

Serie historische Fliegerabwehr-Rechner:

Rechenanlage „Verograph“ zur genauen, laufenden Distanzbestimmung

Früher elektrischer Analog-Rechner

Technische Entwicklung ab ca. 1936

Übersicht:

Vor und zu Beginn des zweiten Weltkrieges arbeiteten die Fliegerabwehr-Rechner aller Länder noch mit **mechanischen Rechenwerken**, um den zukünftigen Treffpunkt zwischen Flugzeug und Bahn der Abwehrgeschosse auszurechnen. Aus dem Treffpunkt wurden die benötigten Winkel (Seite, Höhe) an die Flugabwehrkanonen übermittelt, sowie die einzustellende Zünderlaufzeit. Diese Rechner nannte man damals „Kommandogeräte“ (englisch: „gun director“).

Es gibt eine Ausnahme aus dieser Zeit mit ganz anderer Technologie: Die Zürcher Firma CONTRAVES AG entwickelte eigenständig eine interessante Rechenmethode, um mit **elektrischen „Widerstandsnetzwerken“** vielfältige Aufgaben mit hoher Präzision auszuführen. Elektronische Verstärkerröhren waren noch nicht geeignet; es wurden zwar einige gebraucht, aber möglichst wenige. Deren Stabilität war zu gering, die Ausfallrate zu hoch. Die hier beschriebene Technik wurde mehrere Jahre vor der Entwicklung des „normalen“ Analogrechners durch Helmut Hölzner (V2-Steuerung) in der Schweizer Armee eingesetzt und über ca. 20 Jahre lang betrieben.

Zum Vergleich, Chronologie:

Auf p. 25 dieser Arbeit wird ein mechanischer Teil-Rechner aus dem Jahre 1917 gezeigt (Distanzbestimmung). Der erste grosse mechanische Flab-Rechner war der „Vickers Predictor“ aus England; er soll ab 1928 einsatzfähig gewesen sein. Deutschland hat im ersten Weltkrieg gewisse Hilfsgeräte eingesetzt, später zwei grosse mechanische Kommandogeräte 1936 und 1940, mit Tausenden von produzierten Geräten. Die Schweiz hat 1938 das ungarische Gerät Gamma-Juhasz eingeführt und später selber bei Hasler / Bern weiterentwickelt.

Erste Impressionen zu den Widerstands-Rechnern:

Wie rechnet so etwas – und wo hätte man das in der Ausbildung je gehört ??

 <p>Fig. 3.</p>		
<p>16 Widerstände verknüpfen zwei Eingänge (vorne oben/unten) mit zwei Ausgängen (hinten oben/unten) – und jeder symbolische Widerstand besteht echt aus ca. 100 Widerständen. Aus einem Contraves-Patent, siehe weiter unten.</p>	<p>Widerstands-Spülchen noch und noch – in wirklich grossen Zahlen! Unten werden sie mit drehbaren Wählern angezapft. Detailaufnahme aus dem „Stereomat“, im praktischen Betrieb seit 1939 eingesetzt und bewährt. Bild aus dem Bundesarchiv.</p>	<p>Im Rechner „Stereomat“ gibt es viele dieser Widerstandswähler: Auf der Oberseite des Gerätes (ca. 1 m lang, Verschalung ist entfernt) gibt es über ein Dutzend. Mechanische Getriebe stellen die Kontakte zu den Einzelwiderständen her. Bild Bundesarchiv.</p>

Selbst in den mechanischen Rechnern gab es **zahlreiche Elektromotoren**, elektrische Schalter, Relais, usw. Oft wurden bereits bekannte mechanische Grössen (z.B. Flughöhe, Kompasskurs, Geschwindigkeit horizontal und vertikal, Flugzeit etc.) **elektrisch umkopiert** auf neue Drehwellen. Es geht um die Verteilung der Kraft: Die Bedienungsleute, welche mit dem Fernrohr dem Flugzeug nachfolgen, können nicht am Handrad alle folgenden Getriebe durchdrehen. Alles muss leichtgängig und präzise sein – grosse Kräfte liegen bei empfindlichen Reibradgetrieben (= Integratoren) nicht drin, sonst gibt es Schlupf und Ungenauigkeiten. **Die eigentlichen Berechnungen im Kommandogerät finden aber alle rein mechanisch statt.**

Die Firma **Contraves** wurde 1936 mit dem Ziel gegründet, die Flugabwehr präziser zu machen. Geplant war eine grosse und komplexe Anlage „Oionoskop“, die nur mit Mühe, unter grossem Zeitaufwand und nur in einem Prototyp fertiggestellt worden ist. Die beiden elektrischen Rechner „**Stereomat**“ und „**Verograph**“ waren als Teil der Oionoskop-Anlage vorgesehen, sind aber in der Produktion vorgezogen worden – und bildeten am Schluss die wirklich funktionierenden Produkte, die in kleinen Stückzahlen über längere Zeit verkauft werden konnten.

In einer **früheren Arbeit** desselben Verfassers „Oionoskop mit Stereomat und Verograph“ sind die Grundideen dieser Rechner bereits dargestellt worden. Allerdings erschien dem Autor zu dieser Zeit die Rechentechnik mit Widerstands-Netzwerken noch rätselhaft und unverständlich – es war wie ein Haufen ungeordneter Mosaikteilchen ohne richtigen Zusammenhang. **Dank der Hilfe von Walter Vollenweider** gelang der Einstieg endlich, jetzt scheinen die Grundzüge einigermaßen verständlich. Details fehlen noch, aber man kann sich ein Bild machen über die damalige Leistung der Contraves AG. Ein grosser Dank gilt Walter Vollenweider! Die erwähnte frühere Arbeit kann abgerufen werden unter www.wrd.ch, dort unter Führungssysteme, dort unter Anfänge bis 1964, oder aber unter der Militär-Bibliothek am Guisanplatz, www.big.admin.ch (Suche nach dem Autor).

In dieser Arbeit hier wird einerseits der **Verograph genauer beschrieben** (Aufgabe, Geometrie, Funktions-Schema), andererseits die **Rechentechnik mit Widerstandsnetzwerken** erklärt. Der **Stereomat** aus derselben Zeit mit derselben Technik wird gelegentlich erwähnt, sein eindrückliches Rechenschema ist ganz am Schluss dieser Arbeit zu finden (p. 24). Der Stereomat berechnet auf Grund zweier Fotos den echten, dreidimensionalen Abstand zwischen Sprengwolke und Flugzeug. Das Oionoskop wird hier nicht mehr erwähnt, siehe die erwähnte frühere Arbeit (Ref. 6).



Eine **Verograph-Rechanlage von Contraves** unterwegs. Vorne zwei elektrische Aggregate mit Benzinmotoren, dann zwei schwere Theodoliten mit eingebauten Widerstandsrechnern, sowie das Zentralgerät. Hier nicht dabei sind vier Telemeter, bei denen die Genauigkeit der Messung kontrolliert wird (Ausbildung). Die Theodoliten müssen an genau vermessenen Standplätzen aufgestellt werden (Distanz 1-2 km).

Je vier Tragestangen erlauben das Tragen der Geräte und Aufsetzen auf das Stativ durch acht Mann.

