

Beiträge des für Instituts Meteorologie der Freien Universität Berlin zur Berliner Wetterkarte

Herausgegeben vom Verein BERLINER WETTERKARTE e.V.
zur Förderung der meteorologischen Wissenschaft
c/o Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10, D - 12165 Berlin

<http://www.met.fu-berlin.de/wetter/wetterkarte>

69/99
SO 12/99

ISSN 0938-5312
16.06.1999

Zur Geschichte der Berliner Aërologie

(Teil II, von 1945 bis 1993)

von Jürgen Pelz

Nach dem Ende des zweiten Weltkrieges wurde der Flughafen Tempelhof von der US Air Force als Tempelhof Central Airport (TCA) wieder in Betrieb gesetzt. Es wurde gleichzeitig eine Flugwetterwarte und eine Radiosondenstation aufgebaut. Beide Institutionen wurden von den Amerikanern selbst betrieben. Die Aërologie wurde am nordöstlichen Rand des Flughafens untergebracht, südlich des heutigen Schwimmbades Neukölln (Columbiabad). Die amerikanische Luftwaffe hatte dort auf der sogenannten receiver site im Gebäude 101 die Funkkontrolle eingerichtet. In diesem Haus befand sich später auch die aërologische Station des Deutschen Wetterdienstes.

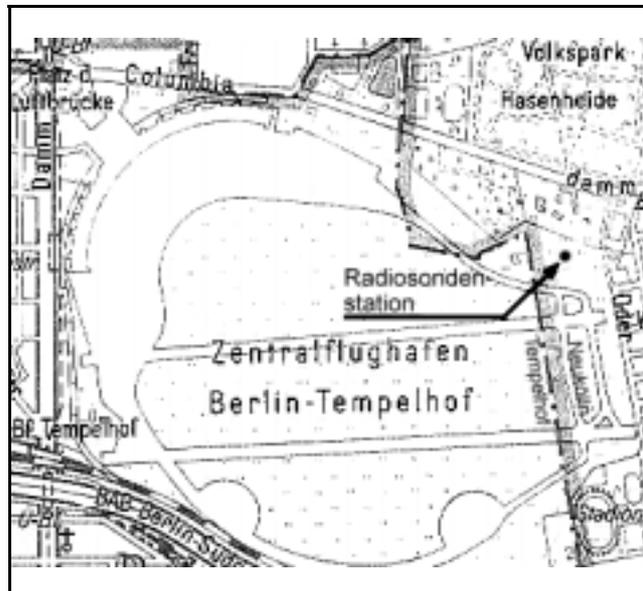


Abbildung 1a Lage der Radiosondenstation

Die Radiosondenstation befand sich etwa 100 m östlich davon im Haus 104. Durch die kuriose Grenzziehung (siehe Abbildung 1a) ergab es sich, daß die aërologische Station des Wetterdienstes im Bezirk Tempelhof lag, die Radiosondenstation aber in Neukölln. Die Tempelhofer Station des meteorologischen Instituts war also eine Radiosondenstation Neukölln. Diese Bezeichnung ist aber nie benutzt worden und war den Mitarbeitern vielleicht gar nicht bewusst.

Die Stationshöhe beträgt 46 m und die geographischen Koordinaten liegen bei 52°28'45" Nord und 13°25'00" Ost. Im Gauß-Krügernetz Rechts: 4596240, Hoch: 5817040.



Abbildung 1b Detaildarstellung der Anlage

Nach der Gründung des Wetterdienstes in der amerikanischen Besatzungszone am 6. Dezember 1946 kam die Tempelhofer Radiosondenstation der amerikanischen Luftwaffe im Mai 1947 unter deutsche Regie. Die U.S. Air Force stellte aber zunächst weiterhin Ballone und Radiosonden zur Verfügung. In den Jahren 1951 bis 1953 sogar das beste damals zur Verfügung stehende Material, insbesondere was die Ballone betraf. Dadurch wurde es möglich ziemlich regelmäßig das 10 mbar Niveau (etwa 30 km Höhe) zu erreichen und zu überschreiten. Die Zeitreihe der 10 mbar-Temperatur beginnt daher in Berlin im Jahr 1951 bricht aber Ende 1952 wieder ab. Erst ab 1958 beginnt eine ununterbrochene Reihe bis zur Schließung der Station 1993.

Die Zentrale des Wetterdienstes in der US.-Zone befand sich damals in Bad Kissingen. Obwohl Richard SCHERHAG zu dieser Zeit bereits Direktor des Instituts für Meteorologie in Berlin war, hatte er dort eine zweite Beschäftigungsstelle. Im Spätwinter 1951/52 fiel ihm auf, daß in der Stratosphäre Erwärmungen zu beobachten waren, die nicht erklärbar waren. Er schreibt:

"Dann erfolgten aber Ende Januar und besonders Ende Februar explosionsartige Erwärmungen der Hochstratosphäre auf Temperaturwerte, wie sie selbst im Hochsommer bei weitem nicht erreicht wurden und wofür eine Erklärung durch Advektion nicht mehr möglich erscheint.[9]"

Während am 26. Januar 1952 in der 25 mbar-Fläche über Berlin noch -61°C gemessen wurden, registrierte man am 29. Januar dort -34°C . Womöglich ging die Erwärmung noch schneller vor sich was sich aber nicht beweisen läßt, denn am 27. Januar erreichte die Radiosonde diese Druckfläche nicht. Die überaus schnelle Erwärmung der Stratosphäre ging als "Berliner Phänomen" in die Fachliteratur ein. Dies war wohl die wichtigste aerologische Erkenntnis seit der Entdeckung der Tropopause ein halbes Jahrhundert vorher durch Richard ASSMANN und TEISSERENC de BORT. Tabelle 1 zeigt die Zusammenstellung der Temperaturmessungen der Berliner Radiosonde für die Zeit vom 25. Januar bis 5. Februar aus SCHERHAGs damaliger Arbeit [9]

