KONINKLIJK NEDERLANDSCH METEOROLOGISCH INSTITUUT.

No. 102.

MEDEDEELINGEN

— EN —

VERHANDELINGEN.

26.

Dr. C. Schoute. Ein Registier-theodolit für Pilotballone.

Dr. C. Schoute. A Recording theodolite for Pilotballoons.

UTRECHT,
KEMINK & ZOON.
1921.

Kon. Ned. Meteor. Inst.
De Bilt

Dr. C. Schoute. — Ein Registriertheodolit zur Aufzeichnung von Pilotballonbahnen.

Einleitung. Die Methode zur Bestimmung von Richtungen und Geschwindigkeiten der Luftströmungen in den oberen Schichten mittels Pilotballonen, die in den heutigen aerologischen Stationen angewandt wird, ist ursprünglich der Luftschifffahrt entnommen. Aus einer Methode, welche den ersten Luftschiffern bloß rohe Schätzungen gab, entwickelte sich im letzten Viertel des vorigen Jahrhunderts durch die Bestrebungen der Meteorologen Kremser, Assmann, de Quervain u. a. ein Meßverfahren, das nicht nur für die Meteorologie von großer Bedeutung wurde, sondern auch für Luftverkehrszwecke vielfach verwertet worden ist.

Heutzutage werden fast ausschließlich Gummiballone verwendet, deren Vertikalgeschwindigkeit sich mit der Höhe praktisch nicht ändert. Die Methode der Registrierung, deren Beschreibung hier folgt, setzt eine konstante Vertikalgeschwindigkeit voraus. Wenn also Vertikalströmungen studiert oder mit in Betracht gezogen werden sollen, so wie bei Beobachtungen von mehr als einem Punkte aus, ist die Registrierung nicht ohne weiteres zu gebrauchen.

Die Vorteile aber, die in der normalen Verwendung, d. h. bei Verfolgungen von nur einem Punkte aus, ans Licht treten, scheinen eben so wichtig für die Meteorologie wie für die Luftschifffahrt zu sein. Bei der Konstruktion sind beide Verwendungsweisen, die naturgemäß ihre Sonderbedingungen stellen, berücksichtigt worden.

Es ist leichtverständlich, daß es den Angestellten an Flugplätzen willkommen sein muß, wenn sie sich bei Pilot-Anvisierungen nicht weiter um rechnerische und graphische Arbeiten zu kümmern brauchen. Und dazu muß man die Zeit, die für die Ausarbeitung der Augenablesungen nötig ist, wenn diese Arbeit nicht während der Beobachtung

von einem sehr geübten Personal ausgeführt wird, als einen Verlust betrachten; denn zur Erhöhung der Sicherheit und der Oekonomie des Fluges sind die letzten Feststellungen aus der oberen Luft ungleich wertvoller als die vorherigen.

Andererseits muß auch für die Meteorologie die Geschwindigkeit, mit der eine Bahnprojection hergestellt werden kann, wichtig sein, sobald es sich um Beobachtungen für einen regelmäßigen Dienst handelt, sodaß die Ergebnisse pünktlich zu bestimmten Zeiten oder möglichst bald eingereicht werden sollen.

Ein zweiter Vorteil, der sich vielleicht am meisten bei der meteorologischen Anwendung geltend macht, ist die Möglichkeit, die ganze Beobachtung ohne Hilfe eines Beobachtungs-Assistenten vor zu nehmen. Speziell für Forschungsreisende und an kleineren aerologischen Stationen kann diese Personalersparung einen wesentlichen Unterschied ausmachen.

Hierzu muß noch bemerkt werden, daß die Anforderungen welche die Beobachtung in bezug auf das Personal stellt, von dem Registrierinstrumente nicht bloß in numerischem Sinne vermindert werden. Denn jeder, der imstande ist, den Ballon im Felde des Fernrohrs zu halten, kann ohne weiteres sofort die Beobachtung ganz allein ausführen, während sonst die genauen und dabei schnellen Winkelablesungen, das Ausrechnen der Entfernungen und das Eintragen in das Diagramm eine ziemlich hohe Uebung erheischen.

Die Erfahrung hat ergeben, daß die Aufzeichnungen des Registriertheodoliten sich bei normalem Gebrauche im allgemeinem günstig unterscheiden von den Ergebnissen, die man erhält, wenn die Bahn nachträglich nach Winkelablesungen registriert wird. Die kleinen Unebenheiten, welche man dabei meistens auftreten sieht, fehlen bei der direkten Registrierung, und eine kritische Vergleichung ergibt, daß dies nicht an einer instrumentellen Ebenung der Bahn bei der Registrierung liegen kann. Wohl wäre, theoretisch betrachtet, das Umgekehrte möglich: daß die Registrierung kleine Fehler zeigte, welche in den Ablesungen nicht vorkamen. Die ganz ungezwungene und fließende Charakteristik der registrierten Bahnkurven zwingt zu der Schlußfolgerung, daß die Registrierung tatsächlich hinter den besten mittels Augenablesungen erhaltenen Zeichnungen in Genauigheit nicht zurücksteht.

Er erschien zweckmäßig, diese kurze Auseinandersetzung der Vorteile des Verfahrens vorauszuschicken. Denn es ist einleuchtend, daß diese Vorteile nur erreicht werden durch eine Kompliziertheit des Beobachtungsinstrumentes, welche um so größer wird, je einfacher man die Bedienung des Instrumentes macht. Es schien mir das Beste zu sein, dafür zu sorgen, daß das, was der Beobachter zu tun hat, auf das Geringste beschränkt wird, und zwar so wohl in der Zahl seiner Handlungen bei der Bedienung des Apparates als in deren Ausführlichkeit. Bei der Registrierung genügt jedesmal eine einzige Manipulation, um einen Punkt fest zu legen.

Bei der Ausführung der Modelle hat es sich niemals als notwendig erwiesen, eine der in dieser Hinsicht vorher gestellten Bedingungen fallen zu lassen.

Die obengenannte Kompliziertheit macht sich nach zwei Seiten hin geltend, in erhöhter Empfindlichkeit gegen Beschädigung und im höheren Preis. In bezug auf das Erste beweist die Erfahrung mit den Versuchsinstrumenten während mehrerer Jahre, daß die Apparate bei sachkundiger Behandlung zuverlässig arbeiten und keine Schäden entstehen. Der einmalige höhere Anschaffungspreis wäre an sich schon bei einer Arbeit, deren regelmäßige Ausführung infolge des Aufwandes an Ballonen und Wasserstoff erhebliche laufende Ausgaben erfordert, ohne Bedeutung. Dieser Faktor wird wohl ganz aufgehoben durch die Arbeitsbeschleunigung und die Ersparung eines Beobachtungsassistenten, welche der Apparat gestattet. Ausserdem hat die Erfahrung gezeigt, daß die Registrierung die Arbeit der Pilotverfolgung viel reizvoller macht, was der Ergiebigkeit der Methode zweifellos zugute kommen muß.

Ich darf diese Einleitung nicht abschließen ohne ein Wort des Dankes für die gütige Hilfe, die mir Herr L. L. M. VAN REST, Instituts-Obermechaniker, bei der Herstellung der Versuchsinstrumente freundlichst geleistet hat, indem er nicht nur seine Kunst als Feinmechaniker, sondern auch seine reichhaltige Erfahrung als Konstrukteur zur Verfügung stellte, sodaß mit verhältnissmäßig geringen Mitteln die praktischen Schwierigkeiten, welche die Aufgabe stellte, überwunden werden konnten.

Die Optische Anstalt C. P. Goerz (Berlin-Friedenau) hat die fabrikmäßige Herstellung von Registriertheodoliten übernommen, welche mit den in de Bilt gebauten in allen wesentlichen Punkten übereinstimmen. Prof. A. BERSON, bis vor kurzem einer der Mitarbeiter dieser Firma, hat viel Mühe auf die Entwickelung dieser Instrumente verwendet.

Daß die Konstruktion während der Kriegszeit eingestellt werden mußte hat freilich einen erheblichen Aufenthalt veranlaßt, aber in diesen Jahren hat sich einerseits das Erfahrungsmaterial in de Bilt, welches bei der Weiterausarbeitung eine wertvolle Unterlage bildete, regelmäßig vermehrt, und andererseits hat die Methode der Pilotverfolgung infolge umfangreicherer Verwendung inzwischen an Bedeutung erheblich gewonnen.

1. Die Grundlage der Methode. Nachdem KREMSER im Jahre 1893 die Meteorologen aufgefordert hatte, Pilotballone zu verfolgen und deren Bahn fest zu stellen durch die Bestimmung von Visierungsrichtungen und scheinbaren Diameter, welche er im Okular seines Fernrohrs mikrometrisch maß, hat ASSMANN im Jahre 1901 anstatt der Ballone aus Papier oder Seide Gummiballone herstellen lassen, welche in erster Linie als Registrierballone gebraucht werden sollten, aber sich alsbald durch ihre nahezu unveränderliche Vertikalgeschwindigkeit, welche bei den Registrieraufstiegen ans Licht trat, als besonders geeignet erwiesen, um als Pilotballone verwendet zu werden. Im Jahre 1902 empfahl DE QUERVAIN, der den ersten speziellen Theodoliten zur Ballonverfolgung konstruiert hat, die Beobachtung von Piloten von nur einem Punkte aus, wobei die Bahn unter Zugrundelegung der konstanten Steiggeschwindigkeiten aus einer Reihenfolge von zu bestimmten Zeiten beobachteten Richtungen festgestellt wird.

Seitdem ist diese Methode üblich geworden, obschon daneben natürlich für spezielle Zwecke noch oft Bahnbestimmingen von zwei oder mehr Punkten aus vorgenommen worden sind. Diese werden aber, weil sie viel schwerer auszuführen sind, auch in der Folge Ausnahmen bleiben.

Die Steiggeschwindigkeit braucht nicht jedesmal bestimmt zu werden, doch kann sie, wenn das Eigengewicht des Ballons und der Auftrieb

bekannt sind, Tabellen [1]) entnommen werden. In der Praxis wird der Ballon auf einer Wage gefüllt, welche derart beschwert ist, daß der Ballon eine bestimmte Steiggeschwindigkeit hat, sobald die Wage im Gleichgewicht ist, worauf der Ballon abgebunden wird.

Es ist klar, daß es ebenso gut möglich sein muß, die Schnittpunkte von einer Reihe von Visierrichtungen mit der entsprechenden Reihe von den um konstante Strecken steigenden Höhenschichten, in welchen sich der Ballon befindet, instrumentell zu ermitteln, wie es möglich ist diese Schnittpunte aus Augenablesungen durch Berechnung später zu bestimmen. Dazu hat man nur dafür zu sorgen, daß eine Ebene sich bei jeder Beobachtung auf einer Höhe befindet, welche in einem gewissen Maßstabe der Höhe des Ballons entspricht, was bei der unveränderlichen Steiggeschwindigkeit des Ballons darauf hinauskommt, daß auch dieser Ebene eine konstante Vertikalgeschwindigkeit mitgeteilt werden muß. Dann muß der Schnittpunkt dieser Ebene mit einer durch einen festen Punkt gehenden Geraden, welche auf dem Ballon gerichtet ist, bestimmt werden.

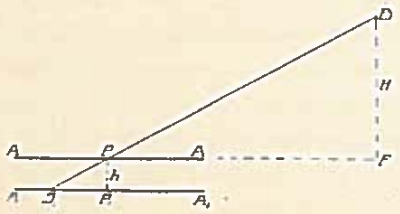

Fig. 1.

