

Entfernungs Und
Hohenmessung In Der
Luftfahrt
(1922)



Walther Meissner

Entfernungs- und Höhenmessung in der Luftfahrt

Von

Dr. Walther Meissner

Regierungsrat bei der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

Mit 66 Abbildungen



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 1922

ISBN 978-3-663-00487-5 ISBN 978-3-663-02400-2 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-02400-2

In the interest of creating a more extensive selection of rare historical book reprints, we have chosen to reproduce this title even though it may possibly have occasional imperfections such as missing and blurred pages, missing text, poor pictures, markings, dark backgrounds and other reproduction issues beyond our control. Because this work is culturally important, we have made it available as a part of our commitment to protecting, preserving and promoting the world's literature. Thank you for your understanding.

Vorwort.

Die Schrift ist auf Veranlassung der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt entstanden. Dem Wunsche derselben entsprechend habe ich mich bemüht, die Darstellung so zu halten, daß der Inhalt auch dem Nichtfachmanne, insbesondere dem physikalisch nicht Vorgebildeten verständlich ist. Doch hoffe ich, daß hierunter die Genauigkeit nicht gelitten hat, daß der Leser nicht nur eine oberflächliche Vorstellung von dem behandelten Gebiet bekommen wird, sondern wirklich in das Wesen der Sache und die vorliegenden Schwierigkeiten und Probleme eindringen kann. Die Tätigkeit, die ich während des Weltkrieges bei der Fliegertruppe ausübte, hat mich mit den meisten der behandelten Apparate in praktische Berührung gebracht; viele habe ich selbst während des Fluges benutzt, so daß überall bei der Darstellung auch der Gesichtspunkt des Praktikers mitgesprochen hat. In verschiedenen Einzelheiten freilich war ich bei der Neuheit des ganzen Gebietes auf die Auskunft der die Apparate herstellenden Firmen angewiesen, denen ich daher auch an dieser Stelle für ihr großes Entgegenkommen, die Überweisung von Druckschriften, Figuren u. dgl. meinen Dank aussprechen möchte. Auch von anderer Seite wurde mir verschiedentlich gütige Unterstützung zuteil, so z. B. durch Herrn Prof. v. Sanden.

Charlottenburg, Juni 1921.

W. Meissner.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
I. Optische Entfernungs- und Höhenmessung in der Luftfahrt.	
1. Grundlagen und Genauigkeit der trigonometrischen Entfernungs- und Höhenmessung. Zweck der Kommandoapparate	1
2. Aufbau von Teilbild- und stereoskopischen Entfernungsmeßern	7
a) Teilbild-Entfernungsmeßer	10
b) Stereoskopischer Entfernungsmeßer	12
3. Ausführungsbeispiele für Teilbild- und stereoskopische Entfernungsmeßer sowie für zugehörige Höhenmeßer und Kommandoapparate	15
a) Apparate der A.-G. Hahn für Optik und Mechanik in Cassel	15
b) Apparate der Firma Carl Zeiss, Jena	20
c) Apparate der A.-G. C. P. Goerz, Berlin-Friedenau	31
d) Geschützeinstellvorrichtung nach S. Valentiner	37
4. Ausführungsbeispiele für stereoskopische Entfernungs- und Höhenmeßer zum Gebrauch vom Luftfahrzeug aus	35
a) Zeiss'scher Raumbildentfernungsmeßer mit 36 cm-Basis	39
b) Zeiss'scher Raumbildentfernungsmeßer mit 50 und 60 cm-Basis	41
II. Barometrische Höhenmessung in der Luftfahrt.	
1. Grundlagen und Meßmethoden	42
2. Aufbau der Apparate zur barometrischen Höhenmessung, ihre Genauigkeit und ihre Eichung	56
3. Ausführungsbeispiele barometrischer Höhenmeßer für die Luftfahrt	67
a) Apparate der Firma R. Fuess, Berlin-Steglitz	67
b) Apparate der A.-G. C. P. Goerz, Berlin-Friedenau	71
c) Weitere Firmen für Höhenmeßer	74
d) Variometer der Firma Dr. R. Hase, Hannover	75
III. Neuere in Entwicklung begriffene Methoden der Entfernungs- und Höhenmessung in der Luftfahrt.	
1. Akustische Höhenmessung	76
2. Direkte Höhenmessung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen	78
3. Entfernungs- und Höhenmessung unter Benutzung drahtloser Telegraphie	79
Literaturverzeichnis	80
Namen- und Sachverzeichnis	91

Die Bestimmung der Höhe von Luftfahrzeugen kann vom Erdboden oder vom Fahrzeug aus erfolgen.

Die erstere Art, die besonders von militärischem Interesse ist, wird meist mit einer Entfernungsmessung und einer Richtungsbestimmung verbunden, um den Ort des Flugzeuges oder Luftschiffes relativ zum Beobachter festzulegen und danach, z. B. mit Hilfe von Kommandoapparaten, Abwehrkanonen o. dgl. zu bedienen. Danach ist es selbstverständlich, daß dabei nur solche Methoden der Entfernungs- und Höhenbestimmung in Betracht kommen, die rasche Messungen gestatten. Auch bei diesen Methoden ist noch die Berücksichtigung der Geschwindigkeit des Flugzeuges nach Richtung und Größe unerlässlich, wenn man die Geschütze u. dgl. genau genug einstellen will.

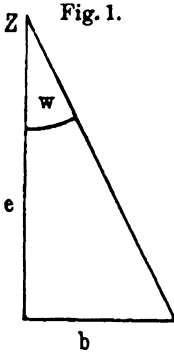
Die Höhenmessung vom Fahrzeug aus hat ganz allgemein navigatorisches Interesse. Sie gibt Aufschluß über die Steigleistung und ist von ganz besonderer Wichtigkeit beim Heruntergehen und Landen des Fahrzeuges zumal bei Dunkelheit, in Wolken oder im Nebel. Auch vom Luftfahrzeug aus kommt aber nicht nur die Höhenmessung, sondern auch die Entfernungsmessung in Frage, und zwar hauptsächlich wieder für militärische Zwecke, nämlich um die Entfernung von angreifenden oder angegriffenen Fahrzeugen oder von Objekten auf dem Erdboden festzustellen.

I. Optische Entfernungs- und Höhenmessung in der Luftfahrt.

1. Grundlagen und Genauigkeit der trigonometrischen Entfernungs- und Höhenmessung. Zweck der Kommandoapparate.

Die trigonometrischen Methoden der Entfernungsmessung, wie sie in der Geodäsie und Astronomie seit langem üblich sind, beruhen darauf, daß die Entfernung bestimmt wird als Seite eines Dreiecks, von dem eine andere Seite — die „Basis“ — und zwei Winkel bekannt sind. Bei den hier allein in Betracht kommenden Entfernungsmessern, welche die Entfernung von einem Punkte

aus durch eine einfache Einstellung schnell abzulesen gestatte („einstationäre Entfernungsmesser“), ist die Basis b unveränderlich in dem Instrument enthalten. Der eine der beiden der Basis



anliegenden Winkel ist ebenfalls unveränderlich, und zwar 90° (Fig. 1). Um die gesuchte Entfernung des Zieles Z , die Dreiecksseite zu bestimmen, genügt also die Messung des Winkels w zwischen den beiden von den Endpunkten der Basis nach dem Ziel Z gezogenen Strahlen (Winkel am Ziele) oder des ihm gleichen Winkels zwischen der durch den zweiten Endpunkt von b zu e gezogenen Parallelen und dem Strahl nach Z durch diesen Endpunkt. Praktisch ist b sehr klein gegen e ($b = \frac{1}{5000} e$ bis $\frac{1}{50000} e$), so daß Winkel w einen sehr kleinen

Wert hat. Ist z. B. die Basis $b = 1$ m, so gehört zu der Entfernung $e = 3440$ m der Winkel $w = 1'$. Bei so kleinen Winkeln gilt mit genügender Annäherung

$$e = \frac{b}{w},$$

wenn w im Bogenmaß gemessen wird, oder

$$e = \frac{b}{w} \cdot 206200 \dots \dots \dots (1)$$

wenn w in Winkelsekunden ausgedrückt wird.

Bei dem Gebrauch der Entfernungsmesser wird dem Vorstehenden entsprechend die feste Basis b so ausgerichtet, daß von den beiden Senkrechten an ihren Enden die eine das Ziel trifft; die andere Senkrechte muß dann, damit sie ebenfalls durch das Ziel geht, um den Winkel w geschwenkt werden. Durch die Messung des Winkels w ist dann die Entfernung e des Zieles gemäß (1) bestimmt.

Welche Genauigkeit kann bei einer solchen Art der Entfernungsmessung erreicht werden?

Die Größe der Basis b kann, da es sich dabei um eine einfache Längenmessung handelt, leicht mit viel größerer Genauigkeit bestimmt werden als der kleine Ablenkungswinkel w , so daß es nach (1) wesentlich auf den Fehler von w ankommt.

Wird w um $+f$ falsch bestimmt, so daß

$$w' = w + f,$$

so erhält man eine falsche Entfernung

$$e' = \frac{b}{w'} 206\,200.$$

Also wird

$$w' - w = \pm f = b \left(\frac{1}{e'} - \frac{1}{e} \right) 206\,200,$$

oder, da e' nahezu gleich e ist, genau genug

$$e' - e = + \frac{f e^2}{206\,200 b} \dots \dots \dots (2)$$

Ein Fehler bei der Bestimmung von w ergibt also einen um so größeren Fehler von e , je kleiner die Basis b und je größer die Entfernung e ist, und zwar wächst $e' - e$ mit dem Quadrat von e .

Der Genauigkeit bei der Messung von w ist dadurch eine Grenze gesetzt, daß das Auge zwei Punkte nur dann zu trennen vermag, wenn die von ihnen nach der Pupillenmitte gehenden Strahlen noch einen gewissen Winkel w_0 , den „physiologischen Grenzwinkel“, einschließen, da andernfalls die beiden Punkte auf der Netzhaut so dicht beieinander abgebildet werden, daß keine getrennten Lichtreize wahrgenommen werden, sondern nur ein einziger Lichtreiz entsteht. Als kleinsten möglichen Wert von w_0 pflegt man 10 Winkelsekunden anzusehen; bei den meisten Beobachtern muß man wenigstens den doppelten Wert zugrunde legen. Durch diesen Wert von w_0 würde also stets ein möglicher Fehler $f = +w_0$ des Winkels w hervorgerufen werden können.

Man kann diesen Fehler erheblich verkleinern, indem man dem Entfernungsmesser eine Fernrohrvergrößerung V gibt, so daß der Winkel w dem Auge V mal so groß wie ohne Fernrohr erscheint. Ist dann f' der Fehler in der Winkeleinstellung mit Fernrohr, so ist $f = f'/V$, und es wird

$$e' - e = + \frac{f' e^2}{206\,200 V b} \dots \dots \dots (3)$$

wobei der kleinste für f' mögliche Wert nun wieder w_0 ist. Die Vergrößerung V kann bei transportablen Instrumenten im allgemeinen nicht größer als etwa 20fach gemacht werden, da andernfalls atmosphärische Störungen und gewisse unvermeidbare optische und mechanische Fehler des Entfernungsmessers zu sehr hervortreten.

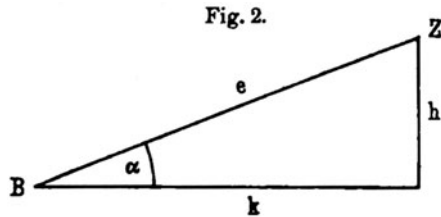
Tabelle 1.
Beobachtungsfehler für Entfernungsmesser mit $f = 10$ Sekunden.

Basis	0,50 m	0,70 m	1,00 m	1,50 m	3,00 m	3,00 m
Vergrößerung .	$8 \times$	$11 \times$	$11 \times$	$16 \times$	$14 \times$ ¹⁾	$28 \times$
Entfernung m	m	m	m	m	m	m
200	0,5	0,2	—	—	—	—
250	0,8	0,4	—	—	—	—
300	1,1	0,7	—	—	—	—
350	1,5	0,8	—	—	—	—
400	1,9	1,0	—	—	—	—
450	2,5	1,3	—	—	—	—
500	3,0	1,6	1,1	—	—	—
600	4,4	2,2	1,6	0,9	—	—
700	5,9	3,2	2,2	—	—	—
800	7,8	4,0	2,8	1,5	—	—
900	9,8	5,1	3,6	—	—	—
1 000	12	6,3	4,4	2,2	1,2	0,6
1 200	—	9,2	6,4	3,3	1,7	0,9
1 400	—	12	8,7	4,5	2,3	1,2
1 500	27	—	—	—	—	—
1 600	—	16	11	5,9	3,0	1,5
1 800	—	21	13	7,5	3,8	1,9
2 000	49	25	17	9,3	4,6	2,3
2 500	—	39	27	14	7,2	3,6
3 000	109	57	39	21	11	5,5
3 500	—	77	55	29	14	7,0
4 000	—	101	71	37	18	9,0
4 500	—	—	90	46	24	12
5 000	—	158	110	56	29	15
5 500	—	—	135	—	35	18
6 000	—	—	159	84	42	21
6 500	—	—	186	—	49	25
7 000	—	—	218	115	57	29
7 500	—	—	249	—	65	33
8 000	—	—	282	147	74	37
8 500	—	—	—	—	84	42
9 000	—	—	358	—	93	47
9 500	—	—	—	—	103	52
10 000	—	—	—	290	116	58
11 000	—	—	—	—	139	70
12 000	—	—	—	—	166	83
13 000	—	—	—	—	196	98
14 000	—	—	—	—	238	119
15 000	—	—	—	—	258	129

¹⁾ Diese Fehler gelten auch für Basis 1,50 m Vergrößerung $28 \times$.

Deshalb ist zur Erreichung großer Meßgenauigkeit schließlich doch eine große Basis b erforderlich. Man hat Instrumente mit einer Basis bis zu 10 m.

Nach (3) ergibt sich die vorstehende Tabelle 1 für die möglichen Fehler $e' - e$, falls man $f = w_0 = 10''$ setzt.



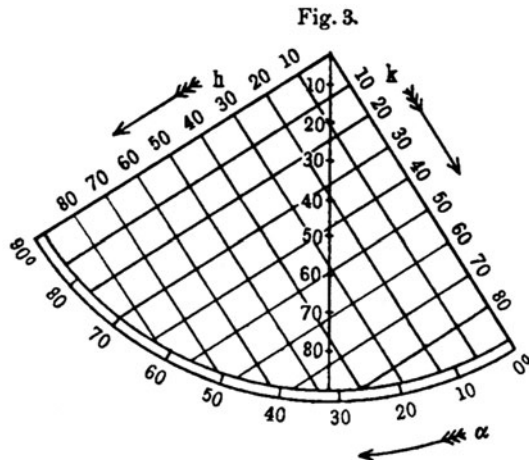
Um die Höhe des Zieles (Luftfahrzeuges) zu bestimmen, braucht man außer der Entfernung desselben noch den Winkel zwischen der Horizontalebene und der Linie Beobachter-Ziel. (Bei Erdzielen „Geländewinkel“, sonst wohl „Höhenwinkel“ genannt). Hat derselbe (Fig. 2) die Größe α , so ist die Zielhöhe

$$h = e \sin \alpha \dots \dots \dots (4)$$

und die Horizontalprojektion der Entfernung, die „Kartentfernung“

$$k = e \cos \alpha \dots \dots \dots (5)$$

Statt h bzw. k nach (4) oder (5) zu berechnen, hat man Vorrichtungen erdnen, um nach der Einstellung des Entfernungsmessers auch h und k direkt ablesen können. Dabei sind verschiedene Methoden zu unterscheiden. Bei der einfachsten wird an der Basis des Entfernungsmessers ein Pendel angebracht, dessen Stab eine am Drehpunkt anfangende gleichmäßige Teilung besitzt, an welcher die Zielentfernung — meist in Hektometern wie in Fig. 3 — aufgetragen ist. Das Pendel schwingt senkrecht zur Basis vor einem mit der Basis fest verbundenen und senkrecht zu ihm stehenden Kurvenblatt, das im selben Maßstab wie die Pendelstange in zwei



zueinander senkrechten Richtungen geteilt und beziffert ist (Fig. 3). Ist der Entfernungsmesser auf ein mit dem Beobachter gleich hohes Ziel gerichtet, so verläuft die eine Schar von Linien, die der Zielhöhe entsprechend beziffert ist, parallel zur Pendelstange. Wird der Entfernungsmesser auf ein erhöhtes Ziel gerichtet, so dreht sich das Kurvenblatt mit der Basis mit, so daß die Pendelstange nicht mehr parallel zu den Höhenlinien steht (Fig. 3). Der Punkt der Pendelteilung, welcher der am Entfernungsmesser abgelesenen Zielentfernung e entspricht, liegt zwischen zwei Höhenlinien, und durch Interpolation zwischen deren Bezifferung liest man direkt die Zielhöhe h ab. Durch entsprechende Interpolation zwischen den senkrecht zu den Höhenlinien verlaufenden „Kartenentfernungslinien“ ist die Kartenentfernung k abzulesen. Außerdem kann man am Pendelende direkt den Höhenwinkel α ablesen (Fig. 3). Aus der Figur ist ohne weiteres ersichtlich, daß die vorstehende Bestimmung von h und k genau den Gleichungen (4) und (5) entspricht.

Bei der praktischen Ausführung kann der Pendelstab nicht wie in Fig. 3 linienförmig sein, wodurch Abweichungen der praktischen Anordnung von Fig. 3 bedingt sind. Hierauf und auf die neueren vollkommeneren Höhenmeßeinrichtungen, denen im wesentlichen aber dasselbe Prinzip wie der vorstehend beschriebenen zugrunde liegt, ist in I, 3 bei Beschreibung der Ausführungsformen der verschiedenen Firmen eingegangen.

Bei der Höhenbestimmung geht die Ungenauigkeit in der Einstellung des Höhenwinkels α , die Ungenauigkeit, mit der die Kurvenblätter und Teilungen gezeichnet sind, die Ungenauigkeit der Interpolation zwischen den Kurven, die Parallaxe bei der Ablesung an den Kurvenblättern und anderes ein. Durch all dies werden Fehler hervorgerufen, die zu dem Fehler der e -Bestimmung hinzukommen. Aus (4) geht hervor, daß ein Fehler von e einen prozentual gleich großen Fehler von h hervorruft und daß der Fehler bei der α -Einstellung einen um so größeren prozentualen Fehler von h bedingt, je kleiner α ist. Ähnliche Schlüsse gestattet (5) betreffs k .

Wie groß praktisch die Fehler bei der h -Bestimmung sind, hängt wesentlich von der Güte der Ausführung der Höhenmesser ab und ist in I, 3 bei Beschreibung der Ausführungsformen teilweise angegeben.

Will man die Bestimmung der Entfernung und Höhe des Luftfahrzeuges zur Bedienung von Abwehrgeschützen benutzen, so wäre dabei im denkbar einfachsten Fall folgendermaßen zu verfahren:

Das Geschütz wird direkt auf das Ziel gerichtet, gemäß Entfernung und Höhe wird mittels des Geschützaufsatzes die wegen der Krümmung der Flugbahn erforderliche Abweichung der Geschützrohrachse von der Ziellinie und der Brennzünder des Geschosses eingestellt und dasselbe abgefeuert. Wird das Geschütz nicht direkt auf das Ziel gerichtet (indirektes Richten), so muß auch der Höhenwinkel und die Seitenrichtung (d. h. der Winkel zwischen Vertikalebene durch Ziel und Beobachtungsort und Vertikalebene durch einen entfernten, direkt anvisierbaren festen Punkt und Beobachtungsort) mit dem Entfernungsmesser oder einem anderen geeigneten Meßinstrument bestimmt und dem Geschütz als Kommando übermittelt werden.

Ein derartiges Verfahren genügt allenfalls bei ruhendem Ziel (z. B. Fesselballon). Ist das Ziel aber ein bewegtes Luftfahrzeug, so reichen diese einfachen Verfahren nicht aus. Es muß vielmehr berücksichtigt werden, daß das Ziel während der Flugzeit des Geschosses seine Lage ändert, und auch der Kommandoverzug, d. h. die Zeit, die zwischen der Bestimmung von Entfernung und Höhe des Zieles und dem Abfeuern des Geschützes verstreicht, muß beachtet werden, falls das Geschütz nicht automatisch in jedem Augenblick entsprechend der Geschwindigkeit des Zieles gerichtet wird.

Zur Erfüllung dieser verschiedenen Forderungen dienen Winkelgeschwindigkeitsmesser für Seiten- und Höhenwinkel des Zieles, auch „Auswanderungsmesser“ genannt, „Annäherungsgeschwindigkeitsmesser“ zur Bestimmung der Entfernungsänderung pro Zeiteinheit, „Kommandoscheiben“ zur Ermittlung der Treffpunktsentfernung, d. h. der Zielentfernung zu einer Zeit, die um die Geschosßflugzeit hinter dem Zeitpunkt der Ablesung der Entfernung des Zieles liegt.

Genauer über diese Instrumente, die allgemein als „Kommandoapparate“ bezeichnet werden können, ist in I, 3 bei Beschreibung der verschiedenen Ausführungsformen mitgeteilt.

2. Aufbau von Teilbild- und stereoskopischen Entfernungsmessern.

Beim Aufbau eines optischen Entfernungsmessers kann man sich zunächst die Linien von den Basisenden zum Ziel durch Visierfernrohre V_1 und V_2 (Fig. 4) festgelegt denken, die durch

Stangen fest verbunden sind. Jedes von ihnen besteht aus einem Objektiv Ob_1 bzw. Ob_2 , das von entfernten Gegenständen ein Bild in der Brennebene B_1 bzw. B_2 entwirft (wie das Objektiv der photographischen Kamera auf der Mattscheibe). In diesen Brennebenen liegen außerdem Strichkreuze. Bild und Strichkreuz werden durch je ein (ähnlich einer Lupe arbeitendes) Okular Ok_1 bzw. Ok_2

Fig. 4.

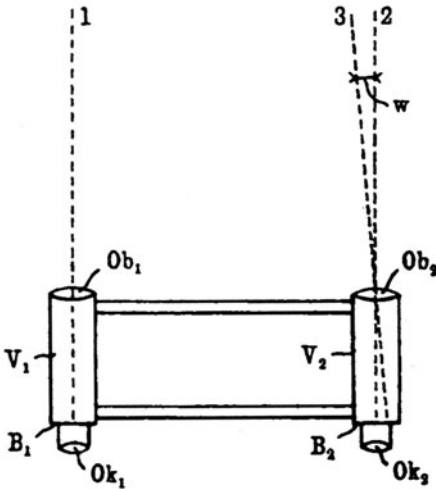
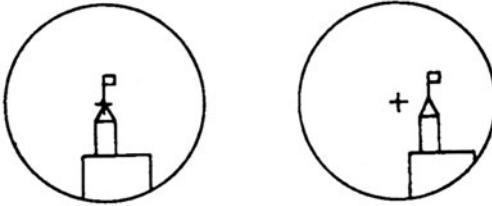


Fig. 5.



angesehen. Das Bild eines Zielpunktes erscheint in der Brennebene da, wo die vom Zielpunkt durch die Objektivmitte gezogene Linie die Brennebene schneidet.

Richtet man den Entfernungsmesser so, daß der Zielpunkt (die Spitze des Turmes in Fig. 5, in der die beiden Gesichtsfelder der Fernrohre dargestellt sind) im Strichkreuz des linken Fernrohres erscheint (die Visierlinie 1 Ziel-Objektivmitte geht durch das Strichkreuz), so würde bei genau paralleler Lage der beiden Fernrohre der Zielpunkt auch im Strichkreuz des rechten Fernrohres

erscheinen, falls das Ziel unendlich entfernt wäre (Visierlinie 2 Ziel-Objektivmitte-Strichkreuz). Ist die Entfernung des Zieles eine endliche, so schneidet die Visierlinie 3 Zielpunkt-Objektivmitte die Brennebene B_2 in einem gewissen Abstand vom Strichkreuz. Dieser Abstand ist proportional dem gesuchten Winkel w von Formel (1), so daß er durch eine in der Brennebene liegende Teilung gemessen werden könnte. An die Teilstriche könnte statt

des zugehörigen Wertes von w nach (1) unmittelbar die Zielentfernung e angeschrieben werden. Zu bemerken ist, daß in Wirklichkeit die Visierlinie 3 die Brennebene B_2 nicht rechts, sondern links vom Strichkreuz schneidet, da die praktisch verwendeten Fernrohre aufrechte Bilder liefern, bei denen ein links von der Linie Strichkreuz-Objektivmitte liegender Zielpunkt auch links vom Strichkreuz abgebildet wird. In Fig. 5 ist der Einfachheit halber als Fernrohr eine einfache Objektivlinse angenommen, die Bilder liefert, bei denen rechts und links vertauscht ist.

Genauer als durch eine Teilung in der Brennebene kann man den Winkel w messen, indem man den Strahl 3, bevor er das Objektiv Ob_2 durchsetzt, durch eine Zusatzvorrichtung, den „Kompensator“, parallel dem Strahl 1 richtet, so daß der Zielpunkt auch im Strichkreuz des rechten Fernrohres liegt (Fig. 6).

Aus der Stellung des Kompensators ist dann w und daher die Zielentfernung e zu entnehmen. Als Kompensator kann man einen Glaskeil (Glasprisma) verwenden, durch den der Strahl nach der dickeren Seite des Keils zu abgelenkt wird, und zwar um so stärker, je größer der Keilwinkel ist (Fig. 7). Verwendet man zwei hintereinander gestellte Keile von gleichem Keilwinkel, die beide in entgegengesetzter Richtung um die Fernrohrachse drehbar sind, so ist die Ablenkung des Strahles null, wenn die Keile entgegengesetzt gerichtet sind (Fig. 8), und ein Maximum, wenn die Keile gleichgerichtet sind (Fig. 9), und zwar liegt die Ablenkung stets nahezu in derselben Ebene, wenn die Keile um einander gleiche Winkel verdreht werden. Die Keile werden so ausgerichtet, daß die Ablenkungsrichtung in der Ebene durch die Visierlinien 1 und 3 liegt. Man

Fig. 6.

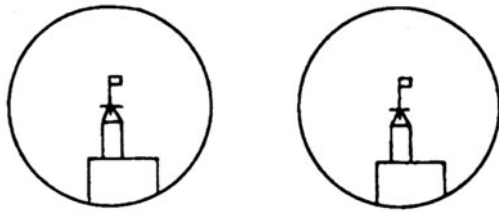
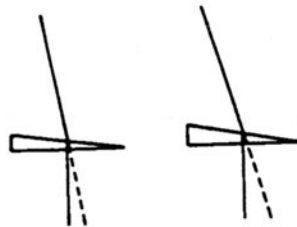
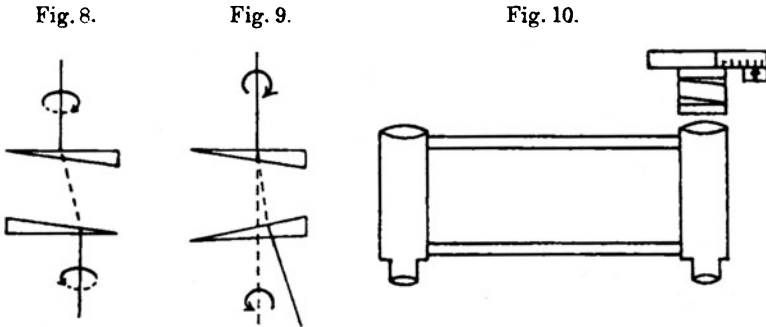


Fig. 7.



erhält also die Anordnung von Fig. 10, wobei die Entfernung direkt an einer Teilung entsprechend dem Drehwinkel der Glaskeile angeschrieben werden kann.

Für bewegliche Ziele oder Beobachten aus freier Hand ist die Anordnung nach Fig. 10 noch nicht brauchbar, weil durch die



beiden Fernrohre nacheinander visiert werden muß. Für das gleichzeitige Erfassen der von den beiden Fernrohren entworfenen Zielbilder haben zwei Methoden Bedeutung gewonnen, die eine für einäugiges, die andere für beidäugiges Sehen. Auf der ersteren beruht der Teilbild-Entfernungsmesser, auf der zweiten der stereoskopische Entfernungsmesser.

a) Teilbild-Entfernungsmesser.

Bei dem Teilbild-Entfernungsmesser werden die beiden durch Verwendung von Spiegeln oder Reflexionsprismen nach der Mitte zu verlegten Okulare der beiden Fernrohre (Fig. 11) in ein einziges vereinigt, das in der Mitte angebracht ist (Fig. 12) und in das die Strahlen beider Fernrohre durch Spiegel oder Reflexionsprismen hineingeworfen werden. Direkt vor dem Okular liegen die beiden inneren Spiegel von Fig. 11, jeder jedoch nur in halber Höhe ausgeführt und übereinander — z. B. der rechte r über den linken l — geschoben, so daß sie einander kreuzen (Fig. 12). Durch das Okular sieht man das Gesichtsfeld von einer horizontalen Linie durchzogen, die durch den unteren Rand des oberen Spiegels r und den oberen des unteren Spiegels l gebildet wird (die Trennungslinie). Die obere Hälfte des Gesichtsfeldes wird vom Spiegel r , also vom rechten Fernrohr, die untere vom Spiegel l , also vom linken Fernrohr geliefert. Ebenso erhält man

also ein Bild, dessen obere Hälfte von der oberen Hälfte des rechten und dessen untere Hälfte von der unteren Hälfte des linken Gesichtsfeldes von Fig. 5 geliefert wird.

