem übrigen Gebiet um den in der Höhe bereits völlig ausgebildeten SE-Passat. Da aus klimatischen Gründen mit einer räumlich und zeitlich nur langsamen Höhenänderung dieses Windsprunges zu rechnen ist, können die Windbeobachtungen in Bukoba und Goma wohl in recht guter Näherung auf das ganze Gebiet übertragen werden, in dem Druckwellen beobachtet wurden.

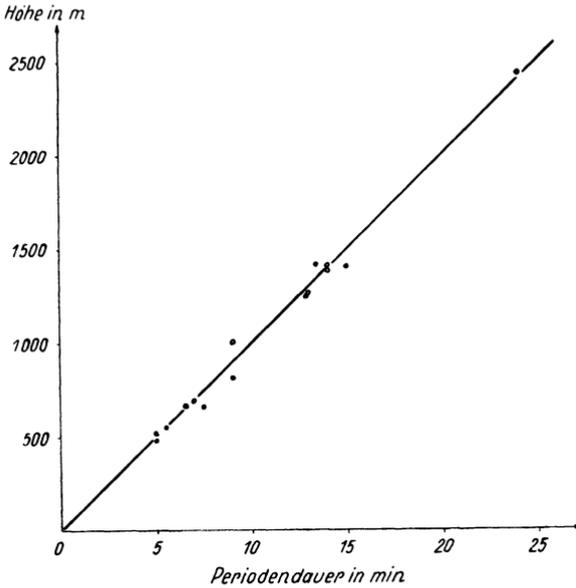


Fig. 9.

Abhängigkeit der Periodendauer (in min) von der Höhe (in m) eines Windsprunges über dem Beobachtungsort, gewonnen aus Pilotballon-aufstiegen am Beobachtungsort. ○ Werte für Göttingen, ● Werte für afrikanische Stationen

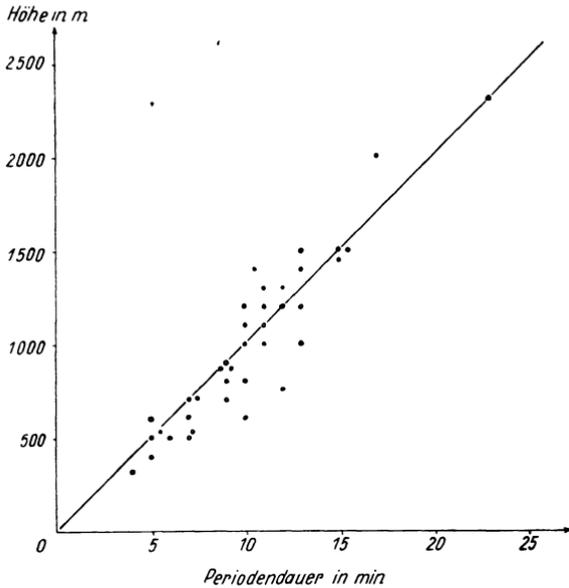


Fig. 10.

Abhängigkeit der Periodendauer (in min) von der Höhe (in m) eines Windsprunges über dem Beobachtungsort, gewonnen aus Pilotballonmessungen an Stationen des Reichswetterdienstes

Die mittlere Richtungsänderung liegt bei 3.5% des Vollkreises, ihr Maximalwert beträgt nur in einem Fall 11%; das Vorzeichen von $\Delta \vartheta$ gibt an, nach welcher Seite hin der Wind dreht. Die Geschwindigkeitsänderung beläuft sich im Mittel-