In Fig. 1 stellt P B eine Linie dar, die nach allen Richtungen um P drehbar ist und auf den Ballon (B) gerichtet gehalten wird. Die Ebene der Zeichnung ist eine Vertikalebene durch den Ballon B und den Visierungsmittelpunkt P. Die Gerade A A stellt den Schnitt dieser Ebene mit dem horizontal gestellten Diagrammblatt dar, dessen Mittelpunkt am Anfange der Verfolgung in P liegt. Nach Verlauf einer bestimmten Zeit t befindet sich der Ballon B auf einer Höhe $H = Ct$, wobei C die Vertikalgeschwindigkeit des Piloten vorstellt. Wenn der Diagrammtisch A A sich in diesem Augenblicke in der Lage $A_1 A_1$ befindet, in welche er durch eine Parallelsenkung ohne Drehung über einen Weg $P P_1 = h$ gebracht worden ist, so sieht man, daß der Abstand des Bildpunktes S von der Mitte des Diagramms P_1,

1) Hergesell. Verh. der Intern. Komm. für Wissensch. Luftf. zu Monaco p. 36.
Birkeland und Hesselberg. Beitr. z. Phys. der Freien Atmosph. B IV p. 196.
Tetens. Erg. der Arb. des Kön. Preuss. Aeron. Observator. bei Lindenberg B 1910 p. 191.

(P_1 S) sich zur Projektion des Ballonabstandes P F verhält wie h zu H. Wenn nun während der Beobachtung $\frac{h}{H}$ constant gehalten wird, d.h. wenn h ebenso wie H zu der seit dem Hochlassen verflossenen Zeit t proportional ist, so wird die Länge des Polarcoordinaten P_1 S immer zur Projektion der Ballondistanz P F in einem bestimmten Verhältnis stehen.

Weil ferner die Winkeldrehung von P_1 S um P P_1 immer dieselbe ist wie die von P F, wird der Punt S nicht nur in der richtigen Entfernung von P_1 gelegen sein, sondern auch in der richtigen Richtung eingetragen werden.

Der Schnittpunt S wird also eine naturgetreue Bahnabbildung erzeugen.

2. Die Bahnabbildung. Nach dem eben genanntem Prinzip können natürlich mehrere praktisch sehr verschiedene Registriermethoden entwickelt werden und aus den verschiedenen Möglichkeiten, welche sich darbieten, mußte teilweise aus naheliegenden Gründen, teilweise aber auch ziemlich willkürlich gewählt werden. In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Elemente, welche die Bahnabbildung bestimmen, einer näheren Besprechung unterzogen, wobei soviel wie möglich die Gründe dargelegt werden, welche in dieser Hinsicht als ausschlaggebend betrachtet wurden.

Die Art der Bildlinie. Es ist allgemein gebraüchlich, die Bahn in horizontaler Projection abzubilden und in der Bildlinie die Zeit mit anzugeben, sodaß man aus der bekannten Vertikalgeschwindigkeit des Ballons und aus der Zeit seit dem Hochlassen auf die Höhe zu schließen oder umgekehrt den Punkt der Bahn finden kann, der einer bestimmten Höhe entspricht.

Diese Zeitmarkierung kann mittels seitlicher Ausschläge auf einer sonst kontinuierlichen Linie oder durch regelmäßige Unterbrechungen derselben dargestellt werden; aber das einfachste ist wohl daß man die Linie aus einer Reihe von Punkten bildet, die zeitlich aequidistante Momentbeobachtungen darstellen.

Die punktierte Linie, welche man in dieser letzten Weise bekommt,

steht hinter der gezackten oder gestrichelten Linie der oben genannten Methoden keineswegs zurück. Denn Einzelheiten der Windbewegung, die dadurch verloren gehen könnten, haben bei der großen Veränderlichkeit des Windes kaum Bedeutung, um so weniger, als die Ergebnisse doch nicht streng simultan sind. Und es ist ein großer Vorteil der punktierten Linie, daß der Beobachter nicht gezwungen ist, den Apparat fortwährend mit gleicher Genauigkeit auf dem Ballon eingestellt zu halten, sondern nur im Augenblick der Markierung, was die Verfolgung, welche bei klarem Wetter weit über eine Stunde dauern kann, weniger anstrengend macht. Durch meine Entscheidung für eine punktierte Linie ist festgehalten worden an der Methode, die bei den Augenablesungen wohl immer üblich ist.

Die Erzeugung der Bildpunkte. Da eine mechanische Aufzeichnung der Bahnkurve die Bilder sogleich fertig zu stellen gestattet, ist eine derartige Erzeugungsweise der Bildpunkte gewählt worden und zwar ein Einstechen von Löchern. Dieses Verfahren erfordert wenig Nachsehen, arbeitet fein und sauber und gestattet die gleichzeitige Darstellung von mehreren Kopien. Eine Erzeugung der Bahnzeichnung mittels elektrischer Funken, welche das Papier durchschlagen, (ein Verfahren, das bekanntlich sehr schön arbeiten kann) hat den Nachteil, daß es besondere Hilfsmittel erfordert. Bei keiner anderen Markieringsart als bei der durch Nadelstichen, dürfte es so leicht sein, jeden fünften Punkt in der Beobachtungsreihe hervorzuheben, was nicht nur für die schnelle und leichte Bestimmung der Ordnungszahlen, d. h. der zugehörigen Höhe, sehr erwünscht ist, sondern auch verhindert, daß bei der Ausarbeitung Fehler gemacht werden wenn die Punkte infolge schwachen Windes dicht neben einander liegen. Es wird nämlich für die Registrierung eine konische Nadel benutzt, die jedes fünfte Mal automatisch tiefer niedergedrückt wird, sodaß ein größeres Loch entsteht.

Man kann die Nadelstiche so fein machen, wie man will, und bei dem ziemlich kleinen Maßstab, welcher in Rücksicht auf die instrumentellen Dimensionen angezeigt erscheint, ist eine feine Markierung sehr erwünscht. Wenn aber den Diagrammen ein Wert als Archivmaterial beigemessen wird, ist es ratsam, die Löcher mit Tinte oder Bleistift nachher zu

schwarzen und die fünften Punkte in irgendeiner Weise hervorzuheben, weil die Stiche nach langem Liegen unter dem Drucke eines Papierstapels undeutlicher werden.

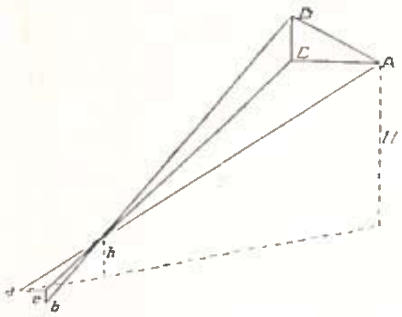

Fig. 2.

Der Maßstab der Abbildung.

Wenn sich der Ballon am Anfang eines bestimmten Beobachtungsintervalles in A, und am Ende desselben in B befindet (fig. 2) und A C die Horizontalprojektion von A B darstellt, so ist a c die Abbildung von A C. Das Verhältnis zwisschen A C und a c ist der Maßstab der Abbildung. Dieser entspricht, wie sofort ersichtlich ist, dem Verhältnisse von B C zu b c, welche sich der Bahndarstellungsweise gemäß wieder wie H zu h verhalten.

Wenn also eine Uhr den Diagrammtisch mit einer bestimmten Geschwindigkeit senkt, so ist, sobald die Steiggeschwindigkeit des Ballons gegeben ist, der Bildmaßstab, welcher der Quotient der beiden Vertikalgeschwindigkeiten ist, festgelegt.

Nun ist es aber nicht notwendig für die Senkung des Tisches eine Uhr zu benutzen. Hauptsächlich das Bestreben nach Einfachkeit der Konstruktion und Zuverlässigkeit führten zur Anwendung eines Mechanismus, der dem Tische die bestimmte Senkung jedesmal bei der Markierung gibt. Sei diese Senkung k, so ist, wenn die Steiggeschwindigkeit S und die Dauer der Beobachtungsperiode P ist, der Maßstab

$$M = \frac{k}{SP}$$

Dadurch ist die Möglichkeit, die Markierungen an willkürlichen, z. B. für die Bewegung characteristischen Momenten vorzunehmen, weggefallen. Da es aber für die Höhenbestimmung sehr erwünscht ist, daß die Beobachtungen um gleiche Zeitabschnitte auseinander liegen, schien diese Beschränkung kein wesentlicher Nachteil zu sein.

Falls der Ballon, vorübergehend, z. B. durch Wolken, der Beobachtung entzogen ist, muß doch jedesmal der Tisch gesenkt werden, ohne daß

ein Punkt der Bahn markiert wird. Die Möglichkeit dazu wird dadurch geboten, daß der Abstieg der Tafel bei der Registrierung den anderen Handlungen vorausgeht, und von diesen getrennt besorgt werden kann, womit natürlich in der Anfangshöhe gerechnet wird.

Auch kann es von Vorteil sein, daß man es in der Hand hat, den Abbildungsmaßstab durch Aenderung der Periode zu variieren. Ziehen z. B. die Wolken so niedrig, daß eine lange Beobachtung ausgeschlossen ist, so kann man Perioden von halben Minuten nehmen anstatt von ganzen. Eine Vorrichtung, um nach Belieben Perioden von ganzen oder halben Minuten zu verwenden, ist in der Uhr, welche zum Anzeigen der Beobachtungsmomente dient, bei dem ersten Modelle angefertigt worden. Diese Einrichtung ist aber nur sehr selten praktisch gebraucht worden, weil eigentlich immer die Beobachtungen in vollen Minuten genügen. Für die Konstruktion einer Vorrichtung um auch die Grösse k, die Senkung des Tisches variieren zu können, lag also keine Veranlassung vor.

Es könnte so scheinen, alsob es ein Mangel der Methode wäre, daß man gezwungen ist den Bildmaßstab im voraus fest zu legen. Wenn man aber einen Maßstab wählt, der einerseits genügend groß ist, um die Einzelheiten der Luftströmungen, welche von praktischer Bedeutung sind, zu unterscheiden, und andererseits die Diagrammblätter nicht größer macht als nötig, so bekommt das Material eine gewisse Gleichförmigkeit, welche als ein Vorteil zu betrachten ist.

Die Transportforderungen des Instrumentes bedingen eine Beschränkung der Größe der Diagramme. Ein Mittel, um den Maßstab zu variieren, hat man nötigenfalls noch immer in der Steiggeschwindigkeit der Ballone. Je größer diese ist, desto kleiner wird das Bild. Nun ist es ein glücklicher Umstand, daß die Erfahrung ergeben hat, daß trotzdem mit der wachsenden Steiggeschwindigkeit die mittlere Bahnlänge in der Abbildung nicht abnimmt. Im Gegenteil werden die Beobachtungsverhältnisse bei schnellerem Steigen, d. h. bei grösseren Neigungswinkeln, also bei relativ geringerer Lichtabsorption, so erheblich besser, daß die Fälle, in welchen die Bahn über den Rand des Papiers hinausgeht (siehe Seite 14), innerhalb gewisser Grenzen verhältnismäßig zahlreicher sind bei schneller als bei langsamer steigenden Ballonen.

Die Frage, welche Steigegeschwindigkeit die im allgemeinen

meist praktische ist, ist zum größten Teile eine Kostenfrage. Die schneller steigenden, größeren Ballone geben Ergebnisse bis zu größeren Höhen, nehmen aber in einer schnellen Progression im Preise zu und erfordern mehr Wasserstoff.

Es ist wohl ratsam, eine Geschwindigkeit zu wählen, welche gestattet, bestimmte Höhenstufen, z. B. 500, 1000, 1500 m u. s. w., in einer einfachen Zahl von Perioden zu erreichen. Bei Minutbeobachtungen also 100, 125, 167 oder 200 m. pro Minute.