Das Kennzeichen der richtigen Einstellung besteht nunmehr, ohne daß ein Strichkreuzer erforderlich wäre, entsprechend Fig. 6, darin, daß das untere und obere Bild sich ineinander fortsetzen (Fig. 13). Bewegungen des Zieles oder des Entfernungsmessers verursachen wohl Verschiebungen beider Teilbilder im Gesichtsfeld, ändern aber an der gegenseitigen Lage der Teilbilder nichts, solange keine Entfernungänderung stattfindet; denn die seitliche Verschiebung des Zielbildes, die durch seitliches Wandern des Zieles ohne Entfernungänderung erfolgt, ist in beiden gleichem Hälften des Doppel Fernrohres die gleiche.

Bei unregelmäßig begrenzten Zielen ist es vorteilhaft, die beiden Zielbilder von Fig. 5 so zusammenzusetzen, wie Fig. 14 und Fig. 15 zeigen. Im ersten Fall sind nur die beiden unteren Gesichtsfeldhälften von Fig. 5 benutzt, das rechte aber durch Spiegelung auf den Kopf gestellt (Gegenbild-, Kehr- oder Invert-Entfernungsmesser). Im Fall der Fig. 15 dagegen sind die

Fig. 11.

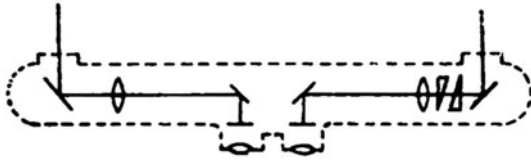


Fig. 12.

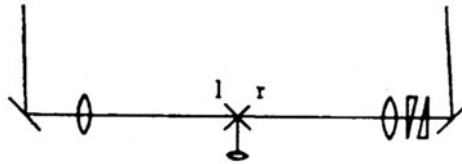


Fig. 13.

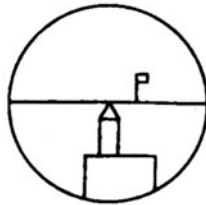


Fig. 14.

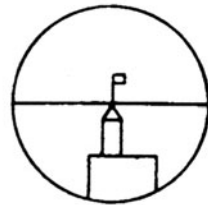
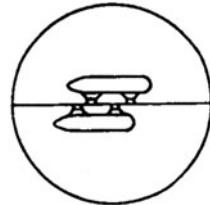
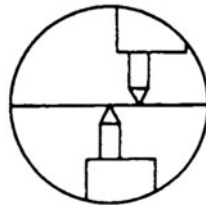


Fig. 15.



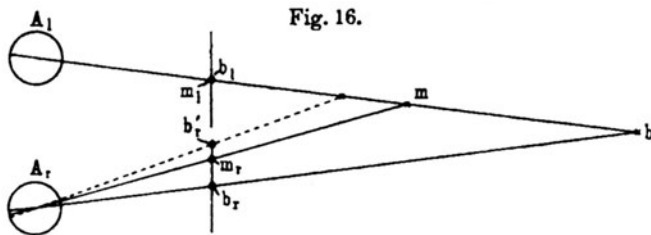
beiden oberen Gesichtsfeldhälften benutzt, wobei die linke durch Spiegelung umgekehrt ist, so daß auf Berührung der unteren Konturen von Luftschiff oder Flugzeug eingestellt wird, die schärfere Spitzen haben als die oberen Konturen. Die größte Genauigkeit erhält man, falls man zur Einstellung Linien verwendet, die senkrecht zur Trennungslinie verlaufen, da bei schrägen Linien die Höhenfehler des Instrumentes eingehen, die darin bestehen, daß ein auf der Trennungslinie liegender Punkt des oberen Gesichtsfeldes im unteren Gesichtsfeld etwas oberhalb oder unterhalb der Trennungslinie liegt.

Es ist klar, daß bei den Anordnungen nach Fig. 14 und Fig. 15 das halbe Gesichtsfeld von Fig. 5 verloren geht.

Auf weitere Arten, die Zielbilder zusammzusetzen, wie sie z. B. benutzt werden, um Feld- und Luftziele mit demselben Gerät zu messen, ist noch kurz in I, 3 bei Beschreibung der verschiedenen Ausführungsformen eingegangen.

b) Stereoskopischer Entfernungsmesser.

Bei der Benutzung eines Doppelfernrohres mit beiden Augen werden die beiden getrennten, den einzelnen Augen dargebotenen Bilder, wie sie in Fig. 5 dargestellt sind, in der Vorstellung zu einem Raumbild vereinigt, wie es beim Betrachten des Raumes mit unbewaffnetem Auge entsteht. Der Vorgang erscheint so

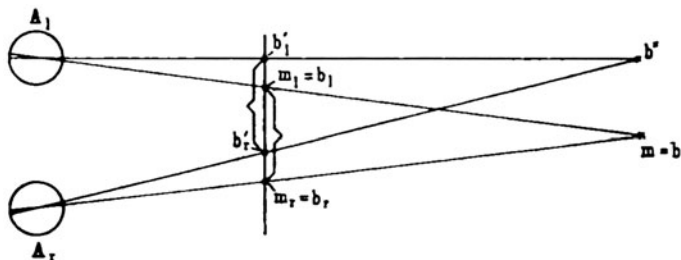


selbstverständlich, daß z. B. ein Benutzer eines Feldstechers sich selten klarmacht, daß jede Feldstecherhälfte zunächst von einem Turme je ein getrenntes Bild wie in Fig. 5 entwirft, und daß diese beiden Bilder erst durch einen geistigen Vorgang zu der Vorstellung des im Raum liegenden Turmes vereinigt werden. Die Lage des so hergestellten Raumbildes ergibt Fig. 16, in der A_l und A_r die beiden Augäpfel, b_l und b_r zwei einander ent-

sprechende Punkte der den beiden Augen dargebotenen Bilder darstellen. Die Vorstellung sieht hinter den Einzelbildern in der rückwärtigen Verlängerung der beiden Blicklinien die gemeinsame Ursache der Erscheinung und ersetzt die Einzelbilder durch ein „Raumbild“ b ; b könnte z. B. die Turmspitze von Fig. 5 sein.

Nun bieten aber Markenkreuze in den Brennebenen, wie sie in Fig. 5 eingezeichnet sind, grundsätzlich keinen Unterschied gegenüber dem Turmbild dar; somit werden auch sie in der Vorstellung als eine im Raum liegende Marke aufgefaßt. Fällt wie in Fig. 5 das linke Markenkreuz (m_l in Fig. 16) mit b_l zusammen, liegt dagegen b_r rechts von m_r , so muß, wie Fig. 16 zeigt, das Raumbild der Turmspitze weiter als das Raumbild in der Marke erscheinen. Es würde näher erscheinen, wenn das rechte Bild des Turmes links von m_r , etwa bei b'_r läge.

Fig. 17.



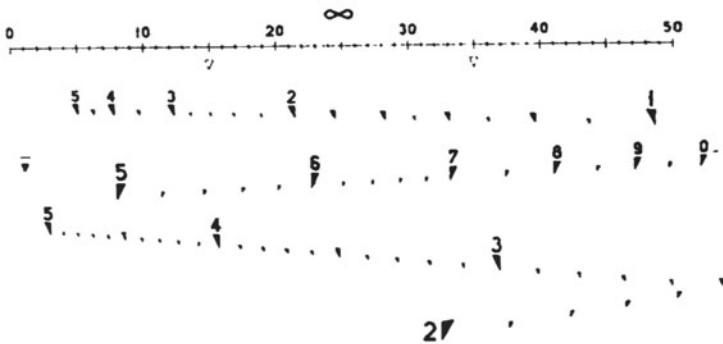
Man kann also bei dem Entfernungsmesser nach Fig. 11 unter Benutzung beider Augen die richtige Verdrehung der Glaskeile, aus der die Zielentfernung abzulesen ist, daran erkennen, daß man das Raumbild der Marke und das des Zieles in derselben Entfernung, in gleicher Tiefe sieht.

Auch wenn keine Bedeckung von Zielbild und Marke stattfindet, ist die scheinbar gleiche Entfernung der Meßmarke und des Zieles das Kennzeichen dafür, daß der Entfernungsmesser richtig eingestellt ist. Dies ergibt sich folgendermaßen: Es sei die Einstellung zunächst so vorgenommen, daß das linke Bild der Turmspitze b_l mit der linken Marke m_l , das rechte Bild b_r mit der rechten Marke m_r zusammenfällt (Fig. 17). Beide Raumbilder erscheinen gleich weit, bei $b = m$. Bewegt sich nun das Ziel, ohne seine Entfernung zu ändern, vor dem Doppelfernrohr, so verschieben sich (Fig. 17) beide Bilder um gleiche Beträge, z. B. nach

b'_l und b'_r , so daß $b'_l b'_r = m_l m_r$ ist, und daher wegen der Kleinheit der Winkel $A_l b' A_r$ und $A_l b A_r$ auch mit völlig genügender Annäherung $A_l b' = A_l b$.

Der stereoskopische Entfernungsmesser erlaubt also ebenso wie der Teilbild-Entfernungsmesser die Messung, ohne daß eine genau bestimmte Lage der Zielbilder im Gesichtsfeld vorgeschrieben wäre. Praktisch ist es sogar störend, wenn die Meßmarke das Ziel verdeckt, da dann in den Fällen, wo das Raumbild des Zieles näher als das der Meßmarke liegt, das körperliche Sehen in Widerstreit mit der verstandesmäßigen Deutung tritt, nach der die Marke näher als ein von ihr verdeckter Gegenstand liegen muß. Bei den meisten Personen hört in solchen Fällen das

Fig. 18.



körperliche Sehen auf, weshalb als Regel bei der Benutzung des stereoskopischen Entfernungsmessers gilt, daß die Meßmarke stets über, unter oder neben, nie auf dem Ziele liegen soll. Andererseits muß zum genauen Messen das Ziel der Marke möglichst nahe liegen.

Statt das Raumbild des Zieles, wie bisher angenommen wurde, mittels der Glaskeile in gleiche Tiefe mit dem Raumbild der Meßmarke zu bringen und die Entfernung an der Skala der Glaskeile abzulesen, kann man auch in folgender Weise verfahren:

Man bringt unter Fortfall der Glaskeile in den Gesichtsfeldern eine Reihe verschieden geformter Meßmarken in verschiedener Lage derartig an, daß je zwei gleich geformte ein Raumbild ergeben, das in einer bestimmten, für die verschiedenen Formen verschiedenen Tiefe liegt. Das Raumbild der bisher

vorausgesetzten Marken lag ja im Unendlichen, da beide Marken in der optischen Achse der Fernrohre angebracht gedacht waren. Schreibt man neben die verschieden geformten Meßmarken die zugehörige Tiefe an (Fig. 18), so kann man durch Vergleich der Meßmarkenraumbilder mit dem Zielraumbild die „Tiefe“ des Zieles, d. h. die Zielentfernung, direkt im Fernrohr ablesen, ohne irgend eine Einstellung vorzunehmen. Doch ist dabei die erreichbare Genauigkeit geringer als bei Verwendung von drehbaren Glaskleinen und nur einem Markenpaar.

Die stereoskopischen Entfernungsmesser haben offenbar gegenüber den Teilbild-Entfernungsmessern den Vorteil, daß das Gesichtsfeld voll ausgenutzt wird. Dieser Vorzug wird allerdings zum Teil dadurch aufgehoben, daß sich bei der praktischen Ausführung der stereoskopischen Entfernungsmesser aus hier nicht näher zu erörternden Gründen ein weniger großer Gesichtswinkel erreichen läßt als bei den Teilbild-Entfernungsmessern. Aber die erreichbare Genauigkeit ist beim Raumbildapparat im allgemeinen größer als beim Teilbildapparat, bei dem nach früherem die Einstelllinie möglichst senkrecht zur Trennungslinie liegen muß. Allerdings sind nicht alle Menschen zum scharfen stereoskopischen Sehen geeignet, so daß gute Beobachter ausgesucht werden müssen, und selbst guten Beobachtern kann es bei Erregung o. dgl. passieren, daß sie auf eine falsche Tiefe einstellen und doch glauben, richtig gemessen zu haben. Deshalb ist, besonders beim Militär, wo ein geeigneter Ersatzbeobachter nicht immer zur Stelle ist, das Urteil darüber, welchem der beiden Entfernungsmesser der Vorzug zu geben ist, noch schwankend, obwohl der an sich so sehr für sich einnehmende stereoskopische Entfernungsmesser schon glänzende Erfolge, z. B. in der Skagerrak-Schlacht, aufzuweisen hat.

3. Ausführungsbeispiele für Teilbild- und stereoskopische Entfernungsmesser sowie für zugehörige Höhenmesser und Kommandoapparate.

a) Apparate der A.-G. Hahn für Optik und Mechanik in Kassel.

Diese Firma hat die einstationären Entfernungsmesser zuerst in Deutschland eingeführt.

α) Kehr bild-Entfernungsmesser mit 2-m-Basis für Flieger-Abwehrkanonen (Flak-Em.). Der Entfernungsmesser

diert in erster Linie zum Messen von Luftzielen nach dem Kehr- bildprinzip mit Berührung der unteren

Bildkonturen (entsprechend Fig. 15); jedoch ist ein zweites Okular zum Messen von Feldzielen vorhanden, wobei auf Berührung der oberen Bildkonturen eingestellt wird (entsprechend Fig. 14). Meßbereich 1200 bis 20000 m.

Der Entfernungsmesser ist in Fig. 19 und Fig. 20 von vorn und hinten dargestellt. Man sieht das Okular *a* für Luftziele, das Okular *b* für Feldziele (beide auf Sehschärfe einstellbar), das umsteckbare, blinde Okular *c*, das zum Schutz des nicht beobachtenden Auges angebracht ist, den Schutzdeckel *d* für das Okular, die Objektivöffnungen *e*, die Aufnahme *f*, in der ein Sucherfernrohr befestigt werden kann, und die Aufnahme *g* für ein Doppelsucherfernrohr, die Visiere *h*, *i* und *k*, den Knopf *l* zum Vorschalten von Farbgläsern, den Höhentrieb *m* für die Höhenbewegung, die Meßwalze *n*, durch welche die Glaskeile eingestellt werden, das verschließbare Fenster *o* zur Beleuchtung der inneren Entfernungsteilung, das Fenster *t* für die äußere „Entfernungsteilung“ mit

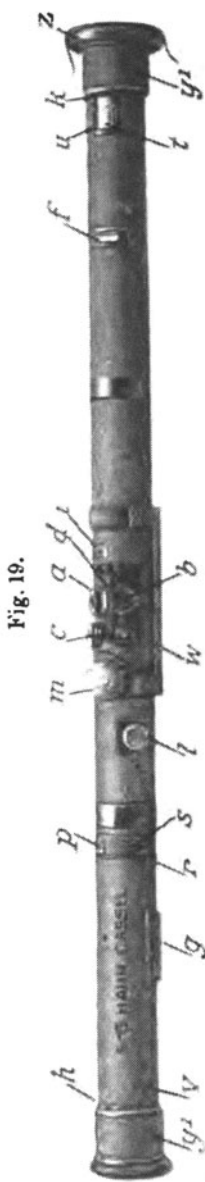


Fig. 19.

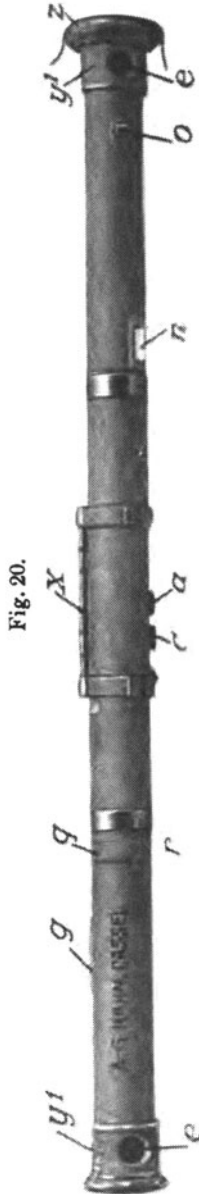


Fig. 20.

Hülse u für die Aufnahme der Glühbirnen bei Nachtbeleuchtung, die Walzen p für die „Höhenberichtigung“ mit Verschlussring r und Sicherungsschraube s (s. weiter unten), die Einteilung v für die Entfernungsberichtigung, die Tragstangen w und x zur Befestigung des Entfernungsmessers auf einem dreibeinigen, nicht abgebildeten Gestell:

Fig. 21.

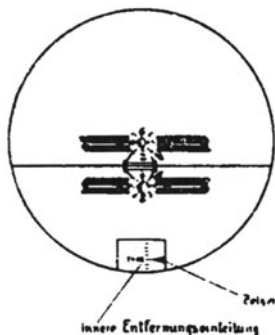


Der Höhenmesser y , der sich am rechten Endkopf des Entfernungsmessers befindet und durch einen Schutzdeckel z verschlossen werden kann, ist in Fig. 21 abgebildet. Entgegen der schematischen Fig. 3 ist das Pendel nicht linienförmig, sondern trapezförmig. Bei der Einstellung auf den Höhenwinkel O stimmt die rechte Kante des Pendels mit der Höhenlinie O überein. In

der dazu senkrechten Lage des Pendels muß die linke **Kant** desselben **parallel** den Linien gleicher Kantentfernung sein. Dadurch kommt es, daß die Linien gleicher Höhe und gleiche Kantentfernung nicht wie in Fig. 3 senkrecht zueinander stehen, daß vielmehr die Winkel zwischen ihnen von 90° um den Winkel abweicht, den die beiden Pendelkanten gegeneinander bilden. In übrigen gilt das zu Fig. 3 Gesagte.

Das Sucherfernrohr und das Doppelsucherfernrohr, die bei u und g eingeschoben werden können, enthalten in ihrem Gesichtsfelde eine Bildumrahmung des Gesichtsfeldes des Entfernungsmessers selbst und einen durch die Mitte gehenden senkrechten Strich, nach dem die Seitenrichtung ständig nachreguliert werden

Fig. 22.



kann, während die Höhenrichtung von dem die Entfernung messenden Beobachter selbst dauernd eingestellt wird. Bei Nacht kann das Strichbild der Sucherfernrohre durch eine aufsteckbare Glühlampe beleuchtet werden.

Auf Ziele, die mit bloßem Auge leicht erkennbar sind, kann mit Hilfe der Visiere gerichtet werden.

Das Doppelsucherfernrohr wird außer zum Anvisieren des Zieles auch zur Beobachtung der Geschößwirkung usw. benutzt.

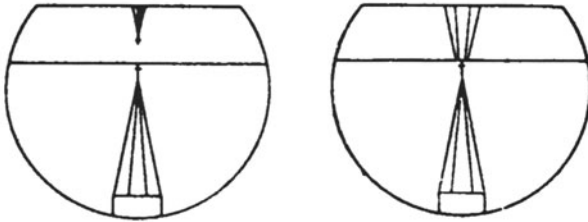
Die Seitenrichtung wird durch Drehen des Entfernungsmessers um das Gestell, das einen Teilkreis mit Richtkreisteilung besitzt, die Höhenrichtung mit dem oben erwähnten Höhentrieb m eingestellt. Bei Luftzielen wird der Teilkreis des Entfernungsmessers mit dem der Geschütze gleichlaufend gestellt.

Nachdem auf Berühren der Zielkonturen eingestellt ist, wird die Entfernung an der inneren oder äußeren Entfernungsteilung abgelesen. Die innere Teilung befindet sich am unteren Rande der unteren Gesichtsfeldhälfte (Fig. 22). Der Zeiger gibt die Entfernung an.

Infolge von Erschütterungen und Temperatureinflüssen kann eine Berichtigung der Optik des Entfernungsmessers nötig werden, wozu die oben erwähnten Walzen p und q dienen. Einen Fehler des Entfernungsmessers in der Höhe erkennt man daran, daß

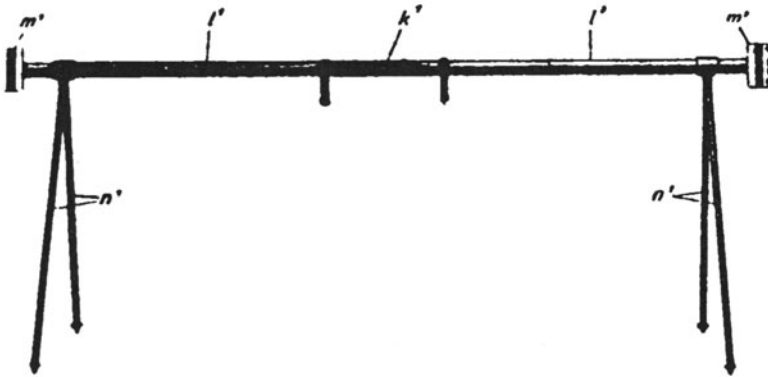
beim Richten auf das Ziel das eine Bild früher an die Trennungslinie kommt als das andere (Fig. 23). Durch Drehen der Höhenberichtigungswalze werden die Bilder nach oben oder unten verschoben, bis beide wieder gleichzeitig an die Trennungslinie kommen.

Fig. 23.



Um einen eingetretenen Fehler der Entfernungsmessung festzustellen und mittels der Walze q zu beseitigen, dient die Berichtigungslatte (Fig. 24). Dieselbe wird in einer Entfernung von 200 m vor dem Entfernungsmesser horizontal aufgestellt und so ausgerichtet, daß der Strich im Fernrohr k' mit dem Kopf des

Fig. 24.



Entfernungsmessergestells zusammentrifft. Der Entfernungsmesser wird durch Verstellen seines Höhentriebes so eingestellt, daß die Berichtigungsmarken m^1 und m^2 der Latte, die denselben Abstand wie die Objektive des Entfernungsmessers haben, an der Trennungslinie im Gesichtsfeld des Entfernungsmessers erscheinen. Ist die Meßwalze des Entfernungsmessers auf Unendlich eingestellt, so muß

bei richtiger Justierung des Entfernungsmessers die linke Marke im unteren und die rechte Marke im oberen Gesichtsfeld an der Trennungslinie übereinanderstehen. Ist dies nicht der Fall (Fig. 25) so wird die Entfernungsberichtigungswalze so lange gedreht, bis durch Änderung der optischen Justierung die Fig. 25 a entsteht

Fig. 25.

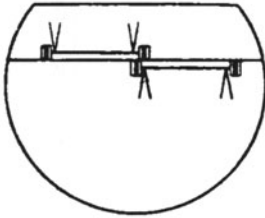
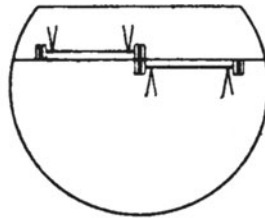


Fig. 25 a.



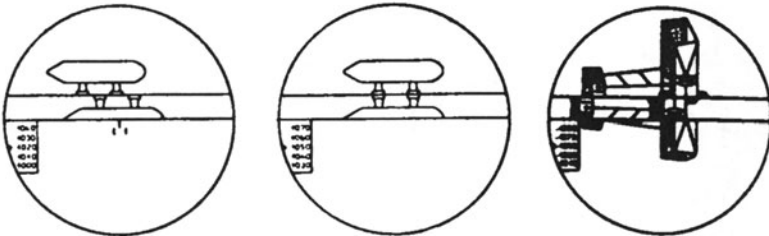
Natürlich kann die Entfernungsberichtigung auch nach einem Ziel von bekannter Entfernung oder nach einem unendlich entfernten Objekt (Mond, Sterne) vorgenommen werden.

β) Ballon-Entfernungsmesser verschiedener Größe. Ausführung ähnlich a, α).

b) Apparate der Firma Carl Zeiss, Jena.

α) Kehrbild-Entfernungsmesser mit 2-m-Basis. Seine Ausführung ist der der Firma Hahn, Kassel, ähnlich. Jedoch wird für Luft- und Feldziele ein- und dasselbe Okular benutzt. Das

Fig. 26.



im ganzen aufrechte Gesichtsfeld ist durch einen Streifen unterbrochen, der ein umgekehrtes Bild zeigt (Fig. 26). Durch Umschalten optischer Teile mittels eines Knopfes können die Bilder abwechselnd an der oberen Trennungslinie (Fuß an Fuß) oder

(bei Feldzielen) an der unteren Trennungslinie (Kopf an Kopf) zusammengelegt werden. Diese Art hat den Vorteil, daß nur der schmale Streifen Wiederholungen des Zielbildes enthält, daß also das Gesichtsfeld besser ausgenutzt wird als im Fall nur einer Trennungslinie.

Die Entfernungsteilung befindet sich nicht unten im Gesichtsfeld, sondern an der linken Seite desselben (Fig. 26).

Der Höhenmesser (ähnlich dem der Firma Hahn) ist nicht fest angebaut, sondern am rechten Kopf des Entfernungsmessers justierbar anzubringen. Justierung wie bei den Instrumenten der Firma Hahn.

Vergrößerung 19fach. Wirkliches Gesichtsfeld $1^{\circ}22''$. Meßbereich 1200 bis 20000 m.

β) Köhrbild-Entfernungsmesser mit 3- oder 6-m-Basis und neuer Justiervorrichtung. Gegenüber den Instrumenten a, α) und b, α) weisen diese Entfernungsmesser, die nach den Angaben der Firma auch für kleinere Basislängen ausgeführt werden können, folgende Unterschiede auf:

1. Die 28fache Vergrößerung kann durch einen einfachen Handgriff in eine 14fache verwandelt werden.

2. Durch Heben des Auges erblickt man im Okular statt des Gesichtsfeldes des Entfernungsmessers das viel größere Gesichtsfeld eines 3,2mal vergrößernden Sucherfernrohrs, das 6° in der Höhe und 11° in der Breite beträgt. Das Suchen mit Visier oder besonderem Sucherfernrohr fällt fort.

3. Damit auch die Entfernung von punktförmigen Lichtern gemessen werden kann, ist eine vorschaltbare, astigmatische Einrichtung (Zylinderlinsen) angebracht, die die Punkte des Bildes in Linien senkrecht zur Trennungslinie des Gesichtsfeldes auseinanderzieht. Infolgedessen erscheinen Lichter als helle Striche, die wie andere Objekte zur Koinzidenz gebracht werden können.

4. Zur Entfernungsjustierung ist keine Meßplatte notwendig. Die Prüfvorrichtung ist in das Instrument eingebaut und die Justierung kann damit in 2 Minuten vorgenommen werden. Die Justiervorrichtung beruht darauf, daß mittels einer Linse parallel gerichtete Strahlen, welche von einer im Instrument selbst angebrachten, mit einem Strich versehenen Glasplatte ausgehen, durch zwei vor die beiden Objekte vorschaltbare „Pentagonalprismen“ um 90° abgelenkt werden, so daß sie in die Objektive

des Entfernungsmessers eintreten. In diesem erblickt man also den Strich auf der Glasplatte wie ein im Unendlichen liegendes Objekt, wonach die Anzeige des Entfernungsmessers nötigenfalls korrigiert werden kann. Diese Justierung, die in dieser Weise auch schon früher angewendet wurde, mußte aber noch verbessert werden, weil sie nicht genau genug ist. Die Pentagonalprismen reflektieren nämlich nicht genau um 90° , und vor allem ändern sich ihre Reflexionswinkel mit der Zeit und mit der Temperatur. weswegen allgemein das Justierverfahren mit Meßplatte der Justier Vorrichtung mit Pentagonalprismen vorgezogen wurde. Bei den neuen Verfahren der Firma Zeiss werden die Fehler der Pentagonalprismen durch drehbare Anordnung derselben berücksichtigt, indem außer der ersten, in der oben angedeuteten Weise ausgeführten Justierung noch eine zweite vorgenommen wird, vor welcher die Pentagonalprismen um 90° gedreht werden. Die Ablenkungsfehler derselben und damit die Justierfehler des Entfernungsmessers liegen dabei im entgegengesetzten Sinne wie bei der ersten Stellung der Pentagonalprismen, bleiben aber, absolut genommen, von genau gleicher Größe. Indem man für den Entfernungsmesser das Mittel der in den beiden Fällen erhaltenen Justierungen wählt, wird derselbe genau auf die Entfernung Unendlich eingestellt. Natürlich ist dabei vorausgesetzt, daß die Pentagonalprismen zwischen den beiden Justierungen ihre Temperatur nicht ändern. Auch ist zu beachten, daß der Einbau der Justier Vorrichtung immerhin eine Komplizierung des Entfernungsmessers selbst bedeutet.

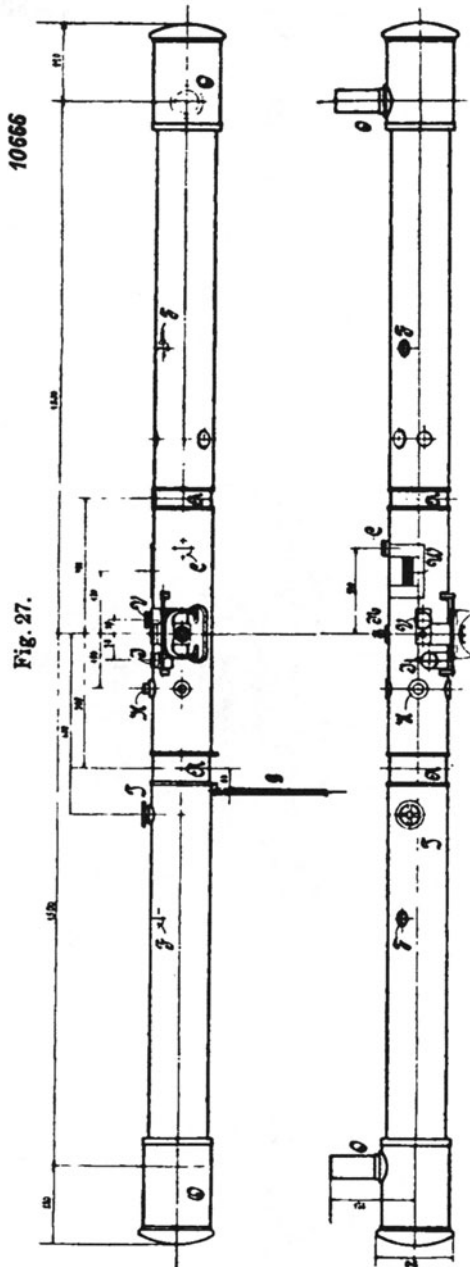
5. Bei der Konstruktion und bei der Wahl der Materialien ist auf möglichst große Unempfindlichkeit gegen Temperatureinflüsse, gegen Erschütterungen und gegen Wirkungen des Luftdrucks gesehen.

