

5.15
m 74

FORSCHUNGSARBEITEN DES STAATL. OBSERVATORIUMS DANZIG

HERAUSGEGEBEN VON DESSEN DIREKTOR H. KOSCHMIEDER

HEFT 1:

METHODEN UND ERGEBNISSE
DEFINIERTER LUFTDRUCKMESSUNGEN

VON

HARALD KOSCHMIEDER

MIT 21 ABBILDUNGEN

*Bücherei
des Landwirtschaftlichen Instituts
der Technischen Hochschule Danzig.*



1 · 9 · 2 · 8

DRUCK VON A. W. KAFEMANN G. M. B. H., DANZIG
IM SELBSTVERLAG DES OBSERVATORIUMS

**FORSCHUNGSARBEITEN DES
STAATL. OBSERVATORIUMS
DANZIG**

HERAUSGEGEBEN VON DESSEN DIREKTOR H. KOSCHMIEDER

HEFT 1:

**METHODEN UND ERGEBNISSE
DEFINIERTER LUFTDRUCKMESSUNGEN**

VON

HARALD KOSCHMIEDER

MIT 21 ABBILDUNGEN

III 31072 III 31072

HERFORSCHUNGS
STAATL. OBSERVATORIUM
DANKIG
HERFORSCHUNGS-LEITUNG DIRIGENT H. KOSCHMIDT

HEFT I

BEREITUNG UND ERGEBNISSE
DER NEUEREN LUFTRUCKMESSUNGEN



HERFORSCHUNGS-LEITUNG

HEFT I

693/2/G/55

INHALTSVERZEICHNIS.

	Seite
Vorwort	1
I. Definitionen, Problem, Geschichtliches	2
II. Topographie, Koordinaten, Instrumente	5
III. Grundlagen und Fehler der bisherigen Druckmessung	9
IV. Grundlagen und Fehler der neuen Druckmessung	11
A. Das Druckabnahmegerät	11
1. Prinzip der Druckabnahme	11
2. Praktische Erfahrungen	12
3. Meßfehler durch die Gerätestörung	12
4. Meßfehler durch die Gebädestörung	13
5. Meßfehler durch die Geländestörung	14
B. Das Druckanzeigergerät	15
6. Das Anzeigergerät	15
C. Der Einfluß der Rohrleitungen	15
7. Der Temperaturfehler	15
8. Der Druckausgleich in den Rohren	16
V. Die Gebädestörung	17
1. Die Ausbildung des Unterdruckes im Zimmer	17
2. Zeitlicher Verlauf von Druck und Geschwindigkeit	22
3. Gebädestörung und Windrichtung	23
4. Gebädestörung und Windgeschwindigkeit	25
5. Gebädestörung und Druckverlauf	26
VI. Die Geländestörung	29
1. Die Möglichkeit des Nachweises der Geländestörung	29
2. Zeitlicher Verlauf von Druck und Geschwindigkeit	32
3. Geländestörung und Windrichtung	32
4. Geländestörung und Windgeschwindigkeit	33
Schluß	40

VORWORT.

Die Durchführung der vorliegenden Untersuchung wurde durch die mannigfache Unterstützung des Preußischen Meteorologischen Instituts ermöglicht. Insbesondere bin ich Herrn *von Ficker* zu Dank verpflichtet, der mich auch zu der Bearbeitung dieses Problems aufforderte. Die *Askaniawerke A.-G., Berlin*, stellten einen Teil des Gerätes kostenfrei zur Verfügung und unterstützten mich auch anderweitig. Herrn Diplom-Ingenieur *Möller* der Askaniawerke danke ich auch an dieser Stelle für seine Mitarbeit. Besonderen Dank schulde ich schließlich noch Herrn *R. Schwarz jun.*, Schneekoppe, der beinahe die gesamten Beobachtungen ausführte und mich beim Aufbau der Instrumente mit ebensoviel Eifer wie Geschick unterstützte.

Die Beobachtungen begannen im August 1926. Die endgültige Klärung fand das vorliegende Problem erst durch die Messungen April/Juni 1927, insbesondere durch die Registrierungen Juni 1927.

Danzig, 22. XI. 1927.

I. DEFINITIONEN, PROBLEM, GESCHICHTLICHES.

1. Unter dem Druck p sei diejenige Größe verstanden, die mit der Dichte und der Temperatur durch die Gasgleichung verbunden ist.

Ich bezeichne den Druck kurz als statischen Druck \bar{p} , wenn die Druckabnahme in der Vertikalen durch die Massenverteilung in der Vertikalen *allein* bestimmt ist. Dies ist der Fall in ruhender oder in horizontal, geradlinig und unbeschleunigt sich bewegender Luft, gleichgültig, welche Werte die Windgeschwindigkeit in den einzelnen Stromröhren besitzt.

Ich bezeichne den Druck kurz als dynamischen Druck \tilde{p} , wenn die Druckabnahme in der Vertikalen *nicht* von der Massenverteilung in der Vertikalen *allein* bestimmt ist. Dies ist der Fall, sobald die geradlinig unbeschleunigte Bewegung der Luft durch irgendein Hindernis gestört wird.

Ich bezeichne als Staudruck q das Produkt $\frac{1}{2} \rho v^2$, wo ρ die Dichte, v die totale Windgeschwindigkeit ist.

Diese Festsetzungen sind nötig, da anderwärts mitunter q als dynamischer Druck bezeichnet wird (z. B. bei Kumbruch a. a. O.)

\tilde{p} ist stets mit p identisch, \bar{p} nur dann, wenn \tilde{p} in \bar{p} übergeht.

2. Geradlinig, unbeschleunigte Bewegung und damit statischer Druck darf innerhalb der Druckmeßgenauigkeit wohl im allgemeinen über der Ebene angenommen werden. Abweichungen können eintreten durch individuelle Beschleunigungen aller Art, deren wichtigste wohl die Änderung des aufgeprägten Druckfeldes (primäre Druckschwankung) ist. Diese Abweichungen müssen nach unsern Erfahrungen als sehr klein angesehen werden. Trotzdem wäre eine experimentelle Nachprüfung im Freiballon durch Druckmessung und davon unabhängige Höhenmessung (Echolot, Lichtbild) durchaus erwünscht.

Beschleunigte Bewegung und damit dynamische Druckeffekte werden im allgemeinen hervorgerufen

1. durch alle Berghindernisse,
2. durch das Gebäude, das das Barometer enthält,
3. durch das Druckmeßgerät bzw. Druckabnahmeggerät selbst.

Die durch diese drei Hindernisse hervorgerufenen Störungen des Druck- und Geschwindigkeitsfeldes bezeichne ich kurz als *Gelände-, Gebäude- und Gerätestörung*.

3. Die *Gerätestörung* zwingt dazu, außer dem Druckanzeigerät (Barometer) noch ein Druckabnahmeggerät zu benutzen. Mit dessen Hilfe ist es möglich, die Gerätestörung auszuschalten. Durch konsequente Verfolgung dieses Gedankens kann auch die Gebäudestörung beseitigt werden.

4. Die *Gebäudestörung* ist an sich von Bedeutung insofern, als bisher stets die Druckmessung durch ein in einem Gebäude aufgehängtes Barometer erfolgte. Während in Abwesenheit des Gebäudes der Druck in einem Raume etwa von der

zehnfachen Größe des Gebäudes (selbst auf Bergen) im allgemeinen merklich nur Funktion der Höhe ist, wird er durch die Gebäudestörung in der Umgebung des Gebäudes *merklich* Funktionen aller drei Koordinaten. Der im Gebäude selbst gemessene Druck ist offenbar ein Mittelwert, der dadurch zustande kommt, daß durch alle möglichen Öffnungen des Barometerzimmers ein Druckausgleich erfolgt. Je größer die einen Druckausgleich gestattende Öffnung $A\sigma$, um so größeres Gewicht erhält bei der Mittelwertbildung der gerade an der Stelle

$A\sigma$ herrschende Druck \bar{p} , so daß *der in einem Zimmer gemessene Druck* p_z dargestellt ist durch $p_z = \frac{\sum \bar{p} A\sigma}{\sum A\sigma}$, wobei die Summe über alle einen Druckausgleich

gestattenden Öffnungen zu erstrecken ist. Natürlich sind stets derartige Öffnungen vorhanden, — andernfalls die Druckmessung überhaupt sinnlos wäre, aber die geometrische Anordnung ist ganz dem Zufall unterworfen und daher in keiner Weise in Rechnung zu stellen (Fenster, Türen, Kamine usw.). Die geometrische Anordnung wird auch von Observatorium zu Observatorium wechseln, ja nicht einmal an einem Observatorium zeitlich konstant sein (Rauhreifansatz, verquellende Fenster usw.). Man ersieht aus dieser Überlegung, daß die Druckmessung im Zimmer einen im allgemeinen unkorrigierbaren Mittelwert liefert, sobald die Gebäudestörung merklich wird.

Die Verhältnisse werden noch dadurch verwickelter, daß eine gegebene Anordnung der $A\sigma$ bei verschiedenen Wind-(Anblas-)Richtungen zu ganz verschiedenen Effekten führen kann. Nehmen wir einmal an, daß nur ein Element $A\sigma$ vorhanden sei, etwa auf der Westseite, dann durchläuft p_z mit einer vollen Drehung der Wind-(Anblas-)Richtung alle Werte, die zwischen $p + \frac{\rho}{2} v^2$ und $p - a^2$ liegen, wobei hier p den Druck außerhalb der Gebäudestörung und a^2 den größten empirisch zu ermittelnden Unterdruck bedeutet. Es sei jedoch nochmals betont, daß die Windrichtung nur durch die *geometrische* Anordnung der $A\sigma$ von Bedeutung wird, nicht etwa als Funktion der Wetterlage oder einer vertikalen Temperaturverteilung.

5. Die *Geländestörung* läßt sich im Gegensatz zu den beiden ersten Störungen nicht beseitigen. Sie hat zur Folge, daß der Druck in einem räumlich weit- ausgedehnten Gebiet Funktion aller drei Raumkoordinaten wird. Insbesondere wird man vermuten müssen, daß auf der Luv- und Leeseite sich merkliche Druckunterschiede ergeben. Vielleicht treten auf der Leeseite mehr oder weniger periodische Druckschwankungen auf, vielleicht ergeben sich auch im Zeitmittel merkliche Druckdifferenzen im gleichen Niveau zwischen Luv und Lee. Auf jeden Fall sind die Vorgänge in Lee kaum in den Hauptzügen zu übersehen, so daß man gut tun wird, diese Quelle der Unsicherheit auszuschalten. Ich will daher unter dem *Luftdruck auf einem Berggipfel* denjenigen Druck verstehen, der in der Erdoberfläche auf der Luvseite in nächster Nähe des Gipfels gemessen wird. Diese Festsetzung schaltet noch nicht alle Willkürlichkeiten aus. Ob sich diese je werden ausschalten lassen oder ob sich ähnliche Unsicherheiten einstellen werden wie bei der Wahl des Beobachtungsortes für Temperatur- oder Regenmessungen — das bleibe dahingestellt.

6. Das *Problem* der vorliegenden Arbeit ist nun, a) eine praktisch brauchbare Meßmethode anzugeben, die eine definierte Druckmessung gestattet, b) die Gebäude- und die Geländestörung quantitativ zu bestimmen.

7. Veranlaßt wurde die vorliegende Untersuchung durch drei Abhandlungen *G. v. Elsners*,¹⁾ in denen er zunächst den bündigen Nachweis führte, daß die auf

¹⁾ G. v. Elsner, Abh. Preuß. Met. Inst., Bd. IV, Nr. 8; Met. Zeitschr. 1926, S. 201; Met. Zeitschr. 1927, S. 99.

Bergstationen gemessenen Luftdruckwerte, statisch reduziert, im allgemeinen nicht übereinstimmen mit den an der Fußstation gemessenen Werten. Er erbrachte ferner den Nachweis, sowohl für Mittelwerte wie für Einzelfälle, dafür, daß die Differenz zwischen statisch reduziertem Druck und beobachtetem Druck von der Windgeschwindigkeit an der Bergstation abhängig ist und mit dieser stark wächst. Die Frage nach der Ursache dieser Erscheinung hat G. v. Elsner dahin beantwortet, daß ihm die Saugwirkung auf das Gebäude als die wahrscheinlichste Ursache erscheine, also das, was ich oben als Gebäudestörung bezeichnet habe.

8. Die ältere Literatur über diesen Gegenstand findet man in großer Vollständigkeit in der ersten Abhandlung von G. v. Elsner. Nur eine hier einschlägige ältere Arbeit habe ich gefunden, die dort nicht aufgeführt ist: Die Studien von Vallot¹⁾ auf dem Mont-Blanc-Observatorium. Vallot hat wohl als erster die Stoskop-Methode benutzt und damit eine hervorragende Registrierung der Druckschwankungen erzielt, jedoch nicht die Gerätestörung erkannt und auch nicht beseitigt, so daß er letzten Endes zu dem falschen Schluß kam, daß die Druckschwankungen reell, d. h. durch kleine, mit Sturmgeschwindigkeit ziehende Teildepressionen hervorgerufen seien. Ich erwähne diese Untersuchung umso lieber, als Vallots Arbeiten durch die Praktiken eines geschäftstüchtigen Kollegen stark in den Hintergrund gedrängt wurden.

In der neuen Literatur findet sich eine irrtümliche Deutung der gerade sehr anschaulichen Eiffelturmbeobachtungen. Ich habe diese Deutung an anderer Stelle²⁾ richtiggestellt und dort bereits an Hand der Eiffelturmbeobachtungen gezeigt, daß die Gebäudestörung bei stürmischen Winden durchaus merklich wird. Ganz neuerdings hat O. Schrenk³⁾ die Möglichkeit der Gebäudestörung durch Windkanalmessungen belegt.

1) Vallot, Ann. de l'Obs. du Mont Blanc, I 1893, insbesondere S. 178 ff.

2) H. Koschmieder, Met. Zeitschr. 1926, S. 246.

3) O. Schrenk, Met. Zeitschr. 1927, S. 337.

II. TOPOGRAPHIE, KOORDINATEN, INSTRUMENTE.

Die dieser Untersuchung zugrundeliegenden Messungen wurden auf der Schneekoppe ausgeführt. Mehrere Gründe sprachen für die Wahl dieses Beobachtungsortes. Erstlich zeigten sich die von G. v. Elsner ermittelten Werte der Druckdifferenzen gerade hier besonders groß, und zweitens stand zu den Untersuchungen die gesamte Apparatur einer selten gut ausgerüsteten Station zur Verfügung. Als Fußstation dienten Arnsdorf, Krummhübel und Wang auf der Nordseite der Sudeten, Milovice auf der Südseite.

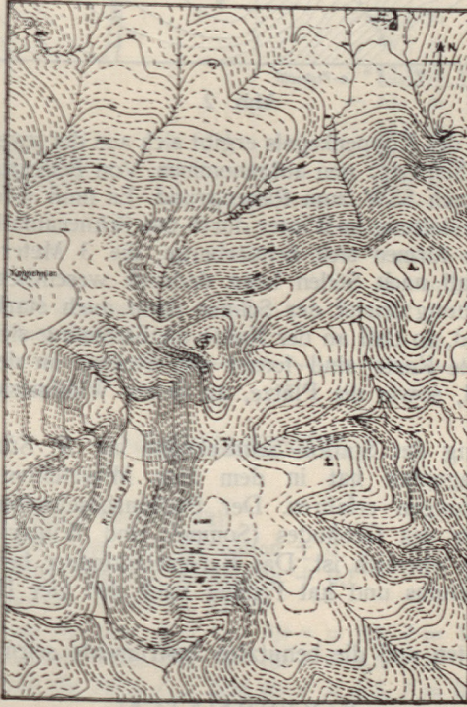


Abb. 1.

1. Die Topographie des Koppensmassives ergibt sich aus der ersten Karte¹⁾ (Abb. 1), die aus dem Deutschen Meßtischblatt 3070 und dem Tschechoslowakischen Meßtischblatt 3755/2 entstanden ist. Die beiden Karten lassen sich an der Grenze nur unbefriedigend zur Deckung bringen. Der Zusammenhang ist so gewählt worden, daß der Anschluß der Isohypsen im Riesengrund erreicht wurde. Das zwischen den beiden punktierten Linien gelegene Stück enthält die unvermeid-

¹⁾ Maßstab 1 : 75 000, Isohypsen von 20 zu 20 m, die Hunderter ausgezogen.

lichen Willkürlichkeiten des Anschlusses. Von Bedeutung ist für das Folgende die Vorlagerung des etwa 1450 Meter hohen, fast ebenen Koppenplanes im Westen, die steilen Abfälle nach dem Riesengrund im SSW und nach dem Melzergrund im Norden.

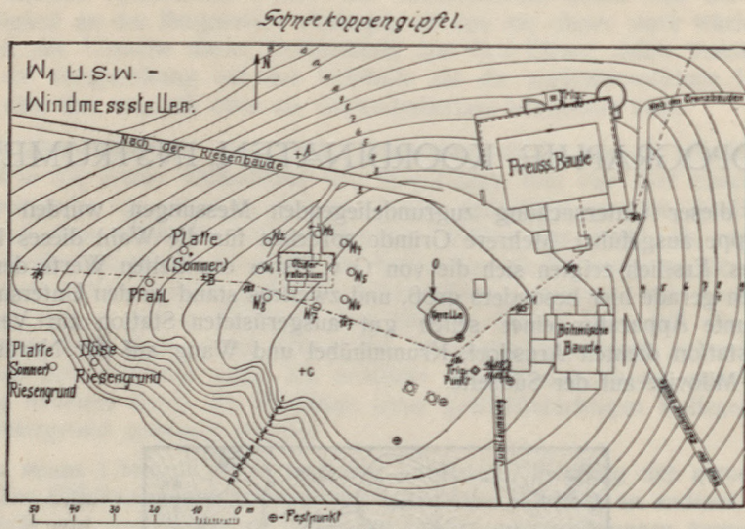


Abb. 2.

