

Zeitschrift für Meteorologie

Herausgegeben

von

R. Süring-Potsdam, Meteorologisches Zentralobservatorium

unter Mitwirkung von

Prof. Dr. **G. Falckenberg**-Warnemünde, Prof. Dr. **W. König**-Potsdam und

Prof. Dr. **F. Schindelhauer**-Potsdam

Heft 13 · Jahrgang 1

Oktober 1947

Sommer folgen müsse. Dies ist jedoch nicht durchweg zutreffend. So folgt nach Hellmann am wahrscheinlichsten auf einen sehr kalten Winter ein sehr kühler Sommer, in dem also die kühlen Perioden häufiger sind als die warmen und die normalen. Auch Hann⁷⁾ gelangte durch Untersuchung der 100jährigen Reihe von Wien zu demselben Ergebnis, und zwar zeigt nach einem sehr kalten oder sehr warmen Winter der folgende Sommer in 70% der Fälle die gleiche Anomalie wie der vorangegangene Winter. So war auch der Leipziger Sommer 1940 nach dem sehr kalten ersten Kriegswinter besonders kalt. Als Ausnahme aus neuerer Zeit ist der warme Sommer 1917 nach dem strengen vorausgegangenen Winter zu nennen, dem sich nun auch der Sommer 1947 angeschlossen hat.

3. Daß zwei sehr strenge Winter unmittelbar aufeinander folgen, ist ein seltenes Vorkommnis, doch im vorigen Jahrhundert immerhin dreimal dagewesen, und zwar handelt es sich um die Winterpaare 1812/13 und 1813/14, 1828/29 und 1829/30, sowie 1846/47 und 1847/48. Dagegen ist ein sehr strenger Winter gar nicht so selten von einem oder mehreren mittelstrengen Wintern begleitet. Dieser Fall trat auch im vergangenen Kriege wieder ein, denn auf den sehr strengen Winter 1939/40 folgte der mittelstrenge 1940/41, dem sich wieder der sehr strenge Winter 1941/42 anschloß. Eine Gesetzmäßigkeit in der Wiederkehr sehr strenger Winter nach bestimmten Zeitintervallen hat Hellmann⁸⁾ in der 150jährigen Berliner Reihe nicht finden können, dergleichen keinen Zusammenhang mit der Sonnenfleckenperiode. Dagegen zeigt sich nach ihm aufs deutlichste eine große Klimaschwankung in dem Sinne, daß die Jahre von etwa 1788 bis 1850 besonders viele strenge Winter, und zwar solche ersten Ranges hatten, und daß seit der Mitte des 19. Jahrhunderts ihre Zahl stark abgenommen hat. Namentlich ist es das Jahrzehnt der vierziger Jahre, wo sich die

⁷⁾ J. Hann, Lehrbuch der Meteorologie. 1906. S. 467.

⁸⁾ G. Hellmann, „Über strenge Winter“, Sitzungsber. d. Kgl. Akad. d. Wissenschaft, Berlin 1917. LII. S. 752.

sehr strengen Winter geradezu häufen und nicht weniger als fünf aufgetreten sind.

4. Einen analogen Fall von bisher vier strengen Wintern haben wir ja nun auch jetzt in den vierziger Jahren aufzuweisen, also genau nach 100 Jahren. Ich möchte an dieser auffälligen Tatsache nicht vorübergehen und wende mich am Schluß meiner Betrachtungen den Forschungen des Franzosen Mémerý sowie des Ingenieurs Dr. Groissmayr, Passau, in Kürze zu. Die 100jährige Witterungsperiode ist nach ihnen keine Utopie, sondern durchaus eine Realität, die Mémerý⁹⁾ für Frankreich und Groissmayr¹⁰⁾ auch für andere Länder nachweisen konnte. Auch Köppen¹¹⁾ schreibt: „Besonders leicht erkennbar sind Wiederholungen nach 100 Jahren.“ Nach Groissmayr ist die 100jährige Periode rein theoretisch genau das Neunfache der einfachen Sonnenfleckenperiode, deren ungleiche Länge ca. 7 bis 14 Jahre sich nach 9 Perioden fast genau auf 100 Jahre ausgleicht. Auch spricht Groissmayr von einem ähnlichen Sonnenfleckenverlauf vor 100 Jahren. Die Korrelation: Sonnenflecken-Relativzahl 1821 bis 1843 mit jenen 1921 bis 1943 gibt 0,87, so daß wir verstehen können, daß zumindest in diesem Zeitraum des 19. und 20. Jahrhunderts ein weitgehender Parallelismus in den Sonnenflecken, aber wie man sich überzeugen kann, auch in den Weltwetterstörungen vorliegt.

Ich bemerke, daß ich vorstehende Ausführungen auf ausdrückliche Erlaubnis des Herrn Dr. Groissmayr hier zur Sprache gebracht habe.

Anschrift des Verfassers: (10) Dresden-Weißer Hirsch, Preußstr. 5.

⁹⁾ Mémerý, „Une période solaire et météorol. de 100 ans (1er article, 2^{ème} article 15. 7. et 15. 1. 35.“ Bulletin de l'Observatoire de Talence).

¹⁰⁾ F. B. Groissmayr, „Säkulare Klimaschwankungen und deren erfolgreiche Anwendung zur Vorhersage d. Dürre- u. Hitzeperiode 1933 u. 1934“. Annal. d. hydr. u. marit. Met. 1936. S. 49.

¹¹⁾ W. Köppen, „Periodizität der strengen Winter“, Annal. d. Hydr. u. mar. Met. Februar 1930. S. 59.

Die Entwicklung eines Barothermographen Teil I

Beitrag zum Problem der Luftdruck- und Temperaturmessung in sehr großen Höhen

Mit 5 Abbildungen

Von Joseph Kölzer, Herrsching am Ammersee

Zusammenfassung: Die Konstruktion von Flüssigkeitsraketen, die in Deutschland etwa von 1934 an Fortschritte machte, veranlaßte den Verfasser zur Wiederaufnahme seiner Versuche, einen Barothermographen für große Höhen zu entwickeln. Die Entwicklung wurde teils durch Rückschläge bei der Konstruktion, teils durch Änderungen bei der Entwicklung der Flüssigkeitsrakete aufgehalten. Im Herbst 1937 wurde eine Versuchsapparatur fertiggestellt, die eine Zweiteilung der Aufgabe der Luftdruckmessung vorsah, nämlich einen sogenannten Grobdruckmesser für Höhen von 0 bis 20 km, bei dem ein Bourdonrohr aus Phosphorbronze verwendet wurde, und einen Feindruckmesser für Höhen von 32 bis etwa 45 km, bei dem eine verbesserte Gasentladungsröhre nach Wellauer als Meßröhre verwendet wurde. Die Versuche haben ergeben, daß unter Berücksichtigung der auftretenden Beschleunigungskräfte diese Methode der Feindruckmessung jeder anderen mechanischen Methode überlegen ist. Für die Temperaturmessung wurden Thermoelemente verwendet. Als Anzeigegeräte für die Meßröhre und die Thermoelemente dienten Präzisionsdrehschulnstrumente (Milliampèremeter) besonderer Bauart. Zur Registrie-

rung wurde eine Schmalfilmkamera benutzt, die — mit einem Kontaktuhrwerk versehen — im 3-sec-Tempo die Zeigerstellung der Anzeigeinstrumente photographierte. Bei der voraussichtlichen Gesamtdauer der Messung von 35 Minuten konnten so rund 700 Registrierungen erfolgen. Die Apparatur wurde in die Rakete eingebaut, aber im Oktober 1937 durch vorzeitigen Absturz der Rakete in die Ostsee vernichtet. Eine neue Apparatur, anfangs unter Mitwirkung des Verfassers, wurde dann von Professor E. Regener in Friedrichshafen entwickelt, die im Herbst 1944 fertiggestellt wurde. Aber auch diese ist in Deutschland nicht mehr versucht worden.

A. Historisches

Die Stratosphäre, in den letzten Dezennien im Brennpunkt des Interesses der Meteorologie, birgt noch einige ungelöste Probleme. Hierzu gehört z. B. der Verlauf von Luftdruck und Temperatur oberhalb 30 km Höhe. Die Aerologie hat seit der Höhenfahrt

von Berson und Süring 1901 und seit der Entdeckung der Stratosphäre durch Teisserenc de Bort und Assmann 1902 sich mit diesem Problem theoretisch und praktisch befaßt. Die praktischen Messungen fanden jedoch an der Leistung der Ballons sondes bzw. Registrierballone in 30 km Höhe etwa ihre Grenze. Für gewisse theoretische Überlegungen bilden die Ergebnisse aus dem Gebiet der anomalen Schallausbreitung (1) und besonders der Ozonforschung (2) eine Stütze, jedoch enthält das Problem noch verschiedene ungelöste Fragen, weshalb exakte Messungen aus den Höhen oberhalb 30 km schon erwünscht wären. Nach neueren Nachrichten aus Amerika, auf die ich noch zurückkomme, scheint die Verwirklichung derartiger exakter Messungen nahe bevorzustehen. Es erscheint daher zweckmäßig, über gewisse Vorarbeiten auf diesem Gebiet aus den Jahren 1935 bis 1938, die bisher nicht veröffentlicht werden konnten, zu berichten.

B 1. Stand der theoretischen Kenntnisse

Zur Berechnung des Luftdrucks in der Höhe benutzt man die sogen. barometrische Höhenformel:

$$H = 628,6 R/g (\log p_0 - \log p_1) T_m$$

(R = Gaskonstante, g = Erdbeschleunigung, p_0 und p_1 = Luftdruck am Boden und in der Höhe, T_m = Mitteltemperatur abs.)

Zur exakten Ermittlung des Luftdrucks muß man dabei plausible Annahmen über die Temperatur der Atmosphäre machen. Auf Grund der Arbeiten der Schallkommission in der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft unter Vorsitz von H. Hergesell und E. Wiechert sind seit 1923 die verschiedenen Ansichten über den Temperaturaufbau in der Atmosphäre geklärt worden (1). Die bis 1938 geltenden Anschauungen über die Temperaturverteilung sind nachfolgend in Tabelle 1 zusammengestellt.

heranzieht, wie es in den Annahmen von Hergesell, Wiechert, Duckert, von mir und teilweise auch von Gutenberg geschehen ist (die Annahme II von Gutenberg ist von mir schon früher als unwahrscheinlich bezeichnet worden), so sieht man, daß sich die verschiedenen Annahmen über den Temperaturaufbau der Atmosphäre für die größeren Höhen oberhalb 30 km doch erheblich auswirken, womit allein schon der eingangs erwähnte Wunsch nach exakten Messungen aus diesen Höhen begründet erscheint.

