

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet.

Mitteilungen

des

Deutschen Wetterdienstes

Nummer 2

Bad Kissingen

Juni 1953

DK 551.508.822

Die Radiosonde „Graw H—48“

Vergleichende Messungen zur Ermittlung der Streufehler

von

Dr. Hans Müller und W. Friese, Erlangen

Die Radiosonden H-48 und H-50 von G r a w zeigen in ihrem meteorologischen Teil einen annähernd gleichen meßtechnischen Aufbau. Die 1951 durchgeführten Untersuchungen und Vergleichsmessungen an dem Muster H-48 werden daher — mit nur geringen Einschränkungen — auch für das neuere Modell H-50 eine gewisse Bedeutung haben. Da dieses Muster H-50 eine verbreitete, praktische Anwendung gefunden hat, können die vorgeschlagenen Verfahrensverbesserungen zur Eindämmung gelegentlicher Fehler, sofern sie bei diesem Muster Anwendung finden, einen bescheidenen Beitrag zur Beseitigung der bei der Konstruktion exakter Höhenkarten durch die übergroßen Streuwerte der Radiosondenergebnisse bestehenden Schwierigkeiten liefern.

I. Meßprinzip und Aufbau

Das Radiosondenmuster H-48 von Dr. G r a w überträgt durch Zeiger die Meßwerte der Druck-, Temperatur- und Feuchtemeßelemente direkt auf eine rotierende Walze, in die 480 parallele Rillen mit Morsekontakten eingelassen sind. Die Zeiger der einzelnen Meßkörper stellen sich völlig frei ein. Sie werden dann durch die umlaufende Walze in den Rillen, die ihrer freien Einstellung entsprechen, gegen seitliches Auswandern festgehalten, bis die Kontaktgabe erfolgt ist. Die Morsekontakte tasten im Anodenkreis einen angeschlossenen Sender auf ca. 3200—3400 kHz und die ausgestrahlten Zeichen werden mit einem normalen KW-Empfänger aufgenommen.

Der Antrieb der Walze erfolgt durch ein einfaches Windrädchen, das jedoch jederzeit durch einen Motor ersetzt werden kann.

Zur Druckmessung wird eine Doppelviduiedose benutzt und zur Kompensation des Temperatureinflusses ein Bimetall zwischen Dose und Anzeigeübertragung geschaltet (Abb. 1).

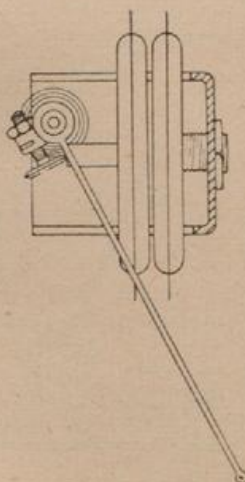
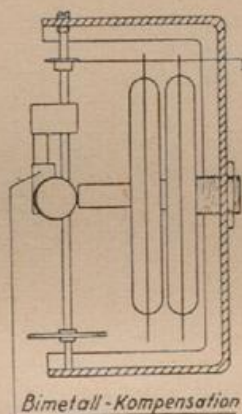


Abb. 1
Druckmeßaggregat

Als Meßkörper für die Temperatur wird ein zylindrisches Bimetall verwendet, das seine Krümmungsänderungen ohne Zwischenschaltung von Gelenken oder Getrieben über einen Zeiger direkt auf die Walze überträgt. Die Abstrahlung und Ableitung von Wärme ist durch den Einbau von geeigneten Zwischenwänden, durch entsprechende Gestaltung der Zeigerdurch-

führung zum Gehäuse weitgehend ausgeschaltet. Das Bimetall selbst ist in einem doppelwandigen Strahlungsschutz untergebracht, der noch durch ein Aufsteckrohr verlängert werden kann (Abb. 2).

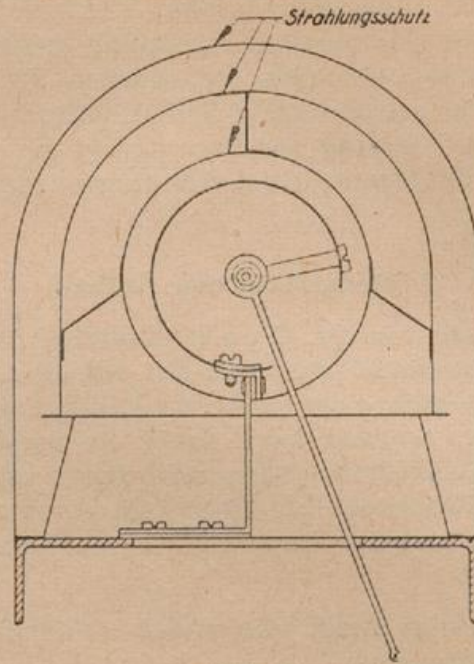


Abb. 2
Temperaturmeßaggregat

Zur Feuchtemessung dient ein Frankenberg-er-Velox-Haar, das seine Längenänderungen über ein Hebelgetriebe auf einen Zeiger und damit auf die Walze überträgt (Abb. 3).

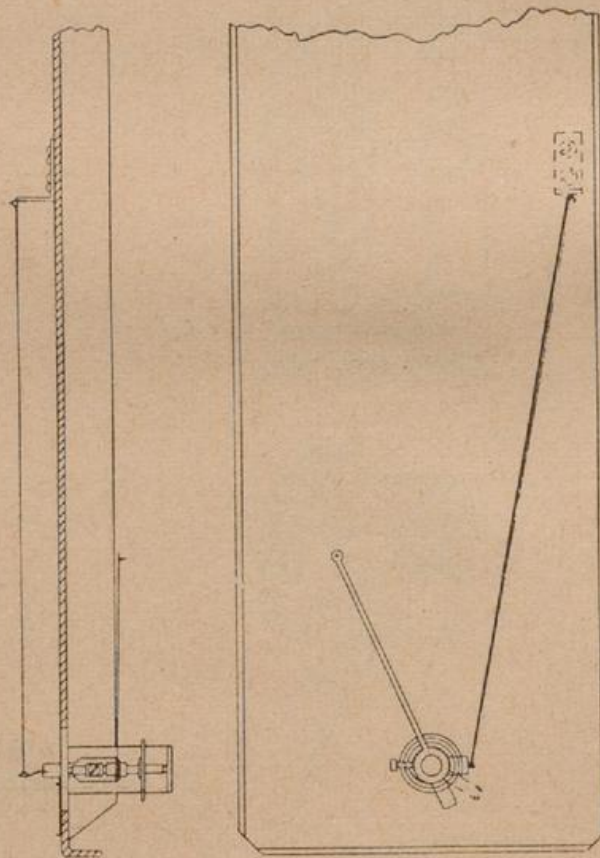


Abb. 3
Feuchtigkeitsmeßaggregat

Auf der Walze sind zwei Reihen von Morsezeichen eingedruckt, derart, daß auf ein Zeichen der ersten Reihe (Zehner) stets 10 verschiedene Zeichen (Einer) in der zweiten Reihe