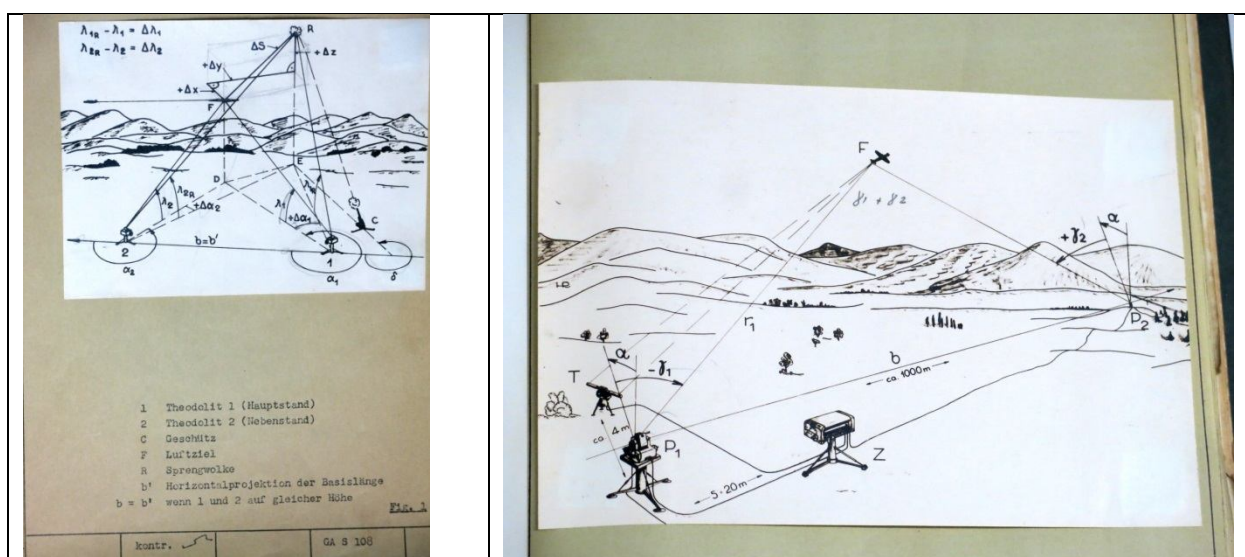
Bild aus Ref. 1, Januar 1942 oder früher.

Geometrie-Situation von Stereomat und Verograph im Gelände

Stereomat: Ermittelt den Schussfehler im Moment des Aufblitzens der Sprengladung. Die Rechnung erfolgt nachträglich, wenn das Flugzeug längstens vorbei ist.

Verograph: Ermittelt laufend die Distanz von der Flabstellung zum Flugzeug.

Die verwendeten Theodoliten arbeiten bei den beiden Rechnern je in einem anderen geometrischen System, mit anderen Drehachsen. Die Stereomat-Theodoliten sind gut vermessen, brauchen aber kein langes Kabel. Der Verograph hat ein einziges langes, „pupinisiertes“ Kabel, das ins Rechenetzwerk eingebaut ist, mit Möglichkeiten zum Abgleich am Hauptgerät: beide Aderpaare sollen sich möglichst gleich verhalten. Die Messbasis beträgt 1 bis 2 km. Bilder Bundesarchiv.



Links: Die Theodoliten des **Stereomaten** verstellen ihre beiden Mess-Winkel beim Nachfolgen des Flugzeuges normal und anschaulich: **Seite** (Azimut) und **Höhe** (Elevation), Nachführung durch zwei Mann bei jedem Gerät. Jeder Theodolit fotografiert resp. druckt die beiden Winkel im Moment des Aufblitzens der Sprengladung (Foto-Sensor). Die Filmstreifen müssen per Velo zum Stereomaten gebracht werden. Dort musste anfänglich der Film entwickelt werden, später entfällt das dank gedruckten oder gestanzten Streifen. Mehrere gemessene Winkel werden beim Rechner an Handrädern eingedreht, und auf Knopfdruck sind alle trigonometrischen Rechnungen fertiggestellt – aber das Flugzeug ist natürlich schon lange weg. – Es wurde noch ein „Komparateur“ entwickelt (Messlupe mit diversen Strichgittern, Dezember 1945), damit die massgebenden Winkel gleich beim entfernten Theodoliten ermittelt und telephonisch durchgegeben werden können; so entfällt auch noch die Velofahrt, die Auswertung wird noch schneller.

Rechts: Die Theodoliten des **Verographen** haben ganz andere Achsen. Die eine Koordinate verdreht eine Teleskop-Halterung um die Achse der Verbindung zum anderen Theodoliten (Alpha im Bild oben, Winkel gegen die Vertikale, sofern die Theodoliten gleich hoch stehen), die zweite Koordinate verdreht das Teleskop innerhalb der schrägen Halterung um eine Achse, die rechtwinklig zur Drehachse der Halterung verläuft (Gamma im Bild oben). Alpha wird nur zur Nachführung des Flugzeuges verwendet, geht aber nicht in die Rechnung ein. Die Rechnung basiert nur auf den beiden Gamma-Winkeln. An jedem Theodoliten führen je zwei Mann laufend die beiden Winkel nach, unterstützt durch eine (frühe!) automatische Nachlaufsteuerung. Das Gerät führt die Berechnungen sofort

durch. Am Hauptgerät ist die genaue Entfernung zum Flugzeug in „realtime“ ablesbar bzw. steht für die weitere Verwendung im Oionoskop oder in der Telemeter-Ausbildung laufend zur Verfügung.

Die weiter unten angegebene **Koordinatentransformation** in ein gedrehtes Koordinatensystem (siehe Seite 8) findet ihre Anwendung beim **Stereomat**: Es kann per Handschalter umgestellt werden, ob der ausgerechnete Schussfehler (Abweichung zwischen Ziel und Sprengpunkt) angegeben wird in einem KS mit horizontalen und vertikalen Achsen in der Schussebene (x, y, z , nicht nach Norden gerichtet, Bild Mitte), oder in einem schräg gedrehten KS relativ zur Kanone (Schuss zu lang, zu hoch im Winkel, Azimut zu gross, Bild rechts):

<p>Umschalter am Stereomat (ev. erst in späteren Versionen): Ausgabe wahlweise in (x, y, z) oder aber in (u, v, w).</p>	<p>Ausgabe des Schussfehlers in (x, y, z). Links das Flugzeug, dahinter F der Schleppsack als Ziel. x liegt in Schussrichtung (Azimut).</p>	<p>Ausgabe der Sprengpunktabweichung in (u, v, w), entspricht etwa Tempierung, Seite, Höhe im Winkel (ϵ).</p>

Distanzbestimmung zum Flugzeug – klassisch

Bei der Fliegerabwehr ist die Kenntnis der genauen Distanz zum Flugzeug von erster Wichtigkeit. Die Distanz ergibt die Geschossflugzeit, davon hängt dann auch der Vorhaltepunkt ab (wohin man zielt).

