

Über die Existenz eines wärmeren Luftstromes in der Höhe von 10 bis 15^m.

Von Prof. Dr. RICHARD ASSMANN
in Berlin.

(Vorgelegt von Hrn. von BEZOLD.)

Die neueren Forschungen über die verticale Vertheilung der Temperatur in der Atmosphäre haben den Beweis erbracht, dass die von JAMES GLAISHER gefundene schrittweise Verminderung der Abnahme derselben mit wachsender Erhebung auf einem grundsätzlichen Fehler seiner Methoden und Instrumente beruhte: es ergab sich im Gegentheil im Allgemeinen eine Vergrößerung des thermischen Gradienten mit der Höhe, wie es den Gesetzen der mechanischen Wärmetheorie entspricht.

Ausserdem aber erkannte man eine ausgesprochene Schichtenbildung im Luftmeere, die in engen Beziehungen mit der Wolkenbildung und mit horizontalen sowie verticalen Luftströmen steht.

Die bis zur Höhe von 9000^m reichenden directen Beobachtungen im bemannten Freiballon ergaben nach den Darstellungen der HH. BERSON und SÜRING im dritten Bande des Berichtswerkes »Wissenschaftliche Luftfahrten« vier durch ihre Eigenthümlichkeiten der Temperatur, Feuchtigkeit und Bewegung wohl charakterisirte Luftschichten, deren oberste durch nahezu adiabatisches Temperaturgefälle, geringen Wasserdampfgehalt und beträchtliche Windgeschwindigkeit ausgezeichnet ist.

Sehr bald schon, nachdem die grosse Temperaturabnahme der höheren Atmosphärenschichten, welche nahezu einen Grad auf 100^m Erhebung beträgt, erkannt worden war, machte derjenige, welcher vornehmlich diese Thatsache festgestellt hatte, Hr. BERSON, in seiner Arbeit über die Lufttemperatur¹ selbst darauf aufmerksam, dass die weitere Fortsetzung dieses grossen Temperaturgefälles schon in einer

¹ ASSMANN und BERSON, Wissenschaftliche Luftfahrten, Braunschweig 1901, Friedr. Vieweg u. Sohn, Bd. III, S. 67.

Höhe von etwa 30^{km} zur Temperatur des absoluten Nullpunktes, d. h. zu -273° führen müsste. Eine Wiederabnahme des thermischen Gradienten in den grösseren Erhebungen und eine asymptotische Annäherung an einen unteren Grenzwert müsste deshalb als unerlässlich betrachtet werden.

Ebenso wies er, und nach ihm Hr. von BEZOLD¹, mit Recht darauf hin, dass der Begriff »Lufttemperatur« bei einer weiteren Entfernung von der Erde überhaupt hinfällig werde und dass schon bei den alleräussersten Verdünnungen nur die Wärme-Absorption und -Emission des thermometrischen Körpers in Frage komme, während die Wärmeleitung ausserordentlich zurücktrete.

Andererseits legt aber das vielfach festgestellte Vorkommen von Cirruswolken in Höhen von 10 bis 15^{km} den Schluss nahe, dass in diesen Regionen jener Verdünnungszustand noch keineswegs erreicht ist, zumal dort noch Wasserdampf und Staubkörperchen genug vorhanden sind, um diese Wolkengebilde zu erzeugen.

Nun hatte man nach dem Vorgange von HERMITE und BESANÇON in Paris gelernt, kleinere Ballons, die nur Registrirapparate tragen, in die fraglichen Höhen emporzuschicken und musste von deren Aufzeichnungen eine Lösung dieser wichtigen Frage erwarten.

In der That liessen schon die ersten Versuche dieser Art nicht nur eine Verminderung der Temperaturabnahme in den grössten Höhen, sondern sogar eine ganz ausserordentliche Zunahme wahrnehmen, die bei manchen Aufstiegen 30° und mehr betrug. Bald aber wurden sie unter demselben Gesichtspunkte, der leider den unübertrefflichen Beobachtungen GLAISHER'S den Erfolg raubte, als ein Product der Sonnenstrahlung und deshalb als irrthümlich erkannt.