Die Topographie des Koppenkegels ergibt sich aus der zweiten Karte¹⁾ (Abb. 2). Sie ist von Herrn R. Schwarz neu aufgenommen. Von Bedeutung für das Folgende ist der Steilabhang nach SSW zum Riesengrund. Es muß jedoch bemerkt werden, daß die Oberflächengestaltung im Winter durch den Schneeanfall großen Änderungen unterworfen ist²⁾. Es türmen sich Schneeberge, die 3 Meter Höhe überschreiten können. Der Steilabfall nach Süden kann dadurch wesentlich verschärft werden. Bei starker Verharschung leistet der Schnee dann auch starken SW-Winden hinreichenden Widerstand, so daß an der Kante die Strömung sich ablösen kann. Eingetragen in die zweite Karte sind ferner die Stellen, an denen sich das Druckabnahmegesetz befand, sowie die Plätze, an denen Windmessungen vorgenommen wurden.

Eine Beschreibung der Station Schneekoppe hat R. Süring³⁾ gegeben. Der dort dargestellte Lageplan hat in dem hier Mitgeteilten einige nicht ganz unwesentliche Änderungen erfahren. Der Stationsbeschreibung beigegeben sind dort zwei Lichtbilder des Gebäudes (Sommer und Winter), deren Betrachtung für das weitere recht lehrreich ist. Das Barometerzimmer befindet sich im dritten Stock des Observatoriums und hat Fenster nach den vier Himmelsrichtungen N, W, S, E.

2. Die Koordinaten und die benutzten Instrumente seien hier tabellarisch zusammengestellt.

KOORDINATEN.

Schneekoppe	: $\varphi = 50^{\circ} 45' N$, $\lambda = 15^{\circ} 43' E$, $h_b = 1610,5$ m.
Arnsdorf	: $\varphi = 50^{\circ} 48' N$, $\lambda = 15^{\circ} 46' E$, $h_b = 453,7$ m.
Krummhübel	: $\varphi = 50^{\circ} 46' N$, $\lambda = 15^{\circ} 46' E$, $h = 605$ m.
Milovice	: $\varphi = 50^{\circ} 13' N$, $\lambda = 14^{\circ} 54' E$, $h = 203$ m.

¹⁾ Maßstab 1 : 1800, Isohypsen von 1 zu 1 m, Bezugspunkt Schwelle der Kapelle.

²⁾ Vgl. hierzu die sehr anschaulichen Aufnahmen von J. Maurer, Met. Zeitschr. 1910, S. 289.

³⁾ R. Süring, Deutsch. Met. Jahrbuch, Preußen, 1900, Berlin 1906.

SCHNEEKOPPE.

Gegenstand	Höhe über Schwelle der vordersten Haustüre	Höhe über dem oberen Rande des gefüllten Turmgeländers
Turmplattform	12,6 m	— 1,1 m
Turmgeländer	13,7 m	0
Englische Hütte (oberer Rand)	15,1 m	1,4 m
Kontaktanemometer 9813	16,4 m	2,7 m
Meßdüse Turm	16,9 m	3,2 m
Handanemometer	17,1 m	3,4 m
Schalenkreuz Sprung-Fueß	17,2 m	3,5 m
	Höhe über Gefäß von Barometer 993	Entfernung vom Haus
Düse Turm	+ 9,9 m	—
Düse Pfahl	— 9,5 m	33 m
Düse Riesengrund	— 19,7 m	51 m
Barometergefäß Pfahl	— 12,5 m	33 m
Platte Pfahl (Winter)	— 13 m	ca. 30 m
Platte Pfahl (Sommer)	— 12,8 m	25 m
Platte Riesengrund (Winter)	— 19 m	ca. 50 m
Platte Riesengrund (Sommer)	— 28,9 m	61 m
	Entfernungen:	Richtung:
Pfahl zur westl. Hauswand	33 m	E
Pfahl zur Platte Nordseite (Sommer)	11,2 m	NE
Pfahl zur Platte Riesengrund (Sommer)	31 m	S 50 W

INSTRUMENTE.

Schneekoppe

Barometer:	Normal Wild-Fueß 421 Gefäß Fueß 993, Korrektion ± 0 Gefäß Fueß 872, Korrektion $+ 0,1$
Hand-Anemometer:	Fueß Nr. 12 bis 13. 12. 26 Fueß Nr. 2101, $f = 1,6$ für $v = 0,5$, $f = 1,03$ für $v = 20,0$ m/s Fueß Nr. 4738, $f = 1,9$ für $v = 0,5$, $f = 1,1$ für $v = 20,0$ m/s
Kontakt-Anemometer:	Fueß Nr. 9813, $f = 2,02$ für $v = 0,5$, $f = 0,87$ für $v = 20,0$ m/s $f =$ Reduktionsfaktor (bei Windgeschwindigkeiten über 20 m/s willkürlich zu 0,87 genommen). Ein Kontakt auf 250 m Windweg.
Anemograph ¹⁾ :	Sprung-Fueß, Korrektion unbekannt.
Wagebarograph ²⁾ :	Sprung-Fueß.
Thermograph:	205
Hydrograph:	mit zweitägigem Umlauf.

¹⁾ Ergeb. der Meteorolog. Beob. in Potsdam 1893, Berlin 1895; Zeitschr. f. Instrumentenkunde, IX (1889), S. 90.

²⁾ Ergeb. der Meteorolog. Beob. in Potsdam 1893, Berlin 1895; Österreich. Zeitschr. für Meteorologie 1881.

Druckanzeigerät: Differenzdruckmesser Askania 0 . . . 50 mm WS 80372 Typ Bdf. Differenzdruckschreiber Askania - 20 . . . + 80 mm WS 82652 Typ Bdfsg.

Druckabnahmegerät: Platten-Durchmesser 280 mm
Rohr-Durchmesser 3,0 mm
Leitungsrohrdurchmesser 8,0 mm
Anschlussedurchmesser 2,0 mm

Arnsdorf

Barometer: Gefäß 813, Korrektion ± 0 (Fueß).

Barograph: Richard 19 452

Thermograph: Fueß 98

Hydrograph: Fueß 9801

Barometrische Höhe über Meer	Höhe über Gefäß von Barometer 813
0 m	+ 813 m
10 m	+ 803 m
20 m	+ 793 m
30 m	+ 783 m
40 m	+ 773 m
50 m	+ 763 m
60 m	+ 753 m
70 m	+ 743 m
80 m	+ 733 m
90 m	+ 723 m
100 m	+ 713 m
110 m	+ 703 m
120 m	+ 693 m
130 m	+ 683 m
140 m	+ 673 m
150 m	+ 663 m
160 m	+ 653 m
170 m	+ 643 m
180 m	+ 633 m
190 m	+ 623 m
200 m	+ 613 m
210 m	+ 603 m
220 m	+ 593 m
230 m	+ 583 m
240 m	+ 573 m
250 m	+ 563 m
260 m	+ 553 m
270 m	+ 543 m
280 m	+ 533 m
290 m	+ 523 m
300 m	+ 513 m
310 m	+ 503 m
320 m	+ 493 m
330 m	+ 483 m
340 m	+ 473 m
350 m	+ 463 m
360 m	+ 453 m
370 m	+ 443 m
380 m	+ 433 m
390 m	+ 423 m
400 m	+ 413 m
410 m	+ 403 m
420 m	+ 393 m
430 m	+ 383 m
440 m	+ 373 m
450 m	+ 363 m
460 m	+ 353 m
470 m	+ 343 m
480 m	+ 333 m
490 m	+ 323 m
500 m	+ 313 m

INSTRUMENTE

Barometer: Gefäß 813, Korrektion ± 0

Barograph: Richard 19 452

Thermograph: Fueß 98

Hydrograph: Fueß 9801

Kontak-Anemometer: Fueß Nr. 9813, $v = 202$ für $v = 0,5$ für $v = 200$ m/s

Hand-Anemometer: Fueß Nr. 12 bis 13, 14, 20

Anemograph: Sprinkler-Fueß Konstruktion unbekannt

Wasserschiff: Sprinkler-Fueß

Thermograph: Fueß

Hydrograph: Fueß

(Faint text at the bottom of the page, likely bleed-through or a separate section)

III. GRUNDLAGE UND FEHLER DER BISHERIGEN DRUCKMESSUNG.

Den bisherigen Druckmessungen liegt die Annahme zugrunde, daß in dem Barometerzimmer derselbe Druck herrscht, wie in der „Außenluft“. Mit dieser Annahme steht und fällt die bisherige Druckmessung.

Man kann die Richtigkeit dieser Voraussetzung in einfacher Weise nachprüfen, indem man den Barometerraum durch Öffnen der Fenster mit der „Außenluft“ in Verbindung setzt. Diesen einfachen Versuch ließ ich auf der Schneekoppe ausführen, und zwar bei verschiedenen Windstärken.

Zunächst wurde das Barometer bei geschlossenen Fenstern usw. abgelesen. Alsdann wurde der Reihe nach das S-, W-, N-, E-Fenster geöffnet und jeweils nach zwei Minuten abgelesen. Schließlich wurde nach zwei Minuten das Barometer bei geschlossenen Fenstern nochmals abgelesen. Wegen des unruhigen Standes des Barometers erscheinen bei jeder Ablesung zwei Zahlen, die obere und untere Grenze. Am klarsten wird die Meßweise durch die Meßprotokolle ersichtlich gemacht, deren eines hier wiedergegeben sei.

24. 8. 1926	Uhrzeit	Barometer	Bemerkungen
	3 p 50	—	WSW 18 m/s, 8, sc, ac.
	3 p 59	30,0 29,6	alle Fenster zu
	4 p 05	—	S „ auf
	4 p 09	30,7 29,5	„ „ „
	4 p 12	—	W „ „
	4 p 17	32,7 31,3	„ „ „
	4 p 20	—	N „ „
	4 p 24	30,0 29,1	„ „ „
	4 p 26	—	E „ „
	4 p 30	29,9 29,4	„ „ „
	4 p 35	30,0 29,7	alle Fenster zu
	4 p 39	—	WSW 19 m/s

Da sich in demselben Zimmer, in dem die Barometer aufgehängt sind, auch der Wagebarograph Sprung-Fuß befindet, so ist der Verlauf dieser Messungen auch registriert worden. (Auf die Wiedergabe der Beobachtungen wird der Raumersparnis wegen verzichtet.) Die den Messungen entsprechenden Ausschnitte aus dem Barogramm sind in Abb. 3 wiedergegeben. Beigeschrieben sind Datum und Zeitwert des Nullpunktes (bei der Messung am 13. 9. 1926 habe ich auf dem Registrierstreifen die Stellen bezeichnet, an denen alle Fenster zu (z), bzw. das N-, W-, S-, E-Fenster offen war. Hier wich die Reihenfolge von der sonst geübten ab. Die darauffolgende zweite große Nase rührt von Vergleichsmessungen zwischen Herrn Schwarz und mir her.) Die Messungen sind der Windstärke nach geordnet. Man erkennt eindeutig folgendes: *Der Luftdruck im Zimmer ist im allgemeinen keineswegs identisch mit dem Druck der „Außenluft“ und der Druck der „Außenluft“ wechselt mit der Lage der Fensterfront zur Windrichtung.*

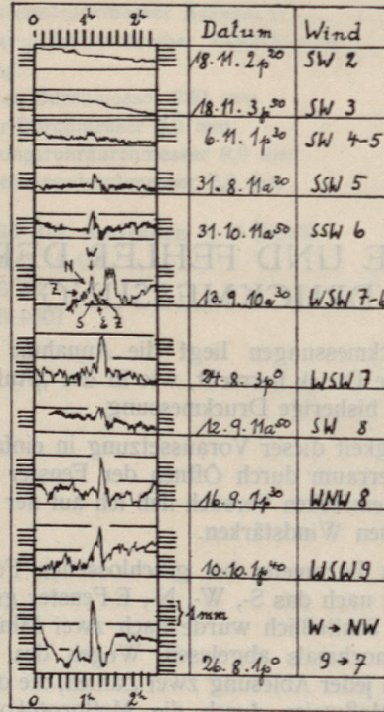


Abb. 3.

Die Unsicherheit der bisherigen Druckmessung steigt mit der Windgeschwindigkeit vom Werte 0 bis auf rund 3 mm Hg bei 30 m/s. Sie beträgt also maximal das 30fache der täglich geübten Ablesegenauigkeit.

Welcher von den gemessenen Druckwerten ist der richtige? Die Frage läßt sich aus diesen Beobachtungen nicht entscheiden. Damit ergibt sich die Notwendigkeit, die Meßverfahren in geeigneter Form zur Anwendung zu bringen, die von den Hydrodynamikern zur Messung des Druckes in bewegten Medien ausgebildet worden sind.

Die hier aufgeführten Druckmessungen zeigen, daß der Druck in näherer Umgebung des Gebäudes ungleichmäßig¹⁾ verteilt ist. Die dazu gehörige Größe der Störung des Stromfeldes ergibt sich aus den folgenden Windmessungen. Gemessen wurde gleichzeitig auf dem Turm (Höhe über der Hausschwelle 17 m) und an den in Abb. 1 mit w_1 , w_2 usw. bezeichneten Stellen in etwa 2–2½ m Höhe über dem Erdboden. Es ergaben sich folgende Prozentzahlen Windgeschwindigkeit unten: Windgeschwindigkeit Turm:

Wind	Luv	Luv			Lee	
		45°	90°	135°		
Beaufort	Lee	Lee	Lee	Lee		
NWzW	2	75	80	90	55	35
N	5	70	85	95	100	40
WzN	5	60	65	95	40	30
W	8	60	70	100	85	35
Mittel etwa		65	70	95	x	35

Es ist zu beachten, daß das Haus ein Rechteck zum Grundriß hat, dessen lange Seite in westöstlicher Richtung gelegen ist (vgl. Abb. 2).

¹⁾ Eine weitergehende Auswertung ist zwecklos, da der Anstellwinkel sich mit der Windrichtung ändert, die Anströmungsrichtung auch praktisch nicht in einer Horizontalebene gelegen ist und Windrichtung und Windgeschwindigkeit zeitlichen Schwankungen merklich unterworfen sind.

2. *Praktische Erfahrungen.* Nebel, leichter Regen, auch Schnee hindern das einwandfreie Arbeiten nicht. Erstaunlich ist, daß eine Neuschneedecke von 5 cm noch keine Behinderung zur Folge hatte. Die Beobachtungen ergaben dieselben Werte wie bei einer unmittelbar folgenden Wiederholung, bei der die Platte wieder in der Oberfläche lag. Dagegen ist die Platte recht empfindlich gegen Glatteis, Graupel, Schnee- und Regengemisch und auch gegen starken großtropfigen Regen. In diesen Fällen verstopft sich die Anbohrung.

Die von Herrn Schwarz nach meinen Angaben hergestellte Platte war schwarz lackiert worden. Es ist vielleicht besser, die Platte weiß zu lackieren oder zu vernickeln.

3. *Meßfehler durch die Gerätestörung.* Die erste Fehlerquelle liegt darin, daß die Platte nicht streng in der Oberfläche gelegen ist, vielmehr mit dieser einen kleinen Neigungs- (Anstell-) winkel bildet. Nur wenn der Anstellwinkel $\alpha = 0$, ist eine Gerätestörung nicht vorhanden. Der Meßfehler für $\alpha \neq 0$ ist von Krell a. a. O. für die Sersche Scheibe ermittelt worden. Seine Meßergebnisse dürfen unbedenklich auf den vorliegenden Fall übertragen werden. Sie sind, in Prozent des Staudruckes umgerechnet, in der folgenden kleinen Tabelle aufgeführt (bei $\alpha = 90$ steht die Platte bzw. Sersche Scheibe senkrecht zur Stromrichtung, es herrscht Überdruck in Höhe des vollen Staudruckes; bei $\alpha = 0$ liegt die Platte in der Erdoberfläche, es wird der Druck im richtigen Betrage abgenommen; bei $\alpha = -90$ steht die Platte wieder senkrecht zur Stromrichtung, die Anbohrung befindet sich jedoch auf der Leeseite, es herrscht Unterdruck).

Meßfehler in % des Staudruckes in Abhängigkeit vom Anstellwinkel			
Anstellwinkel	Prozent des Staudruckes	Anstellwinkel	Prozent des Staudruckes
90	100	— 15	— 39
85	100	— 20	— 78
75	94	— 25	— 97
65	84	— 26	— 100
45	53	— 30	— 76
25	23	— 45	— 58
10	9	— 65	— 45
0	0	— 85	— 38
— 5	— 8	— 90	— 37

In der zweiten kleinen Tabelle gebe ich noch den Staudruck für Luft in mm Hg für den Normaldruck von 760 mm und der Temperatur 0 Grad.

Staudruck q in mm Hg. in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit v in m/s							
v	q	v	q	v	q	v	q
1	0,01	11	0,59	21	2,13	31	4,7
2	0,02	12	0,70	22	2,34	32	5,0
3	0,04	13	0,82	23	2,56	33	5,3
4	0,08	14	0,95	24	2,78	34	5,6
5	0,12	15	1,09	25	3,02	35	5,9
6	0,17	16	1,24	26	3,27	36	6,3
7	0,24	17	1,40	27	3,5	37	6,6
8	0,31	18	1,57	28	3,8	38	7,0
9	0,39	19	1,75	29	4,1	39	7,4
10	0,48	20	1,93	30	4,4	40	7,7

Als obere Fehlergrenze können wir $\alpha = 5$ Grad nehmen. Dann würde die Platte mit der einen Seite aufliegen, mit der anderen 2,5 cm vom Erdboden abstehen. Die Anstellwinkel sind sicher noch ganz erheblich kleiner gewesen.

Welche Werte haben wir für v einzusetzen? Die Messungen von Hellmann, Pepler und anderen geben hierauf keine Antwort, da sie nicht die gerade hier auftretenden großen Geschwindigkeiten über 20 m/s enthalten. Extrapolation ist hier durchaus unstatthaft, gleichgültig, auf welche Weise man diese ausführt. Um wenigstens in der Größenordnung informiert zu sein, bat ich Herrn R. Schwarz um einige Messungen. Er erhielt:

Datum	Zeit	Wind	Höhe des Anemometers	
			5 cm	200 cm
17. 10.	9 a	SW 8	10,3	22,5 m/s
17. 10.	3 p 10	SW 9	13,8	26,5
18. 10.	8 a 25	WNW 8	10,9	18,4

Beide Anemometer korrigiert, gleichzeitige Ablesungen.