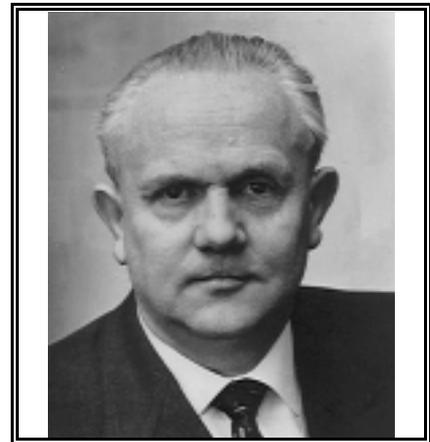


Abbildung 2
Richard SCHERHAG 1907 - 1970
Direktor des Instituts für Meteorologie
der Freien Universität Berlin. (Foto:
Bibliothek
des Instituts für Meteorologie, FU Berlin)

Allmählich versiegten nun die Materiallieferungen der amerikanischen Luftwaffe, so daß die großen Aufstiegshöhen bei weitem nicht mehr erreicht werden konnten. Immerhin liegen für die 30 mbar-Fläche die Meßwerte noch fast vollständig vor.

Nachdem die Bundesrepublik Deutschland am 5. Mai 1955 unabhängig geworden war, übernahm der inzwischen gegründete Deutsche Wetterdienst die Radiosondenstation in Tempelhof (und in München), stellte den Betrieb in Berlin aber zum 29. Februar 1956 schon wieder ein. Offenbar war man der Meinung, daß die Messungen des Observatoriums in Lindenberg für wetterdienstliche Zwecke ausreichend seien. Nur Höhenwindmessungen wurden in Tempelhof noch bis 1991 weitergeführt. Wenige Wochen später, am 14. April 1956, wurde die Radiosondenstation vom Meteorologischen Institut der Freien Universität Berlin übernommen. Das scheint Anfangs nicht ganz einfach gewesen zu sein, denn PANTZKE [5] schreibt, "daß die kollegiale Hilfe des Personals der aerologischen Station des DWD in erheblichem Umfang in Anspruch genommen werden mußte". Es gab also in Berlin von 1956 bis 1991 eine Pilotwind-Station (DWD) und eine Radiosondenstation (FU Berlin) unmittelbar nebeneinander.

Richard SCHERHAG, der damalige Direktor des Instituts für Meteorologie der Freien Universität Berlin, hatte den Berliner Senat überzeugen können, daß in Anbetracht der Insellage der Stadt, eine Radio-sondenstation für den sicheren Flugbetrieb nötig wäre. Da der meteorologische Vorhersagedienst sowieso schon vom Institut durchgeführt wurde, beschloß das Berliner Abgeordnetenhaus ihm auch den Betrieb der Radiosondenstation zu übertragen. Das Kuratorium der Freien Universität stimmte der Angelegenheit zu und schuf für die Station sogar eine eigene Haushaltsstelle.

Tabelle 1												
Die Berliner Radiosendenaufstiege												
in der Zeit vom 25. Januar bis 6. Februar 1952												
Datum Zeit mb	25. I. 09h	26. 09h	27.	28. 09h	29. 09h	30. 09h	31. I. 09h	1. II. 09h	2. 09h	3. 09h	4. 09h	5. II. 09h
6	7 mb -53											
8	-53											
10	-56			12 mb -37	13 mb -29	-23						
16	-54	16 mb -56		-43	-30	-25			-46		-48	
20	-59	-57		-50	-31	-33			-49	-44	-49	22 mb -52
25	-61	-61		-54	-34	-34			-62	-48	-49	-52
30	-62	-64		-56	-40	-39			-54	-50	-51	-52
35	-64	-66		-56	-47	-45			-53	-51	-51	-52
40	-65	-67		-56	-53	-50		10h -56	-53	-52	-52	-52
45	-66	-68		-58	-57	-52	-53	16h -58	-53	-52	-52	-52
50	-66	-69		-59	-58	-53	-55	-51	-54	-53	-52	-52
60	-67	-68		-57	-61	-56	-57	-50	-52	-51	-52	-53
70	-68	-67		-58	-62	-54	-58	-50	-54	-50	-61	-52
80	-67	-67		-58	-61	-55	-57	-52	-53	-50	-51	-51
90	-66	-66		-57	-60	-57	-56	-50	-62	-49	-50	-50
100	-66	-66		-55	-59	-61	-54	-53	-49	-50	-49	-52
125	-65	-65		-56	-58	-61	-53	-48	-49	-49	-48	-50
150	-65	-63		-56	-58	-59	-52	-48	-49	-47	-47	-48
175	-67	-64		-55	-58	-59	-53	-46	-48	-46	-46	-48
200	-68	-66		-54	-60	-58	-56	-47	-48	-45	-45	-49
225	-67	-68		-52	-61	-58	-58	-46	-47	-46	-47	-48
250	-65	-68		-52	-61	-58	-60	-47	-48	-47	-49	-50
275	-61	-66		-52	-57	-58	-58	-47	-50	-47	-51	-51
300	-58	-60		-52	-55	-55	-53	-48	-51	-48	-54	-51

Bis in die frühen siebziger Jahre war die Arbeit im Stationsgebäude Nr. 104 ziemlich beschwerlich. Während im Bauplan des im Jahr 1899 gegründeten Aëronautischen Observatoriums in Reinickendorf bereits ein Wasserkloset, wenn auch im Keller, eingetragen war, gab es an der Radiosondenstation nicht einmal das. Im Bedarfsfall mußte man sich auf den Weg zu den Kollegen des Deutschen Wetterdienstes machen, die an die 100 m entfernt untergebracht waren. Eine beschleunigte Verdauung durfte sich niemand leisten.