Im ersten und im zweiten Weltkrieg (vor den Radar-Messungen) wurde die Distanz mit optischen Geräten bestimmt, die in der Schweiz **Telemeter** hiessen, in Deutschland **Entfernungsmesser**. Das sind optische Doppel-Fernrohre mit grosser Messbasis. Gemessen wird der Winkel-Unterschied zwischen der Optik links und rechts, das Flugzeug wird dabei dauernd nachverfolgt. Für Fliegerabwehr lag der typische Wert für die Messbasis bei 3 m (CH) oder 4 m (D), z.T. auch länger, auf den Schiffen bis zu 15 m. Je länger, desto genauer wird die Distanz, aber desto schwerfälliger wird alles bei hohen Winkelgeschwindigkeiten zum Flugzeug, oder beim Stellungswechsel. Der Autor dieser Arbeit hat seine Flab-RS 1965 gemacht, damals waren noch leichte Telemeter mit 1.25 m Messbasis im Einsatz für die 20mm- und für 34mm-Flabkanonen. Es folgen Abbildung der früheren 3m-Telemeter für die 7.5cm-Kanonen:

		
<p>CH-Telemeter auf Baur-Stativ: drei Personen sitzen hinter dem Gerät. Zwei Bediener schauen einäugig durch je ein Objektiv und führen das drehbare Stativ per Handrad dem Flugzeug nach, horizontal wie vertikal. Der dritte Mann schaut mit beiden Augen durch die grosse Basis und bestimmt die Distanz. Zuvor gab es ein einfacheres Dreibein-Stativ, alle Leute stehen. Bd.Archiv.</p>	<p>Statt mit 7 cm Augenabstand, blickt der Messmann mit der Basis von 3 m zum Flugzeug. Diverse Sonnenfilter und Kalibriermöglichkeiten. Hinten das angehängte Contraves-Getriebe zur Linearisierung – erst mit diesem Getriebe (1941 oder 1942) können die Distanzwerte direkt ins Kommandogerät eingeführt werden, mit elektrischen Folgezeigern. Bundesarchiv.</p>	<p>Noch vor dem Linearisierungsgetriebe: Der Messmann (steht hinter dem Gerät, Stirnpolster) greift mit der rechten Hand über die Röhre zur hellen, dicken Messwalze und stellt die korrekte Distanz ein. Ein weiterer Mann liest an der Skala rechts daneben die Distanz ab und ruft sie zum Kommandogerät hinüber. 3m-Telemeter auf altem Stativ, FF-Museum Dübendorf.</p>

Schon bevor die Schweiz das erste grosse Telemeter zu Versuchszwecken erhielt (1937, Born p. 86, zuvor gab es kleinere Inf- oder Art-Tm), hat F. Fischer (ab 1933 ETH-Professor) klar gesehen, dass die Präzision der Distanzbestimmung so nicht ausreichen wird. Er gründete 1936 mit Studienfreunden die Firma Contraves AG und versuchte, präzise Geräte zur Fliegerabwehr zu entwickeln und sie der Armee zu verkaufen. Insbesondere die Distanz zum Flugzeug wollte er viel genauer ermitteln, mit 1 bis 2 km Messbasis – dazu **entwickelte er neuartige elektrische Rechengерäte mit Widerstands-Netzwerken**, die etwas schwierig zum Verstehen sind. Die Radioröhren waren damals noch nicht stabil genug für die erhoffte Präzision – man suchte sie deshalb möglichst zu vermeiden. – Die vorgängige Beurteilung von F. Fischer deckt sich mit den Erinnerungen letzter Zeitzeugen der schweren 7.5cm-Flab: die Distanzbestimmung sei jeweils der Anlass zu den grössten Fehlern gewesen.

Prinzip der Distanzbestimmung mit dem Verographen

Im Wesentlichen wird allein der Sinus-Satz verwendet, um die Distanz zum Flugzeug zu ermitteln, dies allerdings auf gepflegte Art und Weise. Ausgemessenes Dreieck: Theodolit 1 – Theodolit 2 – Flugzeug. Die beiden Theodoliten werden dauernd dem Flugzeug nachgeführt mittels zweier Handräder, die selber eine Nachlaufsteuerung haben: Bleibt die Winkelgeschwindigkeit des Flugzeuges konstant, so muss am Handrad nicht mehr nachkorrigiert werden. Die Theodoliten haben spezielle Koordinatensysteme, so dass das nachgeführte Fernrohr direkt den gemessenen Winkel zwischen der Messbasis (Distanz zum anderen Theodoliten) und dem Flugzeug ergibt. Der zweite Winkel (Schiefe des Dreieckes gegenüber der Vertikalen) wird zwar per Handrad laufend nachgeführt, um das Flugzeug zu verfolgen, wird aber in der Rechnung nicht verwendet.

Sinus-Satz: Zwei Seitenlängen im Dreieck verhalten sich wie die Sinuswerte der gegenüberliegenden Winkel – das gilt für jedes Dreieck. Die Länge der Messbasis kennt man, ebenfalls zwei gemessene Winkel, aus denen der dritte Winkel (gegenüber der Messbasis) folgt. Das Dreieck ist bestimmt, die gesuchte Distanz zum Flugzeug ist zu errechnen. Allerdings gibt es noch einige Umformungen:

Erste Umformung: Durch einige Umformungen und Übertragung auf andere Winkel (z.T. ausserhalb des Dreieckes) ergibt sich eine andere Form des Sinus-Satzes, die hier besser zu verwenden ist. Es ist alles nachgerechnet worden, es gibt kein Geheimnis und kein Problem:

bis zu $\pm 110^\circ$ betragen.

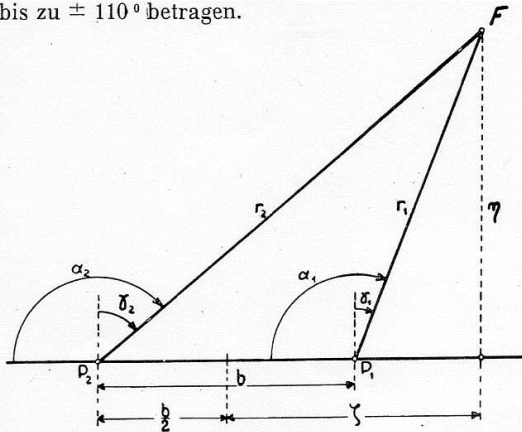


Abb. 21. Koordinatensystem des Verographen.

Bei P_1 und P_2 stehen die beiden Theodoliten, bei F befindet sich das Flugzeug. Das Dreieck liegt beliebig schief im Raum.

Die beiden Winkel γ_1 und γ_2 zum Flugzeug werden gemessen ab einer Ebene (gestrichelt) senkrecht zur Verbindungslinie zwischen den beiden Theodoliten. Diese Winkel γ_1 und γ_2 gehen in die Rechnung ein, der jeweils zweite Winkel, mit dem das Fernrohr dem Flugzeug nachgeführt wird, ist die Schiefe des Dreiecks gegenüber der Vertikalen, sie geht nicht in die Rechnung ein. Die Basis b zwischen den Theodoliten ist genau bekannt (typisch 1 – 2 km).

Gesucht ist die Distanz r_1 .

Alle Variablen ändern sich andauernd, wenn das Flugzeug weiterfliegt.

Der umgeformte Sinus-Satz mit den oben abgebildeten Winkeln lautet jetzt:

$$\frac{1}{r_1} = \frac{1}{b} (\operatorname{tg} \gamma_2 - \operatorname{tg} \gamma_1) \cos \gamma_1$$

r_1 gesuchte Distanz

b Messbasis

Nach dieser Rechnung wird im Verographen die gesuchte Distanz r_1 ermittelt – im Prinzip. Aber nicht so in der Praxis, es wird noch etwas komplizierter. Die Tangens-Funktionen der gemessenen Winkel γ_1 und γ_2 werden sehr gross, wenn die Winkel gegen 90° gehen, d.h. wenn das Flugzeug in der Nähe der Verbindungslinie zwischen den beiden Theodoliten liegt. Die Fehler bei gegebenen Abstufungen (siehe später, Widerstands-Abstufungen) werden dann sehr gross, d.h. man müsste im ganzen Himmelsraum eine sehr feine Abstufung wählen, die aber nur an wenigen Orten wirklich sinnvoll ist.