Solange die Zeit nicht auf dezimaler Grundlage gemessen wird, und die verschiedenen Einheiten, in welchen Windgeschwindigkeiten ausgedrückt werden, wie m. pr. sek, km. pro Stunde, Meilen pro Stunde, nicht in einer einfachen Beziehung zu einander stehen, ist es allerdings nicht möglich, die Größen, welche den Maßstab (M) bestimmen, k, S und P so zu wählen, daß eine einfache Konstante das Verhältnis zwischen den im gleichem Maßstabe gemessenen Abständen auf dem Diagramm und den entsprechenden Windgeschwindigkeiten in diesen verschiedenen Einheiten gleichzeitig darstellt.

Man muß also entweder mit verschieden geteilten Maßstäben diese Abstände messen oder sie nach einer Tabelle reduzieren. Das hat aber mit der Registierung an sich garnichts zu tun, denn die Schwierigkeit ist die nämliche, gleichgültig, in welcher Weise das Diagramm hergestellt worden ist.

Ein wichtiger Umstand aber, der aus dem obenstehenden folgt, ist, dass ein Registriertheodolit, bei welchem die Strecke, um welche die Diagrammtafel bei jeder Beobachtung gesenkt wird, unveränderlich ist, nichtdestoweniger für den Gebrauch aller üblichen Ballone verwendbar sein kann.

Bei einem Wert von $k = 0.8$ mm. ist der Faktor, mit welchem der Abstand von zwei auf einander folgenden Punkte der Bahn in mm gemessen multipliziert werden muß um die mittlere horizontale Windgeschindigkeit in dem entsprechenden Teile der Bahn in m pro sek zu erhalten, $= \frac{S}{50}$ wenn S normalerweise in m pro min ausgedrückt wird.

3. Die Dimensionen des Diagrammblattes und die Weglänge um welche der Tisch gesenkt werden kann.

Die Dimensionen des Diagrammblattes sind bei den Versuchsinstrumenten in de Bilt so gewählt worden, daß auf Grund des früheren Beobachtungsmaterials zu erwarten war, daß in etwa 3 % von allen Fällen die Bahn über den Rand des Papiers hinausgehen würde. Es gibt immer Tage von ganz besonderer Klarheit, und wenn dabei in den oberen Schichten ein starker Wind weht, in einer Strömung von großer Mächtigkeit, so kann es vorkommen, daß die Verfolgung des Ballons bis in eine ausserordentlich weite Entfernung fortgesetzt werden kann. Es ist nicht nötig, für jede Beobachtung mit einem solchen Ausnahmezustand zu rechnen. In der Praxis hat es sich dann aber herausgestellt, daß die Zahl der Fälle, in welchen das Papier zu klein war, bedeutend höher wurde als aus dem früheren Material abgeleitet werden mußte, und zwar einerseits infolge des Gebrauches größerer Ballone welche, wie schon gesagt, im Durchschnitt viel länger verfolgt werden können, und auch durch den Umstand, daß in früheren Jahren beinahe ausschließlich bei schönem klaren Wetter, welches im allgemeinen meist schwachen Wind bedingt, Pilotverfolgungen angestellt wurden, während das später auch bei starkem Winde geschah.

Die Diagrammblätter bei den Goerz'chen Theodoliten sind deshalb ungefähr um ein fünftel größer genommen und haben einen Radius von 9.5 cm von welchen 8 cm für die Zeichnung zur Verfügung stehen, was bei einer Steiggeschwindigkeit des Ballons von 150 m pro min. einer horizontalen Entfernung von 14.5 km entspricht.

Auch in der Weglänge, um welche der Tisch gesenkt werden kann, ist bei diesen Instrumenten nicht mit Extremfällen gerechnet. In tropischen Ländern, wo der Wind relativ schwach ist, wird es verhältnissmäßig öfter vorkommen als in den mittleren Zonen, daß der Tisch die letzte Senkung erreicht hat, bevor der Ballon aus dem Gesichte verschwunden oder geplatzt ist. Denn in den letzteren ist es wahrscheinlich, daß bei längerer Verfolgung die Bahn die Grenze des Diagramms überschritten hat, bevor der Tisch an seinem niedrigsten Punkt angelangt ist. Wenn das Instrument eine Zahl von 70 Beobachtungen gestattet, wird das in den weitaus meisten Fällen genügen.

Wäre in beiden Fällen entweder durch den Rand des Papiers oder durch das Ende der Senkungsmöglichkeit des Tisches der Registrierung eine Grenze gesetzt, so daß für die weitere Beobachtung Augenablesungen zur Hilfe gezogen werden müssten, so würde dies tatsächlich eine ernste Unvollkommenheit der Methode bedeuten. Das ist aber nicht der Fall; denn es ist, wie unten gezeigt wird, möglich, den Tisch wieder hoch zu bringen und die Registrierung fortzusetzen. Da aber die Fortsetzung der Bahn im allgemeinen verzeichnet ist, und deshalb ein Berichtigungsverfahren erheischt, ist es erwünscht, daß diese Fälle so wenig wie möglich vorkommen. Es kommt also darauf an, die Verhältnisse so zu wählen, dass die Forderung, die Bahn so selten wie möglich unterbrechen zu müssen, so gut wie möglich in Einklang gebracht wird mit der Bedingung der handlichen Dimensionen des Instrumentes und der Sparsamkeit mit dem Papier. In den Theodoliten der Optischen Anstalt C. P. Goerz dürfte diese Aufgabe in einer glücklichen Weise gelöst sein.

Fortsetzung der Aufzeichnung, falls die Bahn nicht in einem Zuge aufgezeichnet werden kann.

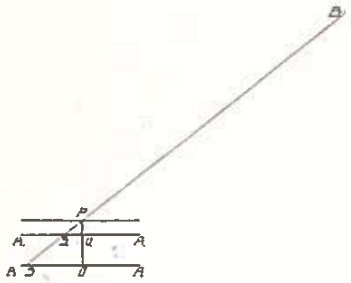

Fig. 3.

In Fig. 3 ist S P die auf den Ballon B gerichtete Gerade, deren Schnittpunkt S mit dem Papier (A A) die Abbildung erzeugt. Wenn nach n Beobachtungsperioden die Tafel in der Lage A A liegt, sodaß der Punkt S, am Rande des Diagramms gelegen, bei der nächsten Markierung wahrscheinlich über den Rand des Papiers hinausgeraten würde, so wird die Tafel gehoben, z. B. bis in eine Lage $A_1 A_1$, und der Punkt S_1 wird markiert, bevor etwas in der Lage des Fernrohrs geändert ist, worauf die Beobachtung fortgesetzt wird wie zuvor.

Man könnte den Tisch auch wieder in die Anfangslage zurückbringen. Das hat aber zwei Nachteile: 1° ist dann die Richtung viel weniger genau gegeben, und 2° ist die Gefahr größer, daß die beiden Bahnteile schwer zu unterscheiden sind.

Es wäre leicht, eine Vorrichtung anzubringen, die gestattete, die Lage des Tisches nach dem Hochbringen sofort abzulesen. Man kann sie aber auch der Zeichnung durch eine graphische oder numerische Bestimmung, welche sich mit einem Rechenschieber sehr schnell ausführen läßt, entnehmen.

Die Punkte O, S und S_1 liegen auf dem Diagramm auf einer Geraden und, wenn S der n^{ten} Beobachtung entspricht und der Weg, über welchen das Diagramm gehoben worden ist, mit m der Vertikalstufen übereinstimmt, ist $\frac{OS_1}{OS} = \frac{n-m}{n}$. Also $m = n \frac{SS_1}{OS}$.

n läßt sich abzählen, SS_1 und OS werden gemessen, so daß man m sehr leicht mit dem Rechenschieber bestimmt. Wenn alle drei Punkte mit absoluter Genauigkeit aufgezeichnet sind und ganz richtig gemessen werden, muß für m eine ganze Zahl herauskommen. Ist das aber in der Praxis nicht ganz der Fall, so tut man am besten, wenn der gebrochene Wert von m als richtig angenommen wird. Denn dadurch werden etwaige Einflüsse einer nicht ganz richtigen Lage des Ursprungs auf den Diagramm zum größten Teil beseitigt und der gute Anschluß der beiden Teilen, welchen man dadurch erhält, beweist wohl, daß in dieser Weise keine nennenswerte Fehler übrig bleiben.

Von einem weiteren Punkt, der, sagen wir, n′ ten Beobachtung (welche Ordnungszahl einfach abgezählt wird), ist der Abstand zum Ursprung durch das Heben des Tisches über m Höhenstufen $\frac{n'-m}{n'}$ fach verkürzt, und dieser muß infolgedessen in einer Vergrösserung $\frac{n'}{n'-m}$ in derselben Richtung abgesetzt werden; so wird mit allen Punkten der Bahnfortsetzung verfahren. Im allgemeinen genügt es völlig wenn allein die Lage für die fünften Punkte der Reihe vermittelt wird, während die anderen auf Grund der Verteilung der Abstände in dem verzeichneten Teile der Kurve eingetragen werden.

Nur in Fällen, wo starke Richtungsänderungen auftreten wird man sich nicht mit der Feststellung der fünften Punkte begnügen, sondern für mehr Punkte die Konstruktion ausführen.

Natürlich muß die Störung, welche in der Reihe der besonders markierten fünften Punkte durch das Heben gebracht wird, entweder während der Beobachting beseitigt oder nachher berücksichtigt werden.

4. Praktische Ausführung des Registriertheodoliten.

Bei der Besprechung der bisherigen praktischen Ausführungen des Registriertheodoliten, wird von den Versuchsmodellen, welche in der Werkstatt des Meteorologischen Instituts in de Bilt angefertigt worden sind, eine sehr kurze Beschreibung gegeben, während die einzelnen Elemente der Registrierung, welche näher behandelt werden, sich auf Apparate beziehen, welche in der Optischen Anstalt Goerz gebaut sind. Einige Bemerkungen, welche auf diese Konstruktionsformen in gleichem Maße Beziehung haben, gehen hier voran.

Einige Forderungen welche die gewählte Ausführungsweise bedingt.

Ein Erfordernis, das mit der mechanischen Registrierung zusammenhängt, besteht darin, den unteren Teil des Markierstabes, den wir als Stempel bezeichnen werden, jedesmal nach der Markierung vom Papier zu heben. Denkt man sich die Gerade S B der Figuren 1 und 3 durch einen Stab verkörpert, welcher zwischen festen Punkten resp. Friktionsrädern in der Längsrichtung verschiebbar ist, und dessen Unterteil, der Stempel, auf dem Papier ruht, so ergibt sich leicht, daß, wenn der Höhenwinkel der Visierlinie zu wachsen anfängt, dem Markierstabe von dem Drucke auf die Tafel, welche nach oben gerichtet ist, nicht die unter Umständen fast horizontale Bewegung mitgeteilt werden kann, welche nötig ist, um zu vermeiden, daß er zwischen dem Diagrammtisch und seinen Führungsstellen klemmt.

Eine zweite Forderung dieser Art mechanischer Schreibweise ist die, daß der Markierstab in dem Momente des Einstechens in seiner Fassung festgehalten werden muß, um ein Durchschieben in der Längsrichtung auszuschliessen, was speziell wieder bei kleinen Höhenwinkeln zu befürchten wäre, und Risse anstatt sauberer Löcher in dem Diagrammpapier ergeben würde. Für jede Markierung ist also nötig, daß

1° der Markierstab auf das Papier gebracht wird,
2° derselbe geklemmt,
3° eingestochen wird,
4° die Klemmung wieder gelöst,
5° der Stab gehoben,
6° der Diagrammtisch gesenkt

und 7° die Vorrichtung betätigt wird, welche die besondere Markierung der fünften Punkte besorgt.

Die Reihenfolge dieser Handlungen kann teilweise nach Belieben variiert werden. So wird, wie schon gesagt, das Senken des Tisches (6°) am besten vor allen anderen Handlungen vorgenommen.