Mitte der siebziger Jahre wurde das Stationsgebäude zum erstenmal erweitert. Der Anbau hatte ein begehbare Dach das auch als Antennenplattform diente. Nun trat man sich wenigstens nicht mehr gegenseitig auf die Füße, denn in dem alten Bau war es inzwischen sehr eng geworden.

Der neu gewonnene Raum wurde zum Teil zur Installation luftelektrischer Meßinstrumente genutzt. Zwei der dazu gehörenden Antennen konnten nicht auf das Dach gestellt werden, sondern wurden etwa 30 m vom Gebäude entfernt auf Maste gesetzt. Auf dem Flughafengelände durfte nicht mehr als 2 Zoll tief gegraben werden, daher wurden die Antennenkabel einfach unter den Grassoden gelegt. Wir hatten die Rechnung ohne die Kaninchen gemacht, die direkt neben dem Stationshaus einen Bau gegraben hatten (mehr als 2 Zoll tief !). Mehrfach wurden große Stücke der teuren Kabel samt der Abschirmung aus Drahtgeflecht aufgefressen. Schließlich wurde das Stationsgebäude 1983 noch einmal erweitert (diesmal mit Toilette) aber die Zeit der großen Forschungsaktivitäten ging nun rasch zu Ende.



Abbildung 3 Die Tempelhofer Radiosondenstation etwa 1968. Links ein Lagerhaus, ganz rechts eine Hütte zur Kalibrierung der Meßfühler, dahinter das Stationshaus mit Windmast. Im Vordergrund Prof. SCHERHAG (mit Hut) und der Verfasser (offenbar etwas ratlos).

Die Gewinnung von Meßdaten für die Flugwetterberatung der westlichen Alliierten hatte natürliche auch einen politischen Hintergrund, denn es machte Berlin (West) unabhängig von den Messungen des Lindenberger Observatoriums, das in der DDR lag. Für ein Universitäts-Institut konnte das aber nicht der alleinige Zweck sein, und es begann eine intensive Forschungstätigkeit. So entwickelte sich in der Folgezeit die Station unter der Leitung des Kollegen Eugen PANTZKE in erfreulicher Weise. Bereits 1962 begann die computergestützte Auswertung der Radiosondenmessungen. Datenträger waren 5-Kanal-Lochstreifen. Für die Winddaten (Höhen- und Seitenwinkel) wurde dieser Streifen sogar schon auto-matisch hergestellt. Temperatur, Feuchte und Druck mußten mit Hilfe eines Fernschreibers manuell auf den Lochstreifen gebracht werden. Im selben Jahr wurde das von den Amerikanern übernommene und inzwischen veraltete Peilgerät SCR-658 durch einen modernen Radiotheodoliten AN/GMD2 ersetzt.

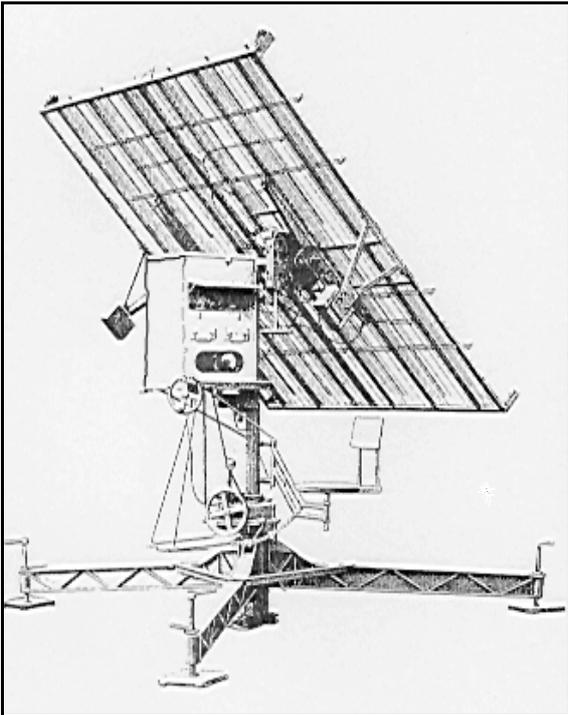


Abbildung 4.
Der Radiotheodolit SCR-658

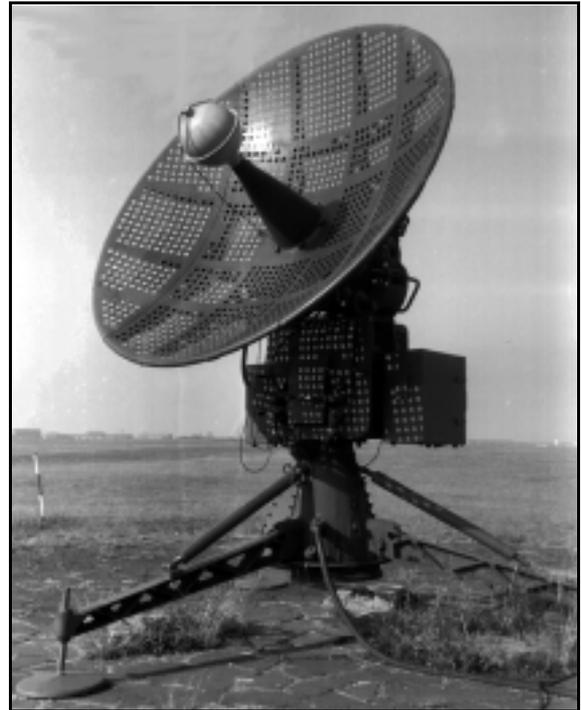


Abbildung 5.
Der Radiotheodolit AN/GMD-1 (Foto Pelz)

Der Radiotheodolit SCR-658 (METOX) wurde nach Kriegsende von der amerikanischen Luftwaffe installiert und später vom Meteorologischen Institut der Freien Universität übernommen. Die Arbeitsfrequenz lag bei 400 MHz und die Peilgenauigkeit war mit 0.2 Grad angegeben. Die Ballonverfolgung erfolgte durch manuelle Antennennachführung. Bei Höhenwinkeln von mehr als 25 Grad lag der Fehler der Windgeschwindigkeit bei 2 bis 4 m/s. Bei kleineren Elevationswinkeln und großer Schrägentfernung stieg der Fehler rasch an.

