

Beilage zur Berliner Wetterkarte

Amtsblatt des Instituts für Meteorologie
Wissenschaftliche Einrichtung 03 im Fachbereich Geowissenschaften
der Freien Universität Berlin
Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10, 12165 Berlin

118/98
SO 16/98

ISSN 0938-5312
27.11.1998

Die Ballonfahrt von Berson und Süring am 31. Juli 1901

und die Entdeckung der Tropopause

von

Jürgen Pelz

Im Zusammenhang mit der Bearbeitung der Berliner aërologischen Daten wurden auch die Meßergebnisse der legendären Ballonfahrt von Arthur BERSON und Reinhold SÜRING am 31. Juli 1901 überprüft. Die Fahrt wurde mit dem größten damals in Deutschland gebauten Ballon PREUSSEN mit einem Volumen von 8400 m³ durchgeführt. Für den Auftrieb sorgten 5400 m³ reiner Wasserstoff. Der Start erfolgte um 10.50 Uhr auf dem Tempelhofer Feld und um ca. 15.40 Uhr war der Gipfelpunkt erreicht. In der umseitigen Tabelle, einer etwas verkleinerten Kopie aus dem Fahrtbericht, wird die erreichte Höhe mit 10800 m angegeben. (Bei der Probefahrt am 11. Juli 1901 war der Ballon aus finanziellen Gründen mit Leuchtgas gefüllt und erreichte eine Höhe von rund 7500 m).

Beide Ballonfahrer fielen, kurz bevor sie den höchsten Punkt des Aufstieges erreichten, in Ohnmacht. Die letzte Ablesung des Quecksilber-Barometers durch BERSON ergab einen Stand von 202.5 mm Hg was einer Höhe von 10500 m entsprechen sollte. Die Temperatur konnte er nicht mehr ablesen. Die letzte Druckangabe von 193 mm Hg wurde nach der Fahrt dem Barogramm entnommen, auch hier fehlt die Temperatur. BERSON und SÜRING schreiben dazu:

"...dass der Ballon noch, kurz nachdem auch der zweite Korbinsasse bei 10500 m das Bewusstsein verloren hatte, um mindestens 300 weitere Meter stieg, somit eine Maximalhöhe von sicherlich 10800 m (vielleicht 11000 m) erreicht und hierauf, unter Nachwirkung des Ventilzuges, in ein jähes Fallen umbog."

Neben dieser bemannten Ballonfahrt (Nr. 93) wurden am selben Tag vier weitere Meßserien mit den laufenden Nummern 90 bis 92 und 94 gestartet. Zwei Stunden vor dem Start des PREUSSEN wurde der Drachenballon "C" aufgelassen, der eine Höhe von 2120 m erreichte. Er wurde bis zum Nachmittag auf etwa diesem Niveau gehalten (Tabelle 3). Etwas früher als PREUSSEN wurden zwei Registrierballone gestartet und zwar um 10.05 Uhr (Nr 91) und um 10.16 Uhr (Nr.92). Der erste Ballon landete in der Nähe des Ortes Fangschleuse am Ufer des Wupatz-Sees. Die Registrierung war durch Wassereinwirkung vollkommen zerstört. Der zweite Ballon landete ebenfalls in der Nähe von Fangschleuse, jedoch im Wald, nur 1.5 km vom anderen Landeort entfernt. Die erreichte Höhe wird mit 17345 m angegeben (Tabelle 2). Um 18.20 Uhr wurde der Drachenballon "C" abermals aufgelassen und bis zum nächsten Morgen um 4.42 Uhr in Höhen zwischen 1000 m und 1500 m gehalten (Tabelle 4).

No. 99.

Fahrt des bemannten Ballons.

Tabelle 1

Ballon »Frossen« von 8400 m³, gefüllt mit 5400 m³ Wasserstoff.

Beobachter: Suring, Berson.