C 1. Die bisherigen Messungen und die Entwicklung eines Barothermographen

Wie steht es nun mit den direkten Messungen aus diesen Höhen? Alle mit Registrierballonen oder Ballons sondes ausgeführten Temperatur- und Luftdruckmessungen in den letzten 30 Jahren haben bei 30 km Höhe ihre Grenze gefunden. Eine sorgfältig vorbereitete Serie von Hochaufstiegen von Wigand (3) hat in zwei Fällen Höhen von 34 000 bzw. 35 000 m erreicht, jedoch kann aus verschiedenen Gründen diese Höhe mit einem Fehler von schätzungsweise 1500 bis 2000 m behaftet sein. Alle diese Messungen haben eindeutig tiefe Temperaturen in der mittleren Stratosphäre ergeben, so daß bis mindestens 33 000 Meter Höhe bisher in keinem Falle eine Temperaturzunahme von wesentlichen Ausmaßen festgestellt werden konnte. Andererseits wird aus der Ozonforschung das Bestehen einer Temperaturzunahme in der Höhe um 35 000 m abgeleitet, aber auch diese Behauptung kann einen Anspruch auf absolute Zuverlässigkeit noch keineswegs erheben. Betrachtet man z. B. in der Arbeit von Penndorf (2 c) die auf Seite 319 gebrachten Abbildungen über die Strahlungsgleichgewichtstemperatur für Ozon bzw. für ein Gemisch aus Ozon und Wasserdampf und vergleicht sie mit der ebenda abgebildeten Kurve für die gemessenen Temperaturen über Mitteleuropa, so bleibt doch noch ein erheblicher Widerspruch bestehen. Vor

Tabelle 1

	Bodentemperatur	Mitteltemperatur der Luft bzw. Temperaturgrad (Troposph.)	Mitteltemperatur der Luft bzw. Temperaturgrad (Stratosph.)	Bemerkungen: Trop. bis 10 km, Strat. bis 45 km
1) Normalatmosphäre	+ 10° C	0°	- 50° C	} Ältere Annahmen
2) Humphreys	+ 11° C	0-11 km: - 0,6°/100 m	0°/100 m	
3) Hergesell	+ 10° C	0- 3 km: - 0,8°/100 m 3-10 km: - 0,6°/100 m	10-35 km: + 0,04°/100 m 35-37 km: + 3,0°/100 m oberh. 37 km: + 0,22°/100 m	Auch von Wiechert und Duckert vertreten
4) Gutenberg I	+ 10° C	0-10 km: - 0,7°/100 m	10-35 km: 0°/100 m 35-40 km: + 1,1°/100 m oberh. 40 km: + 0,7°/100 m	Bzw. Annahme einer Sprungschicht i. 35 km v. - 55° auf - 25°
5) Gutenberg II	+ 10° C	0-10 km: - 0,65°/100 m	10-20 km: 0°/100 m 20-30 km: + 1,4°/100 m oberh. 30 km: + 0,5°/100 m	(!)
6) Kölzer	+ 10° C	0- 3 km: - 0,5°/100 m 3-10 km: - 0,7°/100 m	10-30 km: 0°/100 m oberh. 30 km: + 0,8°/100 m	

Den Angaben der Tabelle 1 entsprechen die in Tabelle 2 und 3 berechneten Werte der Druckhöhentabelle und der Höhendrucktablelle.

Wenn man von den älteren Annahmen der Tabelle 1 absieht und die Ergebnisse über Ozonforschung (2) mit

allem scheint mir die Bemerkung von Penndorf (Seite 318 seiner Arbeit), daß Gowan, wenn er Ozon allein als Strahlungssubstanz betrachtet, eine fast isotherme Atmosphäre bis 35 km Höhe findet und darüber einen raschen Temperaturanstieg, die wahren

Tabelle 2
 Druck-Höhen-Tabelle (Höhen in km)

mb	mm Hg.	1. Normalatm.	2. Humphreys	3. Hergesell	4. Gutenberg I	5. Gutenberg II	6. Kölzer
400	300	7,16	7,66	7,21	7,10	7,10	7,24
266,6	200	9,92	10,19	9,95	9,82	9,82	9,97
133,3	100	14,46	14,47	14,41	14,26	14,30	14,43
66,7	50	19,01	19,07	18,88	18,70	18,78	18,89
	20	25,01	26,49	24,83	24,57	24,79	24,79
	10	29,56	29,58	29,41	29,01	31,04	29,25
	2	40,1	39,8	40,4	41,0	48,7	41,1
	1	44,6	45,8	46,5	46,7	56,7	48,0
	0,6	48,0	48,6	51,1	51,0	62,9	53,8
	0,2	55,2	56,6	61,6	60,9	76,9	68,9
	0,1	59,7	59,8	68,8	67,3	86,5	80,6

Tabelle 3
 Höhen-Druck-Tabelle (Druck in mm Hg.)

Höhe in km	1. Normalatm.	2. Humphreys	3. Hergesell	4. Gutenberg I	5. Gutenberg II	6. Kölzer
5	402	403	405	400	401	403
8	264	265	263	260	262	264
10	196	197	194	190	193	196
15	91,3	91,0	89,0	85,5	88,4	89,7
20	42,5	41,6	40,9	38,4	40,6	41,1
25	19,8	19,0	18,9	17,2	18,9	18,7
30	9,19	8,69	8,85	7,72	11,4	8,56
35	4,27	3,97	4,18	3,47	7,09	4,24
40	1,99	1,82	2,16	2,54	4,53	2,30
45	0,925	0,830	1,22	1,367	2,96	1,35

Verhältnisse nur ungenau wiederzugeben, denn die fast isotherme Atmosphäre bewegt sich nach G o w a n um 300° abs., die gemessene Mitteltemperatur dagegen bei 220° abs. Wenn aber G o w a n den abkühlenden Einfluß des Wasserdampfes in Rechnung stellt (Kurve II, Seite 319), so bleibt bis in große Höhen über 40 km eine erhebliche Temperaturdifferenz von 60 bis 70° gegenüber der Strahlungsgleichgewichtstemperatur für Ozon allein bestehen. P e n n d o r f hat in einem Nachsatz zu diesen Ausführungen ja auch zugegeben, daß noch andere Unbekannte in diesen Betrachtungen stecken, und daß man bei ihrer Berücksichtigung zu einer anderen Temperaturverteilung in dieser Höhe kommen kann. Auch die neueren Ergebnisse über Ozonforschung (4) haben in der Frage der Temperaturverteilung oberhalb 30 km Höhe die quantitative Seite des Problems noch nicht geklärt. Versuche, aus diesen Höhen direkte Messungen zu erhalten, sind Anfang der 20er Jahre durch W i g a n d mit der Konstruktion eines Geschoßmeteorographen (nicht veröffentlicht) unternommen worden, doch wurde die Apparatur schon bei den Vorversuchen im Laboratorium zerstört und die Angelegenheit nicht weiter verfolgt.

Angeregt durch diese Versuche, habe ich seit 1927 etwa die Konstruktion eines Raketenmeteorographen begonnen, wofür eine Anzahl von Pulverraketen (sog. Rettungsraketen aus älteren Beständen) zur Verfügung standen. Da die erreichbaren Höhen nicht über 1000 m gingen und die Raketen häufig und unvorhergesehen explodierten, so wurden die Versuche schon 1929 gänzlich eingestellt. Nachdem etwa ab 1934 die Raketenentwicklung durch Konstruktion von Flüssigkeitsraketen in ein neues Stadium trat, und sich die Möglichkeit bot, damit Höhen über 30 km zu erreichen,

nahm ich die Aufgabe, einen hierfür geeigneten Meteorographen zu entwickeln, neu in Angriff.

In der Durchführung wurde ich etwa ab Sommer 1935 durch den Feinmechaniker Ing. Hans Müller in ausgezeichneter Weise unterstützt. Herr Müller hat auch die hierbei benötigten Hilfsinstrumente, soweit sie im Handel nicht erhältlich waren, selbst ausgeführt bzw. für die vorliegende Aufgabe geändert.

Zunächst war eine Reihe von Vorfragen zu klären. Mitte 1935 stand nur fest, daß die Trägerapparatur unter hoher Wärmeentwicklung Beschleunigungskräfte von 5 bis 6 g entwickelte. Diesem Umstand mußte Rechnung getragen und der Meteorograph gegen die hohen Temperaturen des Trägers beim Aufstieg geschützt werden. Ferner wurde festgelegt, daß der Meteorograph im Kulminationspunkt vom Träger gelöst und an einem Fallschirm zur Erde gleiten sollte, wobei die Kulminationshöhe höchstens 40 bis 45 km betragen sollte. Einwandfreie Temperaturmessungen mit Bimetallen wie bei Registrieraufstiegen können aber für größere Höhen nur erwartet werden, wenn neben hinreichendem Strahlungsschutz eine ausreichende Lüftungsgeschwindigkeit erreicht wird. Da der Fallschirm in der Höhe relativ große Strecken pro Sekunde durchfiel, so mußte auch die Halbwertzeit der Bimetalle möglichst niedrig sein, um zuverlässige Werte zu erhalten. Für 45 km Höhe kann in erster Annäherung mit einem Luftdruck von 1 mm gerechnet werden. Zur Sicherheit wurde als tiefster zu messender Luftdruck 0,6 mm angenommen, während die Temperatur einen Bereich von anfangs 80, später 100° C (nämlich + 40 bis - 60° C) umfaßte. Von einer Messung der Luftfeuchtigkeit wurde Abstand genommen und das zu entwickelnde Gerät daher als Barothermograph bezeichnet. Über den Gang der Entwicklung und die

Laboratoriumsversuche sei in gekürzter Form folgendes mitgeteilt:

2. Die erste Apparatur wurde im September 1935 fertiggestellt. Der ganze Druckbereich bis herab zu den tiefst erreichbaren Drucken (das waren zuerst etwa 3,7 mm Hg) wurde in 40 Druckstufen eingeteilt. Wegen der Beschleunigungsgröße und des besonders großen Umfangs der zu messenden Werte wurde eine Zeiger- und Kontaktanordnung mit je 40 Kontakten für den ganzen Druck- bzw. Temperaturbereich gewählt. Der jeweilige Stand der Meßzeiger wurde vermittels eines Druckbügels, der von einer Kontaktuhr gesteuert wurde, auf eine korrespondierende und gleiche Anzahl von 40 kleinen elektromagnetischen Rußschreibern übertragen, die in zwei Reihen angeordnet auf einer parallel zur Anordnung der Rußschreiber lagernden Trommel von 100 mm Durchmesser und 250 mm Länge und mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 30 Minuten eine Reihe von Punkten lieferte. Durch ein Laufwerk mit FliCHKraftregler war der gleichmäßige Gang der Registriertrommel gewährleistet. Sofern die Meßgrößen sich stetig ändern, bilden diese Punkte einen Kurvenzug. Die 40 Druckstufen umfaßten den Bereich von 760 bis 3,7 mm Hg.