Offenbar muss bei einem sich selbst überlassenen Ballon mit unveränderlichem Volumen, dessen Auftrieb sich stetig vermindert, ehe er seine Gleichgewichtslage erreicht, die natürliche Ventilation des mitgeführten Apparates in demselben Maasse abnehmen und so ein wachsender Einfluss der Sonnenstrahlung Platz greifen, deren Intensität ohnehin mit der Höhe beträchtlich wächst. Schwimmt dann der Ballon, wie dies bei vielen derartigen Fahrten festgestellt werden konnte, stundenlang in gleicher Höhe, so häuft sich auch bis zu gewissen Grenzen die Wirkung der Sonnenstrahlung auf das Thermometer und treibt es zu Werthen empor, die jeder Beziehung zur Temperatur der umgebenden Luft entbehren.

Zur Vermeidung dieser verderblichen Insulationswirkung wurden Experimente vorgenommen, die entweder die Ermöglichung einer auch

¹ Ibid. Bd. III, S. 295.

in den grössten Höhen genügenden künstlichen Aspiration zum Ziel hatten, oder dadurch von der Sonnenstrahlung frei zu werden suchten, dass man die Aufstiege in die Nacht verlegte.

Der erstere Weg führte aus dem Grunde nicht zum Ziele, weil es nicht gelingen wollte, Aspirationsvorrichtungen zu construiren, die unter den aussergewöhnlichen Verhältnissen der grossen Höhen ununterbrochen und ausreichend functionirten. Die Nachtaufstiege aber mussten ein einseitiges Bild der tieferen Luftschichten liefern, auf deren gleichzeitige Erforschung man nicht gern verzichten mochte.

Der Verfasser, der an dieser wichtigen Frage von Anfang an eifrig mitgearbeitet und zuerst auf die Unzulässigkeit, die bei den Aufstiegen gefundenen hohen Temperaturen als thatsächliche anzusehen, und auf die Vortheile der Nachtaufstiege hingewiesen hat, versuchte seit der Gründung des Aëronautischen Observatoriums des Königlichen Meteorologischen Instituts auf einem anderen Wege über die Schwierigkeiten dieser Aufgabe hinwegzukommen.

Ein abgeschlossener Ballon, der ein veränderliches Volumen besitzt, wie z. B. ein aus elastischem Paragummi hergestellter, steigt mit dem ihm gegebenen Anfangsauftriebe so lange weiter, bis er zerplatzt: er findet also keine Gleichgewichtslage.

Bei genauerer Überlegung sieht man aber, dass seine Aufstiegeschwindigkeit mit zunehmender Höhe sogar nicht unbeträchtlich wachsen muss, indem die Dichte der Luft schneller abnimmt, als seine Oberfläche zunimmt: der Luftwiderstand, den er erfährt, muss deshalb kleiner werden, und zwar ergibt eine Rechnung, auf die hier nicht eingegangen werden soll, dass die Aufstiegeschwindigkeit etwa proportional dem Durchmesser des Ballons wächst. Bei einem Drucke von 95^{mm}, entsprechend einem Achtel des Atmosphärendruckes und gegen 15000^m Höhe, ist der Durchmesser eines Gummiballons der doppelte des ihm beim Verlassen der Erde ertheilten, und seine Verticalgeschwindigkeit ebenfalls nahezu die doppelte: giebt man ihm durch Einfüllen einer entsprechenden Gasmenge eine Anfangsgeschwindigkeit von 5^m per Secunde, so beträgt dieselbe bei 15^{km} Höhe 10^m per Secunde.

Trifft man ferner eine Einrichtung der Art, dass das Thermometer gegen die directe Sonnenstrahlung durch ein hochglanzpolirtes Doppelrohr geschützt ist, analog dem bei dem Aspirationsthermometer bewährten Verfahren, und giebt dem Ballon eine Aufstiegeschwindigkeit, die einen kräftigen Luftstrom durch das oben und unten offene und trichterförmig erweiterte Strahlungs-Schutzrohr und an dem von ihm umschlossenen Thermometer-Element vorüber führt, stark genug, um jeden Strahlungseinfluss mit Sicherheit zu beseitigen, so wird diese

„natürliche Ventilation“ während des ganzen Aufstieges und bis zur grössten Höhe in zunehmendem Betrage wirksam sein.

Sobald der Ballon platzt, beginnt sofort der Absturz, den man zweckmässigerweise durch einen kleinen Fallschirm so weit ermässigt, dass der Apparat ohne ernstliche Beschädigung an der Erdoberfläche ankommt. Hierbei tritt der umgekehrte Vorgang ein, indem in den höheren Schichten ein schnelles, mit der zunehmenden Luftdichte sich verlangsames Fallen erfolgt.