Zeit	Luft- druck reduc.	See- höhe	Luft- tempe- ratur	Dampf- spannung	Relative Feuchtig- keit	Aktino- metrische Differenz	Son- nen- schein	Bewölkung		Bemerkungen
								oben	unten	
h m	mm.	m	°	mm.	%	°				
10 50 ^a	762.0	40	21.4	15.3	72	—	☉ ²	—	—	Aufstieg (vom Tempelhofer Felde).
54	718.5	550	20.4	15.4	48	27.3	—	—	—	Es geht zunächst nach SE
57	667.5	1180	14.6	7.85	62	—	—	—	—	Fast an der oberen Grenze der ob.
11 0	612.5	1880	10.5	4.35	45	—	☉ ²	1 ¹ ci am Horizont	3 ¹ ci	
7	566.0	2575	7.0	3.0	39	—	—	—	—	
10	499.0	3620	3.5	1.4	25	—	—	—	—	»Frossen« dreht sehr stark nach rechts
30	423.0	4940	-6.3	1.15	42	21.3	—	—	—	und fliegt nunmehr nach SW.
41 ^a	412.0	5150	-7.8	0.90	17	22.8	—	—	—	
11 16 ^b	388.0	5650	-9.2	1.8 (?)	84 (?)	—	—	—	—	Wir beginnen mit der Sauerstoff-
28	384.0	5750	-10.5	0.59	57	26.5	—	—	—	atmung.
40	369.0	6050	-12.5	0.74	46	—	—	—	—	
57	354.5	6340	-13.5	0.6	38	—	—	—	—	
1 0	345.0	6535	-16.1	0.59	51	32.4	—	—	—	
11	336.8	6720	-17.3	0.72	70	—	☉ ²	2 ¹ ci	2 ¹ ci	Ballon scheint zeitweise gegen Berlin
20	324.3	6984	-19.3	0.58	67	—	—	—	—	zurückzuliagen.
34	315.8	7205	—	—	—	—	—	—	—	
40	312.3	7290	-20.6	0.47	74	28.6	—	3 ¹ ci, ci-str	10 cu	
46	300.3	7505	-23.1	0.49	85	—	—	—	—	
53	294.0	7740	-24.7	0.44	85	—	—	—	—	
2 1	287.8	7895	—	—	—	—	—	—	—	
11	277.0	8170	-27.8	0.46	95	32.3	—	—	—	Wir sind beide klüßig es wird empfind-
24	268.5	8400	—	—	—	—	—	—	—	lich kalt.
28	259.0	8695	-29.6	—	—	—	—	—	—	Zwischen Potsdam und Schiessplatz
45	246.8	9050	-30.4	—	—	—	—	—	—	Kummersdorf.
54	241.5	9155	-32.3	—	—	—	—	—	—	
55	232.3	9500	-33.0	—	—	—	—	—	—	
5 1	225.0	9735	-37.3	—	—	—	—	—	—	Störungen des Befindens traten nur
10	214.5	10085	-38.9	—	—	—	—	—	—	ganz vorübergehend auf.
28	210.5	10225	-39.7	—	—	—	—	—	—	Wir sind jetzt ziemlich gleich hoch
										mit dem Erden.
11 32	202.5	10470	?	—	—	—	—	—	—	Wir fallen beide, nachdem Berson
44 3 40	193.5	10800 ^b	?	—	—	—	—	—	—	noch wiederholt das Ventil gezogen
										hat, in tiefe Ohnmacht. ^c
6 20	Wir kommen erst nach ca. $\frac{3}{4}$ Stunden zu uns. — Abstieg in mehreren Stufen ganz langsam ausgeführt. ^d									
	Leichte Landung bei Briesen, nahe Kottbus.									
	Mittlere Richtung: S 40° E (sehr veränderlich, siehe Beschreibung); Dauer der Fahrt: 7 Stunden 35 Min.;									
	Länge: ca. 140 km; Mittlere Geschwindigkeit: ca. 5 m p. s. (schwankend zwischen 3 und > 20 m).									

Der Luftdruck wurde entweder bei Ruhelage des Ballons mit einem Quecksilber-Barometer gemessen oder, beim steigenden Ballon, aus der Barographenkurve abgelesen, wobei das Aneroid auf das Hg-Barometer reduziert wurde. Für die Messung der Lufttemperatur und der Feuchte wurde ein Aspirationspsychrometer benutzt. Häufig wurde das Instrument mit einem Ausleger vom Ballonkorb weg geschwenkt und mit einem Fernrohr abgelesen. Ob diese Methode auch hier benutzt wurde, ließ sich nicht feststellen. Wichtig ist eine Anmerkung von BERSON, daß an den Messungen Korrekturen angebracht wurden, die von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ermittelt worden waren.

Ein besonderes Problem ergab sich bei der Feststellung der Höhe. Nur sehr selten wurden Höhen trigonometrisch ermittelt, im allgemeinen aber aus dem Luftdruck berechnet. BERSON schreibt in den "Wissenschaftlichen Luftfahrten", daß die Berechnung der Höhe aus dem Luftdruck voraussetzt, daß der Barometerstand auch wirklich ein Maß für den Luftdruck ist, daß also alle Korrekturen angebracht werden. Dazu gehört auch die Schwerekorrektur, die aber breiten- und höhenabhängig ist. Das bedeutet aber, daß für die Schwerekorrektur die Höhe, die man ja ausrechnen will, bereits bekannt sein muß.

Tabelle 2							
No. 92.							
Aufstieg des Registrierballons II.							
Gummiballon von 1800 mm Durchmesser mit Apparat II. Auf 10 ⁴ IN ⁶ .							
Luftdruck mm	Temperatur		Seehöhe m	Luftdruck mm	Temperatur		Seehöhe m
	Aufstieg C°	Abstieg C°			Aufstieg C°	Abstieg C°	
764	23.0	15.0	40	380	-10.0	-12.0	5766
750	21.5	14.3	201	360	-12.0	-13.0	6185
740	20.4	13.5	317	340	-14.1	-18.0	6613
730	19.7	12.7	433	320	-17.3	-20.8	7085
720	18.3	12.0	554	300	-20.9	-23.4	7570
710	17.4	11.4	674	280	-24.0	-29.5	8080
700	16.5	10.8	795	260	-28.1	-33.0	8625
680	14.2	9.0	1040	240	-32.5	-38.5	9200
660	12.5	7.0	1292	220	-36.5	-43.5	9812
640	10.3	7.0	1550	200	-42.7	-49.2	10470
620	9.0	6.0	1815	180	-46.5	-52.0	11180
600	7.9	4.5	2087	170	-50.0	-53.0	11560
580	6.8	3.3	2360	160	-52.0	-55.1	11957
560	5.4	2.0	2657	150	-53.5	-58.5	12380
540	4.5	0.8	2955	140	-53.5	-53.5	12825
520	3.7	- 0.8	3262	130	-52.5	-52.0	13310
500	3.0	- 2.1	3582	120	-51.5	-52.0	13825
480	1.3	- 4.0	3913	110	-50.5	-52.0	14395
460	-0.6	- 5.6	4255	(100)	(-50.0)	(-52.0)	(15010)
440	-2.3	- 7.0	4610	(90)	(-51.0)	(-52.0)	(15710)
420	-4.7	- 8.5	4980	(80)	(-52.5)	(-52.0)	(16480)
400	-7.0	-10.1	5365	(70)	(-52.0)	-	(17345)

Gefallen 10⁴ im Walde zwischen Erkner und Fangschleuse 35.5 km nach S 67° E.
Mittlere Geschwindigkeit 5.8 m p. s.