kommen. Durch dieses System von je zwei Zeichen für jede Rillenkennzeichnung werden insgesamt nur 10 verschiedene Morsekennungen benötigt. Auf der Walze ist zusätzlich eine optische Skala so eingeprägt, daß jede einzelne Rille in eine Markierung dieser Skala ausläuft. Durch entsprechende Bezifferung, die mit den eingedruckten Morsekennungen identisch ist, kann jeder einzelne Meßwert auch optisch abgelesen werden.

Die Zeiger der einzelnen Meßelemente sind um je 90° zueinander versetzt, so daß stets nur ein Zeiger in die Walzenrillen eingreifen kann.

a) Windradeinstellung, Walzen-Umlaufgeschwindigkeit und Auflagedruck der Zeiger:

Der Rillenabstand auf der Walze ist äußerst gering gehalten und beträgt nur 0.12 mm, um damit einer kontinuierlichen Registrierung möglichst nahe zu kommen. Das Abgreifen der Werte erfolgt stufenweise um ca. 2 mb, 0.2° C und 1% rel. Feuchte, so daß von vornherein mit einem konstruktionsgebundenen Systemfehler von ± 1 mb und $\pm 0.1^\circ$ C gerechnet werden muß. Diesen Mangel versucht man wenigstens teilweise dadurch wettzumachen, daß man die Dichte der Meßwerte in der Zeiteinheit möglichst groß gestaltet und gibt daher der Walze eine hohe Umlaufgeschwindigkeit. Dieser jedoch sind feste Grenzen gesetzt durch das Morsetempo der getasteten Kontakte und die bei hohen Walzendrehzahlen auftretenden Schwingungen, die sich auf die Zeiger übertragen und die Registriergenauigkeit erheblich herabsetzen können. Es wurden zu diesem Zwecke Versuche durchgeführt, um die maximal mögliche Umdrehungszahl der Walze, bei der noch keine Zeigerschwingungen auftreten, bei den üblichen Aufstiegs geschwindigkeiten zu ermitteln.

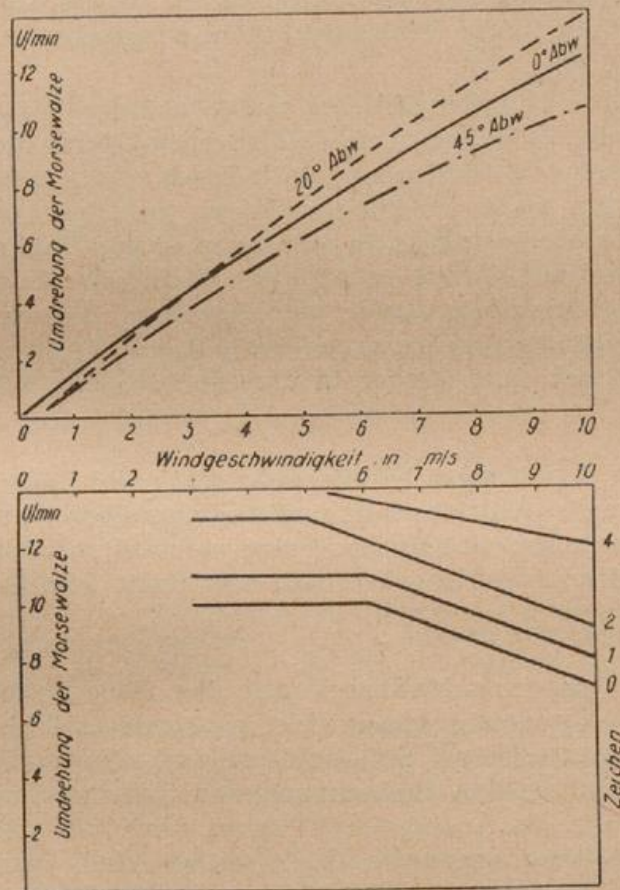


Abb. 4

Oben: Umdrehungen der Morsewalze in Abhängigkeit von der Windrichtung zum Strahlungsschutz
 Unten: Vibrieren des Temperaturzeigers in Zeichen

Die Darstellung der Versuchsergebnisse in Abb. 4 zeigt, daß die kritische Umdrehungszahl bei 10 U/min liegt. Derartige Versuchsergebnisse konnten jedoch nicht verallgemeinert werden und entbanden daher nicht von der Notwendigkeit, jede einzelne Sonde auf derartige Zeigerschwingungen hin zu untersuchen.

Zu diesem Zwecke wurde in einem besonders angefertigten Windkanal bei einer Windgeschwindigkeit, die einer maximalen Aufstiegs geschwindigkeit von 450 m/min entsprach, die Drehgeschwindigkeit der Walze auf 10 U/min eingestellt. Die Einstellung erfolgte durch Änderung der Blattsteigung des Windrades. Wurden dann Zeigerschwingungen festgestellt, so mußte die Umlaufgeschwindigkeit der Walze so lange herabgesetzt werden, bis alle Zeiger ruhig standen. In nur wenigen Fällen war eine derartige Reduzierung erforderlich und es mußte hierbei nie unter 8 U/min heruntergegangen werden. Es war also im allgemeinen mit einer Meßdichte von 8 Meßpunkten für Druck, Temperatur und Feuchtigkeit je Minute zu rechnen. Die Umlaufgeschwindigkeit der Walze geht mit abnehmender Steiggeschwindigkeit zurück, und das Windrad bleibt beim sog. Schwimmen des Ballons stehen. Es mußte daher vorsorglich für sehr leichte Gängigkeit des Antriebes gesorgt werden, damit die vor dem Platzpunkt oft äußerst geringen Steiggeschwindigkeiten des Ballons noch für einen Antrieb der Walze ausreichen.