Um die Fehler überall ähnlich zu halten, egal wo sich das Flugzeug befindet, gibt es eine **zweite Koordinaten-Transformation**. Gerechnet wird **nicht** mit den tatsächlichen Winkeln γ_1 und γ_2 , sondern mit umtransformierten, abstrakten Werten, die nicht mehr linear zu den tatsächlichen Winkeln sind. Die eigentliche Formel, nach der sich die Distanz ermitteln lässt, erfolgt dann mit **hyperbolischen Funktionen** der verzerrten Winkel und wirkt eher unanschaulich. Die Transformation von echten Winkeln zu den abstrakten Rechenwerten erfolgt so, dass die Handräder nicht mehr direkt an das Fernrohr gekoppelt sind, sondern an eine mechanische Hilfskonstruktion, mit einer Abtastung an einer Kurven-Lehre. Dreht man immer gleich viel am Handrad, verstellt sich das Fernrohr **nicht** in allen Himmelsregionen gleich stark. Nur die Umdrehungen am Handrad gehen in die Rechnung ein.

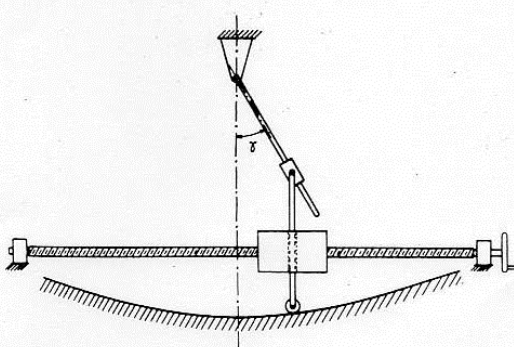


Abb. 24. Zur mechanischen Umformung von u in γ .

Das Handrad (ganz rechts), mit dem das Flugzeug stets im Fadenkreuz gehalten wird, treibt nicht mehr direkt das Fernrohr an, sondern eine mechanische Hilfskonstruktion. Die Schablone (gekrümmte Kurve unten) gibt den Zusammenhang zwischen echten Winkeln und den abstrakten Rechenwerten. Die Drehungen des Handrades werden ausgewertet, nicht die tatsächlichen Winkel im Dreieck.

Das Fernrohr zeigt den tatsächlichen Winkel γ an, d.h. das Handrad wird so lange gedreht, bis das Flugzeug direkt im Fadenkreuz liegt. Die Umdrehungen des Handrades führen mechanisch zur Anwahl der richtigen elektrischen Widerstände bei den nachfolgenden Rechenoperationen.

Bild: Ref. 1

Da selbst eines der erhaltenen Contraves-Blockdiagramme für die Rechenoperationen im Verographen das Prinzip der leichter vorstellbaren echten Winkel beibehält (siehe p. 13), verzichten wir vorerst auf die abstrakten Variablen und die daraus folgenden hyperbolischen Funktionen, wie sie tatsächlich im Rechner verwendet werden. Das Prinzip der Rechnung kann auch mit den normalen Winkelfunktionen verstanden werden.

Mit dieser zweiten Koordinatentransformation soll überall am Himmel mit derselben Genauigkeit gerechnet werden – einzig wenn das Flugzeug in einem Kegel von 15.5° um die Verbindungsachsen zwischen den Theodoliten liegt, sei die Rechnung nicht mehr im verlangten Genauigkeitsbereich.

Einige historische **Abbildungen** zum Verographen und dessen beiden Theodoliten:



Oberhalb des Handrades des Registriergerätes ist ein geschlossener Kasten zum sorgfältigen **Abgleich des langen Messkabels**. Das Kabel hat alle 150 m ein „Pupinkästchen“, zum Ausgleich der Kabel-Kapazitäten. Vermutung W. Vollenweider: Gibt bei einer einzigen Frequenz keinen rechten Sinn. Das sind eher Spulen mit Störschutz-Funktionen als Pupinspulen (ev. fehlten damals noch die passenden Worte, „Pupin“ war bekannt). Zitat F. Fischer: „Das Kästchen enthält ... in jedem Aderpaar einen Querleitwert, der für Verzerrungsfreiheit des Kabels abgestimmt ist“ (Ref. 1, p. 14).

Bilder oben des Verographen-Theodoliten und des Registriergerätes: Aus der Gebrauchsanweisung zum Verograph Nr. 202 (Typ II CH), Flieger-Flab-Museum Dübendorf, 20.10.1943.

Rechentechnik mit Widerständen: Versuch einer Rekonstruktion

Nun wollen wir versuchen, das **Prinzip der Widerstandsnetzwerke einigermassen zu verstehen**. Nie ist in den Korrespondenzen zwischen Contraves und den militärischen Behörden etwas zum prinzipiellen Ablauf der Rechnungen angesprochen worden, in den Archiven (Bundesarchiv, Flieger-Flab-Museum in Dübendorf) ist gar nichts zur Rechentechnik gefunden worden. Das Bild, das hier vermittelt wird, gründet sich auf zahlreiche Splitter und Teil-Bilder, mehrheitlich aus Ref. 1, Ref. 2, Ref. 4, sowie aus gefundenen Patentschriften von Contraves. Die Patentschriften haben meistens eine sehr eigenwillige Sprache, aber immerhin oft schöne Figuren, aus denen sich etwas herauslesen lässt.

Vorerst zum Einstieg, zum Angewöhnen, als Hingucker, wie es so geht (ein gut dokumentiertes, aber wenig wichtiges Beispiel – im Verograph nicht vorhanden, beim Stereomaten zwar eingesetzt, vgl. p. 4, aber im Rechenschema nicht einmal erwähnt, vgl. p. 24. In Ref. 2 wird die Koordinatentransformation auch 3-dimensional gezeigt, mit 3 Winkeln):

Beispiel einer Koordinatentransformation mittels Widerstandsnetzwerk

Aus Ref. 2, Stereomat

Gerechnet wird mit 4-Polen, 6-Polen, 8-Polen etc. – das sind Einheiten, die 4 oder 6 oder 8 Zuführdrähte haben. Jedes (Ein- oder Ausgangs-)Signal besteht aus **zwei Drähten** mit z.B. +3V resp. -3V, je symmetrisch. Werden zwei Grössen A und B addiert, $C = A + B$, so braucht es einen „6-Pol“. Das Niveau null, Erde, Masse, kommt nie vor. Gerechnet wird mit Wechselspannung (beim Verographen: 75 Hz).