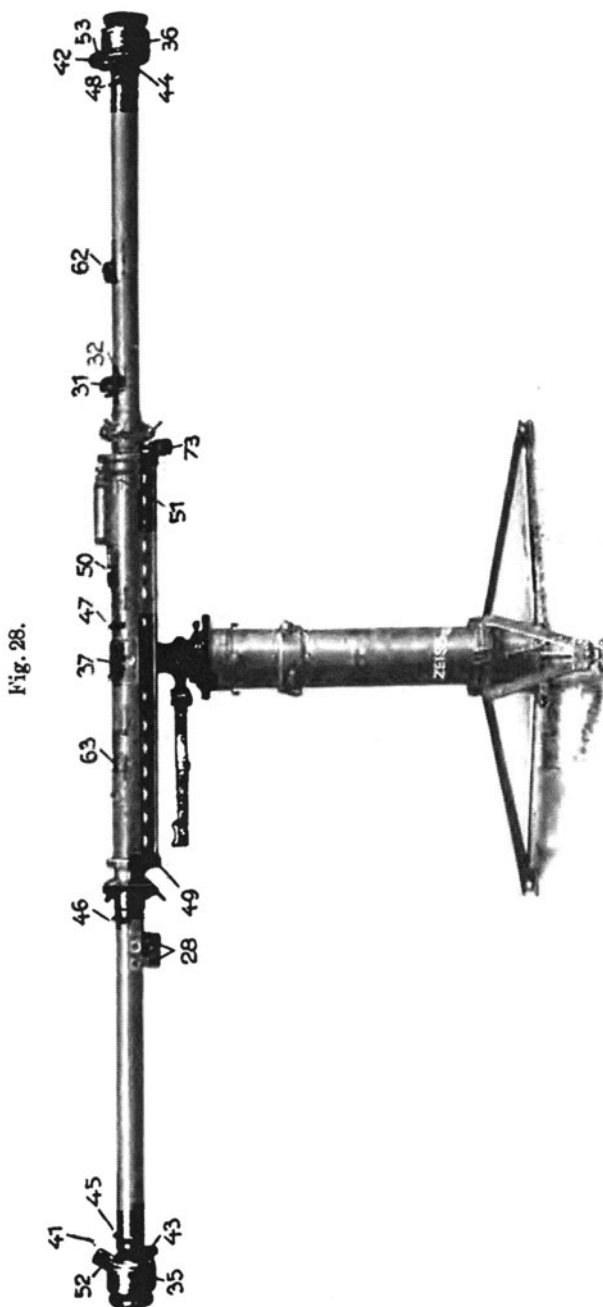
Fig. 27 zeigt eine Skizze des Entfernungsmessers. Das Instrument liegt in den Lagerringen $A-A$; sie laufen auf Rollen, die an dem gußeisernen Gestell befestigt sind, so daß man mittels des Handhebels G die Höhenrichtung nach dem Ziel nehmen kann. Die Seitenrichtung wird mittels einer Bruststütze am Gestell, dessen Kopf drehbar ist, eingestellt, wobei die rechte Hand, welche die Einstellwalze W für die Entfernung betätigt, leicht mithilft. Das Instrument erfordert wegen des Fortfalls der Sucherfernrohre freies Sehfeld nur vor den Objektivöffnungen $O-O$.

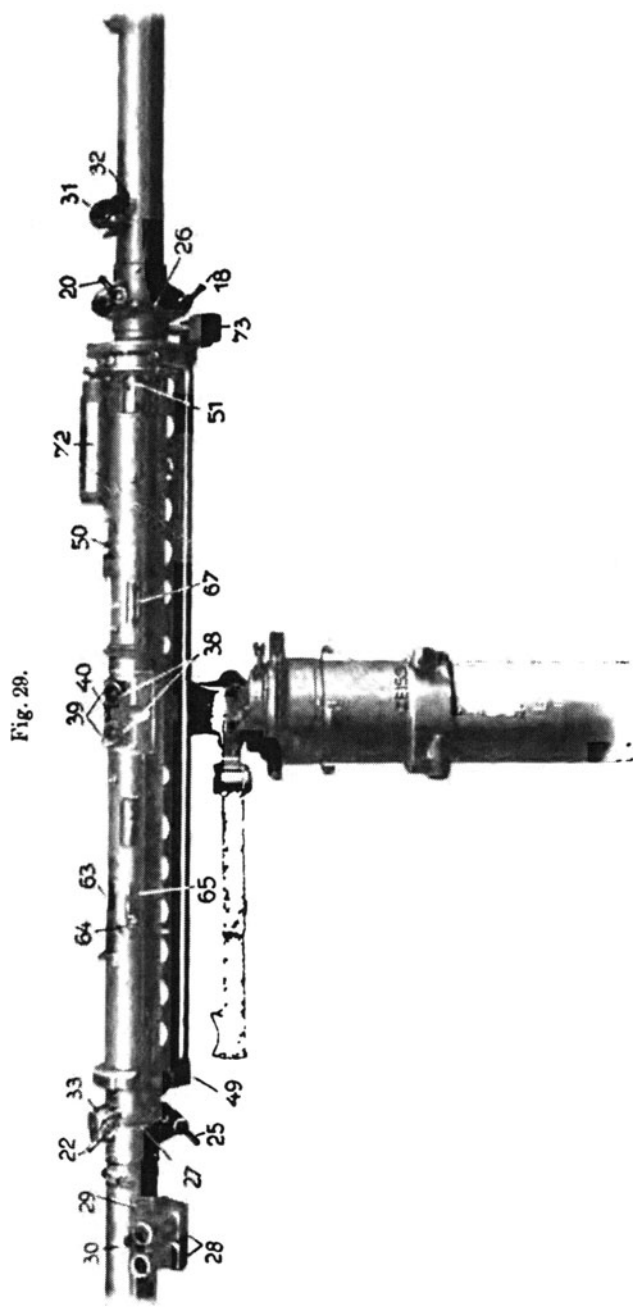
Die zur Justierung erforderlichen Lichtschächte F' — F und der Lichtschacht N , mittels dessen die Entfernungsskala beleuchtet wird, erhalten unter normalen Umständen genügend Tageslicht. Bei Aufstellung des Instrumentes im Panzerturm und bei Nachtmessungen erhalten die Schächte Licht von kleinen elektrischen Glühlämpchen. Das Handrad T dient zur Justierung. Die Justierskala ist auf den Knopf J graviert. Mittels des Knopfes C wird die astigmatische Vorrichtung, mittels V der Wechsel der Vergrößerung betätigt. Ein kleiner Hebel dient zum Vorschalten eines (nicht gezeichneten) Farbglases. Höhenjustierung ähnlich wie bei Instrument α , α). Meßbereich 2000 bis 15000 m.

γ) Raumbild-Entfernungsmesser mit 4-m-Basis. (4-m-Flak-R-Klapp-Em.). Vergrößerung 19fach, wahres Gesichtsfeld $1^{\circ} 22'$. Meßbereich 2000 bis 50000 m.

Fig. 28 zeigt eine Gesamtansicht, Fig. 29 den

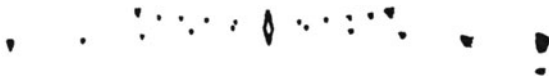






mittleren Teil des Entfernungsmessers. Der Entfernungsmesser ist zusammenklappbar, so daß er zum Transport nur den dritten Teil der Länge hat. Man sieht in den Figuren unter anderem: die mit Schutzhüllen 52 und 53 versehenen und durch Verschlußringe 35 und 36 verschließbaren Objektivöffnungen 41 und 42, die Visiere 45, 46, 47 und 48, das Sucherfernrohr 31, das Richtfernrohr 62, das Doppelbeobachtungsfernrohr 28 (für Beobachtung der Geschößwirkung), die Höhenrichtschraube 49, die beiden Okulare 37, Hebel 39 zum Einstellen der Okulare auf Augenabstand, Hebel 38 zum Einstellen der Okulare auf Sehschärfe, die Meßwalze 50 zur Drehung der Glaskeile, die äußere Entfernungsteilung 51, den Höhenmesser 72 (s. weiter unten), den Verschlußring 63 der Walzen für Höhen- und Entfernungsberichtigung (s. weiter unten), die Teilung 64 für die Entfernungsberichtigung, die Hebel 43 und 44 zum Vorschalten der Berichtigungslinsen. Im Gesichtsfeld (Fig. 30) sind außer der eigentlichen, in der Mitte befindlichen

Fig. 30.



Meßmarke zwei sich kreuzende Markenreihen vorhanden, die als ein räumliches Gebilde erscheinen und zur Anregung des räumlichen Sehens und Erleichterung der Messung dienen. Die einzelnen Marken der Reihen haben bei Zielen von mittlerer Entfernung einen Tiefenunterschied von etwa 50 m.

Zum Ausrichten nach dem Ziel mittels der Visiere oder des Richt- oder Doppelfernrohrs kann das Instrument nach Lösen von Klemmschrauben um das Gestell geschwenkt werden und in die Höhenrichtung gedreht werden. Die genaue Höhenrichtung wird mittels der Höhenschraube eingestellt.

Nachdem der Entfernungsmesser gerichtet ist, hält ein Beobachter dauernd die Seitenrichtung auf das Ziel mit Hilfe des Richtfernrohrs 62, das einen senkrechten Strich im Gesichtsfeld hat. Ein zweiter Beobachter stellt die Entfernung unter Beachtung des S. 14 Gesagten ein, indem er gleichzeitig dauernd die Höhe ausrichtet. Ein dritter Beobachter liest die Entfernung an der äußeren Skala ab. Eine innere Skala im Gesichtsfeld ist nicht vorhanden. Nachts werden die Meßmarken und die Entfernungsteilung durch Glühlämpchen beleuchtet.

Bei dem Raumbild-Entfernungsmesser kann es infolge von Erschütterungen usw. vorkommen, daß die Meßmarken im linken und im rechten Okular nicht mehr dieselbe Höhenlage zum Ziel haben und daher die Marken doppelt und unklar erscheinen. Höhenfehler geringer Größe machen sich durch Zwang in den Augen und schwache Schatten an den Marken bemerkbar. Der Höhenfehler wird berichtigt durch Drehen an der unter dem Verschlusßring 63 befindlichen Höhenberichtigungswalze.

Die Entfernungsberichtigung kann wieder nach einem Ziel von bekannter Entfernung, nach dem Mond oder nach Sternen (unendlich entfernten Objekten) oder nach der Meßlatte, die auch einem unendlich entfernten Objekt entspricht, vorgenommen werden. Die Striche der Meßlatte (s. oben S. 19), die bei diesem Entfernungsmesser in drei Teile zerlegbar ist, müssen also beim Einstellen des Instruments auf die Entfernung Unendlich ein räumliches Bild ergeben, das in gleicher Tiefe mit der Meßmarke erscheint. Die Berichtigung erfolgt mittels der unter dem Verschlusßring 63 befindlichen Entfernungsberichtigungswalze. Natürlich wäre auch bei diesem Entfernungsmesser das neue Berichtigungsverfahren mittels schwenkbarer Pentagonalprismen anwendbar.

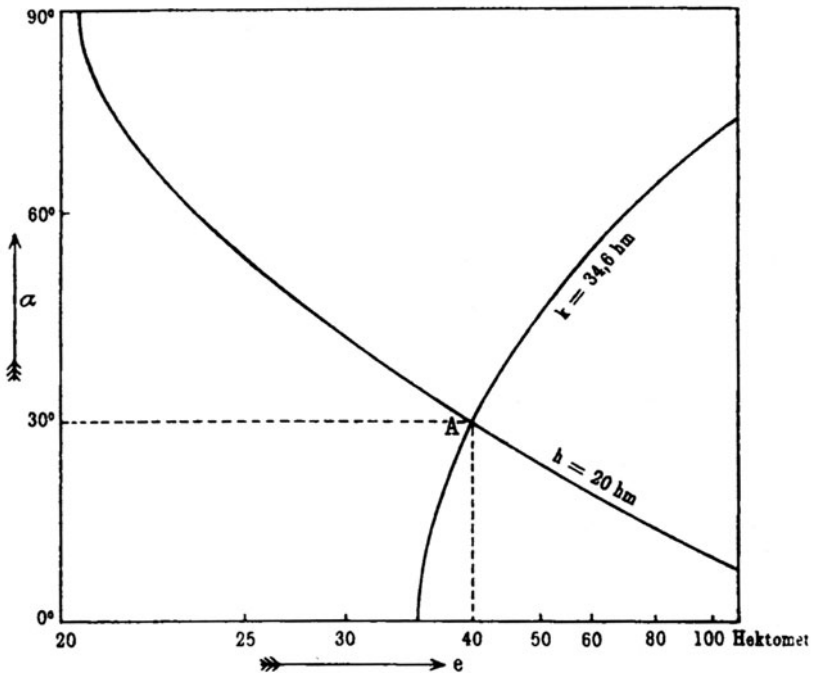
Der „selbsttätige“ Höhenmesser 72, der von dem S. 17 beschriebenen Pendelhöhenzeiger abweicht, ist folgendermaßen gebaut: Mit dem durch eine Libelle horizontal ausgerichteten Gestell, in dem der Entfernungsmesser in der Höhenrichtung schwenkbar gelagert ist, ist ein Zeiger derart verbunden, daß er nur parallel der Basis (Schwenkungsachse des Instruments) verschiebbar ist. Die Verschiebung erfolgt automatisch bei der Einstellung des Entfernungsmessers, so daß jeder Stellung des Zeigers eine bestimmte Zielentfernung entspricht. Vor dem Zeiger befindet sich ein mit einem Kurvenblatt beklebter Zylinder, der durch eine Zahnradübersetzung bei der Höheneinstellung des Entfernungsmessers um eine zur Basis parallele Achse gedreht wird, so daß jedem Drehwinkel des Zylinders ein bestimmter Höhenwinkel entspricht. Demgemäß hat das Kurvenblatt des Zylinders (Fig. 31) in Richtung der Zylinderachse eine Entfernungsteilung (die wegen des Mechanismus des Entfernungsmessers ungleichförmig ist) und senkrecht dazu eine gleichförmige Einteilung in Höhenwinkel. Jeder Zeigerstellung entsprechen bestimmte Werte der Höhe h

und der Kartenentfernung k , die sich aus den Formeln (4) und (5) S. 5 ergeben. Z. B. entspricht dem Punkt A von Fig. 31 (Höhenwinkel $\alpha = 30^\circ$, Zielentfernung $e = 40$ Hektometer), $h = 20$ hm, $k = 34,6$ hm. Zeichnet man die Kurven gleicher Zielhöhe h und gleicher Kartenentfernung k

$$e = \frac{h}{\sin \alpha}, \quad c = \frac{k}{\cos \alpha},$$

so erhält man Kurven der Form, wie sie in Fig. 31 für $h = 20$ hm

Fig. 31.



und $k = 34,6$ hm angedeutet sind. Auf den zur Verwendung kommenden Kurvenblättern sind Scharen solcher Kurven ($h = 4, 6, 8 \dots 80$ hm, $k = 20, 25 \dots 120$ hm) gezeichnet. Durch Interpolation zwischen diesen Kurven kann man die zu jeder Zeigerstellung gehörigen Werte von h und k entnehmen, ohne erst die am Entfernungsmesser abgelesenen e -Werte übertragen zu müssen, wie es bei dem Pendelhöhenzeiger der Fall ist. Die α - und die e -Werte selbst sind auf den Kurvenblättern fortgelassen.

Als durchschnittlichen Fehler für die Ablesung an diesem Höhenmesser kann man nach Angabe der Firma Zeiss etwa den Wert $\frac{1}{100} e \cos \alpha + \Delta e \sin \alpha$ annehmen, wenn $\Delta e = e' - e$ der Fehler der Entfernungsmessung ist (S. 3). Bei 3-m-Basis, $e = 5000$ m, $\alpha = 45^\circ$, würde demnach der Ablesefehler wenigstens $25 + 7,5 = 32,5$ m.

δ) Raumbild-Entfernungsmesser mit 2-m-Basis. Vergrößerung 19fach. Gesichtsfeld $1^\circ 22'$. Meßbereich 1200 bis 20000 m. Die optische Einrichtung ist ähnlich wie bei dem 4-m-Raumbild-Entfernungsmesser. Pendelhöhenmesser am rechten Rohrende.

ε) Auswanderungsmesser C VI und Kommandoscheibe. Der Auswanderungsmesser, auf dessen Bau genau einzugehen hier zu weit führen würde, besteht aus einem Beobachtungsfernrohr mit sechsfacher Vergrößerung und $8,4^\circ$ Gesichtsfeld, in dessen Gesichtsfeld eine (je nach dem Höhenwinkel sich selbsttätig ändernde) Höhentheilung und eine Seitenteilung sichtbar ist, aus einem mit dem Fernrohr gekoppelten Höhenmesser und aus einer im Gehäuse des Instruments angebrachten Stoppuhr, deren Ziffernblatt Kurven mit Entfernungszahlen trägt und durch eine Irisblende, je nach der Zielhöhe, abblendbar ist. Der Zeiger der Uhr braucht bis zum Schnittpunkt der der gemessenen Zielentfernung entsprechenden Entfernungskurven mit der der Zielhöhe entsprechend eingestellten Irisblende den dritten Teil der Flugzeit des Geschosses zum Ziel. Natürlich sind für jede Geschütz- und Geschosßart besondere Kurvenblätter für die Uhr erforderlich. Mit dem Beobachtungsfernrohr und den Kurven in seinem Gesichtsfeld wird gemessen, um wieviel in dem mit der Stoppuhr bestimmten Drittel der Flugzeit das Ziel „auswandert“, d. h. es werden die Änderungen von Seiten- und Höhenwinkel während dieser Zeit festgestellt. Durch Multiplikation mit 3 erhält man daraus die „Vorhaltewinkel“ in Seite (Teilring) und Höhe (Regler) für das Geschütz. Diese Vorhaltewinkel werden beim Richten des Geschützes an der der direkten Visierlinie nach dem Ziel entsprechenden Richtung der Rohrachse angebracht, außer der wegen Entfernung und Höhe des Zieles mit Rücksicht auf die Krümmung der Geschosßbahn erforderlichen Seitenkorrektion und Erhöhung. Dabei ist zu beachten, ob das Ziel ein „kommendes“ (Höhenwinkel nimmt zu) oder ein „gehendes“ (Höhenwinkel nimmt ab) ist.

Die Kommandoscheibe dient nun dazu, um sofort nach Bestimmung der Vorhaltewinkel aus diesen und den Werten von Zielentfernung und Zielhöhe die „Treffpunktsentfernung“ zu ermitteln, d. h. die Zielentfernung zu einer Zeit, die um die Geschosflugzeit hinter dem Moment des Abfeuerns liegt. Die Kommandoscheibe besteht aus einer beiderseits mit Teilungen für die gemessene Entfernung versehenen Scheibe und einem drehbar und verschiebbar damit verbundenen Lineal, das die Zielhöhenmarke und die Treffpunktsentfernungsmarke trägt, und auf dem sich eine Tafel verschiebt, die die Kurven für gemessenen Regler und die Zielhöhen- teilung trägt. Nach Treffpunktsentfernung, Zielhöhe und Regler wird der Brennzünder des Geschosses eingestellt und das Geschütz, dessen Visierfernrohr dann aufs Ziel gerichtet ist, abgefeuert.

Das vorstehende Kommandogerät ist noch wenig vollkommen: Dadurch, daß Bestimmung von Auswanderung und Treffpunktsentfernung nacheinander erfolgen, geht Zeit verloren, während welcher das Luftfahrzeug seine Flugrichtung ändern kann, so daß die benutzten Vorhaltewinkel nicht mehr zutreffend zu sein brauchen. Ferner wird die Treffpunktsentfernung wegen des möglichen Kommandoverzuges, der nicht immer, wie für das Gerät vorausgesetzt, 10 Sekunden betragen wird, nicht genau für den Treffmoment bestimmt.

Über den am Gerät befindlichen Höhenmesser mag noch folgendes gesagt werden: Er ist nach einem ähnlichen Prinzip wie der des Zeisschen Raumbild-Entfernungsmessers (b, γ , S. 27) gebaut, nur wird die Zielentfernung nicht selbsttätig durch einen Zeiger angezeigt, sondern muß nach der Bestimmung mit dem Entfernungsmesser auf ein mit Entfernungsteilung versehenes Lineal übertragen werden, das an dem horizontal gerichteten Gestell des Beobachtungsfernrohrs befestigt ist. Vor diesem Lineal befindet sich der Zylinder mit dem Höhenkurvenblatt, der sich beim Richten des Fernrohrs entsprechend dem Höhenwinkel dreht. Die Höhenkurve, welche das Lineal an dem Punkt trifft, der der Zielentfernung entspricht, gibt die Zielhöhe an.

§) Kommandogerät Schönian. Dieses Gerät, bei dem alle erforderlichen Vorrichtungen zu einem einzigen Apparat vereinigt sind, ist hauptsächlich für indirektes Richten von Fliegerabwehrkanonen bestimmt, wobei nur Seitenrichtung, Gesamtrohrerhöhung und Brennzünder zu bestimmen ist.

Der Apparat wird auf die mit einem Entfernungsmesser ermittelte Zielentfernung einmal eingestellt; die Veränderung der Entfernung wird dann entsprechend der Bewegung des Zieles mit dem Gerät selbst dauernd bestimmt. Die Eigengeschwindigkeit des Fahrzeuges und die Windgeschwindigkeit werden vor dem Schießen bestimmt und am Apparat eingestellt, der dann die gesamte Fluggeschwindigkeit nach Größe und Richtung bildet und berücksichtigt. Die Zielhöhe wird ebenfalls mit dem Gerät ermittelt und für die Brennzünderbestimmung verwertet, ohne daß sie abgelesen wird. Die Vorhaltewinkel werden zugleich mit der Seitenrichtung und dem Höhenwinkel bestimmt. Bei diesem Gerät wird auch eine Korrektur dafür angebracht, daß die Geschloßflugzeit für den Kommandomoment und nicht für den Treffmoment bestimmt ist.

Die Wiedergabe der im einzelnen sehr komplizierten Vorrichtungen des Geräts würde hier zu weit führen.

c) Apparate der A.-G. C. P. Goerz, Berlin-Friedenau.

α) Kehrbild-Entfernungsmesser mit 2-m-Basis (Flak-Em.). Das Gerät unterscheidet sich nur unwesentlich von dem entsprechenden, unter a, α), S. 16, beschriebenen der Firma Hahn, Kassel. Vergrößerung 20fach. Entfernungsberichtigung mit der Meßlatte.

β) Kehrbild-Klapp-Entfernungsmesser mit 4-m-Basis (4-m-Flak-Klapp-Em.). Vergrößerung 20fach. Wahres Gesichtsfeld $2^{\circ} 18'$. Meßbereich 2000 bis 50000 m.

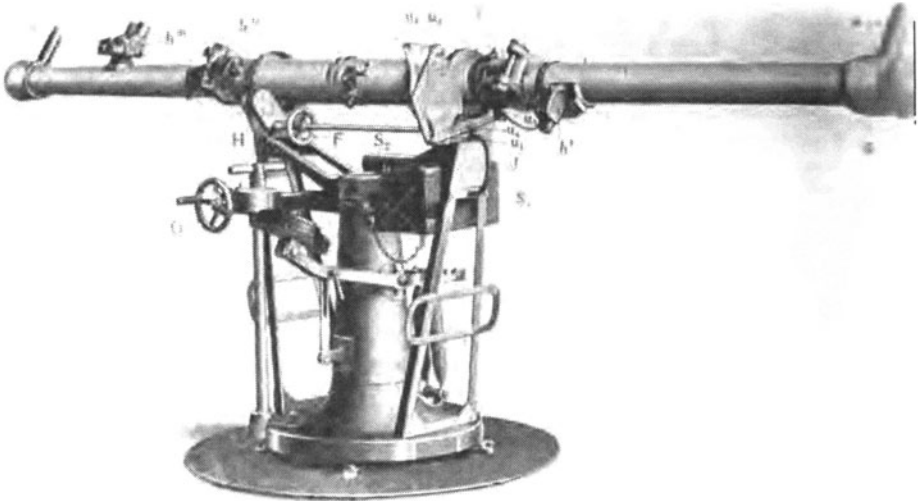
Der Trennungsstrich im Gesichtsfeld liegt nicht in der Mitte, sondern so, daß zwei Drittel des Gesichtsfeldes für das aufrechte Bild benutzt werden.

Das Gerät ist in Fig. 32 abgebildet. Es ist wie der 4-m-Raubild-Entfernungsmesser der Firma Zeiss für den Transport auf ein Drittel der Länge zu bringen, aber nicht durch Zusammenklappen, sondern durch Zerlegen in drei Teile, was den Vorteil hat, daß das Verpacken leichter zu bewerkstelligen ist. Es besitzt wie das Zeissche Gerät ein Sucherfernrohr h' , ein Richtfernrohr h'' und ein Beobachtungsglas h''' . Das Sucherfernrohr hat ein sehr großes Gesichtsfeld von 70° und trägt an der Oberkante noch ein Visier zum rohen Einrichten, so daß das schnelle Auffinden des Zieles bei diesem Entfernungsmesser sehr leicht ist. Die

Entfernungsberichtigung erfolgt (außer nach Zielen bekannter Entfernung oder unendlich weit entfernten Objekten) mit Hilfe einer Berichtigungslatte, die in drei Teile zusammenklappbar ist während die 4-m-Meßlatte der Firma Zeiss zerlegbar ist.

Abweichend von dem früher Beschriebenen ist der Höhenmesser u , der in Fig. 33 deutlicher zu sehen ist, in der auch die beiden Okulare b_1 und b_2 für Luft- und Feldziele in der Mitte sichtbar sind (Bilder: Fuß an Fuß oder Kopf an Kopf). Der

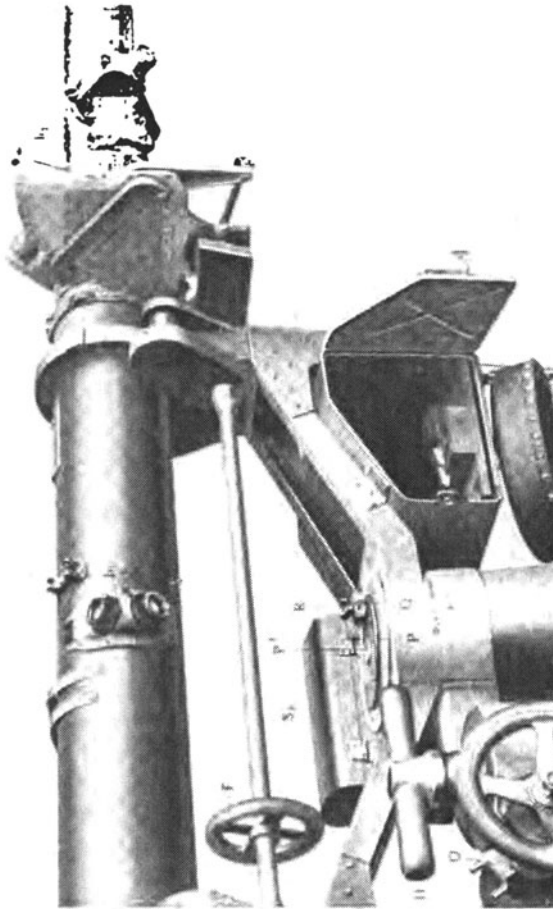
Fig. 32.



Höhenmesser befindet sich am rechten Lager des Entfernungsmessers. Er besteht aus einer mit dem horizontal ausgerichteten Gestell des Entfernungsmessers fest verbundenen viertelkreisförmigen Platte u , die auf beiden Seiten in horizontaler Richtung nach Hektometern bezifferte Linien gleicher Zielhöhe und in vertikaler Richtung Linien gleicher Kartenentfernung trägt. Durch Vermittlung der Stange u_4 (Fig. 32) ist das Lineal u_6 , das um den Schnittpunkt der Zielhöhenlinie 0 und der Kartenentfernungslinie 0 drehbar in der Platte u gelagert ist, mit dem Entfernungsmesser derart verbunden, daß es die Höhenwinkeländerungen des-

selben mitmacht, also beim Höhenwinkel 0 horizontal steht. Es besitzt eine Entfernungsteilung. Der Punkt des Lineals, welcher der mit dem Entfernungsmesser gemessenen Zielentfernung ent-

Fig. 33.



spricht, gibt auf den Linien gleicher Höhe bzw. gleicher Kartenentfernung die Zielhöhe h und die Kartenentfernung k gemäß Fig. 2 und Fig. 3 an. Am Rande der Platte u ist eine Winkelteilung angebracht, deren Schnittpunkt mit dem Lineal dem

Höhenwinkel α entspricht. Dieser Höhenmesser unterscheidet sich von dem Pendelzeiger nach Fig. 8 also eigentlich nur dadurch, daß das stillstehende Pendel durch das drehbare Lineal und die drehbare Scheibe durch die feststehende Platte u ersetzt ist.