Dem Wunsche nach hoher Umlaufgeschwindigkeit wirkt der Zwang zu möglichst hohem Auflagedruck der Zeiger entgegen. An und für sich sollte bei der vorhandenen Anodenstromtastung ein geringer Auflagedruck der Zeiger für eine exakte Kontaktgabe ausreichen. Die Praxis hat jedoch gezeigt, daß eine einwandfreie Kontaktgabe bis zum Platzpunkt der Ballone nur dann gegeben war, wenn der Zeigerauflagedruck im mittleren Bereich der Walze den Betrag von 6 g möglichst genau einhielt. Mit diesem Auflagedruck ist gleichzeitig das Maximum der Belastbarkeit der Walze erreicht. Ließe man die Tastung über ein Relais erfolgen, so würden bei kleinsten Strömen und wesentlich feineren Zeigerspitzen bedeutend geringere Auflagedrucke ausreichen. Gleichzeitig würden durch das Relais kürzere, unerwünschte Kontakte, verursacht durch Fehler in der Walzenisolation, ausgeschaltet werden können.

Die Einstellung des Mindestauflagedruckes mußte auf der Walzenmitte erfolgen, da infolge der Kreisbewegung der Zeiger über die Walze im mittleren Bereich der geringste Auflagedruck herrscht. Die Walze ist nicht genau zylindrisch, sondern an ihren achsenparallelen Kanten zur Walzenachse hin stark eingebogen. Wenn nun der kreisbogenförmige und der Zeigerbewegung angepaßte Morsestreifen in seinem mittleren Teil auf diesen zur Achse hin stark abfallenden Walzenteil eingepreßt ist, muß der Auflagedruck an dieser Stelle besonders gering sein. Bei den ersten Versuchen setzten auch jeweils in diesem Bereich die Zeichen aus, wenn die Auflagedrucke nicht entsprechend nachgestellt waren. Es mußte daher für jede einzelne Sonde der Auflagedruck aller Zeiger in diesem mittleren Walzenbereich nachgeprüft werden.

Ein Auflagedruck von 6 g bremst bereits sehr stark die Walzenumdrehung in großen Höhen. Es mußte daher jeweils Antriebskraft und Auflagereibung genau abgestimmt werden, damit nicht durch zu große Zeigerreibung die Walze vorzeitig zum Stillstand gebracht wurde. Durch entsprechende Windradeinstellung ließ sich hier leicht Abhilfe schaffen.

b) Druck:

Die Korrektur des Temperatureinflusses auf das Druckaggregat bereitet besondere Schwierigkeiten, da sich die Dosentemperatur nicht genügend exakt bestimmen läßt. Man war daher bestrebt, den Temperatureinfluß auf die Dose und das gesamte Druckelement durch besondere Vorrichtungen automatisch zu kompensieren. Bei der Sonde H-48 ist aus diesem Grunde ein Bimetallstreifen in die Anzeigeübertragung eingebaut, dessen Wirkungsweise aus Abb. 5 ersichtlich ist. Die Kompensationsmethode mittels eines Bimetalls hat den Nachteil, daß sie stets nur für einen bestimmten und gleichbleibenden Kompensationsdruck Gültigkeit hat. Es ist außerordentlich schwierig, fast unmöglich, bei der Fabrikation der Dosen den Kompensationsdruck exakt auf einen zuvor festgelegten Wert zu bringen, sofern man nicht die Druckdosen vollständig leerpumpt. Es bleibt daher notwendig, den genauen Kompensationsdruck jeder Dose nachträglich experimentell zu ermitteln. Wenn man auch die Theorie des Bimetalls beherrscht, so ist es doch bei der Serienfabrikation kaum möglich, für jeden beliebigen Kompensationsdruck stets die Form des Bimetalls so zu konstruieren, daß darüber hinaus auch noch die temperaturbedingten Längenänderungen des gesamten Druckgestelles, die ja schon allein eine Druckänderung vortäuschen können, in jedem Falle exakt kompensiert

Eichung bei +20°C

Eichung bei -60°C

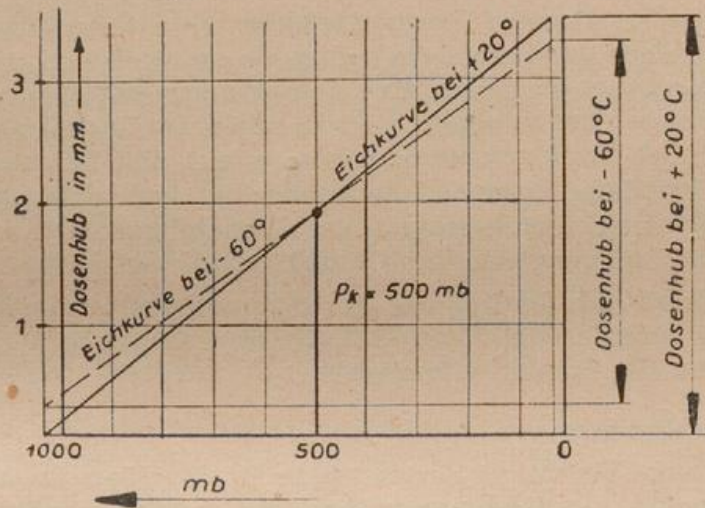
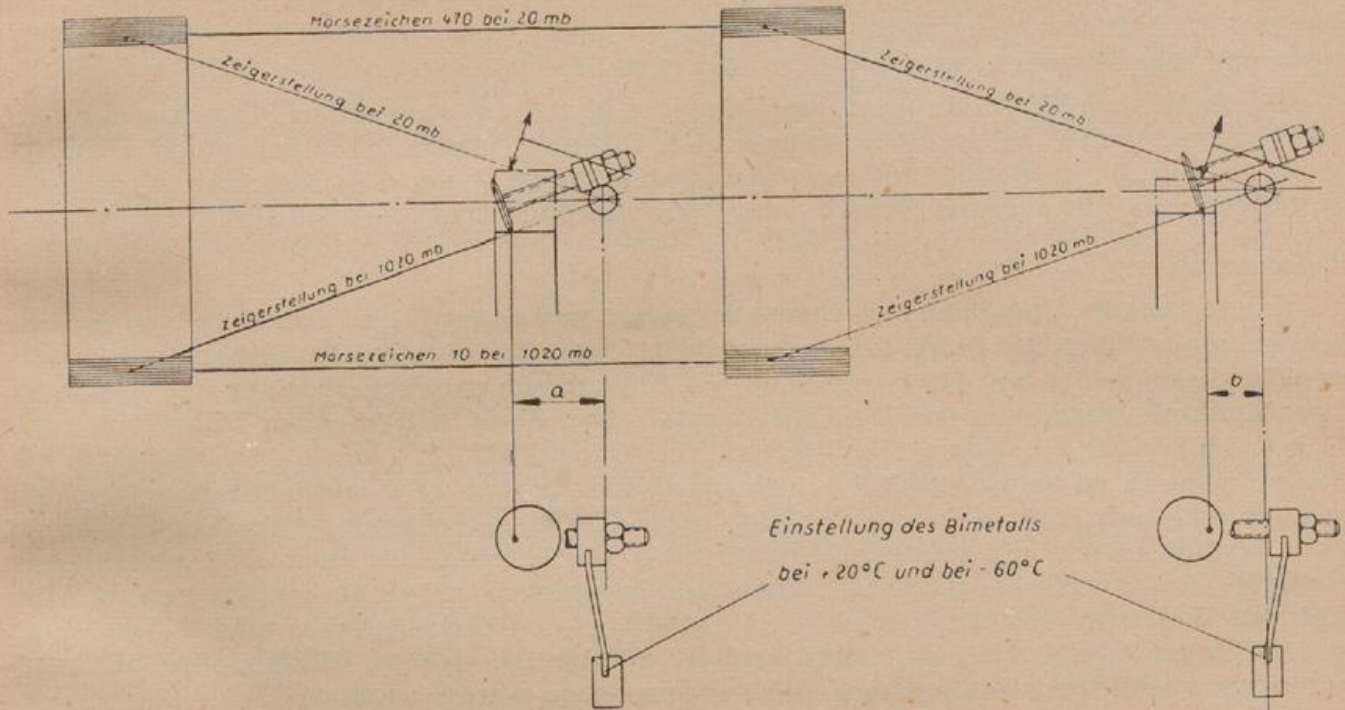