Im Jahre 1962 wurde METOX durch den automatisch nachführenden Radiotheodoliten AN/GMD-1 ersetzt. Die Arbeitsfrequenz lag bei 1.68 GHz und die Peilgenauigkeit bei 0.05 Grad wenn der Höhenwinkel größer als etwa 25 Grad war. Bei kleineren Höhenwinkeln traten zunehmend Störungen durch Interferenzen auf. Diese entstehen dadurch, daß die Antenne nicht nur das von der Sonde kommende Signal empfängt, sondern auch noch ein in der Umgebung der Antenne am Boden reflektiertes. Dieses Signal ist natürlich immer vorhanden, trifft aber bei großen Höhenwinkeln die Rückseite der Antennenschüssel wo es nicht stören kann. Diese Fehlpeilungen wurden seinerzeit von SCHACHENMEIER [8] untersucht. Er hat den Fehler theoretisch berechnet und durch Vergleiche von Radiopeilungen mit optischen Peilungen, die als korrekt angesehen wurden, bestätigt gefunden. Abbildung 6 zeigt, daß der Effekt unterhalb von etwa 10 Grad Höhenwinkel nicht mehr vernachlässigt werden kann.

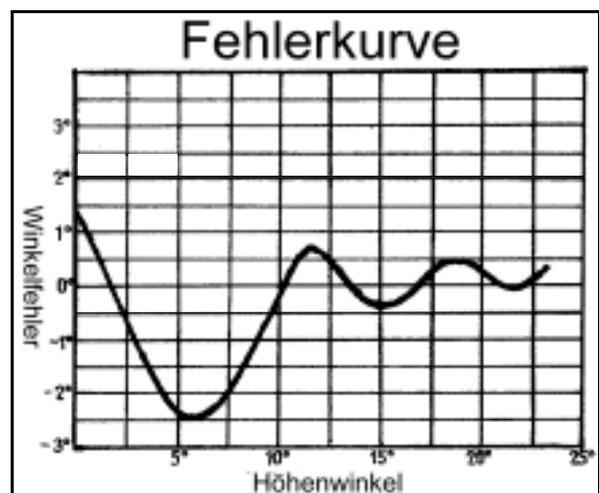


Abbildung 6. Peilfehler in Abhängigkeit vom Höhenwinkel (nach Schachenmeier [8])

Bereits im Internationalen Geophysikalischen Jahr 1957/58 wurde die Radiosondenstation intensiv durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert. 1964 wurde im Rahmen des Internationalen Jahres der ruhigen Sonne (1964/65), ebenfalls durch die DFG gefördert, das Projekt "HOCHAUFSTIEGE" gestartet. Schon im Frühjahr des nächsten Jahres wurde mehrfach das 2 mbar - Niveau überschritten [3]. Schließlich konnte am 9. Juni 1966 die Rekordhöhe von 51388 m (0.78 mbar) erreicht werden [2]. Tabelle 2 zeigt die Einzelheiten dieses bemerkenswerten Aufstiegs.

Tabelle 2

Aufstieg vom 9.6.1966. ACHTUNG. Die Höhen sind geopotentielle Meter, während die Gipfelhöhe oben im Text in der Längeneinheit Meter angegeben ist.

Höhe gpm	Druck mbar	Temp. °C	Taup. °C	rel.F. %	Wind Grad		Höhe gpm	Druck mbar	Temp. °C	Taup. °C	rel.F. %	Wind Grad	
46	1010.8	16.8	14.3	85	48	1	10704	242.0	-50.7	-58.5	39	285	5
232	989.0	16.0	13.8	87	114	3	12822	175.0	-48.4	-58.0	36	310	4
363	974.0	18.0	15.1	83	114	4	16731	96.00	-52.4	-60.9	35	80	5
559	952.0	17.6	12.1	70	111	4	18762	70.00	-55.0	-63.1	36	78	5
1399	862.0	11.0	3.8	61	83	4	19974	58.00	-51.1	-59.5	36	68	6
2521	752.0	2.5	-1.3	76	136	2	22219	41.00	-53.4			86	8
2717	734.0	1.3	-4.3	66	155	2	23995	31.20	-48.8			105	8
3540	662.0	-4.3	-7.7	77	233	1	25856	23.50	-49.2			81	9
3830	638.0	-6.6	-10.5	74	194	2	32348	9.000	-35.1			90	14
4155	612.0	-7.4	-17.3	45	179	2	35499	5.800	-21.4			98	14
5655	503.0	-17.2	-28.2	38	231	3	36886	4.800	-24.4			110	13
7291	402.0	-30.7	-40.4	38	212	6	41668	2.550	-5.5			108	21
8823	322.0	-44.1	-52.5	39	207	8	51043	0.780	-0.4			97	27
9428	294.0	-48.0	-55.8	40	213	7							

Mit den üblichen Ballonen, wie sie bei den aerologischen Routineaufstiegen verwendet werden, waren Höhen um 50 km nicht zu erreichen. Es mußten vielmehr Spezialballone gestartet werden, die eine Höhe bis zu 10 m hatten. Das Füllen in der alten viel zu kleinen Ballonhalle erwies sich als sehr umständlich und führte gelegentlich auch zu Beschädigungen der Ballone. Es wurde daher eine neue Halle von etwa 10 m Höhe errichtet und 1965 in Betrieb genommen. Obwohl nun im Inneren des Gebäudes genügend Platz vorhanden war, gestaltete sich so mancher Start noch immer als schwierig. Die Halle war nämlich nur auf einer Seite zu öffnen, so daß bei stärkerem Wind aus östlichen Richtungen das Herausbugisieren des großen Ballons einem Kampf mit dem Drachen glich. Es kam manchmal sogar zu Verletzungen des Starters, die aber alle glimpflich ausgingen.