wert dagegen auf 54% von der Geschwindigkeit des Oberwindes, nur am 9. 8. 39 bezieht sich dieser Wert auf die untere Windgeschwindigkeit. Daraus geht mit einiger Sicherheit hervor, daß die Richtungsänderung für den Windsprung weniger bedeutungsvoll ist als die Geschwindigkeitsänderung, letztere also fast ausschließlich für die Winddiskontinuität maßgebend ist. Es ist damit jedoch nicht gesagt, daß immer dann, wenn Wellen im Luftdruckverlauf auftraten, gleichzeitig ein Windsprung in der Höhe vorhanden war, oder umgekehrt ein Windsprung in der Höhe unbedingt Luftdruckwellen am Boden zur Folge hatte. Die folgende Tabelle zeigt diesen Zusammenhang etwas näher. Sie stellt sämtliche 72 Höhenwindmessungen vom Sommer 1938 und Januar-August 1939 zusammen mit den Ergebnissen der Luftdruckregistrierungen dar. In dieser Zeit zeigte der Feindruckschreiber 83mal Druckwellen. In 18 Fällen waren gleichzeitige Höhenwindmessungen vorhanden, während in 65 Fällen diese fehlten.

Luftdruckregistrierungen	Windsprung vorhanden	Kein Windsprung vorhanden
Wellen	15 Fälle	3 Fälle
Keine Wellen	6 „	48 „

Diese Aufstellung besagt, daß in 15 Fällen Windsprung und Druckwellen gleichzeitig auftraten. In 48 Fällen, bei denen kein Windsprung in der Höhe gefunden wurde, traten auch keine Wellen auf. In 3 Fällen hingegen traten Druckwellen auf, ohne daß ein Windsprung in der Höhe gefunden wurde, während umgekehrt in 6 Fällen trotz eines Windsprunges in der Höhe am Boden keine Druckwellen auftraten. Auf die Bedeutung dieser Tatsache sei später eingegangen. Das wichtigste Ergebnis der Arbeit zeigen Fig. 9 und 10. Erstere stellt alle Messungen nach Tabelle 3 zusammen, bei denen am Beobachtungsort Windsprünge in der Höhe und Druckwellen am Boden gleichzeitig beobachtet wurden. Die Kurve zeigt mit überraschender Exaktheit einen linearen Zusammenhang zwischen der Periodendauer der Druckwellen in min und dem Bodenabstand in m eines gleichzeitig auftretenden Windsprunges, der sich durch die Beziehung: Periode in min = Bodenabstand in m/100 ausdrücken läßt. Fig. 10 gibt die entsprechende Zusammenstellung jedoch für diejenigen Fälle, in denen Höhenwindbeobachtungen der Wetterwarten Kassel, Hannover, Köln, Frankfurt und Leipzig herangezogen werden mußten. Die einzelnen Meßpunkte streuen infolgedessen stärker, geben aber dennoch den gleichen Zusammenhang zwischen Periodendauer einer Feindruckwelle und dem Bodenabstand eines Windsprunges wieder.

In Fig. 11 ist der Zusammenhang von Wellenlänge λ und Bodenabstand H des erzeugenden Windsprunges wiedergegeben, wobei H in den meisten Fällen nicht gemessen, sondern unter Berücksichtigung der engen Beziehung zwischen Periode und Bodenabstand (Fig. 9) aus den aufgezeichneten Perioden errechnet worden ist. Die Werte streuen außerordentlich stark, eine Beziehung zwischen λ und H ist unsicher. Fig. 12 zeigt die Abhängigkeit der Wellenlänge λ von der Wellengeschwindigkeit V . Ein Zusammenhang beider Größen ist hier in weiten Grenzen angedeutet.

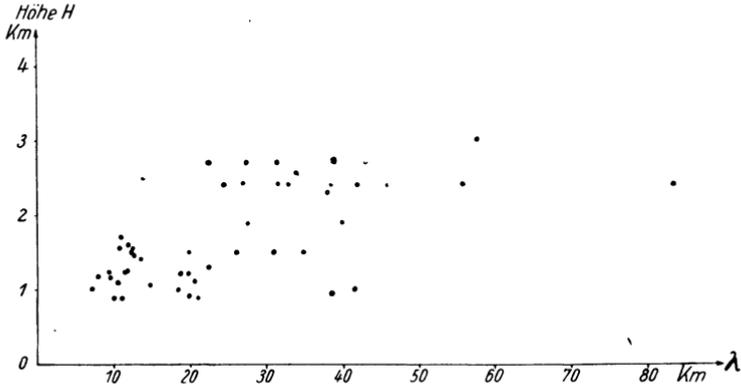


Fig. 11.