Man kann also für die Windgeschwindigkeit in 5 cm Höhe etwa die Hälfte der in 2 m Höhe gemessenen einsetzen.

Damit bleibt der Meßfehler infolge der Gerätestörung noch bei 40 m/s, gemessen in 2 m Höhe, kleiner als 0,2 mm Hg, also praktisch unmerklich, da diese Windgeschwindigkeit nie erreicht wurde.

4. *Meßfehler durch die Gebäudestörung.* Zunächst wurde eine Meßreihe derart gemacht, daß das Druckabnahmegesetz (hier ein Abnehmerrohr mit zwei Freiheitsgraden) 30 cm unter dem großen Schalenkreuz, also 3,2 m über dem oberen Rand der Turmplattform aufgestellt wurde. Die Druckdifferenzen Barometer mit Düse — Barometer ohne Düse waren erstaunlich klein und sehr unregelmäßig. Es ergab sich

Beaufort	7—6	7	8	9	9—7
m/s	15	19	22	27	27—18
Windrichtung	WSW	WSW	WNW	WSW	W—NW
Baro ohne Düse —	— 0,50	— 0,45	— 0,25	— 0,40	— 0,50
Baro mit Düse	bis — 0,20				bis + 0,30

Demnach scheint das Druckabnahmegesetz noch merklich innerhalb der Gebäudestörung sich befinden zu haben. Die ganze Meßreihe wurde daher verworfen und erscheint nicht mehr in dieser Abhandlung.

Die räumliche Ausdehnung der Gebäudestörung läßt sich dadurch abschätzen, daß man sich das Gebäude durch einen unendlich langen Kreiszyylinder ersetzt denkt. Dann erhält man für inkompressible Medien¹⁾

$$\bar{p} = \bar{p} + \frac{\rho}{2} \bar{v}^2 \cdot \left(\pm 2 \frac{r_0^2}{r^2} - \frac{r_0^4}{r^4} \right),$$

wobei \bar{p} den Druck im ungestörten Felde

\bar{v} die Geschwindigkeit im ungestörten Felde

ρ die Luftdichte

r_0 den Radius des Kreiszyinders

r die Entfernung des betrachteten Punktes vom Mittelpunkte des Kreiszyinders bedeutet und in der Klammer das obere oder untere Vorzeichen zu nehmen ist, je nachdem, ob der betrachtete Punkt vom Kreismittelpunkt aus genau luvwärts ($\vartheta = 0$) oder 90 Grad vom Winde abgewendet ($\vartheta = 90^\circ$) liegt. Diese beiden Punkte geben die Maxima des dynamischen Druckeffektes. Man erhält den

¹⁾ Vgl. etwa Cl. Schaefer, Einführung in die theoretische Physik, I S. 804. Die Konstante ist hier anders bestimmt, auch ist ein Druckfehler beseitigt.

dynamischen Druckeffekt in Abhängigkeit von der Entfernung von der Zylinderachse in % des Staudruckes								
$r : r_0$	1	2	3	4	5	6	7	8
$\vartheta = 0^\circ$	100	44	21	12	8	6	4	3
$\vartheta = 90^\circ$	- 300	- 62	- 23	- 13	- 8	- 6	- 4	- 3

Die größte Längenausdehnung des Gebäudes beträgt 10 m, die Horizontalentfernung des Druckabnahmegertes vom Gebäude betrug mindestens 25 m, es ist also hier $r_0 = 5$ m, $r = 30$ m, $r : r_0 = 6$, und es bleibt maximal eine Gebäudestörung von 6 % des Staudruckes, d. h. bei 30 bzw. 40 m/s Wind für $p = 625$, $T = 273$ 0,2 bzw. 0,4 mm Hg. Das ist aber entschieden zu hoch, einmal weil ϑ zwischen 0 und 90° und zweitens, weil das Haus dreidimensional ist. Man sieht aber, daß die Entfernung der Platte vom Hause mit 25 m keineswegs übertrieben groß gewählt war.

5. *Meßfehler durch die Geländestörung.* Die Nordseite des Koppengipfels enthält keinerlei Felswände. Eine Geländestörung im engeren Sinne ist hier völlig ausgeschlossen. Anders auf der Südseite. Dort laufen zahlreiche Felswände von NE nach SW herab. Selbst der beste sich bietende Platz war daher nicht einwandfrei. Die Platte befand sich zwar auf einer Grasfläche von 15 mal 10 m², der aber im Westen eine 8 m hohe Felswand vorgelagert ist.

Es ist daher notwendig, zu untersuchen, ob sich die Druckdifferenzen ändern, wenn die Platte verlegt wird. Diese Fälle sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Die Druckdifferenzen sind da in mm WS (1 mm WS = 0,07 mm Hg) angegeben. Das Vorzeichen + bedeutet Unterdruck im Zimmer. Platte im Riesenrund: R, auf der Nordseite: N.

1927	Uhrzeit	Wind	Wechsel	Schwankung	absolute Schwankungen und Mittelwert
7. 6.	8 a 18— 8 a 34	W 9	R—N	mäßig, aber zackig	R 8 a 10—15 : + 13 .. + 18, + 16 N 8 a 35—40 : + 13 .. + 17, + 16
8. 6.	7 a 40	SW 8	N—R	wild, keine Tinte, undeutl.	N 7 a 25—35 : + 11 .. - 16, - 5 R 7 a 45—55 : + 9 .. - 10, - 3
20. 6.	7 p 15	W 9—10	R—N	mäßig	Zeitpunkt der Umlegung ungenau angegeben, jedoch 7 p 0—20 keinerlei Sprung. 7 p 0—20 : + 8 .. + 12, + 10
22. 6.	4 p 20	NW 5—6	R—N	ruhig, aber zackig	R 4 p 15—20 : + 8 .. + 6, + 7 N 4 p 20—25 : + 4 .. + 7, + 6
24. 6.	4 p 35	SW 7	N—R	stark, gut erkennbar	N 4 p 30—35 : + 2 .. - 11, - 4 R 4 p 35—40 : - 2 .. + 8, + 4
3. 7.	1 p 11	WNW 6	R—N	leicht	R 1 p 5—10 : + 9 .. + 10, + 9 N 1 p 12—15 : + 8 .. + 11, + 9
9. 9.	5 p 40	SW 8	N—R	N wild R mäßig	N 5 p 30—35 : + 2 ? - 14, R 5 p 40—45 : ± 0 .. - 6, - 5

Bei W bis NW ist eine merkliche Abhängigkeit der Druckdifferenzen von der Lage des Abnahmeortes nicht zu erkennen. Die Ergebnisse des Kap. V berechnen zu dem Schluß, daß dieser Befund sich auf den größeren Sektor WSW bis mindestens NNW ausdehnen läßt, da sich alle diese Windrichtungen hinsichtlich

der Druckeffekte als merklich gleichwertig erweisen. Bei S bis SW lassen die in der vorstehenden Tabelle aufgeführten Fälle deutlich einen Einfluß des Ortes auf die Werte der Druckdifferenz erkennen. Die Schwankungen sind merklich größer für die Lage der Platte auf der Nord- als auf der Riesengrundseite und der Betrag der Druckdifferenz ist für die Lage der Platte auf der Nordseite stets kleiner als für die Lage der Platte auf der Riesengrundseite, nicht dem Absolutwert nach, sondern unter Berücksichtigung des Vorzeichens. Mit anderen Worten: Der Zimmerdruck ist tiefer als der Druck an der Abnahmestelle am Riesengrund und höher als an der Abnahmestelle auf der Nordseite. Nach den zwölf bzw. sieben Einzelfällen Kap. V, 3 ergibt sich im Mittel für S bis SW Riesengrund — Zimmer + 1, Zimmer — Nordseite + 3 mm WS, d. h. also Riesengrund — N-Seite 4 mm WS = 0,3 mm Hg. Dieses Ergebnis, daß nämlich die Luvseite hart am Grat des Hindernisses höheren Druck aufweist als die Leeseite, überrascht. Obwohl die Einzelfälle wie der Mittelwert zu demselben Ergebnis führen, will ich zunächst keinen Wert auf diese Feststellung legen, deren Nachprüfung vielmehr einer späteren Meßreihe vorbehalten. Hier zeigen jedenfalls die Daten, daß diese Differenz in den meisten Fällen belanglos bleibt.

B. DAS DRUCKANZEIGERÄT.

6. Das Anzeigerät ist ein Askaniadifferenzdruckschreiber¹⁾, Typ Bdfsg, Meßbereich — 20 . . . + 80 mm WS. Der Anzeigefehler geht nicht über 1 mm WS = 0,07 mm Hg hinaus. Merkliche Nullpunktsänderungen ($\geq 0,2$ mm Hg) sind nicht aufgetreten. Nur ein Fall scheint auf sie hinzudeuten, es kann sich aber auch um eine Verstopfung der Platte handeln.

Die Benutzung dieses Anzeigeräts gewährt den Vorteil, daß man tatsächlich die Differenzen selbst beobachtet. Zuerst verwandte ich zwei Barometer, deren eines an die Platte angeschlossen war, deren anderes frei mit der Zimmerluft kommunizierte. Man muß dann die Druckdifferenz aus den Ablesungen zweier Instrumente berechnen und die Ablesefehler, die durch das Pumpen der Barometer entstehen, können mitunter verdoppelt werden. Auch kann die Reduktion auf 0 Grad Druckdifferenzen von 0,2 mm Hg vortäuschen, wie ich in einem Einzelfalle festgestellt habe. Die Benutzung eines Instrumentes, das die Differenzen selbst angibt, schaltet naturgemäß diese Fehlerquellen aus.

Wenn es sich nicht darum handelt, die Gebäudestörung zu ermitteln, sondern wenn man den Absolutwert des Luftdruckes außerhalb der Gebäudestörung sucht, wird man mit Vorteil doch an die Platte ein Barometer anschließen. Dann erspart man einmal eine Rechenoperation, und das Ergebnis ist genauer, weil das Barometer, das an die Platte angeschlossen ist, im allgemeinen sehr ruhig steht und sich auch bei starkem Wind auf 0,1, mindestens aber 0,2 mm genau ablesen läßt.

C. DER EINFLUSS DER ROHRLEITUNGEN.

7. Der Temperaturfehler. Besitzen Druckabnahme- und Druckanzeigerät eine größere Höhendifferenz Δh , so kann ein Fehler dadurch entstehen, daß die in der vertikalen Rohrleitung eingeschlossene Luft eine andere Temperatur T' besitzt als die Luft der freien Atmosphäre (T).

An der Druckabnahmestelle ist der Druck in der Rohrleitung p_0 gleich dem Druck p in der freien Atmosphäre. Dann ist der Druck in dem Niveau des Druckanzeigerätes

$$\text{in der Rohrleitung: } p_0 - g' \Delta h = p_0 - g \frac{p_0}{RT'} \Delta h,$$

$$\text{in der freien Atmosphäre: } p_0 - g \Delta h = p_0 - g \frac{p_0}{RT} \Delta h.$$

¹⁾ Hersteller: Askania-Werke A.-G., Berlin-Friedenau, Kaiserallee 87/88.

Es tritt also eine Schornsteinwirkung auf vom Betrage

$$\begin{aligned} \delta p &= p_0 - gq' Ah - (p_0 - gq Ah) = -gq Ah \cdot \frac{q' - q}{q} \\ &= gq Ah \cdot \frac{\delta T}{T} = -\Delta p \cdot \frac{\delta T}{T} \end{aligned}$$

wobei also Δp den Druckunterschied in den beiden Niveaus (in der freien Atmosphäre), $\delta T = T' - T$ den Temperaturunterschied der Luft im Rohr und in der freien Atmosphäre bedeutet. Da die größten in Frage kommenden Höhenunterschiede (Platte im Riesengrund) 30 m betragen, wofür rund $\Delta p = -2,3$ mm, so müßte $\delta T = \frac{273 \cdot 0,1}{2,3}$, d. h. nicht weniger als 12° betragen, um einen Fehler von 0,1 mm Hg hervorzurufen.

8. *Der Druckausgleich in den Rohren.* Eine Untersuchung von R. Seeliger und E. Bräuer¹⁾ hat vielfach die Befürchtung aufkommen lassen, daß in den Rohrleitungen bei nichtstationären Verhältnissen ungedämpfte Schwingungen auftreten. Die beiden Autoren haben ihre in diese Richtung weisenden Ergebnisse unter großen Einschränkungen ausgesprochen, da für die theoretische Behandlung einschneidende Voraussetzungen erforderlich sind. Das Problem ist von großer Wichtigkeit, doch ist hier nicht der Platz, ausführlich darauf einzugehen. Ich begnüge mich mit folgender Mitteilung:

Da die theoretische Behandlung z. Z. noch aussichtslos ist, erstrebte ich eine experimentelle Prüfung. Auf meine Bitte hin haben die Askaniawerke Berlin-Friedenau die Frage in ihrem Forschungslaboratorium untersuchen lassen. Das Ergebnis ist folgendes:

Bei kleinen und langsamen Druckänderungen (bis 10 mm WS in 10 Sek.) erfolgt der Druckausgleich im vollen Betrage und genau gleichzeitig. Der Vorgang verläuft isotherm.

Bei großen und schnellen Druckänderungen (30 mm WS in 1 Sek.) erfolgt der Druckanstieg momentan, nach vollzogener Druckerhöhung fällt der Druck jedoch langsam und stetig um rund 10 % ab, unter asymptotischer Annäherung an die Endstellung. Der Vorgang verläuft offenbar adiabatisch.

Zeitgenauigkeit $\pm 10\%$, Druckgenauigkeit $\pm 2\%$. Die Schreibfeder war mit einer Öldämpfung versehen, Schlauchleitungen 8 mm \varnothing , Länge 1–30 m.

Die Versuche zeigen also eindeutig, daß von ungedämpften Schwingungen nicht die Rede sein kann, daß vielmehr für die hier vorliegende Aufgabe der Druckausgleich praktisch als momentan, d. h. als asymptotisch unter beliebig hoher Dämpfung erfolgend, angesehen werden kann.

¹⁾ R. Seeliger und E. Bräuer, Met. Zeitschr., 1918, Heft I, II.

V. DIE GEBÄUDESTÖRUNG.

1. Die Ausbildung des Unterdruckes im Zimmer läßt sich am besten an Hand der Registrierungen, also bei Einzelfällen verfolgen. Drei solche Einzelfälle sollen hier besprochen werden, die in den Abb. 5—9 zur Darstellung gebracht sind.

Ordinaten sind

- a) Die Windgeschwindigkeit v in m/s nach dem Fueßschen Kontaktanemometer. Die eingetragenen Werte sind Minutenmittel. Der Auswertfehler beträgt etwa 8 %, der Meßfehler durch die Gebäudestörung des Stromfeldes vielleicht 15—20 %. Der Auswertfehler trifft die Differenzen der Einzelwerte, der Meßfehler im wesentlichen nur den Absolutwert. Das Kontaktanemometer befindet sich auf dem Turm (16,4 m über der Hausschwelle).
- b) Der im Beobachtungszimmer herrschende Unterdruck d in mm Hg. Die dargestellte Kurve ist eine Pause der Originalaufzeichnung des Askania-Differenzdruckschreibers. Die abgelesenen Beträge sind zu dem im Zimmer abgelesenen Luftdruck zu addieren, um den Luftdruck außerhalb der Gebäudestörung zu erhalten. Anzeige- und Meßfehler (s. Kap. IV.) $\leq 0,1$ mm Hg.
- c) Der im Beobachtungszimmer herrschende Luftdruck p_z nach dem Wagebarographen Sprung-Fueß. Der Auswertfehler beträgt 0,1 mm Hg, der Meßfehler ist größer, besonders für starke, kurzdauernde Schwankungen, d. h. für Schwankungen über 0,5 mm in einer Minute. Ein Teil der vom Wagebarographen aufgezeichneten Schwankungen geht vielleicht auf die starken mechanischen Erschütterungen zurück, die das Gebäude durch den starken Wind erleidet. Die Mitnahme der vielen kleinen Schwankungen in den Abb. 5—9 ist daher vielleicht eine Übertreibung.
- d) Der Druck außerhalb der Gebäudestörung als Summe von b) und c). Zu seiner Ermittlung wurden nur solche Zeitpunkte gewählt (in den Abb. gekennzeichnet durch kleine volle Kreise), in denen eine hinreichende Einstellung des Wagebarographen auf den Luftdruck im Zimmer erreicht war, was dann gewährleistet erschien, sobald etwa auf 1—2 Minuten die Schwankungen von b) und c) unter 0,2 mm Hg blieben. Jedoch ließ sich eine strenge Regel hier nicht innehalten. Die obere Fehlergrenze schätze ich auf 0,3 mm Hg, und zwar für den Absolutwert. Die Fehler in den Differenzen benachbarter Punkte gehen über 0,2 mm nicht hinaus. Die kleinen Kreuze geben d) als Summe von b) und c) für scharfe Nasen.

Abscisse ist die Zeit.