Abbildung 7.

Gesamtansicht der Radiosondenstation Tempelhof (1968). Rechts das Stationshaus mit Windmast, in der Mitte mit spitzem Dach ein Lagerhaus, daneben im Hintergrund die neue Ballonfüllhalle mit Wasserstoffschuppen. Links der Radiotheodolit AN/GMD (Foto Pelz)

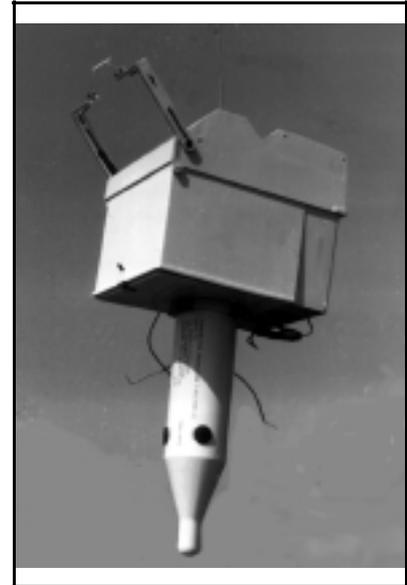


Abbildung 9 (oben)
Eine amerikanische Radiosonde vom Typ AN/AMT-12 kurz vor dem Start. Oben links, am herausgeklappten Rahmen, ist deutlich der weiße Thermistor zu erkennen. In der unten hängenden "Flasche" befindet sich der Sender und die Antenne. (Foto: PELZ)

Abbildung 8 (unten)
Radiosondenballon vom Typ KAYSAM 140 D unmittelbar nach dem Start. Höhengröße des Ballons etwa 10 m. Vor den Bäumen ist die Radiosonde erkennbar, darüber der Fallschirm. (Foto: PELZ)

Am Anfang der Ballonfahrt baute man aus Papier, später aus gefirnister Seide. Diese unelastischen Hüllen behielten mit zunehmender Höhe ihr Volumen, so daß wegen der außen abnehmenden Luftdichte in einer bestimmten Höhe ein Gleichgewichtszustand eintrat. Der Ballon begann in konstanter Höhe zu schweben. Wegen der nun fehlenden Ventilation waren Temperaturmessungen im Schwebезustand stark durch die Sonnenstrahlung verfälscht. Die ersten elastischen Ballone, die also mit der Höhe ihr Volumen vergrößern und damit den Auftrieb verbessern, bestanden aus Gummi, der allerdings empfindlich auf tiefe Temperaturen reagierte. Aus diesem Grund erreichten Nachtaufstiege mit diesem Ballonmaterial keine sehr großen Höhen.

Am Ende einer langen technischen Entwicklung standen die modernen Radiosonden und die Hochleistungsballone von denen einer in Abbildung 8 zu sehen ist. Die Aufnahme entstand an der Radiosondenstation auf dem Flughafen Tempelhof und stammt aus dem Jahr 1966. Ballone dieses Typs erreichten mit einer Nutzlast von etwa 1.5 kg Höhen bis zu 50 km. Der Luftdruck lag dann deutlich unter 1 mbar. Das grimmige Gesicht des Ballons entsteht dadurch, daß er nicht prall gefüllt ist. Der Wasserstoff befindet sich nur im oberen Teil. Unmittelbar nach dem Start schlackert die untere lose Ballonhaut hin und her, so daß durch den Schattenwurf der schräg stehenden Sonne diese sonderbare Fratze entstand. Die Rekordhöhe am 9. Juni 1966 wurde mit einem Ballon dieses Typs erreicht.

Neben den üblichen Radiosondenmessungen (Druck, Temperatur, Feuchte, Wind) wurden auch Spezialsonden gestartet. Im gleichen Jahr in dem das Projekt HOCHAUFSTIEGE begann, also ebenfalls 1964, wurde mit den wöchentlich stattfindenden Ozonmessungen in der freien Atmosphäre begonnen. Zunächst nach dem optischen Prinzip (PAETZOLD) und später, ab 1966, nach der chemischen Methode (BREWER-MAST). Nach der optischen Methode wird die gesamte Ozonmenge oberhalb der Sonde gemessen, die chemische Messung liefert Punktwerte. Nach einer internationalen Vereinbarung fanden diese Ozonmessungen jeden Mittwoch statt. Das Projekt war 1973 beendet.

Zwischen 1964 und 1967 wurden auch eine Reihe von Radioaktivitätsmessungen mit ballongetragenen Sonden durchgeführt, insbesondere im Zusammenhang mit den chinesischen Kernexplosionen in der freien Atmosphäre. Nachdem die Chinesen am 16. Oktober 1964 in der Wüste Takla-Maran ihre erste Atombombe gezündet hatten, wurde in Berlin am 25. Oktober eine solche Radioaktivitäts-Sonde vom Typ VÄISÄLÄ NS 11 gestartet. Es wurden in etwa 9000 m Höhe Radioaktivitätskonzentrationen zwischen 180 und 370 Bq/m³ gemessen [1]. Das war etwa das 10000-fache der damaligen bodennahen künstlichen Radioaktivität und mehr als das 30-fache der infolge der Tschernobyl-Katastrophe in Bodennähe in Berlin gemessenen Konzentration.