Für die Druckanzeige wurde ein Aneroid mit besonderer Lagerung der Dosen verwendet, so daß Stöße in die Achsenrichtung des Dosensystems fielen und sich in der Anzeige nicht auswirkten. Das Bimetall für die Temperaturmessung wurde durch einen besonderen Zufuhrkanal mit quadratischem Querschnitt belüftet, die Halbwertzeit betrug bei 5 m/sec Belüftungsgeschwindigkeit 5,2 sec. Mit dem eigentlichen Meßwerk war es durch ein Bronzefederband verbunden. Die Anzeige erfolgte, wie oben beschrieben, vermittels der kleinen elektromagnetischen Rußschreiber auf die Trommel, jedoch in gegenläufigem Sinne wie die Druckregistrierung, und umfaßte zuerst den Bereich von + 20 bis - 60° C. Die Kontaktuhr steuerte gleichzeitig im Tempo von 6 sec einen Zeitmarkengeber, der auf der Trommel im Abstand von 1 mm und mit einer Zeitdauer von 0,2 sec mittels eines Nockenrades Zeitmarken mit zweiseitiger Auslenkung machte, und zwar nach oben für den Aufstieg, nach unten für den Abstieg. Die Meßapparatur wurde beim Abstieg aus der Höhe um 180 Grad gekippt, ein Umschalter schaltete selbständig den Strom auf eine andere Magnetspule, wodurch die Zeitmarken und die Registrierung für Auf- und Abstieg eindeutig zugeordnet waren. Die Zeitmarken- und Kontaktuhr war ferner mit einem FliCHKraftregler versehen, die Laufdauer der Uhr betrug 40 min, die der Trommel 38 min. Zum Betrieb war eine kleine Trockenbatterie von zweimal 4 V erforderlich, die kaltegeschützt untergebracht wurde. Für die Landung war ein Fallschirm mit einer Endgeschwindigkeit von etwa 10 m/sec vorgesehen, wobei die Apparatur durch einen Korb aus Stahlblechfedern an der Unterseite des Gehäuses geschützt werden sollte.

Die Vorversuche und Eichungen im Laboratorium erstreckten sich teils auf Versuche mit dem Druckaggregat unter dem Rezipienten, teils auf Versuche mit dem Temperaturaggregat im Windkanal. Der Gang des Trommellaufwerks und der Kontaktuhr wurde außerdem bei Tieftemperaturen nachgeprüft. Daneben liefen noch Versuche mit einem automatischen Laufwerksauslöser sowie mit dem automatischen Umschalter

für die Gipfelhöhe. Aus der Druckeichung sei noch erwähnt, daß die niederen Drucke mit einer Leyboldschen Vakuumpumpe für Unterdrucke bis 0,1 mm Hg hergestellt und stufenweise durch folgende Apparate kontrolliert wurden:

a) für Drucke bis hinab zu 50 mm Hg mit einem abgekürzten Barometer mit 530 mm Anfangswert,

b) für den Bereich von 50 bis 5 mm Hg mit einem Vakoskop nach G a e d e (Leybold (5)),

c) für noch tiefere Drucke wurde mit dem gleichen Instrument nach dem Verfahren von M c L e o d (6) gemessen, und zwar mit dem verbesserten Kompressionsmanometer nach B o l d i n g h (7), das den Bereich von 20 bis 0,05 mm Hg zu prüfen gestattet. Allerdings hatten die beiden zur Prüfung benutzten Leyboldschen Vakuumpumpen praktisch bei etwa 1 mm Hg ihre Grenze erreicht.

3. Die Versuche ergaben, daß namentlich die Druckangaben der Aneroiden unterhalb 10 mm Hg sehr unsicher wurden und jedenfalls für exakte Luftdruckmessungen nicht verwendet werden konnten. Es wurde daher versucht, für den Meßbereich des Luftdrucks unterhalb etwa 15 mm Hg ein anderes Meßverfahren anzuwenden. Zur Unterscheidung wurde in der Folgezeit die Luftdruckmessung für den Bereich von 760 bis 50 mm Hg als Grobdruckmessung bezeichnet, das für die tieferen Drucke bis etwa 0,6 mm Hg zu entwickelnde Verfahren als Feindruckmessung. Das Meßaggregat für den Grobdruckmesser wurde verbessert, indem ein Bourdonrohr aus Phosphorbronze (sog. Monelmetall) verwendet wurde, deren Material auch bei höheren Temperaturen bis etwa 130 Grad C federhart bleibt. Auch das Temperaturaggregat wurde verbessert, indem ein doppeltes Bimetall, zweimal 0,2 mm stark und 22 mm breit, verwendet wurde, dessen Halbwertzeit bei 5 m/sec Entlüftungsgeschwindigkeit 4,2 sec betrug. Für den Feindruckmesser sollte die Abhängigkeit der Schallintensität vom Druck (im Bereich der tiefsten Drucke) benutzt und ein Schallsender (ähnlich dem Flugzeugsender von B o s c h) für einen Wechselstrom von 400 Hz vorgesehen werden, der bei 24 V Spannung maximal etwa 4 Watt leistet. Kleine Schwankungen der Tonfrequenz von ± 10 Hz können bei diesem Meßverfahren noch in Kauf genommen werden. Die neue Entwicklung bedingte verschiedene Ergänzungen und Änderungen der Apparatur. Infolge der Unterteilung der Luftdruckbereiche kam ein Feindruckmesser und ein dritter Tastbügel hinzu, ferner ein Gleichrichter, der den Übergang von dem an anderer Stelle unterzubringenden Tongeber für 24 V 400 Hz Wechselstrom zum Feindruckmesser vermittelte. Für den Tongeber wurde eine zylindrische Form aus Messing von 125 mm Durchmesser und 220 mm Länge vorgesehen, mit einer Wandstärke von 1 mm.

4. Parallel mit der Entwicklung des Tonsenders liefen seit Dezember 1935 Versuche, das Verfahren von W e l l a u e r (8) zur Bestimmung der tiefsten Drucke für vorliegende Aufgaben zu verwenden. Bei diesem Verfahren wird zur Registrierung des Luftdrucks eine Ionisationsröhre benutzt, deren Emission bei tiefen Drucken eine Funktion des Druckes ist. Die ersten Versuche zeigten, daß dieses Verfahren gerade für die tiefen Drucke bei etwa 1 mm Hg sehr hohe Spannungen an den Elektroden beansprucht, schätzungsweise mehr als 2 Kilovolt. Da diese Spannungen zunächst nicht zur

Verfügung standen, so wurde beschlossen, zuerst die Versuche mit dem Tonsender zu Ende zu führen. Die für dieses Verfahren benötigten Zusatzgeräte haben natürlich das Gewicht der meteorologischen Gesamtapparatur sehr erhöht. Es betrug nunmehr rund 8 kg, von denen etwa 6 kg auf die Meßapparate und die Registriervorrichtung entfielen, etwa 2 kg auf den Tonsender. Mit Rücksicht auf den unvermeidlichen und ungünstigen Gewichtsaufwand wurde beschlossen, diese Lösung zu verlassen.

5. Im Frühjahr 1936 wurden die Versuche mit der Entladungsröhre von Wellauer (s. o.) wieder aufgenommen. Aus den Vorversuchen, die auch infolge Defektwerdens des Hochvakuumgleichrichters zeitweise hatten ruhen müssen, hatten sich aber schon grundsätzliche Erfahrungen ergeben: Bei den Versuchen mit der ersten Entladungsröhre wurde die Schaltung in einer von Wellauer angegebenen Art übernommen. Die Versuche zeigten jedoch, daß für Dauerbetrieb diese Anordnung für den vorliegenden Zweck ungeeignet erschien. Die hauptsächlichsten Mängel der Methode waren folgende: Die Entladungsröhre wirkt auch als Gleichrichter, da die Entladung nur bei positiver Halbwelle der Wechselspannung im wesentlichen durchgelassen wird. Die Gleichrichterwirkung ist aber im Meßbereich unterhalb 0,1 mm Hg infolge der starken Nachwirkung der Ionisation sehr unvollkommen, so daß durch das Instrument kein reiner Gleichstrom mehr fließt, was durch Anlegen eines Drehspul-Milliamperemeters in Reihe mit einem Thermo-Milliamperemeter, welches den Anteil der Wechselstromkomponente mitzumessen gestattet, nachgewiesen wurde. Dieser Nachteil in Verbindung mit dem hohen Spannungsbedarf der Röhre veranlaßte H. Müller, eine neue Röhre zu konstruieren, wobei er von folgenden Überlegungen ausging: Die Röhre ist durch den wechselnden Stromdurchgang an den Elektroden stark vorbelastet, was sich durch Heißwerden der Elektroden bemerkbar machte. Durch die Wärmestauung, die besonders an der Kathode auftritt, werden Gase frei, die z. T. aus Metaldämpfen bestehen, dadurch das Vakuum verändern und in seiner Leitfähigkeit beeinflussen. Kathode und Anode müssen daher für Dauerbetrieb andere Abmessungen erhalten. Die von Wellauer gewählte Schaltung wurde verlassen und durch eine neue Schaltung ersetzt. Durch vorherige Gleichrichtung der Betriebswechselspannung auf der Hochspannungsseite wurde erreicht, daß die für die Entladungsform notwendige Polarität an den Elektroden sich einstellte, womit gleichzeitig eine zusätzliche Belastung der Röhre und des Instruments durch die Wechselstromkomponente vermieden werden konnte. Diese Versuche erbrachten den Beweis, daß im Gegensatz zu der Anordnung nach Wellauer die neue Entladungsröhre ein Ansteigen der Stromstärke nach den kleineren Drucken hin und mit größerer Empfindlichkeit gerade in jenem Gebiet ergibt, in dem die mechanischen Meßmethoden bereits völlig versagen.