Abhängigkeit der Wellenlänge (λ) von der Höhe (H) des Windsprunges über dem Beobachtungsort

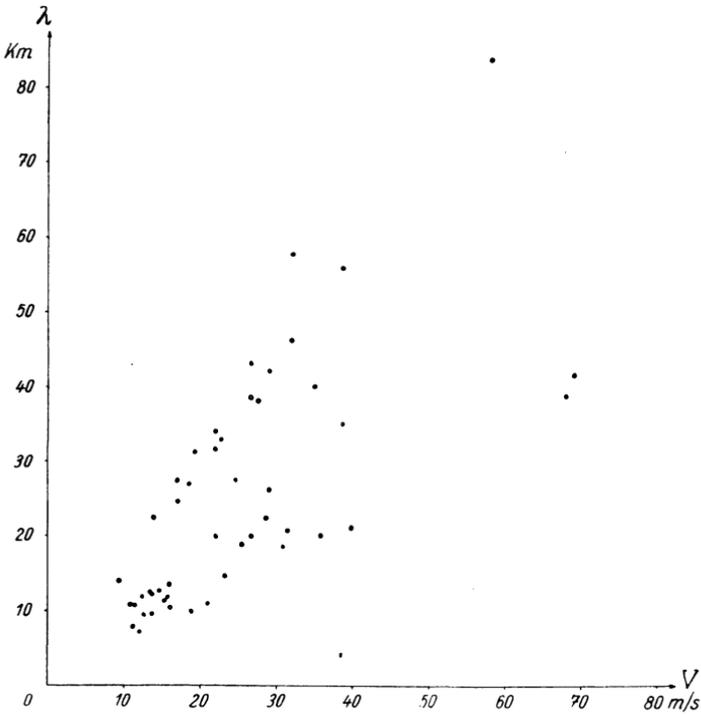


Fig. 12.

Abhängigkeit der Wellenlänge (λ) von der Wellengeschwindigkeit (V)

Diskussion. Nach Fig. 9 besteht der schon im vorangegangenen Kapitel erwähnte enge Zusammenhang zwischen der Periode τ in sec einer Feindruckwelle am Boden und dem Bodenabstand H in m eines gleichzeitig beobachteten Windsprunges:

$$\frac{H^m}{\tau \text{ sec}} = 1.7 \frac{m}{\text{sec}};$$

oder die zahlenmäßige Regel

$$\tau = 0.60 H;$$

oder, wenn τ in min ausgedrückt:

$$\tau = 0.01 \cdot H.$$

Bei Vernachlässigung des Einflusses der Windgeschwindigkeit auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit V der Druckwelle gilt die Regel:

$$\lambda = V \cdot \tau = V \cdot 0.60 \cdot H.$$

Der Einfluß der Windgeschwindigkeit kann angenähert berücksichtigt werden durch den Ansatz: $\left(v + \frac{u + u'}{2}\right)^2 = V^2$, worin V , u , u' die gemessenen Geschwindigkeiten der Druckwelle und des unteren und oberen Windes (Komponenten in Richtung der Druckwelle) sind. v ist dann die gesuchte Geschwindigkeit der Druckwelle (ohne Einfluß der Windgeschwindigkeit).

Nur in zwei Fällen sind die Werte u , u' und die obere und untere Windrichtung mit V , H und τ gleichzeitig zusammen gemessen.