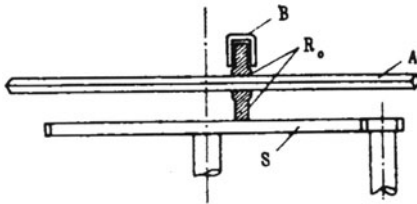
γ) Raumbild-Entfernungsmesser mit 2-m-Basis (2-m-Flak-R-Em.). Vergrößerung 20fach. Gesichtsfeld $1^{\circ} 18'$. Meßbereich 1200 bis 20000 m.

Die optische Einrichtung ist ähnlich wie die bei dem 4-m-Raumbild-Entfernungsmesser der Firma Zeiss unter b, γ) beschriebene. Entfernungsberechtigung nach der Meßplatte. Pendelhöhenmesser am rechten Rohrende.

δ) Raumbild-Entfernungsmesser mit 4-m-Basis (4-m-Flak-R-Klapp-Em.). Vergrößerung 20fach. Gesichtsfeld $1^{\circ} 18'$. Meßbereich 2000 bis 50000 m. Das Gerät entspricht im wesentlichen in optischer Hinsicht dem 4-m-Raumbild-Entfernungsmesser der Firma Zeiss. Die Entfernung ist bei ihm außer an einer äußeren Teilung auch an einer im Richtfernrohr sichtbaren inneren Teilung ablesbar. Der Höhenmesser gleicht, wie überhaupt alle Nebeneinrichtungen, genau dem des unter c, β) beschriebenen 4-m-Kehrbild-Entfernungsmesser der Firma Goerz (Fig. 32 und 33).

ε) Winkelgeschwindigkeitsmesser nach Boykow. Er dient zur Bestimmung der Vorhaltewinkel nach Seite und Höhe. Diese erfolgt nicht (wie z. B. bei dem Zeissischen Auswanderungsmesser) durch Beobachten der Auswanderung des Zieles in einem Fernrohr während einer abgestoppten Beobachtungszeit, sondern dadurch, daß die Einstellbewegung beim dauernden Richten des Fernrohres nach dem Ziel direkt zur Messung benutzt wird.

Fig. 34.

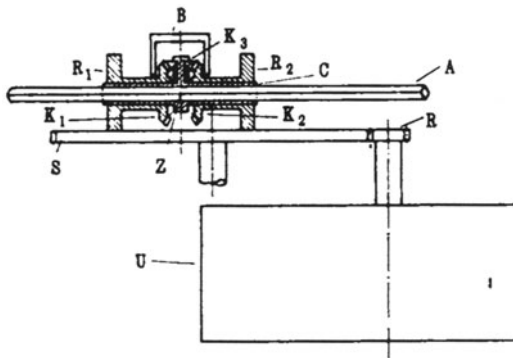


Das Prinzip, nach dem die Herstellung und Messung der richtigen Winkelgeschwindigkeit des Fernrohres erfolgt, ist aus Fig. 34 zu erkennen. Ein Scheibe S wird durch ein Uhrwerk in gleichmäßiger Drehung erhalten. Auf ihr liegt eine Rolle R_0 auf, die auf einer kantigen Achse A steckt, so daß diese Achse sich

beim Drehen der Rolle mitdreht, die Rolle aber durch die Hülse *B* auf der Achse verschoben werden kann. Wird die Rolle durch die Hülse *B* auf die Mitte von *S* eingestellt, so dreht sie sich nicht, während sie an anderen Punkten von *S* durch die Umdrehung von *S* in Rotation versetzt wird, und zwar in um so schnellere, je weiter die Rolle vom Mittelpunkte von *S* entfernt ist. Mit der Achse *A* wird nun der Trieb, der die Höhenwinkel des Zielfernrohres einzustellen gestattet, gekuppelt, und die Hülse *B* wird so verschoben, daß zufolge der Umdrehung von *A* die Änderung des Höhenwinkels nach dem Ziele gerade mitgemacht wird.

Durch ein zweites gleichartiges Getriebe wird die Seitenrichtung des Zielfernrohres entsprechend der seitlichen Bewegung des Zieles dauernd verändert.

Fig. 34 a.



Aus der Umdrehungsgeschwindigkeit der Achse *A* der beiden Getriebe erhält man so direkt die Winkelgeschwindigkeit des Zieles nach Höhe und Seite.

Bei der praktischen Ausführung werden statt der einfachen Rolle *R* von Fig. 34 die beiden Rollen *R*₁ und *R*₂ eines Planetengetriebes (Fig. 34 a) benutzt. Die Hülse *C*, welche das *R*₁ und *R*₂ kuppelnde Zahnrad *K*₃ trägt, und daher die Achse *A* stehen still, falls *R*₁ und *R*₂ gleich weit von der Mitte der Scheibe *S* abstehen und sich folglich mit entgegengesetzt gleicher Schnelligkeit umdrehen. Diese Anordnung hat vor allem den Vorteil, daß sich der Nullpunkt der Bewegung genauer einstellen läßt, als bei der einen im Mittelpunkte der Scheibe stillstehenden und sich daher ungleichmäßig abnutzenden Rolle *R* der Fig. 34.

Das Instrument besitzt Skalen, welche die Winkelgeschwindigkeit direkt angeben, sowie Diagramme, die die Vorhaltewinkel in Höhe und Seite für die benutzte Geschütz- und Geschosßart abzulesen gestatten, falls die Zielentfernung bekannt ist.

ξ) Annäherungsgeschwindigkeitsmesser nach Boykow. Das Gerät dient zur Bestimmung der Entfernungsänderung des Zieles während der Flugzeit, und zwar geschieht das in der Weise, daß die Meßstrommel eines Entfernungsmessers mit solcher Geschwindigkeit umgedreht wird, daß der Entfernungsmesser dauernd auf die Zielentfernung eingestellt bleibt. Die Umdrehung der Meßstrommel erfolgt wieder in der unter ε) für die Einstellung des Zielfernrohres in Höhe und Seite beschriebenen Weise und die Umdrehungsgeschwindigkeit der Achse *A* (Fig. 34 a) gestattet dabei direkt, die Geschwindigkeit des Flugzeuges in Richtung der Visierlinie zu bestimmen. Voraussetzung ist dabei, daß die Entfernungsänderung proportional der Drehung der Meßstrommel ist, was meist nicht zutrifft, so daß zwischen Meßstrommel und Achse *A* ein Getriebe geschaltet werden muß, das eine der Entfernungsänderung proportionale Drehung aus der Drehung der Meßstrommel erzeugt, wozu Kurvenräder, Schneckengetriebe und dergleichen verwendet werden können.

Bei dem praktisch danach ausgeführten Instrument kann außer der Entfernung auch an einer Geschwindigkeitsskala die Geschwindigkeit abgelesen werden, mit der das Ziel sich dem Instrument nähert. Ferner ist eine Diagrammtafel vorhanden, auf der man direkt in Abhängigkeit von der Annäherungsgeschwindigkeit die wahre Treffpunktsentfernung ablesen kann, die beim Abfeuern des Geschützes mit Rücksicht auf die Flugdauer des Geschosses und die Geschwindigkeit des Flugzeuges zugrunde gelegt werden muß. Allerdings läßt sich dies Diagramm nur für einen bestimmten Höhenwinkel herstellen, während die Flugdauer des Geschosses ja vom Höhenwinkel abhängig ist. Andere Höhenwinkel können aber mit hinreichender Genauigkeit dadurch berücksichtigt werden, daß man die Geschwindigkeit des das Planetengetriebe bewegenden Uhrwerkes entsprechend ändert. Die Skala des Tourenzählers, der die Uhrwerkgeschwindigkeit kontrolliert, ist direkt nach Höhenwinkeln beziffert.

Ferner kann durch Schrägstellen eines Lineals der Kommandoverzug berücksichtigt werden, so daß also die Treffpunkts-

entfernung für einen 10 oder 15 Sekunden nach dem Ablesen dieser Entfernung gültigen Moment des Abfeuerns bestimmt wird.

Dieses Gerät, das den Entfernungsmesser selbst ja schon enthält, in Verbindung mit dem Boykowschen Winkelgeschwindigkeitsmesser stellt daher einen Kommandoapparat von kaum zu übertreffender Vollkommenheit und Einfachheit der Handhabung dar.

d) Geschützeinstellvorrichtung nach S. Valentiner (1915).

Die Vorrichtung bezieht sich auf das Einstellen der Vorhaltewinkel in Höhe und Seite, so daß die Annäherungsgeschwindigkeit nach besonderem Verfahren, z. B. nach c , ζ) bestimmt werden müßte. Das Wesentliche an der Valentinerschen Anordnung besteht darin, daß das Geschützrohr automatisch gleichzeitig mit der Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit des Zieles unter Berücksichtigung der Zielentfernung um die richtigen Vorhaltewinkel gedreht wird, so daß also ein Kommandoverzug überhaupt nicht in Frage kommt.

Die Winkelgeschwindigkeit will Valentiner folgendermaßen bestimmen: In der Bildebene des Objektivs eines Fernrohrs, das auf das bewegte Ziel gerichtet ist und ihm nachgeführt wird, sieht man zufolge Spiegelung Teile von radialen Linien einer rotierenden Kreisscheibe sich in horizontaler Richtung bewegen. Die Kreisscheibe ist außerhalb des Fernrohres angebracht und kann in Richtung der Fernrohrachse verschoben werden, bis solche Stücke der Radian sichtbar werden, die sich gerade mit der scheinbaren Horizontalgeschwindigkeit des Luftfahrzeuges bewegen. Die Stellung der Kreisscheibe gegen die Fernrohrachse ist ein Maß der horizontalen Komponente der Winkelgeschwindigkeit des Zieles. Die Verschiebung der Kreisscheibe wird nun nach Valentiner vermittelt eines Hebels und eines Drahtseilzuges direkt zur seitlichen Einstellung der Visiermarke gegen die Geschützrohrachse benutzt. Das Übersetzungsverhältnis des Hebels muß je nach der Zielentfernung verstellbar sein, da ja gleicher Winkelgeschwindigkeit des Zieles je nach der Entfernung desselben verschiedene Vorhaltewinkel, also verschiedene Einstellungen der Visiermarke entsprechen; die Visierlinie selbst wird dauernd auf das Ziel ausgerichtet.

Zur Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit in vertikaler Richtung dient ein zweites Fernrohr und eine zweite Kreisscheibe.

deren radiale Linien sich vertikal im Gesichtsfelde bewegen und die vertikal gegen die Fernrohrachse verschiebbar ist. Die Bewegung dieser zweiten Scheibe wird wieder durch Hebel und Drahtseilzug zur Einstellung der Visiermarke in vertikaler Richtung benutzt.

Es ist klar, daß statt der Valentinerschen Anordnung auch der vollkommeneren Boykowsche Geschwindigkeitsmesser mit Planetengetriebe zur direkten Einstellung der Visiermarke verwendet werden könnte, wobei die Bewegung der Hülse *B* (Fig. 34 a) mittels Hebel und Seilzug auf die Visiermarke zu übertragen wäre. Ferner kann man statt der direkten Übertragung durch Seilzug elektrische Übertragungsmittel anwenden, wie sie z. B. auf großen Schiffen zum Einstellen des Steuerrades von der Kommandobrücke aus benutzt werden. Auch die richtige Einstellung der für die Übertragung benutzten Zielentfernung könnte dabei von einem Annäherungsgeschwindigkeitsmesser aus automatisch erfolgen.

Der Bau derartig vollkommener Richtgeräte für Geschütze, bei denen also Entfernung, Höhe, Winkelgeschwindigkeit und Annäherungsgeschwindigkeit des zu beschießenden Luftfahrzeuges gar nicht abgelesen werden, bei denen die Beobachter vielmehr nichts zu tun haben, als den Entfernungsmesser dauernd auf die Zielentfernung einzuregulieren und mit dem Winkelgeschwindigkeitsmesser dauernd dem Ziel zu folgen, und bei denen das Geschütz selbst ganz automatisch unter Verwendung indirekten Richtens eingestellt wird, war gegen Ende des Weltkrieges durchaus keine Utopie mehr. — Nur derjenige Führer eines Militärluftfahrzeuges, der sich genau über derartige Verfolgungsmöglichkeiten klar ist, kann beurteilen, was er wagen darf und was nicht.

4. Ausführungsbeispiele für stereoskopische Entfernungs- und Höhenmesser zum Gebrauch vom Luftfahrzeug aus.

Die in Teil I beschriebenen Meßmethoden lassen sich naturgemäß auch auf das Messen vom Luftfahrzeug aus anwenden. Allerdings werden im allgemeinen nur Instrumente erheblich kleinerer Dimensionen benutzt werden können.

Man kann also z. B. die Höhe des Luftfahrzeuges vom Fahrzeug aus bestimmen, indem man mit dem Entfernungsmesser senkrecht nach unten auf den Erdboden sieht. Gegenüber der

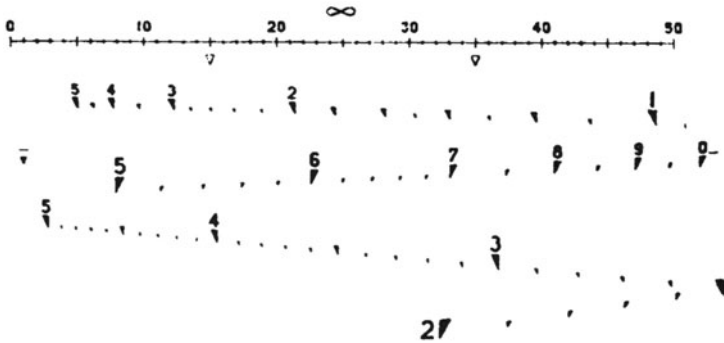
in Teil II beschriebenen, bequemeren Methode der Höhenmessung mit dem Barometer hat die optische Bestimmung den Vorteil, vollkommen frei von Nachwirkungserscheinungen zu sein, also die Höhe wirklich einwandfrei zu ergeben. Dagegen versagt sie naturgemäß bei unsichtigem Wetter.

Von größerer Bedeutung als für die Höhenmessung vom Luftfahrzeug aus ist die optische Methode für die Entfernungsmessung vom Fahrzeuge aus, z. B. für Flugzeuge, die im Luftkampf gegeneinander sich befinden. Dabei kommt es natürlich auf möglichst einfache und schnelle Ablesbarkeit des Entfernungsmessers aufs äußerste an. Es sind bisher wohl nur stereoskopische Entfernungsmesser der Firma Carl Zeiss, Jena, verwendet worden.

a) Zeisscher Raumbild-Entfernungsmesser mit 30 cm-Basis.

Vergrößerung 4 fach. Wahres Gesichtsfeld 6,5°. Meßbereich 20 bis 500 m. Es sind (Fig. 35) im Gesichtsfelde eine große Zahl bezifferter Marken vorhanden (vgl. I, 2, S. 14), so daß die Entfernung durch Interpolation zwischen den Marken direkt ohne

Fig. 35.



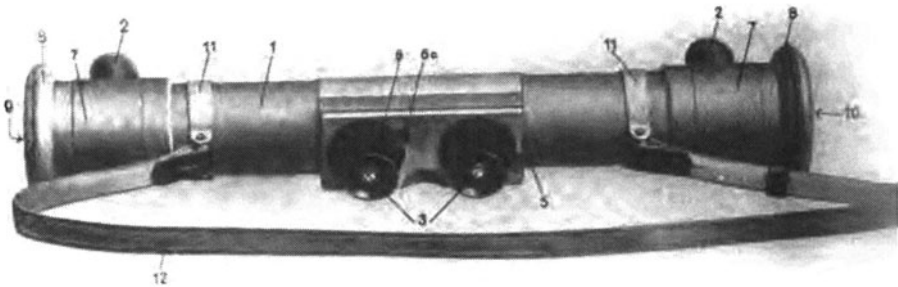
irgend eine Einstellung abgelesen werden kann. Die Bezifferung ist für 20 bis 100 m (Zahlen 2 bis 0) von 10 zu 10 m, für 100 bis 500 m von 100 zu 100 m.

Die Interpolation zwischen den einzelnen Marken, die wie aus Fig. 35 ersichtlich ist, in Tiefenabständen von 1 m (bei der kleinsten Entfernung) bis 50 m (bei der größten Entfernung) angebracht sind, geschieht in der Weise, daß man die gerade Verbindungslinie der nach unten zeigenden Spitzen der Dreiecks-

marken so dicht als möglich an einen freistehenden Punkt des Zielobjektes bringt. Bewegt man in dieser Lage das Instrument in horizontaler Richtung ein wenig hin und her, so hat man den Eindruck, als ob der Zielpunkt durch die genannte Verbindungslinie an einer bestimmten Stelle hindurchgeht. Diese Stelle ist der Interpolationspunkt.

Die oberhalb der Marken im Gesichtsfelde (Fig. 35) sichtbare, auf besonderen Wunsch angebrachte Skala dient zu Breiten- und Höhenmessungen am Beobachtungsobjekt und besitzt 50 Teile. Einem Teil der Skala entspricht 1 m auf 1000 m, also $\frac{e}{1000}$ m auf e m Entfernung. Die Skala muß natürlich beim Messen in

Fig. 36.



die Richtung gebracht werden, in der man die Dimension des Beobachtungsobjektes bestimmen will. Die Messungen sind mit einem Auge auszuführen. Bei stereoskopischem Sehen erscheint die Skala im Unendlichen.

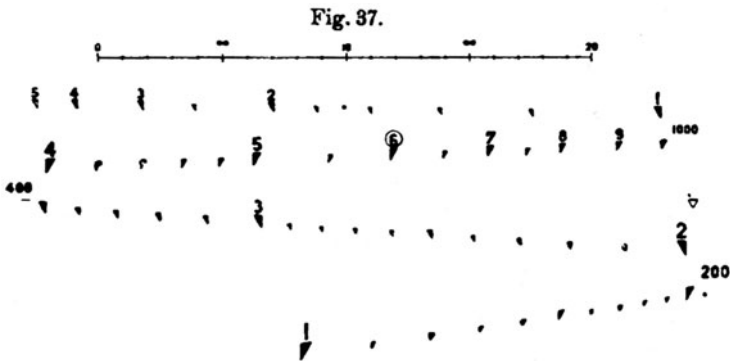
Fig. 36 zeigt eine Gesamtansicht des Instrumentes. Man sieht die Objektivöffnungen 2, die Okulare 3, die auf Sehschärfe durch einen nach Dioptrien geteilten Ring einstellbar sind, den Hebel 5 zur Einstellung des Okularabstandes, die Skala 6 für den Okularabstand und den zugehörigen Zeiger 6 a, die drehbaren Verschlußringe 7 für die Objektivöffnungen, den Lederpuffer 8. Bei 9 ist ein Knopf für die Berichtigung der Entfernung mit Verschlußdeckel, gezeichnet *S*, bei 10 ein Knopf für die Berichtigung der Höhe mit Verschlußdeckel, gezeichnet *H*.

Die Entfernungsberichtigung erfolgt nach einem nicht zu nahen Objekt von bekannter Entfernung. Mehr als 80 km entfernte Objekte können dabei als unendlich entfernt angesehen werden und mit der Längenskala im Gesichtsfelde verglichen werden, die bei stereoskopischem Sehen im Unendlichen erscheinen soll.

Betreffs des Höhenfehlers und seiner Berichtigung gilt das unter 3 b, γ), S. 27 Gesagte.

b) Zeisscher Raumbild-Entfernungsmesser
mit 50 und 60 cm-Basis.

Vergrößerung 8 fach. Wahres Gesichtsfeld 3° . Meßbereich 100 bis 5000 m. Die Anordnung und Bezifferung der Marken im Gesichtsfelde, die ähnlich wie unter 4 a) beschrieben zu benutzen sind, ist aus Fig. 37 zu ersehen. Die vorderste Reihe



reicht von 100 bis 200, die zweite Reihe von 200 bis 400, die dritte von 400 bis 1000, die vierte von 1000 bis 5000 m. Die auf besonderen Wunsch im Gesichtsfelde oberhalb der Marken angebrachte Skala für Breiten- und Höhenmessung hat 20 Teile, deren jeder 1 m bei 1000 m Entfernung oder $\frac{e}{1000}$ m bei e m Entfernung entspricht.

Das Instrument ist ganz ähnlich gebaut wie das mit 36 cm-Basis (Fig. 36), nur wird ihm ein dreibeiniges Stativ beigegeben. Die Entfernungs- und Höhenberichtigung erfolgt in derselben Weise wie bei dem kleineren Entfernungsmesser.

II. Barometrische Höhenmessung in der Luftfahrt.

1. Grundlagen und Meßmethoden.

Die barometrische Höhenmessung beruht darauf, daß der Luftdruck mit zunehmender Entfernung von der Erde abnimmt. Der Luftdruck ist die Kraft, die die ruhende Luft auf 1 qcm einer ruhenden Platte in senkrechter Richtung ausübt. Am Erdboden (Nordseenniveau) hält der normale Luftdruck unter

Fig. 38.



45° Breite einer Quecksilbersäule von 76 cm Höhe und 0° C, die sich in einer einseitig geschlossenen und an diesem Ende luftleeren Glasröhre (Barometer- röhre, Fig. 38) befindet, das Gleichgewicht. Da das spezifische Gewicht des Quecksilbers 13,596 g-Gewicht/cm³ beträgt, so ist der normale Luftdruck also

$$76 \text{ cm} = 760 \text{ mm Quecksilbersäule} \\ = 1033,3 \text{ g-Gewicht/cm}^2 \dots \dots \dots (6)$$

Es sei γ das Gewicht der Luft pro Volumeneinheit in h m Höhe über dem Erdboden und p der dort herrschende Luftdruck, dh und dp unendlich kleine Zunahmen von h und p . Das Gewicht einer Luftsäule von der Höhe dh und dem Querschnitt 1 qcm ist dann γdh und für dp gilt offenbar die Gleichung:

$$dp = -\gamma dh \dots \dots \dots (7)$$

Wird hierin γ in g-Gewicht/cm³ und dh in Zentimetern ausgedrückt, so erhält man dp in g-Gewicht/cm². Will man dp , wie bei der Luftdruckbestimmung meist üblich, in Millimetern Quecksilbersäule erhalten, so hat man den Wert von dp nach (6) mit $^{760}_{1033,3}$ zu multiplizieren.

In dem Mariotteschen Gesetze $pv = const = K$ kann man für v das Volumen pro g-Gewicht annehmen und v ersetzen durch $1/\gamma$. Dann ist in erster Annäherung:

$$\gamma = \frac{p}{K} \dots \dots \dots (8)$$

und man erhält aus (7) durch Integration für die Höhe h über dem Erdboden

$$h = K \ln \frac{p_e}{p} \dots \dots \dots (9)$$

wenn p_e der Luftdruck an der Erdoberfläche ist und \ln den natürlichen Logarithmus bedeutet.

Nach (8) hat dabei K in erster Annäherung den Wert

$$K_0 = \frac{p_e}{\gamma_e} = \frac{1033,3 \text{ g-Gewicht/cm}^3}{0,0012928 \text{ g-Gewicht/cm}^3} = 799\,273 \text{ cm} \left. \vphantom{\frac{p_e}{\gamma_e}} \right\} = 7992,73 \text{ m} \quad (10)$$

Hierbei ist für γ_e , das spezifische Gewicht der Luft am Erdboden, die Temperatur 0°C zugrunde gelegt.

In Wirklichkeit hängt K von verschiedenen Faktoren ab, insbesondere von der Temperatur, die nicht überall 0°C ist, von der Luftfeuchtigkeit, von der geographischen Breite des Beobachtungsortes, von der Änderung der Schwere mit der Höhe. Man kann diese Abhängigkeit in erster Annäherung berücksichtigen, indem man mittlere Werte der Temperatur usw. zugrunde legt.

Bezieht sich der Index 0 auf die Temperatur 0°C , der Index e wieder auf den Erdboden, so ist zufolge des Temperatureinflusses im Mittel

$$K = K_0 \left(1 + \frac{1}{273} t_e + \frac{t}{2} \right),$$

wenn t die Temperatur in $^\circ\text{C}$ bedeutet, da K dem spezifischen Volumen der Luft $1/\gamma$, das pro $^\circ\text{C}$ um $1/273$ zunimmt, nach (8) proportional ist.

Ist π der Partialdruck des Wasserdampfes in der Luft, so tritt zu K_0 weiter noch der Faktor

$$1 + \frac{3}{8} \frac{\pi_e}{p_e} + \frac{\pi}{p},$$

da das spezifische Volumen der Luft $\frac{5}{8}$ von dem des Wasserdampfes ist, bei dem Verhältnis π/p von Dampfgehalt zu Luftgehalt, also noch $\frac{3}{8} \frac{\pi_e}{p_e}$ vom normalen spezifischen Volumen der Luft zu diesem hinzutritt.

Befindet man sich nicht in 45° Breite, sondern in der Breite φ so tritt zu K_0 noch der Faktor

$$1 : (1 - 0,0026 \cos 2\varphi) = 1 + 0,0026 \cos 2\varphi$$

hinzu, da erfahrungsgemäß $1 - 0,0026 \cos 2\varphi$ die Abhängigkeit der Schwere und daher des spezifischen Gewichtes γ von der geographischen Breite darstellt.

Die Abnahme der Schwere mit der Höhe kann man berücksichtigen, indem man zu K_0 den Faktor

$$1 + h/r$$

hinzufügt, wobei r der Erdradius von der Größe 64000000 m ist.

Zusammenfassend erhält man also

$$h = K_0 \left(1 + \frac{1}{273} \frac{t_c + t}{2}\right) \left(1 + \frac{3}{8} \frac{\pi_c + \pi}{p_c + p}\right) (1 + 0,0026 \cos 2\varphi) \left(1 + \frac{h}{64000000}\right) \ln \frac{p_c}{p},$$

wobei K_0 durch (10) gegeben ist.

Setzt man noch $\ln \frac{p_c}{p} = \ln 10 \log \frac{p_c}{p} = 2,3026 \log \frac{p_c}{p}$, wobei \log den Briggschen Logarithmus bedeutet, so wird

$$h = 18400 \left(1 + \frac{t_c + t}{2 \cdot 273}\right) \left(1 + \frac{3}{8} \frac{\pi_c + \pi}{p_c + p}\right) (1 + 0,0026 \cos 2\varphi) \left(1 + \frac{h}{64000000}\right) \log \frac{p_c}{p} \text{ Meter} \quad (11)$$

Wieweit die einzelnen Faktoren praktische Bedeutung haben, ergibt sich aus folgendem:

Der Faktor $\left(1 + \frac{h}{64000000}\right)$ von (11) weicht für eine Höhe $h = 10000$ m um $\frac{1}{6400}$ von 1 ab, bedingt also bei $h = 10000$ m erst eine Korrektur von 0,2 Prom., eine Größe, die fast stets zu vernachlässigen ist.

Der Sättigungsdruck des Wasserdampfes π beträgt bei 10°C (am Erdboden) 9,2 mm Quecksilber, bei 0°C (in etwa 2 km Höhe)

4,6 mm Quecksilber. Also würde selbst bei Sättigung und in der Nähe des Erdbodens

$$\frac{3}{8} \frac{\pi_e}{p_e} + \frac{\pi}{2p} \text{ erst den Wert } \frac{3}{8} \frac{9,2}{760} + \frac{4,6}{595} = 0,0037$$

haben. Da der Feuchtigkeitsgehalt der Luft meist unter der Hälfte des Gehaltes bei Sättigung liegt, ist die Korrektion wegen der Luftfeuchtigkeit in der Regel kleiner als 1 Prom. der Höhe.

Die größte Korrektion bedingt in (11) der Faktor $\left(1 + \frac{t_e + t}{2 \cdot 273}\right)$. Ist z. B. $t_e = 10^\circ$ und $t = -40^\circ$ (in etwa 10 km Höhe, so wird $\frac{t_e + t}{2 \cdot 273} = -0,055$, d. h. die Korrektur wegen der Lufttemperatur beträgt bei 10000 m Höhe etwa 5 Proz. der Höhe.

Mit Rücksicht auf die Größe dieser Temperaturkorrektion ist Formel (11) nicht immer genau genug, wenn man sie zur Berechnung der gesamtén Höhe vom Erdboden aus benutzt. Näher kommt man der Wirklichkeit schon, wenn man Formel (11) nur für kleine Höhendifferenzen von beispielsweise 500 m benutzt, und aus diesen, der Reihe nach vom Erdboden aus berechneten Höhendifferenzen, durch Aufaddieren die Gesamthöhe bildet. Für die Höhendifferenz zwischen zwei durch die Indizes 2 und 1 gekennzeichneten Stellen der Luft erhält man entsprechend (11)

$$\left. \begin{aligned} h_2 - h_1 &= 18400 \left(1 + \frac{t_2 + t_1}{2 \cdot 273}\right) \left(1 + \frac{3}{8} \frac{\pi_2 + \pi_1}{p_2} \frac{p_1}{p_1}\right) \\ &\quad (1 + 0,0026 \cos 2\varphi) \left(1 + \frac{h_2 + h_1}{2 \cdot 64000000}\right) \cdot \log \frac{p_2}{p_1} \text{ Meter} \end{aligned} \right\} (12)$$

Dabei genügen in dem Faktor $\left(1 + \frac{h_2 + h_1}{2 \cdot 64000000}\right)$, sofern man ihn überhaupt berücksichtigt, Näherungswerte, die man etwa nach Formel (11) unter Fortlassung des Faktors $\left(1 + \frac{h}{64000000}\right)$ berechnen kann.