Abb. 5

Temperaturturkompensation der Druckdose (schematisch)

Unten: Eichkurven einer Druckmeßdose ohne Temperaturkompensation (schematisch)
Die Dose ist bei 500 mb kompensiert

werden. Man wird daher in dieser Hinsicht bei einer laufenden Serie mit gewissen Toleranzen rechnen müssen, und es war deshalb auch erforderlich, die Exaktheit der Temperaturkompensation des gesamten Druckaggregates im Einzelexperiment zu überprüfen.

Weitere Schwierigkeiten treten dadurch auf, daß in die Dosen eindringende Luft und dort ausgelöste, chemische Prozesse den Kompensationsdruck langsam ändern. Es ist daher unerläßlich, eine sog. kalte und warme Druckeichung in einer Kälte-Druck-Kammer durchzuführen, um ganz exakte Angaben über die tatsächliche Temperaturkompensation zu erhalten. Diese Nacheichungen zeigten dann auch erwartungsgemäß, daß die Kompensation durch das Bimetall nicht in allen Fällen ausreichend war. Annähernd 60% aller Sonden waren vollständig temperaturkompensiert, während bei den übrigen Sonden eine Kompensationsdruckänderung oder wohl meist mangelnde Abstimmung des Bimetalls zu nicht ganz ausreichender Kompensation oder gar zu Überkompensation führte. In allen diesen Fällen jedoch war der Temperatureinfluß auf das Druckaggregat derart stark reduziert, daß der Fehler, der durch ungenau ermit-

telte Dosentemperatur hätte entstehen können, bei der nun noch notwendigen Korrektur vernachlässigt werden konnte. So war selbst in Fällen unzureichender Kompensation durch das Bimetall eine wesentliche Verbesserung der Druckmessung erreicht. Wesentliche Voraussetzung war jedoch, daß stets eine exakte Druckeichung in einer Kälte-Druck-Kammer zur Verfügung stand und eine längere Lagerung der Sonden nach der Eichung vermieden wurde.

Die elastischen Nachwirkungen der Vidiedosen sind durch ausgiebiges Massieren beseitigt und Hysteresisfehler, sofern sie überhaupt noch auftreten, bleiben ohne Bedeutung, wenn für einen Aufstieg die in gleicher Richtung gewonnene Druckeichung oder für einen Abstieg die in umgekehrter Richtung bei Druckzunahme gewonnene Eichung benutzt wird.

c) Temperatur:

Die thermische Trägheit eines Bimetalls wächst mit seiner Dicke, der Ausschlag ist umgekehrt proportional der Dicke, und man ist daher bestrebt, möglichst dünne Bimetalle zu verwenden. Doch mußte bei der Sonde H-48 ein Kompromiß zwischen Trägheit und Festigkeit bzw. Stellkraft geschlossen werden. Das Bimetall trägt einen freistehenden Zeiger von zirka 72 mm Länge, der mit einem Mindestdruck von 6 g auf der Walze die Morsekontakte abgreifen muß. Es ist sofort ersichtlich, daß ein solches System sehr leicht Schwingungen aufnehmen und auch leicht deformiert werden kann. Um diese Fehlermöglichkeiten weitgehend auszuschalten, mußte ein relativ dickes Bimetall von 0.3 mm, das zwar eine ausreichende Stellkraft besitzt und genügend starr, aber auch entsprechend träge ist, benutzt werden. Aber auch mit Widerstandselektrolyten, Widerstandsstäben und Kondensatoren sind bislang keine wesentlich geringeren Halbwertzeiten erreicht worden, so daß mit diesem Bimetall keine besonders ungünstigen Bedingungen in Kauf genommen werden mußten.

Ein Bimetall zeigt ähnliche Elastizitätsfehler wie ein Aneroid. So hat die Nullstellung der Bimetalle die Tendenz auszuwandern, wenn sie neu gebogen oder geformt sind. Aus diesen Gründen sind die Bimetalle durch eine Temperaturmassage gealtert. Es treten jedoch durch den Ausgleich innerer Spannungen, die sich schon bei der Herstellung offenbar einschleichen können, gelegentlich Nullpunktverschiebungen auf. Ein derartiger Ausgleich innerer Spannungen erfolgt kriechend langsam. Bedeutsam ist weiterhin, daß sich der thermische Ausdehnungskoeffizient mit der Spannung eines Bimetalls ändert, so daß mit der Nullpunktwanderung auch eine Änderung der Eich-Charakteristik verbunden sein kann.