Der Zusammenhang $\tau = 0.60 H$ ist nach der Fig. 9 mit großer Genauigkeit vorhanden. Er läßt zunächst vermuten, daß die Winddiskontinuität eine Energiequelle ist, die die Druckwelle anregt, deren Periode dann von dem Abstand dieser Energiequelle vom Erdboden abhängt. Die durchaus der gleichen Formel gehorchenden afrikanischen Beobachtungen beweisen, daß diese Gesetzmäßigkeit selbst noch für eine sehr hohe Lage der Beobachtungsstation über NN gilt. Zum zweiten beweisen diese Beobachtungen, daß die Periode τ von der Dichte ρ der Luft am Boden unabhängig ist, die Abhängigkeit der Periode τ von der Höhe also nicht eine verschleierte Form der Abhängigkeit von ρ am Boden ist. Zum dritten beweisen sie, daß die Form des Geländes ohne nennenswerten Einfluß ist; denn der eine Beobachtungsort (Bukoba) liegt im flachen Hügelland am Ufer des Viktoriasees, während Goma am Fuße mächtiger, bis 4000 m aufsteigender Vulkane gelegen ist.

Zusammenfassend läßt sich sagen:

Es wurden Druckwellen mit einer Amplitude von durchschnittlich 0.07 bis 0.1 mm Hg und einer Wellenlänge von 10 bis 45 km gemessen. Diese Wellen traten am häufigsten auf, wenn am Beobachtungsort eine Diskontinuität in der Windströmung in 500 bis 1500 m Höhe über dem Boden vorhanden war, wobei die Länge der Druckwelle proportional dem Produkt aus Wellengeschwindigkeit und dem Bodenabstand der Winddiskontinuität jedoch unabhängig von der Dichte der Luft am Boden und der Meereshöhe des Beobachtungsortes ist. Zeigen eng benachbarte Stationen größere Höhenunterschiede, so müssen sich diese in den Druck-

registrierungen durch verschieden lange Perioden auswirken wegen der direkten Proportionalität von Periodenlänge und Bodenabstand einer Diskontinuität. Eine solche Nachprüfung wurde an dem Göttinger Dreiecksnetz vorgenommen. Die Höhendifferenzen der Stationen belaufen sich auf 90 m (Institut—Lambrecht) und 110 m (Institut—Flugplatz). Die nach der Formel $\tau = 0.01 \cdot H$ zu erwartenden Periodendifferenzen müßten für das erste Stationspaar 0.9 min, für das zweite 1.1 min betragen. In Wirklichkeit ergeben sich als Mittelwerte Periodendifferenzen von 0.37 bzw. 0.62 min, wobei die wahrscheinlichen Fehler dieser Mittelwerte 0.06 bzw. 0.08 min betragen. Die wirklich auftretenden Periodendifferenzen zeigen danach durchaus den durch obige Gleichung gegebenen Gang, sind aber qualitativ im ersten Fall um 60%, im zweiten Fall um 44% zu klein. Dieses Ergebnis ist überaus interessant und stützt qualitativ nun auch für einen Mittelwert hoher Genauigkeit die vorher angegebene Abhängigkeit der Periode der erzeugten Druckwelle vom Bodenabstand. Eine quantitative Übereinstimmung mit dieser Formel ist nicht zu erwarten, da die Aufstellungsorte der verglichenen Feindruckschreiber nur 2390 bzw. 4320 m voneinander entfernt sind, die Druckwelle mit einer Wellenlänge von 15 bis 20 km sich also kaum schon auf den neuen Bodenabstand eingespielt haben kann; daß für den kleinen Abstand die Abweichung von der Formel $\tau = 0.01 \cdot H$ größer ist als für den größeren Abstand, erscheint bei dem geringen wahrscheinlichen Fehler des Mittelwertes kein Zufall mehr zu sein.