In heutiger Zeit wird die Berechnung der geometrischen Höhe iterativ durchgeführt. Seinerzeit wurden Tabellen benutzt, in denen Korrekturen für die verschiedenen Druckflächen, Breiten und Dampfdrucke aufgelistet waren (JORDAN'sche Tafeln). Wie auch heute noch wurden die Höhendifferenzen zwischen zwei Druckmessungen aufsummiert. Die so erhaltenen Höhen wurden noch einmal korrigiert, denn während der oft stundenlangen Ballonfahrten ändert sich der Bodenluftdruck und die Temperatur unter dem Ballon sowohl örtlich als auch zeitlich. Obwohl der Korrekturbetrag erhebliche Größe annehmen kann, wird er bei den heutigen Radiosondenaufstiegen nicht berücksichtigt.

Die von der Fallbeschleunigung unabhängige Druckmessung mit dem Hypsometer war schon bekannt. Wie BERSON schreibt wurde sie aber wegen der Feuergefahr und der umständlichen Handhabung bei Ballonfahrten nicht benutzt.

Die in Tabelle 1 angegebene Größe "aktinometrische Differenz" ist die Differenz zwischen einem Schwarzkugelthermometer und einem ventilerten Thermometer.

Tabelle 3							
No. 90.							
Aufstieg des Drachenballons „C“.							
Ballon von 68 m ² ; 2750 m Kabel.							
Zeit h. m.	Luft- druck mm	See- höhe m	oben			unten	
			Tempe- ratur C°	Rel. Feucht. %	Wind m p. s.	Tempe- ratur C°	Rel. Feucht. %
8 51"	765	40	Ballon auf			21.8	66
9 10	651	1390	10.8	44	1.4	—	—
44	672	2224	11.5	50	5.4	23.7	61
Ballon in Wolken							
10 53	612	1502	10.0	44	3.5-4.4	—	—
11 58"	597	2100	9.0	35	—	—	—
12 54"	600	2076	9.2	35	—	23.4	45
1 54	608	2002	9.4	32	—	—	—
2 57	604	2017	9.8	37	zwischen 0.9 und	26.6	35
3 55	601	2054	11.2	20	1.5	28.8	29
Wolken teilen sich							
4 57	611	1510	11.7	49	—	—	—
5 24	612	1495	12.0	53	—	—	—
40	708	732	18.2	46	—	—	—
52	760.2	40	Ballon unten			20.5	28

Tabelle 4		No. 94-96.														
31. Juli und 1. August 1901. 19. Internationale Fahrt																
No. 94. 31. Juli und 1. August, Aufstieg des Drachenballons „C“.																
Ballon von 64 m ² ; 2030 m Kabel; auf am 31. Juli 6 ^h 20 ^m p. m., unten am 1. August 4 ^h 41 ^m p. m.																
Bewölkung: 3 ¹ 0 ⁴ ; Wind N 2-3 m p. s.																
Zeit h m	Luft- druck mm	See- höhe m	oben			unten			Zeit h m	Luft- druck mm	See- höhe m	oben			unten	
			Tempe- ratur C°	Rel. Feucht. %	Wind m p. s.	Tempe- ratur C°	Rel. Feucht. %	Tempe- ratur C°				Rel. Feucht. %	Wind m p. s.	Tempe- ratur C°	Rel. Feucht. %	
31. Juli																
6 20 ^m	760	40	25.2	74	—	26.2	74	1. August								
7 55	647	1480	12.5	58	—	—	—	10 51 ^m	664	1210	13.0	73	—	—	—	—
7 58	636	1580	11.5	60	—	—	—	11 40	672	1110	13.6	74	—	—	—	—
8 13	624	1475	11.5	64	—	—	—	12 45	672	1110	13.5	68	—	—	—	—
8 5	623	1275	14.5	70	—	—	—	13 43	672	1040	14.7	64	—	—	—	—
10 20	622	1360	11.4	75	—	—	—	14 5	704	720	17.0	61	—	—	—	—
11 15 ^m	623	1475	11.6	74	—	—	—	14 23	736	415	19.6	62	—	—	—	—
								14 40	740	495	20.0	60	—	—	—	—
								14 50	750	585	21.4	62	—	—	—	—
								15 42	758.2	40	23.0	65	—	—	—	—
Mittlere Temperatur-Absätze																
Erde-1510 m = 0,56° p. 100 m (abends)																
1175-1110 > = 2,75° > > > (Mittelnachts)																
115-105 > = 0,36° > > > >																
103-Erde > = 1,90° > > > > Zwickau } (Morgens)																

Für den bemannten Ballon ist als Startort ausdrücklich das Tempelhofer Feld erwähnt worden. Sowohl für den Registrierballon als auch für die Drachenballone fehlen entsprechende Angaben. In allen Fällen ist aber die Stationshöhe mit 40 m vermerkt worden. Da das eigentliche Aeronautische Observatorium, das damals noch in Reinickendorf auf dem Gelände des heutigen Flughafens Tegel lag, eine Stationshöhe von 35 m hatte, wurde angenommen, daß alle Starts auf dem Übungsplatz des Luftschißer-Batallions am heutigen Flughafen Tempelhof erfolgten.