Es folgt das Rechenprinzip für eine **Koordinatentransformation**:

In der Figur unten werden an die Ecken des Widerstands-Quaders die folgenden Spannungen angelegt resp. abgegriffen (die Spannungen entsprechen den Koordinaten in Metern):

1,2 = Eingang x
5,6 = Ausgang x'

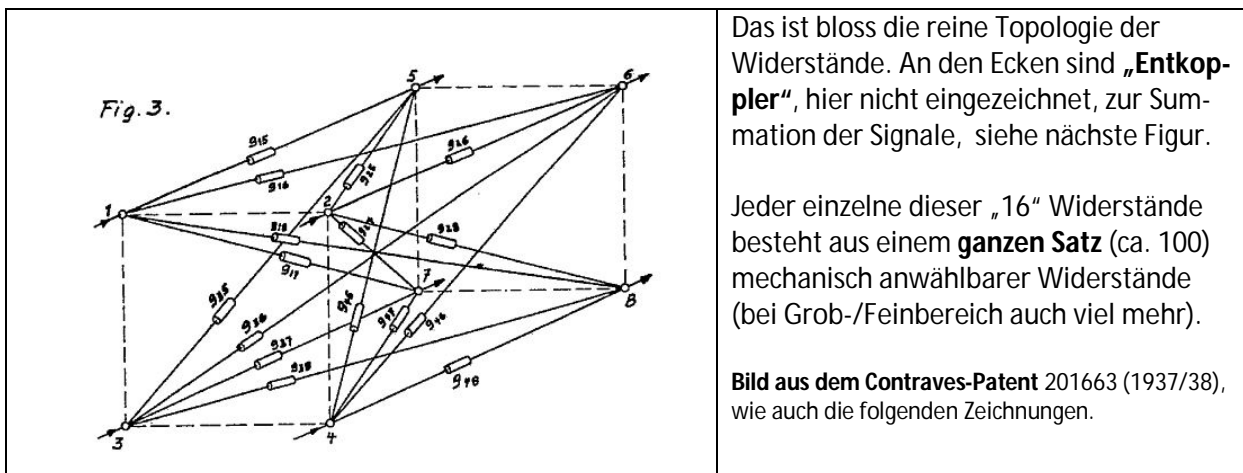
3,4 = Eingang y
7,8 = Ausgang y'

Alle Koordinaten sind ev. zeitlich variabel!
x, y ursprüngl. Koordinaten, x' und y' Koordinaten im verdrehten System.

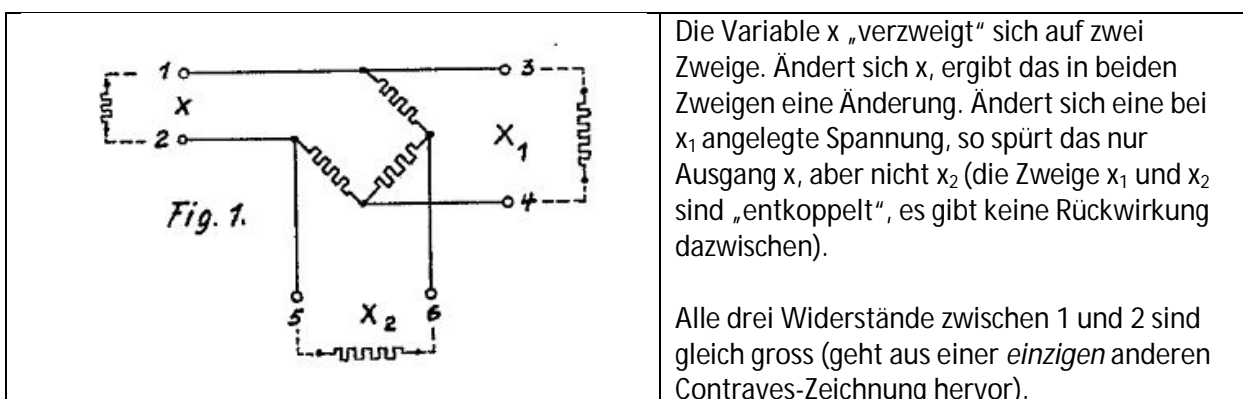
Es muss durch die Widerstände die folgende Rechnung gewährleistet sein:

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \beta - y \sin \beta \\ y' &= x \sin \beta + y \cos \beta \end{aligned}$$

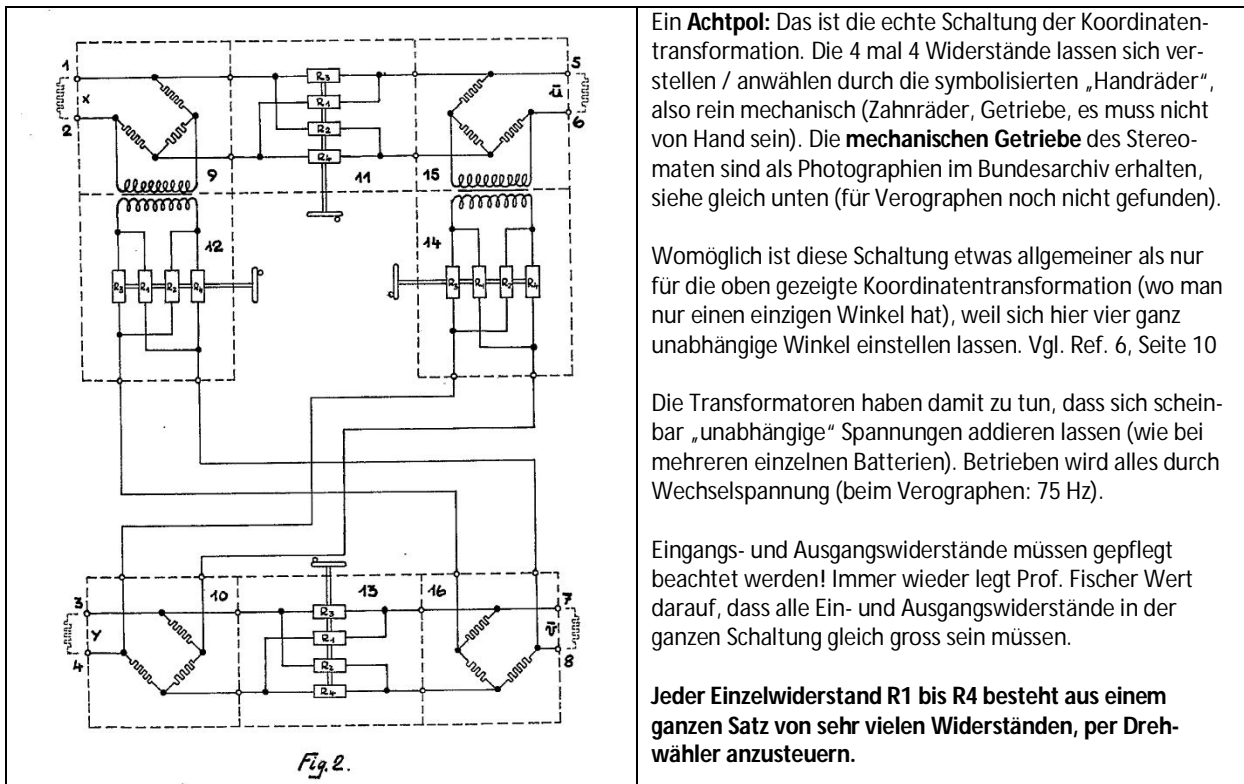
β wird in der Regel zeitlich variabel sein.
Jeder Widerstand wird mechanisch dem **variablen Winkel β nachgeführt**, mittels Zahnrädern.



Der **Entkoppler-Sechspol** (unten) kann **verzweigen** (Signal x auf x_1 und x_2 kopieren), aber auch **addieren**, wenn an x_1 und x_2 zwei unterschiedliche Spannungen anliegen. Die gestrichelt gezeichneten Widerstände stellen die Eingangs- oder Ausgangswiderstände der nachfolgenden Stufen dar.