Das Problem läßt für a), b), c) höchstens einen Zeitfehler von 0,5 Minuten zu. Das bedeutet eine Abscissenverschiebung im Originalstreifen von 2,5 mm für das Kontaktanemometer, 0,5 mm für den Differenz-Druckschreiber, 0,08 mm für den Wagebarographen. Eine solche Genauigkeit ist durch Zeitmarken nicht zu erreichen, auch ist der Gang der Triebuhren der Registrierinstrumente kaum derart, daß zwischen zwei weiter auseinanderliegenden Zeitmarken mit einem konstanten Gang gerechnet werden könnte. Um eine Koinzidenz zu erzielen, muß man die Registrierungen selbst zu Hilfe nehmen. Mitunter zeigen die Registrierungen a), b), c) eine weitgehende Parallelität schon im Groben, im Makroskopischen, wo Zeitfehler von der Größenordnung der in Betracht kommenden Zeitintervalle ausgeschlossen sind. Ergibt sich aber im Makroskopischen eine befriedigende Übereinstimmung, die außer Zweifel steht, so ist nicht einzusehen, warum nicht auch im Mikroskopischen Übereinstimmung bestehen sollte, d. h. wenigstens in dem Umfange, der nach den oben ausführlich erörterten Fehlergrenzen zu erwarten ist. Es wurde daher prinzipiell eine Zeitverschiebung der einzelnen Kurven derart durchgeführt, daß markante Punkte koinzidierten. Die grundlegenden Koinzidenzen sind später jeweils aufgeführt. Die Verschiebung ist klein, sie geht — abgesehen von einem Falle — nicht über 2 Minuten hinaus. Um darzutun, daß über die Zuordnung von a), b), c) in bestimmten Fällen Zweifel nicht möglich sind, sind die Pausen der Originalaufzeichnungen des Wagebarographen

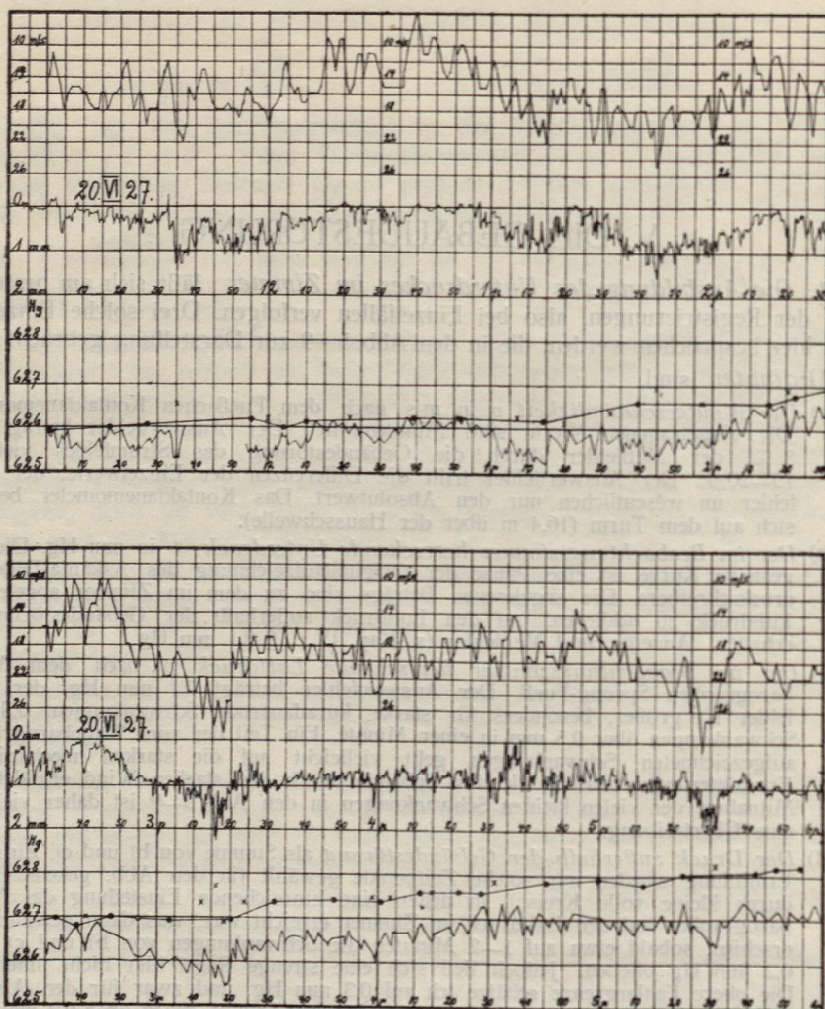


Abb. 5 u. 6.

Charakteristik: Starker Unterdruck im Zimmer. Völlige Parallelität zwischen v , d , p ; in Grob- und Feinstruktur.

Datum: 20. 6. 27, 11a—6p

Windrichtung: WSW bis 5p, dann W.

Druckabnahme: durchweg im Riesengrund.

Kontrollmessungen: 7p33 Differenz der Barometerablesungen 0,9 mm Hg. Differenzdruckschreiber 13 mm WS = 0,96 mm Hg.

Zeitkorrektur: Differenzdruckschreiber Stand am 20. 6. 4p: + 7 Min., 8. 6. 4p: - 1 Min., am 20. 6. 4p33 auf richtige Zeit gestellt. Anemogramm bis 11a33 + 2 Min., bis 4p34 + 1 Min., dann + 0. Barogramm bis 11a30 - 5 Min., dann Streifenwechsel. Ab 11a55 + 2 Min.

Grundlage: Koinzidenz um 11a30.

Schwankungen: 2p30 bis 3p leicht, 3p40 — 4p30 mäßig.

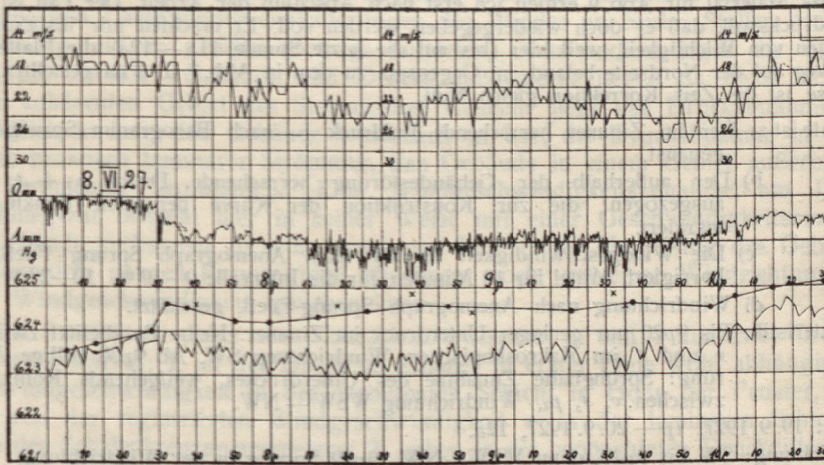
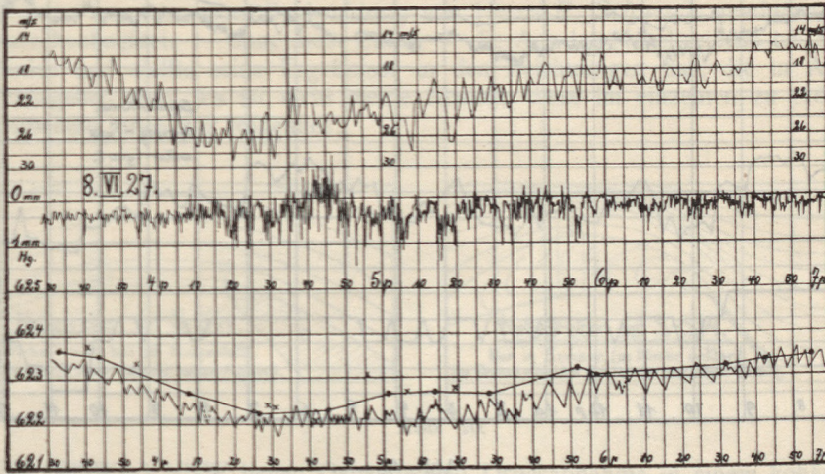


Abb. 7 u. 8.

Charakteristik: Bis 7p30 nur geringer Unterdruck, keine Parallelität im Makroskopischen zwischen v und Δ . Im Mikroskopischen nur stellenweise Koinzidenz zwischen v , Δ , p_z . Windrichtung SW. (Man beachte die wilden Schwankungen von Δ um die Ruhelage 4p48—58.) Ab 7p30 völlige Änderung: Starke sprunghafte Zunahme des Unterdruckes, weitgehende Koinzidenz von v , Δ , p_z , völlige in dem Bereich 7p31—8p10. Windrichtung WSW.

Datum: 8. 6. 27 3p30 bis 10p30.

Windrichtung: SW bis 7p30, dann WSW—W. 7p30 Sprung in der Windrichtung.

Druckabnahme: Durchweg im Riesengrund.

Kontrollmessungen: 7. 6. 8a15 Differenz der Barometerabl. 1,4 mm, Diff.-Dr. 1,2 mm.

Zeitkorrekturen: Differenzdruckschreiber Stand am 8. 6. 10a35: — 1 Min., Anemogramm + 1 Min., Barogramm + 2 Min.

Grundlage: Koinzidenz 7p31.

Schwankungen: 4p20—4p55 wild. 5p—5p50 sehr stark. 7p35—8p10 leicht. 8p10—8p50 stark. 10p—10p30 leicht.

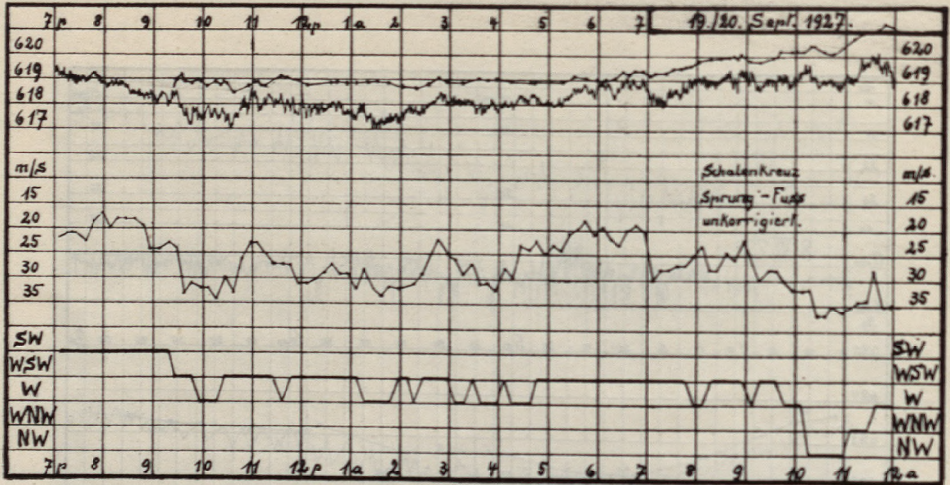


Abb. 9.

Das Material für Abb. 9 erhielt ich erst nach Abschluß der Arbeit. Der Fall ist aber so eindrucksvoll, daß er doch wiedergegeben werden soll. Er erschien mir insbesondere deswegen von Wichtigkeit, weil hier (bis auf die letzte Stunde 11a—12a) die Platte sich durchweg auf der Nordseite befand, im Gegensatz zu dem in Abb. 7 u. 8 dargestellten Fall. Abscisse ist die Zeit, Korrektion gleich Null.

- Ordinate ist a) Der im Zimmer herrschende Luiddruck p_z nach Barogramm Sprung-Fueß gepaust.
 b) Der außerhalb der Gebäudestörung herrschende Druck $p_z + \Delta$, fein ausgezogen; die zur Konstruktion der Kurve benutzten Punkte sind markiert.
 c) Die Windgeschwindigkeit in m/s nach Anemograph Sprung-Fueß, unkorrigiert, Mittel für 10 Minuten, für die Intervalle 0—10 m, 10—20 m usw.
 d) Windrichtung nach Anemograph Sprung-Fueß, geschätzt.

Charakteristik: Bis 9p20 nur geringer Unterdruck im Zimmer. Keine Parallelität zwischen v und Δ im Makroskopischen. Windrichtung SW. Ab 9p30 völlige Änderung: Sprunghafte Zunahme des Unterdruckes, weitgehende Koizidenz zwischen v , Δ , p_z , Windrichtung WSW—NW.

Datum: 19. 9. 1927, 7p—20. 9. 1927, 12a.

Windrichtung: SW bis 9p20, dann WSW—NW. 9p20 Sprung in der Windrichtung.

Druckabnahme: Bis 10a50 durchweg N, dann R.

Kontrollmessungen: 19. 9. 10p35: Differenz der Barometerablesungen 1,2 mm Hg, Differenzdruckschreiber 1,0 mm Hg.

Sprung-Fueß in der Abb. 13 wiedergegeben. Man prüfe selbst. — In bestimmten anderen Fällen fehlt die makroskopische Übereinstimmung. Dort ist eine zeitliche Koizidenz nur mit Hilfe der Zeitmarken zu erzielen, d. h. auf etwa ± 2 Minuten. — Für das Barogramm bleiben Auswertfehler von ± 1 Minute unvermeidbar.

Die in den Abb. 5—9 gebrachten Beispiele stellen drei Fälle dar:

Fall I: *Starker Unterdruck im Zimmer, völlige Parallelität zwischen v , Δ , p_z , Windrichtung WSW bis NNW* (vgl. Abb. 5 u. 6).

Fall II: *Kein merklicher Unterdruck im Zimmer, keine Parallelität zwischen v und Δ , Windrichtung SW* (vgl. Abb. 7).

Fall III: *Übergang von I in II bei ungeänderter Lage der druckabnehmenden Platte, aber bei Änderung der Windrichtung* (vgl. Abb. 7 u. 8).

Zunächst ist die Frage zu erörtern, warum v , A , p_z im 1. Falle (WSW — NNW) koinzidieren, im 2. Falle (S — SW) dagegen nicht. Die Antwort auf diese Frage kann man aus einer Beobachtung von Herrn R. Schwarz gewinnen. Herr Schwarz beobachtete — ohne mein Zutun — die Art des Nebeltreibens bei S- und N-Winden und stellte seine Ergebnisse in den Zeichnungen dar, die in Abb. 10 wiedergegeben sind. Es ist nicht meine Absicht, diese im einzelnen zu erörtern. Ich entnehme ihnen nur folgendes:

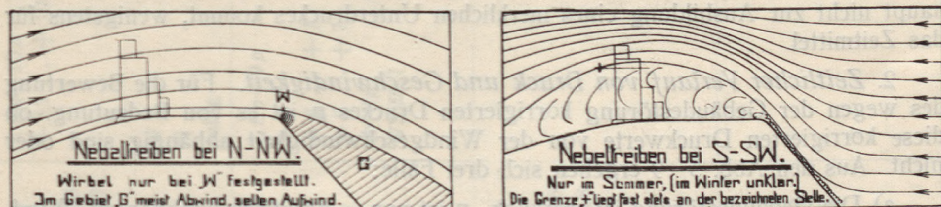


Abb. 10.

Bei (WSW—) NNW liegen Gebäude und Druckabnahme in einem kohärenten Gebiet des Stromfeldes, kohärent insofern, als beide noch auf der Luvseite des Berges gelegen sind, beide daher in einer praktisch laminaren Strömung sich befinden und Geschwindigkeitsänderungen des Windes an beiden Stellen praktisch gleichzeitig und im gleichen Betrage auftreten. Ganz anders liegen die Verhältnisse bei S — SW. Gebäude und Druckabnahmegesetz liegen da nicht mehr in einem kohärenten Gebiet des Stromfeldes, vielmehr liegt das Druckabnahmegesetz wesentlich in Luv, das Gebäude wesentlich in Lee, die Druckabnahme in einem Gebiet praktisch laminarer Strömung, das Gebäude in einem Gebiet außerordentlich turbulenter Strömung¹⁾. Eine Windgeschwindigkeitszunahme am Druckabnahmegesetz braucht hier in keiner Weise mit einer Geschwindigkeitszunahme am Gebäude verbunden zu sein, wenn man hier in der Umgebung des Gebäudes und auf dem ganzen Koppengipfel überhaupt noch von einer Windrichtung und einer Windgeschwindigkeit sprechen kann.

Bei S — SW ist daher eine Koinzidenz zwischen v und A aus zwei Gründen nicht zu erwarten: 1. ist der Druck im Zimmer in erster Linie wohl abhängig von der Windgeschwindigkeit in der turbulenten Schicht in Höhe der Fenster, nicht aber von der registrierten Windgeschwindigkeit v in der laminaren Schicht in Höhe des Schalenkreuzanemometers; 2. gehen in die beobachteten Druckdifferenzen A sowohl die Druckschwankungen im Zimmer wie die an der Druckabnahmestelle ein, es werden die registrierten A hier einmal durch Schwankungen des mit v vielleicht umgekehrt gehenden Druckes an der Druckabnahmestelle (Geländestörung) hervorgerufen, dann aber und wohl wesentlich durch die hier gänzlich ungeordnete Gebäudestörung.

Die zweite Frage ist, warum im ersten Falle (WSW — NNW) eine starke Druckerniedrigung im Zimmer eintritt, im zweiten Falle (S — SW) dagegen nicht. Die Tatsache als solche ist nach den ausführlichen Erörterungen des Kap. IV nicht zu bestreiten, weder der eine noch der andere Fall ist anfechtbar. Überdies zeigt Fall III, daß beide Fälle ohne Änderung der Meßanordnung, jedoch bei Änderung der Windrichtung miteinander wechseln.

¹⁾ Das Ausmaß der Unordnung in der Luftbewegung auf dem Koppengipfel bei S—SW von Beaufort 7 ab ist schwer zu schildern. Es gibt keine Richtung, nach der das Gesicht gegen die herumtreibenden Eisnadeln, die wie Staub aufgewirbelt werden, Schutz finden kann. Bald rennt der Wind mit ungeheurer Stärke aus W gegen den Beobachter an, bald nach einer kurzen Pause aus E, bald aus N, bald aus S. Ein eindrucksvolles Erlebnis, das sicher dem zünftigen Bergsteiger bekannt, einen Neuling wie mich am 14. 4. 1927 (SW 9) höchlichst überraschte.



Es ist sehr naheliegend, dieses unterschiedliche Verhalten auf den Einfluß der Wind- (Anblas-) Richtung zurückzuführen. Mir erscheint es jedoch wahrscheinlicher, daß der Unterschied auf die verschiedenartige Strömungsform zurückgeht, insofern als wie erwähnt bei WSW — NNW das Gebäude in Luv, in einer praktisch laminaren Strömung, bei S — SW in Lee, in einer stark turbulenten Strömung gelegen ist. Wieweit die dauernden Richtungs- und Geschwindigkeitsänderungen im zweiten Falle einen Unterdruck im Gebäude zu erzeugen imstande sind, ist nicht zu übersehen. Es erscheint mir keineswegs ausgeschlossen, daß es hier überhaupt nicht zur Ausbildung eines merklichen Unterdruckes kommt, wenigstens für das Zeitmittel.