Die Schwierigkeiten bei der Feuchtemessung in der freien Atmosphäre sind bekannt. Es wurden daher in den Jahren 1966 und 1967 einige zu Testzwecken umgebaute Sonden gestartet, Dabei wurden bis zu sechs verschiedene Feuchtefühler oder verschieden kalibrierte Sensoren an einer Sonde gestartet. Teilweise flogen auch zwei Meßgeräte an einem Ballon. Die Ergebnisse dieser aufwendigen Sondierungen wurden ausführlich von NOLTE veröffentlicht [4]. Abbildung 10 zeigt ein Beispiel aus dieser Arbeit. In einer MIC-Sonde waren 4 Carbon-Hygristoren desselben Herstellers eingebaut. Eine zweite Sonde der Firma GRAW am selben Ballon maß die Feuchte mit einem Haar-Hygrometer. Während die Messungen der Carbonenelemente nur um etwa 4% relative Feuchte differieren, zeigt das Haar doch erhebliche Abweichungen. Die Übereinstimmungen zwischen den Temperaturmessungen des Bimetalls (GRAW-Sonde) und des Thermistors (MIC-Sonde) können dagegen als befriedigend bezeichnet werden.

Besonders schwierig ist die Feuchtemessung bei tiefen Temperaturen, wo aber der Taupunktspiegel aus-reichend genau arbeitet. Aus diesem Grund war in Japan eine Taupunktsonde entwickelt worden, die ebenfalls in Berlin getestet wurde. Das Gerät war aber teuer und die Handhabung war umständlich. Schließlich wurden auch die hohen Erwartungen an die Meßgenauigkeit nicht erfüllt, so daß die Arbeiten mit diesem Gerät wieder eingestellt wurden.

Bedingt durch die Aufstiegstechnik ließen sich die in Berlin benutzten Meßgeräte in den ersten 20 bis 30 Sekunden des Aufstieges schlecht oder gar nicht auswerten. Das betrifft die bodennahen Schicht bis etwa 100 m oder 200 m Höhe. Um trotzdem Erkenntnisse über Vorgänge in diesem Bereich zu erhalten wurde 1976 ein monostatisches Sodargerät (Schallradar) installiert. Dieses Gerät war ständig in Betrieb. Die Meßwerte wurden in 16 Stufen digitalisiert und konnten von Interessenten über das Telefonnetz abgerufen werden, der Besitz eines Modems, eines Rechners und des entsprechenden Programms vorausgesetzt.

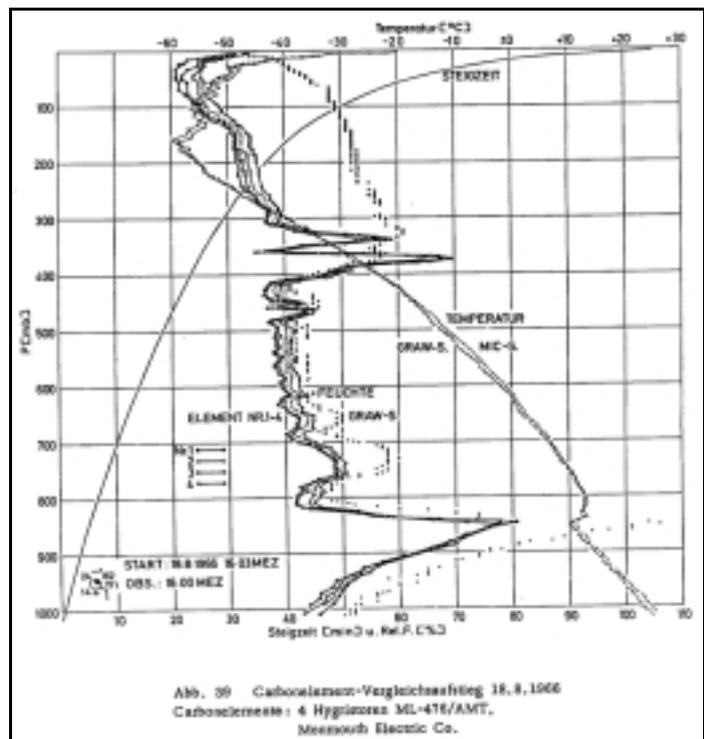


Abbildung 10
Vergleichsaufstieg mit 2 Sonden, näheres siehe Text. Nach NOLTE [4]

1973 begannen an der Berliner Radiosondenstation die ersten Versuche mit einem neuen, radarunabhängigen Windmeßsystem nach dem sogenannten Hyperbelverfahren (OMEGA). Es handelte sich ursprünglich um ein Navigationssystem für Seeschiffe als eine Satellitenortung noch nicht möglich war. Wegen des Verwendungszwecks waren auch die Bezeichnungen LOCATE und NAVAIID bekannt. Wenn zwei Sender gleichzeitig ein kurzes Signal abstrahlen, wird an einem bestimmten Ort in der Regel eine Laufzeitdifferenz zwischen den beiden Impulsen gemessen werden. Der geometrische Ort der Differenzen zweier Strecken ist eine Hyperbel. Wenn diese Laufzeitdifferenz gemessen wird, dann kann bei bekannten Senderstandorten berechnet werden, auf welcher Hyperbel sich der Empfänger befindet. Mißt man die Laufzeitdifferenz zu einem weiteren Sender, dann ist eine zweite Hyperbel berechenbar. Im Schnittpunkt der beiden Kurven befindet sich der Empfänger (siehe Abbildung 11). In der Praxis werden meist mehr als drei Stationen benutzt, wodurch die Genauigkeit der Ortsbestimmung verbessert wird. Wenn diese Ortungssignale von einer Radiosonde empfangen und an die Bodenstation weitergesendet werden, kann der Ballonort berechnet werden. Wiederholt man die Ortung in bestimmten Zeitabständen ergibt sich eine Ortsänderung des Ballons und das ist der mittlere Wind zwischen zwei Meßzeitpunkten.