Jetzt folgt das konkrete Schaltschema des Achtpoles für die oben angegebene Koordinaten-Transformation, mitsamt den vier Entkopplern in den Ecken:



Ein **Achtpol**: Das ist die echte Schaltung der Koordinaten-Transformation. Die 4 mal 4 Widerstände lassen sich verstellen / anwählen durch die symbolisierten „Handräder“, also rein mechanisch (Zahnräder, Getriebe, es muss nicht von Hand sein). Die **mechanischen Getriebe** des Stereomaten sind als Photographien im Bundesarchiv erhalten, siehe gleich unten (für Verographen noch nicht gefunden).

Womöglich ist diese Schaltung etwas allgemeiner als nur für die oben gezeigte Koordinaten-Transformation (wo man nur einen einzigen Winkel hat), weil sich hier vier ganz unabhängige Winkel einstellen lassen. Vgl. Ref. 6, Seite 10

Die Transformatoren haben damit zu tun, dass sich scheinbar „unabhängige“ Spannungen addieren lassen (wie bei mehreren einzelnen Batterien). Betrieben wird alles durch Wechselspannung (beim Verographen: 75 Hz).

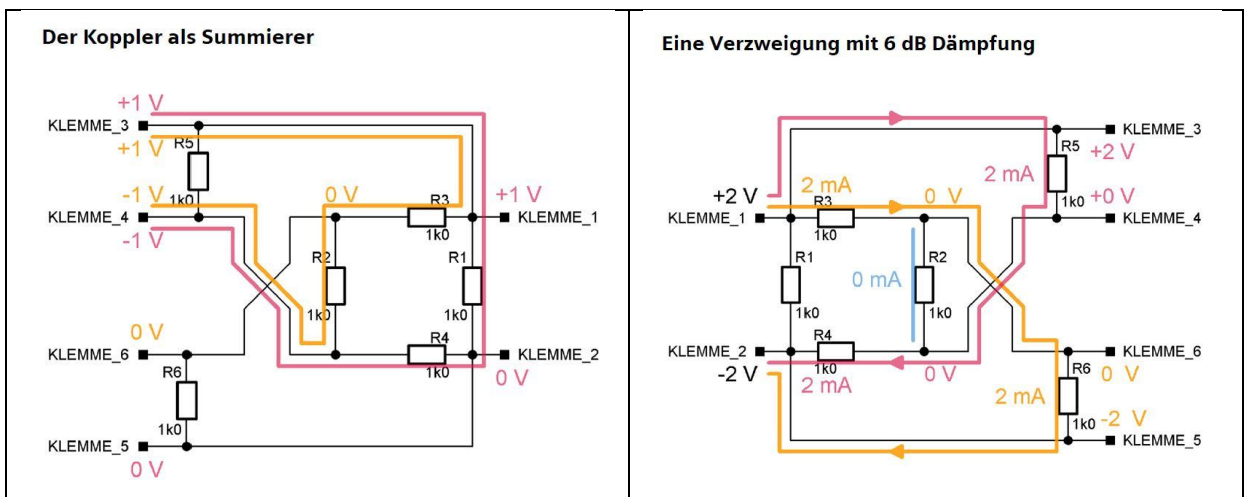
Eingangs- und Ausgangswiderstände müssen gepflegt beachtet werden! Immer wieder legt Prof. Fischer Wert darauf, dass alle Ein- und Ausgangswiderstände in der ganzen Schaltung gleich gross sein müssen.

Jeder Einzelwiderstand R1 bis R4 besteht aus einem ganzen Satz von sehr vielen Widerständen, per Drehwähler anzusteuern.

Entkoppler bei den Klemmen 1,2 und bei 3,4 (beides Eingänge): Funktion eines Verzweigers
 Entkoppler bei den Klemmen 5,6 und bei 7,8 (beides Ausgänge): Funktion eines Summierers

Unten folgen die Darstellungen von Walter Vollenweider (persönl. Mitteilung, Mail vom 21.5.2018), wie man sich den Verzweiger und den Summierer vorstellen und auch nachrechnen kann. Detailliert lässt sich allein mit dem Ohm'schen Gesetz alles nachvollziehen. Man beachte, dass es keinen gemeinsamen elektrischen „Nullpunkt“ gibt, d.h. die Spannungen liegen asymmetrisch.

Worte: Koppler = Entkoppler, meint dasselbe



Gezeichnet ist es so, dass in beiden Fällen links der Eingang, rechts der Ausgang ist. Sowohl bei der Summation wie bei der Verzweigung ist die Ausgangsspannung um einen Faktor $\frac{1}{2}$ abgeschwächt, die Leistung auf $\frac{1}{4}$; dem sagt man, dass es eine Dämpfung von 6 dB gibt. Konstante und bekannte Abschwächungen sind für ein Rechensystem kein Problem.

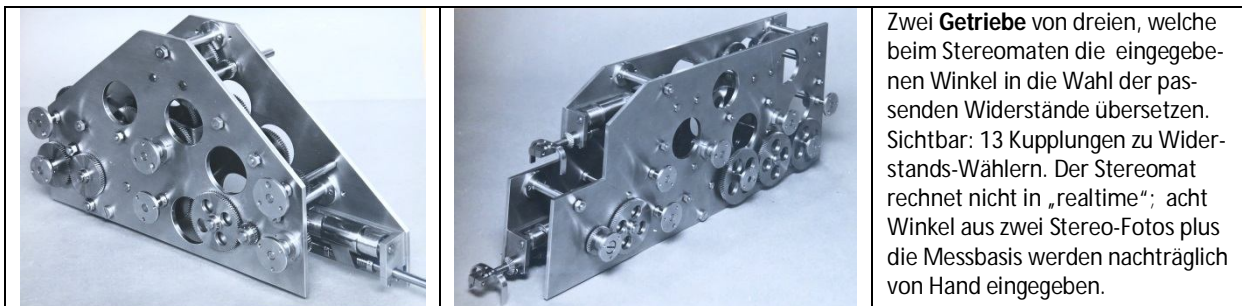
Schema oben rechts: Mit einem Voltmeter gemessen, sieht man nicht, dass die beiden Spannungen „verschoben“ sind (über null resp. unter null, wobei null die Mitte des Einganges ist). Das ist der Grund dafür, dass bei Prof. Fischer nie eine Angabe über „Null“, „Erdung“, „Common“ etc. zu finden war. Auch beim Summierer ist der Ausgang asymmetrisch.

Wichtig für das Funktionieren des gesamten Rechensystems: Bei der Addition hat der eine Eingang (Klemme 3,4) gar keinen Einfluss auf den anderen Eingang (Klemme 5,6). Zählt man z.B. „3“ plus „15“ zusammen, aber der Wert für „3“ würde leicht wechseln, wenn man statt „15“ z.B. „20“ nimmt, wäre die Addition nicht mehr präzise möglich.