6. Nach diesem günstigen Ergebnis konnte nunmehr an den Zusammenbau der Apparatur für die Flüssigkeitsrakete gedacht werden. Zum Betrieb des Feindruckmessers wurde ein Strombedarf von 2 mA ermittelt, ferner für die Entladungsröhre II eine Höchstspannung von 1000 V, welche über einen Glühkathoden-

Gleichrichter und Transformator dem für andere Zwecke vorhandenen Aggregat für Drehstromspannung entnommen werden sollte. Ein für die Anzeige vorgesehenes Drehspulzeigerinstrument mußte noch beschafft und mit einer 40teiligen Kontaktskala für die Übertragung auf die Registriervorrichtung, den 40teiligen Rußschreiber, versehen werden. Auch mußte jetzt die Frage entschieden werden, in welcher Weise zweckmäßig die Aufgabenteilung zwischen Grob- und Feindruckmesser vorgenommen werden sollte.

Durch eine neue Aufgabenstellung im April 1936 mußte als tiefster Druck der Wert von 0,2 mm Hg in Rechnung gestellt werden. Zwar wurde mehrere Monate später von dieser Forderung wieder Abstand genommen, aber die nun einsetzende weitere Entwicklung wurde ganz wesentlich von dieser neuen Forderung beeinflusst, da eine Reihe neuer Probleme damit zur Diskussion gestellt worden war. Gleichzeitig wurden nachfolgende Punkte neu festgelegt:

- a) die endgültige äußere Abmessung der Apparatur,
- b) der zur Verfügung stehende Strombedarf,
- c) die Forderung, daß das Instrument aus der Höhe um 180 Grad gekippt am Fallschirm landen sollte,
- d) als besondere Forderung wurde noch die Prüfung einer möglichen und wesentlichen Gewichts-erleichterung gestellt,
- e) da ferner für eine andere wissenschaftliche Aufgabe (Messung der Oberflächentemperatur des Trägers) ein Thermoelement verwendet werden sollte, so wurde in den neuen Arbeitsplan auch die Verwendung von Thermoelementen an Stelle der Bimetalle zur Temperaturmessung aufgenommen.

Über die sich hieraus ergebenden Entwicklungsarbeiten sei folgendes mitgeteilt: Von anderer Seite waren parallel Versuche zur Messung der bei den hohen Steiggeschwindigkeiten an der Außenseite des Trägers auftretenden Stauwärme vorgenommen worden; diese Versuche hatten zur Folge, daß die bisher vorgesehene Anordnung eines Bimetalls mit Entlüftungszufuhrkanal nicht beibehalten werden konnte, da die Angaben des Bimetalls durch die auftretende Stauwärme gefälscht worden wären. Es wurde daher die Frage geprüft, ob das für andere Aufgaben vorgesehene Thermoelement in der Spitze des Trägers nicht gleichzeitig für die Messung der Lufttemperatur verwendet werden könne. Allerdings mußte dann auf die Messung der Lufttemperatur im Aufstieg überhaupt verzichtet werden, da das Thermoelement nurmehr für den Abstieg zur Lufttemperaturmessung zur Verfügung stand. Dies schien durchaus tragbar. Eine besondere Schwierigkeit ergab sich lediglich aus dem Umstand, daß die beiden Stellen, an denen das Thermoelement auf der aufsteigenden und absteigenden Bahn zu messen hatte, ziemlich weit voneinander entfernt waren, so daß etwa 3 m Zwischenleitungen zwischen den Polen des Thermoelementes erforderlich wurden. Da aber das Thermoelement zur Temperaturmessung bei niedrigen Luftdrucken dem Bimetall durch seine erheblich geringere Halbwertzeit überlegen ist, so wurde an die Lösung dieser Aufgabe herangetreten. Der Bereich der durch die Thermoelemente zu erfassenden Meßwerte war für Aufstieg und Abstieg erheblich verschieden, es wurde daher beschlossen, für

diese Doppelaufgabe zwei Thermobatterien vorzusehen, die aber nur auf ein Anzeigegerät ihre Werte übertragen sollten, da die Batterien nacheinander ab- bzw. eingeschaltet wurden. Als Bezugssystem wurde ein Thermostat in schmelzendem Eis gewählt (ein sogen. Vakuum-Mantelgefäß), in welchen die kalten Lötstellen der Thermobatterien eintauchten. Die Frage der Unterbringung der Thermobatterien und des Thermostats mußte besonders gelöst werden. — Hinsichtlich der Luftdruckmessung durch den Grob- und Feindruckmesser und der Aufgabenteilung zwischen beiden mußte davon ausgegangen werden, daß als wichtigste Messung die Erfassung der tiefsten Luftdruckwerte zu gelten hatte. H. Müller hatte eine verbesserte Entladungsröhre III hergestellt, deren Abhängigkeit vom Luftdruck im Bereich der tiefsten Drucke < 6 mm Hg mit steigender Empfindlichkeit besonders groß war. Dagegen wird schon bei etwa 10 mm Hg das Verfahren wesentlich unempfindlicher. Nach Prüfung im Laboratorium arbeitete der Grobdruckmesser höchstens bis 20 km Höhe (= etwa 45 bis 50 mm Hg) einwandfrei, während für den Feindruckmesser mit Hilfe der Entladungsröhre III erst ab etwa 32 km (= etwa 10 mm Hg) aufwärts brauchbare Angaben zu erwarten waren. Die Lücke von etwa 10 bis 12 km, welche mit dieser Anordnung nicht hätte registriert werden können, wurde in Kauf genommen. Die Verteilung der Aufgaben des Druckmessers einschließlich Anzeigegerät und der Thermoelemente (Batterien) einschließlich Vakuummantelgefäß ist in der beifolgenden schematischen Darstellung des Ablaufs der Messungen wiedergegeben (s. Abb. 1). Durch einen Schaltvorgang, der etwa in 25 km Höhe vom Grobdruckmesser betätigt wird, wird der Feindruckmesser

eingeschaltet, um umgekehrt beim Abstieg in derselben Höhe vom Grobdruckmesser wieder abgeschaltet zu werden. Um für diese Höhen auch brauchbare Meßinstrumente mit genügender Empfindlichkeit zu erhalten, wurden Versuche durchgeführt, die zu einer Sonderkonstruktion der elektrischen Meßinstrumente führten, da für die vorliegenden Aufgaben brauchbare Instrumente im Handel nicht vorhanden waren. Diese Arbeiten wurden bis etwa Juli 1936 durchgeführt.

7. Aus den Versuchen hatte sich eine Anzahl neuer Gesichtspunkte ergeben. Aus den neuen Apparaturen folgte zunächst eine Gewichtsvermehrung und ein neuer Strombedarf. Besondere Schwierigkeiten bereiteten die Thermobatterien und ihre Übertragung auf die elektrische Anzeigeapparatur unter Berücksichtigung der Gewichtsverminderung. Für die drei Tastbügel erwies sich das bisherige Uhrwerk als zu schwach, es wurde ein elektromagnetischer Antrieb vorgesehen. — Das Vakuummantelgefäß mußte zweckmäßig untergebracht werden und die Verbindungsleitungen zwischen den Polen der Thermoelemente isoliert werden. Der neue Feindruckmesser hatte einen Strombedarf ansteigend bis zu 5 Watt. Die für eine Tastung nötige elektrische Energie war ursprünglich relativ klein gewesen, nämlich bei 8 V Spannung bis zu 10 Watt. Es entfiel dabei auf jede Stufe etwa 2 Watt, das ist die unterste Grenze für den sicheren Betrieb des Instruments in Anbetracht der auftretenden Beschleunigungskräfte. Bei dem hinzugekommenen Feindruckmesser wurden zwei weitere Spulen in den Stromkreis geschaltet, womit die Leistung auf insgesamt 14,8 Watt stieg. Es mußte daher geprüft werden, ob hierfür der in Aussicht gestellte Drehstrom in Stärke von 24 V 2 A 400 Hz auch zur Verfügung stand, bejahendenfalls war es möglich, über einen Hochspannungstransformator und Metallgleichrichter die Tastkreise zu betreiben. Die Prüfung ergab, daß am zweckmäßigsten die vom Umformer bezogene Spannung über einen Stufentransformator 24/240/2400 V an die Meßgeräte gelegt wurde. Die hohe Tertiärspannung ergab sich aus den gesteigerten Forderungen bezüglich Genauigkeit und Meßbereich, womit auch eine größere Eingangsleistung für den Feindruckmesser erforderlich wurde. Mit einem Transformator ähnlicher Leistung wurden die Leistungsbestimmungen durchgeführt. Mit Entladungsröhre III war diese Druckmeßmethode jeder mechanischen Druckmeßmethode an Scharfeinstellung überlegen, ganz abgesehen von den Beschleunigungskräften, denen die mechanischen Instrumente nicht gewachsen sind. Dagegen war eine andere Schwierigkeit zu überwinden, nämlich die Erzielung einer genügenden Richtkraft auf das elektrische Anzeigegerät. Da auch die Dämpfung solcher Instrumente gerade im Gebiet kleinerer Empfindlichkeit geringer ist, so mußte besonders für den obersten Teil der Kurve diese Schwierigkeit gelöst werden. Ein Diagramm der mit Entladungsröhre III erzielten Verbesserungen zeigte den Fortschritt, indem die Kurve im Bereich der tiefsten Drucke stärker anstieg, so daß hierdurch die Druckdifferenzen besonders gut gemessen werden konnten. Die Meßröhre für den Feindruckmesser darf vor Beginn der Messung nur trockene Luft enthalten, eine Spur von Feuchtigkeit würde grobe Fehler ergeben, da dann bei den tiefen Drucken in der Meßröhre der Dampfdruck, aber nicht der wahre Luftdruck gemessen würde.