Man erkennt leicht die wesentlichen Vortheile der letztgenannten Methode, wenn man sich vergegenwärtigt, dass bei ihr eine im gleichen Sinne mit der Strahlungs-Intensität wachsende Ventilation, und zwar sowohl bei dem Auf- wie dem Abstiege, stattfindet, während sich bei einem Ballon mit unveränderlichem Volumen umgekehrt die Ventilation verringert und schliesslich dort gleich Null wird, wo die Strahlungs-Intensität ihr der erreichten Höhe entsprechendes Maximum hat.

Bei der Bearbeitung der von solchen Gummiballons herabgebrachten Aufzeichnungen liessen sich nun in allen denjenigen Fällen, in denen jene eine Höhe von 10^{km} überschritten hatten, unzweifelhafte Zeichen für das Vorhandensein einer Temperatur-Inversion oberhalb dieser Grenze erkennen, deren Feststellung und Erörterung der Zweck dieser Veröffentlichung ist.

In nebenstehender Tabelle sind die nach Stufen von je 500^{m} Höhe ausgewertheten Temperaturen von 6 Registrirballon-Aufstiegen aus dem Jahre 1901 zusammengestellt, welche die Höhe von 12^{km} erreicht oder überschritten haben. Es sei bemerkt, dass nicht eine Auswahl unter mehreren stattgefunden hat, sondern dass eine grössere Anzahl derartiger Hochaufstiege noch nicht vorliegt. Den Temperaturangaben der Tabelle sind die Werthe der zwischen den einzelnen Stufen gefundenen Temperatur-Änderungen für 100^{m} Erhebung in der Spalte Δt pro 100^{m} beigefügt; die negativen Vorzeichen entsprechen dabei einer Abnahme, die positiven einer Zunahme der Temperatur mit der Höhe.

Man bemerkt zunächst, dass bei den Aufstiegen vom 4. Juli und 1. August in den untersten Schichten eine Zunahme der Temperatur mit der Höhe stattgefunden hat und ersieht aus den beigefügten Aufstiegszeiten, dass diese Erscheinung ausschliesslich den frühen Morgenstunden vor Sonnenaufgang eigenthümlich ist: sie stellt sich als ein Product der nächtlichen Bodenausstrahlung bei heiterem Himmel dar.

In den Schichten über 1000^{m} Höhe findet man in unseren Reihen diese Temperatur-Inversion nicht mehr, wohl aber wiederholt sehr kleine Gradienten, die einer Isothermie nahe kommen, zwischen erheblich grösseren: sie bezeichnen die thermischen Schichtungen der

Temperaturen und thermische Gradienten (Δt p. 100^m) für 6 Aufstiege von Registrierballons, nach Stufen von 500^m Höhe.