Nach dieser Darstellung der charakteristischen Merkmale der in Göttingen gemessenen Druckwellen großer Wellenlängen sei auf die Ergebnisse einer ähnlichen Arbeit hingewiesen, die in Japan durchgeführt wurde. Suzuki und Oomori [10] stellten an einem Dreiecksnetz von Luftdruckvariographen ähnliche Untersuchungen an. Sie fanden gleichfalls Druckwellen von 13 bis 25 km Länge. Ferner fanden sie, daß Druckwellen am Erdboden auftraten, sowohl wenn eine Winddiskontinuität vorhanden war, als auch wenn eine solche bis zur Höhe des Pilotballons nicht nachgewiesen werden konnte. Suzuki und Oomori zogen daraus den Schluß, daß ein Zusammenhang zwischen Windsprung und Druckwelle nicht bestand, jedenfalls nicht mit Windsprüngen in geringer Höhe. Sie nehmen allerdings weiter an, daß eine Diskontinuität der Dichte- und Strömungsfelder der Atmosphäre diese Druckwellen nach Art der Helmholtzschen Luftwogen erzeugten, verlegten aber diese Diskontinuitätsflächen an die Grenze der Stratosphäre. Diese Annahme steht jedoch im Widerspruch mit dem in unserer Arbeit gefundenen Ergebnis, daß der Bodenabstand, der die Druckwelle erzeugenden Diskontinuitätsfläche zwischen 500 und 1500 m liegt.

Zur Klärung der Frage, ob es sich bei derartig langen Druckwellen noch um Helmholtzsche Luftwogen handeln kann, sei auf die Grundformel der Entstehung der Schwerewellen zurückgegangen. Diese Grundformel für die sich an einer Diskontinuitätsfläche ausbildenden Schwerewellen lautet:

$$\lambda = \frac{2\pi(\rho + \rho')}{g(\rho - \rho')} \left(V - \frac{U + U'}{2} \right)^2 + \frac{2\pi(\rho + \rho')}{g(\rho - \rho')} \left(\frac{U - U'}{2} \right)^2;$$

dabei sind U und U' die Geschwindigkeiten, ρ und ρ' die Dichten in den Medien unter- und oberhalb einer Diskontinuitätsfläche; λ ist die Wellenlänge und V die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen. Danach ist die Wellenlänge eine Funktion des Dichteunterschiedes, sowie der Geschwindigkeitsdifferenz. Für Luftwogen lassen sich die Dichtedifferenzen durch Temperaturdifferenzen ausdrücken. Unter Berücksichtigung dieser Tatsachen, sowie unter Berücksichtigung der Kompressibilität würden sich sehr komplizierte Formeln ergeben, vor allen Dingen, da noch die Höhe der Diskontinuitätsfläche über dem Erdboden mitberücksichtigt werden muß. Es sind daher von verschiedenen Verfassern Näherungsformeln angegeben, die jedoch im großen und ganzen das gleiche Bild zeigen. Unter extremen Annahmen über den Temperaturgang und Windsprung ergeben sich Wellenlängen je nach den verschiedenen Formeln von einigen hundert bis einigen tausend Metern. Die Wellenlänge ist dabei immer unabhängig von der Höhe der sie erzeugenden Diskontinuität. Die von uns gemessenen Druckwellen haben jedoch Wellenlängen von durchschnittlich 10 bis 40 km und sind damit etwa zehnmal größer. Ferner zeigen die Wellenlängen eine deutliche Abhängigkeit von dem Bodenabstand der sie erzeugenden Winddiskontinuität durch die Beziehung $\lambda = 0.6 \cdot H \cdot V$.

Es sollen hier nur noch einmal die durch die vorliegenden Untersuchungen bestimmten Eigenschaften dieser Druckwellen zusammengestellt werden.

1. Die Druckwellen haben eine Wellenlänge von 10 bis 40 km bei einer Druckamplitude von 0.07 bis 0.10 mm Hg am Boden. Ihre Zuggeschwindigkeit liegt bei 10 bis 30 m/sec.
2. Diese Druckwellen werden zum Teil durch eine zwischen 500 und 2000 m über dem Beobachtungsort liegende Winddiskontinuität erzeugt.
3. Für die Wellenlänge einer durch eine solche Winddiskontinuität angeregte Druckwelle ist die Höhenlage der Winddiskontinuität entscheidend. Dabei ist nicht die absolute Höhe des Windsprunges maßgebend, sondern ihre Höhe über der Beobachtungsstation, ihr Bodenabstand. Der formelmäßige Ausdruck zwischen Länge λ , Zuggeschwindigkeit V der erzeugten Druckwelle und Bodenabstand H der erzeugenden Winddiskontinuität lautet:

$$\lambda = 0.6 \cdot H \cdot V; \quad \lambda \text{ in m}; \quad H \text{ in m}; \quad V \text{ in m/sec.}$$

4. Die Druckwellen können keine Schwerewellen nach Art der Helmholtzschen Luftwogen sein (kurze Luftwogen).
5. Die Druckwellen können auch keine Seiches-Schwingungen einer abgeschlossenen Luftmasse sein, da die Großform des Geländes keinen Einfluß auf die Wellenlänge hat.