Da das Bimetall sich ähnlich wie das Aneroid nur wenig für Absolutmessungen eignet, ist in jedem Falle zur Feststellung von Nullpunktwanderungen zumindest ein exakter Temperaturvergleich für alle Sonden erforderlich.

d) Relative Feuchtigkeit:

Für aerologische Feuchtigkeitsmessungen ist das Haar im allgemeinen recht ungeeignet. Es ist fast unmöglich, die Gesamtvorgänge, die zu Längenänderungen führen, zu definieren. Ebenso schwierig ist es, die Trägheit exakt zu formulieren, da diese nicht nur von der Temperatur, sondern offenbar auch noch von der Vorspannung, die man dem Haar gibt, abhängig ist. Bei ca. -40° C ist die Trägheit eines Haares bereits annähernd unendlich, so daß brauchbare Messungen der relativen Feuchte nur in einem beschränkten Bereich möglich sind. Es muß jedoch betont werden, daß mit dem Frankenger-Haar, so wie es in der Sonde H-48 verwendet wird, ein wesentlicher Fortschritt erreicht ist, so daß annähernd gleiche Leistungen wie mit der in der amerikanischen Sonde verwendeten Lithium-Chlorid-Lösung erzielt werden.

Viele z. T. noch ungeklärte Gründe können zu beachtlichen Nullpunktverschiebungen führen. Trotzdem zeigen die Ergebnisse der Vergleichsaufstiege mit Frankenger-Haaren, daß es sich lohnt, wenn auch nicht für physikalisch exakte Forschungen, so doch für die praktischen Bedürfnisse der Synoptik, die Vorbereitungen und Nacheichungen der Haare in den Sonden entsprechend sorgfältig durchzuführen.

Weitere Fortschritte hinsichtlich der Feuchtemessungen könnten möglicherweise auch mit dem Sondenmuster H-48 noch erreicht werden, wenn statt der Haare ein Band Goldschlägerhaut eingebaut würde. Die Stellkraft eines derartigen Hygrometers ist größer und der Temperatureinfluß auf die Trägheit der Goldschlägerhaut ist kleineren Ausmaßes, so daß sich brauchbare Feuchtigkeitsangaben auch noch bei tieferen Temperaturen, als dies bei Haarhygrometern möglich ist, gewinnen ließen.

II. Vergleichende Messungen zur Ermittlung der Streufehler

Die Ausführungen über Meßprinzip und technischen Aufbau der Radiosonde H-48 wurden bewußt ausführlich gehalten, um hierbei vor allem die Fehlermöglichkeiten klar herauszustellen. Ehe man darangeht, die Ergebnisse von Vergleichsmessungen zur Beurteilung der Genauigkeit eines Sondenmusters heranzuziehen, muß Gewißheit bestehen, daß nicht Fehler anderer Art, die nicht direkt instrumentengebunden sind, diese Ergebnisse wesentlich beeinflussen können.

Startet man zwei Sonden des gleichen Musters in einem Gespann, so erhält man stets zwei Meßwerte i_1 und i_2 , die von dem richtigen Absolutwert i um den Betrag

$$\begin{aligned}F_1 &= i_1 - i \\F_2 &= i_2 - i\end{aligned}$$

abweichen.

Die Differenz der Einzelmessungen

$$i_1 - i_2 = F_1 - F_2 = \Delta$$

sagt zwar nichts über die Lage der Einzelmessungen zu den Absolutwerten aus, gibt aber hinreichenden Aufschluß über die Systemgenauigkeit einer Sonde.

Die Fehler F_1 und F_2 sind stets als Summe von sog. Fehlergruppen anzusehen:

$$F = F_{sy} + F_{st} + F_{ge},$$

wobei

F_{sy} die systematischen Fehler,

F_{st} die Streufehler und

F_{ge} die gelegentlichen Fehler bezeichnet.

Die systematischen Fehler F_{sy} sind durch das Meßverfahren, die Eichmethode, Auswertverfahren, Trägheit und Strahlung bedingt. Sie tragen in gleichem Maße zu den Werten i_1 und i_2 bei und können daher nicht aus

$$i_1 - i_2 = \Delta$$

ermittelt werden, da der Mittelwert von

$$\Delta_{sy} = 0$$

sein muß.

Streufehler F_{st} sind durch die konstruktionsgebundene Meßgenauigkeit und die gegebene Auswert- und Ablesegenauigkeit bedingt.

Gelegentliche Fehler F_{ge} sind durch technische Einzelmängel am Gerät und an der Aufnahmeapparatur, durch gelegentliche Fehler der Eichung und der Bodenwertbestimmung, durch gelegentliche Ablese- und Auswertfehler verursacht und ändern sich daher von Sonde zu Sonde.

Die ermittelten Abweichungen zweier Sonden in einem Gespann enthalten daher im allgemeinen neben dem Streufehler auch noch die sog. gelegentlichen Fehler:

$$\Delta = \Delta_{st} + \Delta_{ge}.$$

Gelingt es durch sorgfältige Nachprüfung der Geräte und der Vorbereitungs- und Auswertverfahren die gelegentlichen Fehler auszuschalten, so verbleiben in den ermittelten Abweichungen nur noch die Streufehler:

$$\Delta = \Delta_{st}.$$

Diese müssen bei allen Vergleichspaaren in gleichen Höhenintervallen annähernd gleich sein.

Weichen die bei Vergleichsaufstiegen gewonnenen Δ -Werte von dieser Forderung ab, d. h. variiert Δ bei den einzelnen Vergleichspaaren und in den einzelnen Höhenintervallen sehr stark, so ist lediglich der Beweis erbracht, daß es nicht möglich war, die gelegentlichen Fehler F_{ge} auszuschalten. Diese Δ -Werte sagen daher noch nichts über die eigentlichen Streufehler F_{st} einer Sonde aus, da diese von gelegentlichen Fehlern völlig überdeckt sind. Führt man derartige Vergleichsmessungen nicht mit dem gleichen, sondern mit verschiedenen Sondenmustern durch, so bleiben die systematischen Fehler F_{sy} in den Δ -Werten erhalten:

$$\Delta = \Delta_{sy} + \Delta_{st} + \Delta_{ge}.$$

Zweck der Vergleichsmessungen mit verschiedenen Mustern ist die Ermittlung systematischer Abweichungen Δ_{sy} . Dies ist natürlich nur möglich, wenn:

- 1) der Streufehler F_{st} jedes einzelnen Musters bekannt ist,
- 2) gelegentliche Fehler F_{ge} ausgeschaltet werden können,

damit

$$\Delta = \Delta_{sy}$$

wird.