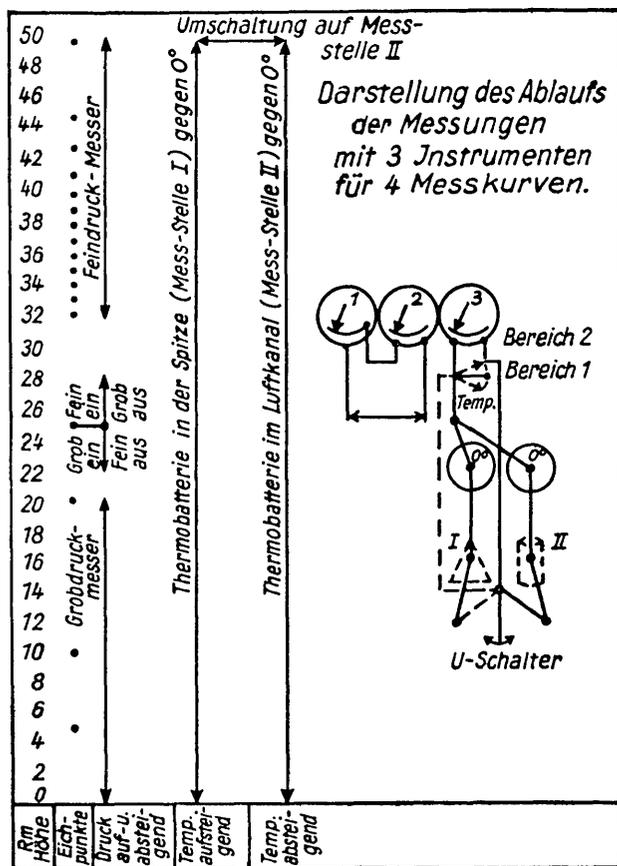


Abbildung 1

8. Die Versuche mit dem Transformator zogen sich länger hin, als ursprünglich angenommen. Der erste Transformator stellte sich als ungeeignet heraus, er hatte eine zu große Verlustleistung und wurde zu schnell heiß. Bis September 1936 gelang es, einen brauchbaren Transformator zu entwickeln, der allerdings, noch ohne Kapselung und Verguß im Vakuum, 1,45 kg wog. Der dazu gehörige Widerstand von 200 kOhm mußte für den vorliegenden Zweck mit einem widerstandsfähigeren Material neugebaut werden, da die üblichen, auf Rohr gewickelten Drahtwiderstände nicht verwendbar waren. Die Apparatur hatte durch die verschiedenen Zusatzgeräte allmählich einen größeren Umfang angenommen, so daß für die spätere Prüfung unter dem Rezipienten die handelsüblichen Rezipienten nicht ausreichten. Außerdem mußte der Rezipient mit besonderen Bohrungen für die Zufuhr der erforderlichen elektrischen Energien versehen werden. Erst nach längeren, schwierigen Verhandlungen gelang es, zwei Rezipienten von 580 mm Ø und etwa 600 mm Höhe anfertigen zu lassen, die im Februar 1937 geliefert wurden; leider erhielt ein Rezipient auf dem Transport trotz aller Vorsichtsmaßnahmen einen Sprung. Im Zusammenhang mit der Konstruktion der Thermoelemente waren noch mehrere Laboratoriumsuntersuchungen durchzuführen. Vor allem mußte der Temperatureinfluß auf das Vakuummantelgefäß untersucht werden, dieses sollte als Thermostat mit schmelzendem Eis (0 Grad C) für die Bezugslötstelle der Thermobatterien dienen. Zwei Gefäße zu 500 und 750 cbm Inhalt wurden einer Prüfung unterzogen, um festzustellen, ob die Gefäße für einen etwa

zweistündigen Betrieb einwandfrei arbeiteten. Wie aus der nachstehenden Tabelle 4 hervorgeht, konnte die Frage als zufriedenstellend gelöst betrachtet werden.

Tabelle 4

Temperatureinfluß auf Vakuum-Mantel-Gefäße, welche als Thermostat mit schmelzendem Eis (0° C) für die Bezugslötstelle der Thermobatterien dienen.

	Gefäß 500 cm ³	Gefäß 750 cm ³
Anfangstemperatur:	21° C	21° C
Eis und Wasser = 2 : 1	0° C	0° C
Luftbadtemperatur in 10 Min. steigend auf:	100° C	100° C
Abfall der Lufttemperatur auf Halbwertzeit:	6 Min.	6 Min.
desgl. auf 21° C Raumtemperatur:	60 Min.	60 Min.
Temperatur im Vakuum-Mantel- Gefäß beginnt zu steigen nach:	7 Std.	10 Std.

Ferner wurde ein selbsttätiger Schalter für die Thermobatterien konstruiert, der zugleich Aus- und Umschalter sein sollte. Wie sich aus dem Vorstehenden von selbst ergibt, kam diese Änderung in den wichtigsten Teilen einer Neukonstruktion des Barothermographen gleich. Diese Arbeiten, bis auf die Feinmeßinstrumente und die Prüfung unter dem Rezipienten, waren im wesentlichen im Winter 1936/37 abgeschlossen worden.

Fortsetzung im nächsten Heft

Die Ausbreitung von Duftstoffen in der Atmosphäre

Mit einer Abbildung

Von S. Rombakis, Berlin

Zusammenfassung: Das für meteorobiologische Fragen wichtige Problem der Duftausbreitung in der turbulenten Atmosphäre wird am Beispiel einer punktförmigen Duftquelle im turbulenten Wind mit homogenem Grundströmungsfeld quantitativ behandelt. Die Flächen gleicher Duftkonzentration sind in der unmittelbaren Umgebung der Duftquelle Rotationsellipsoide und gehen mit wachsender Entfernung von der Duftquelle in rotationsellipsoidähnliche Flächen über. In Richtung des ausgeglichenen Windes, auf der durch die Quelle verlaufenden „Duftachse“, nimmt die Duftkonzentration umgekehrt proportional der Entfernung ab; in allen anderen Richtungen ist die Abnahme der Duftkonzentration eine stärkere.

Obwohl der Mensch zu den mikrosomatischen Lebewesen (mit relativ hoher Geruchsriechschwelle) gehört, sind die minimalen Konzentrationen einiger Riechstoffe, die für den Menschen eben noch geruchlich wahrnehmbar sind, sehr gering, wie die nachstehende Tabelle (hauptsächlich nach Z w a a r d e m a k e r, vgl. P. K a r r e r, Lehrbuch der organischen Chemie, 8. Aufl., Leipzig 1942, S. 960) erkennen läßt:

Riechstoff	Zahl der Moleküle pro Kubikzentimeter, die gerade noch geruchlich wahrnehmbar sind
Äthylalkohol	24 · 10 ¹²
Menthol	26 · 10 ¹⁰
Thymol	15 · 10 ⁸
Heliotrop	40 · 10 ⁷
Vanillin	72 · 10 ⁶
Jonon	16 · 10 ⁵

Zum Vergleich sei daran erinnert, daß die Luft unter Normalbedingungen (Druck = 760 mm Hg, Temperatur = 0° C) 2,7 · 10¹⁹ Moleküle im Kubikzentimeter enthält (Loschmidtsche Zahl, vgl. z. B. H. Z e i s e, Thermodynamik, Bd. I, Leipzig 1944, S. 13).

Noch wesentlich geringer muß die Geruchsreizschwelle für die makrosomatischen Lebewesen sein; wirken doch zum Beispiel die durch ausstülpbare abdominale Duftorgane frischgeschlüpfter Weibchen mancher Schmetterlingsarten (Gastropache quercus, Saturnia pavonia) an die Atmosphäre abgegebenen Duftstoffe noch in kilometerweiten Entfernungen auf die Männchen anlockend (K. H e r t e r, Tierphysiologie, Bd. II, Berlin u. Leipzig 1928, S. 73). Die Frage der Ausbreitung von Duftstoffen in der Atmosphäre stellt somit ein biologisch wichtiges Problem der Meteorologie dar, zu dem im folgenden einige quantitative Betrachtungen durchgeführt werden sollen.

Wäre die Atmosphäre in Ruhe und erfolgte die Duftausbreitung nur durch molekulare Diffusion, so wäre dieser Vorgang durch die Diffusionsgleichung

$$(1) \quad \frac{\partial \sigma}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \sigma}{\partial z^2} \right)$$

zu beschreiben, in welcher σ die Konzentration des Duftstoffes und D den molekularen Diffusionskoeffizienten bedeutet; im stationären Fall reduziert sich diese Gleichung auf

Zeitschrift für Meteorologie

Herausgegeben

von

R. Süring-Potsdam, Meteorologisches Zentralobservatorium

unter Mitwirkung von

Prof. Dr. G. Falckenberg-Warnemünde, Prof. Dr. W. König-Potsdam und

Prof. Dr. F. Schindelhauer-Potsdam

Heft 14 · Jahrgang 1

November 1947

Massentransport durch eine die ganze Erde umhüllende, horizontale Fläche $F = \iint dF$ in der Höhe H während j verschwinden:

$$\int_0^j \iiint (\rho v_z)_{\text{H}} dt dF = \int_0^j \iiint \left(\overline{\rho v_z} \right)_{\text{H}} dt dF + \int_0^j \iiint \left(\overline{\zeta_z \delta \rho} \right)_{\text{H}} dt dF = 0 \quad (110)$$

Ist ständig und überall an $H \alpha < \frac{g}{R}$ und $\mu(\varphi) > 0$ (75), so kann gemäß (73) der zweite Term in der Mitte von (110) nicht verschwinden und ist positiv. Es muß dann

$$\frac{1}{jF} \int_0^j \iiint \left(\overline{\rho v_z} \right)_{\text{H}} dt dF < 0 \quad (111)$$

sein, also eine negative Korrelation zwischen der ausgeglichenen Dichte $\overline{\rho}$ und der mittleren Geschwindigkeit $\overline{v_z}$ bei den großräumigen Vertikalbewegungen der Atmosphäre (z. B. in Hoch- und Tiefdruckgebieten, Monsun- und Passatzirkulationen, bei der Thermokonvektion usw.) bestehen.

Subtraktion der durch diesen notwendigen Massenausgleich abwärts transportierten inneren Energie, die hiernach durch den mit $c_v \overline{T}$ multiplizierten Massenaustausch (73) gegeben ist, von ihrem gemäß (78) ermittelten Austauschstrom U_z liefert sofort den Ertel'schen Turbulenzstrom der inneren Energie pro Masseneinheit in [5]: $W_z = c_v \alpha \rho \mu(\varphi) = c_v \eta \alpha$. Dieser besteht also nur zu einem Teil aus einem Austauschstrom, ist aber die Beziehung, welche nach obiger Überlegung zur Ermittlung der Rolle des Turbulenzwärmestroms (78) im atmosphärischen Wärmehaushalt benötigt wird. Dieser Wärmestrom W_z ist bei Überwiegen adiabatischer, turbulenter Vertikalbewegungen (75) dem vertikalen Temperaturgefälle proportional, was H. Ertel wiederholt [9], [10] festgestellt hat, seinem Betrage nach allerdings bloß ein Zehntel des wirklichen Turbulenzwärmestroms (78) bzw. (108), nämlich mit (105) $8,5 \cdot 10^{-5}$ bis $8,5 \cdot 10^{-4} \text{ cal cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$, was aber völlig

mit der von H. Ertel auf anderem Wege in [11] ermittelten Größenordnung übereinstimmt.