Die einzige Möglichkeit, um sicher zu vermeiden, daß entweder eine der Handlungen vergessen oder zweimal bei einer Beobachtung ausgeführt oder die Reihenfolge in einer störenden Weise geändert wird, besteht darin, die gesamten Handlungen durch eine einzige Manipulation vor sich gehen zu lassen.

Besondere Anforderungen werden von den einzelnen Teilen der Aufgabe nicht gestellt; nur macht sich die Mannigfaltigkeit der Betätigungen in der Konstruktion geltend, die durch einen Umstand noch besonders erschwert wird, nämlich durch die Veränderlichkeit in der Lage, welche die verschiedenen Teile zu einander einnehmen. Wenn z. B. die Kraft zur Ausführung der Manipulation irgendwie an den das Fernrohr und die Schreibvorrichtung tragenden Oberbau angreift, so muß dieselbe derartig übertragen werden, daß der Tisch, welcher an den Drehungen des Fernrohrs nicht teilnimmt, unter allen Umständen um eine bestimmte Strecke gesenkt werden kann. Ein anderes Beispiel: Da sich die Neigung des Markierstabes der Diagrammfläche gegenüber von Minute zu Minute ändert, muß die Nadel mittels einer Kraft, welche in der Richtung des Stabes wirkt, immer richtig vertikal in das Papier eingestochen werden, und zwar bis zu einer Tiefe, die von der Neigung des Markierstabes ganz unabhängig sein muß.

In diesen beiden Fällen kann die Lösung die gleiche sein: die Bewegung, welche nach der veränderlichen Richtung stattfindet, wird umgesetzt in eine andere in der relativen Drehungsachse, welche Richtung also für beide in Betracht kommenden Teile gewissermassen eine unveränderliche ist. Die weitere Beschreibung wird dies näher illustrieren.

Die größte Schwierigkeit in der Konstruktion hat sich immer da ergeben, wo der Neigungswinkel der Visierlinie klein ist, so daß bei der Registrierung zwischen Markierstab und Diagrammfläche eine Keilwirkung zu stören droht. Wenn aber die verschiedenen obengenannten Elemente der Registrierung richtig funktionieren, so kann man

ruhig und sicher die Registierung fortsetzen, auch bei den kleinsten Winkeln, die in der Praxis noch eine Rolle spielen (8° und niedriger).

Drei Versuchsinstrumente aus der Werkstatt des Königl. Niederl. Meteorologischen Instituts.

Bisher ist nur von dem Registrierungsmechanismus und nicht von dem eigentlichen Ballontheodolit die Rede gewesen, und weil in den Biltschen Instrumenten in keiner Weise von den üblichen Theodoliten zur Ballonverfolgung abgewichen ist, lag keine Veranlassung dazu vor. Diese Instrumente, welche hauptsächlich durch das gebrochene Fernrohr gekennzeichnet sind, fordern kaum eine nähere Erläuterung.

Der erste dieser Registriertheodoliten (fig. 4) ist im Jahre 1910 von dem Instituts-Obermechaniker, Herrn L. L. M. VAN REST, der auch die beiden späteren Formen ausführte, angefertigt worden. Es war eine Anpassung des Registriermechanismus an ein bestehendes Instrument, einen der bekannten kleinen Ballontheodolite von BERNHARD BUNGE aus Berlin.

Um nicht mehr als unvermeidlich umbauen zu müssen, wurde der Mechanismus seitlich angebracht. Weil die Tafel bei einer Drehung des Fernrohrs um die vertikalen Achse an dieser Drehung nicht beteiligt sein darf, mußte eine Art Planetenradgetriebe zwischengeschaltet werden. Der Trieb, in welchen beide Räder eingreifen, ist so lang, daß das Rad, welches mit dem Diagrammtisch verbunden ist, in jeder Höhenstellung eingreifen kann.

In der Ausführung der Markiervorrichtung, die sich über dem Diagrammtisch befindet, sind alle 7 obengenannten Elemente der Registrierung vorgesehen worden, und die Wirkung des Instrumenten war durchaus befriedigend. Aber die Verbindung des Teiles, der für die Senkung des Tisches dient, mit dem Markierungsmechanismus mittels einer biegsamen Welle, wobei also die Kraftübertragung in der Drehungsachse noch nicht verwendet worden ist, hat sich nicht besonders bewährt. Auch war die Kuppelung des Fernrohrs mit dem Schreibmechanismus nicht genügend stabil, und die Markierungsvorrichtung selbst, in welcher Seidenschnüre eine Rolle spielten, war zu leicht ausgeführt, um auf die Dauer zuverlässig zu sein.

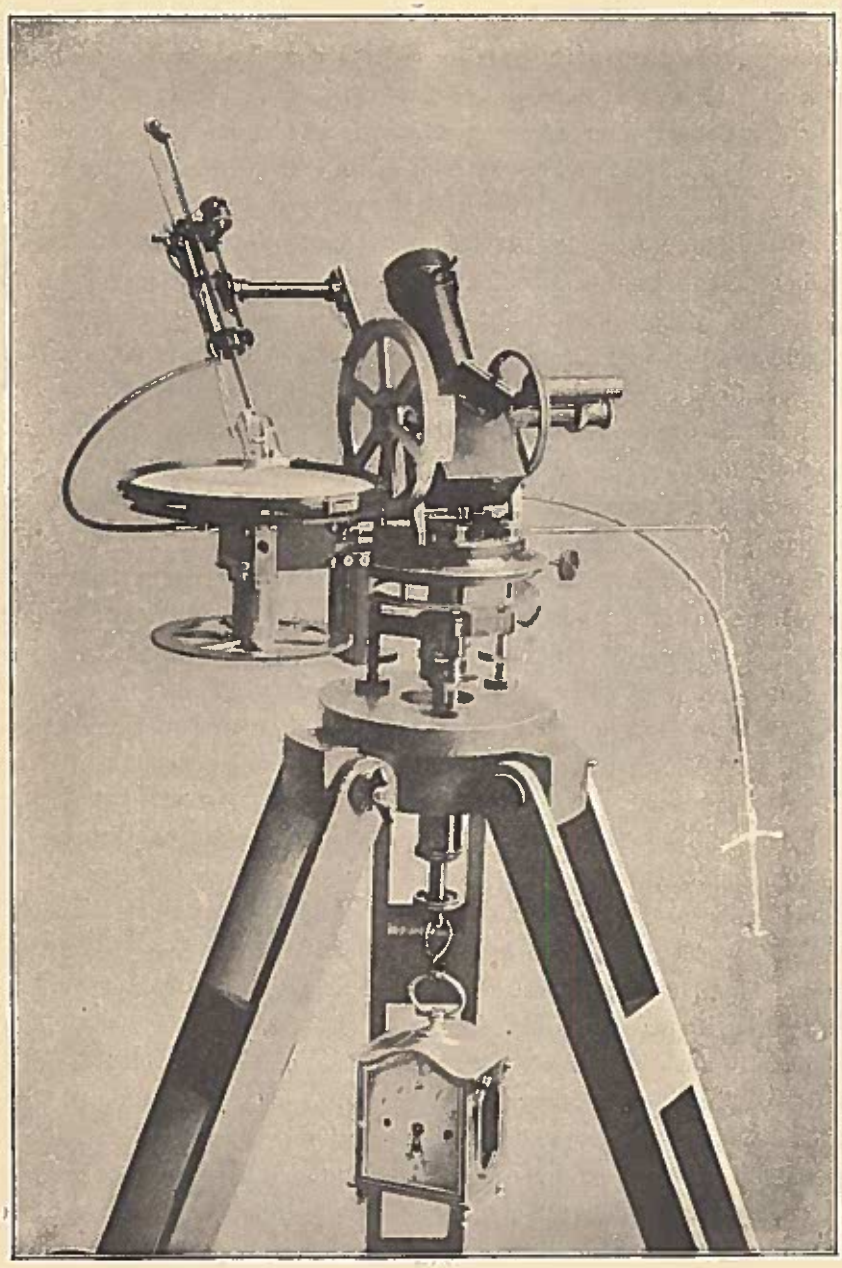

Fig. 4

Es war demnach angezeigt, in einer zweiten Konstruktion, welche in den Jahren 1911—'12 erfolgte, (fig. 5) eine kräftigere Ausführungsweise in Aussicht zu nehmen. Die Stärke der Unterteile entsprach nun mehr der Bauart einer Schreibmachine, nicht der leichten Konstruktion etwa eines photographischen Verschlusses, wie bei der ersten Ausführungsweise.

Ein Hammerförmiges Gewicht dient dazu, den schweren Oberbau in welchem Fernrohr und Markierungsmechanismus unmittelbar verbunden sind, im Gleichgewicht zu halten. Die Registrierung wird durch das Anziehen des Handgriffes ausgeführt, welcher sich in der Mitte des Höhenkreises befindet, sodaß die Kraft, welche in der horizontalen Drehungsachse des Fernrohrs angreift, nach unten übertragen werden kann, sowohl zur Senkung des Tisches wie zum Markierstabe, in welcher Lage sich dieser auch befinden möge. Die biegsame Welle ist hier ganz weggefallen. In dem dritten Modell (fig. 6) ist wieder eine kurze biegsame Welle benutzt worden, mehr, um nicht gezwungen zu sein, mit der Hand in der unmittelbaren Nähe des Auges zu arbeiten, wie um die Rückwirkung der Handlung auf das Fernrohr herabzusetzen.

Im zweiten sowohl wie im ersten Modell ist eine leichte Federkraft verwendet worden, um den Markierstab auf das Papier zu bringen. Durch das Anziehen des Handgriffes wird sie sofort nach dem Senken des Tisches ausgelöst. Nach der Markierung des Punktes der Bahn wird der Stab wieder um eine bestimmte, jedesmal gleich große Strecke gehoben, und zwar so weit, daß auf Grund der Erfahrung ein Klemmen nunmehr als ausgeschlossen betrachtet werden kann.

Die wichtigste Aenderung, die Goerz in der Konstruktion vorgenommen hat, und die auch in das dritte Modell in de Bilt übernommen worden ist, besteht darin, daß der Stab aus der Anfangslage durch Handkraft auf das Papier gebracht, und mittels Federkraft wieder in die Anfangslage gehoben wird. Dadurch wird Verschmutzung vermieden und Verletzung vorgebeugt, welche vorkommen können, wenn der Stab nach Beendigung der Beobachtung hervorragt. Die Konstruktion wird dadurch zwar einerseits vereinfacht, weil die oben erwähnte auslösbare Federkraft wegfällt, aber andererseits muß nun eine Vorrichtung angebracht werden, um auszuschließen, daß die Nadel schon ausgestochen wird, bevor der Stempel in der richtigen Lage