Sind jedoch diese Bedingungen nicht erfüllt, oder zumindest nicht annähernd erfüllt, dann können natürlich aus den gewonnenen Δ -Werten keine systematischen Abweichungen zweier Sondenmuster ermittelt werden. Diese werden sowohl von den noch unbekanntem Streufern, als auch besonders von den gelegentlichen Fehlern überdeckt.

Der Kernpunkt aller Sondenvergleichsmessungen ist daher die Frage, inwieweit es möglich ist, gelegentliche Fehler überhaupt auszuschalten oder doch wenigstens stark einzuengen. Die internationalen Vergleichsaufstiege 1950 in Payerne zeigten nämlich deutlich, daß die gelegentlichen Fehler einen derart großen Umfang einnehmen, daß die Ermittlung systematischer Unterschiede zwischen verschiedenen Sondenmustern kaum möglich ist.

Als gelegentliche Fehler wurden vor allem gelegentliche Eich- und Bodenwertbestimmungsfehler, sowie Auswert- und Ablesefehler bezeichnet, also Fehler, die nicht direkt an die Sonde gebunden sind und daher auch vermeidbar sein müßten. Frühere Vergleichsmessungen zeigten bereits, daß die gelegentlichen Fehler bei den Δ -Werten der Temperatur und der Feuchtigkeit weitaus überragten, während sie bei den Δ -Werten des Druckes sehr selten waren. Eine systematische Nachprüfung der möglichen Ursachen für gelegentliche Fehler führte zu der Feststellung, daß die sog. Bodenwertbestimmung für Temperatur und Feuchtigkeit wohl als Hauptquelle aller gelegentlich auftretenden Fehler angesehen werden kann.

a) Druck:

Die sorgfältige Druckeichung in einer Kälte-Druck-Kammer und eine systematische Überwachung und Nachprüfung schließen annähernd jeden gelegentlichen Fehler aus. Es galt also, die anschließende Lagerzeit für die Geräte möglichst kurz zu halten und mögliche Transportschäden festzustellen. So wurde für jede Sonde, kurz vor dem Start, unter normalen Flugbedingungen ein exakter Druckvergleich ausgeführt, um auch jede mögliche Lageempfindlichkeit auszuschalten. Sonden mit mehr als 5 mb Abweichung wurden aussortiert, und bei weniger als 5 mb Abweichung wurde eine kurze Nacheichung in einer eigenen Druckkammer durchgeführt, um den wahren Betrag der Nullpunktverschiebung zu ermitteln. Ergab sich hierbei eine Änderung der Dosencharakteristik, die nicht durch eine Parallelverschiebung zu beheben war, so wurden auch diese Sonden ausgeschieden. In den übrigen Fällen wurde die ermittelte Nullpunktverschiebung als Korrektionsbetrag in die Auswertung übernommen. Es zeigten jedoch nur 1 % aller Sonden Druckabweichungen von mehr als 5 mb, während 90 % der Sonden überhaupt keine Abweichungen hatten. Es waren damit, so muß angenommen werden, gelegentliche Fehler weitgehendst ausgeschaltet.

Ungenauigkeiten in der Markierung der Minutendruckwerte bei der Durchführung der Vergleichsaufstiege mußten sich bei großen Aufstiegsgeschwindigkeiten und geringer Walzendrehzahl besonders stark auswirken, dagegen mit der Höhe an Einfluß schnell verlieren. Es wurde daher bei den Versuchen eine Aufstiegsgeschwindigkeit von 320 m/min nicht überschritten und eine Walzendrehzahl von 8-10 U/min für die unteren Schichten eingestellt.

Tab. 1 zeigt die mittlere Druckabweichung $\overline{\Delta P} = \frac{\sum |\Delta P|}{n}$ mb in den einzelnen Höhenintervallen. Im allgemeinen stimmen die ΔP -Werte der einzelnen Vergleichspaare in gleichen Intervallen recht gut überein. Man kann darüber hinaus durch entsprechende Parameterdarstellung prüfen, ob noch Nullpunktverschiebungen, die nicht erfaßt werden konnten, vorliegen und ob evtl. Änderungen der Dosencharakteristiken aufgetreten sind. Unter Berücksichtigung der konstruktionsgebundenen Meßgenauigkeit von ± 1 mb stellen die ermittelten Abweichungen einen brauchbaren Streufehler dar.

Tab. 1

$$\text{Mittlere Druckabweichung } \overline{\Delta P} = \frac{\sum |\Delta P|}{n} \text{ mb}$$

Aufstieg Nr.	Bo—700	700—500	500—300	300—200	200—100	100—Gi	Bo—Gi
1	1.3	3.0	3.7	3.1	1.9	—	2.6
2	1.3	2.3	1.0	—	—	—	1.5
3	2.6	1.8	1.7	1.2	1.1	1.2	1.6
4	4.1	1.7	1.1	2.2	1.6	1.0	2.0
5	1.9	2.1	1.4	—	—	—	1.8
6	2.0	2.1	1.0	—	—	—	1.7
7	1.9	2.0	2.2	1.3	1.4	—	1.8
8	1.8	1.9	1.8	1.6	1.6	—	1.7
	2.1	2.1	1.7	1.9	1.5	1.1	1.8

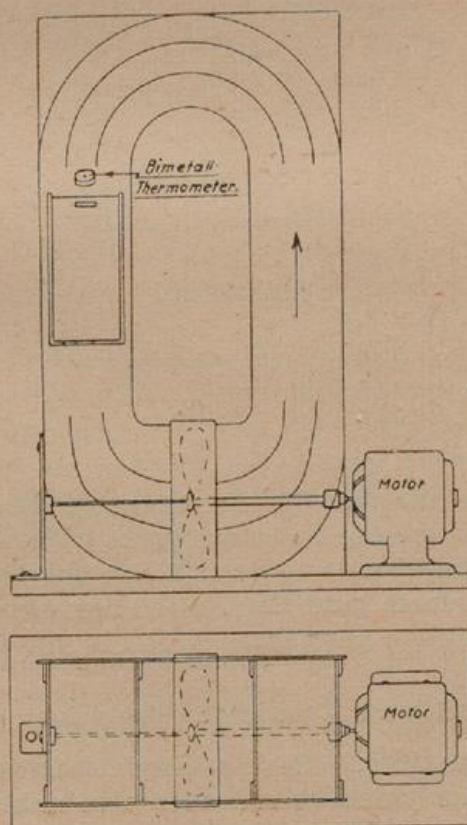
b) Temperatur:

Zwischen der angezeigten Temperatur T eines Thermometers und der wahren Temperatur T_r besteht die Beziehung:

$$T = T_r - t_0 \cdot e^{\frac{z}{a}},$$

wenn zur Zeit $z = 0$ die angezeigte Temperatur $T = T_r - t_0$ war. Nimmt man zur Vereinfachung eine lineare Änderung von T_r um $2^\circ \text{C}/\text{min}$ bei einer Ventilationsgeschwindigkeit von 5 m/s an, so hinkt ein Hg-Thermometer aus dem Aspirationspsychrometer ca. 0.6°C und ein Bimetall von 0.5 mm Dicke um 0.3°C hinter der wahren Temperatur her. Es besteht also in vorliegendem Falle eine Anzeigendifferenz von 0.3°C zwischen beiden Thermometern.

Trägheitsfreie Temperaturmessungen in Hüttenhöhe und in der Hütte haben gezeigt, daß Schwankungen der wahren Temperatur T_r nicht nur möglich, sondern fast die Regel sind, die

Abb. 6
Windkanal

eine Anzeigedifferenz von ca. 0.5°C zwischen einem der üblichen für die Bodenwertbestimmung benutzten Hg-Thermometer und einem Bimetall von 0.3 mm Dicke, wie es in der Sonde H-48 verwendet wird, sehr wohl ermöglichen. So erklärt sich auch die auffällige Tatsache, daß bei den Bodenwertvergleichen der Temperatur die Sonden am Tage allgemein wesentlich größere Abweichungen als in der Nacht, und bei ruhigem Einstrahlungswetter größere Abweichungen als bei bedecktem Himmel und mäßigem bis lebhaftem Wind zeigten.

Es wurde ein Umlaufwindkanal (Abb. 6) gebaut, der eine gleichmäßige und konstante Ventilationsgeschwindigkeit von 5 m/s lieferte. Durch geeignete Aufstellung und entsprechenden Strahlungsschutz konnte hierin die Temperatur zwar noch nicht konstant gehalten werden, doch blieben die linearen Temperaturzunahmen nach einer gewissen Anlaufzeit so gering, daß das unterschiedliche Nachhinken der verschieden trägen Thermometer (Hg-Thermometer und Bimetall) nicht mehr meßbar war. Prüft man die Sonden in einem solchen Behelfs-Thermostat, so verschwinden die sonst üblichen, starken Abweichungen fast ganz, und es gilt wieder in viel größerem Umfange die Grundeichung. Es war mit diesen Versuchen der Beweis erbracht, daß die früheren Bodenvergleichsmessungen der Temperatur im wesentlichen zusätzliche und vor allem unsystematische Fehler einbrachten, die wohl den Hauptanteil der gelegentlichen Fehler ΔT_{ge} ausmachen.

Alle Sonden wurden in der üblichen Fluglage in diesem Umlaufwindkanal geprüft und die hier ermittelten Abweichungen als reelle Nullpunktänderungen angesehen und als Korrekturbeträge bei der Auswertung berücksichtigt. Diese Abweichungen übersteigen im allgemeinen nicht den Betrag von $0.2 - 0.3^{\circ}\text{C}$. Sonden mit mehr als 0.5°C Abweichung waren sehr selten und wurden in jedem Falle ausgeschieden, um einer exakten Nacheichung zugeführt zu werden.

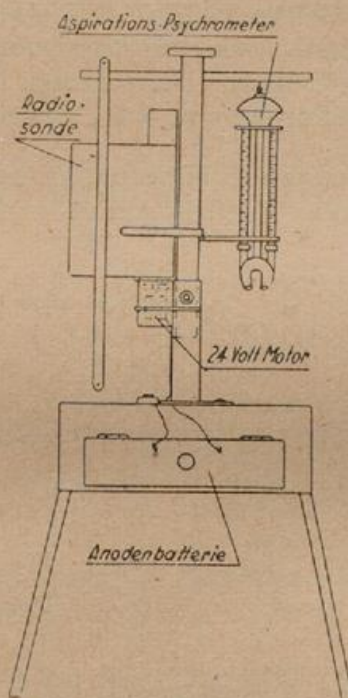


Abb. 7
Bodenmeßgerät

Beim Start der Sonden wurde eine für Startzeit und Startort repräsentative Temperatur mit einem eigens hierfür entwickelten Bodenmeßgerät (Abb. 7) bestimmt. Die hierbei festgestellten Abweichungen der Temperaturwerte der Sonde wurden nicht mehr berücksichtigt. Das Gerät diente im wesentlichen durch gute Ventilation der Anpassung an die Außentemperatur und einer letzten Funktionsprüfung der gesamten Sonde vor dem Start.

Die in Tab. 2 dargestellten mittleren Temperaturabweichungen $\overline{\Delta T} = \frac{\sum |\Delta T|}{n} \text{ } ^{\circ}\text{C}$ zeigen eindeutig, daß es — im Gegensatz zu früheren Vergleichsmessungen — gelungen war, durch sehr starke Eindämmung der gelegentlichen Fehler eine gute Übereinstimmung herbeizuführen. Eine Parameterdarstellung gibt Aufschluß darüber, daß es doch nicht in allen Fällen ge-

Tab. 2

$$\text{Mittlere Temperatur-Abweichung } \overline{\Delta T} = \frac{\sum |\Delta T|}{n} \text{ } ^\circ \text{C}$$

Aufstieg Nr.	Bo—700	700—500	500—300	300—200	200—100	100—Gi	Bo—Gi
1	0.20	0.40	0.45	0.35	0.31	—	0.34
2	0.46	0.28	0.25	—	—	—	0.33
3	0.26	0.44	0.43	0.29	0.33	0.53	0.38
4	0.19	0.31	0.24	0.40	0.55	0.45	0.36
5	0.53	0.37	0.30	—	—	—	0.40
6	0.17	0.17	0.10	—	—	—	0.15
7	0.24	0.10	0.19	0.20	0.30	—	0.21
8	0.40	0.32	0.19	0.50	0.40	—	0.36
	0.31	0.30	0.27	0.35	0.38	0.49	0.32

lungen war, Nullpunktverschiebungen restlos zu erfassen. Es ist also anzunehmen, daß die Temperaturmessungen immer noch mit einem kleinen Anteil gelegentlicher Fehler über einen konstanten Streufehler hinaus behaftet sind.