Diskussion der Messungen

Für die Hochfahrt Nr 93 sind 31 Meßpunkte veröffentlicht worden von denen 5 nur Druckmessungen sind. Die Feuchtemessung reicht bis ca. 8000 m Höhe. Für das Cumuluskondensationsniveau (CKN) errechnet sich ein Druck von 907 mbar. Zu der Untergrenze der Cumuli haben die Ballonfahrer keine Angaben gemacht. Der erste Drachenballon (siehe Tabelle 3) verschwand aber bei einem Luftdruck von 672 mm (896 mbar) um 9.44 Uhr in den Wolken. PREUSSEN war zu der Zeit noch nicht gestartet und erreichte diese Druckfläche bei einer Steigggeschwindigkeit von 210 m/min erst kurz vor 10.57 Uhr. Für den um 10.18 Uhr gestarteten Registrierballon errechnet sich der Druck im Kondensationsniveau zu 936 mbar, was einer Höhe von 770 m entspricht. Da kein Hygrometer geflogen wurde, wurden die Feuchtwerte von PREUSSEN übernommen. Weil keine Zeiten angegeben sind, kann man nur schätzen wann das Wolkenniveau erreicht wurde. Bei den üblichen Steigggeschwindigkeiten müßte das gegen 10.25 Uhr gewesen sein.

Es ergibt sich für das CKN folgendes Bild:

	Drachen- ballon	Registrier- ballon	PREUSSEN A*	PREUSSEN B*	
Zeit	9.44	ca. 10.25	—	10.56.30	Uhr
Temperatur	11.5	16.7	16.1	ca. 15.8	°C
Druck	896	936	907	ca. 907	mbar
Höhe	1124	770	1020	ca. 1070	m

* PREUSSEN A aus den Aufstiegsdaten berechnetes CKN, PREUSSEN B Werte für 10.56.30 Uhr zwischen den Messungen interpoliert. Der Zeitpunkt wurde für 907 mbar aus der Aufstiegsgegeschwindigkeit geschätzt.

Diese Aufstellung steckt voller Überraschungen. Die Temperatur im CKN müßte zwischen 9.44 Uhr (Drachen) und 10.56 Uhr (PREUSSEN) um ca. 4°C gestiegen sein wenn man den Höhenunterschied von rund 50 m berücksichtigt. Eine so rasche Erwärmung ist im frontenfernen Raum selbst am Boden nicht zu erwarten. Tatsächlich stieg die Temperatur an der Station in dieser Zeit nur um etwa 1 °C. Berechnet man aber mit den Drachendaten die Wolkenhöhe (CKN), so erhält man 1122 m. Das sind nur 2 m Abweichung von der angegebenen Höhe bei der der Ballon tatsächlich in der Wolke verschwand, so daß diese Messung als korrekt angesehen werden kann. Mit einem Gradienten von 1.07 °C/100 m liegt eine schwach labile Schichtung bis zur Wolkenuntergrenze vor.

Konstruiert man aus den in Tabelle 3 angegebenen Werten den Tagesgang der Bodentemperatur, dann kann für 10.25 Uhr ein Wert von 23.5°C interpoliert werden (Laut Fahrtbericht wurde das Maximum von 29°C gegen 16 Uhr erreicht). Das ergibt unter dem CKN einen Gradienten von 0.99°C/100 m. Für 10.56 Uhr erhält man nach entsprechender Schätzung 0.80°C/100 m. Demnach müßte sich die bodennahe Schichtung mit zunehmender Sonnenhöhe stabilisiert haben! Der Spätaufstieg liefert gegen 19 Uhr einen Gradienten von 0.94°C/100 m (Boden bis 1480 m). Der Tagesgang des bodennahen Temperaturgradienten steht Kopf.

Berechnet man die Auslösetemperatur, so erhält man für den Registrierballon einen Wert von 23.8°C und für PREUSSEN 25.6°C. Diese Temperaturen wurden gegen 11.00 Uhr bzw. 13.00 Uhr erreicht. Bereits um 9.44 Uhr war der Drachenballon in der Wolke und die Ballonfahrer berichten um 11.00 Uhr, daß sie fast an der Obergrenze der Cumuli waren. Zu einer Zeit also, bei der die aus ihren eigenen Messungen abgeleitete Auslösetemperatur noch lange nicht erreicht war. Ermittelt man die Auslösetemperatur aber aus dem Drachenaufstieg Nr 90 so ergibt sich ein Wert von 20.6°C. Diese Temperatur war schon beim Start um 8.51 Uhr mit 21.8°C überschritten. Leider finden sich bei diesem Aufstieg keine Hinweise auf Art und Menge der Bewölkung aber doch die Anmerkung wann und in welcher Höhe der Ballon in die Wolke kam.

Der Gradient der Trockentemperatur (in Klammern virtuelle Temperatur) für die Messungen von PREUSSEN liegt zwischen Boden und dem ersten Meßpunkt in 550 m Höhe bei 0.59 (0.73)°C/100 m, von dort bis zum CKN aber bei 0.92 (1.03)°C/100 m. Danach wäre die Atmosphäre in Bodennähe stabiler als unter der Wolke geschichtet. Bezogen auf die virtuelle Temperatur ist die Schichtung dort sogar überadiabatisch. Das ist unter den gegebenen Verhältnissen praktisch nicht möglich. Aus dem Aufstieg 92 (mit der Feuchtemessung von PREUSSEN) ergeben sich zwischen dem Boden und 554 m Höhe 0.91 (1.09)°C/100 m und von dort zum Kondensationsniveau 0.75 (0.75)°C/100 m. Der Drachenballon (Nr. 90) liefert einen mittleren Gradienten vom Boden bis zur Wolke von 0.95 (0.95)°C/100 m. Man muß annehmen, daß die Messungen im Ballonkorb fehlerbehaftet sind.