2. *Zeitlicher Verlauf von Druck und Geschwindigkeit.* Für die Bewertung des wegen der Gebäudestörung korrigierten Druckes p ist es von Bedeutung, ob diese korrigierten Druckwerte von der Windgeschwindigkeit abhängig sind oder nicht. Aus den Abb. 5—9 ergeben sich drei Fälle:

- Die Gebäudestörung ist merklich, p ist von v praktisch unabhängig, Windrichtung praktisch konstant, zwischen WSW und NW.
- Die Gebäudestörung ist merklich, p nimmt mit v zu, Wind springt von SW auf W.
- Die Gebäudestörung ist unmerklich, p nimmt mit wachsendem v ab, Windrichtung SW.

Ich begnüge mich mit folgenden Beispielen:

Fall	Datum	Zeit	v in m/s	p kor. w. Gebäudest.	Δv	Δp
a	20. 6.	12 a 40	10	626,2	+ 10	± 0
		1 p 15	20	626,2		
		2 p 45	11	627,0	+ 15	- 0,1
		3 p 15	26	626,9		
	19. 9.	11 p 5	23	618,9	+ 8	± 0
		11 p 55	31	618,9		
b	8. 6.	7 p 25	17	623,9	+ 5	+ 0,7
		7 p 35	22	624,6		
	19. 9.	9 p 25	26	618,7	+ 7	+ 0,5
		9 p 35	33	619,2		
c	8. 6.	3 p 30	16	623,7	+ 10	- 1,5
		4 p 25	26	622,2		

Fall c, der nur bei SW auftritt, scheidet hier aus; er wird in VI ausführlicher erörtert werden. Fall b repräsentiert deutliche Kälteeinbrüche; bleibt Fall a. Wir können also sagen: *Sieht man von SW-Winden und Kälteeinbrüchen ab, so ist der wegen der Gebäudestörung korrigierte Druck auf der Koppe unabhängig von zeitlichen Änderungen der Windgeschwindigkeit.*

Bleibt noch die Frage zu erörtern: Was ist die Ursache der Geschwindigkeitsänderungen? Es hat hier sehr wohl Sinn, von Ursache und Wirkung zu sprechen. Damit an einem Ort eine lokale Beschleunigung auftritt, muß notwendig eine äußere Kraft einwirken. Diese ist hier zweifellos in einer Änderung des zur Stromrichtung praktisch senkrechten horizontalen Druckgradienten zu erblicken.

3. *Gebäudestörung und Windrichtung.* Zur Erhärtung der Ergebnisse, die aus der Erörterung der drei Einzelfälle folgen, soll noch eine kleine Statistik der registrierten Druckdifferenzen gegeben werden.

Starke Druckdifferenzen Juni 1927.

Dat., Zeit	7. 1 a 40—2 a 40	7. 2 a 40—5 a	7. 5 a—7 a	7. 7 a—8 a	7. 9 a—10 a
Mittelwert	+ 5	+ 5 . . + 20	+ 20	+ 20	+ 15 . . + 10
Mittl. Grenzen	+ 3 . . + 7	+ 17 . . + 23	+ 17 . . + 23	+ 17 . . + 23	+ 17 . . + 23
Abs. Grenzen	+ 2 . . + 10	+ 14 . . + 28	+ 14 . . + 28	+ 14 . . + 27	+ 14 . . + 27
Wind	SW x R	SW x R	SW x R	ab 7 a W 8 R	W x N ruhig
Platte	SW x R	SW x R	SW x R	W 8 R	W x N ruhig
Schwankungen	ruhig	stark	mäßig	leicht	ruhig
Dat., Zeit	7. 10 a 20—12 a 20	7. 12 a 30—1 p 50	7. 2 p—3 p	7. 4 p—5 p	7. 6 p—7 p
Mittelwert	+ 12	+ 8	+ 9	+ 6	+ 4
Mittl. Grenzen	+ 10 . . + 14	+ 7 . . + 10	+ 7 . . + 10	+ 5 . . + 7	+ 3 . . + 5
Abs. Grenzen	+ 8 . . + 16	+ 6 . . + 11	+ 6 . . + 11	+ 5 . . + 7	+ 3 . . + 6
Wind	WSW N	WSW N	W 7 ? N	ab 4 p WSW 7 N	ab 6 p WSW 6 N
Platte	WSW N	WSW N	W 7 ? N	ab 4 p WSW 7 N	ab 6 p WSW 6 N
Schwankungen	leicht	ruhig	leicht	ruhig	ruhig
Dat., Zeit	8. 10 p—9. 1 a	19. 10 p 20—20. 3 a 20	20. 6 p—8 p	20. 8 p—12 p	22. 3 p 15—25
Mittelwert	+ 10	+ 5	+ 12	+ 9	+ 15
Mittl. Grenzen	+ 7 . . + 12	+ 4 . . + 6	+ 9 . . + 16	+ 8 . . + 11	+ 13 . . + 16
Abs. Grenzen	+ 5 . . + 16	+ 2 . . + 8	+ 2 . . + 20	+ 5 . . + 12	+ 10 . . + 18
Wind	ab 10 p W 8 R	ab 10 p W—WSW 6—7 R	ab 6 p W 8—9 R, ab 7 p N	ab 8 p WNW 8 N	ab 3 p WSW 8 R
Platte	W 8 R	W—WSW 6—7 R	ab 6 p W 8—9 R, ab 7 p N	ab 8 p WNW 8 N	ab 3 p WSW 8 R
Schwankungen	leicht	ruhig	stark	ruhig (Wasser?)	leicht
Dat., Zeit	22. 4 p 10—7 p 10	24. 1 a—6 a	25. 1 a—2 a	25. 2 a—3 a	25. 5 p—9 p
Mittelwert	+ 8	+ 5	+ 7	+ 9	+ 5
Mittl. Grenzen	+ 7 . . + 10	+ 4 . . + 6	+ 4 . . + 11	+ 3 . . + 15	+ 4 . . + 6
Abs. Grenzen	+ 5 . . + 14	+ 2 . . + 9	0 . . + 18	0 . . + 25	+ 3 . . + 15
Wind	ab 4 p NW—WNW 8—9 N	ab 1 a WNW—WSW 7 N	ab 1 a SW 8—9 R	SW 9—11 R	ab 5 p WSW 6 R
Platte	NW—WNW 8—9 N	ab 1 a WNW—WSW 7 N	ab 1 a SW 8—9 R	SW 9—11 R	ab 5 p WSW 6 R
Schwankungen	ruhig (Wasser?)	ruhig	stark	wild	ruhig

Schwankungen der Druckdifferenz um Null Juni 1927.

Dat., Zeit	1. 7p 20—9p 20	6. 6p 10—7p 10	8. 2a—4a 20	8. 6a 40—7a 40	8. 8a—1p
Mittelwert	+ 1	0	- 3	- 5	0
Mittl. Grenzen	0 . . + 2	- 3 . . + 3	0 . . - 7	+ 2 . . - 10	+ 5 . . - 3
Abs. Grenzen	- 1 . . + 3	- 7 . . + 5	+ 4 . . - 11	+ 11 . . - 21	+ 9 . . - 9
Wind	ab 7p SSW 8	ab 6p SW 8	SW x N	ab 7a SW 10 N	SW x R
Platte	?	R	sehr stark	N	stark
Schwankungen	leicht	stark		wild	
Dat., Zeit	19. 2p 30—6p	19. 6p—10p	20. 3a 20—6a 40	22. 4a—7a	23. 10p—11p
Mittelwert	0	+ 2	+ 1	+ 1	- 1
Mittl. Grenzen	- 5 . . + 5	0 . . + 6	0 . . + 3	- 2 . . + 4	0 . . - 4
Abs. Grenzen	- 8 . . + 9	- 3 . . + 13	- 2 . . + 7	- 5 . . + 8	+ 2 . . - 8
Wind	ab 2p SW 8	ab 6p SW 8—7 R	ab 3a SW 6—8 R	ab 4a SW 9—7 R ?	ab 10p SW 6—7 N
Platte	R	R	R	R	N
Schwankungen	stark	mäßig	leicht	mäßig	mäßig
Dat., Zeit	24. 8a—12a	24. 12a—2p	24. 2p 30—4p 30	24. 4p 35—5p	25. 6a—12a
Mittelwert	- 1	- 1	- 1	+ 2	0
Mittl. Grenzen	0 . . - 4	0 . . - 5	+ 4 . . - 6	+ 5 . . - 1	+ 5 . . - 3
Abs. Grenzen	+ 2 . . - 10	+ 2 . . - 10	+ 6 . . - 11	+ 10 . . - 3	+ 11 . . - 8
Wind	ab 8a SW 4—5 N	ab 12a SW 6 N	ab 2p SW 7—8 N	ab 4p SW 8 R	ab 6a SW 8—9 R
Platte	leicht	mäßig	stark	R	stark
Schwankungen	leicht	mäßig	stark	stark	
Dat., Zeit	25. 12a—2p	26. 7a—4p	26. 8p 20—11p	28. 8p—11p	29. 1a 10—2a
Mittelwert	0	+ 2	+ 3	- 3	- 6
Mittl. Grenzen	- 3 . . + 4	0 . . + 5	+ 2 . . + 5	- 2 . . - 5	- 5 . . - 9
Abs. Grenzen	- 5 . . + 8	- 5 . . + 11	0 . . + 10	+ 2 . . - 6	- 2 . . - 11
Wind	ab 12a SW 7	ab 7a SSW—SW 8 R	ab 8p SSW 8 R	ab 8p SW 7 N	ab 1a SW 8 N
Platte	R	R	R	N	N
Schwankungen	mäßig	leicht	leicht	leicht	mäßig

In der vorstehenden Tabelle sind die eingetragenen Druckdifferenzen in mm WS angegeben. 1 mm WS = 0,07 mm Hg. Die Mittelwerte sind in derselben Weise geschätzt wie die der luftelektrischen Elemente. Die angegebenen Windrichtungen sind den Aufzeichnungen des Anemographen Sprung-Fuß entnommen. Die Windgeschwindigkeit ist gleichfalls dem Anemogramm entnommen. Um Anschluß an die Schätzungen von Herrn Schwarz zu erhalten, habe ich folgende Umrechnung benutzt: Beaufort 4 : 6,7 . . . 9,5; 5 : 9,6 . . . 13,0; 6 : 13,1 . . . 16,2; 7 : 16,3 . . . 20,2; 8 : 20,3 . . . 24,3; 9 : 24,3 . . . 29,5 m/s unkorrigierte Windgeschwindigkeit. Die Windwerte sind Stundenmittel. Wo die Windgeschwindigkeiten fehlen, ist das Anemometer nicht gebrauchsfähig (Rauhreif). — Die Bezeichnung der Stärke der Schwankungen „leicht“ usw. wird aus den drei Einzelfällen verständlich. Die Bemerkung „(Wasser?)“ soll darauf hindeuten, daß die Möglichkeit besteht, daß in dem betreffenden Fall in die Druckleitung Wasser eingedrungen ist. — Das Vorzeichen + bedeutet Unterdruck im Zimmer, Platte im Riesengrund; R, auf der Nordseite; N.

Die Statistik ergibt eindeutig folgendes: *Schwankungen um die Nullage treten nur bei SW-Winden auf. WSW bis NW ergeben stets merkliche Druckerniedrigungen* (die anderen Richtungen sind hier nicht vertreten, bzw. es war die Rohrleitung nicht einwandfrei. Schwankungen um die Nullage traten jedenfalls nicht auf).

Dagegen finden sich auch Fälle, in denen bei SW merkliche Druckerniedrigungen auftreten. Ob diese Fälle einer besonderen Windrichtung zuzuordnen sind, die aus dem Anemogramm nicht ersichtlich ist, oder ob sie auf besondere Strömungsvorgänge zurückzuführen sind, die ihre Ursache in der Topographie haben, oder ob andere Gründe mitsprechen, das bleibe dahingestellt.

4. *Gebäudestörung und Windgeschwindigkeit.* Die Abhängigkeit des Unterdruckes von der Windgeschwindigkeit wurde zunächst aus den Registrierungen ermittelt, und zwar aus denen des 20. 6. 11a—6p und 8. 6. 7p30—10p. Dabei wurden nur solche Zeitintervalle benutzt, bei denen die Windgeschwindigkeit mindestens 2 Minuten den gleichen Wert besaß oder sich höchstens um 1 m/s änderte. Jedem solchen Zeitintervall wurde nur ein Wert der Druckdifferenz zugebilligt, auch wenn es mehr als 2 Minuten betrug. Außerdem wurden für markante Böen der Unterdruck eingezeichnet, mit demselben Zeichen versehen, aber noch durch einen kleinen Kreis umschlossen. Die Ergebnisse sind in Abb. 11 dargestellt. Abscisse ist die korrigierte Windgeschwindigkeit in m/s, Ordinate der Unterdruck im Zimmer in mm Hg.

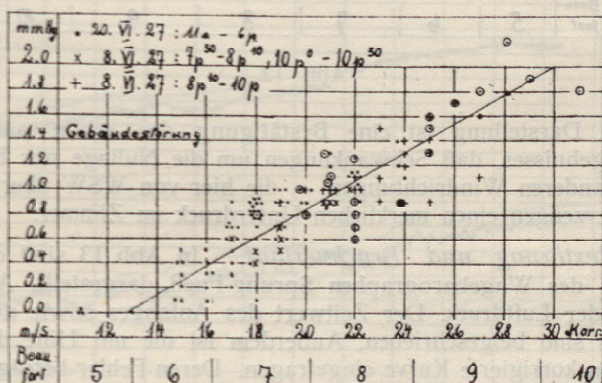


Abb. 11.

Demnach ist der Unterdruck im Zimmer für Windgeschwindigkeiten unter 13 m/s von Null merklich nicht verschieden. Dann steigt er im Mittel linear¹⁾ mit der Windgeschwindigkeit an, erreicht 1 mm Hg bei rund 22 m/s und 2 mm Hg bei rund 30 m/s. Die vorherrschende Windrichtung lag hier zwischen WSW und WNW, doch dürfte das Ergebnis Gültigkeit haben für alle Richtungen von WSW—N einschließlich der Grenzen. Die Streuung um diese Mittelwerte nimmt mit der Windgeschwindigkeit rasch ab. Sie erklärt sich durch den Einfluß der Windrichtung (Anblas-Richtung), vor allem durch den Umstand, daß die Windgeschwindigkeit in einem Zeitraum von einer Minute immer noch erheblichen Schwankungen unterworfen ist.

Um für einen größeren Bereich der Windrichtungen die Größe des Unterdruckes darzustellen, wurden weiter sämtliche Einzelbeobachtungen herangezogen, die in der Zeit vom 13. 4. bis 20. 9. 1927 angestellt worden sind. In ihnen ist NW

¹⁾ Wenn man will, kann man die hier benutzte Annäherung (Abscisse und eingezeichnete Gerade) durch eine Parabel ersetzen, hier sowohl wie in VI, 4.

und NNW zahlreich vertreten. Hier wurde die Druckdifferenz im Gegensatz zu den obenstehenden Beobachtungen aus den Ablesungen zweier Barometer ermittelt, deren eines mit dem Zimmer frei kommunizierte, deren anderes an die Platte angeschlossen war. Die Differenzen sind unsicherer als in dem oben dargestellten Falle. Sie sind in Abb. 12 dargestellt. Der Unterdruck für $v \leq 10$ m/s ist $\leq 0,1$ mm Hg. Die in Abb. 11 und Abb. 12 dargestellten Ergebnisse sind nicht strenge miteinander vergleichbar. Der Unterdruck ist hier kleiner als im ersten Falle. Er erreicht 1 mm Hg erst bei 24 m/s gegen 21,5 m/s im ersten Falle. Das Bild als ganzes ändert sich dagegen nicht.

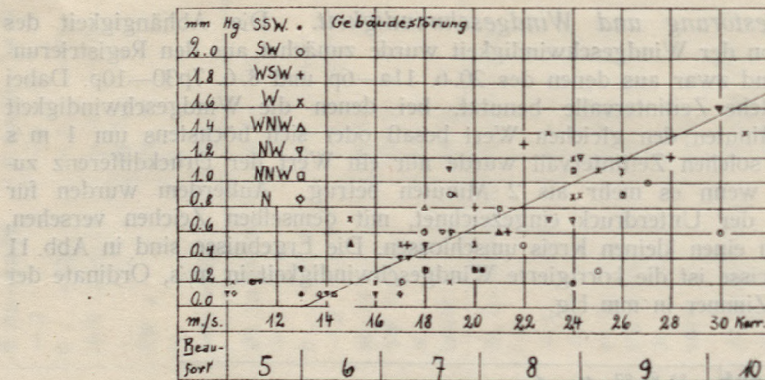


Abb. 12.

Die zweite Darstellung ist eine Bestätigung des schon aus der Statistik abgeleiteten Ergebnisses, daß Schwankungen um die Nullage nur bei SW-Winden auftreten. Alle anderen Windrichtungen — die hier von WSW über W bis N vertreten sind — erzeugen einen merklichen Unterdruck im Zimmer.

5. *Gebäudestörung und Druckverlauf.* In Abb. 13 sind die Pausen der Registrierungen des Wagebarographen Sprung-Fueß dargestellt. Abscisse ist die Zeit, Ordinate der Luftdruck. Der Zeitwert des Anfanges sowie der Absolutwert des Luftdruckes sind beigeschrieben. Außerdem ist die mit Hilfe der gemessenen Druckdifferenzen korrigierte Kurve eingetragen. Deren Fehler beträgt $\pm 0,2$ mm Hg, insbesondere erscheinen die eingezeichneten Nasen sichergestellt. In den als roh bezeichneten Teilen der korrigierten Luftdruckkurve betragen die möglichen Fehler $\pm 0,4$ mm Hg, die Feinheiten sind hier nicht mehr sichergestellt.