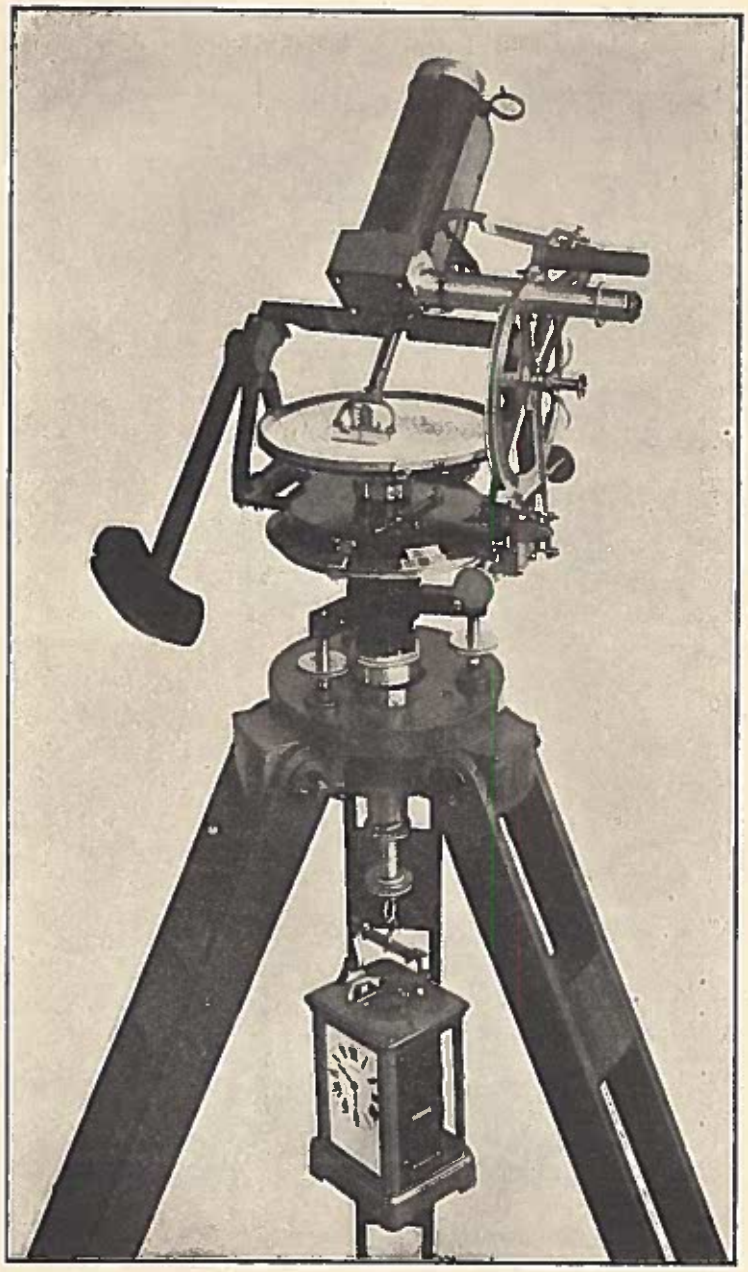

Fig. 5.

flach auf dem Papier liegt, ein Art Verschluß also, der geöffnet wird, sobald der Stempel mit einem gewissen schwachen Druck auf dem

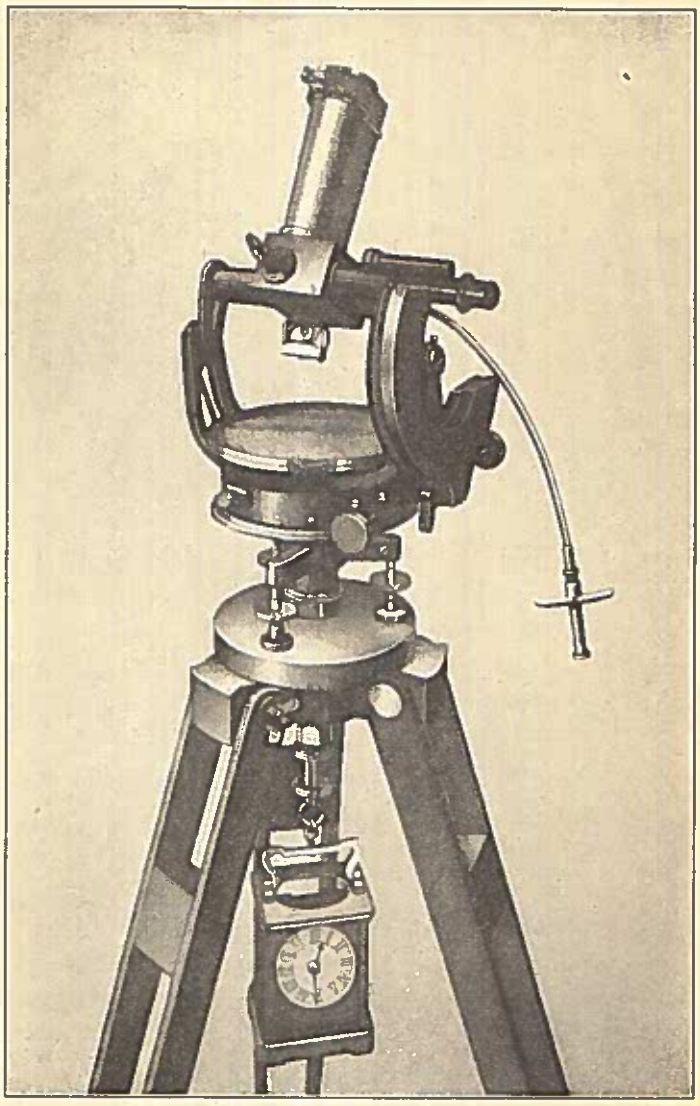

Fig. 6.

Diagramm aufliegt, sodaß erst dann die Nadel einstechen kann.

Das Gegengewicht ist in Modell III in dem schwer ausgeführten

Höhenkreise versteckt. Obschon diese dritte Ausführung in mehreren Beziehungen konstruktiver genannt werden kann als die zweite, ist kaum zu entscheiden, welche von beiden im Gebrauche vorzuziehen ist. Beide haben vom Anfang an befriedigend gearbeitet.

Die optischen Teile, die nicht in der Instituts-Werkstatt hergestellt worden sind, waren bei beiden Instrumenten: ein Fernrohr mit 20-facher Vergrößerung bei einem Felde von $\pm$ 2°. Beide haben ausserdem einen Spiegelsucher und Richtkorn.

Der Registriertheodolit von Goerz.

In dem Registriertheodolit, welcher in der Optischen Anstalt C. P. Goerz (Berlin—Friedenau) hergestellt wird, ist auf den optischen Teil des Instrumentes besondere Sorgfalt verwendet. Das rechtwinklige Prisma ist durch ein Dachkantenprisma ersetzt, sodaß die Bilder aufrecht erscheinen, was bei der Orientierung des Instrumentes mittels fester Punkte am Horizont von Vorteil ist.

Eine Verbesserung von größerer Bedeutung besteht darin, daß an die Stelle des Spiegelsuchers, welcher oft in kurzer Zeit in Helligkeit und Schärfe der Bilder zurückgeht, ein optischer Sucher mit einem Gesichtsfelde von 20° und zweifacher Vergrößerung getreten ist. Das hat den Vorteil, daß die in Sucher und Fernrohr erscheinenden scheinbaren Bewegungen des Ballons bei einer Drehung der Schrauben von Horizontal resp. Höhenkreis bei beiden in derselben Richtung erfolgen, was dem schnellen Einüben zustatten kommen muß. Außerdem ist das Bild in diesem Sucher schöner als das einfach gespiegelte, sodaß man ruhig die erste Minute oder länger den Ballon im Sucher verfolgen kann und erst, wenn die Winkeldrehungen des Objectes ruhiger geworden sind, auf das Fernrohr überzugehen braucht. Die Feldgröße des letzteren ist im Sucher von einem zentralen Kreise im Felde angegeben. Hierdurch wird das Abfangen des Ballons, das Einzige, was bei der Verfolgung Uebung erfordert, sehr erleichtert.

Die dritte Verbesserung, zum optischen Teile des Instrumentes gehörend, ist die Beifügung einer Reihe von Farbblenden, welche in einer Revolverscheibe am Okular angeordnet sind, sodaß sie während der Beobachtung leicht ausgewechselt werden können. Sie dienen dazu,

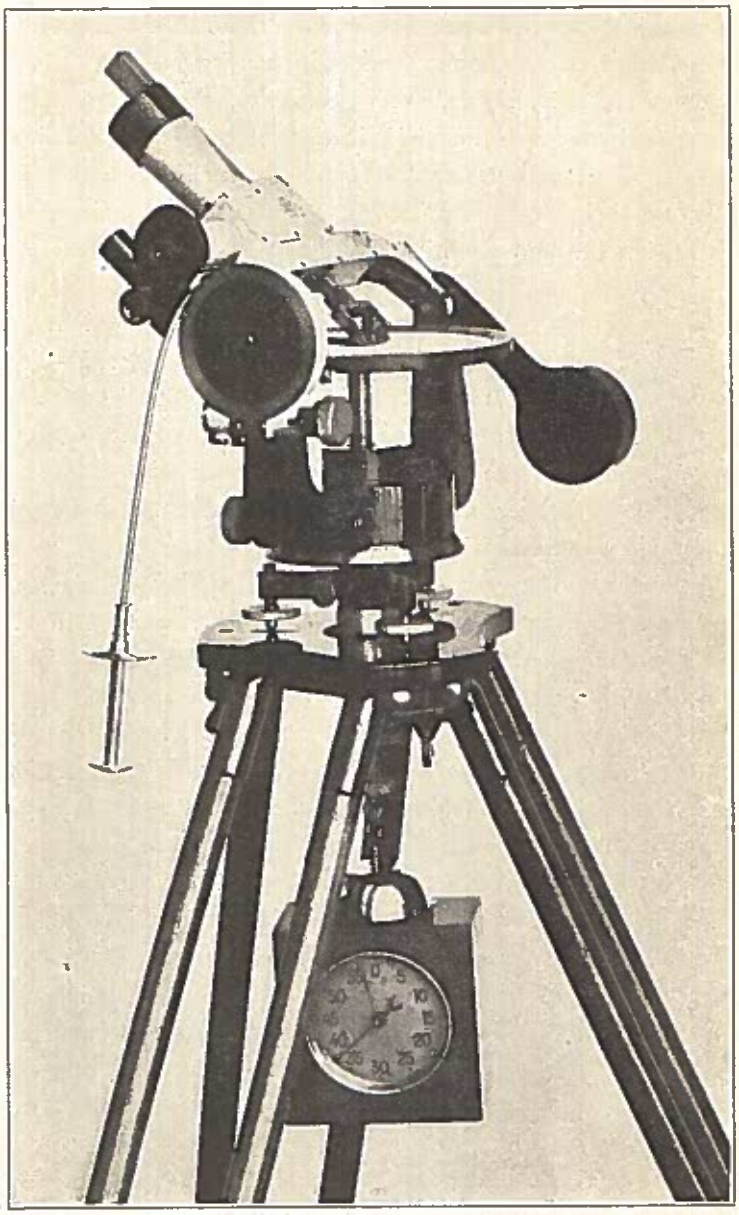

Fig. 7.

die Sichtbarkeit des Ballons bei verschiedener Beleuchtung, auch in der Nähe der Sonne, zu erhöhen.

Die Registriervorrichtung weicht in keiner Weise erheblich von der des dritten in de Bilt angefertigten Modells ab. Ganz kurz sollen hier an der Hand einer schematischen Zeichnung (fig. 8) die Elemente dieser Vorrichtung in der GOERZ'schen Ausführung besprochen werden:

Das Anziehen des Handgriffes A, am Ende einer biegsamen Welle veranlaßt direkt drei Handlungen.

1°. Ein Bowdendraht, der mittels des Handgriffes angezogen wird, ist mit einer Zahnstange B verbunden, welche in einer Schlittenführung der Länge nach beweglich ist. An der Vorderseite dieses Stabes ist eine Ecke schräg weggenommen, sodaß ein Rädchen C am Ende eines Hebels D beim ersten Anziehen der Zahnstange seitlich weggedrückt wird. Dadurch wird ein zweiter rechtwinklich umgebogener Hebel E betätigt, dessen eines Ende sich in der horizontalen Drehungsachse des Theodoliten befindet und sich in der Achse bewegt. Das ermöglicht einen kurzen Stab F, zentral im Drehpunkte angebracht und da federnd nach innen gedrückt, nach aussen zu bewegen, gleichgültig in welcher Lage sich das Fernrohr befindet. Dieser Stab betätigt zwei neue Hebel G und H, welch letzterer einen Anker trägt, der bei der Bewegung ein Zahnrad I um einen Zahn vorwärts dreht, wodurch der Tisch in ersichtlicher Weise um eine bestimmte Strecke gesenkt wird. Weil der Tisch an den Drehungen des Fernrohrs um die vertikale Achse nicht beteiligt ist, muß die Zahnstange auf einem Zylinder befestigt werden, welcher sich mit dem Fernrohr dreht, während der Tisch stehen bleibt.