Oberhalb der Wolkenbasis folgt beim Registrierballon (Nr 92) noch eine schmale trockenadiabatische Schicht mit 1.0 (1.0)°C/100 m, darüber wird der Gradient rasch kleiner und erreicht bei etwa 3500 m Höhe mit 0.22°C/100 m das Minimum. Darüber läuft die Temperaturkurve etwa mit der Feuchtadiabate. Bei den Messungen im Korb des PREUSSEN findet man oberhalb des CKN ebenfalls eine Schicht die mit der Höhe zunehmend stabiler wird (0.4°C/100 m) und auch ab ca. 3500 m Höhe eine schnellere Abkühlung zeigt. Im Gegensatz zum Registrierballon ist hier die Schichtung aber deutlich feuchtilabil. Die beiden Temperaturprofile weichen jetzt stark voneinander ab. (siehe Abbildungen 1 und 2).

Etwa ab 500 mb steht dem glatten Verlauf der Temperaturkurve des Registrierballons eine sehr unruhige Meßreihe des bemannten Ballons gegenüber (Abbildung 2). Das PREUSSEN-Profil enthält zwischen 520 und 300 mbar vier überadiabatische Schichten mit Gradienten zwischen 1.71 und 2.36°C/100 m. Es besteht der begründete Verdacht, daß das Thermometer defekt war. Im Fahrtbericht findet sich folgende Eintragung:

Die letzte, Druck sowohl wie Temperatur, umfassende Beobachtungsreihe (und zwar den ersteren am Aneroid und Hg-Barometer abgelesen) wurde in 10225 m Höhe um 3 18^p, bei 210½ mm und -39.7° ausgeführt und noch prompt und völlig deutlich niedergeschrieben. Bald darauf fielen wir beide in kurzen Zwischenräumen in tiefe Ohnmacht; Berson zog noch unmittelbar vorher mehrfach das Ventil, als er seinen Gefährten schlafen sah. Während des Ventilziehens wurde, etwa 4-5 Minuten nach jener letzten Ablesungsreihe, von ihm noch ein Barometerstand von 202½ mm, entsprechend 10500 m Höhe, beobachtet. (Unterstreichung vom Verfasser).

Der Schmelzpunkt des Quecksilbers liegt bei -38.9°C . Eine Temperatur von -39.7°C kann also nicht mehr abgelesen werden. Auch wenn ein Bimetall-Thermometer vorhanden gewesen wäre (wird aber bei der Instrumentenausstattung nicht erwähnt) hätte das Quecksilber im Barometer erstarrt sein müssen, so daß die Ablesung von $210\frac{1}{2}$ mm zu dem Punkt gehören würde bei dem die Temperatur -38.9°C betrug. Der letzte Barometerstand wird nun aber mit $202\frac{1}{2}$ mm angegeben, das Instrument war also nicht eingefroren. Die angegebenen Temperaturen liegen, zumindestens in größeren Höhen, offenbar zu tief.