Seehöhe m	10. April 1901 11½ a.		4. Juli 1901 2½ a.		11. Juli 1901 8½ a.		31. Juli 1901 10½ a.		1. August 1901 3½ a.		7. November 1901 6½ a.	
	C.	Δt p. 100 ^m	C.	Δt p. 100 ^m	C.	Δt p. 100 ^m	C.	Δt p. 100 ^m	C.	Δt p. 100 ^m	C.	Δt p. 100 ^m
40	12°0		11°4		19°6		23°0		15°1		6°5	
500	8.6	-0°74	13.0	+0°35	17.6	-0°43	19.0	-0°87	20.5	+1°17	4.3	-0°48
1000	3.0	-1.12	11.9	-0.22	16.0	-0.32	14.4	-0.92	20.6	+0.02	2.1	-0.44
1500	0.8	-0.44	9.3	-0.52	14.6	-0.28	11.0	-0.78	17.5	-0.62	-1.7	-0.76
2000	- 2.0	-0.56	5.2	-0.82	11.3	-0.66	8.2	-0.56	14.1	-0.68	-5.1	-0.68
2500	- 4.3	-0.46	2.0	-0.64	9.5	-0.36	6.0	-0.44	13.5	-0.12	-7.2	-0.42
3000	- 7.3	-0.60	- 0.1	-0.42	7.6	-0.38	4.3	-0.34	12.0	-0.30	-9.2	-0.40
3500	-10.0	-0.54	- 3.3	-0.64	4.0	-0.72	3.0	-0.26	10.6	-0.28	-12.2	-0.60
4000	-13.2	-0.64	- 5.0	-0.34	1.8	-0.44	0.8	-0.44	8.8	-0.36	-14.5	-0.46
4500	-16.8	-0.72	- 8.2	-0.64	- 1.0	-0.56	- 1.8	-0.52	5.0	-0.76	-17.1	-0.52
5000	-20.3	-0.70	-11.3	-0.62	- 4.5	-0.70	- 4.6	-0.56	2.4	-0.52	-19.4	-0.46
5500	-22.4	-0.52	-14.6	-0.66	- 8.5	-0.80	- 8.0	-0.68	0.0	-0.48	-23.0	-0.72
6000	-24.9	-0.40	-18.4	-0.76	-11.5	-0.60	-11.5	-0.70	- 3.0	-0.60	-26.8	-0.76
6500	-27.6	-0.54	-22.3	-0.78	-14.3	-0.56	-13.7	-0.44	- 6.8	-0.76	-32.5	-1.14
7000	-30.6	-0.60	-26.3	-0.80	-19.0	-0.94	-16.8	-0.62	-10.5	-0.74	-38.5	-1.20
7500	-33.5	-0.58	-30.0	-0.74	-27.0	-1.60	-20.4	-0.72	-13.0	-0.50	-43.5	-1.00
8000	-36.6	-0.62	-34.0	-0.80	-32.5	-1.10	-23.4	-0.60	-16.7	-0.74	-47.0	-0.70
8500	-38.9	-0.46	-37.4	-0.68	-39.8	-1.46	-27.1	-0.74	-20.7	-0.80	-52.4	-1.08
9000	-42.3	-0.68	-41.8	-0.88	-44.6	-0.96	-31.0	-0.78	-24.5	-0.76	-56.7	-0.86
9500	-44.4	-0.42	-46.5	-0.94	-48.8	-0.84	-34.6	-0.72	-29.0	-0.90	-58.1	-0.28
10000	-43.2	+0.24	-53.5	-1.40	-51.0	-0.44	-38.4	-0.76	-34.0	-1.00	-58.3	-0.04
10500	-40.5	+0.54	-59.7	-1.24	-53.3	-0.46	-42.8	-0.88	-39.0	-1.00	-58.2	+0.02
11000	-38.9	+0.32	-58.0	+0.34	-56.8	-0.70	-45.8	-0.60	-45.3	-1.26	-58.2	0.0
11500	-37.7	+0.24	-53.0	+1.00	-59.0	-0.44	-50.0	-0.84	-50.0	-0.94	-58.2	0.0
12000	-36.6	+0.22	-51.5	+0.30	-59.0	0.0	-52.7	-0.54	-54.0	-0.80	-58.1	+0.02
12500	-35.7	+0.18	-52.0	+0.10	-59.0	0.0	-54.2	-0.30	-50.0	+0.80		
13000	-35.0	+0.14					-53.0	+0.24	-47.8	+0.44		
13500							-52.0	+0.20				
14000							-51.0	+0.20				
14500							-50.0	+0.20				
15000							-49.0	+0.20				
15500							-49.0	0.0				
16000							-49.8	-0.16				
16500							-50.5	-0.14				
17000							-51.8	-0.26				
17500							-52.5	-0.14				

Atmosphäre und fallen meist mit der oberen Grenze von Wolkendecken zusammen. Sie sind den unteren und mittleren Regionen eigentümlich.

In den beträchtlicheren Erhebungen, und zwar oberhalb von 5 bis 7^{km}, werden allgemein die Gradienten gleichmässiger und erheblich grösser, in einigen Fällen wird der adiabatische Grenzwert für trockene Luft, 1° per 100^m, überschritten, und zwar findet dies ausschliesslich in den grossen Höhen zwischen 6 und 10^{km} statt.

Oberhalb dieser Zone ausserordentlich starken thermischen Gefälles beginnt, schon auf den ersten Blick erkennbar, ein neues Regime, das sich entweder in einer schnellen Verminderung der Gradienten bis zur Isothermie oder in dem Auftreten einer mehr oder weniger intensiven Temperatur-Inversion verräth.

Betrachten wir nun unter diesem Gesichtspunkte die einzelnen Aufstiege etwas näher.