Berücksichtigt man jedoch die Vorzeichen der ΔT -Werte in den einzelnen Intervallen, so wird die Übereinstimmung — nicht in Einzelwerten, sondern in Höhenintervallen gesehen — etwas günstiger (Tab. 3).

Tab. 3

$$\text{Mittlere Temperatur-Abweichung } \overline{\Delta T} = \frac{\sum \Delta T}{n} \text{ } ^\circ \text{C}$$

Aufstieg Nr.	Bo—700	700—500	500—300	300—200	200—100	100—Gi	Bo—Gi
1	+0.1	+0.4	+0.4	+0.4	+0.3	—	+0.3
2	+0.5	+0.3	+0.3	—	—	—	+0.4
3	+0.1	—0.4	+0.2	—0.0	—0.2	—0.4	—0.1
4	+0.2	+0.1	+0.2	+0.1	—0.1	—0.4	+0.1
5	+0.5	+0.4	+0.3	—	—	—	+0.4
6	+0.1	—0.1	+0.1	—	—	—	+0.0
7	—0.2	—0.1	—0.1	—0.1	—0.3	—	—0.2
8	+0.4	+0.3	—0.0	—0.4	—0.4	—	—0.0

Es war zu erwarten, daß die Abweichungen im Bereich von Inversionen besonders groß, dagegen mit der Höhe abnehmen mußten. Diesen Erwartungen entsprechen auch im allgemeinen die Ergebnisse. Eine Gesetzmäßigkeit der Abweichungen, daß z. B. die obere Sonde wärmer als die im Gespann unten aufgehängte war, konnte auch nicht andeutungsweise ermittelt werden. Es kann daher die Existenz eines Balloneinflusses auf die Messungen bei dieser Art von Aufstiegen verneint werden.

c) Relative Feuchtigkeit:

Um mit Haarhygrometern noch brauchbare Feuchtigkeitsmessungen zu erhalten, genügt es offenbar nicht, lediglich die Nullpunktänderung vor dem Start zu ermitteln. Eine ältere Feuchtigkeitseichung hat praktisch keinerlei Wert, wenn das Haar nicht kurz vor dem Start sorgfältig regeneriert und nachgeeicht wird. Es konnte wiederholt beobachtet werden, daß sich trocken gelagerte Haare beim Flug durch Wolken offenbar regenerieren und hierbei oft ihre Charakteristik ändern.

Es wurde daher in einer besonderen Feuchte-Eichanlage, die zu diesem Zwecke entwickelt wurde, unter Flugbedingungen für jede Sonde eine Regeneration und Nacheichung der Haare durchgeführt (Tab. 4).

Tab. 4

$$\text{Mittlere Feuchte-Abweichungen } \overline{\Delta U} = \frac{\sum |\Delta U|}{n} \% \text{ rel. F.}$$

Aufstieg Nr.	Bo—700	700—500	500—300	Bo—300
1	4	6	6	5
3	4	2	2	3
4	9	8	4	7
5	4	5	5	5
6	3	4	3	3
7	5	3	2	3
8	6	4	3	4
	5	5	4	4

Die Ergebnisse der Vergleichsmessungen zeigen eine recht gute Übereinstimmung.

Im Inversionsbereich müssen die Abweichungen besonders groß sein, berücksichtigt man jedoch die Vorzeichen, so ergeben sich für die einzelnen Schichten im Mittel bemerkenswerte Übereinstimmungen der Registrierungen (Tab. 5).

Tab. 5

$$\text{Mittlere Feuchte-Abweichung } \overline{\Delta U} = \frac{\sum \Delta U}{n} \% \text{ rel. F.}$$

Aufstieg Nr.	Bo—700	700—500	500—300	Bo—300
1	—1	—2	+6	+1
3	+3	—2	—2	—0
4	+9	+7	+4	+6
5	0	+1	—3	—1
6	—1	+1	+1	0
7	—3	0	0	—1
8	—4	—4	—1	—3

Die ermittelten Streuwerte, die sicherlich nur noch einen geringen Anteil gelegentlicher Fehler beinhalten, zeigen jedoch, daß aerologische Feuchtigkeitsmessungen in einem begrenzten Bereich nicht unbedingt sinnlos sein müssen und daß sie sehr wohl für synoptische Zwecke brauchbare Angaben liefern können, sofern man entsprechende Mühe und Sorgfalt für die Vorbereitung und Nachprüfung der Geräte aufwendet.

d) Zusammenfassung:

Es kann als Ergebnis der Untersuchungen an der Radiosonde H-48 festgestellt werden:

1) Die Ermittlung von Streufehlern eines Sondenmusters ist nur möglich, wenn alle gelegentlichen Fehler in der Eichung, am Gerät und vor allem in der Bodenwertbestimmung ausgeschaltet werden. Die Ausschaltung der gelegentlichen Fehler und die Ermittlung brauchbarer Streufehler sind die Voraussetzung, um systematische Abweichungen gegen ein anderes Sondenmuster zu bestimmen.

2) Die Ausschaltung gelegentlicher Fehler, oder zumindest eine starke Einengung bei der Temperaturmessung ist nur durch eine grundsätzliche Änderung der bislang üblichen Bodenwertbestimmung möglich. Bei der Feuchtigkeitsmessung erweist es sich als notwendig, vor der Bodenwertbestimmung eine Regeneration und Nacheichung der Haare durchzuführen.

3) Die ermittelten Abweichungen können als annähernd konstante Streufehler angesehen werden. Durch weitere Verbesserung der Vorbereitungsverfahren ließen sich diese sicherlich bei der Temperatur noch weiter einengen.

4) Die Druckmessungen erfolgen mit einer Genauigkeit von 2 mb, die Temperaturmeßgenauigkeit beträgt $0.2 - 0.4^{\circ} \text{C}$ und die rel. Feuchtigkeit wird mit einer Genauigkeit von ca. 5 % rel. F. gemessen.

Diese Werte stellen wohl annähernd ein Maximum der erreichbaren Genauigkeit für das Sondenmuster H-48 dar.