Nachdem hier gezeigt wurde, welche Bedeutung die turbulenten Druckschwankungen für die Ermittlung des Turbulenzwärmestroms haben, sei auch kurz darauf hingewiesen, daß sie möglicherweise zur Erklärung der atmosphärischen Turbulenzreibung nicht weniger bedeutend sind. Die in der Hydrodynamik gebräuchliche Vorstellung, die turbulenten Geschwindigkeitsabweichungen kämen durch Verschiebungen von Luftquanten aus benachbarten, im Mittel schnelleren oder langsameren Stromschichten zustande, ist ja auf die Atmosphäre im allgemeinen kaum anwendbar, da dort überwiegend vertikale Prandtl'sche Mischungswege von 100 m und mehr zur Erklärung der gemessenen turbulenten Zusatzgeschwindigkeiten erforderlich wären, aber nicht beobachtet werden.

Literatur:

- [1] H. Ertel, Die vertikale Druckverteilung in turbulenten Strömungen. Ann. d. Hydr. u. marit. Meteorol. 1930, S. 222 bis 227.
- [2] Th. Hesselberg, Ein neuer Ausdruck für den Austauschoeffizienten. Ann. d. Hydr. u. marit. Meteorol. 1929, S. 319—326.
- [3] Wilh. Schmidt, Der Massenaustausch in freier Luft und verwandte Erscheinungen. Hamburg 1925, S. 18.
- [4] Wilh. Schmidt, Wird die Atmosphäre durch Konvektion von der Erdoberfläche her erwärmt? Met. Z. 1921, S. 262—268.
- [5] H. Ertel, Statistische Theorie des Turbulenz-Wärmestroms. Met. Z. 1944, S. 14—18.
- [6] L. Prandtl, Nochmals der vertikale Turbulenzwärmestrom. Met. Z. 1944, S. 169.
- [7] P. Raethjen, Zum Wärmestrom der Turbulenz. Ann. d. Hydr. und marit. Meteorol. 1944, S. 129—131.
- [8] L. Prandtl, Zur Frage des vertikalen Turbulenzwärmestroms. Met. Z. 1944, S. 12—16.
- [9] H. Ertel, Die hydro-thermodynamischen Grundgleichungen turbulenter Luftströmungen. Met. Z. 1943, S. 289 bis 295.
- [10] H. Ertel, Über die Richtung des atmosphärischen Turbulenz-Wärmestroms. Met. Z. 1944, S. 8—11.
- [11] H. Ertel, Der vertikale Turbulenz-Wärmestrom in der Atmosphäre. Met. Z. 1942, S. 253.

Anschrift des Verfassers: Meteorol. Zentralobservatorium Potsdam, Abt. Theoret. Meteorologie.

Die Entwicklung eines Barothermographen Teil II

Beitrag zum Problem der Luftdruck- und Temperaturmessung in sehr großen Höhen

Mit 5 Abbildungen (Schluß von Heft 13, S. 399—405)

Von Joseph Kölzer, Herrsching am Ammersee

9. Bei den Versuchen des ursprünglich verwendeten Umformers für Gleichstrom-Drehstrom im Vergleich mit dem für die endgültige Apparatur vorgesehenen Umformer, aus dem über den Stufentransformator der benötigte Strom entnommen werden sollte, ergaben sich Unterschiede in der Charakteristik beider Umformer, vor allem ein erheblicher Spannungsabfall des zum Einsatz vorgesehenen Umformers bei längerer Belastung, so daß die Ursache eingehend untersucht werden mußte. Das Ergebnis war, daß der Umformer in seiner vorliegenden Ausführung unbrauchbar war, und daß ein neuer Umformer erst entwickelt werden mußte. Da eine andere Lösung, z. B. den Barothermograph durch einen eigenen Akku zu betreiben, vom Gewichtsstandpunkt aus nicht in Frage kam, so machte der wissenschaftliche Leiter aller mit der Rakete zu-

sammenhängenden wissenschaftlich-technischen Fragen, Dr. v. Braun den Vorschlag, durch Verwendung eines leichten Wechselrichters entsprechender Leistung die hohen Gewichte herabzudrücken. Da der ursprünglich angesetzte Strombedarf für ein sicheres Funktionieren der ganzen Apparatur inzwischen wesentlich höher angesetzt werden mußte, so ergaben sich noch Schwierigkeiten. Immerhin bot der Wechselrichter an Stelle des Hochspannungstransformators + Akku doch so erhebliche Vorteile, daß er in die zukünftige Lösung mit einbezogen wurde. Aber auch er mußte für den vorliegenden Zweck erst gebaut werden. Eine weitere Ersparnis an Gewicht ließ sich ferner erzielen, wenn das bisherige Tastverfahren mit Registrier-trommel ersetzt werden konnte. Unter verschiedenen Möglichkeiten schien der Vorschlag von H. Müller,

die Registrierung durch eine Aufnahmekamera mit Umkehrschmalfilm vorzunehmen, Vorteile zu bringen. Hierbei bestand die Möglichkeit, bei einer Bildfolge von 6 sec, wie sie bei der Kontaktuhr mit Tastbügel vorgesehen war, mit etwa 20 m Schmalfilm einen Betrieb von etwa 35 min durchzuführen, was für die Registrierung ausreichend gewesen wäre.

Im Frühjahr 1937 wurde daher beschlossen, an Stelle des Tastverfahrens mit Registriertrommel in die Versuche mit dem Filmaufnahmeverfahren einzutreten. Eine überschlägliche Rechnung ergab bei der Apparatur eine mögliche Gewichtersparnis von 40 % (rund 5 kg statt bisher 8 kg), was ganz abgesehen von dem Fortfall des Akkus einen wesentlichen Vorteil bedeutete.

Von der nunmehr einsetzenden Entwicklung seien nur die wichtigsten Arbeiten und Etappen angeführt: Um den Einbau der Apparatur in den Träger vorzubereiten, waren Holzmodelle für die äußeren Abmessungen des Barothermographen angefertigt worden, da die endgültigen Abmessungen seit etwa September 1936 festlagen. Diese Holzmodelle wurden Mitte Dezember 1936 geliefert, so daß die Montagearbeiten parallel mit den Entwicklungsarbeiten vorwärtsgetrieben werden konnten. Die äußeren Abmessungen des in einem Kasten untergebrachten Barothermographen betragen nunmehr rund 20 mal 32 mal 45 cm, dazu kamen noch die Anschlüsse und die außerhalb liegenden Teile, wie z. B. Meßröhre, Thermostat und Fallschirm. Die ursprünglich vorgesehene Tür zur Bedienung des eingebauten Barothermographen mußte aus Konstruktionsgründen in Wegfall kommen; dies bedingte eine gewisse Änderung des Einbaues in den Träger, bzw. für die Ingangsetzung des Barothermographen nach dem Einbau. Ebenso mußte die Frage der Gewichtersparnis auch für den Fall geprüft werden, daß die Versuche mit dem Wechselrichter nicht zum Ziele führen sollten und nur die Stromversorgung aus dem Hauptaggregat in Frage kam.

10. Im März 1937 konnte die Frage der Stromversorgung soweit als geklärt betrachtet werden, daß für den Barothermographen und speziell für die Betätigung des Feindruckmessers in Kulminationshöhe für die Dauer von ungefähr 150 sec die Entnahme der Spannung aus dem Hauptaggregat mit $23 \text{ V} \pm 0,5$ sichergestellt wurde, oder, falls die Versuche mit dem Wechselrichter Erfolg hatten, natürlich dann aus dem Wechselrichter. Für den Gesamtstrombedarf aus dem Hauptaggregat wurde eine Leistung von 60 Watt ermittelt und sichergestellt. Ferner mußte noch ein Anzeigeinstrument (Präzisions-Drehspulinstrument) für die Aufnahme des Spannungsverlaufs zwecks Kontrolle für die Betätigung der Feinmeßinstrumente zur photographischen Aufnahme durch die Schmalfilmkamera mit vorgesehen werden. Erst nach mehreren Monaten Entwicklungsarbeit gelang es der Firma Bank & Co., einen zuverlässig arbeitenden Wechselrichter zu konstruieren. Nachdem auch das Drehspulinstrument von 0 bis 15 mV und 60 Ohm Widerstand geliefert wurde, konnte der Einbau und der Beginn der laboratoriumsmäßig durchzuführenden Prüfungen erfolgen (Juni 1937). Inzwischen war es gelungen, die Schmalfilmkamera mit den erforderlichen Zusatzgeräten (Vorsatzlinse und Spiegel) zur Registrierung der Zeigerstellungen von vier verschiedenen Meßgeräten herzurichten, und zwar zwei, die auf elektrischer Über-

tragung beruhten, und zwei, die mechanisch angezeigt wurden. Diese Möglichkeit konnte für andere Aufgaben mitverwertet werden, weshalb im Rahmen der Gesamtaufgabe außer der meteorologischen Apparatur noch eine zweite Apparatur mit Sonderaufgaben in Auftrag gegeben wurde. Auch diese Apparatur wurde zum Versuchstermin im Herbst 1937 fertiggestellt und durchgeprüft. Sie sah die photographische Registrierung folgender Werte vor:

- a) Aufzeichnung der Spitzentemperatur,
- b) Aufzeichnung der Manteltemperatur,
- c) Aufzeichnung des Druckverlaufs (Staudruck an der Spitze),
- d) Aufzeichnung des Druckverlaufs im Verbrennungsraum.

Die Anzeigeapparate zu a) und b) beruhten auf elektrischer Übertragung, es waren Geräte nach dem System der Drehspul-Milliamperemeter. Die Anzeigen zu c) und d) waren nach dem Prinzip der Luftdruckmesser gebaut. Die erste ausschließlich meteorologische Apparatur (Barothermograph) sah die photographische Registrierung folgender Werte vor:

- a) eines Höhenmessers für 0 bis 20 km Höhe,
- b) die Anzeige der Höhenmessung für große Höhen von 32 bis etwa 50 km (Meßröhre),
- c) die Anzeige der Lufttemperatur auf der absteigenden Bahn (Thermoelement),
- d) die Anzeige für die Spannung mit Wechselrichter (Kontrollvoltmeter).

Die Anzeige zu a) beruhte auf mechanischem Prinzip, die zu b), c) und d) auf dem elektrischen bzw. thermoelektrischen Prinzip.