Am 10. April begann oberhalb verhältnissmässig geringer Gradienten, die noch unterhalb der Adiabate für das Schneestadium liegen, ziemlich unvermittelt bei 10^{km} Höhe eine Temperatur-Umkehrung; bei 10500^m war ihr Betrag am grössten und nahm bis zu 13^{km} Höhe völlig gleichmässig fast bis zur Isothermie ab. Die hier gefundene Temperatur von -35° war derjenigen gleich, die vorher bei 7800^m aufgezeichnet worden war, und sie war um 9.4 höher als die bei 9500^m registrierte. Aus der sehr gleichmässigen Verminderung des positiven Gefälles könnte man schliessen, dass bei 15^{km} volle Isothermie und vielleicht bei 18 bis 19^{km} wieder die Temperatur der Höhe 9500^m angetroffen sein würde, wenn der Ballon weiter emporgedrungen wäre.

Im vorliegenden Falle ist aber, gegensätzlich zu allen den folgenden, der Gummiballon, der nur einen Durchmesser von 1200^{mm} besass, nicht geplatzt; er hat vielmehr eine, wenn auch nur kurzwährende Gleichgewichtslage gefunden, in welcher er mit einer Geschwindigkeit von etwa 40^m per Secunde nach Nordost getrieben ist. In lehrreicher Weise lässt die hierbei gezeichnete Curve den mächtigen Einfluss der Sonnenstrahlung darin erkennen, dass die Temperatur während der Zeit der mangelnden Verticalbewegung und Ventilation bis auf -24° gestiegen, aber bei dem in Folge von Gasverlust allmählich schneller werdenden Fallen genau wieder der Spur der Aufstiegs-Registrierung gefolgt ist.

Am 4. Juli setzte nach einer ganz ausserordentlich schnellen Abnahme zwischen 9000 und 10500^m Höhe eine Temperatur-Inversion mit dem Gradienten $+0.34$ bei 11^{km} ein; derselbe stieg dann auf $+1.0$ und ging bis zu 12^{km} Höhe auf $+0.3$ und $+0.1$ zurück. Auch in diesem Falle wird man eine isotherme Schicht bei etwa 14^{km} und die Wiederkehr der ungewöhnlich tiefen Temperatur der unteren Grenze der Inversion — fast -60° — bei 16 bis 17^{km} vermuthen können. Die höchste registrierte Temperatur lag um 7.7 über der darunter gefundenen tiefsten.

In diesem Falle ist der Ballon, der einen Durchmesser von 1500^{mm} hatte; unzweifelhaft in der grössten Höhe geplatzt, wie aus den die Abstiegscurve durchkreuzenden Federspuren mit Sicherheit zu erkennen ist; dieselben rühren, wie experimentell festgestellt worden ist, von

dem Flattern des Ballonstoffes her, der nach dem Platzen als ein formloser Lappen an dem Fallschirme hängt und, dessen gleichmässige Entfaltung hindernd, starke Pendelungen des Apparates hervorrufft.

Am 11. Juli wurde ein Gummiballon von 1800^{mm} Durchmesser verwandt, der mit 4^{cm} Wasserstoffgas gefüllt war; da sich aber sein Aufstieg längere Zeit verzögerte, war wohl sein Gas durch Diffusion so verschlechtert, dass er nur mit einem mässigen Auftriebe stieg. Nachdem er in 7 bis 8^{km} Höhe eine ausserordentlich grosse Temperaturabnahme angetroffen hatte, verminderte sich diese mit einigen Schwankungen von 10^{km} Höhe an beträchtlich und ging zwischen 11 und 12^{km} in volle Isothermie über; da er hier schon platzte, erreichte er die wahrscheinlich in grösserer Höhe liegende Inversionsschicht nicht.