Eine spezielle Vorrichtung ist nötig, um den Tisch wieder hochstellen zu können. Dazu wird der Hebel H, der in einer Schlittenführung beweglich ist, zurückgezogen, sodaß der Eingriff des Ankers ausgelöst wird.

2°. Die zweite Handlung, welche auch direkt vom Anziehen des Griffes besorgt wird, ist das Weiterspannen einer Spiralfeder, befestigt auf einer Achse K, welche unter Zwischenschaltung eines Zahnrades L mit der Zahnstange B verbunden ist. Diese Feder, die eine gewisse Vorspannung hat, dient dazu, die Bewegungen, sobald der Griff gelöst wird, rückgängig zu machen.

3°. Auf dieser selben Achse K mit der Spiralfeder ist ein Zahnrad

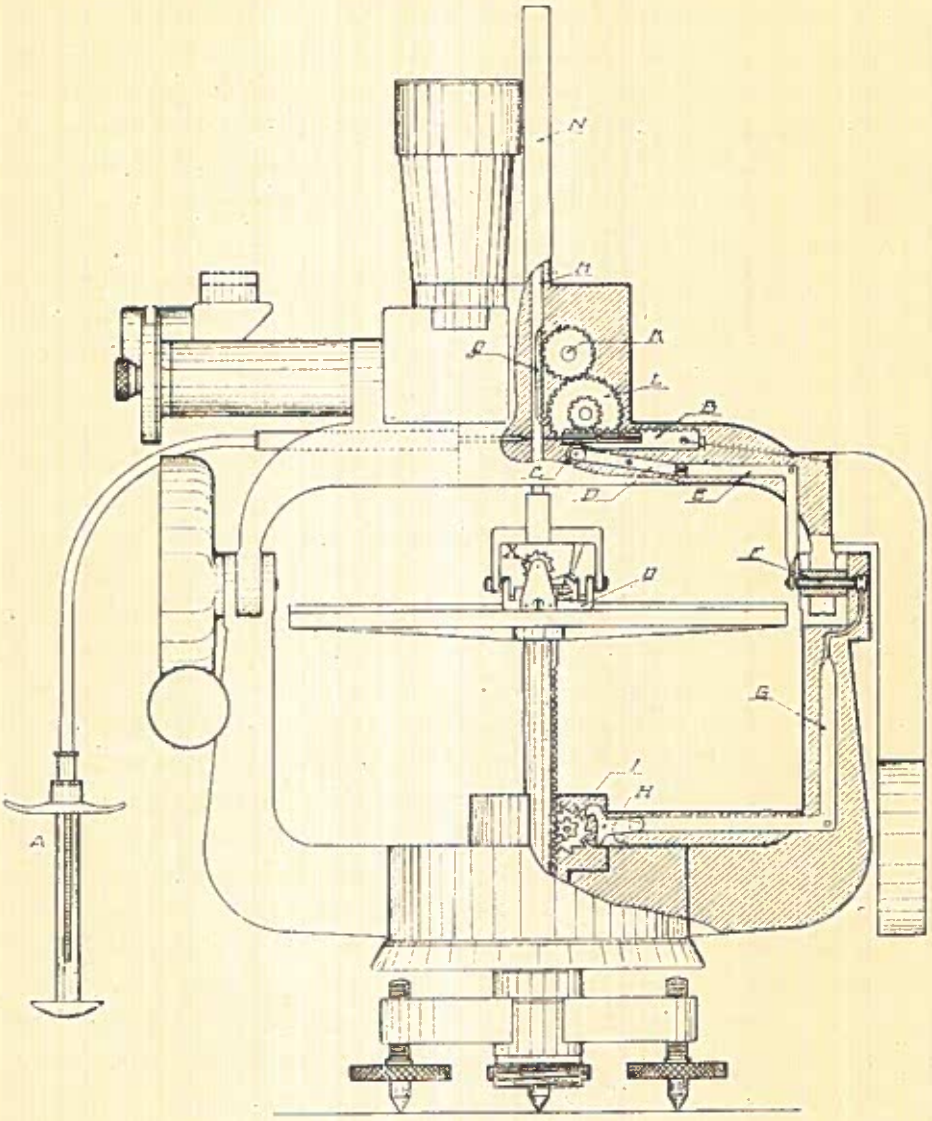

Fig. 8.

befestigt, das den Markierstab, welcher in einem gefrästen Gehäuse zwischen Friktionsrädchen läuft, in Bewegung setzt.

Um die Schwierigkeiten zu vermeiden, welche gewiß bei kleinen Neigungswinkeln entstehen würden, wenn versucht würde, mit einem nadelförmig zugespitztem Stabe in die Diagrammfläche hinein zu stechen, ist der Markierstab unten mit einem kippbaren Stempel O versehen, dessen flache Unterseite sich auf das Papier auflegt, worauf eine vertikal im Stempel angebrachte Nadel P (fig. 9) niedergedrückt werden kann.

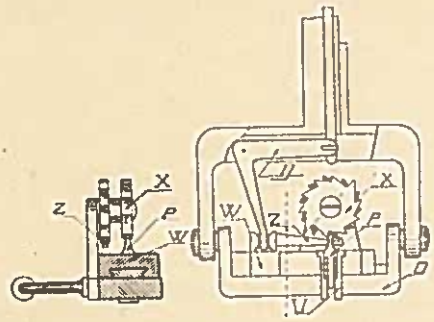

Fig. 9.

Die Bewegung des Stabes muß also so weit fortgesetzt werden, daß der Stempel auf dem Papier ruht, und ferner muß die Uebertragung der Bewegung des Handgriffes auf die an dem Markierstabe befindliche Zahnstange Q (fig. 10) benutzt werden, um 1° den Stab in dieser Lage fest zu klemmen, 2° die Nadel einzustechen, und 3° die Vorrichtung für die Differenziierung in der Stärke der Stichlöcher zu betätigen.

Dazu ist die Zahnstange Q dem Stabe gegenüber beweglich gemacht, wie in Fig. 10 in einem Querschnitt zu sehen ist. Drei Schrauben R, welche die Verbindung darstellen, sind in Schlitzen beweglich, sodaß die Zahnstange, welche von einer Feder S nach oben gezogen wird, über eine bestimmte Strecke den Stab entlang bewegt werden kann. Außer diesen drei Schrauben, die zur Führung dienen, ist in der Zahnstange eine vierte Schraube angebracht welche ebenfalls in einer Schlitze läuft und deren Kopf sofort bei Beginn der relativen Bewegung Zahnstange—Markierstab ein symmetrisches System von zwei Hebeln U auseinanderdrückt welche den Stab in seinem gefrästen Gehäuse festklemmen. Die Backen der langen Hebelarme sind derart geformt, daß die Schraube zwischen ihnen weiter gleiten kann ohne eine erhebliche Aenderung in dem Drucke der Klemmung zu veranlassen. Um das Einstechen der Nadel zu ermöglichen, ist es nötig, die Hemmung zu beseitigen, welche bei einem etwa auftretenden

Widerstand im Mechanismus, verhindert, daß die Nadel niedergedrückt wird, bevor der Stempel die richtige Lage eingenomen hat.

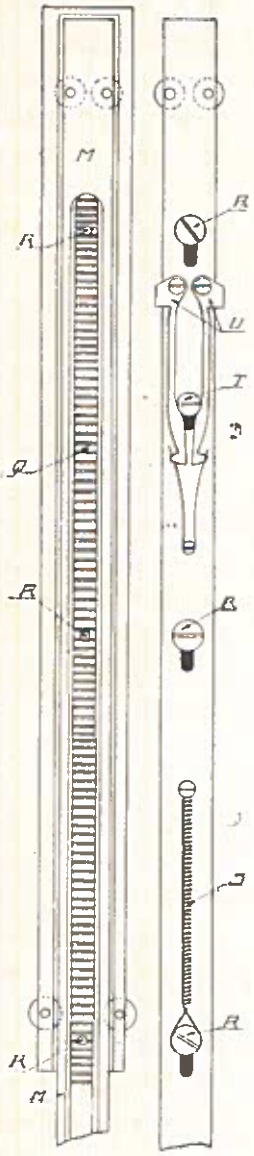

Fig. 10.

Diese Sperrung gibt ein im Stempel befindlicher vertikaler Zylinder V, welcher im vertikalen Sinne beweglich ist und die Nadel umgibt. Nadel und Zylinder werden durch eine leichte Feder derart aus einander gedrückt, daß, wenn die oben herausragende Nadel so hoch wie möglich steht, der Zylinder ein wenig unter der Unterseite des Stempels hervorragt. Dieser Zylinder hat oben einen Kragen, der in einen Schlitten W, oben am Stempel in einer schlüssellochförmigen Oeffnung im kreisförmigen Teile genau paßt, sodaß es nötig ist, den Zylinder zu lüften und diesen Kragen auszuheben, um die Schlittenbewegung frei zu geben.

Die beide anderen Handlungen, das Einstechen der Löcher und das Anbringen der Unterschiede zwischen den Fünften in der Beobachtungsreihe und den anderen Zahlen wird von einem Rädchen X besorgt. Die Zahl der Zähne dieses Rades, einer Art Sperrad, beträgt ein ganzes Fünffaches (10) und jeder fünfte Zahn ist ein wenig grösser. Werden also die Löcher dadurch eingestochen daß das Rad jedesmal um einen Zahn gedreht wird, so wird jeder fünfte längere Zahn die konisch zugespitzte Nadel tiefer eindrücken als die andern, sodaß die Differenziierung automatisch vor sich geht. Man hat also nur dafür zu sorgen, daß die erste Markierung, der Anfang des Bahnbildes ein stärkerer Punkt sei. Die Drehung des Rades X um einen Zahn ist wieder dadurch gewissermaßen erschwert, daß der Markierstab unter ganz verschiedenen Winkeln zur Fläche des Rades stehen kann.

Wie in Fig. 9 angegeben ist, wird die Bewegung der Zahnstange benutzt, um einen Hebel (Y) zu drehen, dessen Ende sich in der Drehungsachse Markierstab-Stempel befindet und in dieser Achse bewegt. Die Bewegung wird übertragen auf den oben erwähnten Schlitten W, der einen Angreifungspunkt, ebenfalls in der Drehungsachse gelegen, bietet. Auf diesem Schlitten ist ein federnder Sperrhaken (Z) befestigt, der im Vorübergehen das Rad X um einen Zahn dreht und im Zurückkehren unter dem Zahn wegschlüpft.

Daß der Sperrhaken Z nicht in das Rad X selbst eingreift, sondern in ein zweites, das auf derselben Achse ein wenig seitlich befestigt ist, ist nebensächlich.

Sobald der Sperrhaken seine Arbeit geleistet, die Nadel niedergedrückt und also die Beobachtung auf dem Diagramm eingetragen hat, schnellt die Nadel wieder hoch, sodaß ein Reißen des Papiers nicht zu befürchten ist, auch wenn der Stab noch ein wenig nachschieben sollte.

Nun kommt es nur noch darauf an, daß der Mechanismus in die Lage zurückkehrt, welche die folgende Beobachtung erfordert: daß also die Klemmung des Stabes wieder gelöst wird, nachdem der Schlitten (W) durch Federkraft wieder in seine Anfangslage zurückgeführt ist, und daß der Stab wieder ganz hoch gehoben wird, sodaß die Zahnstange (B) und dadurch auch der Anker an H bei der nächsten Aufzeichnung ihre Arbeit wiederholen können.