In den nachfolgenden Skizzen und Abbildungen sind die wichtigsten Teile der Apparatur wiedergegeben. Da ein großer Teil der photographischen Unterlagen leider vernichtet wurde, so kann nur ein kleiner Ausschnitt gezeigt werden. In Abbildung 2 ist eine Skizze des Barothermographen mit den wichtigsten Geräten im oberen Teil, in Abbildung 3 die entsprechende Skizze mit den wichtigsten Geräten im unteren Teil wiedergegeben. In der Abbildung 4 ist eine doppelte, vierfache photographische Registrierung des Luftdrucks bis 20 km Höhe, des Luftdrucks von 32 bis 50 km Höhe (Meßröhre), der Temperatur und des Kontrollvoltmeters für den Wechselrichter wiedergegeben, wie sie im Prüfraum gewonnen wurde. Über den Aufbau und die Anordnung der Apparatur im Prüfraum gibt der Schaltplan in Abbildung 5 Auskunft. Der Kontaktgeber und das Laufwerk sahen für den Barothermographen eine photographische Registrierung im 2, später 3 sec-Tempo vor, wobei für den voraussichtlichen Gesamtablauf der Messungen in etwa 35 min insgesamt rund 700 Registrierungen möglich waren. Die sorgfältigen Eich- und Prüfversuche dienten vor allen Dingen dazu, eine gute und scharfe photographische Registrierung sicherzustellen, die in erster Linie von dem richtigen Abstand der Skalen vom Spiegel bzw. vom Brennpunkt der Linse abhängig war. Nach Abschluß dieser Versuche mußten die beweglichen Teile im Inneren der Apparatur festgelegt und auf Stoßbeanspruchung geprüft werden, da natürlich erst dann die klare Wiedergabe der Meßelemente im eigentlichen Versuch gewährleistet war. Von anderen mit der gestellten Aufgabe im Zusammenhang

Druck- u. Temperatur-Messgerät

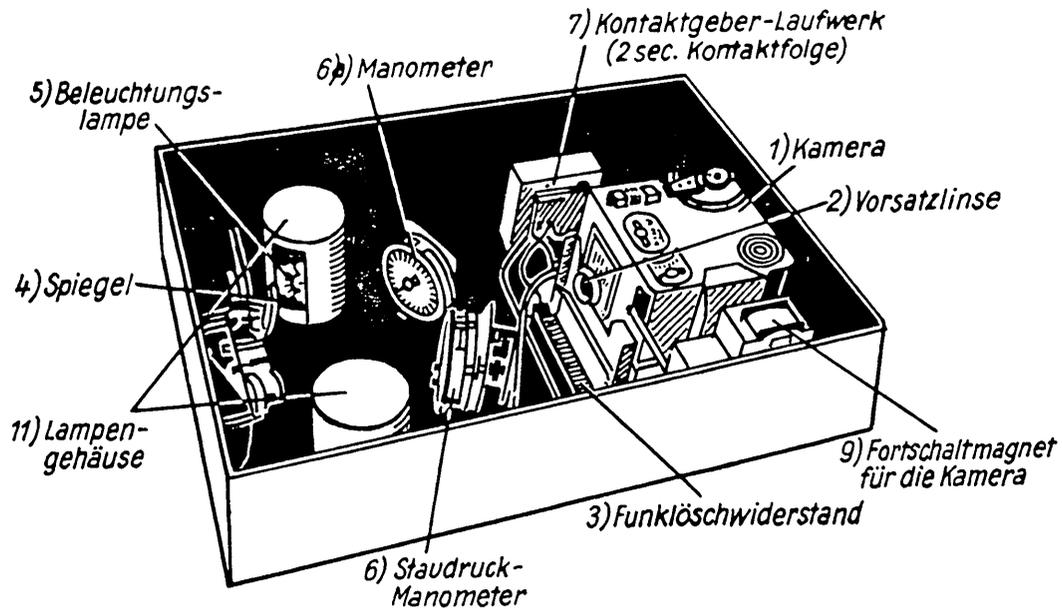


Abb. 2

stehenden Versuchen erwähne ich noch den folgenden: Um festzustellen, inwieweit eine vorzeitige Kontaktgabe bzw. Überleitung der elektrischen Spannung in dem stark luftverdünnten Raum verhindert werden konnte, wurden besondere Versuchsreihen im Vakuum

durchgeführt. Hierbei wurde nicht nur als Medium die Luft gewählt, wie sie in Erdbodennähe sich zusammensetzt, sondern auch dem möglichen Anteil der Edelgase Rechnung getragen und speziell Versuche mit Beimengung von Argon, Helium und Neon durchgeführt. Die

Druck- u. Temperatur-Messgerät

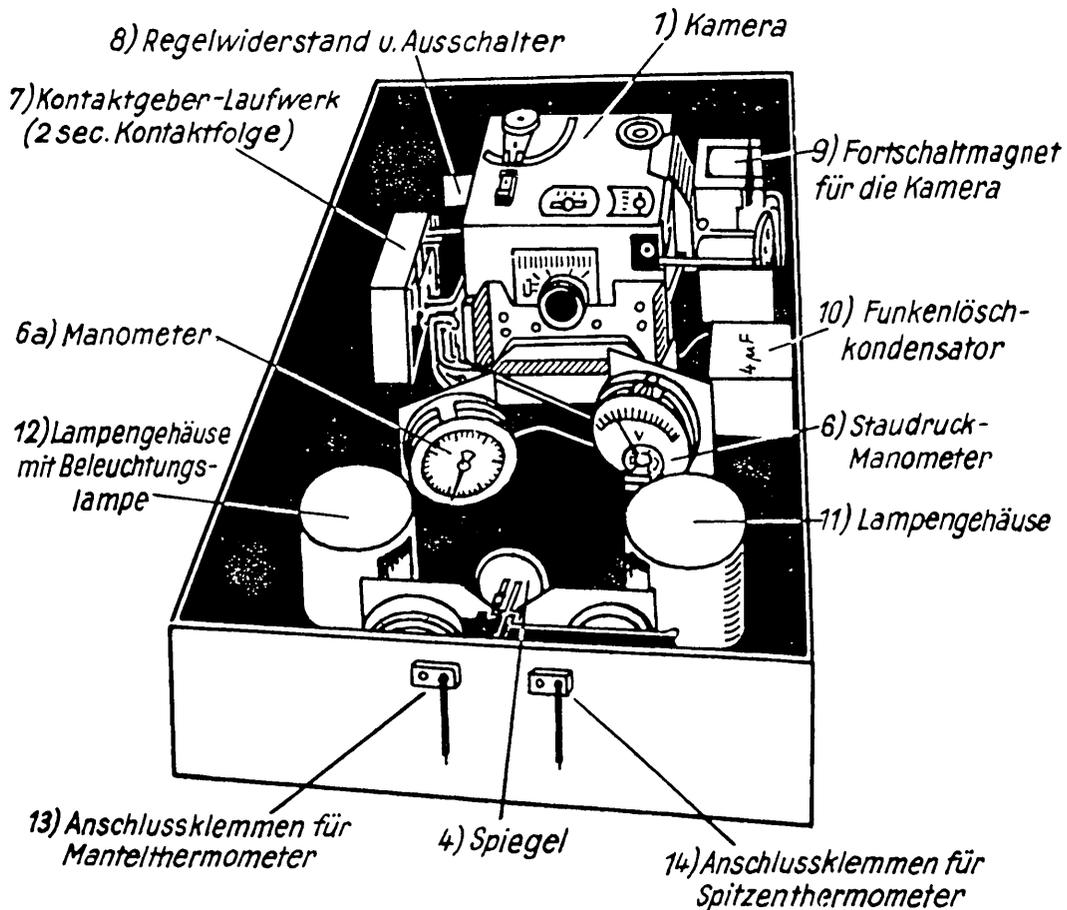


Abb. 3

Versuche zeigten, daß die gewählten Isolierungen und Stromzuführungen in genügender Weise gegen sogen.

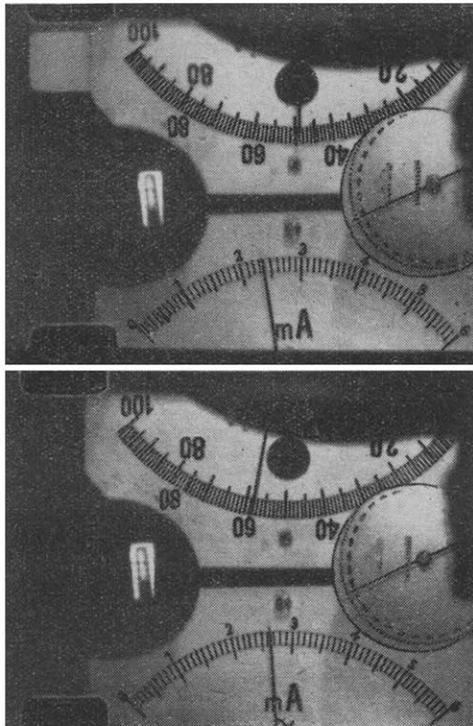


Abb. 4

Durchschlagen und Kurzschlüsse im stark luftverdünnten Medium gesichert waren.

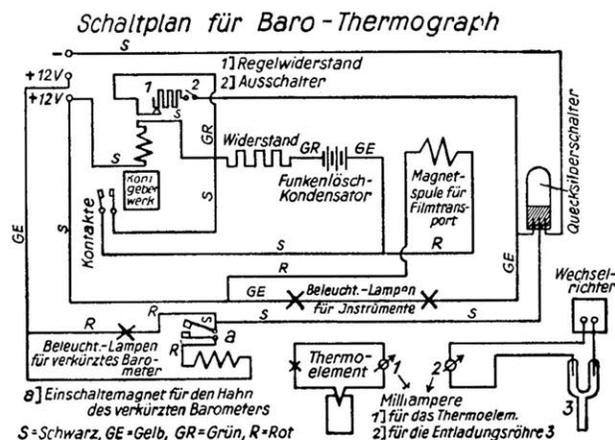


Abb. 5

D. Schlußbetrachtung

Nachdem so alle Punkte für das sichere Funktionieren der Apparatur einer sorgfältigen Prüfung unterzogen worden waren, wurde der Barothermograph im September/Oktober 1937 in die Versuchsrakete, das sogen. A 4-Aggregat eingebaut; diese sollte nach den Berechnungen des Versuchsstabes im senkrechten Schuß 40 bis 45 km Höhe erreichen. Noch im Oktober 1937 fand der erste Versuch von der Greifswalder Oie aus statt, der leider mißglückte. Kurz nach dem Start der Rakete wurde der Fallschirm vorzeitig ausgelöst; dadurch wurde die Rakete aus ihrer Bahn gedrängt