Besondere Wellen. Neben den bisher behandelten Feindruckwellen zeigten sich zuweilen in den Druckregistrierungen des F. D. 2, Station Lamprecht, kurzperiodische, annähernd sinusförmige Wellen von einer regelmäßigen Periodendauer von 2.6 bis 2.7 min, die weder im F. D. 1 noch im F. D. 3 auch nur andeutungs-

weise aufgezeichnet waren. Sie treten nur zur Nachtzeit bei Strahlungswetter und geringen Windgeschwindigkeiten auf, sind aber jahreszeitlich nicht abhängig.

Beispiel: 6./7. 6. 1939. 22—01 Uhr.

Perioden: 2,6 min, Amplitude: 0.01 mm Hg.

Wetter: Wolkenlos, Wind SE 2 m/sec.

Temperatur: Tagesmaximum 29.8° C; Tagesminimum 10.5° C.

Luftdruck: Reduziert: 769.8 mm, 6. 6. 1939, 08 Uhr.

767.5 mm, 7. 6. 1939, 08 Uhr.

Eine Erklärung dieser Wellen wird in dem rythmischen Abfließen von Kaltluft am Hang zu suchen sein. Der F. D. 2 liegt am Fuße des Hainbergs am Ausgang eines tief eingeschnittenen Tales, des Ebertales, in dem die Kaltluft sich sammelt und in bestimmten Zeitintervallen zum Abfließen gelangt.

Zusammenfassung. Das Ergebnis der angestellten Überlegungen läßt sich folgendermaßen zusammenfassen: In den Registrierungen der Feindruckschreiber wurden Druckwellen gefunden, deren Perioden eine enge Abhängigkeit von der Höhe eines gleichzeitig auftretenden Windsprunges zeigen, die sich durch die Beziehung

$$\tau = 0.01 \cdot H \quad (\tau \text{ in min, } H \text{ in m})$$

ausdrücken läßt. Dabei ist für H die Höhe des Windsprunges über dem Erdboden einzusetzen, nicht die Höhe über NN. An einem Dreiecksnetz wurden Richtung und Geschwindigkeit der Wellen bestimmt. In zwei vorliegenden Beispielen sind Fortpflanzungsrichtung der Wellen und Richtung des Oberwindes annähernd gleich. Die Wellengeschwindigkeit ist wesentlich größer als die des Windes. Die nach Formel $\lambda = V \cdot \tau$ berechneten Wellenlängen sind im Mittel zehnmal größer als die Höhe der Diskontinuitätsfläche. Eine Erklärung für ihre Entstehung konnte nicht gegeben werden.

Sinusförmige Wellen von 2.6 min Periodendauer treten in Strahlungsnächten an einer Station auf, ihre Entstehung ist vermutlich auf das Abfließen von Kaltluft zurückzuführen.

Zum Schluß möchte ich Herrn Prof. Dr. G. Angenheister für sein stetiges Interesse und seine Förderung dieser Arbeit, Herrn Dr. habil. G. A. Suckstorff für seinen vielfachen Rat und seine Hilfe bei der Ausführung der Arbeit danken.

Literaturverzeichnis

[1] H. v. Helmholtz: 1888. Über atmosphärische Bewegungen. Ges. Abhandl., Bd. III.

[2] H. v. Helmholtz: 1889. Über atmosphärische Bewegungen. II. Zur Theorie von Wind und Wellen. Ges. Abhandl., Bd. III.