Am 31. Juli, dem Tage der grossen Hochfahrt der HH. BERSON und SÜRING, die nahezu bis zur Höhe von 11000^m, d. h. bis zu unserer kritischen Inversionsschicht, reichte — leider waren in dieser Höhe beide Forscher bewusstlos, so dass keine Beobachtungen vorliegen —, stieg abermals ein Gummiballon von 1800^{mm} Durchmesser auf. An dem ungewöhnlich warmen Tage reichten die Schichtungen in sehr grosse Höhen hinauf, was auch von den Beobachtern im Freiballon festgestellt wurde. Der thermische Gradient überschritt bei 10 und 11^{km} nicht den adiabatischen Grenzwert, sank aber darüber schnell bis zur Isothermie bei 12^{km} herab, um nun in eine äusserst gleichmässige Temperaturzunahme um 5°2 überzugehen, die bis zur Höhe von 15000^m reichte. Leider verliess hier die Registrirfeder das Papier an seinem oberen Rande, und so müssen die in der Tabelle weiter angegebenen Werthe als hypothetisch angesehen werden. Da indess bei dem Wiedereintritt der Curve auf das Registrirpapier nach dem unzweifelhaft erfolgten Platzen des Ballons eine um 2°5 niedrigere Temperatur aufgezeichnet wurde, kann man mit grosser Wahrscheinlichkeit schliessen, dass sich der Ballon thatsächlich der oberen Grenze des wärmeren Luftstromes genähert hat, an der eine um 2°5 niedrigere Temperatur den Übergang zu einem abermaligen negativen Gradienten verrieth. Eine zwanglose Extrapolation des zwischen den beiden Curven fehlenden Stückes macht eine Höhe von 17 bis 18^{km} wahrscheinlich.

Am nächstfolgenden Tage, dem 1. August, wurde abermals ein Gummiballon von gleicher Grösse aufgelassen, der indess schon bei 13^{km} platzte. Er fand zwischen 9 und 11^{km} Höhe ein die Adiabäte überschreitendes Temperaturgefälle, das sich bis 12^{km} schnell verminderte und darüber unvermittelt in eine starke Temperatur-Inversion übergang, deren Betrag nur zu 5°2 gefunden wurde, da der Ballon keine grössere Höhe erreichte.

Am 7. November endlich fand ein Gummiballon von 1800^{mm} Durchmesser eine verhältnissmässig geringfügige Schichtung in den unteren und mittleren Höhen, aber schon bei 6^{km} eine sehr starke Temperaturabnahme, die mit geringen Schwankungen bis zu 8500^m reichte, sich dort aber schnell verringerte, um bei 10^{km} einer vollen Isothermie Platz zu machen. Bei 11500^m schien dieselbe in eine geringfügige Temperaturzunahme übergelien zu wollen, die jedoch, da der Ballon bei 12^{km} platzte, nicht weiter erforscht wurde.

Versuchen wir nun, uns an der Hand des obigen Materiales ein Bild von den Verhältnissen zu machen, wie sie an jenen 6 Tagen in den höheren Atmosphärenschichten geherrscht haben mögen, so wird man, wenn man mit dem Verfasser die Aufzeichnungen als unbeeinflusst von der Sonnenstrahlung gelten lässt, nicht umhin können, die Existenz eines erheblich höher temperirten Luftstromes oberhalb der Zone von 10 bis 12^{km} als bewiesen anzusehen.

Es darf aber hier nicht unerwähnt bleiben, dass auch Hr. TEISSE-RENC DE BORT in Paris, der an seinem Observatoire de la météorologie dynamique in Trappes bereits gegen 500 Registrirballons — dort Ballons-sondes genannt — emporgeschickt hat, schon vor einigen Monaten Beweise für eine Verminderung des thermischen Gradienten oberhalb 10^{km} beigebracht hat. In einer kürzlich¹ erschienenen Mittheilung berechnet er den thermischen Gradienten dieser Höhe auf $-0^{\circ}3$ pro 100^m und stellt fest, dass dieses Regime bei cyclonalem Wettertypus in 10^{km}, bei anticyklonalem in 13^{km} Höhe seinen Anfang nehme.

Da seine Ballons — er benutzt ausschliesslich solche aus Papier von 50 bis 60^{cbm} Inhalt — die oben genannten Missstände des mit zunehmender Höhe verlangsamten Aufsteigens besitzen und demnach auch eine Gleichgewichtslage finden, lässt sich ein Beweis des fehlenden Strahlungseinflusses nur bei denjenigen Aufstiegen erbringen, die während der Nachtzeit ihre grösste Höhe erreicht haben. Wegen der erheblich längeren Zeit aber, die ein allmählich seiner Gleichgewichtslage zustrebender Ballon gebraucht, um seine grösste Höhe zu erreichen, kann diese Bedingung nur dann als erfüllt gelten, wenn der Aufstieg schon 3 bis 4 Stunden vor Sonnenaufgang vor sich gegangen ist, oder wenn man, wie dies nach dem Vorschlage des Verfassers mittels einer Weckeruhr geschehen kann, den Aufstieg erheblich unterhalb der Maximalhöhe abbricht.

¹ Annuaire de la société météorologique de France 50, 1902, p. 49.