Ich beginne wieder mit der makroskopischen Betrachtung. Hierfür sind die beiden Fälle vom 8. 6. 1927 und 22. 6. 1927 von besonderer Wichtigkeit. Beide zeigen eindeutig und vollkommen sicher, daß unter Umständen *der durch die Gebäudestörung erzeugte Unterdruck im Zimmer den wahren Druckverlauf umzukehren imstande ist: An Stelle einer positiven Druckstufe wird eine negative Druckstufe erzeugt.*

Auf Grund dieses makroskopischen Befundes erscheinen die in der Feinstruktur auftretenden Druckstufen am 20. 6. 4p30 und 5p30 sichergestellt. Die in Abb. 13 dargestellten Kurven des Druckes außerhalb der Gebäudestörung sind unabhängig von denen der Abb. 5—9 konstruiert worden. Ein Vergleich zwischen beiden zeigt, daß hier die Auswertungsgenauigkeit hinreicht, um die Überkompensation der positiven Druckstufe durch die Gebäudestörung zu behaupten.

Die rekonstruierten positiven Druckstufen werden in zwei Fällen auch durch den Verlauf der Temperatur und die Registrierungen der Fußstation Arnsdorf gestützt.

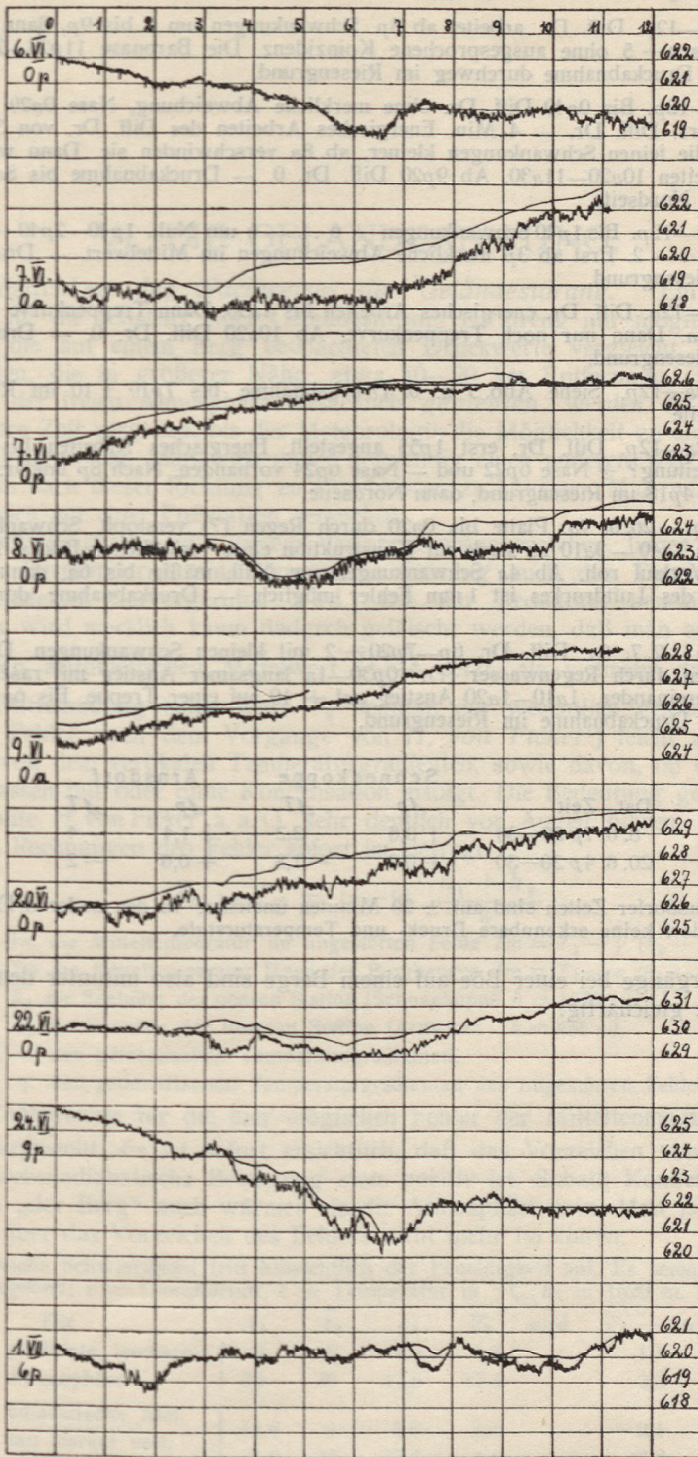


Abb. 13.

Bemerkungen zur Abb. 13. (Angabe der Druckdifferenzen in mm WS.)

6. 6. 12a—12p. Diff. Dr. arbeitet ab 3p. Schwankungen um 0 bis 9p, dann Mittelwert + 1 mit Nasen + 5 ohne ausgesprochene Koinzidenz. Die Baronase 11p23—27 fehlt im Diff. Dr. — Druckabnahme durchweg im Riesengrund.

7. 6. 0a—12p. Bis 0a40 Diff. Dr. ohne merkliche Abweichung, Nase 0a20 vorhanden, damit Zeitkorr. Diff. Dr. — 4 Min. Energisches Arbeiten des Diff. Dr. von 3a—7a. Ab 7a werden die feinen Schwankungen kleiner, ab 8a verschwinden sie. Dann wieder energisches Arbeiten 10a20—11a30. Ab 9p20 Diff. Dr. 0. — Druckabnahme bis 8a15 Riesengrund, dann Nordseite.

8. 6. 12a—12p. Bis 1p40 Schwankungen + 6 . . — 6 um Null. 1p40—2p40 — 2 . . + 5, 2p40—50 0 . . — 2. Erst ab 3p merkliche Abweichungen im Mittelwert. — Druckabnahme durchweg Riesengrund.

9. 6. 0a—12a. Diff. Dr. energisches Arbeiten bis 1a50. Dann Treppenkurve mit spitzen Nasen bis 4a. Dann nur noch Treppenkurve. Ab 10a20 Diff. Dr. 0. — Druckabnahme durchweg Riesengrund.

20. 6. 12a—12p. Siehe Abb. 5 u. 6. Druckabnahme bis 7p10 ± 10 im Riesengrund, dann Nordseite.

22. 6. 12a—12p. Diff. Dr. erst 1p55 angestellt. Energisches Arbeiten bis 5p. Dann Wasser in Leitung? + Nase 6p22 und — Nase 6p24 vorhanden. Nach 8p unklar. — Druckabnahme bis 4p18 im Riesengrund, dann Nordseite.

25. 6. 9p—26. 6. 9a. Platte bis 0a20 durch Regen (?) verstopft. Schwankungen des Diff. Dr. von 1a40—3a10 zu stark zur Konstruktion eines verlässlichen Bildes. Darstellung im ganzen Verlauf roh. Ab 4a Schwankungen um Null, mäßig bis 6a, dann stark. Im Absolutwert des Luftdruckes ist 1 mm Fehler möglich. — Druckabnahme durchweg im Riesengrund.

1. 7. 6p—2. 7. 6a. Diff. Dr. 6p—7p20 + 2 mit kleinen Schwankungen, Dann starke Schwankungen durch Regenwasser (?). 10p30—1a langsamer Anstieg mit raschem Abfall viermal hintereinander. 1a10—1a20 Anstieg auf + 10 auf einer Treppe. Bis 6a schwaches Arbeiten. — Druckabnahme im Riesengrund.

Dat., Zeit	Schneekoppe		Arnsdorf	
	Δp	ΔT	Δp	ΔT
8. 6. 7p 20—30	+ 0,6	— 2,2	+ 1,4	— 4
20. 6. 4p 20—30	+ 0,2	— 1,8	+ 0,6	— 2

Die Arnsdorfer Zeiten sind auf ± 20 Minuten unsicher. In den anderen Fällen findet sich in Arnsdorf keine erkennbare Druck- und Temperaturstufe.

Die Vorgänge bei einer Böe auf einem Berge sind also mitunter denen in der Ebene ganz gleichartig.

VI. DIE GELÄNDESTÖRUNG.

1. *Möglichkeit des Nachweises der Geländestörung.* Ein eindeutiger Nachweis für die Existenz einer Geländestörung ist streng nur möglich dadurch, daß man die auf einem Berg beobachteten Druckwerte vergleicht mit solchen Druckwerten, die in größerer Nähe, etwa 10—20 km Entfernung, im gleichen Niveau in der freien Atmosphäre tatsächlich *gemessen* werden. Es wird wohl noch längere Zeit vergehen, bis der Meteorologie die Möglichkeit zu einem solchen Vergleich gegeben ist. Man wird daher notwendig einen anderen Weg beschreiten müssen, um nach dieser Richtung zu Ergebnissen zu kommen. Man wird zunächst den Vergleich mit einer Fußstation versuchen.

Die Schwierigkeiten, die diesem Verfahren entgegenstehen, liegen darin, daß durch das Berghindernis eine dynamische Störung auch des Temperatur- und Feuchtigkeitfeldes hervorgerufen wird. Die zur Reduktion benötigte Mitteltemperatur wird merklich kaum dadurch gefälscht werden, daß man an Stelle des wahren den arithmetischen Mittelwert $\frac{T_1+T_2}{2}$ setzt, als vielmehr dadurch, daß man zur Mittelbildung einen Wert T_2 benutzt, der wesentlich gestört ist. Man kann den Fehler nach dem Vorgange von *H. von Ficker*¹⁾ leicht angeben. Er hängt ab von dem vertikalen Temperaturgradienten, sowie davon, ob die Hebung der Luftmassen mit oder ohne Kondensation erfolgt. Die Bedeutung gerade dieser Frage konnte *H. von Ficker* a. a. O. sehr deutlich vor Augen führen. Man erhält aus seinen Rechnungen den Fehler sofort im Betrage

$$\bar{T}_m - T_m = (\alpha - \gamma) \frac{h_1 + h_2}{2},$$

wo \bar{T}_m die Mitteltemperatur im ungestörten Felde $\bar{T}_m = T_1 - \gamma (h_2 - h_1)$,

T_m die Mitteltemperatur längs des Berghanges $T_m = T_1 - \alpha (h_2 - h_1)$,

h_1 die Seehöhe der oberen Station (Schneekoppe $h = 1620$ m),

h_2 die Seehöhe der unteren Station (Arnsdorf $h = 455$ m),

α den adiabatischen Temperaturgradienten,

γ den geometrischen Temperaturgradienten des ungestörten Feldes.

Die Zahlenwerte für die hier möglichen Fehler der Mitteltemperatur sind in Abb. 14 dargestellt. Es ist sofort ersichtlich, daß das Vorzeichen von $\bar{T}_m - T_m$ nur für trockenadiabatische Bewegung stets positiv ist. Sobald Kondensation eintritt, kann „der Berg“ auch wärmer als die Atmosphäre sein. Man ist sich dann also auch über das Vorzeichen des Fehlers nicht mehr im klaren.

Die gleiche Schwierigkeit tritt hinsichtlich der Feuchtigkeit auf. Es seien hierfür vier Beispiele gegeben: e = Dampfdruck, t = Temperatur in °C, $h_2 = 1620$ m, $h_1 = 455$ m.

Für	t_1	t_2	e_1	e_2	wird	$\bar{e}_m - e_m$
gesättigte, isotherme	0	0	4,6	4,6		1,1
Atmosphäre	20	20	17,5	17,5		2,2
adiabatische Atm.	11,6	0	4,6	0,4		-2,1
mit starker vert. Feuchtigkeitsabn.		31,6	20	17,5	1,8	-7,8

¹⁾ *H. von Ficker*, *Met. Zeitschr.* 1913, S 278.

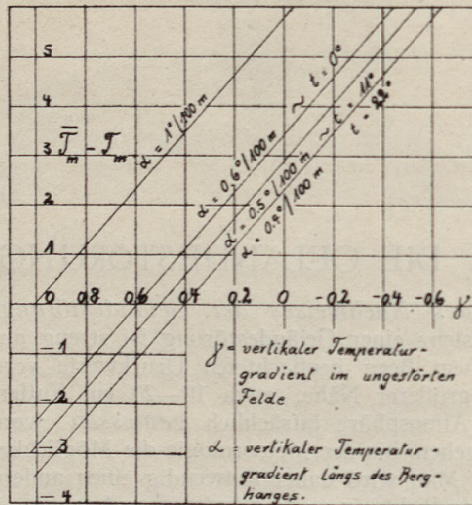


Abb. 14.

Wenn der Einfluß der Feuchtigkeit auf das Reduktionsergebnis auch gering ist, und hier extreme Fälle herausgegriffen sind, so ist es doch von Wichtigkeit, die eben angeführten Ergebnisse vor Augen zu haben.

Diese Überlegungen ergeben also folgendes: *Durch die Benutzung der im allgemeinen dynamisch gestörten Lufttemperatur der Bergstation zur Berechnung der Mitteltemperatur ist der Vergleich zwischen beobachtetem und reduziertem Druck kein Kriterium mehr für die Richtigkeit des einen oder anderen. Insbesondere ist eine Übereinstimmung beider kein Beweis für die Richtigkeit des beobachteten Druckes.*

Der Vollständigkeit halber sei hier das Ergebnis von einigen Reduktionen mitgeteilt.

Reduktionsmethode. Den nachfolgenden Reduktionen liegt die Laplacesche Formel zugrunde (vgl. Hann, Lehrbuch, 3. Aufl., S. 810). Statt des Mittelwertes $\frac{1}{2} \left(\frac{e_1}{p_1} + \frac{e_2}{p_2} \right)$

wurde stets $\frac{e_1 + e_2}{p_1 + p_2}$ benutzt. Der Fehler ist

$$\delta \left(\frac{e}{p} \right)_m = \frac{1}{2} \left(\frac{e_1}{p_1} + \frac{e_2}{p_2} \right) - \frac{e_1 + e_2}{p_1 + p_2} = -e_1 \frac{p_1 - p_2}{4 p_1^2} + e_2 \frac{p_1 - p_2}{4 p_2^2}.$$

Für $p_1 = 715$, $p_2 = 625$, $e_1 = 20$, $e_2 = 0$ wird $\delta \left(\frac{e}{p} \right)_m = 0,00093$, entspricht einem Fehler der Mitteltemperatur von $0,2^\circ$. Da $e_1 = 20$, $e_2 = 0$ wohl kaum erreichte Grenzwerte sind, so erscheint die erwähnte Vereinfachung als zulässig. Davon abgesehen, wurde die vollständige Formel benutzt. Für die logarithmische Rechnung wurde stets der Dampfdruck $6,0$ mm eingesetzt. Die Abweichungen wurden nachträglich durch die Korrektur $+0,05$ δe_m berücksichtigt. Die Konstanten nach den internationalen Tafeln Wild-Mascart, Paris 1890. Die Barometerstände sind natürlich auf Normalschwere reduziert.

Der Gesamtfehler ergibt sich zu

$$\delta p_2 = 0,87 \delta p_1 + 0,05 \delta e_m + 0,33 \delta T_m + \left(0,87 \frac{dp_1}{dt} + 0,33 \frac{dT_m}{dt} \right) \cdot \delta t$$

Für die Ablesefehler muß eingesetzt werden

$$\delta p_1 = \pm 0,2, \delta T_m = \pm 0,3, \frac{dp_1}{dt} \delta t = \pm 0,2, \frac{dT_m}{dt} \delta t = \pm 2^\circ.$$

Damit folgt

$$\delta p_2 = \pm 0,2 \pm 0 \pm 0,1 \pm 0,2 \pm 0,6 = \pm 0,5 \pm 0,6 \text{ mm Hg.}$$

Das vorletzte Glied macht sich hier stärker bemerkbar, da in Arnsdorf entweder die Uhr schlecht gelaufen oder die Zeitmarken unpünktlich gemacht worden sind. Das letzte Glied wird nur in der Nähe von Temperaturstufen merklich werden.

Für die *Messfehler* einen Betrag einzusetzen ist schwierig. Offenbar ist der Arnsdorfer Barograph recht träge. Die Änderung der Korrektur beträgt maximal $1,4$ mm in

7 Stunden (!). In der Auswertung wurde die Korrektur linear verteilt. Wie weit das zutreffend ist, entzieht sich ganz der Beurteilung. Die Unsicherheit im Endresultat dürfte daher durch die Meßfehler nochmals um $\pm 0,3$ mm auf $\pm 0,8$ mm erhöht werden, hinreichende Entfernung von Temperaturstufen vorausgesetzt. In der Nähe von Druck- und Temperaturstufen wird die Vergrößerung der Meßfehler im Druck und der Ablesefehler in der Temperatur die Unsicherheit auf mehr als $\pm 1,0$ mm anwachsen lassen und den Einzelwert treffen.

Schließlich geht noch der Fehler ein, daß man bei der Reduktion die Temperaturen von Arnsdorf und Schneekoppe als repräsentativ ansieht. Das ist aber nach den obigen Erörterungen keineswegs der Fall. Der hieraus entspringende Fehler kann leicht den Betrag von $\pm 1,0$ mm Hg erreichen.

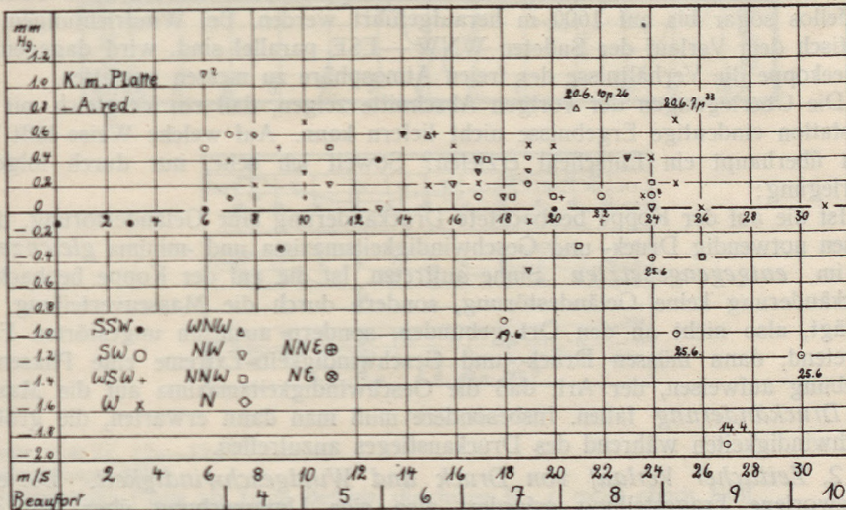


Abb. 15.