und landete nach einem kurzen Bogen durch die Luft in der Ostsee, wobei auch die Meßinstrumente zerstört wurden. Nachträgliche Berechnungen und Prüfung der Fehler ergaben, daß die Rakete damals doch nicht die errechnete Höhe erreicht haben würde. Eine neue Entwicklung der Flüssigkeitsrakete setzte nun ein, womit die Hoffnung auf Messung der Temperatur und des Luftdrucks in Höhen über 30 km auf Jahre hinausgeschoben wurde. Da ich selbst infolge anderweitiger Aufgaben mich mit diesem Problem nicht mehr so eingehend befassen konnte, so erwirkte ich 1939 für die neuen und vermehrten wissenschaftlichen Aufgaben einen Forschungsauftrag an Prof. E. Regener in Friedrichshafen, später in Weißenau/Wttbg. Ich konnte der Aufgabe laufend meine Unterstützung geben und durchsetzen, daß bei dem erweiterten wissenschaftlichen Programm der Anteil der Entwicklungsaufgaben am Barothermograph nicht zu kurz kam. Regener hat dann auf teilweise ganz neuen Wegen eine Apparatur zur Messung von Luftdruck und Temperatur entwickelt, die im Herbst 1944 fertiggestellt wurde. Hierüber kann an dieser Stelle natürlich nicht berichtet werden. Erwähnt sei noch, daß die parallel laufende Entwicklung des Fallschirms, der die Instrumente aus der Höhe sicher landen sollte, ebenfalls Jahre in Anspruch nahm. Inzwischen war auch die Flüssigkeitsrakete erheblich verbessert worden, was z. B. daraus hervorgeht, daß für das im Spätherbst 1944 in Aussicht genommene Versuchsprogramm zur Erforschung der Stratosphäre schon Höhen bis zu 100 km vorgesehen wurden. Durch verschiedene ungünstige Umstände ist jedoch dieser Start weder damals noch bis Kriegsende zur Ausführung gekommen. Ein großer Teil des technisch-wissenschaftlichen Stabes der Raketenforschung mit Dr. v. Braun ist im Jahre 1945 nach Amerika übersiedelt, wo die Versuche auf den ausgedehnten Versuchsfeldern von Almogorde und White Sands in Neu-Mexiko zusammen mit amerikanischen Forschern fortgesetzt wurden. Hierüber berichtete vor kurzem James L. H. Peck (9). Aus seinen Mitteilungen sei folgendes wiedergegeben: „Die Forschungsarbeit erstreckt sich zunächst auf die kosmischen Strahlen, die Sonnenausstrahlung, die Temperatur und Zusammensetzung der Ionosphäre sowie auf Messungen der Dichtigkeit der oberen atmosphärischen Schichten. Schon die ersten, im Sommer 1945 mit Raketen unternommenen Versuche lieferten gute Ergebnisse, aber die Herstellung späterer Modelle ermöglichte inzwischen weit höhere Aufstiege. Die Geschosse drangen bei fast 100 km Höhe bereits in die Ionosphäre ein. Die verbesserten amerikanischen Modelle sollen sogar Höhen von mehr als 130 km erreicht haben.“

Da die Wissenschaft glaubt, den Schlüssel zu den Geheimnissen des Kosmos vielleicht in der Ionosphäre finden zu können, so mag es wohl sein, daß wir an der Schwelle neuer Erkenntnisse stehen, deren Bedeutung vielleicht noch ungeheurer ist, als die durch Atomzertrümmerung eröffneten Perspektiven.“

Nach dieser Darstellung darf man also erwarten, daß wir in naher Zeit endlich zuverlässige Angaben über den Temperaturentwurf der Atmosphäre oberhalb 30 km erhalten werden. Daß an diesem Ergebnis, welches nicht nur die Meteorologie interessiert, sondern in seiner weitreichenden Bedeutung allen Völkern zugute kommen wird, die Deutschen einen

anerkannten Anteil haben, kann vielleicht versöhnend in dieser noch allzu zwiespältigen und feindlichen Umwelt wirken.

Hauptmanuskript abgeschlossen Februar 1938, mit Ergänzungen vom Mai 1947.

Literaturverzeichnis:

- (1) a) *E. Wiechert*: Bemerkungen über anormale Schallausbreitung in der Luft. 3. Mitteilung. Aus den Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse. 1926.
 - b) Deutsche Forschung (*H. Hergesell*). Aus der Arbeit der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft (Deutsche Forschungsgemeinschaft) Heft 4. Geophysik und Aerologie. 1928.
 - c) *P. Duckert*: Über die Ausbreitung von Explosionswellen in der Atmosphäre. Ergebnisse der kosm. Physik. Bd. 1. 1931.
 - d) *B. Gutenberg*: Schallgeschwindigkeit und Temperatur in der Stratosphäre. Sonderdruck aus Gerlands Beiträge zur Physik, Band 27. Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig 1930.
 - e) *J. Kölzer*: Beitrag zur Frage der anormalen Schallausbreitung in der Atmosphäre. Ztschr. f. Geophysik, Bd. V. 1928.
 - f) *J. Kölzer*: Beobachtungsergebnisse über Schallausbreitung auf nahe Entfernungen und Schlußfolgerungen zum Problem der anormalen Schallausbreitung. Bd. X der Veröffentlichung des Pr. Meteorologischen Instituts. Berlin 1932.
- (2) a) *F. W. P. Göyg*, *A. R. Meetham*, *G. M. B. Dobson*: The vertical distribution of Ozone in the Atmosphere. Proceedings of the Royal Society. A. Vol. 145. 1934.
 - b) *R. Penndorf*: Beiträge zum Ozonproblem. Veröffentlichungen des Geophysik. Inst. der Universität Leipzig. Band VIII. Heft 4. 1936.
 - c) *R. Penndorf*: Anormale Schallausbreitung und Ozonosphäre. Ztschr. f. Geophysik. Heft 7—8. 1936.
 - (3) *A. Wigand*: Hochfahrten mit Registrierballonen. Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre. XVII. Band. Heft 4. Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig 1931.
 - (4) a) *F. W. P. Göyg*: Das atmosphärische Ozon. Ergebnisse der kosmischen Physik. Band III. 1938.
 - b) *E. Regener*: Ozonschicht mit atmosphärischer Turbulenz. M. Ztschr. 1943.
 - (5) *Vacoscop* (nach *Gaede*): Handbuch der Experimentalphysik, Band 4. 1934.
 - (6) *K. Scheel* und *W. Heuse*: Kompressionsmanometer von *McLeod*, Berichte der Deutsch-physikalischen Gesellschaft. Heft 10. 1908.
 - (7) *Boldingh*: Verbessertes Kompressionsmanometer von *McLeod*. Physica III. 1923.
 - (8) *Wellauer*: Gasentladungsmanometer. Archiv für Elektrotechnik 24. 1930.
 - (9) *James L. H. Peck*: Die Erforschung der Ionosphäre. Harpers Magazine, New York 1946.

Anschrift des Verfassers: (13 b) Herrsching, Keramischestraße 8.

Der „synoptische Ereignistag“, ein neuer klimatologischer Begriff

Von Heinrich Wörner

Zusammenfassung: Bisher wurde die Häufigkeit von Witterungsereignissen (Hydrometeoren) klimatologisch durch die Auszählung von Tagen, an denen das Ereignis am Beobachtungsort auftrat, erfaßt. Einen umfassenderen Begriff erhält man, wenn man den Ereignistag durch das Auftreten des Ereignisses in einem größeren Gebiet definiert, derartige Tage werden als „synoptische Ereignistage“ bezeichnet.

Ein synoptischer Ereignistag in einem nach Höhe und Fläche abgegrenzten Raume ist jeder Tag, an dem das Ereignis irgendwo in diesem Raume irgendwann einmal auftrat.

Berechnet man den prozentualen Anteil jeder Station eines größeren Gebietes an den in diesem Gebiet aufgetretenen syn. E.-Tagen, so kann man nach diesen Zahlen eine Karte der Häufigkeitsverteilung dieses Ereignisses herstellen, die den bisher üblichen klimatologischen Häufigkeitskarten gleichwertig ist, aber den Vorteil besitzt, daß zu ihrer Herstellung ein wesentlich kürzerer Beobachtungszeitraum nötig ist als zu den bisher üblichen Karten. Man erhält nämlich für die Bestimmung des synoptischen Häufigkeitswertes um so mehr Bestimmungsgleichungen gegenüber dem klimatologischen Häufigkeitswert, je größer die Zahl der synoptischen E.-Tage gegenüber der der klimatologischen E.-Tage ist; letztere ist aber stets kleiner, höchstens gleich der ersten.

Die synoptischen Ereignistage können aus den täglichen synoptischen Meldungen abgeleitet werden (ev. aus der Wetterkarte), ohne Benutzung der Klimatabellen.

Im Zuge einer flugmeteorologischen Untersuchung über den Nebel an der östlichen Ostsee¹⁾ hat der Verfasser einen neuen klimatologischen Begriff eingeführt, der sich auch bei der Anwendung auf andere Wettererscheinungen als fruchtbar erweisen dürfte. Er soll daher hier noch einmal näher erläutert und zur Diskussion gestellt werden.

¹⁾ Forschungs- u. Erfahrungsberichte des RWD Reihe B, Heft 17.

Die Klimatologie bedient sich zur Charakterisierung des Klimas eines Ortes neben den Mittelwerten bestimmter Wetterelemente aus einem längeren Zeitraum in den letzten Jahren in steigendem Maße der Häufigkeitsauszählungen besonderer, intermittierend auftretender Wettererscheinungen. Es gibt zahlreiche Vorgänge im Wettergeschehen, die sich durch einfache Mittelbildung nicht erfassen lassen und trotzdem für jeden Ort eine besondere klimatische Eigenschaft charakterisieren. Der Methode der Mittelwertbildung können nur Vorgänge unterworfen werden, die stetig ablaufen bzw. an stetig sich ändernde meßbare Eigenschaften gebunden sind. Hierher gehören also z. B. der Luftdruck, die Temperatur, die Windgeschwindigkeit eines Ortes usw. Alle Erscheinungen aber z. B., die man mit „Hydrometeore“ bezeichnet, lassen sich nicht dieser einfachen Mittelbildung zusammenfassen. Ein Regenfall schwankt z. B. zwischen der Intensität 0 (= kein Regen) und 1 (= Regen). Hier kann man keine Mittelbildung vornehmen, sondern man betrachtet den einzelnen Regenfall als ganzes und zählt die Häufigkeit, mit der dieses „Ereignis“ innerhalb eines bestimmten Zeitraums eintritt. So entsteht der Begriff des „Regentages“. Ein Regentag ist also im bisherigen Sprachgebrauch der Meteorologie ein Tag, an dem an einer bestimmten Station irgendwann einmal Regenfall beobachtet wurde (und zwar eine Mindestmenge von 0,1 mm). In gleicher Weise können andere Wetterereignisse zusammengefaßt werden, z. B. Frosttage, heitere Tage usw.

Diese Definition geht also stets von der Beobachtung des Ereignisses an einem Ort aus und ermittelt dann seine Häufigkeit durch Auszählung der Ereignistage in