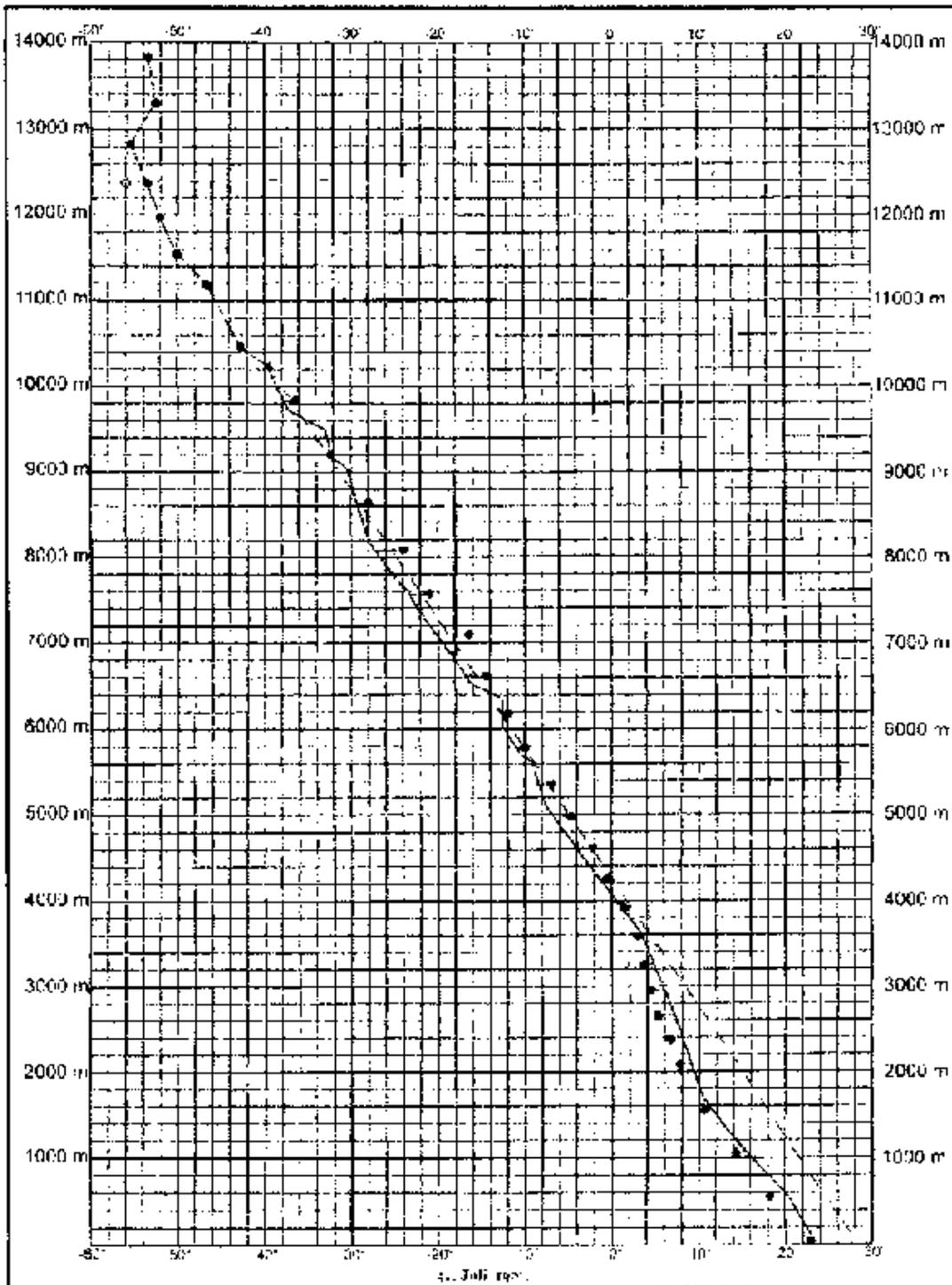


Abbildung 1. Temperatur-Höhenprofil vom 31. Juli 1901. Durchgezogene Linie: gemessen im Korb des PREUSSEN, Punkte: Messungen der Registrierende, unterbrochene Linie: Verbindung des Temperaturminimums mit der gleichzeitig am Boden gemessenen Temperatur. Aus dem Fahrtbericht von BERSON und SÜRING [2]. Die Bezifferung wurde vom Verfasser etwas vergrößert

In Abbildung 1 erreicht der Registrierballon eine Höhe von etwa 13800 m. In Tabelle 2 ist aber ein Gipfelpunkt von 17345 m angegeben. Im Fahrtbericht wird mitgeteilt, daß bei einer Nachauswertung, als die Graphik schon fertiggestellt war, festgestellt wurde, daß die Ballonsonde *"wahrscheinlich mehr als 17000 m Höhe erreicht hat."* ASSMANN schreibt dazu, daß die Registrierung des Papier verlassen habe und erst nach dem Öffnen des Fallschirms wieder Abstiegsdaten vorhanden sind. Oberhalb von etwa 4000 m Höhe liegen die Meßwerte der Ballonsonde immer höher als die Messungen von BERSON und SÜRING. Diese Tatsache wird von den Ballonfahrern auf Strahlungseinflüsse auf die Registrier-sonde zurückgeführt (ASSMANN war allerdings anderer Meinung). Die mehrfachen Überadiabaten und vor allem die Druckmessungen mit dem Hg-Barometer nach dem vorgeblichen Unterschreiten des Quecksilber-Gefrierpunktes deuten aber darauf hin, daß die Temperaturmessungen im Korb von PREUSSEN zu tief ausgefallen sind.

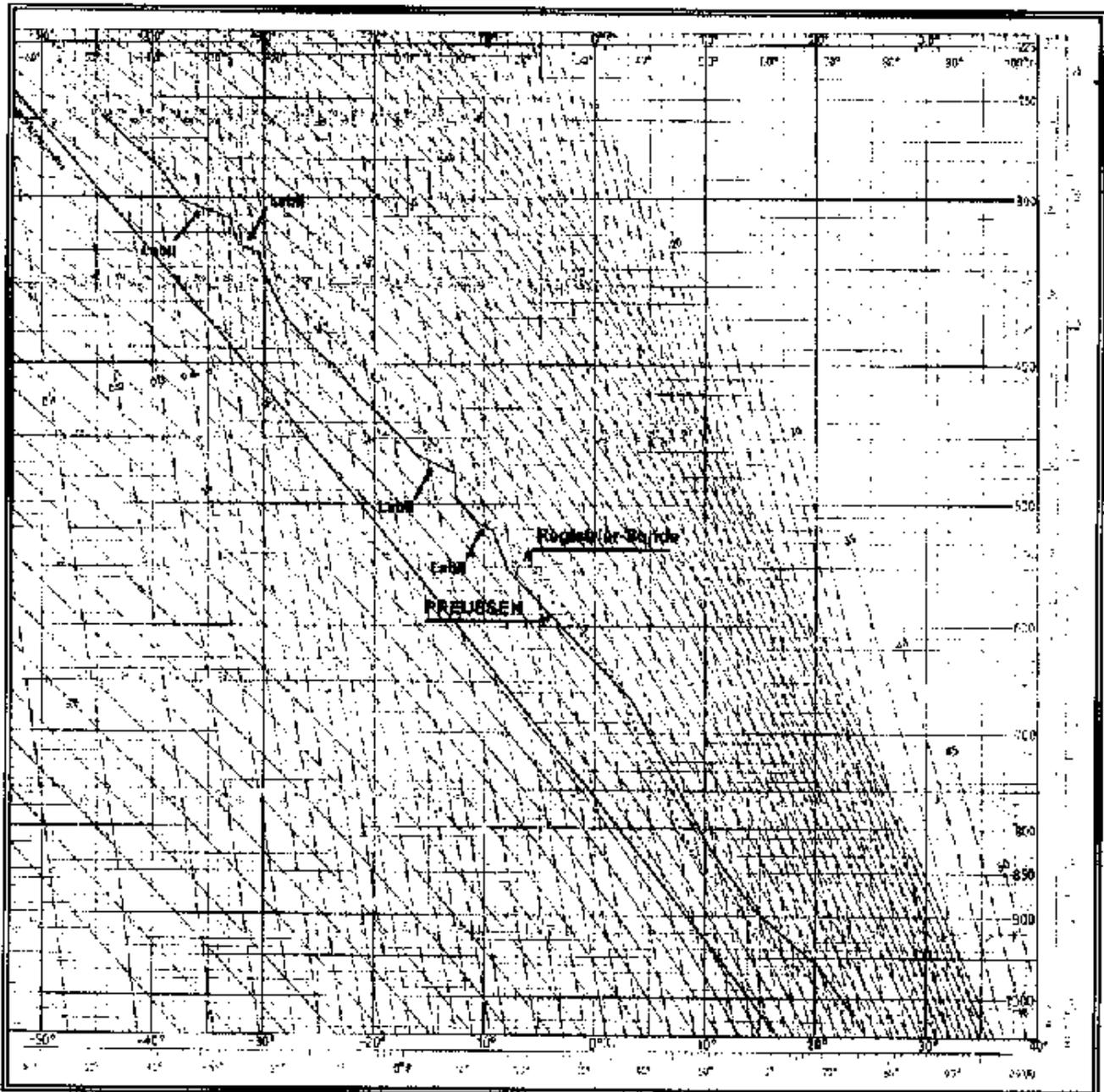


Abbildung 2 Temperatur-Druck-Kurve des Registrierballons und der Messungen von BERSON und SÜRING im Balloon PREUSSEN