[3] A. Wegener: 1906. Studien über Luftwogen. Beitr. z. Phys. d. fr. Atm., Bd. II.

[4] B. Haurwitz: 1931—1932. Zur Theorie der Wellenbewegungen in Luft und Wasser. Veröffentl. d. Geophys. Inst. Leipzig.

[5] B. Haurwitz: 1931. Über die Wellenlänge von Luftwogen. Gerl. Beitr. z. Geophys., Bd. 34 (Köppenbd. III).

[6] B. Haurwitz: 1932. Über die Wellenlänge von Luftwogen. Gerl. Beitr. z. Geophys., Bd. 37.

[7] B. Haurwitz: 1932. Über Wellenbewegungen an der Grenzfläche zweier Luftschichten mit linearem Temperaturgefälle. Beitr. z. Phys. d. fr. Atm., Bd. 19 (Bjerkness-Festschrift).

[8] F. Trey: 1919. Ein Beitrag zum Studium der Luftwogen. Meteorol. Zeitschr., Bd. 36.

[9] T. Namewaka: 1934. A Study of the Minor Fluctuation of the Atmospheric Pressure. (I)–(IV) Memoirs of the College of Science Kyoto Imperial University. Series A, Vol. XVII, 1934; XVIII, 1935.

[10] S. Suzuki and H. Oomori: 1927. On the atmospheric waves. Gerl. Beitr. z. Geophys., Bd. 49.

[11] G. A. Suckstorff: 1936. Ein mechanisch registrierender Barograph hoher Empfindlichkeit. Zeitschr. f. Geophys. 12, Heft 5/6.

[12] G. A. Suckstorff: 1939. Die Ergebnisse der Untersuchungen an tropischen Gewittern und einige andere tropische Wettererscheinungen. (Dozenten-Afrikareise 1938.) Gerl. Beitr. z. Geophys., Bd. 55, S. 138.

[13] H. D. Krug: Ausbreitung natürlicher Bodenunruhe (Mikroseismik) nach Aufzeichnungen mit transportablen Horizontalseismographen. Dissertation, Göttingen. Zeitschr. f. Geophys. 1937, S. 328.

Göttingen, Geophysikalisches Institut, Juni 1940.

Der Zusammenhang zwischen Bodenunruhe und Zyklonen

Von S. W. Visser, De Bilt

Fro Trommsdorff (Göttingen) hat in dieser Zeitschrift über seine Untersuchungen über die Ausbreitung der natürlichen Bodenunruhe mit transportablen Seismographen geschrieben [1]. Sein Resultat: „Die entsprechenden Herkunftsrichtungen lassen sich mit der Lage von Zyklonen in Zusammenhang bringen“, hat mein großes Interesse erregt, weil ich selber über diese Frage einiges publiziert habe [2]. Obleich meine Arbeit auch in den Geophysikalischen Berichten besprochen worden ist [3], scheint sie Fro Trommsdorff entgangen zu sein. Ich möchte darum hier kurz meine Resultate besprechen, mit denen die seinigen erfreulicherweise sehr gut übereinstimmen, obleich unsere Methoden ganz verschieden sind.

Seit langen Jahren betrachtet man in De Bilt die täglichen Mikroseismen, weil ihr Charakter die Anwesenheit eines weit entfernten Tiefdruckgebietes im Atlantischen Ozean andeuten kann [4]. Der Zweck meiner Untersuchung war, dieses Problem näher zur Lösung zu bringen. Es war unbedingt notwendig, hierbei isolierte Depressionen zu studieren. Sind mehrere zu gleicher Zeit aktiv im Atlantischen Ozean, so ist ihre Gesamtwirkung auf die Bodenunruhe zu verwickelt, um eindeutige Ergebnisse zu erzielen. Darum glaube ich, daß Trommsdorffs Untersuchungstage, 17. bis 20. November 1937, wenig geeignet waren. Es waren im Westen drei Zyklonen anwesend, und es ist daher möglich, daß sein Versuch, „die Bodenunruhe als Überlagerung zweier Teilwellen verschiedener