In Abb. 15 sind die Differenzen: Druck auf der Koppe, korrigiert wegen Gebäudesörung, — Druck in Arnsdorf, reduziert auf Koppenniveau, als Funktion der Windgeschwindigkeit zur Darstellung gebracht. Man erkennt, daß diese Differenz im allgemeinen positiv ist und um den Mittelwert $+0,3$ mit rund $0,4$ mm nach beiden Seiten hin streut. Aus diesem Bild fallen merklich nur vier Werte heraus, die sämtlich bei SW gemessen worden sind. Von diesen Fällen abgesehen, erweist sich also der „Berg“ kälter als die Atmosphäre. Mit Rücksicht auf die grobe Unsicherheit der reduzierten Werte kann diesem Befunde jedoch keine Bedeutung zuerkannt werden.

Bei der Bearbeitung des Materials wurde ich jedoch noch auf eine zweite Schwierigkeit aufmerksam. Setzen wir einmal ein zweidimensionales Hindernis voraus, der Wind stehe senkrecht darauf. Dann folgt bis zum Gipfel die unterste Stromlinie notwendig dem Gebirgsprofil. Tritt in der anströmenden Luft eine Änderung des vertikalen Temperaturgradienten ein, ohne daß sich dabei die Temperatur am Boden im ungestörten Felde merklich ändert, so wird in der Höhe des Berges im ungestörten Felde die Temperaturänderung $(\gamma_1 - \gamma_2) \cdot z$ auftreten, auf dem Berge dagegen nicht. Es ist somit auch aus der zeitlichen Änderung der „Bergtemperatur“ kein strenger Schluß möglich auf die Änderung der Lufttemperatur im ungestörten Felde in gleicher Höhe. Temperaturstufen, die in der freien Atmosphäre auftreten, werden im allgemeinen nur dann auf einer Bergstation nachweisbar sein, wenn sie auch am Erdboden im ungestörten Felde auftreten.

Diese Überlegungen ergeben also folgendes: *Lehnt sich die unterste Stromröhre an das Bergprofil an, so gestattet die „Bergtemperatur“ im allgemeinen keinen Schluß auf den zeitlichen Temperaturverlauf in Bergeshöhe im ungestörten Felde. Insbesondere ist die Konstanz der „Bergtemperatur“*

kein Beweis dafür, daß die Temperatur im ungestörten Felde in Bergeshöhe im betrachteten Zeitintervall konstant war.

Man wird hiergegen einwenden, daß die Schneekoppe keineswegs ein zweidimensionales Hindernis darstellt. Die Abweichung hiervon ist aber keineswegs so bedeutend, wie man aus der Anschauung heraus anzunehmen geneigt wäre. Vom Koppenplan bis zur Schwarzen Koppe hat die Gratlinie eine Höhe von mehr als 1400 m, so daß die Schneekoppe sozusagen nur 200 m weit in die freie Atmosphäre hinaufreicht. Insbesondere werden bei SW-Winden die Luftmassen auf jeden Fall gezwungen, vom Niveau der Ebene aus die 1400-Meter-Linie zu überschreiten, ja durch die besondere Gestaltung des Schneekoppengipfels (s. Abb. 1) werden sie zweifellos sogar bis auf 1600 m heraufgeführt werden. Bei Windrichtungen, die praktisch dem Verlauf der Sudeten WNW — ESE parallel sind, wird dagegen die Schneekoppe die Verhältnisse der freien Atmosphäre zu messen gestatten.

Die Überlegungen der vorigen Abschnitte zeigen, daß ein Vergleich mit der Fußstation eindeutige Ergebnisse nicht liefern kann. Auf welche Weise läßt sich dann überhaupt ein Entscheid erzielen? Soweit ich sehe, nur durch folgende Überlegung:

Ist die auf der Koppe beobachtete Druckänderung eine Geländestörung, dann müssen notwendig Druck- und Geschwindigkeitsmaxima und -minima *gleichzeitig* und im *entgegengesetzten* Sinne auftreten. Ist die auf der Koppe beobachtete Druckänderung keine Geländestörung, sondern durch die Massenverteilung auf-geprägt, also nicht an den Ort gebunden, sondern auch im ungestörten Felde auftretend, dann müssen Druck- und Geschwindigkeits-Extreme eine Phasenverschiebung aufweisen, der Art, daß die Geschwindigkeitsmaxima auf die Maxima der *Druckänderung* fallen. Insbesondere muß man dann erwarten, die größten Geschwindigkeiten während des Druckanstieges anzutreffen.

2. Zeitlicher Verlauf von Druck und Windgeschwindigkeit. Die eben aufgeworfene Fragestellung erfordert also eine Untersuchung über den zeitlichen Verlauf von Druck- und Windgeschwindigkeit. In den Abb. 16—20 ist für einige besonders markante Fälle der Verlauf von Druck und Geschwindigkeit dargestellt. Ordinaten sind

- a) Der Druck im Zimmer p_z nach dem Wagebarographen Sprung-Fuß, gepaust.
- b) Der wegen der Gebäudestörung korrigierte Druck $p_z + \mathcal{A}$, fein ausgezogen.
- c) Der von Arnsdorf auf das Koppenniveau reduzierte Druck, gestrichelt. Die zur Reduktion benutzten Zeitpunkte sind gekennzeichnet. Über die Genauigkeit s. VI, 1.
- d) Der Druck im ungestörten Felde, punktiert. S. VI, 4.
- e) Die Windgeschwindigkeit auf der Koppe in m/s nach dem Anemographen Sprung-Fuß, unkorrigiert. Mittelwert für 10 Minuten, für die Intervalle 0—10 m, 10—20 m usw.

Abzisse ist die Zeit. Zeitkorrekturen gleich Null. Die hier benutzten Registrierinstrumente Sprung-Fuß werden durch Pendeluhrn getrieben, die ein Kompen-sationspendel besitzen.

Die Darstellungen zeigen eindeutig, daß Druck und Geschwindigkeitsänderungen in den hier angeführten Fällen gleichzeitig und im umgekehrten Sinne erfolgen. In den hier dargestellten Fällen ist die Existenz der Geländestörung somit nachgewiesen.

Es könnte hier noch das Bedenken auftauchen, daß in sämtlichen hier behandelten Fällen die Gebäudestörung praktisch gleich 0 ist, dafür eine der Gebäudestörung in der Größenordnung gleiche Geländestörung auftritt. Demgegenüber sei nochmals auf die ausführliche Erörterung über die Meßgenauigkeit hingewiesen, die einen Zweifel nicht aufkommen läßt. Entscheidend ist, daß sich hier $\mathcal{A} = 0$ ergab, unabhängig davon, ob sich die Platte im Riesengrund oder auf der Nordseite befand.

3. Geländestörung und Windrichtung. Wie schon in Kap. V, 3 dargelegt, zeigt der wegen der Gebäudestörung korrigierte Druck bei W — NW keinerlei Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit. Bei W — NW ist daher die Gelände-

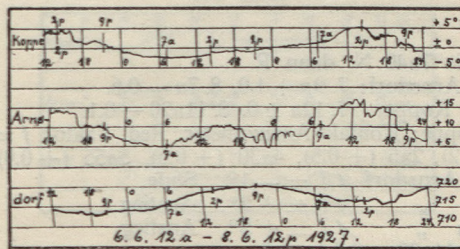
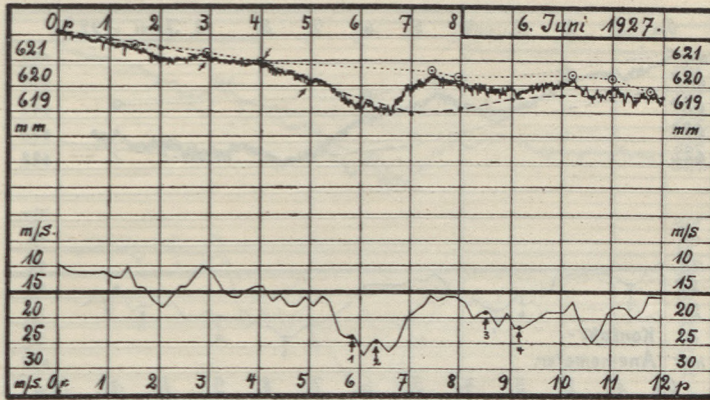


Abb. 16.

Datum: 6. 6. 27, 12a—12p.

Windrichtung: SW.

Druckabnahme: Platte ab 3p in Betrieb, durchweg R. Δ meist gleich Null.

Korr. d. Barographen Arnsdorf: 2p + 1,0, 9p + 0,2.

Korr. d. Barographen Koppe: ± 0 .

Windgeschwindigkeit Koppe: Anemograph Sprung-Fueß.

Festpunkte: 1p30, 2p55, 4p0.

Hilfspunkte: 7p25 (+0,2), 7p55 (+0,2), 10p15 (+0,3), 11p0 (+0,4), 11p45 (+0,2).

Unstetigkeiten: 4p30 Koppe $\Delta T = -2^\circ$, deutliche StufeArnsdorf $\Delta p = +0,4$ " " "Arnsdorf $\Delta T = -3^\circ$ " " "Wetter Koppe: 2p 7¹, \equiv 2 4p45 - n, ab 5p meist mit ☉.Wetter Arnsdorf: 2p S 4, 4¹ ☉; 9p SW 6, 6².Wetter Milovice: 2p S 3, 7² ☉; 9p SW 4, 5².

Wetterlage: 6. 6. 8a T. 750 Holland,

6. 6. 7p T. 750 Brandenburg,

7. 6. 8a T. 750 Hinterpommern.

störung praktisch gleich Null. — Da in dem hier zur Verfügung stehenden Beobachtungszeitraum nur Stürme mit der Windrichtung SW—NW auftraten, so bleibt nur noch die Geländestörung bei SW zu erörtern. Die nachfolgend behandelten fünf Einzelfälle weisen daher die Windrichtung SW auf.

4. *Geländestörung und Windgeschwindigkeit.* Um den Zusammenhang zwischen Geländestörung und Windgeschwindigkeit zu ermitteln, bedarf es der Kenntnis des Druckes im ungestörten Felde, wie in VI, 1 eingangs ausführlich dargestellt. Diese fehlt. Man muß also, wenn man sich nicht beschränken will, diese durch irgendeine Arbeitshypothese ersetzen. Es bieten sich zwei Wege dar, beide haben notwendig folgenden Ausgangspunkt gemeinsam: *Der auf der Koppe beobachtete Druck ist höchstens so groß wie der Druck im ungestörten Felde.* Zunächst wurden daher die Zeitpunkte aufgesucht, in denen die Windgeschwindigkeit sicher zu klein ist, um eine merkliche Geländestörung hervorzurufen. Als Schwellenwert wurden 15 m/s des unkorrigierten Anemographen Sprung-

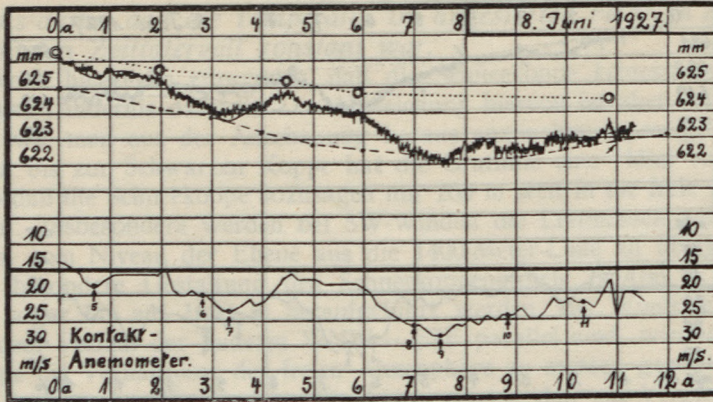


Abb. 17.

Datum: 8. 6. 27, 0a—12a.

Windrichtung: SW.

Druckabnahme: Platte bis 7a40 N, dann R.

Korr. des Barographen Arnsdorf: 7.9p + 1,0, 8.7a — 0,6.

Korr. des Barographen Koppe: 7.12a ± 0, 8.11a20 — 0,1.

Windgeschwindigkeit Koppe: Kontakt-Anemometer, Red. Faktor $f = 0,87$ gesetzt.

Hilfspunkte: 11p55 (+0,2), 2a5 (+0,5), 4a30 (+0,6), 5a55 (+0,9), 10a50 (+0,9).

Unstetigkeiten: 3a Arnsdorf $\Delta T = -1^\circ$, Stufe.

5a0—30 „ $\Delta T = +2^\circ$, Anstieg.

9a—10a „ $\Delta T = +5^\circ$, Anstieg.

Wetter Koppe: 7.9p 3°, 11p30 — 8.6.4p ≡ 2.

Wetter Arnsdorf: 7a NE 4, 9 2°; 2p N 2, 9 2°.

Wetter Milovice: 7a S 3, 9 2°; 2p WNW 3, 10 2°.

Wetterlage: 7. 6. 8a T 760 Westl. Ärmelkanal,

7. 6. 2p T 759 Ost-England,

8. 6. 8a T 754 Schleswig-Holstein,

8. 6. 2p T 751 Vorpommern.

Noch 8a östlich der Linie Stettin—Dresden—Eger ausgesprochene SSE—SSW-Strömung Deutschland, Böhmen, Ungarn (Vorderseite).

Fuß angesehen, was 12 m/s des korrigierten Kontaktanemometers und vielleicht 10 m/s Windgeschwindigkeit außerhalb der Gebäudestörung entspricht. Diese Punkte wurden als *Festpunkte* bezeichnet. — Wo solche Festpunkte fehlen, wurden *Hilfspunkte* aufgesucht, in denen die Windgeschwindigkeit nicht allzuviel über den Schwellenwert hinausgeht. An den dort registrierten Druckwerten wurde eine — naturgemäß kleine — Korrektur angebracht, die den vorher gewonnenen Resultaten über die Größe der Geländestörung entspricht.

Die Arbeitshypothesen lauten dann:

a) Zwischen den *Festpunkten* bzw. *Hilfspunkten* ist der Druckverlauf außerhalb der Geländestörung geradlinig.

b) Zwischen den *Festpunkten* bzw. den *Hilfspunkten* ist der Druckverlauf außerhalb der Geländestörung unstetig.

Im Falle b) zerlegt man die in Betracht kommenden Zeiträume in solche Zeitintervalle, in denen die Beobachtungen von Arnsdorf und Schneekoppe Unstetigkeiten nicht aufweisen. Dann berechnet man, von den *Festpunkten* um das Zeitintervall Δt vorwärts- und rückwärtsschreitend, den Druck zu den anderen Zeiten gemäß

$$\frac{dp_2}{dt} \cdot \Delta t = \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{dp_1}{dt} \cdot \Delta t + p_2 \cdot \frac{gz}{RT_m^2} \cdot \frac{dT_m}{dt} \cdot \Delta t \cong 0,87 \frac{dp_1}{dt} \cdot \Delta t + 0,33 \frac{dT_m}{dt} \cdot \Delta t.$$

Man erhält dann für den Druck im ungestörten Felde eine Reihe von Kurvenzügen, die der Kurve des von Arnsdorf auf das Koppenniveau reduzierten Druckes parallel sind und durch die *Festpunkte* bzw. *Hilfspunkte* gehen.

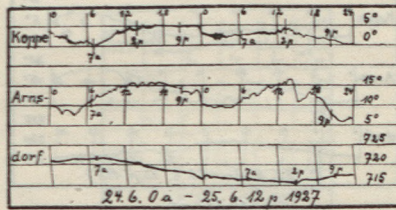
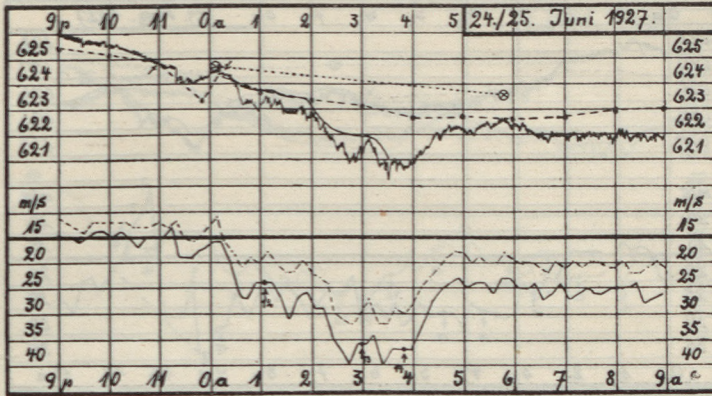


Abb. 18.

Datum: 24./25. 6. 27, 9p—9a.

Windrichtung: SW.

Druckabnahme: Platte R. Korr. wegen Gebäudestörung sehr unsicher, s. S. 28.

Korr. des Barographen Arnsdorf: 24. 9p + 0,8, 25. 7a + 0,6.

Korr. des Barographen Koppe: 24. 11a - 0,1, 25. 3a40 + 0,3, 7a + 0,3, 11a10 + 0,2. In der Zeichnung nicht angebracht.

Windgeschwindigkeit Koppe: Obere Kurve korr. Kontakt-Anemometer, Red. Faktor $f = 0,87$, untere Kurve Anemograph Sprung-Fuß, wie überall unkorrigiert.

Festpunkt: 0a10.

Hilfspunkt: 5a50 (+1,0).

Unstetigkeiten: 11p55—0a10 Koppe $\Delta p = +0,6$.

$\Delta T = -2^\circ$.

Arnsdorf $\Delta p = +1,0$.

$\Delta T = -3^\circ$.

Wetter Koppe: 24. 6p30—25. 12a30 $\equiv 2$.

Wetter Arnsdorf: 25. 7a SW 2, 5¹ ☉.

Wetter Milovice: 7a SSW 2, 6¹ ☉.

Wetterlage: 24. 6. 2p T 750 südliche Nordsee,

25. 6. 8a T 750 Jütland.

Noch 8a östlich der Linie Kopenhagen—Magdeburg—Eger ausgesprochene SW-Strömung einschließlich Böhmen (Vorderseite).