5. Die Beobachtung. Die Anleitung zum Gebrauch des Theodoliten muß aus zwei Teilen bestehen: 1° die Aufstellung des Instrumentes und 2° die Beobachtung und Registrierung.

Bei der Aufstellung des Theodoliten kann, wenn man über einen Punkt am Horizonte verfügt, dessen Azimut bekannt ist, das Diagrammblatt im voraus derart aufgelegt werden, daß man, wenn man das Fernrohr auf den bekannten Azimut richtet, dadurch sofort die beiden Teilungen, sowohl die auf dem Diagramm wie die am Horizontalkreise richtig orientiert, d.h. so, daß mit einer Einstellung des Fernrohrs nach N. eine Ablesung 0° übereinstimmt.

Dazu legt man das Papier derart auf den Tisch, daß der Nulpunkt der Teilung mit einer Marke auf dem Tische zusammenfällt und dreht

das Fernrohr so, daß die Ablesung am Horizontalkreise mit dem bekannten Azimut übereinstimmt. Nun wird das Instrument am Beobachtungsposten aufgestellt, mit den Fußschrauben nivelliert und die Kordelschraube [1]) am Fuße gelöst, sodaß der ganze Oberbau des Theodoliten, Fernrohr mit Teilungen und Diagrammtisch zusammen drehbar geworden sind. Nun richtet man das Fernrohr auf den bekannten Azimut, worauf die genannte Schraube festgedreht wird und die Aufstellung erreicht ist.

Die Richtigstellung der Teilungen auf dem Horizontalkreise ist für die normale Anwendung nicht nötig, weil diese Teilung nicht benutzt zu werden braucht.

Nachdem man dem Rädchen am Stempel eine der dort angezeigten Stellungen gegeben hat (so, daß der Strich auf dem Rade vertikal steht), und man sich überzeugt hat, daß die Uhr aufgezogen ist, kann auf das erste Signal der Uhr der Ballon hochgelassen werden.

Die Beobachtung und die Bahnmarkierung erfordern kaum eine nähere Erläuterung. Sobald der Ballon, der in den ersten Augenblicken meistens große Winkelbewegungen ausführt, einigermaßen in Ruhe gekommen ist, wird versucht, ihn in den Sucher zu bekommen, was nach einiger Uebung leicht gelingt. Dazu werden die Schrauben für die Feineinstellung an beiden Kreisen zunächst ausgeschaltet und erst, wenn man den Ballon im Sucherfelde hat, werden sie wieder eingeschaltet. Man kann nun nach Wahl und nach den Verhältnissen länger oder kürzer warten bis man von der Beobachtung im Sucher auf das Fernrohr übergeht.

Jedesmal, wenn nach der Vorwarnung die Uhr schlägt, wird der Ballon genau auf das Fadenkreuz gebracht, und wenn das Klingeln aufhört, muß die Einstellung fertig sein. Man braucht sich aber mit der Markierung nicht zu beeilen. Bedingung ist nur, daß diese vorgenommen wird, bevor der Ballon aus dem Felde des Fernrohrs zu verschwinden droht, und natürlich bevor etwas in der Lage des Fernrohrs geändert wird. Ein Paar Sekunden genügen für die Handlung des Aufzeichnens; meistenfalls kann daher das Anziehen des

1) In der schematischen Zeichnung weggelassen.

Griffes ganz ruhig geschehen, was auch erwünscht ist, wenn man die richtige Reihenfolge der Handlungen sicherstellen will.

Das erste Mal, nach der ersten Minute also, zieht man den Griff zweimal hinter einander, sodaß zuerst der Ursprung, der Ausgangspunkt des Ballons, und nachher die in einer Minute zurückgelegte Strecke aufgezeichnet wird. Man könnte die erste Markierung auch im voraus machen, aber man verkleinert einen eventuellen instrumentellen Fehler, wenn auch bei der Aufzeichnung des Mittelpunktes der Markierstab im richtigen Azimut orientiert ist.

Wenn die Bahn den Rand des Papiers zu überschreiten droht, oder wenn der Tisch nicht weiter sinken kann, wird der Tisch bis zu einer gewissen Höhe hochgehoben. Ein Heben bis auf etwa $^4/_5$ des schon ausgeführten Abstieges ist wohl angemessen. Nun wird noch einmal eine Markierung vorgenommen. Wenn die Umstände es erlauben — meistens ist das Objekt im Fernrohr schon ganz ruhig wenn der Tisch hochgebracht werden muß, — empfiehlt es sich sofort das Rädchen das die Stärkeunterschiede in der Markiering besorgt, um vier Zähne weiter zu drehen, was auf dasselbe hinauskommt, absob es um einen Zahn zurückgedreht wäre. Dadurch werd der Zählfehler, der Sonst durch den beim Tischheben weggefallenen Punkt entstehen würde, vermieden.

Die Uhr gibt ungefähr zehn Sekunden, bevor die Minute abgelaufen ist, eine kurze Vorwarnung und am Anfange der neuen Minute ertönt ein längeres klingeln. Es ist praktisch, sie jedesmal vor Gebrauch aufzuziehen, und so zu stellen, daß die erste Beobachtung mit der 60 auf dem Zifferblatt übereinstimmt.

Im Falle es erwünscht ist, über die Ergebnisse des ersten Teils einer Beobachtung verfügen zu können, ohne gezwungen zu sein, die Verfolgung abzubrechen, kann man Doppeldiagramme verwenden. Diese werden zusammen unter den Rand des Diagrammtisches gefaßt, das obere mit einen Paar schmalen Papierstreifen auf das untere festgeklebt, doch übrigens ganz innerhalb des Ringes liegend, sodaß dieses Blatt leicht abgenommen werden kann, während der Beobachter seine Arbeit auf dem unteren Blatt fortsetzt, auf dem der Anfang der Markierung durchgeschlagen ist. In de Bilt wird diese Methode regelmäßig dann angewendet, wenn die Ergebnisse für den Luftfahrt-Wetterdienst

bestimmt sind, welcher meistens nur Auskunft aus den unteren Luftschichten haben will. So wird erreicht, daß man weder unnötig früh anzufangen braucht, noch die Verfolgung unzeitig abbrechen muß.

Als Beispiel eines Diagramms (fig. 11) wird hier eine Bahnabbildung

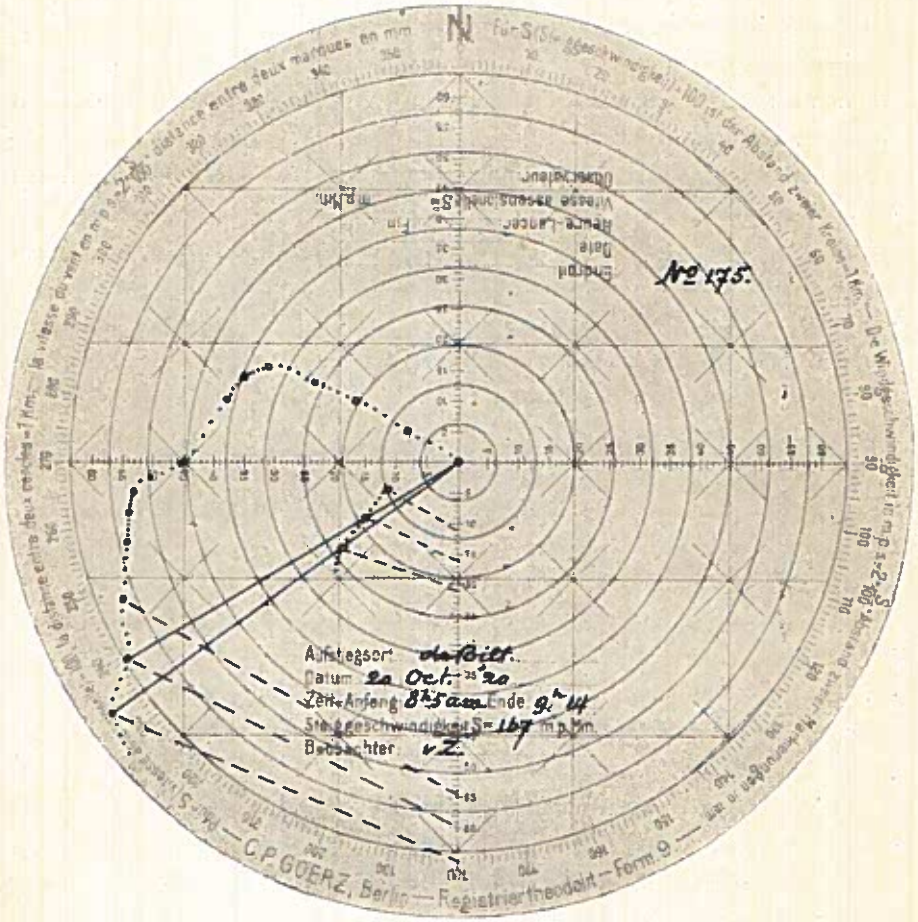

Fig. 11.

reproduziert, welche nicht in einem Zuge aufgezeichnet werden konnte.

Die Kreise auf dem Vordrucke entsprechen Kilometer-Entfernungen, falls die Steiggeschwindigkeit (S) des Ballons 100 m pro Minute beträgt, und liegen im allgemeinem Falle $\frac{S}{100}$ km aus einander.

Die Wiederholung der Windhauptrichtungen an verschiedenen Stellen des Diagramms soll die Beurteilung der Windrichtung, d.h. der Tangentrichtung an der Kurve, erleichtern.

Die Teilung auf den N-S und O-W-Durchmesser kann wie aus der Figur hervorgeht, benutzt werden um die Berichtigungskonstruktion für den nach dem Hochbringen des Tisches aufgezeichneten Bahnteil graphisch auszuführen.

Wenn man den letzten direkt aufgezeichneten Punkt, der in diesem Falle der 55ten Beobachtung entspricht, mit dem 55ten Punkt einer solchen Teilung verbindet, so schneidet diese Verbindung und eine dieser parallele Gerade durch den Punkt, der sofort nach der Hochstellung der Tafel markiert worden ist, auf dieser Teilung eine Strecke ab, welche aus m (sehe S 15) Einheiten besteht.

Ist m dadurch gegeben, so kann die Lage eines willkürlichen Punktes der Fortsetzung, der nach n Minuten aufgezeichnet wurde in gleicher Weise berichtigt werden. Auf der Geraden durch den Ursprung und diesen Punkt wird die richtige Lage von einer Geraden geschnitten, welche durch den nten Punkt einer solchen Teilung der Verbindungslinie der uncorrigierten Lage mit dem n-mten Strich der Teilung parallel gezogen wird. Wahrscheinlich wird aber in der Praxis von den meisten eine Berechnung der Größen m und der richtigen Entfernungen z.B. mittels Rechenschieber der graphischen Methode vorgezogen werden.

Dr. C. Schoute. — A recording theodolite for pilotballoons.

A limitation in the use of the recording theodolite. The recording balloontheodolite of which the description follows here has been constructed for the use of the airman as well as for the meteorologist. The special way, in which the record is obtained, is based on the usual assumption that the vertical velocity of rubber balloons is unvariable, an assumption which nearly always forms the basis when soundings are made from one point of view, as the common practice is. This means a restriction in the applicability of this recording instrument: for the study of details in the structure of the wind, strength and period of descending and ascending currents, the vertical component of the coefficient of gustiness and in suchlike problems the recording method can not be used without additional means. It needs not to be said that the recording theodolite allows readings as well as the non-recording ones.

Advantages of the method. On the contrary, in the normal case, when the average direction and velocity of aircurrents to a height of a certain number of miles has to be determined, the recording method has several advantages of which the most prominent are:

saving of time,

saving of trouble,

saving of assistance, and specially of the help by trained cooperators, who are able to read angles accurately and quickly.