Abgesehen von den Entkopplern resp. Summierern, sind die **Widerstände der Netzwerke nicht konstant**, sondern werden stets der momentanen Lage (Position des Flugzeuges) nachgeführt:

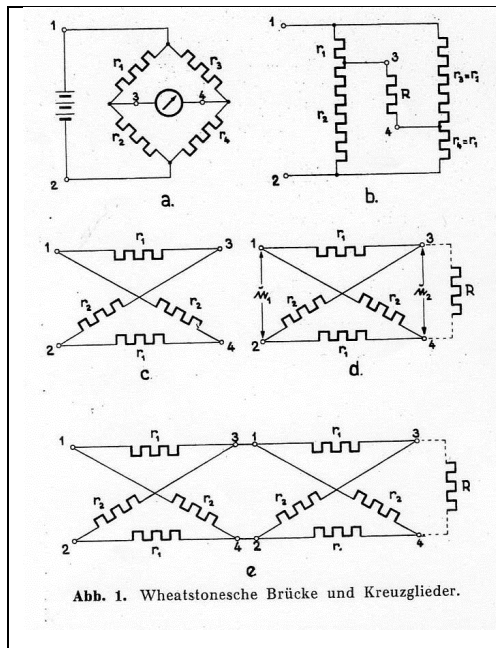
Numerische Darstellung der benötigten Winkelfunktionen, gesucht ist z.B. $\sin 31.4^\circ$:

Es ist nicht eine besondere Rechentechnik, welche die numerische Bereitstellung der Winkelfunktionen erlaubt, sondern eher eine **Speichertechnik: Jedes jemals vorkommende (Teil-)Resultat ist bereits früher ausgerechnet worden und ist mit den passenden Widerständen fest verlötet eingebaut**. Sobald die „Rechnung“ abläuft, sind jederzeit die aktuell passenden Widerstände **anzuwählen**, was mit mechanischen Zahnradgetrieben erfolgt.



Widerstands-Wähler: >> Jetzt geht's ans Begreifen! Jetzt wird's zentral! <<

Man kann sich die Sache wie eine **Wheatstonesche Messbrücke** vorstellen, die aber nicht auf null abgeglichen wird. Eingang: eine bestimmte Betriebsspannung. Ausgang: jeder beliebige Wert zwischen plus und minus dem Eingangswert. **Bei erwünschten 100 möglichen Abstufungen des Resultates sind 100 speziell verstimmte Messbrücken abzuspeichern – oder eine einzige Brücke mit stets wieder anderen Teilwiderständen**. Sind deutlich mehr als 100 Abstufungen erwünscht, um die Genauigkeit zu erhöhen, so wird mit Grob-Fein-Kaskaden gearbeitet (siehe p. 14): Pro Grad (Grobstufe) gibt es hineingeschachtelt weitere hundert Feinstufen.



a. bis d.: Wheatstonesche Messbrücke, stets leicht umgezeichnet. **Symmetrische Messbrücken** haben nur zwei unterschiedliche Widerstandswerte: $r_3 = r_2$ (b., c.)

d.: Zwischen 3 und 4 kommt die nachfolgende Schaltung, mit Innenwiderstand R. Wichtig ist es, dass auch zwischen 1 und 2 das Kreuzglied denselben Widerstand R hat. So lassen sich die Stufen beliebig hintereinanderschalten.

d.: Wenn das Verhältnis der Ausgangs- (3,4) zur Eingangsspannung (1,2) gegeben ist als p, die Gesamtwidestände immer gleich gross sein sollen, das Kreuzglied symmetrisch sein muss, so sind alle Widerstände fest bestimmt:

$$r_1 = R(1-p) / (1+p) \quad \text{und} \quad r_1 \cdot r_2 = R^2$$

e.: Zwei Kreuzglieder hintereinander ergeben als Gesamtübertragungsfaktor die Multiplikation der einzelnen Übertragungsfaktoren. Der Gesamt-Eingangswiderstand ist immer noch R.

Aus Ref. 1, p. 2

Multiplikation:

Ausgangsspannung eines Vierpoles = Eingangsspannung mal den angewählten Reduktionsfaktor. Multiplikation einer gegebenen Spannung mit drei unterschiedlichen Faktoren = Hintereinanderschaltung dreier verschiedener Vierpole. Hier sind bei jedem einzelnen Faktor auch unterschiedliche Werte des Argumentes möglich (z.B. unterschiedliche Winkel).

Division:

Multiplikation mit den zuvor ausgerechneten Reziprokwerten. Seite 23: Eine viel komplexere Lösung...

Multiplikation oder Division, bei der das Resultat eine **grössere** Spannung annimmt als am Eingang: Das geht mit Kreuzgliedern nicht – sie können nur reduzieren, also geringere Spannungen machen.

Beim **Stereomaten** sind an sieben solchen Stellen (Division durch den Sinus eines Winkels) **Röhren** eingebaut. Beim **Vergroßer** war das vermutlich auch nötig, weil der Sinus hyperbolicus (u) grösser werden kann als „eins“ (p. 21).

Addition / Aufspaltung:

Es sind **zwei** Additionsschaltungen in Gebrauch, beide historisch belegt - aber wann die eine, wann die andere Schaltung verwendet wird, ist etwas unklar. In umgekehrter Richtung verwendet (Eingang bei der „Summe“), ergibt sich bei beiden Schaltungen eine Aufspaltung des gegebenen Wertes auf zwei unabhängige Zweige.

a) Addition mit **einfachem Entkoppler** (= 6-Pol): Siehe oben, Seite 8 und 9.

b) Addition mit **vollständigem Entkoppler** (= 6-Pol):

F. Fischer, in Ref. 1, p. 3: „Um die Addition vollziehen zu können, müssen wir zu komplizierteren Brückenschaltungen übergehen“ – siehe Abb. 6 gleich unten.

Unter den folgenden Forderungen sind die 12 einzelnen Widerstände exakt bestimmt, man hat keine Freiheit mehr:

- alle drei Kreuzglieder sollen symmetrisch sein,
- wenn 2,5 und 3,6 mit R abgeschlossen wird (Eingangswiderstand der folgenden Schaltung), sei an 1,4 auch R zu messen,
- dies auch zyklisch vertauscht: ... sei an 2,5 auch R zu messen, bzw. sei an 3,6 auch R zu messen,
- der Spannungsübertragungsfaktor zwischen 1,4 und 2,5 sei p_{12} ,
- der Spannungsübertragungsfaktor zwischen 1,4 und 3,6 sei p_{13} ,
- der Spannungsübertragungsfaktor zwischen 2,5 und 3,6 sei null (diese beiden Zweige können einander nicht beeinflussen)

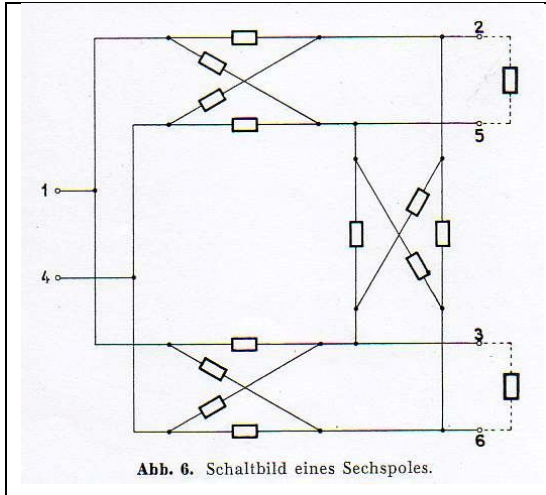


Abb. 6. Schaltbild eines Sechspoles.

Dieser kompliziertere **Sechspol** wird im Text auch mit dem in mechanischen Rechenanlagen häufig verwendeten **Differentialgetriebe** verglichen. Es lassen sich damit Additionen, Subtraktionen und Verzweigungen realisieren (letzteres wird in mechan. Rechnern nicht verwendet, man greift per Zahnrad einfach zweimal ab). Vgl. Differential beim Automobil-Antrieb.