Wegen der Unsicherheit der Laufzeitdifferenzmessung von einer Mikrosekunde lassen sich die Hyperbeln auch bei ungestörten Ausbreitungsverhältnissen nicht genau bestimmen. Man erhält neben den exakt berechenbaren Kurven zwei weitere mit einem Laufzeitabstand von plus bzw. minus $1 \mu\text{s}$. Es entsteht ein "hyperbolischer Fehlerschlauch". Bringt man zwei solcher Schläuche zum Schnitt, dann wird eine Fläche aufgespannt, auf der der wahre Ort an jeder beliebigen Stelle liegen kann.

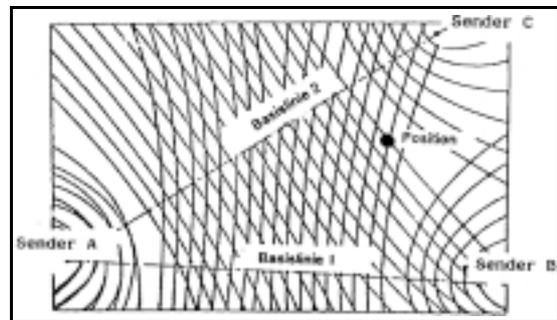


Abbildung 11.
Durch drei Stationen (zwei Senderpaare) gebildetes Hyperbelnetz. (Nach PANTZKE [6])

Abgesehen von dieser Meßunsicherheit werden die Ortungssignale auch noch von der atmosphärischen Impulsstrahlung gestört, insbesondere wenn im Umkreis bis zu etwa 2000 km Gewitter mit hoher Blitzfolgefrequenz vorhanden sind. Die Nutzsignale sind dann nur schwer oder gar nicht aus dem "electromagnetic noise" herauszufiltern weil das Feldstärkemaximum der Blitzsignale im selben Frequenzbereich liegt in dem auch die OMEGA-Sender arbeiten. Das ist der sogenannte VLF-Bereich (very low frequency) etwa zwischen 10 und 20 kHz. Darüberhinaus hängt die Laufzeit eines Signals auch noch von der Höhe und dem Zustand der Ionosphäre ab, was eine weitere Unsicherheit in das Verfahren bringt. Auf diese Umstände war von Seiten der Luftelektriker schon sehr früh hingewiesen worden, ohne daß sie anfangs bei den Geräteherstellern Gehör gefunden hätten.

PANTZKE schreibt zum Hyperbel-Verfahren [6]:

"Trotz aller Bemühungen erreicht die Genauigkeit der Windmessungen mittels Omega nicht die einer Radar-Windmessung. Zur Zeit (1990: Anmerkung des Verfassers) kann von einem minimalen Streufehler von 2 m/s ausgegangen werden. Schwierigkeiten haben sich auch ergeben bei Aufstiegen während Starkregens, wo es in Berlin zu zwei Totalausfällen gekommen ist"

Dazu ist anzumerken, daß nicht der starke Regen die Ausfallursache gewesen sein kann, denn die verwendeten Frequenzen durchdringen ungedämpft Regen mit jeder Tropfengröße. Man kann annehmen, daß an diesen Tagen außerhalb der Hör- und Sichtbarkeitsweite Gewitter gewesen sind.

Neben dem OMEGA-Verfahren wurden auch andere Navigationssysteme zur Windmessung erprobt. Es handelte sich um die Verfahren DECCA und LORAN. Der verwendete Frequenzbereich um 100 kHz ist zwar kaum von Gewittern gestört, die übrigen Unsicherheiten sind aber dieselben wie beim OMEGA-Verfahren. Da die Ausbreitungsdämpfung sehr viel größer ist als im VLF-Bereich, sind die Sender-Reichweiten viel kleiner. In Berlin waren daher die Empfangsfeldstärken nur mäßig, denn diese Ortungsverfahren waren für die Küstenschifffahrt entwickelt worden. Aus diesem Grund waren auch die geometrischen Verhältnisse in Berlin nicht gut. Der Schnittwinkel der Hyperbeln war recht flach was zu einer weiteren Unsicherheit führt. Die Arbeiten mit diesen Verfahren wurden in Berlin wieder eingestellt.

Die Technik der Windmessung in der freien Atmosphäre zeigt eine Entwicklung, wie sie ähnlich auch anderswo zu beobachten ist. Das genaueste Verfahren, die Messung mit zwei optischen Theodoliten ist mühsam und setzt Erfahrung voraus. Außerdem ist die erreichbare Höhe durch die Wolkenuntergrenze begrenzt. Der Umgang mit einem Radargerät oder Radiotheodoliten ist für den Beobachter wesentlich einfacher, nur wird der Winkelfehler größer. Bei der bequemsten aller Windmessungen, dem Hyperbelverfahren, beschränkt sich die Tätigkeit des Menschen auf den Ballonstart. Der Fehler wird aber so groß, daß er für Forschungszwecke nicht mehr akzeptabel ist. Mit zunehmender Bequemlichkeit wächst die Unsicherheit.

Trotz aller Warnungen der Lufterlektriker wurde das Omega-Verfahren 1974 bei einer Atlantik-Expedition (GATE) an Bord der PLANET eingesetzt, obwohl dieses Schiff mit einem Wind-Radar ausgerüstet war, Der Meßplatz lag auf 9.2° N und 23.0° W und damit genau zwischen den gewitterreichen Gebieten des Amazonas und des Kongo. Von 145 vorgesehenen Aufstiegen konnten überhaupt nur 129 gestartet werden. In den übrigen 16 Fällen war der durch Gewitter verursachte Störpegel so hoch, daß kein einziger der Ortungssender empfangen werden konnte. In drei weiteren Fällen setzte die Störstrahlung unmittelbar nach dem Start ein, so daß keine Windmessung möglich war. Im Durchschnitt waren 29% aller Aufstiegsminuten verrauscht und nicht ein einziger Aufstieg war vollkommen störungsfrei. Aus der Sicht der Lufterlektriker, zu denen sich der Verfasser damals noch zählen durfte, war diese Aerologie an Bord der PLANET eine vorhersehbare und somit vermeidbare Pleite [7].