Sieht man von dem Faktor $\left(1 + \frac{h_2 + h_1}{2 \cdot 64000000}\right)$ ganz ab, setzt $\varphi = 45^\circ$, $\pi_e = \pi = 0$ und nimmt an, daß die Temperatur

am Erdboden + 10°C ist und mit zunehmender Höhe um 5° pro Kilometer abnimmt, was mittleren Verhältnissen annähernd entspricht, so erhält man, sofern man $h_2 - h_1 = 500$ m setzt und nach (12) die Werte von $p_2 - p_1$ berechnet, die Tabelle 2

Tabelle 2.

h in m	t in °C	p in mm Hg	p in g-Gew./cm ³	h in m	t in °C	p in mm Hg	p in g-Gew./cm ³
0	+ 10	760	1033,3	5 500	- 17,5	378,0	513,9
500	+ 7,5	715,3	972,5	6 000	- 20	358,4	480,5
1000	+ 5	672,9	914,8	6 500	- 22,5	330,2	449,0
1500	+ 2,5	632,6	960,0	7 000	- 25	308,3	419,2
2000	0	594,4	908,1	7 500	- 27,5	287,7	391,2
2500	- 2,5	558,2	758,9	8 000	- 30	268,3	364,8
3000	- 5	523,8	712,2	8 500	- 32,5	250,0	339,9
3500	- 7,5	491,4	668,0	9 000	- 35	232,8	316,5
4000	- 10	460,6	626,2	9 500	- 37,5	216,6	294,4
4500	- 12,5	431,5	586,7	10 000	- 40	201,3	273,7
5000	- 15	404,0	549,3				

Eicht man ein Barometer nach dieser Tabelle, d. h. schreibt neben oder statt der Luftdruckwerte die Höhenwerte auf die Skala, so erhält man also ein Instrument, das die Höhe angenähert angibt, wobei man eventuell noch Korrekturen wegen der Abweichung der Breite von $\varphi = 45^\circ$ und wegen der Luftfeuchtigkeit anbringen kann.

Eine andere, hinsichtlich des Temperatureinflusses genauere Formel als (11) erhält man, wenn man vor der Integration von (7) die Veränderlichkeit von γ mit der Temperatur einführt, also statt (8) setzt

$$\gamma = \frac{p}{R(273 + t)} = \frac{p}{RT}; \quad T = T_e - kh \quad \dots \quad (8a)$$

wobei R die sogenannte Gaskonstante, T_e die absolute Temperatur an der Erdoberfläche, T die absolute Temperatur in der Höhe h und k eine Konstante bedeutet. Setzt man in (8a) den Wert von T ein, so wird

$$\gamma = \frac{p}{R(T_e - kh)}.$$

Für die Luft am Erdboden ist dann

$$\gamma_e = \frac{p_e}{R T_e} \dots \dots \dots (8b)$$

Damit wird nach (7)

$$\frac{dp}{p} = -\frac{dh}{R(T_e - kh)}$$

oder nach Integration

$$\log \frac{p}{p_e} = \frac{1}{kR} \log \left(1 - \frac{kh}{T_e}\right) \dots \dots \dots (9a)$$

sowie wegen (8a)

$$\log \frac{\gamma}{\gamma_e} = \left(\frac{1}{kR} - 1\right) \log \left(1 - \frac{kh}{T_e}\right) \dots \dots (9b)$$

Nach (8b) und (10) ist

$$R = \frac{p_e}{\gamma_e T_e} = \frac{k_0}{T_e},$$

wobei für T_e der Wert $0^\circ\text{C} = 273^\circ$ abs. zu setzen ist, da in (10) γ_e auf 0°C bezogen ist. Damit erhält man

$$R = \frac{7992,73 \text{ m}}{273^\circ} = 29,276 \text{ m/Grad} \dots \dots (10a)$$

Natürlich kann man auch zu R wieder wie zu dem ihm proportionalen k_0 die Faktoren

$$\left(1 + \frac{3}{8} \frac{\frac{\pi_e}{p_e} + \frac{\pi}{p}}{2}\right), \quad (1 + 0,0026 \cos 2 \varphi), \quad \left(1 + \frac{h}{64000000}\right)$$

zur Berücksichtigung der Luftfeuchtigkeit, der geographischen Breite und der Veränderung der Schwere mit der Höhe hinzufügen. Beschränkt man sich auf den ersten Faktor und legt eine mittlere Luftfeuchtigkeit zugrunde, so erhält man etwa

$$R_m = 29,276 \left(1 + \frac{3}{8} \frac{1}{200}\right) = 29,33 \text{ m/Grad} \dots (10b)$$

Legt man diesen Wert von R zugrunde und nimmt wieder 5° Temperaturzunahme für 1000 m Höhenzunahme an, d. h. setzt nach (8a) $k = +0,005$, so erhält man nach (9a) und (9b), wenn man p in Millimeter Quecksilber und γ in g-Gewicht/cm³ ausdrückt,

$$\left. \begin{aligned} \log p &= 6,819 \log(1 - 0,000017668 h) + 2,880814, \\ \log \gamma &= 5,819 \log(1 - 0,000017668 h) + 0,095100 - 2. \end{aligned} \right\} (11a)$$

Die Ausrechnung ergibt die Tabelle 3, die sich von Tabelle 2 ein wenig unterscheidet, hauptsächlich zufolge der Berücksichtigung der Luftfeuchtigkeit.

Tabelle 3.

h in m	t in °C	p in mm Hg	1000γ in g-Gew./cm ³	p in g-Gew./cm ²
0	+ 10	760	1,245	1033,3
500	+ 7,5	715,4	1,182	972,6
1 000	+ 5	673,0	1,122	915,0
1 500	+ 2,5	632,8	1,065	860,4
2 000	0	594,7	1,010	808,5
2 500	— 2,5	558,5	0,957	759,4
3 000	— 5	524,2	0,907	712,8
3 500	— 7,5	491,8	0,859	668,6
4 000	— 10	461,1	0,813	626,8
4 500	— 12,5	431,9	0,769	587,3
5 000	— 15	404,5	0,727	550,0
5 500	— 17,5	378,5	0,687	514,6
6 000	— 20	354,0	0,649	481,3
6 500	— 22,5	330,8	0,612	449,7
7 000	— 25	308,9	0,577	420,0
7 500	— 27,5	288,3	0,544	392,0
8 000	— 30	268,9	0,513	365,5
8 500	— 32,5	250,6	0,483	340,7
9 000	— 35	233,3	0,454	317,2
9 500	— 37,5	217,1	0,427	295,2
10 000	— 40	201,9	0,402	274,5

Die Hauptunsicherheit der Tabellen 2 und 3 liegt in der Annahme über die Abnahme der Temperatur mit der Höhe.

Bei der Luftfahrt hat man aber die Möglichkeit, bei dem Aufstieg die Abnahme der Lufttemperatur zu bestimmen, z. B. indem man bei jeder Messung des Luftdruckes auch eine Messung der Lufttemperatur vornimmt. Dann hat man alle Daten zur genaueren Berechnung der Höhe zur Zeit jeder Luftdruckmessung. Insbesondere kommen derartige genaueren Höhenbestimmungen in Betracht, wenn es sich darum handelt, bei Probefahrten u. dgl. die Steigleistung des Fahrzeuges zu ermitteln.

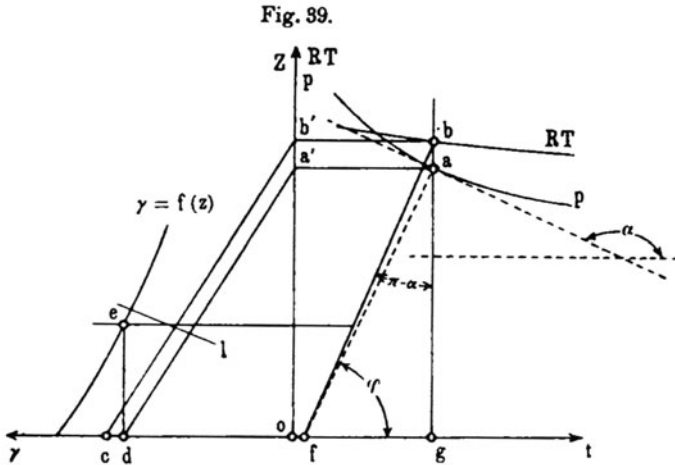
Hierbei ist noch zu berücksichtigen, daß es für den Vergleich der Steigleistung darauf ankommt, welche Steiggeschwindigkeit das Fahrzeug in Luft von bestimmter Dichte ermöglicht,

während die absolute Höhe nebensächlich ist, da derselben Höhe bei verschiedener Temperaturabnahme eine verschiedene Dichte entspricht.

Ein Verfahren, um diese Steiggeschwindigkeit aus Barogrammen zu ermitteln, ist von R. v. Mises angegeben und von v. Sanden noch verbessert worden. Aus der fortlaufend bestimmten Steiggeschwindigkeit kann man durch Integration auch die absolute Höhe finden.

Das graphische Verfahren v. Mises' besteht in folgendem:

In einem Diagramm, in welchem die Zeit t als Abszisse aufgetragen ist, wird RT , das bekannt ist, wenn die Temperatur t ,



also auch $T = 273 + t$ gemessen wird, sowie p als Funktion von t eingezeichnet (Fig. 39). Die Tangente in einem Punkt a der p -Kurve schneidet die t -Achse unter dem Winkel α , für den $\operatorname{tg} \alpha = dp/dt$ ist. Zieht man durch den zum selben t -Wert wie a gehörigen Punkt b der RT -Kurve die Senkrechte zur Tangente in a , so ist $fg = -RT \frac{dp}{dt}$ und daher, wenn man a mit f verbindet und $\sphericalangle(a, f, g) = \varphi$ setzt,

$$\operatorname{tg} \varphi = -\frac{p}{RT \frac{dp}{dt}} = \frac{1}{v}, \quad \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi} = \operatorname{ctg} \varphi = v \quad \dots \quad (13)$$

da nach (7) und (8a) die Steigggeschwindigkeit $v = \frac{dh}{dt}$ gegeben ist durch

$$\frac{dh}{dt} = v = -\frac{1}{\gamma} \frac{dp}{dt} = -\frac{RT \frac{dp}{dt}}{p}.$$

Um den zur Zeit t zugehörigen γ -Wert zu finden, ist im Diagramm als Abszisse nach links eine gleichmäßige γ -Teilung angebracht. Zieht man (Fig. 39) bb' und aa' parallel zur Abszissenachse, verbindet b' mit dem Punkt c , für den $\gamma = 1$ ist, und zieht $a'd$ parallel $b'c$, so ist $od : oc = p : RT$, also nach (8a)

$$od = \gamma \dots \dots \dots (14)$$

Damit hat man eigentlich alles, was man zu wissen wünscht, nämlich v für jeden Wert von γ , wobei v aus den Größen des Diagramms zu berechnen ist als $v = fg/ga$.

Will man mehr Anschaulichkeit haben, so kann man sich noch die Kurve konstruieren, die erkennen läßt, wie das Fahrzeug bei einer normalen Dichteverteilung steigen würde und welche Höhe es bei dieser normalen Dichteverteilung in der Zeit t erreicht hätte. Zu dem Zweck zeichnet v. Mises im linken Teil des Diagramms noch die normale Dichteverteilungskurve $\gamma = f(z)$ ein. (γ als Abszisse, z als Ordinate). Das Lot in d schneidet die γ -Kurve in der reduzierten Höhe z (Punkt e), in welcher bei der normalen Dichteverteilung die Dichte γ herrschen würde. Zieht man ferner durch e eine Parallele zur Abszissenachse und durch den um t von der Ordinatenachse nach links entfernten Punkt der Parallelen eine Senkrechte zu fa (Linie l), so bildet diese das Linienelement der reduzierten Höhe als Funktion von t ; denn die Senkrechte zu fa bildet gegen die t -Achse den Winkel $\psi = 90 - \varphi$, so daß $tg \psi = ctg \varphi = v = \frac{dz}{dt}$ ist. Indem man für genügend viele Zeitpunkte t die zugehörigen Linienelemente konstruiert, erhält man die ganze Kurve $z = f(t)$.

Diese Kurven, für verschiedene Fahrzeuge aufgenommen, gestatten ohne weiteres einen Vergleich hinsichtlich der Steigfähigkeit.

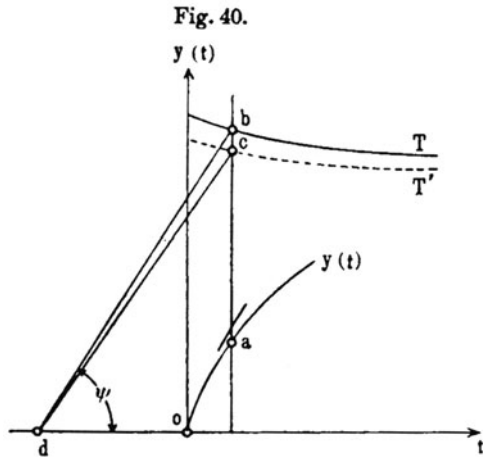
Will man aber die wahre erreichte Höhe h haben, so muß man sich die Kurve $v = f(t)$ konstruieren. Dann ist

$$h = \int_{t=0}^t v dt \dots \dots \dots (15)$$

d. h. h ist die Fläche zwischen Abszissenachse (t -Achse) und Kurve $v = f(t)$ von $t = 0$ (Erdboden) an bis zur Ordinate bei t . Trägt man diese Flächeninhalte über den zugehörigen t -Werten als Ordinaten auf, so erhält man die gewünschte Kurve $h = f(t)$.

Gestattet der Barograph nicht direkt die Drucke abzulesen, sondern besitzt er nur eine Normalhöhenenteilung, so kann man entweder die zu bestimmten abgelesenen Höhen zugehörigen Drucke aus einer entsprechenden Eich-tabelle entnehmen und wie oben verfahren, oder man kann nach v. Mises folgendes graphische Verfahren benutzen:

In einem Diagramm (Fig. 40) wird als Abszisse t , als Ordinate die abgelesene Höhenanzeige $y(t)$ des Barographen aufgetragen, außerdem die Kurve des wirklichen Temperaturverlaufes $T(t)$ ($T =$ Ordinate) und die Kurve des normalen Temperaturverlaufes $T'(t)$ (durch Zeichnen von T' als Funktion der y -Werte des Barographen erhalten). Zieht man in einem der Zeit t entsprechenden Punkt a der Barographenkurve $y = f(t)$ eine Tangente, durch den derselben Zeit t entsprechenden Punkt der $T'(t)$ -Kurve die Parallele cd zur Tangente und durch den zur selben Abszisse gehörigen Punkt der $T(t)$ -Kurve die Gerade bd , so ist, wenn ψ den Winkel zwischen bd und der t -Achse bedeutet,



$$\operatorname{tg} \psi = \frac{dy}{dt} \frac{T}{T'} = v \dots \dots \dots (16)$$

denn nach (13) besteht, wenn statt der wahren T andere Werte T' zugrunde gelegt werden, für das danach berechnete v' die Beziehung

$$\frac{v'}{v} = \frac{T'}{T}.$$

Aus dem so gefundenen Wert von v kann man dann wieder mit Hilfe von γ die reduzierte Höhe z als Funktion von v graphisch ermitteln.

v. Sanden hat zur Erzielung größerer Genauigkeit die von v. Mises angegebene graphische Methode zum Teil in ein Rechenverfahren nach einem Schema umgeändert¹⁾, das in Tabelle 4 und Fig. 41 in etwas abgeänderter, den hier benutzten Bezeichnungen und Zahlenwerten entsprechender Form wiedergegeben ist. Das Schema dürfte nach dem im vorhergehenden Entwickelten im allgemeinen ohne weiteres verständlich sein. Die als Beispiel in Spalte 2 des Schemas eingetragenen Höhenzahlen y sind nicht wirklich einem Barogramm entnommen, sondern willkürlich gewählt. Spalte 3 kann zur Kontrolle von Spalte 2 oder bei Fehlen eines Barographen ausgefüllt werden. Falls der Barograph eine Teilung nach Drucken besitzt, kann Spalte 4 direkt nach dem Barographen ausgefüllt werden. Als Beziehung zwischen y und p ist hier Tabelle 3 angenommen, in der die normale Höhe mit h bezeichnet ist. Die mittleren Differenzquotienten $\frac{\Delta_1 p + \Delta_2 p}{2 \Delta t}$ usw. sind in erster Annäherung gleich den Differentialquotienten $d p / d t$ zu den Minuten 0, 5, 10 usw. Die Temperaturverteilung nach Spalte 7 ist wieder willkürlich angenommen. Die Spalten 10 und 11 geben die gesuchte wichtige und charakteristische Beziehung zwischen Steiggeschwindigkeit v und spezifischem Luftgewicht γ . Diese Beziehung ist im unteren Teil des Diagramms (Fig. 41) graphisch dargestellt. Derartige Kurven, für verschiedene Luftfahrzeuge aufgenommen, geben ohne weiteres die gewünschte Vergleichsmöglichkeit für die Leistung derselben.

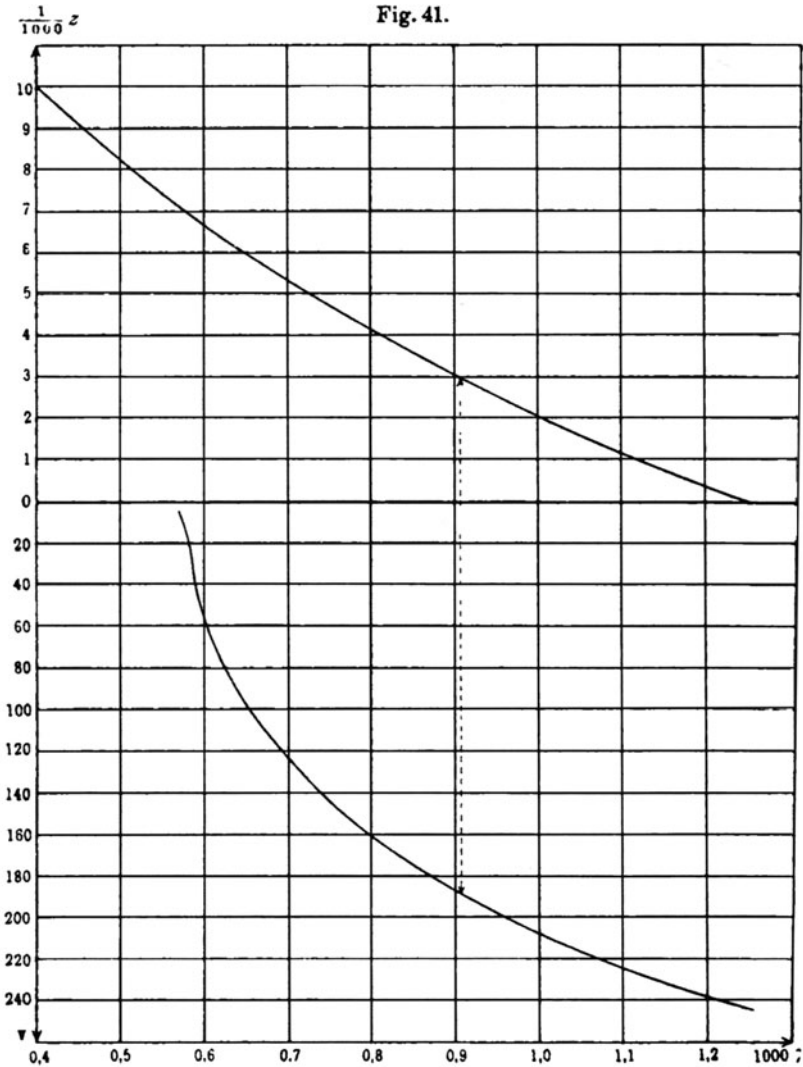
Zur weiteren Veranschaulichung der Flugleistung dienen die Spalten 12 bis 15, die unter Benutzung von Fig. 41 erhalten sind. Im oberen Teil des Diagramms (Fig. 41) ist die Beziehung zwischen Höhe z und spezifischem Luftgewicht γ bei normaler Dichteverteilung nach Tabelle 3 ($h = z$) eingetragen. Durch Kombinieren der oberen und unteren Kurve von Fig. 41 kann man angeben, welche Steiggeschwindigkeit das untersuchte Luftfahrzeug bei normaler Luftdichteverteilung in bestimmter Höhe z haben würde, da die obere Kurve z als Funktion von γ , die

¹⁾ Die Kenntnis dieses Schemas, das nicht publiziert ist, verdanke ich freundlichen Mitteilungen der Herren v. Lössel und v. Sanden.

Tabelle 4.

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
1 Uhrzeit t in Minuten, in gleichen Intervallen												
2 Dem Barogramm zu den Zeiten t entnommenen Höhenzahlen y in Metern	0	1100	2100	3000	3900	4500	5100	5600	6000	6500	6500	6600
3 Am Barometer zu den Zeiten t abgelesene Höhenzahlen y in Metern												
4 Den Angaben y des Barographen oder Barometers nach der Eichung entsprechende Drucke p in g-cm^2	1033	904	798	713	643	587	543	504	481	462	450	444
5 Druckdifferenzen $\frac{1}{2}p_1, \frac{1}{2}p_2, \frac{1}{2}p_3, \dots$ für die gleichen Zeitintervalle Δt von 1	129	106	85	70	56	44	35	27	19	12	6	
6 Mittlere Differenzenquotienten $\frac{\frac{1}{2}p_1 + \frac{1}{2}p_2}{2 \Delta t}$	(28,7)	23,5	19,1	15,5	12,6	10,0	7,9	6,2	4,6	3,1	1,8	0,6
7 Abgelesene Temperatur $t^\circ\text{C}$ zu den Zeiten t	+ 20	+ 16	+ 12	+ 8	+ 4	+ 1	- 2	- 5	- 7	- 9	- 11	- 13
8 Absolute Temperatur $T = t + 273$	293	288	285	281	277	274	271	268	266	264	262	260
9 Spez. Gewicht der Luft γ	859400	847670	835900	824200	812400	803600	794800	788000	780200	774800	768400	762800
10 Spez. Gewicht der Luft γ	0,001202	0,001067	0,000955	0,000865	0,000781	0,000750	0,000683	0,000645	0,000617	0,000587	0,000566	0,000575
11 Steiggeschwindigkeit $v = \frac{1}{100} \frac{dp}{dt}$ m Min.	239	220	200	179	158	137	116	96	76	52	31	11
12 Höhe z bei normaler Luftdichteverteilung, in gleichen Intervallen	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500
13 Steiggeschwindigkeiten v , die zu den Normalhöhen z gehören, nach Fig. 41	244	236	228	220	210	200	189	178	165	152	118	70
14 Reduzierte Steigzeiten $\Delta \tau = \frac{1}{v}$ für die Höhenintervalle Δz in Minuten	2,05	2,12	2,19	2,27	2,34	2,50	2,65	2,81	3,08	3,29	3,70	4,66
15 Reduz. Steigzeit $\tau = \frac{1}{2} \Delta \tau + \frac{1}{2} \tau + \dots + \frac{1}{2} \tau$ für die Höhen z bei normaler Dichteverteilung in Minuten	—	2,08	4,24	6,46	8,79	11,23	13,80	16,53	19,45	22,61	26,11	30,08
											34,53	40,43

untere v als Funktion von γ darstellt. Z. B. gehört, wie in Fig. 41 durch die mit Pfeilen versehene punktierte Linie angedeutet ist.



zu der Höhe $z = 3000$ m in unserem Falle die Geschwindigkeit 189 m/Min. In dieser Weise sind die in Spalte 13 eingetragenen zu den Höhen $z = 0$ m, 500 m, 1000 m usw. gehörigen Geschwin-

digkeiten v erhalten. Man sieht, daß danach z. B. der Höhe $z = 3000$ m der Wert $v = 189$ m/Min. zugeordnet wird, während nach Spalte 2 und 11 zur Höhenzahl $y = 3000$ des Barographen der Wert $v = 179$ m/Min. gehört. Dieser Unterschied liegt natürlich daran, daß der in Spalte 7 eingetragene Temperaturverlauf nicht der normale, in Tabelle 3 vorausgesetzte ist. In Spalte 14 sind die Zeiten $\Delta\tau = \frac{\Delta z}{v} = \frac{500}{v}$ eingetragen, die das Fahrzeug bei normaler Dichteverteilung zum Steigen um je 500 m brauchen würde. Durch Aufaddieren dieser Zeiten $\Delta\tau$ erhält man schließlich die in Spalte 15 eingetragenen Zeiten τ , die das Fahrzeug bei normaler Dichteverteilung zum Erreichen der Höhen 500 m, 1000 m, 1500 m usw. brauchen würde. Beim Aufaddieren sind die ersten und letzten in Betracht kommenden $\Delta\tau$ nur halb zu nehmen, da sonst zwei halbe Intervalle von je 225 m zu viel in Rechnung gesetzt würden; es gilt also die in Spalte 15 angegebene Formel

$$\tau = \frac{1}{2} \Delta\tau_1 + \Delta\tau_2 + \Delta\tau_3 + \dots + \frac{1}{2} \Delta\tau_n,$$

wenn $\Delta\tau_n$ das letzte beim Aufaddieren in Betracht kommende $\Delta\tau$ ist und $\Delta\tau_1$ das erste $\Delta\tau$, hier $\Delta\tau_1 = 2,05$ Min. Nach Spalte 12 und 15 würde z. B. bei normaler Luftdichteverteilung die Höhe $z = 3000$ m in 13,8 Min. erreicht werden, während nach Spalte 1 und 2 die Höhenzahl $y = 3000$ m des Barographen erst in 15 Min. erreicht wurde.

Die Summe $\tau = \frac{1}{2} \Delta\tau_1 + \Delta\tau_2 + \dots + \frac{1}{2} \Delta\tau_n$ ist eine Annäherung für das Integral

$$\tau = \int_0^z \frac{dz}{v}.$$

Die wirklichen zu den Zeiten 5, 10, 15 Min. usw. erreichten Höhen h , die für die Leistung des Luftfahrzeugs nicht charakteristisch sind, da sie von der Luftdichteverteilung, d. h. hauptsächlich von der Temperaturverteilung abhängen, sind in Tabelle 4 nicht berechnet. Sie müßten nach Formel (15) in der bei dieser angegebenen Weise oder näherungsweise als Summe

$$h = \frac{1}{2} v_1 \Delta t + v_2 \Delta t + \dots + \frac{1}{2} v_n \Delta t$$

nach Spalte 1 und 11 von Tabelle 4 mit $\Delta t = 5$ Min. ermittelt werden.

Eine empirische Meßmethode zur Bestimmung kleiner Höhenunterschiede, die darauf beruht, daß man mit dem Ballonvariometer die Vertikalgeschwindigkeit mißt, ist in 2c an Hand dieses Instrumentes erläutert.

2. Aufbau der Apparate zur barometrischen Höhenmessung, ihre Genauigkeit und ihre Eichung.

Für die barometrische Höhenmessung bei Luftfahrten kommt das genaueste Barometer, das Quecksilberbarometer (Fig. 38), wegen seiner Unhandlichkeit, seiner Zerbrechlichkeit bei den auftretenden Erschütterungen usw. nicht in Betracht; es sind fast ausschließlich „Aneroidbarometer“ in Verwendung, die ihrerseits mit Quecksilberbarometern geeicht werden. Auch die als Höhenmesser für terrestrische Zwecke gebräuchlichen Aneroidbarometer genügten den Anforderungen, die bei der Luftfahrt gestellt werden, nicht, sondern mußten durch besondere Maßnahmen den Verhältnissen bei der Luftfahrt angepaßt werden.

Das Prinzip der für die Luftfahrt verwendeten Form des Aneroidbarometers, des Dosenaneroïds, das zuerst von Vidi konstruiert wurde, ist aus Fig. 42 und 43 zu ersehen, und zwar zeigt Fig. 42 eine Ausführung als Zeigerinstrument, Fig. 43 eine solche als Barograph oder Höhenschreiber.

Der Hauptbestandteil des Aneroids ist eine Metalldose k (Fig. 42), deren Inneres evakuiert, also von Luft befreit ist. Die starke Metallfeder P , die mittels der Träger R an der Bodenplatte des Apparates befestigt ist, ist mit der Mitte des kreisförmig gewellten, aus einer elastischen Membran bestehenden Dosendeckels bei M verbunden und wirkt dem äußeren Luftdruck entgegen, so daß Gleichgewicht zwischen dem den Deckel eindrückenden Luftdruck und der Federkraft besteht. Sobald sich der Luftdruck ändert, hebt oder senkt sich die Deckelplatte etwas. Diese Bewegung wird durch das mit der Feder verbundene Stäbchen l , den Hebel mr und die feine Kette s , die um die Achse des Lagers gewunden und an ihr befestigt ist, auf den Zeiger übertragen, der in der einen Drehrichtung durch eine schwache Spiralfeder so weit gedreht wird, daß die Kette stets schwach gespannt ist. Bei steigendem Luftdruck wickelt sich die Kette auf die Zeigerachse auf, so daß der Zeiger sich im Uhr-

zeigersinn dreht, bei fallendem Luftdruck wickelt sich die Kette ab und der Zeiger dreht sich links herum.

Die Hauptbestandteile eines registrierenden Aneroids oder „Barographen“ (in der Ausführung von C. P. Goerz. Friedenau-

Fig. 42.