Every observer who can keep a balloon in the field of his telescope is capable of doing the work by himself, and as soon as the balloon has been lost sight of, the representation of the horizontal projection of the trajectory is at hand [1]), if desired with a couple of copies [2]). One

1) So this instrument is absolutely different from the existing recording theodolites which give height above the horizon and azimuth seperately and require all the work to be done afterwards.

2) When the results are required for special purposes up to a certain height only and at a given time — say for weather forecast purposes — double diagramsheets can be used, of which the upper one is stuck on the other with small lips, so that it can be torn off during the observation, which therefore needs not to be stopped when the aforesaid limit has been reached.

single and extremely simple manipulation, the pulling of a handle after certain intervals, at moments which are announced and indicated by signals of a clockwork, suffices to take the place of what in the reading method consists of the reading of two angles, the looking for a tangent, taking the product of this quantity and a height, calculated by means of the known vertical speed of the balloon and the time elapsed since it went up, and lastly setting out the resulting distance in a given direction on the diagram.

The records obtained until now at de Bilt which are more than a thousand in number, at least equal in accuracy the average trajectory got by means of the reading- calculating- drawing-method.

The working principle. The principle the instrument is working upon is the following.

A rod P B is always kept going though a central point P (Fig. 12), and the balloon B. Therefore a rod is attached to the telescope, parallel to the optical axis, and adjusted in such a way, that it always goes through P in whatever direction the telescope be pointing. The line A A represents the intersection of a horizontal plane on which the diagram-sheet is mounted, with the vertical plane P B F. This plane A A goes down during the observation with a constant velocity, without turning. In the meantime the balloon B is rising with an equally constant speed. If the diagram plane A A goes through P at the beginning, the ratio between P P′ and B F and therefore equally that of $P_1 S_1$ and P F will be constant so that P′S is the distance which has to be measured from the centre of the drawing. This length set out in the right direction gives a correct representation of the trajectory in horizontal projection. As the direction in which P′S lies on the plane $A_1 A_1$ is determined by the position of the vertical plane P B F, the point S at once produces a true image of the path of the balloon.

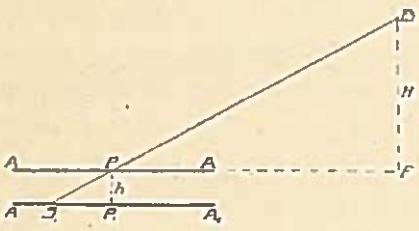

Fig. 12.

The diagram. Although it would not be impossible to represent the trajectory in the record by a continuous line, it has been preferred to mark momentaneous positions of the balloon after certain intervals (as a rule each minute). Not only the observation is far less tiring for the observer, when he is not obliged to keep the balloon uninterruptedly on the crosswire of his telescope, but also the intermittent recording at once marks the time and it is very easy to calculate the height of the balloon at a certain point of the trajectory from the number of the observation and the ascensional velocity.

The recorded representation is identical with the one drawn after the usual reading method, so it gives a measure of the mean velocity of the wind between the levels of consecutive observations.

The scale. The scale is determined by the rate of ascension of the balloon (v), the interval between the observations (i) and the distance (d) over which the diagram-table is lowered during i. Those three quantities can be disposed of freely. As we can very easily change the value of v by taking larger or smaller balloons and as the occasion to choose between half-minute and minute-observation, which the clockwork of the first model in de Bilt offered, was hardly ever made use of, because minute readings are suitable in practically all cases, there was no reason to make the way, over which the diagram is lowered at every marking, variable. The less so, because the average measure of the representation does not decrease with greater vertical speed of the balloon, as the smaller scale would induce to expect. On the contrary, of the available sizes the larger ones as an average award larger representations on account of the smaller absorption of light at the larger angles under which they are sighted. Therefore it is practical to use small balloons on cloudy days and the larger and more expensive ones when the sky is bright, especially when there is more then a light wind.

Trajectories which exceed the border of the diagram. The diagram-sheets are not always large enough to contain the trajectory fully, even in case of exceptional clearness, as this would require the scale to be very small or the instrumental dimensions very large. When the representation must be interrupted because the stamp reaches the edge of the paper or because of the impossibility to lower the table further,

which occurs in the GOERZ instruments after 70 minutes, the table can be raised and the operation continued. It is not necessary to raise the table quite to its initial position, and that is not advisable even, because of the direction being less defined at the centre. Generally the continuation of the drawing is distorted, but a simple procedure enables us to rectify it, when the precaution is taken to raise the table after the last undisturbed marking, and to repeat the marking before anything has been changed in the position of the telescope. So we get two points on the diagram, s and s′ (fig. 13) which must lie on a line through the origin O in distances which enable us to determine by their proportion the number of steps (m) over which the table is raised. Be S the nth observation, than $\frac{OO'}{m} = \frac{OP}{n}$ and thus $m = n \frac{SS'}{SO}$. Reversely m being known the distance from O to which the n′ observation T has to be transported is $OT' = OT \frac{n'}{n'-m}$.

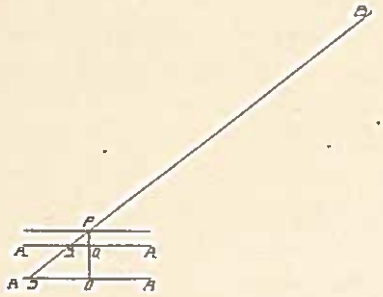

Fig. 13.

As shown in fig. 11 (p. 32) a very simple graphical construction suffices to carry out the rectification of the curve, which can be executed as well by means of a sliderule.

It is convenient, to fill the balloon to such an extent that the consecutive levels where the wind is to be measured are reached in a whole number of minutes and to measure the distances on the diagram with rules which are so divided, that the velocity is got in the required unit by multiplications with an equally whole number. So the diagram can be worked out with a minimum of trouble.

The direction of the wind at a certain point of the trajectory is given by the tangent at the curve. If necessary this direction can be transferred to the centre of the diagram by means of a couple of parallel rules or a set of parallel lines on a glass which is placed on the diagram and brought into the right position by rotation. A division printed on the outer circle on the diagram enables one to read the direction in degrees.

Instrumental particulars. About the instrumental particulars not much needs to be said.

In the instruments which have been constructed in the workshop of the Royal Dutch Meteorological Institute in de Bilt nor in those from the GOERZ factories the diagram table was made to move continually, which would require a clockwork, but every time after the observation, or better still, just before [1]), the table is lowered over a certain stretch, so that at the next moment the point of intersection of the marking rod and the diagram is to be determined, it is as if the table had executed a constant downward motion.

To secure a correct determination of this point (S), the rod carries on its lower part a kind of a stamp, (o. on Fig. 8 p. 26) turning round a horizontal axis so that it always lies flat on the paper. In this stamp a vertical needle can be pressed down so that a hole is pricked in the diagram after which the needle is brought up again by a spring. In this way the difficulties of an oblique intersection, which especially in the case of small angles would give rise to inaccuracy, are discarded. This pricking method always gave very good results and a sharp definition is obtained in a way which never requires any looking after.

The needle is pressed down by means of a cogwheel of ten teeth (Fig. 9 p. 27) of which two opposite ones are longer then the others. At each observation the wheel is turned over one tooth, whereby a tooth slips over the head of the needle, pressing it down. The needle being conical the longer teeth give larger holes. When at the beginning the cogwheel has been given the right position the origin, the fifth, the tenth etc. holes are marked larger than the others, which enables one to count and to controll the number of observations for the determination of the height corresponding with a certain point of the representation.

If the lower end of the rod, bearing the stamp is kept permanently resting on the diagram, it is likely that it will be pinched in its glidings in the case of small but increasing angles. To prevent this

---

1) This in order to allow the observer to lower the table only, without marking a point, in case the balloon was for a while out of sight, i.e. hidden by cloud.

the rod is lifted after the work has been done, so that during the period between two markings, the theodolite moves quite freely.

Another precaution, which had to be taken, is, that the rule, after having been let down on the paper, is immobilised there so that the mechanical stress, which the pricking necessarily requires, does not interfere with the accurate position of the stamp on the diagram-sheet. (Fig. 10 p. 28).

The last complication which has to be mentioned is a consequence of the fact, that the act of bringing down the needle cannot be allowed to take place before the stamp lies on the paper with the required pressure. Therefore the needle is checked by a kind of a barlock (Fig. 9) and by a small pressure of the stamp on the paper this lock is opened so that the needle is set free, the hole is pricked, after the rule having been seized and immobilised. When the operator loosens the grip the force of a spring makes the marking-mechanism return to its initial state: the toothrack (Q fig. 10) which had been pressed down to turn the 10-teeth dented wheel goes up again, the rule is made free, lifted, the barlock is brought back anew into the initial position after which all is ready for the next marking.

All those actions are carried out by pulling the grip at the end of a flexible tube by a Bowden-wire.

Nothing has been said here about the particulars of the balloon-theodolite which the recording instrument has in common with the non-recording ones and of which the „broken telescope", which enables the observer to keep his sight horizontal, is the most important.

The models used in the Bilt and the Goerz-recording theodolites. In de Bilt three consecutive forms have been executed by Mr. VAN REST, Chief Instrumentmaker of the Royal Dutch Meteorological Institute. The first (fig. 4 p. 19) as an application of the device on an existing balloontheodolite; the second (fig. 5 p. 21) and third one (fig. 6 p. 22) were specially built for the recording method. It is hard to say which of the latter gave better results. Of course the experience with the former models to a certain extent came in favour of the last one but both forms practically served their purpose equally well.

In the last Dutch sample the suggestion by Prof. A. BERSON of

the GOERZwork was followed, to make the marking rod always go up the whole way instead of only lifting it far enough to prevent pinching, which materially reduced the danger of damage and soiling.

The GOERZ theodolites (fig. 7 p. 23) show several improvements with respect to the optical part of the instrument. Of those the most important are, that the usual mirror-searcher is replaced by an optical one, which offers a field of 20°, and in which the 2° part corresponding to the field of the telescope is indicated by a circle. So the motion of the object is not appearingly reversed at the passing from the searcher to the telescope. Further a set of blends of different colours is introduced in a revolverdisk in the ocular, to offer the opportunity of choosing the best background for the balloon under different conditions of cloud. That a roofshaped prisma has been used in the telescope to get upright images is an advantage which will manifest itself less during the observation, than in the preparation and when the theodolite is used for other purposes.

The diagram papers of the GOERZ theodolites are about one fifth larger than the Dutch ones, whereas the rate of descent of the diagram and therefore the scale is the same. This is an advantage because the number of cases in which the trajectories had to be rectified showed much greater than was expected on account of the available material, owing to the fact that much larger balloons are used than in the beginning, and that the observation is no longer restricted to fine days with generally light wind.

Reliability of the mechanism. Although it may seem doubtful at first sight, whether a mechanism, that combines several actions and that must therefore be rather complicated, can be expected to be sufficiently reliable for an open air instrument, the quite satisfactory results with the instruments in de Bilt are nothing but natural, when we take into consideration, that the mechanism, which can be kept under a protecting cover, has not to fulfil any task which exceeds the requirements of a typewriter or a sewing machine, so that provided the construction be sufficiently vigourous the recording balloontheodolite can provide great quantities of diagrams and save a great deal of time and labour without requiring any special care or any repairs.

Where the special field for this instrument lies. A saving of time and trouble is never exempt of meaning but the cases in which the advantages of the recording pilotballoon work come on the foreground are:

1°. that daily one or more soundings are to be made, which must be ready at a given time,

2°. for stations where the assistance is limited,

3°. when casual soundings are made expressly for special aeronautical purposes, so that the latest information is the most valuable,

4°. in surveying work, polar expeditions, tropical surveys.