1984 wurde das Projekt HOCHAUFSTIEGE an der Berliner Radiosondenstation beendet. Die dafür notwendigen großen Ballone waren nicht mehr finanzierbar. Im selben Jahr wurden die Radiosonden auf einen preiswerteren Typ umgestellt. Am 1. Juli 1989 wurde ein neues Meßsystem der Firma VAISALA (DigiCORA) eingeführt, das weitgehend automatisiert war. Deshalb konnten, trotz des akuten Personalmangels, die Aufstiege vorläufig weitergeführt werden. Alle Einsparungen konnten aber die drastischen Mittelkürzungen nicht ausgleichen. Die Radiosondenstation des Meteorologischen Instituts der Freien Universität Berlin mußte zum 31.12.1993 den Betrieb einstellen nachdem die in unmittelbarer Nachbarschaft liegende Pilot-Wind Station des Deutschen Wetterdienstes schon am 31.12 1991 geschlossen worden war. Der letzte Aufstieg der Radiosondenstation trug die laufende Nummer 14892 !

Zwischen 1970 und 1983 war die Radiosondenstation in Tempelhof auch eine Heimstatt für die luftelektrische Forschung. Es wurden im Rahmen der Gewitterforschung ein Blitz-Zähler mit etwa 25 km Reichweite und zwei Gewitterortungsgeräte mit Reichweiten von 300 km bis 400 km bzw. 8 000 km bis zu 10 000 km aufgebaut. Alle Geräte waren in Berlin am Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung (heute für Nachrichtentechnik) entwickelt worden.

Die Nahbereichsortung war Bestandteil eines bundesweiten Meßnetzes mit einer weiteren Station in Berlin-Waidmannslust und je einer Station auf dem Stockert in der Eifel (Max-Planck-Institut für Radioastronomie), in Ravensburg (Astronomisches Institut der Universität Tübingen, Außenstelle Ravensburg-Weißenau) und in Hamburg (Instrumentenamt des Deutschen Wetterdienstes). Das weitreichende Gerät gehörte mit zwei typgleichen Anlagen in Berlin-Waidmannslust und in Ravensburg zu einem globalen Netz mit weiteren Stationen in Japan, Kanada, Schweiz, USA und Argentinien (zeitweise auch in der Antarktis).

Leider konnten an der Berliner Station keine lufterlektrischen Sonden geflogen werden. Diese Geräte wurden nur am Institut für Physik der Atmosphäre in Ravensburg eingesetzt und bis zur Landung mit Peilfahrzeugen, die auch die Forstwege nutzen durften, verfolgt. In Berlin wäre dies wegen der Mauer nicht möglich gewesen. Bei einem Stückpreis bis zu DM 3000.-- wäre der Verlust eines solchen Gerätes recht schmerzlich gewesen. Wegen der miserablen Finanzlage mußten alle Geräte schon 1983 bundesweit abgeschaltet werden. Die lufterlektrische Forschung wurde eingestellt.



Abbildung 12. Rahmenantenne für die Gewitterortung im Nahbereich. Dahinter das Tempelhofer Stationsgebäude (Foto PELZ)

Damit endet die Nachkriegsgeschichte der Berliner Radiosondenstation. In Vorbereitung ist der dritte und letzte Teil der Berliner Aërologie in dem über die Expeditionsarbeiten von Mitarbeitern der Radiosonde berichtet wird.



Abbildung 13 Die alte Füllhalle mit einem vergleichsweise kleinen Ballon der trotzdem bis zum Dach reicht. Ballone dieses Typs mußten vom Starter auf dem Bauch kriechend ins Freie gebracht werden



Abbildung 14 Gewitterortungsanlage für den Nahbereich. Unten das Ortungsgerät. Links die drei Antennenanschlüsse für die elektrische und die beiden magnetischen Komponenten. Darüber das Interface für den Rechneranschluß, oben der Nahblitzzähler.

Schrifttum

1. Fett, W. Erster Durchzug der Spaltprodukte des rotchinesischen Atombombentests am 16. Oktober 1964 über Berlin. Beil. z. Berl. Wetterkarte SO 6/65 (1965)
2. Mädlow, E. Der Berliner Höhenrekord und das Problem der barometrischen Höhenmessung. Beil. z. Berl. Wetterkarte SO 24/65 (1965)
3. Mädlow, E. Zur Rektifizierung der Luftdruckmessung in großen Höhen bei Radiosondenaufstiegen. Beil. z. Berl. Wetterkarte SO 44/66 (1966)
4. Nolte, K. Feuchtemessung durch Radiosonden. Met. Abh. FU, Band LXXIV/Heft 3, Verlag Dietrich Reimer, Berlin 1967
5. Pantzke, E. 10 Jahre Radiosondenstation der Freien Universität Berlin. Beil. z. Berl. Wetterkarte SO 23/66 (1963)
6. Pantzke, E. Ein neues Meßgerät an der aerologischen Station der FU Berlin. Beil. z. Berl. Wetterkarte SO 18/90 (1990).
7. Pelz, J. Der Betrieb der LO-CATE Anlage an Bord des WFS "PLANET" (GATE). Interne Information SFB 39 - 2/75 (unveröffentlicht)
8. Schachenmeier Die Peilfehler bei der Radarverfolgung von Radiosonden (Ihre Entstehung und Vorausberechnung). Kleinheubacher Berichte, Band 9 (1963)
9. Scherhag, R. Die explosionsartigen Stratosphärenenerwärmungen des Spätwinters 1951/52. Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone Nr. 38 (1952)

Bei Abbildungen ohne Quellenangabe ist die Herkunft unbekannt.