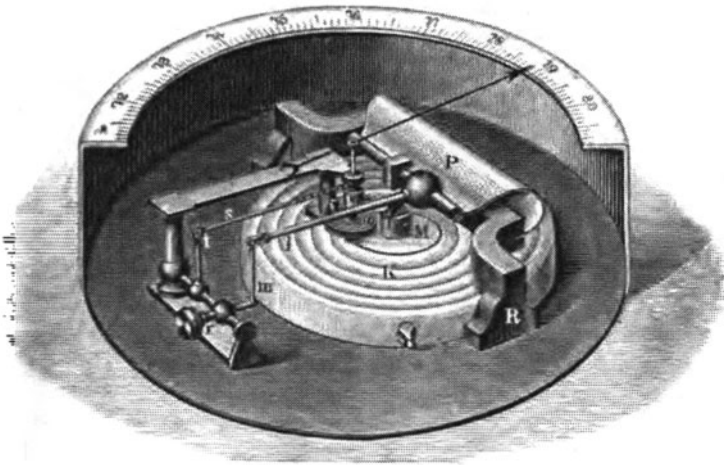
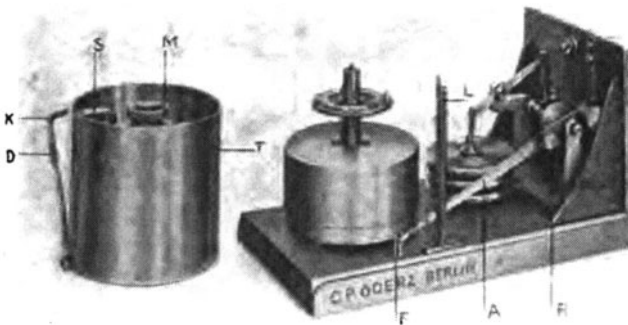


Fig. 43.



Berlin) ist aus Fig. 43 zu ersehen. Es sind mehrere Dosen mit federnden Böden und Deckeln übereinander gesetzt, so daß eine größere Bewegung des obersten Dosedeckels ermöglicht wird. Im Innern der Dosen ist eine Feder untergebracht, die je nach dem äußeren Luftdruck mehr oder weniger zusammengedrückt

wird und ihm so das Gleichgewicht hält. An dem obersten Dosen-
deckel ist das eine Ende eines zweiarmigen Hebels befestigt, der
im Gehäuse des Apparates gelagert ist. Die Bewegung des anderen
Endes wird auf den langen Hebel *A* übertragen, der an seinem
Ende eine Schreibfeder *F* trägt. Die Feder kann durch eine
Schraube *R* gegen ein Papierblatt gedrückt werden, das rings-
um eine (in Fig. 43 vom Apparat abgehobene und daneben ge-
stellte) Trommel *T* gelegt ist und an ihr durch eine Papier-
klemme *K*, die sich in die Feder *S* legt, durch Druck bei *D* fest-
geklemmt wird. Die Trommel wird durch eine Mutter *M* auf ein in
Fig. 43 vor der Schreibfeder befindliches Uhrwerk aufgeschraubt,
das so eingerichtet ist, daß sich die Trommel etwa in 0,5 bis
12 Stunden (je nach Bestellung) einmal umdreht. Der Schreib-
stift zeichnet dabei auf dem Papier ein „Barogramm“ auf von
der Art, wie eins als Beispiel in Fig. 44 in verkleinertem Maßstabe
wiedergegeben ist. Die der Längskante des Papiers parallelen
Linien sind Linien gleicher Höhe. Die gekrümmten Linien, deren
Krümmungsradius gleich der Länge des Hebels *A* sein muß
(Fig. 43), sind Linien gleicher Zeit. Das vorliegende Barogramm
gehört zu einem Barographen von Fuess, Steglitz-Berlin, bei dem
sich die Trommel in 6 Stunden einmal umdreht und der für
Höhen bis 5000 m bestimmt ist. Die Höhenlinien beziehen sich
natürlich auf normale Luftdichteverteilung (s. Teil II, 1). Im vor-
liegenden Falle hat das Luftfahrzeug nach dem Barogramm eine
maximale Höhenzahl von etwa 2000 m erreicht.

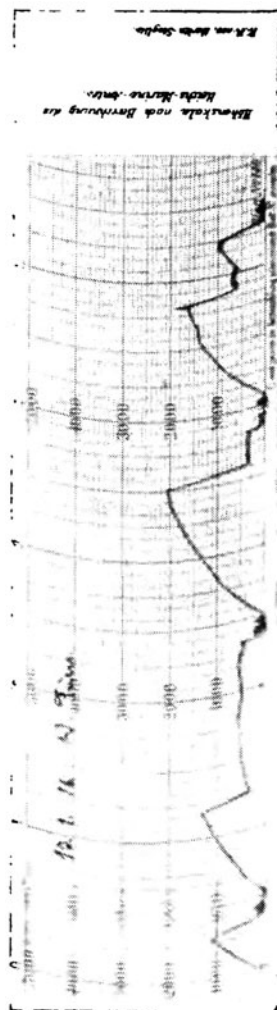
Der Hauptfehler der Aneroide, dessen Verringerung die
neueren Konstruktionen anstreben, besteht darin, daß die Beziehung
zwischen Zeigerstellung und Luftdruck nicht eindeutig ist, sondern
außer von der Temperatur des Instrumentes auch von der Vor-
geschichte abhängt, d. h. von den Luftdrucken, denen das In-
strument in der vorhergehenden Zeit ausgesetzt war. Außerdem
besitzen die Aneroide gewöhnlicher Konstruktion für die Luft-
fahrt in der Regel zu große Empfindlichkeit gegen Erschütterungen.

Der Temperatureinfluß, der stets derselbe ist und daher auch
durch Anbringung von Korrekturen an der Anzeige des Instru-
mentes je nach seiner Temperatur berücksichtigt werden kann,
läßt sich mit hinreichender Genauigkeit z. B. in folgender Weise
beseitigen: Ein Hebelarm des Zeigerwerkes wird als Kompen-
sationsstreifen ausgebildet, d. h. der Länge nach geteilt und aus

zwei verschiedenen Metallen (z. B. aus Kupfer und Invar) zusammengesetzt, so daß er sich bei Temperaturänderung senkrecht zur Trennungsfäche der beiden Metalle krümmt. Steht die Senkrechte zur Trennungsfäche parallel der Drehachse des Hebels, so hat die Krümmung keinen Einfluß auf die Hebelübertragung, steht sie senkrecht zur Drehachse, so ist der Einfluß der Krümmung bei Temperaturänderung am größten. Durch geeignet ausprobierte Zwischenstellung des um seine Längsachse einstellbaren Hebels kann die Kompensation des Temperatureinflusses erreicht werden.

Der Einfluß früherer Drucke auf die Anzeige des Aneroids¹⁾ ist um so größer, je mehr sie sich von dem zu messenden Druck unterscheiden, daher für die verhältnismäßig kleinen natürlichen Barometerschwankungen an einem bestimmten Ort nur unbedeutend. Er muß jedoch für Druckschwankungen, wie sie bei Höhenmessungen vorkommen, schon bei der Eichung berücksichtigt werden. Dies geschieht in folgender Weise: Das Aneroid wird unter die Glocke einer Luftpumpe gestellt und der Druck zunächst in einem bestimmten Tempo erniedrigt, etwa um 2 mm in der Minute. Hierbei notiert man die Angaben des Instrumentes bei verschiedenen, durch ein Quecksilberbarometer gemessenen Drucken jedesmal etwa 2 Minuten nach Erreichung derselben. Ist der tiefste Druck, bis zu welchem gemessen werden soll, erreicht, so wird eine Pause von angegebener Zeit,

Fig. 44.

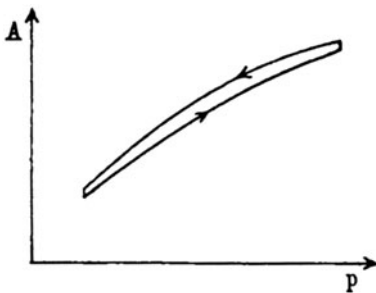


¹⁾ Die folgenden drei Absätze sind im wesentlichen der Abhandlung von Warburg und Heuse (Literaturverzeichnis Nr. 8) entnommen.

etwa von einer halben Stunde, gemacht, wobei die Angabe des Instrumentes bei konstantem Druck weiter sinkt. Hierauf erhöht man den Druck bis zum Anfangswert in demselben Tempo, in welchem man ihn vorher erniedrigte und macht dabei dieselben Ablesungen bei denselben Drucken wie bei absteigendem Druck. Stellt man die so gewonnenen Ablesungen A am Aneroid als Funktion des Druckes p dar, so erhält man eine Schleife, wie Fig. 45 sie darstellt. Für denselben Druck zeigt also das Aneroid in der absteigenden Periode höher als in der aufsteigenden.

Bei dem beschriebenen Prüfungsverfahren muß eine Schleife der geschilderten Art durch elastische Nachwirkung entstehen. Wäre aber diese die einzige Ursache der Schleife, so

Fig. 45.



müßte die letztere verschwinden, wenn man die zyklische Druckerniedrigung langsam vornähme. Indessen bleibt tatsächlich auch bei sehr langsamem Tempo des Zyklus der größte Teil der Schleife bestehen oder, anders ausgedrückt, der größte Teil der Schleife ist innerhalb weiter Grenzen unabhängig von diesem. Daher wird von

den meisten Autoren neben der von der Zeit abhängigen elastischen Nachwirkung eine von der Zeit völlig unabhängige elastische Hysteresis nach Art der magnetischen Hysteresis angenommen.

Da bei praktischen Höhenmessungen die Druckabnahmen und Druckzunahmen wechseln, ist es nicht möglich, die elastische Nachwirkung und Hysteresis jeweils durch entsprechende Korrekturen zu berücksichtigen. Andererseits sind sie durchaus nicht zu vernachlässigen: Die maximale Schleifenöffnung ergab sich für 22 Instrumente, welche in den Jahren 1905/16 in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt geprüft wurden, zwischen 760 und 400 mm Quecksilber im Mittel zu 11 mm. Für andere zu Höhenunterschieden $h_1 - h_2$ gehörige Druckintervalle $p_1 - p_2$ ergibt sich, insbesondere nach Messungen von Chree für die Schleifenbreite $\delta_{p_1 - p_2} = 14[-0,01105 + 8,236 \cdot 10^{-4}(p_1 - p_2) + 4,16 \cdot 10^{-6}(p_1 - p_2)^2]$,

woraus sich z. B. für $p_1 - p_2 = 760 - 270 = 490$ mm, d. h. für etwa $h_2 = 8000$ m, ergibt

$$\delta_{490} = 29,6 \text{ mm.}$$

Entspricht die Eichung des Instrumentes den Mittelwerten bei fallendem und steigendem Druck, so muß man also in etwa 4000 m Höhe bei einem Gesamtaufstieg bis zu 8000 m mit Fehlern bis zu etwa 15 mm Quecksilber oder mit Fehlern bis zu 250 m rechnen. Dadurch wird die Genauigkeit der in II. 1. dargelegten Messungen natürlich sehr beeinträchtigt.

Unangenehm sind diese Fehler vor allem auch deshalb, weil ein großer Teil derselben bestehen bleibt, wenn man zu geringen Höhen herabgeht, so daß man sich dort beim Verlassen auf das Aneroid erheblich über die Entfernung des Erdbodens täuschen kann, was bei Nebel oder dgl. verhängnisvoll ist. Man kann unmöglich vom Luftfahrer verlangen, daß er an der Anzeige des Höhenmessers je nach der Maximalhöhe, die er erreicht hat, eine entsprechende Korrektur anbringt.

Warburg und Heuse haben gesucht, durch prinzipielle Maßnahmen den Einfluß der elastischen Nachwirkung und Hysteresis auf ein möglichst kleines Maß herabzudrücken und sind bei ihren theoretischen und experimentellen Arbeiten zu folgendem Ergebnis gekommen:

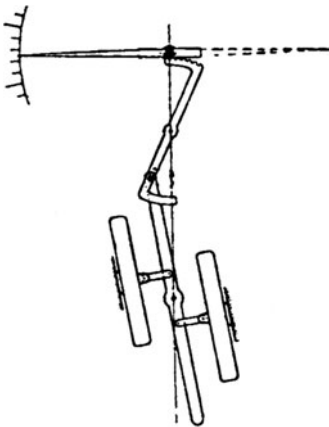
Die elastische Hysteresis und Nachwirkung wird zum größten Teil durch die Membran des Dosendeckels hervorgerufen, weniger durch die dem Luftdruck entgegenwirkende Feder, die an sich nur eine maximale Schleifenöffnung von weniger als 3 Prom. der Gesamtdeformation hervorruft. Der schädliche Einfluß der Membrannachwirkung kann durch folgende Mittel verringert werden: 1. Verkleinerung der Kraft, welche der Dosendeckel einer Durchbiegung entgegensetzt durch Anwendung sehr dünner, harter Neuailbermembranen und durch Verwendung mehrerer Dosen mit Membrandeckeln und Böden übereinander. 2. Anwendung einer starken Feder, so daß die Bewegung des Dosendeckels bei Luftdruckschwankungen gering wird, und entsprechende Vergrößerung der Übersetzung des Zeigerwerkes, um genügend große Zeigerbewegungen zu erhalten.

Bei Anwendung dieser Mittel gelang es Warburg und Heuse, Aneroide herzustellen, für welche bei Drucken zwischen 760 und

410 mm die maximale Schleifenbreite 2 mm Quecksilber nicht überstieg.

In ganz anderer Richtung bewegen sich die Verbesserungen, welche die Firma C. P. Goerz, Friedenau, speziell für die Zwecke der Luftfahrt an den Aneroiden angebracht hat. Wegen der Erschütterungen im Flugzeug mußte in diesem das Aneroid und der Barograph federnd aufgehängt werden, damit nicht Änderungen der Anzeige durch Verbiegungen u. dgl. entstehen und damit der Zeiger genügend ruhig steht. Die Firma C. P. Goerz sucht den schädlichen Einfluß von Erschütterungen auszuschalten,

Fig. 46.



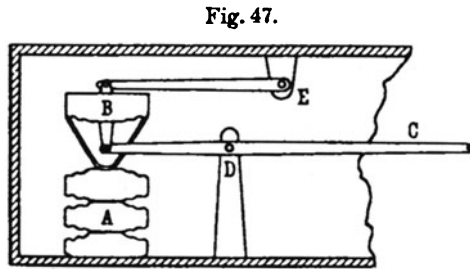
indem sie alle beweglichen Teile des Aneroids so ausbildet, daß ihre Massen in bezug auf die Drehungspunkte oder -linien statisch und dynamisch ausgeglichen sind, so daß bei Erschütterungen nur Kräfte auf die Drehungsachsen ausgeübt werden, ohne daß die beweglichen Teile in Schwingungen geraten. Dies ist dadurch erreicht (Fig. 46), daß alle beweglichen Teile so geformt sind, daß sie in gleichen Abständen von den Drehpunkten gleiche Massen aufweisen. Selbst die Aneroid-

dosen sind symmetrisch zu ihrer Übertragungsachse gelagert. Dies Mittel hilft so vollkommen, daß die Aneroide ohne federndes Zwischenglied direkt an der stark vibrierenden Flugzeugwand befestigt werden können. Die Vibrationen verhindern dabei das Nachhinken des Zeigers zufolge Reibung in den Übertragungsteilen, die man sonst durch Klopfen gegen das Instrument ausschaltet. Außerdem sollen die starken Massenkräfte, die nunmehr auf das Aneroid wirken, nach Angabe der Firma C. P. Goerz bewirken, daß die Nachwirkungserscheinungen wesentlich verkleinert werden. Ob die auftretenden Stöße dazu ausreichen, kann nur im einzelnen Falle beurteilt werden. Prinzipiell ist jedenfalls ein solcher Einfluß durchaus vorhanden, wovon ich mich selbst noch persönlich durch Versuche mit Schraubenfedern aus Stahl und Messing überzeugt habe. Bei

denselben verschwand durch mehrmaliges Fallenlassen auf eine Eisenplatte aus 50 cm Höhe die elastische Nachwirkung und auch die Hysteresiswirkung nahezu vollkommen, wobei die etwa 20 cm lange Feder, die vorher für einige Sekunden ausgereckt gewesen war, sich um 2 mm und mehr verkürzte, so daß die fragliche Erscheinung leicht mit einfachen Hilfsmitteln beobachtbar war.

Ein zweiter Weg zur Beseitigung der Nachwirkungserscheinungen ist von der Firma Goerz ganz neuerdings auf Grund einer Erfindung von Bennewitz bei der Konstruktion von Barographen besprochen worden. Der grundlegende Gedanke ist dabei folgender (Fig. 47): Die beiden Aneroiddosen *A* und *B* wirken gleichzeitig im entgegengesetzten Sinne auf den kurzen Arm des bei *D* drehbar gelagerten Schreibhebels *C*, was z. B. dadurch

erreicht wird, daß die Bewegung des obersten Deckels von *A* auf den um *E* drehbar befestigten Boden von *B* übertragen wird und der Membrandeckel von *B* erst mit dem Schreibhebel *C* verbunden ist.



Wären *A* und *B* genau gleich und hätten sie gleiche Nachwirkungserscheinungen, so würde sich bei der Anordnung nach Fig. 47 bei Luftdruckänderungen der Hebel *C* überhaupt nicht bewegen. Macht man *A* derart, daß die Bewegung des Deckels groß (etwa durch Uebersetzung mehrerer Dosen), die Nachwirkung möglichst klein ist, dagegen die Dose *B* derart, daß die bei Luftdruckänderungen eintretende Bewegung ihres Deckels klein, dagegen die Nachwirkung prozentual groß ist (etwa durch Benutzung schlechten Materials), so kann man es erreichen, daß die gesamte gegeneinander wirkende Nachwirkungsbewegung von *A* und *B* verschwindet, dagegen eine nachwirkungsfreie Bewegung des Schreibhebels übrig bleibt. — Diese Bennewitzsche Kompensation der Nachwirkung, die sich natürlich nicht nur für Höhenmesser, sondern auch für Zeigeraneroide anwenden lassen wird, dürfte die beste Methode sein, um sich von der Nachwirkung unabhängig zu machen.

Über die Art der Eichung der Aneroide sind oben (S. 59) schon nähere Angaben gemacht. Es wird der Eichung das **Mitte** aus den Angaben des Aneroids bei steigendem und bei fallendem Luftdruck zugrunde gelegt, wobei das **Tempo** der Druckänderung nicht wesentlich ist.

Die Wirksamkeit der Temperaturkompensationsvorrichtung, die alle Höhenmesser haben sollten, muß dadurch geprüft werden, daß das Instrument auf verschiedene Temperaturen gebracht und seine Anzeige dabei mit derjenigen eines auf konstanter Temperatur gelassenen Quecksilberbarometers verglichen wird.

Bei allen Vergleichen muß natürlich die Temperatur des Quecksilberbarometers berücksichtigt werden, sowie die geographische Breite, in welcher die Vergleichung stattfindet. Die Tabellen 2 u. 3 beziehen sich auf die Temperatur 0°C des Quecksilberbarometers und auf die geographische Breite 45° .

Ist die Temperatur des Quecksilberbarometers t° und die geographische Breite φ , so vermehrt sich beim Luftdruck p mm Quecksilber die an der Skala abgelesene Länge der Säule um

$$(0,000182 - \beta)pt + 0,0026 p \cos 2\varphi,$$

wobei 0,000182 der Wärmeausdehnungskoeffizient des Quecksilbers und β derjenige des Skalenmaterials ist, der für Messing 0,000163 beträgt.

Unter Berücksichtigung dieser Korrekturen ist während des Weltkrieges von der deutschen Fliegertruppe als Normalskala für Berlin ($\varphi = 52,5^{\circ}$) die Tabelle 5 aufgestellt worden, die auch von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ihren Prüfungen zugrunde gelegt wird und mit der früheren Höhenskala des Reichsmarineamtes hinreichend übereinstimmt. Die Skala ist in ähnlicher Weise berechnet wie Tabelle 2, schließt sich aber Tabelle 3 noch etwas besser an, so daß für die auf 0°C und 45° Breite reduzierten Barometerstände in mm Quecksilber und die zugehörigen Drucke in g-Gew./cm² am besten Tabelle 3 zugrunde gelegt wird. Die Werte von p nach Tabelle 3 müssen also auf dem zu eichenden Aneroid neben den Höhenzahlen angebracht werden, falls die Skala auch die Druckangaben enthalten soll. Die Barometerstände in mm nach Tabelle 5 beziehen sich nur auf die Anzeige des bei der Eichung verwendeten Quecksilberbarometers.

Zur Feststellung kleiner Höhenänderungen, z. B. beim Landen von Luftschiffen, sind geeigneter als die Aneroide die sogenannten Luftdruckvariometer in der Form, die ihnen A. Bestelmeyer und später andere gegeben haben. Diese Variometer ermöglichen aber nicht die Bestimmung der absoluten Höhe, sondern nur die kleiner Höhenänderungen, indem man Vertikalgeschwindigkeit und Zeit

Tabelle 5.

Aneroid- anzeige Höhe in m	Anzeige des Normalquecksilberbarometers mit Messingskala in der geographischen Breite von Berlin bei den Temperaturen					
	5°	10°	15°	20°	25°	30°
0	760,0	761,0	761,5	762,0	762,5	763,0
500	715,5	716,0	716,5	717,0	718,0	718,5
1 000	673,0	673,5	674,0	674,5	675,0	675,5
1 500	632,5	633,0	633,5	634,0	634,5	635,0
2 000	594,5	595,0	595,5	596,0	596,5	597,0
2 500	558,5	559,0	559,5	559,5	560,0	560,0
3 000	524,0	524,5	525,0	525,5	525,5	526,0
3 500	491,5	492,0	492,5	492,5	493,0	493,5
4 000	461,0	461,0	461,5	462,0	462,5	462,5
4 500	432,0	432,0	432,5	433,0	433,0	433,5
5 000	404,0	404,5	405,0	405,0	405,5	406,0
5 500	378,0	378,5	379,0	379,0	379,5	380,0
6 000	353,0	354,0	354,0	354,5	355,0	355,0
6 500	330,5	331,0	331,0	331,5	332,0	332,0
7 000	309,0	309,0	309,5	309,5	310,0	310,0
7 500	288,5	288,5	289,0	289,0	289,0	289,5
8 000	269,0	269,0	269,5	269,5	269,5	270,0
8 500	250,5	250,5	251,0	251,5	251,5	251,5
9 000	233,5	233,5	234,0	234,0	234,5	234,5
9 500	217,5	217,5	217,5	218,0	218,0	218,0
10 000	202,0	202,5	202,5	202,5	203,0	203,0

mißt. Das „Ballonvariometer“ nach Bestelmeyer ist eine Um-
bildung des Luftdruckvariometers nach Hefner-Alteneck. Das
Ballonvariometer besteht aus einer mit gutem Wärmeschutz ver-
sehenen Flasche (Fig. 48), die einerseits durch ein Kapillarrohr
und ein Trockenrohr mit der Atmosphäre, andererseits durch eine
Schlauchverbindung mit einem empfindlichen Flüssigkeitsmano-
meter verbunden ist. Die Dimensionen des Manometers sind so
gewählt, daß der Wärmeausdehnungskoeffizient und der Tem-
peraturkoeffizient der Kapillarität sich gegenseitig aufheben. Bei

einer Höhenänderung und dementsprechend Änderung des äußeren Luftdrucks, nimmt das Manometer in zwei bis vier Sekunden bei konstanter Vertikalgeschwindigkeit des Luftfahrzeuges eine konstante Einstellung an, aus der also auf die Vertikalgeschwindigkeit, mithin bei gleichzeitiger Zeitbestimmung auf die Höhenänderung geschlossen werden kann. Durch die Kapillare strömt nämlich dauernd, je nachdem das Fahrzeug steigt oder fällt, bei konstanter Vertikalgeschwindigkeit gerade so viel Luft aus oder ein, daß die Druckdifferenz zwischen dem Innern der Flasche und der Außenluft konstant bleibt. Das Luftdruckvariometer nach Hefner-Alteneck dagegen, das keine lange Kapillare, sondern eine sehr feine Öffnung als Verbindung mit der Außenluft besitzt, nimmt auch bei konstanter Vertikalgeschwindigkeit keine konstante Einstellung an; die Öffnung zur Außenluft ist nämlich so

Fig. 48.

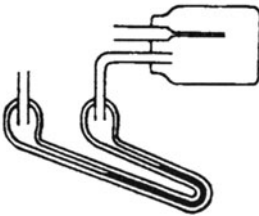
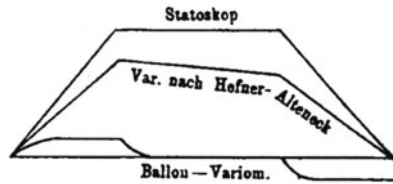


Fig. 48a.



klein, daß sich der Druckunterschied nur sehr, sehr langsam ausgleicht, also beim Steigen oder Fallen des Fahrzeuges ständig vergrößert. Diese Verhältnisse sind in Fig. 48a graphisch dargestellt, in welcher als horizontale Abszisse die Zeit, ausgehend von einem Moment der Ruhe des Fahrzeuges, als vertikale Ordinate die Anzeige des Manometers eingetragen ist. Der linke Teil der Kurven bezieht sich auf Steigen des Fahrzeuges, der mittlere Teil auf Verharren in konstanter Höhe, der rechte Teil auf Sinken des Fahrzeuges. Das Statoskop, auf das sich die oberste geknickte Linie bezieht, entsteht aus dem Variometer, wenn man die Verbindung zur Außenluft ganz abschließt; es zeigt also dauernd den Druckunterschied zwischen der Ausgangshöhe und der jeweiligen Höhe an und ist, falls das Manometer empfindlich genug ist, daher nur für geringe Höhenunterschiede brauchbar. Das Hefner-Altenecksche Variometer hat nach der mittleren Kurve auch bei

konstanter Höhe keine konstante Einstellung. Das Bestelmeyer'sche Ballonvariometer dagegen stellt sich bei konstanter Höhe rasch auf den Nullpunkt, bei gleichbleibender Steig- oder Fallgeschwindigkeit rasch auf einen konstanten Ausschlag des Manometers ein. Die Eichung des Variometers nach Bestelmeyer kann z. B. empirisch in einem Fahrstuhl erfolgen. Die Genauigkeit seiner Anzeige ist wegen der Dichteänderung der Luft mit der Höhe und der Änderung der Reibung in der Kapillare nicht sehr groß; es sind Fehler von wenigstens 10 Proz. zu erwarten.

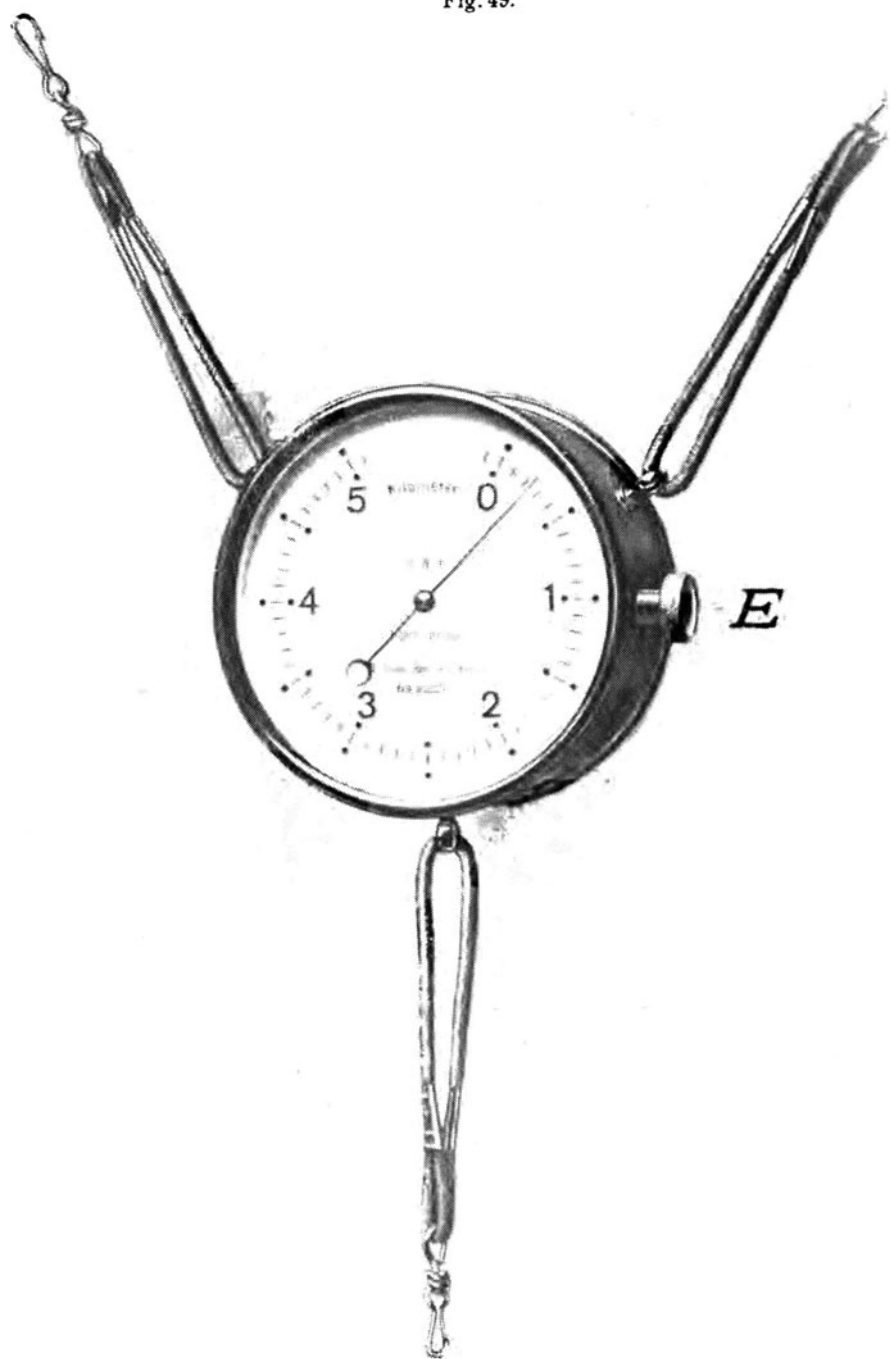
3. Ausführungsbeispiele barometrischer Höhenmesser für die Luftfahrt.

a) Apparate der Firma R. Fuess, Berlin-Steglitz.