Obwohl alle Beteiligten sowohl bei den Messungen als auch bei den Auswertungen nach den vorliegenden Berichten mit größter Sorgfalt vorgegangen sind, kann wohl kein Zweifel an der Fehlerhaftigkeit der Messungen bestehen. Die Gründe lassen sich natürlich heute nicht mehr erkennen. Nach dem Fahrprotokoll (Tabelle 2) begannen die Ballonfahrer bei einem Druck von 384 mm Hg (512 mbar) mit der Sauerstoffatmung. Dort beginnen auch die überadiabatischen Temperaturgradienten. Über die Art der Sauerstoffversorgung konnte nichts gefunden werden, außer daß auf Masken verzichtet wurde. Statt dessen wurde durch ein Mundstück geatmet, das mit einer Hand gehalten werden mußte, so daß BERSON und SÜRING ab etwa 6000 m Höhe nur noch eine Hand zum arbeiten frei hatten. Einen Zusammenhang zwischen den Unklarheiten in den Messungen und der eingeschränkten Handlungsfähigkeit anzunehmen wäre aber reine Spekulation.

Wie bereits berichtet wurde, sind die Höhen aus den gemessenen Druck- und Temperaturwerten mit Tabellen ermittelt worden. Die zur Berechnung solcher Tafeln nötigen Konstanten sind nirgends mitgeteilt. Es müssen aber Abweichungen zu den heute gültigen Werten vorhanden sein, denn mit dem Aufrechnungsprogramm der ehemaligen Berliner Radiosondenstation lassen sich die damals angegebenen Höhen nicht genau reproduzieren. Dem letzten Meßpunkt von BERSON und SÜRING der noch eine Temperatur hat, wird eine Höhe von 10225 m zugeordnet. Die heutige Rechnung ergibt 10026 m. In Tabelle 2 sind auch Höhen für die letzten Punkte ohne Temperatur angegeben. Wie hier gerechnet wurde ließ sich nicht ermitteln. Bei der neuen Berechnung wurden die fehlenden Temperaturen aus der Registriersonde interpoliert. Für den Gipfelpunkt ergibt sich dann eine Höhe von 10615 m statt 10800 m. Es wurden auch noch eine Reihe weiterer Messungen, überwiegend von Freiballonfahrten, nachgerechnet. Die Abweichung zwischen den alten und den neuen Höhen sind systematisch. Sie werden ab etwa 1500 m im 10 Meterbereich erkennbar und wachsen bis etwa 200 m in 10 km Höhe.

Die Widersprüche in den Messungen der Freiballonfahrt schmälern die Verdienste der Beteiligten natürlich nicht im Geringsten. Dabei sind nicht nur die beiden Ballonfahrer gemeint, sondern auch die gesamte Bodenmannschaft. Es wurde ja an zwei Tagen, am 31. Juli und am 1. August und in der dazwischen liegenden Nacht ununterbrochen durchgearbeitet. ASSMANN schrieb dazu, daß eine solche Häufung von Experimenten *"bei uns noch nicht in Scene gesetzt worden war"*

Der Registrierballon (Aufstieg Nr. 92) erreichte die mit Abstand größte Höhe seit Gründung des Aëronautischen Observatoriums. Auch wenn die in Klammern stehenden Werte sehr unsicher sind stellt die letzte sichere Höhe einen Rekord dar. Bis dahin war mit 13125 m Höhe der Aufstieg vom 10.4.1901 der Rekordhalter. Bei diesem Aufstieg (Nr 60) wurde mit -44.5°C das Minimum der Temperatur in einer Höhe von 9550 m (260 mbar) erreicht. Danach stieg die Temperatur wieder an. ASSMANN schreibt dazu:

"Man wird also denjenigen Theil der Kurve, der eine stärkere Druckabnahme erkennen läßt, noch als korrekt ansehen müssen, und hieraus den interessanten Schluß ziehen, dass in einer Höhe von 10-13000 m oberhalb einer Cirrusdecke eine intensive Temperaturumkehrung vorhanden gewesen ist."

Der fett gedruckte Teil ist im Original gesperrt gedruckt. ASSMANN hatte die Tropopause entdeckt. Aber er wußte es noch nicht. Als die Temperatur immer weiter zunahm ist in die Meßwerttabelle die Bemerkung eingefügt *"weiteres durch Strahlung gefälscht"*

Der Aufstieg vom 31. Juli (Nr. 92) brachte nun Klarheit. Wieder wurde in einer Höhe von etwa 12 km eine Temperaturumkehr gefunden. Ganz wesentlich war aber eine Parallelmessung in Frankreich von TEISSERENC DE BORT. Zwei am 1. August gestartete Ballone zeigten denselben Effekt. Jetzt glaubte ASSMANN nicht mehr an einen Strahlungsfehler. Er schrieb: *"Da einer derselben um $2\frac{1}{2}$ a aufgestiegen ist, dürfte ein Strahlungsfehler als ausgeschlossen zu betrachten sein"*. Der Begriff Tropopause kam jedoch erst später auf. Man sprach damals von einer Höheninversion.