So erfreulich nun auch diese Bestätigung der vom Verfasser mit seiner unzweifelhaft vortheilhafteren Methode gefundenen Ergebnisse ist, so darf man doch darauf hinweisen, dass seine Resultate einen erheblichen Schritt weiter gehen, indem er nicht nur eine Wiederabnahme des Temperaturgefälles, sondern eine beträchtliche Zunahme der Temperatur selbst, also einen wärmeren Luftstrom, feststellen und auch in einigen Fällen dessen obere Grenzschicht erforschen konnte.

Hr. TEISSERENC DE BORT fügte den eingangs erwähnten 4 thermischen Schichten BERSON's eine fünfte hinzu; diese ist durch unsere Experimente nicht nur bestätigt, sondern in ihrer Wesenheit als ein absolut wärmerer Strom erkannt; ferner ist aber auch über dieser eine sechste Schicht der Wiederabnahme der Temperatur festgestellt worden.

Die Ursachen dieser warmen Strömung zu erörtern, dürfte noch verfrüht sein: es liegt nahe, dieselbe als einen Theil der unzweifelhaft vorhandenen grossen atmosphärischen Circulation anzusprechen, die den oberen Zweig des Luftaustausches zwischen dem Aequator und den Polen vermittelt. Wenn die über den tropischen Meeren unter steter Condensation ihres Wasserdampfes zu grossen Höhen aufgestiegenen und deshalb relativ warmen Luftmassen auf einer nach den Polen zu schräg abwärts geneigten Bahn fliessen, so würden sie ihren durch Leitung und Strahlung erfolgenden Wärmeverlust durch den dynamischen Vorgang beim Niedersinken wohl ersetzen und auch noch in höhere Breiten als relativ hochtemperirte Strömung vordringen können.

Durch die noch nicht erwähnte Thatsache aber, dass bei mehreren unserer Aufstiege das Vorhandensein einer hohen Cirrusdecke in angenähert gleicher Höhe festgestellt werden konnte, wird der fernere Schluss nahegelegt, dieselbe in einen ursächlichen Zusammenhang mit unserer Discontinuitätsschicht zu bringen. Die neueren Forschungen haben unzweifelhaft festgestellt, dass wohl alle geschlossenen Wolkendecken in den verschiedenen Höhen mit Discontinuitäten zusammenfallen, mögen dieselben nach der geistvollen Theorie HERMANN VON HELMHOLTZ' unter Wogenbildung ein Product des von der Discontinuität erzeugten labilen Gleichgewichtes sein, oder mögen, wie BERSON und SÜRING nachgewiesen haben, die Zonen höherer Temperatur den aufsteigenden Luftmassen eine Condensationsgrenze ziehen. Wendet man diese Erfahrungsergebnisse auch auf die hier nachgewiesene sehr beträchtliche Discontinuität in grosser Höhe an, so liegt kein Grund vor, an der Möglichkeit eines derartigen Zusammenhanges zu zweifeln.

Es darf dabei nicht vergessen werden, dass in der Höhe von 10^{km} und bei den dort herrschenden niedrigen Temperaturen die Adiabate für das Schneestadium zwischen 0°8 und 0°9 pro 100^m beträgt,

Werthe, die in jenen Höhen meist festgestellt worden sind. Vielleicht liefert auch der aus den tropischen Meeren stammende warme Luftstrom einen Beitrag von Wasserdampf zur Condensation, deren Product die hohen Cirruswolken sind.

Bei der Unsicherheit, die zur Zeit noch über die Entstehungsursachen dieser Wolkengebilde herrscht, dürfte ein jeder Beitrag zu deren näherer Erforschung als willkommen anzusehen sein. Man wird dann vielleicht zu einer schärferen Unterscheidung zwischen hohen Cirren, die ein Product der oberen Allgemein-Circulation sind und mit dieser vorwiegend aus westlicher Richtung ziehen, und tieferen kommen, die mit den Druckcentren der unteren⁴ und mittleren Regionen in ursächlichem Zusammenhange stehen. Der Ausdruck „falsche Cirren“, den man häufig anwendet, deutet an sich schon auf eine grundsätzliche Unterscheidung der Form nach hin.

Ausgegeben am 15. Mai.

A

im :
Ges
ein
deut
Sect

lich
tun
19
sch

ge
Zo
Zo

de
M

va
Re
di
Di
de
Di
m

ZU