Beide Arbeitshypothesen müssen sich mit folgender *Tatsache* abfinden: Es sei p_2^* der Druck auf der Koppe, p_2 der Druck auf der Koppe, korrigiert wegen Gelände- und Gebäudestörung, p_1 der Druck in Arnsdorf, z die Höhendifferenz der beiden Stationen. Dann werde \bar{T}_m als effektive Mitteltemperatur bezeichnet und durch $\ln \frac{p_2}{p_1} = -\frac{gz}{R\bar{T}_m}$ definiert. Die auffallende Tatsache ist nun, daß $\bar{T}_m - T_m$, wenn $T_m = \frac{T_1 + T_2}{2}$, nach dem Durchzuge eines SW-Sturmgebietes um 3° bis 4° höher ist als vorher, wie die nachfolgende Tabelle zeigt:

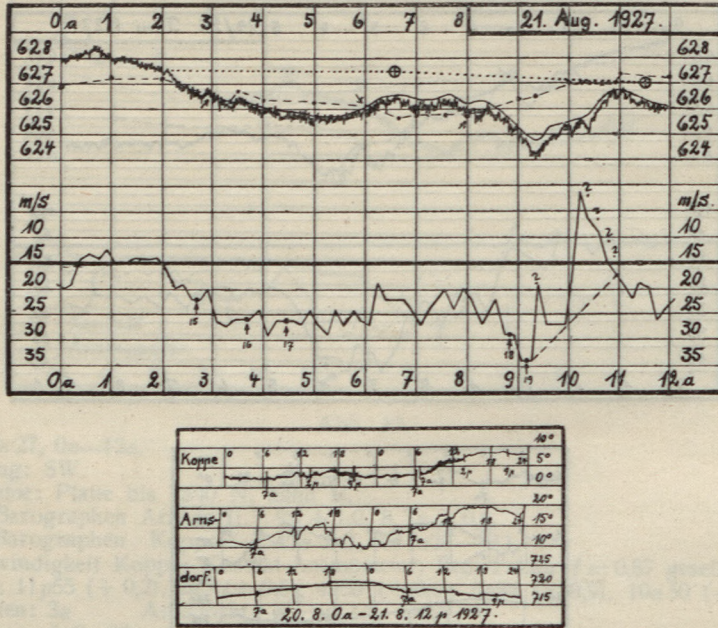


Abb. 19.

Datum: 21. 8. 27, 0a—12a.

Windrichtung: SW.

Druckabnahme: Platte ab 2a in Betrieb. Durchweg R.

Korr. des Barographen Arnsdorf: 20. 9p + 0,7, 21. 7a + 1,4.

Korr. des Barographen Koppe: -0,2. In der Zeichnung nicht angebracht.

Windgeschwindigkeit Koppe: Anemograph Sprung-Fuß (ab 9a20 offenbar gestört. Der Differenzdruckschreiber arbeitet stark, Schwankungen bis 10a30 stark, bis 10a50 mäßig, bis 11a5 leicht, dann wieder stark. Es ist daher unmöglich, bis 10a50 Windgeschwindigkeiten unter 20 m/s anzuerkennen).

Festpunkt: 2a5.

Hilfspunkte: 6a35 (+ 0,9). 11a30 (+ 0,6).

Unstetigkeiten: 3a30 (40?) Arnsdorf $\Delta T = + 2^\circ$, deutliche Stufe.

8a30 Koppe $\Delta T = - 1^\circ$, deutliche Stufe.

Wetter Koppe: ab 20.8p30 $\equiv 1-2 tr.$, n-10a $\equiv 1$, $\odot 1$. Bis 11a30 $\equiv 2 tr.$ Bis 5p45 $\equiv 2$.

Wetter Arnsdorf: 7a SW 8, 8; 2p SW 6, 6¹.

Wetterlage: 21. 8a T 745 nördliche Nordsee.

Noch 8a Deutschland und Böhmen ausgesprochene S-SW-Strömung (Vorderseite).

Dat.	Zeit	p_2^* 600+	p_2 600+	p_1 700+	t_2	t_1	t_m	\bar{t}_m	$\bar{t}_m - t_m$	$\Delta(\bar{t}_m - t_m)$	A^*
6. 6. 27	4p00	20,9	20,9	13,8	4,5	14,4	9,5	9,5	0	+ 5,2	+ 4,6
	7p25	20,3	20,5	12,6	1,9	10,9	6,4	11,6	5,2		
8. 6. 27	2a00	25,1	25,6	19,3	0,6	9,0	4,8	9,3	4,5	+ 2,5	+ 2,2
	4a30	24,6	25,2	18,0	0,8	8,7	4,7	11,7	7,0		
25. 6. 27	0a20	24,9	24,9	17,9	3,4	10,7	7,1	11,0	3,9	+ 0,5	- 2,5
	5a50	22,8	23,8	16,6	2,8	11,0	6,9	11,3	4,4		
21. 8. 27	2a05	27,3	27,3	21,7	3,5	11,3	7,4	8,0	0,6	+ 4,7	+ 2,0
	6a35	26,4	27,3	19,5	4,0	13,9	9,0	14,3	5,3		
9. 9. 27	0p00	27,9	27,9	20,8	6,8	18,3	12,5	12,5	0	+ 3,7	+ 2,6
	7p50	26,0	26,3	18,0	6,3	16,8	11,6	15,3	3,7		

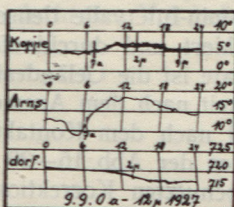
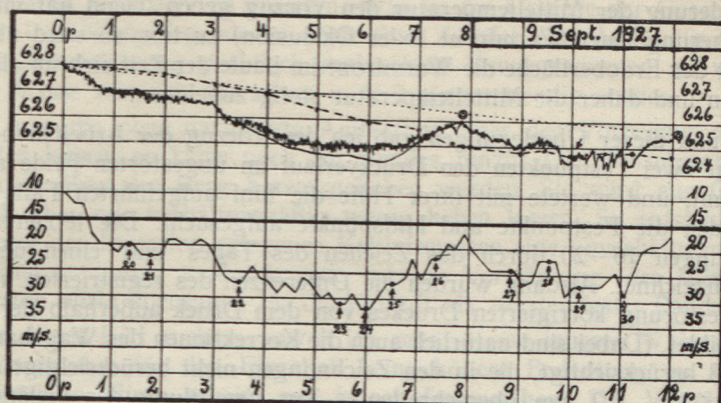


Abb. 20.

Datum: 9. 9. 27, 12a—12p.

Windrichtung: SW.

Druckabnahme: Bis 3p40 N, dann R. 8p10—11p30 verschmiert, jedoch 8p10—10p $\Delta < |0,4|$ 10p—11p $\Delta < |0,2|$, berücksichtigt nur bis 8p.

Korr. des Barographen Arnsdorf: 9. 2p + 2,0, 9p + 0,6.

Korr. des Barographen Koppe: 9. 11a ± 0, 10. 12a—0,1. In der Zeichnung nicht berücksichtigt.

Windgeschwindigkeit Koppe: Anemograph Sprung-Fueß.

Festpunkt: 12a 00.

Hilfspunkte: 7p50 (+0,3), 12p0 (+0,2).

Unstetigkeiten: 6p5 Koppe $\Delta T = -1^\circ$, deutliche Stufe.

Wetter Koppe: durchweg \equiv ; 12a—7p30 $\equiv^\circ tr$, 7p30—8p $\equiv^2 tr$, 8p—n \equiv^2 .

Wetter Arnsdorf: 2p SW 5, 8¹; 9p N 3, 9².

Wetterlage: 9. 9. 8a T 742 Süd-Norwegen,

9. 9. 2p T 742 Skagerrak,

10. 9. 8a T 740 Mittelschweden.

Noch 2p östlich der Linie Kiel—Metz—Deutschland ausgesprochene SW-Strömung (Vorderseite).

In der letzten Spalte ist noch die Differenz $\Delta^* = \Delta (\bar{T}_m^* - T_m)$ angegeben, die man erhält, wenn man die Korrektur wegen der Geländestörung außer acht läßt.

Da beide Arbeitshypothesen in gleicher Weise diese Schwierigkeit zu überwinden haben, so läuft die Wahl zwischen den beiden Arbeitshypothesen lediglich darauf hinaus, sich zu entscheiden, ob man die Zunahme der effektiven Mitteltemperatur als stetig oder unstetig betrachten will. Nun ist die effektive Mitteltemperatur offenbar identisch mit der Mitteltemperatur des ungestörten Feldes (vorausgesetzt, daß im ungestörten Felde der vertikale Druckgradient lediglich durch die Schwerkraft kompensiert wird, wofür alle Erfahrungen sprechen). Nähme die Mitteltemperatur des ungestörten Feldes ab, so würde man einer unstetigen Änderung den Vorzug geben, indem man auf einen Kaltlufteinbruch schließt. Hier nimmt hingegen die Mitteltemperatur zu und man schließt daher notwendig auf einen Warmlufteinbruch — sit venia verbo — und wird daher einer

stetigen Änderung der Mitteltemperatur den Vorzug geben. Denn hat man es mit einer Annäherung einer Warmfront (oder Okklusion) zu tun, so wird über einem festen Punkt der Erdoberfläche die Warmfront im Laufe der Zeit sich im allgemeinen stetig senken und daher die Mitteltemperatur stetig zunehmen.

Auf Grund dieser Überlegungen gab ich den Vorzug der Arbeitshypothese a), die zwischen zwei Festpunkten den Druckverlauf im ungestörten Felde als geradlinig annimmt, und wertete mit ihrer Hilfe die fünf aufgeführten Fälle aus. Zunächst wurden die Festpunkte und Hilfspunkte aufgesucht. Die letzteren sind in den Abbildungen 16—20 durch das Zeichen des Tages und einen umgebenden Kreis gekennzeichnet. Alsdann wurden die Differenzen des registrierten und wegen der Gebäudestörung korrigierten Druckes von dem Druck außerhalb der Geländestörung gebildet. (Dabei sind natürlich auch die Korrekturen des Wagebarographen Sprung-Fueß berücksichtigt, die in den Zeichnungen nicht berücksichtigt sind, aber nur am 24./25. 6. 0,2 mm überschreiten.) Zur Ermittlung der Geländestörung wurden nur solche Punkte benutzt, in denen die Windgeschwindigkeit innerhalb zweier aufeinanderfolgender 10-min-Intervalle denselben Wert besaß. Sie sind in der Geschwindigkeitskurve markiert und durchlaufend nummeriert. Das Ergebnis ist in Abb. 21 dargestellt. Ordinate ist die Geländestörung in mm Hg, Abszisse die unkorrigierte Windgeschwindigkeit nach dem Anemographen Sprung-Fueß und die korrigierte Windgeschwindigkeit nach dem Kontaktanemometer. Eingetragen sind 30 Punkte, deren Nummern denen der Abb. 16—20 entsprechen, außerdem die zur Konstruktion der Hilfspunkte benutzten Korrekturen, gekennzeichnet durch das Zeichen des betreffenden Tages mit einem kleinen Umkreis. Aus der Abb. 21 folgt:

Unter der Annahme eines unteren Schwellenwertes von 12 m/s beträgt bei SW-Wind auf der Koppe die Geländestörung 1 mm Hg bei rund 18 m/s und 2 mm Hg bei rund 25 m/s Windgeschwindigkeit.

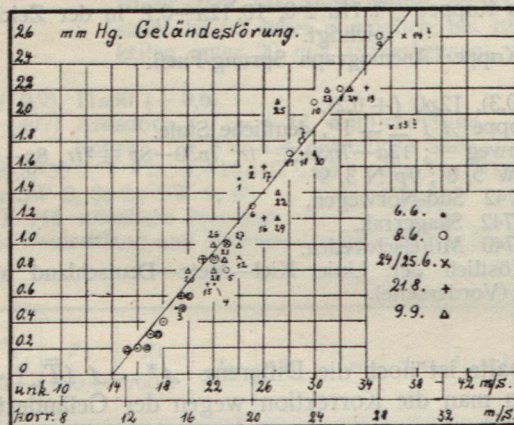


Abb. 21.

Die in der Abb. 21 auftretende Streuung ist sehr gering, das Ergebnis spricht daher für die Arbeitshypothese a). Die noch vorhandene Streuung geht darauf zurück, daß der geradlinige Druckverlauf zweifellos nur eine erste Näherung ist. — Die Arbeitshypothese b) würde an den Unstetigkeitsstellen eine Streuung ergeben, die der Änderung der Mitteltemperatur entspräche, also rund 1—1,5 mm Hg. Zudem wäre die Wahl des Zeitpunktes der Unstetigkeit in vier von fünf Fällen ganz willkürlich, nur am 21. 8. fände sich 3a 30 ein Hinweis auf eine Unstetigkeit. Aber auch da ergäbe sich eine unbegründete Streuung der Geländestörung von 1,5 mm.

Bleibt noch die Frage zu erörtern: Was ist die Ursache der Geschwindigkeitszunahme? Das Nächstliegende ist doch ohne Zweifel, eine Änderung des horizontalen, zur Stromrichtung praktisch senkrechten Druckgradienten zu vermuten, in derselben Weise wie sich das schon in V, 2 als notwendig erwies.

Will man die oben dargelegte Auffassung über den Vorbeizug einer Warmfront gelten lassen, so käme noch ein zweites hinzu: Die Warmfront (Inversion) muß ja auch über den Berg hinweggehoben werden. Sie wird aus Gründen der Statik sich aber nur verhältnismäßig wenig heben lassen. So entsteht notwendig für die unter der Inversion gelegenen Kaltluftmassen eine unverhältnismäßig starke Querschnittsverengung, wodurch eine weitere Verstärkung des Windes eintritt. Die Inversion wirkt sozusagen für die Kaltluft als zweiter fester Rand.

Wenn dieses Bild auch — soweit ich sehe — von inneren Widersprüchen frei ist, so kommt ihm für den Einzelfall keine höhere Bedeutung zu als die einer Arbeitshypothese. Eines scheint mir jedoch festzustehen: Die Vorgänge bei der Windgeschwindigkeitszunahme in der freien Atmosphäre sind in den hier behandelten Fällen ganz anderer Natur als in den V, 4 behandelten Fällen.

SCHLUSS.

Ergebnisse: Es wird eine Methode angegeben, die eine definierte Druckmessung auch im meteorologischen Dauerbetrieb gestattet und eine Unsicherheit von höchstens $\pm 0,2$ mm zurückläßt. Es wird für bestimmte Windrichtungen der Nachweis für eine Gebäudestörung des Druckfeldes erbracht und für andere Windrichtungen eine Geländestörung wahrscheinlich gemacht. Diese werden quantitativ als Funktion der Windgeschwindigkeit dargestellt.

Es ergibt sich für die Schneekoppe:

- a) Bei WSW—NNW eine Gebäudestörung von 0 mm bis 13 m/s
1,0 mm bei 21 m/s
2,0 mm bei 30 m/s¹⁾

Der Druck außerhalb der Gebäudestörung ist praktisch von der Windgeschwindigkeit unabhängig, die Geländestörung also praktisch gleich Null.

- b) Bei SW eine Gebäudestörung, die praktisch gleich Null ist, unabhängig von der Lage der druckabnehmenden Platte (Riesengrund oder Nordseite). Der Druck außerhalb der Gebäudestörung ist eindeutig Funktion der Windgeschwindigkeit. Damit wird eine Geländestörung wahrscheinlich gemacht von 0 mm bis 11 m/s
1,0 mm bei 18 m/s
2,0 mm bei 25 m/s¹⁾

Die Geländestörung bedeckt mindestens den ganzen Koppengipfel, da die vorstehenden Zahlen praktisch für die Lage der druckabnehmenden Platte sowohl im Riesengrund wie auf der Nordseite gelten.

Der Umstand, daß sich bei SW keine Gebäudestörung, aber eine ihr in der Größenordnung gleiche Geländestörung ergibt, ist unschön. Doch ist das Ergebnis durch Unterschiede in der im Nebeltreiben erkennbaren Strömungsform, durch die Lage der Station in Luv oder Lee, sowie durch die Topographie (Steilabfall nach dem Riesengrund) verständlich gemacht.

Anwendung der Ergebnisse: Die Größenordnung der nachgewiesenen Effekte verlangt eine definierte Druckmessung im praktischen meteorologischen Dienste überall da, wo Stürme auftreten und eine quantitative Auswertung der gemessenen Druckwerte in Frage kommt. Zum mindesten verlangt sie eine Bestimmung der Fehlergrenzen für jeden Einzelfall, unabhängig von vorher gewonnenen Vergleichsergebnissen mit reduzierten Bodenwerten. (Solche Nachprüfung verlangt an Gerät: einen Wagebarographen Sprungfuß, einen, besser zwei, Askania-Differenz-Druckschreiber, eine, besser zwei, druckabnehmende Platten, die ständig an verschiedenen Plätzen ausgelegt sind, sowie Registrierung der anderen meteorologischen Elemente, insbesondere auch der Windrichtung.)

- a) Für *Bergstationen* erscheint die Anwendung definierter Druckmessungen insbesondere dann notwendig, sobald man Isobaren für das 1000-Meter-Niveau gewinnen will.
- b) An *Küstenstationen* und in *Gebieten tropischer Wirbelstürme* wird die für die Bergstation angegebene Meßanordnung hinreichende Dienste leisten. Sie erscheint auch hier notwendig. (Vgl. den eindeutigen Zusammenhang zwischen Druck und Geschwindigkeit in der Manila-Zyklone.)
- c) Auch in der *Aerologie* verlangt das Prinzip der störungsfreien Druckabnahme Berücksichtigung, aber nicht nur bei Flugzeugaufstiegen, sondern auch bei Drachenaufstiegen.
- d) Von besonderer Wichtigkeit erscheint es schließlich für die *Druckmessung auf Seeschiffen*. (Vgl. den eindrucksvollen Bericht von E. Boy-Ed, Ann. der Hydrographie u. mar. Met., 1927, S. 324.)

In den letzten beiden Fällen ist die technische Durchführung der störungsfreien Druckabnahme eine Aufgabe für sich.

¹⁾ Das entspricht einem maximalen Fehler der effektiven *Mitteltemperatur* von 6° C für die Schichtdicke Arnsdorf-Schneekoppe.



BIBLIOTEKA GŁÓWNA



31072

Politechniki Gdańskiej