Obwohl sich der Verfasser an eine Zeichnung oder einen Stich erinnern kann, der die beiden Ballonfahrer im Korb des PREUSSEN zeigt als SÜRING schon bewußtlos war und BERSON die Ventil-Leine zog, konnte diese Abbildung nicht gefunden werden. Auf der nächsten Seite ist dafür eine Darstellung des Füllvorganges auf dem Tempelhofer Feld abgedruckt [3]. Auch vom vorherigen Höhenrekord für bemannte Freiballonfahrten, den BERSON allein (!) mit 9155 m Höhe im Ballon PHÖNIX am 4. Dezember 1894 aufgestellt hatte, ließ sich nichts finden. Im ersten Band der "Wissenschaftlichen Luftfahrten [1]" ist aber der Korb des PHÖNIX abgebildet und wird hier wiedergegeben.

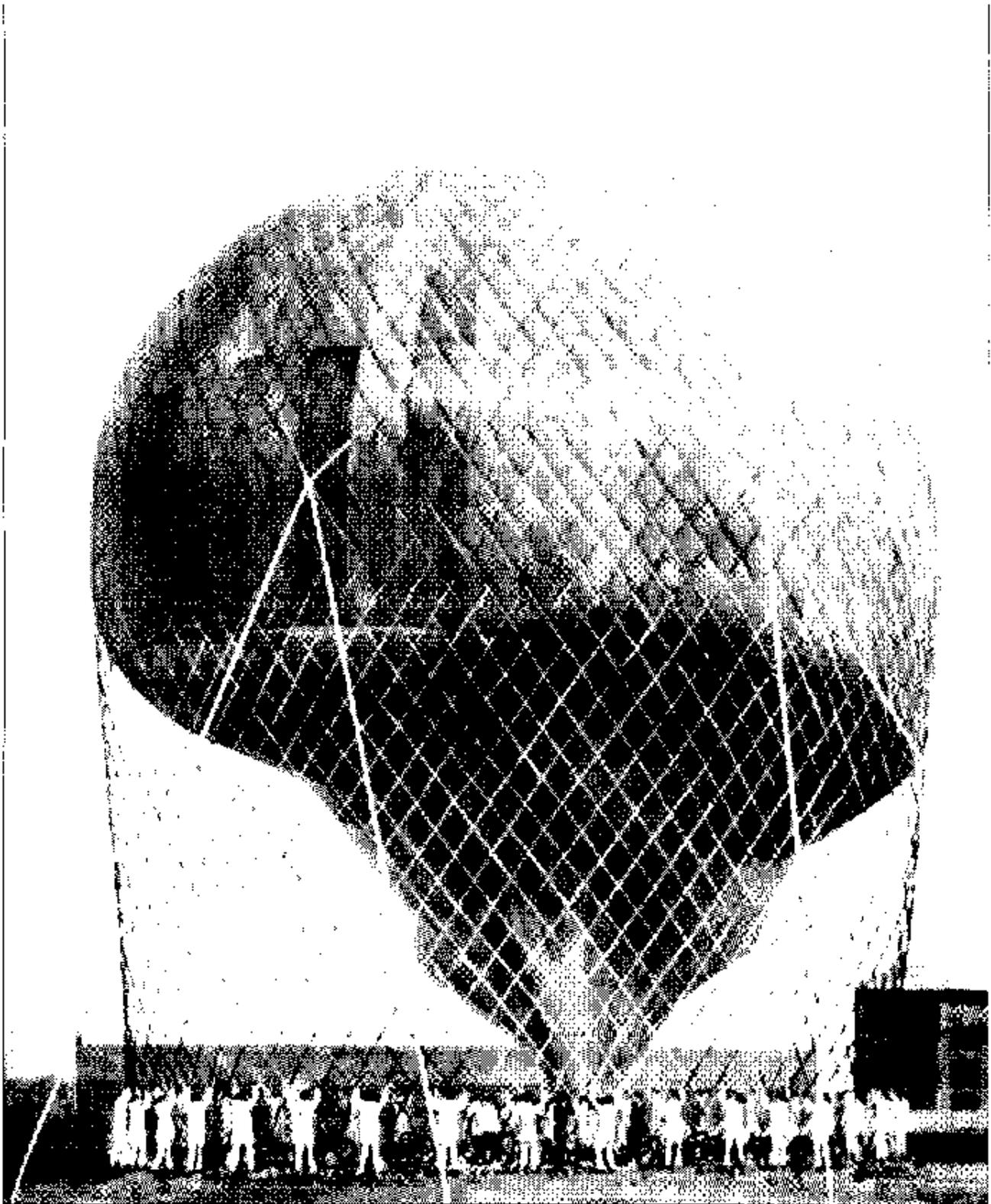


Abbildung 3

Der Füllvorgang des Ballons PREUSSEN nach einer Farbdarstellung von Otto FREILO in "Ballons und Luftschiffe" [3]. Bildunterschrift des Originals: "Der Rieseballon PREUSSEN beim Auffüllen auf dem Tempelhoof bei Berlin am 31. Juli 1901". Der Ballon hatte ein Volumen von 8400 m^3 , war aber nur mit 5400 m^3 Wasserstoff gefüllt. Deswegen erreichte er erst in etwa 5000 m Höhe seine Kugelgestalt und hob etwa in der hier dargestellten Form ab. Der Durchmesser betrug ca. 25 m und die Tragfähigkeit rund 6 Tonnen. Es wurden $3,6$ Tonnen Ballast mitgeführt, davon ein Teil in Form von Eisenfelsenänen weil diese bei gleichem Volumen etwa das doppelte Gewicht wie Sand haben.