Fig. 49 zeigt ein Aneroid, dessen Skala 95 mm Durchmesser hat, von 100 zu 100 m geteilt ist und bis 5000 m reicht. Man sieht die elastischen Gummischnüre zum Aufhängen des Aneroids an drei Punkten und bei *E* einen Knopf, der dazu dient, den Nullpunkt des Instruments, der ja vom Barometerstand auf dem Erdboden abhängig ist und sich auch aus anderen Gründen mit der Zeit etwas ändert, vor dem Aufstieg richtig einzustellen, so daß der Zeiger auf dem Teilstrich 0 steht. In Fig. 49a ist ein Zifferblatt dargestellt, das eine feinere Teilung und außerdem außer der Höhenteilung noch eine Druckteilung in Millimetern Quecksilber besitzt. Von Flugzeugführern werden aber die gröberen Teilungen wegen der leichteren Ablesbarkeit den feineren Teilungen vorgezogen. Natürlich kann das Aneroid auch für größere Höhen als 5000 m ausgeführt werden.

Die Inneneinrichtung des Höhenmessers weicht von der früheren Bauart der Fuessschen Aneroidbarometer völlig ab. Die dem Luftdruck entgegenwirkende Feder ist im Doseninnern angebracht, so daß sie jeder Rostgefahr und den sich daraus ergebenden Veränderungen entzogen ist. Der Zeigermechanismus ist in verbesserter Weise in Spitzen gelagert. Die neuartige, zwangsfreie Kupplung zwischen Dose und Zeigermechanismus besteht aus einer an der Dose angebrachten polierten Achatplatte, auf welcher der Zeigerhebel mit einer Schraubenspitze aufsteht. Zwei Spiralfedern zu beiden Seiten der Schraube, welche einerseits am Zeigerhebel, andererseits an zwei Häkchen der Dose angehakt sind, pressen Schraube und Achatplatte mit leichtem,

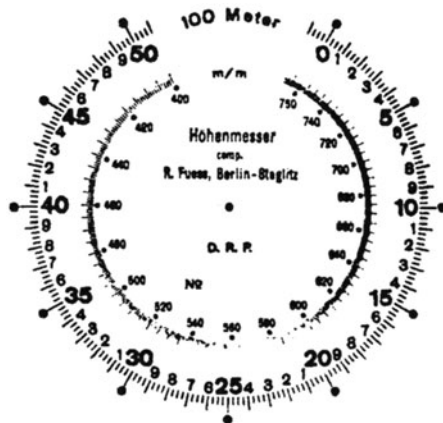
Fig. 49.



gleichbleibendem Druck gegeneinander. Das Instrument besitzt Temperaturkompensation.

In Fig. 50 ist ein registrierender Höhenmesser (Barograph) abgebildet, der aus dem eigentlichen Instrument und dem Schutzkasten besteht. Alle Teile des Instruments sind auf eine Grundplatte aus Aluminium gesetzt. Zwei Aneroiddosen mit Hebel, Schreibarm und Lagerbock sind rechts, die Registriertrommel links auf der Grundplatte befestigt. Die Trommel dreht sich in drei oder sechs Stunden einmal um eine feststehende Achse. Eine auf dieser sitzende Mutter sichert die Trommel gegen unbeabsichtigtes Verschieben nach oben. Das Uhrwerk befindet sich im Innern der Trommel. Auf der Grundplatte ist rechts ein senkrechtes Brettchen aufgeschraubt, das bei eingeschobenem Apparat den Schutzkasten schließt und durch einen Federmechanismus das Herausfallen des Apparats aus dem Schutzkasten hindert. An der Stelle des Schutzkastens, hinter der sich bei eingeschobenem Instrument

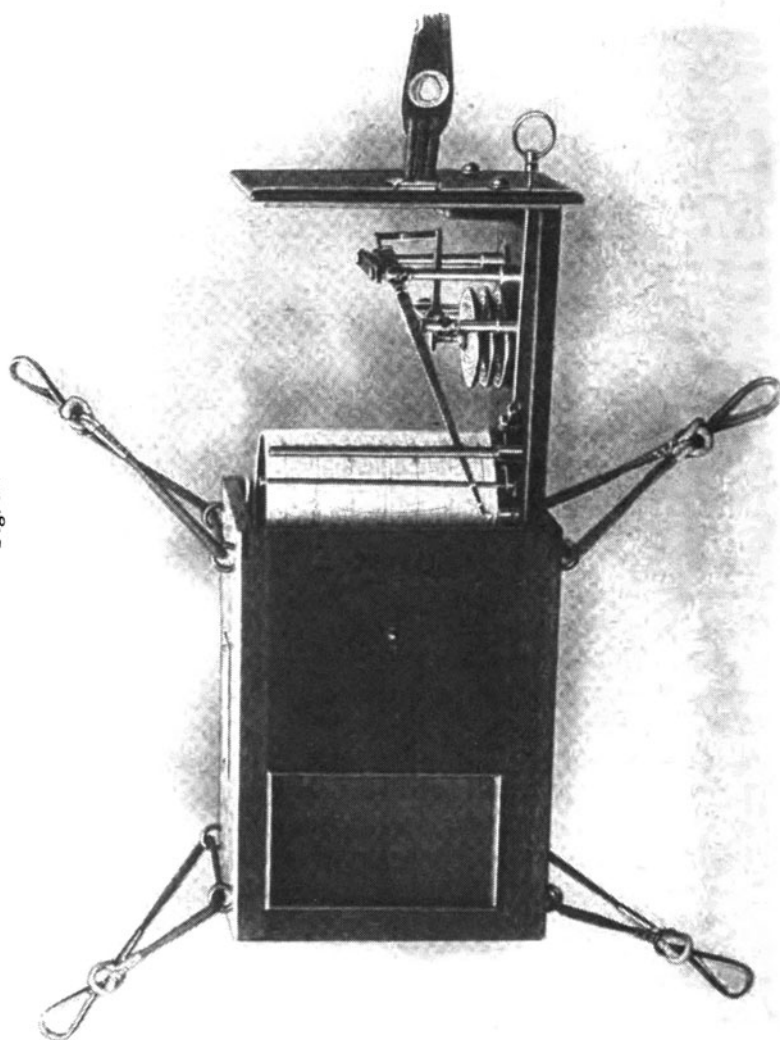
Fig. 49 a.



die Trommel befindet, ist ein Fenster angebracht, so daß die Aufzeichnungen auch bei geschlossenem Apparat gesehen werden können. Zur Anbringung von Zeitmarken während des Betriebes dient ein am Verschlussbrett angebrachter federnder Knopf. Mit dem darunter befindlichen Griff kann die Schreibfeder von dem Registrierpapier abgehoben oder an dieses angelegt werden. Auch der Barograph besitzt Temperaturkompensation. Die Aufhängung erfolgt wie beim Höhenmesser durch elastische Schnüre.

Die Einteilung des Registrierpapiers usw. ist aus Fig. 44 und dem dort Gesagten zu entnehmen. Der Barograph kann ebenfalls für größere Höhen als 5000 m ausgeführt werden.

Fig. 50.



b) Apparate der A.-G. C. P. Goerz, Berlin-Friedenau.

Der Höhenmesser wird in zwei Größen gebaut, mit Skalendurchmesser von 110 mm (Fig. 51 und Fig. 52) und mit Skalendurchmesser von 140 mm (Fig. 53). Beide Typen sind gegen Erschütterungen derartig unempfindlich, daß sie direkt an einer Gondel, einem Flugzeugrumpf, einem stark vibrierenden Motorgehäuse ohne Zwischenfügung von elastischen Schnüren befestigt werden können. Wie das erreicht wurde, ist schon oben S. 62 an Hand von Fig. 46 dargestellt.

Die Instrumente sind aber auch mit Ösen versehen, um sie doch, falls es gewünscht wird, elastisch aufhängen zu können. Zur Einstellung des Zeigers auf den Nullpunkt (bei Luftdruckschwankungen usw.) dient eine vorn (Fig. 51 und Fig. 52) oder an der Seite (Fig. 53) angebrachte Kordelschraube.

Die Skala der Instrumente ist derartig, daß gleichen Skalabständen etwa gleiche Druckunterschiede, nicht gleiche Höhenunterschiede (wie z. B. bei den Aneroiden der Firma Fuess) entsprechen, so daß für je 1000 m Höhendifferenz die Skalabstände nach oben immer kleiner werden (Fig. 51).

Der kleinere Höhenmesser reicht in der Regel bis zu 8000 m Höhe und besitzt eine besondere rote „Landungsmarke“ (Fig. 51) auf dem Deckglase, die auf die Höhe des Landungsortes, zu dem man hin will, im voraus eingestellt werden kann und nicht mitwandert, wenn der Zeiger auf 0 einreguliert wird.

Das größere Instrument reicht in der Regel bis 6000 m Höhe und besitzt keine Landungsmarke.

Fig. 51.



Fig. 52.



Fig. 53.

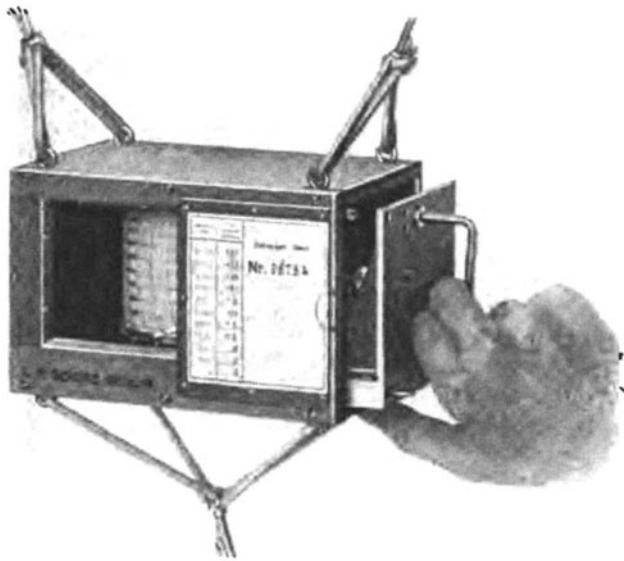


Fig. 54.



Beide Größen werden in zwei verschiedenen Ausführungen geliefert: mit gewöhnlicher Skala (Fig. 51) — schwarze Teilung auf weißem Grunde — oder mit weißer oder gelber Teilung auf schwarzem Skalengrunde (Fig. 54) und leuchtenden („radiumisierten“) Zahlen und Teilstrichen für Flüge in der Nacht oder bei Dämmerung. Bei Dämmerung hat sich die gelbliche Teilung auf Schwarz als besonders gut sichtbar erwiesen. Auf Wunsch werden auch nur Teilstriche und Nullpunkt leuchtend ausgeführt.

Fig. 55.



Bei allen Arten können auf Wunsch auch Abweichungen im Skalenbereich eintreten. So kann insbesondere der kleine Typ statt für 8000 auch für 5000 oder 6000 m, ebenso der größere statt für 6000 für 8000 oder 5000 m Maximalhöhe ausgeführt werden.

Fig. 55 zeigt den ebenfalls speziell für Luftfahrzeuge konstruierten Barographen, der aber nicht wie die Aneroide unempfindlich gegen Erschütterungen ist, sondern an elastischen Schnüren aufgehängt werden muß. Die hauptsächlichsten Verbesserungen, die von der Firma betont werden, sind: Robuste,

kräftige Ausführung insbesondere der Übertragungsmechanismen. Bequeme Anordnung der Verbindung zwischen Schutzkasten und Instrument selber, die durch einen mit dem Daumen der Hand beim Lösen der Verbindung einzudrückenden (Fig. 54) Druckknopf an der unteren Seite des Gehäusekastens besteht. Uhrwerk ohne jeden toten Gang mit abnehmbarer, unverwechselbarer Trommel und einer neuen Papierklemme, die automatisch die Umdrehungszeit der Trommel in das Papier eindrückt. Arretierung der Uhr und des Schreibhebels, derart, daß jedes Tintenausspritzen verhindert wird. Begrenzung des Gabelausschlags nach unten und nach oben, so daß der Barograph auch nicht beschädigt wird, wenn die für ihn vorgesehene Maximalhöhe überschritten wird. Durch Niederdrücken des Knopfes *G* (Fig. 54) können während des Betriebes Zeitmarken auf dem Diagramm angebracht werden. Der Hebel *H* dient zur Arretierung des Uhrwerks und des Schreibhebels. Zur Plombierung des fertig montierten Barographen befindet sich am Gehäuse die Plombenöse *P*.

Der innere Aufbau des Instruments ist aus Fig. 43 und dem dabei Gesagten zu ersehen.

Die Barographen werden für Höhen von 1500, 3000, 5000, 6000, 7500 und 10 000 m angefertigt. Die Diagramme haben im Gegensatz zu den Skalen der Aneroide der Firma nahezu äquidistante Höhenlinien für gleiche Höhendifferenzen, nicht äquidistante Drucklinien. Die Registriertrommel wird mit einer Umlaufszeit von 0,5, 1, 2, 4, 6, 8 oder 12 Stunden gebaut.

Der Barograph der Firma Goerz mit der Bennewitzschen Kompensation der Nachwirkung, dessen Prinzip an Hand von Fig. 47 weiter oben erläutert wurde, wird von der Firma Goerz auch schon in den Handel gebracht, wobei die Konstruktion im allgemeinen der des älteren Barographen der Firma ähnelt. Eine Abbildung des Bennewitzschen Apparats war noch nicht erhältlich.

o) Weitere Firmen,

die in größerem Umfang Höhenmesser bauen, sind unter anderem:

C. Morell, Leipzig,

Sedlmeyer, München,

H. C. Kröplin, Bützow, Mecklbg.-Schwerin.

Die Firmen liefern auch registrierende Höhenschreiber.

d) Variometer der Firma Dr. R. Hase, Hannover.

Dieses Variometer, welches die Firma nach Angaben von Prof. Precht baut, ist ähnlich dem von Prof. Bestelmeyer, dessen Prinzip weiter oben an Hand von Fig. 48 dargelegt wurde. Es wird z. B. auf den Zeppelin-Luftschiffen zur Bestimmung der Höhenänderung beim Landen benutzt.

Die neueste Form des Haseschen Instruments ist eine Vereinigung zweier Variometer von verschiedener Empfindlichkeit zu einem einheitlichen Ganzen. Das eine z. B. ist zur Ablesung einer größten Steig- oder Fallgeschwindigkeit von 3 m in der Sekunde, das andere für 6 m in der Sekunde eingerichtet. Je nach Bedarf liest man an dem einen oder dem anderen Instrument ab. Die Empfindlichkeit beider Instrumente kann natürlich auch anders eingerichtet werden. Fig. 56 zeigt das zum Gebrauch aufgeklappte Doppelinstrument nach Entfernung der beiden vorderen Verschlussplatten, die nur eine kleine Öffnung zum Ablesen der Skala besitzen. Der Nullpunkt der Skala ist durch seitliches Verschieben derselben auf das Ende des Flüssigkeitsfadens einstellbar. Luftblasen in der Flüssigkeitssäule können durch Neigen des Instruments leicht beseitigt werden. Natürlich kann ein halbes Doppelvariometer auch als Einzelinstrument geliefert werden. In diesem Fall wird es noch mit einem besonderen Verschlussdeckel versehen.

Fig. 56.



III. Neuere in Entwicklung begriffene Methoden der Entfernungs- und Höhenmessung in der Luftfahrt.

Die bisher geschilderten Methoden der Entfernungs- und Höhenmessung versagen gerade dann, wenn der Luftfahrer sie am dringendsten braucht: Die optischen in der Nacht und im Nebel, die barometrischen bei unruhigem Wetter, d. h. stark veränderlichem Barometerstand, und beim Landen in Gegenden unbekannter Höhenlage, so daß in solchen Fällen bei Dunkelheit oder Unsichtigkeit auch der barometrische Höhenmesser keinen genauen Anhalt für die Entfernung vom Erdboden gibt. So ist es verständlich, daß man nach andersartigen Methoden, die frei von den Fehlern der geschilderten sind, gesucht hat. Die bisherigen Bemühungen in dieser Hinsicht haben aber, wenigstens was die Höhenmessung betrifft, noch nicht zu praktisch ausgebildeten Verfahren geführt. Vielfach handelt es sich sogar nur um Ideen, die während des Weltkrieges auftauchten und bis zu einem gewissen Grade verfolgt wurden, dann aber bei dem eintretenden Zusammenbruch einfach der Vergessenheit anheimfielen.

1. Akustische Höhenmessung.

Die Idee der akustischen Höhenmessung beruht auf dem Prinzip des Echos: Aus der Zeit, die ein Schall bei Reflexion an einer Wand oder dergleichen braucht, um zum Ort der Schallquelle zurückzukehren, kann man auf die Entfernung der Wand oder dergleichen von der Schallquelle schließen. Ist v die Schallgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde, t die Zeit in Sekunden vom Aufhören des Schalles bis zum Aufhören des Echos, so ist bei ruhender Schallquelle die Entfernung von der reflektierenden Wand s in Metern gegeben durch

$$s = \frac{1}{2} t v.$$

Bei der Anwendung dieses Prinzips zur Höhenmessung vom Luftfahrzeug aus, muß in demselben eine Schallquelle angebracht und die Zeitdauer zwischen Einsetzen oder Aufhören des Schalles und Einsetzen oder Aufhören des Echos nach Reflexion an der Erdoberfläche gemessen werden. Hat das Luftfahrzeug eine horizon-

tale Geschwindigkeit w (die vertikale Geschwindigkeit wird stets zu vernachlässigen sein), so legt es (Fig. 57) während der Zeit t den Weg $2e = tw$ zurück, und die Höhe h des Luftfahrzeugs über dem reflektierenden Erdboden ist daher gegeben durch

$$h = \sqrt{s^2 + e^2} = \frac{1}{2}t\sqrt{v^2 + w^2}.$$

Um größte Intensität des reflektierten Schalles zu erreichen, muß man die Schallquelle so anbringen, daß sie die größte Schallintensität nicht in vertikaler Richtung, sondern etwas nach vorn, in Richtung von s (Fig. 55) besitzt. Doch ist diese Abweichung von der Vertikalen sehr gering, da w stets klein gegen die Schallgeschwindigkeit ist. Dieselbe hat bei $t^\circ C$ den Wert¹⁾

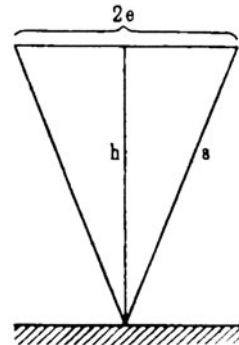
$$v = 330,7 + 0,66t \text{ m/Sek.}$$

Nebel hat keinen Einfluß auf die Schallgeschwindigkeit oder die Schallintensität. Auch die Veränderlichkeit der Luftfeuchtigkeit ist für den vorliegenden Zweck gänzlich zu vernachlässigen. Mit zunehmender Höhe wächst die Schallgeschwindigkeit bei feuchter Luft etwas; doch ist diese Änderung für die geringen Höhen, für die die akustische Höhenmessung in Betracht kommt, ebenso wie die Abhängigkeit vom Barometerstand noch zu vernachlässigen.

Die praktischen Versuche haben sich meines Wissens bisher nur auf die Auffindung geeigneter Schallquellen bezogen, ohne zu einem bestimmten Ergebnis zu führen.

Da die zu messenden Zeiten sehr kurz sind, kommen für die Zeitmessung kaum subjektive Methoden in Frage, sondern registrierende Verfahren, ähnlich denen, die zur Messung der Schallausbreitung in der freien Atmosphäre¹⁾ benutzt wurden. Als Schallempfänger dient dabei ein Mikrophon, das auf Schallwellen durch Widerstandsschwankungen reagiert und dadurch Änderungen

Fig. 57.



¹⁾ Vgl. die eingehende Untersuchung von R. Ladenburg und E. v. Angerer „Über die Ausbreitung des Schalles in der freien Atmosphäre“. Bericht über die Versuche des Kommandos der Artillerie-Prüfungskommission in Flandern. Berlin, Reichsdruckerei, 1918.

in der Stärke eines Gleichstroms, von dem es durchflossen ist, hervorruft. Dieser Strom wird durch die primäre Spule eines Transformators geleitet, in dessen Sekundärspule bei Stromschwankungen des Primärstromes Spannungen und bei geschlossener Spule Ströme induziert werden. Diese werden in geeigneter Weise zusammen mit Zeitmarken registriert, die von einer Uhr geliefert werden. Bei der Registrierung kommen im vorliegenden Fall natürlich die Erschütterungen des Luftfahrzeugs erschwerend in Betracht.

Um die akustische Methode praktisch brauchbar zu machen, was zweifellos möglich sein dürfte, sind also noch umfangreiche Versuche und Vorarbeiten erforderlich.

Hat man die Höhe aber auf eine derartige absolute Methode in geringerer Entfernung vom Erdboden festgestellt, so kann man die weitere Annäherung an den Erdboden mit Hilfe eines Barometers oder besser eines Variometers leicht genau beobachten, und so auch im Nebel oder im Dunkeln vor ungewollter Erdnähe sicher sein.

2. Direkte Höhenmessung mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen.

Es liegt nahe, statt der Reflexion von akustischen Wellen die Reflexion von elektromagnetischen Wellen für die Höhenmessung zu benutzen. Eine Reflexion von elektrischen Wellen an der Erdoberfläche ist zweifellos möglich. Da aber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen $3 \cdot 10^{10}$ cm/Sek. beträgt, kommt die Messung des Zeitunterschiedes zwischen Absenden der Welle und Eintreffen der reflektierten Welle nicht in Frage. Wohl aber kann man daran denken, auf dem Luftfahrzeug die Interferenz zwischen der ausgesandten und der reflektierten Welle zur Höhenbestimmung zu benutzen. Eine solche Interferenz zwischen der ausgesandten und der reflektierten Welle hat Hertz ja schon bei seinen ersten Versuchen über elektrische Wellen festgestellt. Man wird die strahlende Antenne so anordnen, daß sie möglichst auf den Erdboden zu (nicht parallel ihm) strahlt, die als Empfänger zu benutzende Rahmenantenne (große flache Spule, durch einen Kondensator geschlossen) derart, daß die direkte, ausgesandte Welle nur wenig auf sie einwirkt, die reflektierte Welle aber möglichst stark. Reguliert man nun die Wellenlänge λ der Sendewelle so ein, daß Sende- und reflektierte Welle sich durch Interferenz möglichst aufheben, die Emp-

fangsintensität in der Rahmenantenne also ein Minimum ist, so besteht zwischen λ und der Höhe h über dem Erdboden in erster Annäherung die Beziehung

$$h = n \frac{\lambda}{4},$$

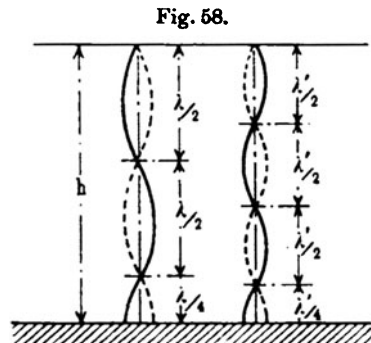
wobei n eine unbekannte ganze Zahl ist. Diese Beziehung ist in Fig. 58 veranschaulicht: Falls die Wellenlänge derart ist, daß durch Vereinigung der ausgesandten und der reflektierten Welle eine stehende entsteht, hat die magnetische Kraft der stehenden Welle am Erdboden einen Schwingungsbauch. Die Entfernung der Schwingungsbaüche oder der Schwingungsknoten ist $\lambda/2$. Verkleinert man sodann die Wellenlänge so lange, bis die Empfangsintensität abermals ein Minimum wird, wobei die Wellenlänge den Wert λ' habe, so ist

$$h = (n + 2) \frac{\lambda'}{4}.$$

Daraus folgt, indem man n eliminiert,

$$h = \frac{\lambda \lambda'}{2(\lambda - \lambda')}.$$

Ist z. B. $\lambda = 200$ m, $\lambda' = 150$ m, so wird $h = 300$ m.



Natürlich muß gleichzeitig mit der Länge der Sendewelle auch die Eigenwelle des Empfängskreises automatisch verändert werden.

Zur Erzeugung und zum Empfang der elektromagnetischen Welle können die modernen Mittel der drahtlosen Telegraphie angewendet werden.

Experimentelle Untersuchungen über die Brauchbarkeit dieser Methode der Höhenmessung liegen meines Wissens überhaupt noch nicht vor. Es ist mir sogar nicht bekannt, daß die Idee der Methode in der vorstehenden Form schon von anderer Seite ausgesprochen wäre.

3. Entfernungs- und Höhenmessung unter Benutzung von drahtloser Telegraphie.

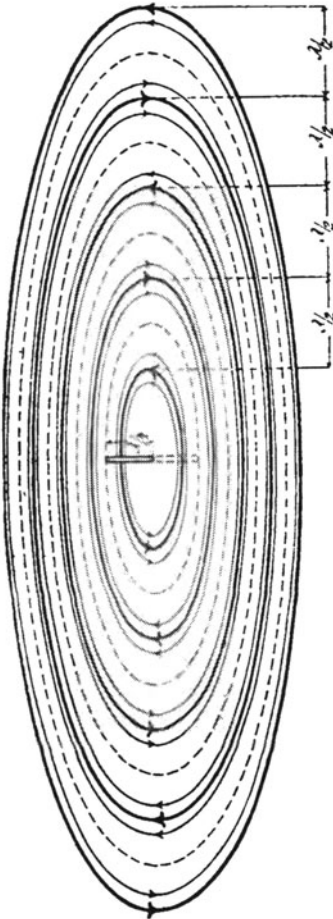
Während des Weltkrieges sind verschiedene Verfahren ausgebildet worden, um mit Hilfe der drahtlosen Telegraphie vom Lande aus den Ort des Luftfahrzeuges und vom Luftfahrzeug aus

die Richtung nach einer Sendestation zu bestimmen oder, wie man sagt, die Sendestation anzupeilen. Im ersteren Fall konnte dann dem Luftfahrzeug sein Ort auch drahtlos übermittelt werden.

Neuerdings sind die Methoden der drahtlosen Telegraphie, insbesondere die Empfangseinrichtungen für die drahtlose Telegraphie so verbessert worden, daß man daran denken kann, nicht nur die Horizontalentfernung des Luftfahrzeuges, sondern sogar seine Höhe mittels derselben zu bestimmen, wofür Burstyn Vorschläge gemacht hat, die allerdings praktisch wohl noch nicht ausprobiert sind.

Um diese Methoden der Entfernungs- und Höhenmessung verstehen zu können, muß man sich ein Bild von der Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen, welche die drahtlosen Signale übermitteln, machen. Diese Wellen kommen, wie die Lichtwellen, durch eine sich im Raume fortpflanzende Änderung der elektrischen und magnetischen Kraft zustande. Nimmt man als Sender im einfachsten Fall einen auf dem Luftfahrzeug befestigten geraden Draht an, auf dem eine elektrische Ladung hin und her läuft, so daß das eine Ende bald positiv, bald negativ geladen ist (bei den üblichen Wellen 100 000 mal in einer Sekunde oder öfter), so bilden die magnetischen Kraftlinien (d. h. die Linien, die die Richtung der magnetischen Kraft angeben) Kreise, die in Ebenen senkrecht zur Drahrichtung verlaufen und deren Mittelpunkte auf dem Draht liegen (Fig. 59). Die elektrischen Kraftlinien haben in der Nähe des Senders einen komplizierten Verlauf (Fig. 60), bilden dagegen

Fig. 59.



magnetischen Kraftlinien (d. h. die Linien, die die Richtung der magnetischen Kraft angeben) Kreise, die in Ebenen senkrecht zur Drahrichtung verlaufen und deren Mittelpunkte auf dem Draht liegen (Fig. 59). Die elektrischen Kraftlinien haben in der Nähe des Senders einen komplizierten Verlauf (Fig. 60), bilden dagegen

in größerer Entfernung vom Draht Kreisbögen, die in Ebenen durch die Drahrichtung, in dessen Mitte ihre Mittelpunkte liegen, verlaufen. Die magnetische und elektrische Kraft stehen also senkrecht zueinander. Im gleichen Tempo wie die elektrischen Ladungen auf dem einen Ende des Sendedrahtes, wechselt die Größe und das Vorzeichen der magnetischen und der elektrischen Kraft, die auf den Kraftlinienkreisen, also bald im Uhrzeigersinn, bald im Gegenzeigersinn, wirksam sind und dazwischen auf Null sinken. Außerdem nimmt die Größe beider Kräfte natürlich mit der Entfernung vom Sendedraht ab.

Fig. 60.

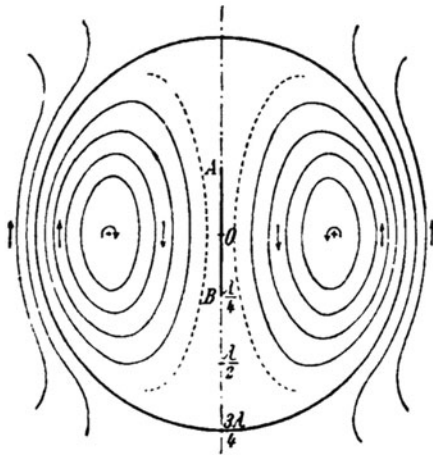


Fig. 61.

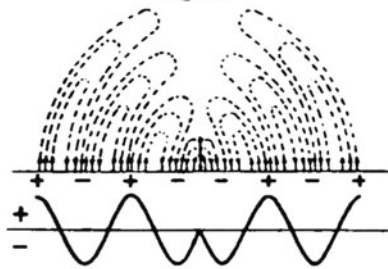
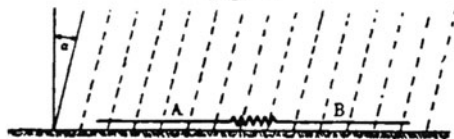


Fig. 62.



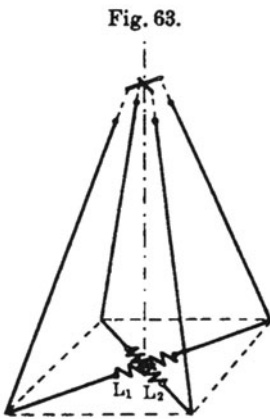
Besteht der Sender aus einem vertikalen Draht, dessen unteres Ende sich in gut leitendem Erdreich befindet, so ist das Bild der magnetischen und elektrischen Kraftlinien ein gauzähnliches, nur daß von allen elektrischen Kraftlinienkreisbögen die untere Hälfte fehlt: Die elektrischen Kraftlinien treten bei vollkommen leitendem Erdboden senkrecht aus demselben aus (Fig. 61).

Die magnetischen Kraftlinien verlaufen parallel zur Erdoberfläche.

Ist die Erdoberfläche aber nicht sehr gut leitend, so sind die elektrischen Kraftlinien (Fig. 62) in Richtung der Wellenfortschreitung nach vorn unter einem Winkel α geneigt.

Bei den Empfangseinrichtungen für drahtlose Telegraphie kann man nun unterscheiden zwischen solchen, die hauptsächlich auf die elektrischen Kraftlinien, und solchen, die wesentlich auf die magnetischen Kraftlinien reagieren.

Zu den ersteren gehören alle offenen Antennen, z. B. ein einfacher vertikaler Draht. In ihm werden durch die vertikal gerichteten, im Raum vorhandenen elektrischen Kräfte der zu empfangenden Welle elektrische Spannungen und Ströme induziert, die durch besondere Hilfsmittel, auf die hier ebensowenig wie auf die Erzeugung der Sendewellen eingegangen werden kann, hörbar oder sichtbar gemacht werden. Bei den üblichen Hoch-



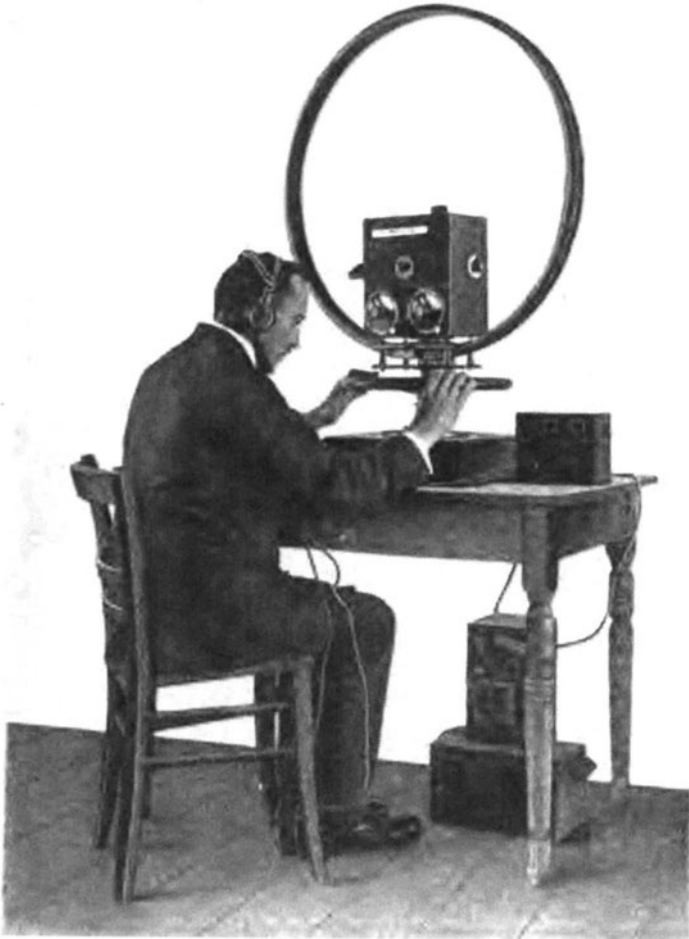
antennen für Empfang ist also der wesentlich empfangende Teil der vertikal gerichtete. Sind aber die ankommenden Wellen wie über schlecht leitendem Boden, oder, falls sie von einem nahen Luftfahrzeug herrühren, derart, daß die elektrische Kraft in ihnen nicht vertikal gerichtet ist, so werden auch in horizontalen Drähten Spannungen und Ströme induziert. Eine Horizontalantenne AB ohne vertikalen Teil nach Fig. 62, wie sie von Kiebitz angegeben wurde, empfängt daher über nicht besonders gut leitendem Untergrund am besten, wenn sie auf die Sendestation

zu gerichtet ist, gar nicht, wenn sie senkrecht zur Richtung nach der Sendestation steht. Eine ähnliche Richtwirkung haben mehr oder weniger alle offenen Antennen, die nicht räumliche Symmetrie besitzen, insbesondere auch eine Antenne nach Bellini und Tosi, von denen in Fig. 63 zwei in zueinander senkrechter Stellung gezeichnet sind, wie sie bei dem Richtempfangsverfahren der beiden Gelehrten gebraucht werden, das prinzipiell darauf hinausläuft, daß aus dem Verhältnis der in den beiden zueinander senkrechten Antennen induzierten Ströme auf die Richtung der ankommenden Wellen geschlossen wird.

Die Empfangsantennen, die wesentlich auf die magnetischen Kraftlinien reagieren, bestehen aus großen geschlossenen, eventuell mehrlägigen Drahtgebilden von meist rechteckiger Form und haben nach ihrem ersten Benutzer die Bezeichnung Braunsche Rahmen-

antenne. In der Tat wird der Draht neuerdings meist auf einen Holzrahmen o. dgl. mehrfach aufgewickelt, so daß eine große flache

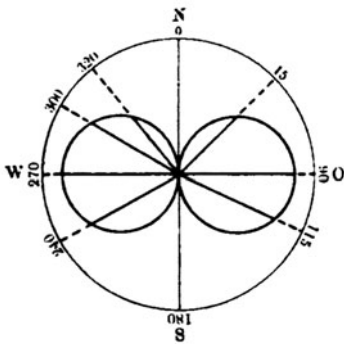
Fig. 64.



Spule entsteht. Zwischen die Enden des Drahtes wird ein Kondensator geschaltet, der einen in der Spule entstehenden Strom nicht durchläßt, aber die von ihm mitgeführte Elektrizität aufspeichert, so daß man wie bei den offenen Antennen ein Gebilde

hat, in dem elektrische Schwingungen möglich sind. Diese elektrischen Schwingungen werden nun in der Rahmenantenne dadurch erzeugt, daß die magnetischen Kraftlinien, welche die Windungsfläche durchsetzen, im Tempo der Schwingungen der Sendestation ihr Vorzeichen wechseln. Außerdem ist der in der Rahmenantenne induzierte oszillierende Strom um so stärker, je größer die Zahl der die Windungsfläche durchsetzenden Kraftlinien ist. Daraus geht sofort hervor, daß der Empfang mit einer Rahmenantenne am stärksten sein muß, wenn ihre Ebene senkrecht zur Richtung der magnetischen Kraftlinien der zu empfangenden Welle ist, dagegen verschwindet, wenn die Rahmenebene parallel zu den magnetischen Kraftlinien steht. Eine solche Rahmen-

Fig. 65.



antenne ist also ganz besonders geeignet, um die Richtung der ankommenden Welle festzustellen. Außerdem sind die Methoden zur Hörbarmachung der Empfangsströme neuerdings derart verfeinert worden, daß man in den meisten Fällen mit Rahmenantennen von der Größe eines Kinderreifens auskommt. Die neueste Form einer solchen auf dem Tisch aufstellbaren Richtempfangsantenne mit Teilkreis zur Ablesung der Richtung nebst dem

Instrumentarium zur Hörbarmachung der Empfangsströme, wie sie von der Firma Telefunken geliefert wird, ist in Fig. 64 abgebildet.

Ähnlich wie die Horizontalantenne nach Kiebitz und die Antenne von Bellini und Tosi gerichteten Empfang ermöglichen, geben sie auch eine Richtwirkung, wenn man sie als Sendeantenne benutzt. In Fig. 65 ist z. B. die „Sendecharakteristik“ der Antenne von Bellini und Tosi dargestellt: In größerem Abstände von der in der O-W-Richtung sendenden Antenne ist auf einem sie konzentrisch umgebenden Kreise unter verschiedenen Winkeln von der O-W-Richtung die Empfangsintensität mit demselben stets nach der Sendestation gerichteten Empfänger gemessen, und diese Empfangsintensitäten sind in beliebigem Maßstab in der zugehörigen Richtung gegen O-W in der Figur von einem Mittelpunkt aus als Fahrstrahl aufgetragen. Durch Verbinden der so

ermittelten Punkte erhält man als Sendecharakteristik die zwei sich berührenden Kreise. Die Sendestärke ist also in der O-W-Richtung ein Maximum, dagegen Null in der N-S-Richtung.

Nach diesen Vorbereitungen dürften sich die Methoden zur drahtlosen Ortsbestimmung auch ohne tieferes Eindringen in das Spezialfach der drahtlosen Telegraphie verständlich machen lassen:

Will man vom Lande aus den Ort eines Luftfahrzeuges bestimmen, so werden an mehreren, z. B. an drei möglichst weit voneinander gelegenen Stellen Richtempfangsstationen, z. B. solche nach Bellini und Tosi oder nach Fig. 64, aufgestellt, mit denen die vom Luftfahrzeug aus gegebenen Zeichen und die Richtung, aus der sie kommen, aufgenommen werden. Diese Richtungen (z. B. gerechnet gegen die N-S-Richtung) werden von Station zu Station und zum Luftfahrzeug drahtlos gemeldet, so daß bei bekannter Lage der Richtempfangsstationen die Lage des Luftfahrzeuges leicht, z. B. graphisch als Schnittpunkt der ermittelten Richtungen in der Horizontalprojektion auf die Erdoberfläche, ermittelt werden kann. Prinzipiell sind dabei natürlich nur zwei Richtempfangsstationen erforderlich. Die etwa noch benutzte dritte Station dient zur Kontrolle der Richtigkeit der Ortsbestimmung.

Ausgedehnte Versuche von R. Baldus und E. Buchwald haben ergeben, daß es bei einer derartigen drahtlosen Anpeilung von Luftfahrzeugen aber erforderlich ist, daß die Antenne derselben keine Richtwirkung besitzt. Bei Flugzeugen z. B. ist brauchbar eine Antenne, die gebildet ist durch einen Draht längs der Vorderkante der oberen Tragfläche und einem entsprechenden Draht an der unteren Tragfläche. In den Verbindungsdraht zwischen ihren beiden Mitten ist die Empfangsapparatur eingeschaltet. Eine gewöhnliche, herabhängende Flugzeugantenne ergibt erhebliche Fehler in den mit der Richtempfangsantenne ermittelten Richtungen. Die Mißweisungswinkel, die Baldus und Buchwald fanden, d. h. die Winkel zwischen der wahren Richtung zum Flugzeug und der durch drahtlose Anpeilung ermittelten, sind in ziemlich guter Übereinstimmung mit denjenigen, die Burstyn theoretisch aus der Lage der Flugzeugantenne im Raum und der Art der Empfangsantenne berechnen konnte, so daß die Mißweisungen auch prinzipiell verständlich sind.

Aber auch bei Verwendung einer richtwirkungsfreien Antenne am Luftfahrzeug traten noch gewisse Schwierigkeiten auf

Z. B. hängt die Güte der Richtungseinstellungen an der Peilstation von Wetter und Bodenbeschaffenheit ab.

Mit Hilfe der neuen hochempfindlichen Empfangsmethoden, welche, wie schon bemerkt, die Verwendung kleiner Rahmenantennen gestatten, kann man aber auch daran denken, direkt vom Luftfahrzeug aus die Lage desselben zu bestimmen: Man bringt auf demselben eine oder zwei kleine drehbare Rahmenantennen an und ermittelt die Richtung nach zwei gleichzeitig sendenden Landstationen von bekannter Lage. Dann kann man, indem man in der Karte die gefundenen Richtungen durch die Landstationen hindurchlegt, leicht die Lage des Luftfahrzeuges in der Horizontalprojektion finden. Eine dementsprechende, mit Verbesserungen von A. Meissner versehene Apparatur („Apparat zur Kreuzpeilung“), wie sie die Firma Telefunken ausbildete, ist in Fig. 66 abgebildet. Wie man sieht, sind dabei die beiden Rahmen ineinandergestellt, und ihre Einstellungswinkel werden an demselben Teilkreis abgelesen. Doch ergaben sich bei der doppelten Apparatur gewisse Störungen, so daß man es neuerdings für besser hält, die beiden Peilungen nacheinander mit einem Apparat nach Fig. 64 vorzunehmen, der aber für die Verwendung im Luftfahrzeug auch noch nicht durchgebildet ist.

Bei allen Richtempfängern ist neuerdings die Einrichtung derart getroffen, daß man nicht auf maximale Lautstärke der zu empfangenden Zeichen, sondern auf ein Minimum derselben einstellt, wodurch die Richtungsbestimmung erheblich an Genauigkeit und Sicherheit gewinnt.

Zu erwähnen ist ferner noch Schellers drahtloser Kursweiser, der während des Weltkrieges von Kiebitz durchgebildet wurde, aber eben nicht die drahtlose Ortsbestimmung bezweckt, sondern nur als Wegweiser dienen soll, außerdem aber bei der Verwendung für Luftfahrzeuge auf große Bedenken stößt. Bei diesem Verfahren sind auf dem Lande an einer Stelle zwei Richtung besitzende Horizontalantennen aufgestellt, die gegeneinander einen kleinen Winkel einschließen. Von ihnen sendet die eine dauernd das Zeichen a ($\cdot - - - -$), die andere dauernd das Zeichen n ($- - - - -$), und zwar derart, daß die langen Striche des n genau auf die kurzen Striche des a fallen. Eine Empfangsstation, die sich auf dem Lande genau auf der Halbierungslinie zwischen den beiden Antennenrichtungen befindet, hört die beiden

Sendestationen gleich laut, so daß infolge Überlagerung des a und des n nur ein dauernder Strich gehört wird. Bewegt sich die Empfangsstation mehr in die Richtung der einen oder anderen Sendeantenne, so tritt das a oder das n hervor. Die bewegliche Empfangsstation kann sich also selbst in die Richtung nach der Sendestation einlenken, den kürzesten Weg zu ihr finden. Für

Fig. 66.



ein Luftfahrzeug, besonders ein solches mit herabhängender, Richtwirkung besitzender Antenne, gelten aber nach Versuchen von Buchwald, die derselbe auf Grund der Burstynschen Anschauungen auch theoretisch deuten konnte, diese einfachen Verhältnisse nicht, so daß das Verfahren in diesem Falle im allgemeinen nicht brauchbar ist. Doch soll es über See bei größeren Entfernungen von der Sendestation anwendbar gewesen sein.

Statt des Schellerschen Kursweisers wird man jetzt einfacher und besser eine Rahmenantenne nach Fig. 64 auf dem Luftfahrzeug verwenden, mit der man ja ohne weiteres die Richtung nach einer sendenden Landstation bestimmen und sich in sie einlenken kann.

Als schwierigstes Problem bleibt nun noch die Aufgabe, auch die Höhe des Luftfahrzeuges einfach durch drahtlose Richtungsbestimmungen zu ermitteln. Eine prinzipielle Lösung hierfür ist die Idee einer „Raumpfeilstation“, wie sie kürzlich von W. Burstyn geschildert wurde. In ihrer einfachsten Form besteht eine solche aus einer geraden Antenne, die auf die elektrischen Kraftlinien anspricht, und einer Rahmenantenne, die auf die magnetischen Kraftlinien reagiert. Beide Antennen seien in jede beliebige Richtung drehbar und so weit voneinander entfernt, daß sie sich gegenseitig nicht beeinflussen. Ferner mögen sie sich in genügender Höhe über dem als sehr gut leitend vorausgesetzten Erdboden befinden. Nach früherem sind nun die elektrischen und magnetischen Kraftlinien der Sendewelle in genügender Entfernung von der Sendestation Meridian- bzw. Parallelkreise einer Kugel, in deren Mitte sich koaxial der Sender befindet. Hat man die gerade Antenne und die Rahmenantenne auf stärksten Empfang eingestellt, so findet man die Richtung nach der (auf dem Luftfahrzeug befindlichen) Sendestation als Schnittlinie der senkrecht zur Richtung der geraden Antenne durch ihre Mitte gelegten Ebene und der Ebene der Rahmenantenne. Denn die letztere steht senkrecht zum Parallelkreis, in dem die magnetischen Kraftlinien verlaufen, geht also durch den Mittelpunkt der Kugel, die Sendestation. Die gerade Antenne aber steht in der Richtung der Meridiankreislinie, so daß die zu ihr senkrechte Ebene ebenfalls durch den Kugelmittelpunkt geht.

Statt auf das Empfangsmaximum kann man nach Burstyn auch auf das Nullminimum einstellen. Man dreht z. B. die Rahmenantenne fortwährend um eine durch ihre Ebene gehende Achse und sucht unter langsamer Drehung dieser Achse diejenige Lage derselben auf, bei welcher man in keiner Richtung empfängt; die Achse gibt dann die Richtung des ankommenden magnetischen Feldes an. Auch kann man statt jeder der beiden Antennen je zwei anwenden, die nur um feste Achsen (z. B. vertikale und horizontale) drehbar sind, so daß vier Einstellungen auf die Empfangsstärke Null vorzunehmen sind.

Eine wesentliche Vereinfachung der Burstynschen Methode ermöglicht vielleicht die von der Firma Telefunken für gewöhnliche Peilstationen benutzte Tatsache, daß eine Rahmenantenne auch auf elektrische Kraftlinien anspricht und daher ein ganz scharfes Minimum des Empfangs nur bei einer ganz bestimmten Richtung ihrer Drehungsachse im Raume ergibt, wonach also die gerade Antenne unter Umständen auch bei der Raumpeilung fortfallen kann.

Bringt man zwei Raumpeilstationen an zwei Orten bekannter Lage an, so kann man mit ihnen den Ort des Luftfahrzeuges als Schnittpunkt der von den beiden Orten aus ermittelten Richtungen im Raume feststellen, also nicht nur seine Lage in der Horizontalprojektion, sondern auch seine Höhe über dem Erdboden ermitteln.

Natürlich kann man auch wieder umgekehrt vorgehen und auf dem Luftfahrzeug eine oder zwei Raumpeilstationen anbringen, welche zwei sendende Landstationen bekannter Lage anpeilen. Dieses Verfahren dürfte sogar besser als das erstere sein; denn wenn man die Raumpeilstationen in der Nähe des Erdbodens aufstellt, wird der Einfluß desselben auf die Form der elektrischen und magnetischen Kraftlinien nicht zu vernachlässigen sein. Allerdings gibt es auch im freien Luftraum allerlei Gründe (reflektierende Wolken, ionisierte Luftschichten u. dgl.), welche eine Verzerrung der Kraftlinien hervorrufen können, und derartige Verzerrungen fallen bei der Höhebestimmung, die noch größere Genauigkeit erfordert als die Bestimmung der Entfernung in der Horizontalprojektion, noch mehr ins Gewicht als bei der letzteren.

Welche Genauigkeit mit der Raumpeilung zu erreichen ist, können erst praktische Versuche ergeben. Es ist aber kaum anzunehmen, daß die Genauigkeit groß genug sein wird, um die Höhe des Luftfahrzeuges über dem Erdboden bei Erdnähe und Dunkelheit oder Nebel festzustellen. Denn um bei geringer Höhe des Luftfahrzeuges die Höhe desselben genügend genau ermitteln zu können, müßten sich die beiden ortsfesten Sendestationen nahe bei dem Luftfahrzeug befinden, was ja gerade in den meisten Fällen, in denen die Höhenbestimmung zwecks Landung o. dgl. erforderlich ist, nicht der Fall sein wird. In diesen Fällen dürften die direkten Methoden, die in III, 1 und III, 2 besprochen wurden, besser zum Ziel führen.

Literaturverzeichnis.

- Gleichen, *Moderne optische Instrumente*. Stuttgart 1911. Kapitel XI über Entfernungsmesser.
- von Hofe, *Fernoptik*, S. 106 u. f. Leipzig 1911.
- Pulfrich, *Über den von der Firma Carl Zeiss in Jena hergestellten stereoskopischen Entfernungsmesser*. Phys. ZS. 1899, S. 98—104.
- , *Über Hilfsmittel zur Kontrolle von Entfernungsmessern*. Artill. Monatshefte Nr. 55 Juli 1911, Nr. 58 Oktober 1911, Nr. 64 April 1912, Nr. 70 Oktober 1912.
- von Hofe, *Über Meßfehler von jetzt noch im Gebrauch befindlichen militärischen Entfernungsmessern*. Dinglers Polytechn. Journ. 328, Heft 36, 37, 38 u. 42, 1913.
- , *Eine einfache Vorrichtung zum Messen kleiner Entfernungen mit Koinzidenz-Telemetern*. Deutsche optische Wochenschrift 1915/16, Nr. 11.
- K. v. Baasus, *Die physikalischen Grundlagen der Höhennavigation*. München 1917.
- E. Warburg und W. Heuse, *Über Aneroide*. ZS. f. Instrumentenkunde 39, 41—55, 1919.
- R. von Mises, *Ermittlung der Steigfähigkeit eines Flugzeuges aus einem Barogramm*. ZS. f. Flugtechnik u. Motorluftschiffahrt 8, 173—177, 1917.
- E. Everling, *Die Messung von Flugleistungen in England*. ZS. f. Flugtechnik und Motorluftschiffahrt 8, 154—155, 163—166, 182—184, 1917.
- A. Bestelmeyer, *Ein Ballonvariometer zur Messung der Vertikalgeschwindigkeit*. III. Aeron. Mitt. 12, 656—657, 1908.
- , *Luftdruckvariometer zur Messung der Vertikalgeschwindigkeit bei Ballonfahrten*. Phys. ZS. 9, 863—865, 1909.
- , *Zur Theorie des Ballonvariometers*. Phys. ZS. 11, 763—768, 1910.
- Mosler, *Einführung in die moderne drahtlose Telegraphie und ihre praktische Anwendung*. Braunschweig 1920.
- Wigge, *Funkentelegraphische Ortsbestimmung vom Flugzeug aus*. Flug-Welt 1919, S. 111.
- E. Buchwald, *Über die Wirkung von Schellers drahtlosem Kursweiser auf das Flugzeug*. Jahrb. f. drahtl. Telegr. 15, 114—122, 1920.
- R. Baldus und E. Buchwald, *Versuche über drahtlose Anpeilung von Flugzeugen*. Jahrb. f. drahtl. Telegr. 15, 214—236, 1920.
- E. Buchwald und R. Hase, *Über Richtempfangsversuche im Flugzeug*. Jahrb. f. drahtl. Telegr. 15, 100—113, 1920.
- W. Burstyn, *Drahtlose Telegraphie im Raume*. Jahrb. f. drahtl. Telegr. u. Telephonie 16, 322—337, 1920.
-

Namen- und Sachverzeichnis.

- A**bwehrgeschütze, Richten derselben nach dem Ziel 7.
Aneroidbarometer 56.
- B**aldus und Buchwald, Anpeilung von Flugzeugen 85.
Ballonvariometer nach Bestelmeyer 65.
Barogramm 58.
Barograph 57.
Barometerröhre 42.
Basis 1.
Bellini u. Tosi, Richtempfangsantenne 82.
Bennewitz, Kompensation der elastischen Nachwirkung bei Aneroiden 63.
Berichtigungslatte 19.
Boykow, Winkelgeschwindigkeitsmesser nach 34.
—, Annäherungsgeschwindigkeitsmesser nach 36.
Buchwald, Flugzeugversuche mit Schellers drahtlosem Kursweiser 87.
Burstyn, Höhenmessung mit Hilfe drahtloser Telegraphie 88.
—, Raumpeilstation 88.
- E**ichung der Aneroide 64.
Elektromagnetische Wellen, Ausbreitung derselben 80.
Entfernungs- und Höhenmessung, optische 1.
— — — mit Hilfe von drahtloser Telegraphie 79.
Fehler bei der optischen Entfernungsmessung 3.
—, Tabelle der 4.
Fehler bei optischer Höhenmessung 6.
- Fuess, R., Berlin-Steglitz, Aneroide 67.
—, Barograph 69.
- G**egenbild-Entfernungsmesser 11.
Geländewinkel 5.
Goerz, C. P., Berlin-Friedenau, Aneroide 71.
—, Barograph 73.
—, neuer Barograph nach Bennewitz 74.
—, Herabsetzung der elastischen Nachwirkung durch Erschüttern der Aneroide 62.
—, Kehrbild-Entfernungsmesser 31.
—, Höhenmesser 32.
—, Raumbild-Entfernungsmesser 34.
—, Winkelgeschwindigkeitsmesser nach Boykow 34.
—, Annäherungsgeschwindigkeitsmesser nach Boykow 36.
Grenzwinkel, physiologischer 3.
- H**ahn, A.-G. für Optik und Mechanik in Cassel, Kehrbild-Entfernungsmesser 15.
—, optischer Höhenmesser 17.
Hase, Dr. R., Hannover, Variometer 75.
Heuse, s. Warburg u. Heuse.
Höhenformel, barometrische 45, 47.
Höhenmesser, barometrischer, Ausführungsbeispiele 67.
—, optischer, Ausführungsbeispiele 17, 27, 32, 38.
—, —, Prinzip desselben 5.
Höhenmessung, akustische 76.
—, barometrische 42.
— mit Hilfe elektromagnetischer Wellen 78.
— mit Hilfe von drahtloser Telegraphie nach Burstyn 88.

- Höhenschreiber 56.
 Höhentabelle, barometrische, Normal-
 skala 46, 48, 65.
 Höhenwinkel 5.
 Hysteresis, elastische, und Nachwirkung,
 s. Nachwirkung.
- Invert-Entfernungsmesser** 11.
- Kartenentfernung** 5.
Kehrbild-Entfernungsmesser 11.
Kommandoapparate 7.
Kompensator, optischer 9.
**Kreuzpeilstation für Luftfahrzeug nach
 A. Meissner** 86.
**Kröplin, H. C., Bützow, Mecklenburg-
 Schwerin** 74.
Kursweiser, drahtloser, nach Scheller
 86.
- Luftdruckvariometer** 65.
- Meßmarke** 13, 14.
**Mises, R. v., Verfahren zur Ermittlung
 der Steiggeschwindigkeit aus Baro-
 grammen** 49.
Morell, C., Leipzig 74.
- Nachwirkung, elastische und Hysteresis**
 60.
 —, Herabsetzung derselben nach War-
 burg und Heuse 61.
 —, Herabsetzung derselben durch Er-
 schüttern nach C. P. Goerz 62.
 —, Kompensation derselben nach
 Bennewitz 63.
Normalskala für Aneroide 65.
- Rahmenantenne, Braunsche** 82.
**Raubild-Entfernungsmesser, s. Stereo-
 skopische Entfernungsmesser.**
- Richtempfangsstation mit Rahmen-
 antenne** 84.
 — nach Bellini und Tosi 82.
- Sanden, von, Methode zur Ermitt-
 lung der Steiggeschwindigkeit aus
 Barogrammen** 52.
- Scheller, drahtloser Kursweiser** 86.
Schönian, Kommandogerät 30.
Sedlmeyer, München 74.
**Stereoskopische Entfernungsmesser,
 Aufbau derselben** 12.
- Teilbild-Entfernungsmesser, Aufbau
 derselben** 10.
Temperatureinfluß bei Aneroiden 58.
 —, Kompensation desselben 58.
Tiefe des Zieles 15.
Tiefenskala 14.
- Valentiner, Geschützeinstellvorrich-
 tung** 37.
Variometer nach Bestelmeyer 65.
- Warburg und Heuse, Mittel zur
 Herabsetzung von Hysteresis und
 elastischer Nachwirkung bei Ane-
 roiden** 61.
Winkel am Ziele 2.
- Zeiss, Carl, Jena** 20.
 —, **Kehrbild-Entfernungsmesser** 20.
 —, — mit neuer Justiervorrichtung 21.
 —, **Raubild-Entfernungsmesser** 23.
 —, **Auswanderungsmesser** 29.
 —, **Kommandoscheibe** 29.
 —, **Kommandogerät Schönian** 30.
Zielentfernung 2.
Zielhöhe 5.