Im Gegensatz zum mechanischen Getriebe lassen sich hier durch die Wahl der Widerstände bequem **unterschiedliche Gewichtungsfaktoren** einführen zwischen den Klemmen „Motor“ (1-4) und „Rad 1“ (2-5) resp. „Motor“ und „Rad 2“ (3-6); oder auch im Additionsweg, d.h. von rechts nach links: $C = pA + qB$
 Begriff „Entkoppler“: Spannung an 2,5 beeinflusst die Spannung an 3,6 **nicht**. Das ist wichtig, damit die ganzen Rechenschemen funktionieren. Beim Stereomaten wird diese Forderung oft erwähnt!

Quelle: Ref. 1, p. 3, 4.

Subtraktion: Addition mit vertauschten Kabeln bei einer der Variablen

Vermutung, explizit nirgends gefunden:

Bei einer 1:1-Addition wird der **einfache Entkoppler** (siehe Seite 8) verwendet:

$$C = A + B$$

Bei einer gewichteten Addition braucht es den **vollständigen Entkoppler**:

$$C = pA + qB$$

Wenn die Gewichte p und q im Laufe der Rechnung auch noch variabel sein müssen, so müssen alle 12 Widerstände laufend angepasst werden (oder man multipliziert zuerst pA und qB je separat, addiert sie dann 1:1, das braucht nur 8 variable Widerstände).

Eigene Messungen am einfachen Entkoppler:

An einer Versuchsschaltung ist die Aufspaltung eines Signals auf zwei Zweige resp. die Addition zweier Spannungen experimentell ausgemessen worden. Verwendet wurden als Spannungsquellen einzelne, voneinander unabhängige Batterien, sowie ein normales, hochohmiges Voltmeter. Alle drei Widerstände des Entkopplers hatten denselben Wert (Widerstände von Hand ausgelesen), und die simulierten Eingangswiderstände der nachfolgenden Schaltungen hatten nochmals denselben Wert – ebenfalls beim Einspeisen der Spannung (hier wäre als „Ausgangswiderstand“ eher ein Serie-Widerstand einzusetzen, aber das beeinflusst weder das Prinzip, noch das Messresultat).

Bezeichnung: Da man nicht mehr von „Eingang“ oder „Ausgang“ reden kann, weil überall beides möglich ist, seien hier die Begriffe „**Total**“ und „**Teil**“ verwendet. In der Zeichnung Seite 8, Fig. 1:

Klemmen 1, 2 = **Totalspannung**, Klemmen 3,4 und 5,6 = **Teilspannungen**.

Resultat der Messungen: Der einfache Entkoppler funktioniert ausgezeichnet!

Nur eine Spannung U angeschlossen an Total: Teilspannungen an beiden Orten = $\frac{1}{2} U$

Nur eine Spannung U angeschlossen an Teil: Totalspannung = $\frac{1}{2} U$
 Teilspannung anderer Abgriff = 0

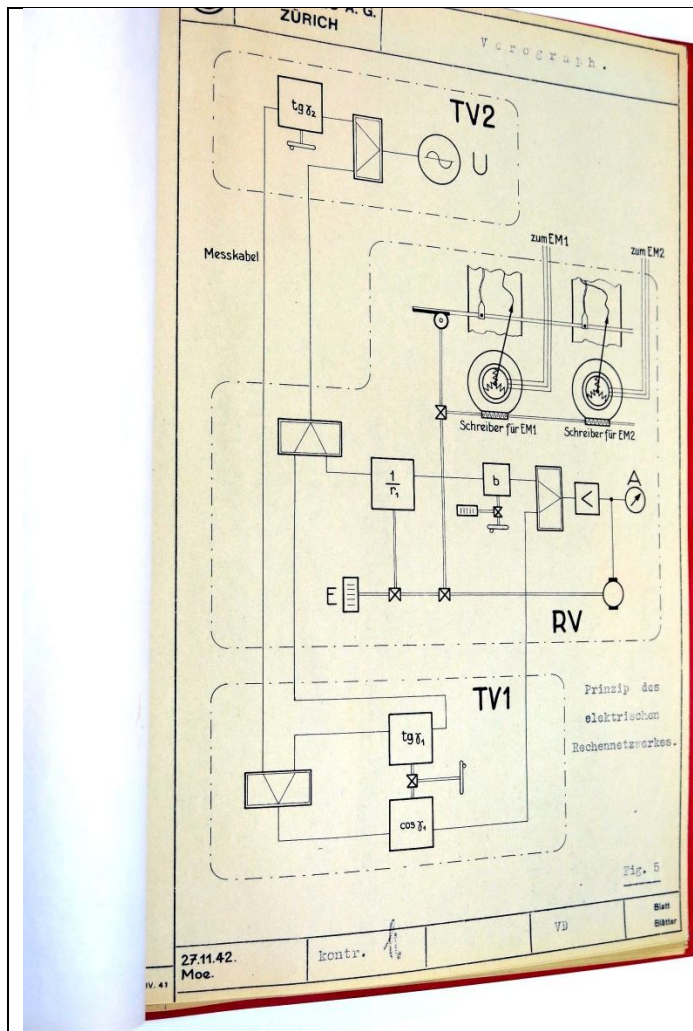
Zwei Spannungen angeschlossen an beiden Teilen: Totalspannung = $\frac{1}{2} (U_1 + U_2)$

Funktionsschema des Verograph:

Mit dem Wissen um die Additions-Sechspole können wir jetzt nachvollziehen, wie der Verograph die Distanz zum Flugzeug ermittelt. Die Gleichung von Seite 6 ist hier nochmals zu sehen. Die Tangens-Funktionen der beiden gemessenen Winkel werden voneinander subtrahiert, dann mit $\cos \gamma_1$ multipliziert. Das wird verglichen mit (konstante Spannung) mal b/r_1 , indem die Differenz beider Seiten gebildet wird; diese Differenz wird motorisiert oder von Hand durch Ausprobieren der gesuchten Distanz dauernd minimiert, d.h. immer möglichst auf Null gehalten. (Hier ohne die Hyperbelfunktionen)

$$\frac{1}{r_1} b = (\operatorname{tg} \gamma_2 - \operatorname{tg} \gamma_1) \cos \gamma_1$$

r_1 gesuchte Distanz
 b Messbasis



TV2 ist der entfernte Theodolit, TV1 derjenige nahe beim Hauptgerät RV. Die Wechselspannung 75 Hz bei TV2 wird direkt und gleichzeitig auch mit dem Tangens des Winkels γ_2 multipliziert auf das lange Kabel gegeben. Das Fernrohr zum Flugzeug verstellt die Widerstände im R-Netzwerk $\operatorname{tg} \gamma_2$ laufend durch mechanische Anwahl mit Grob- / Feinbereich, d.h. sehr genau.

TV1 bildet den Wert („U · $\operatorname{tg} \gamma_2$ “ minus „U · $\operatorname{tg} \gamma_1$ “) mal „ $\cos \gamma_1$ “ und führt diesen Wert ins nahe Hauptgerät, wo er verglichen wird und laufend gleichgesetzt mit „U durch Distanz mal Basis b“. Der laufende Abgleich der Distanz ist hier mit einem Motor realisiert (ev. auch mit grossem Abgleich-Handrad): Messgerät A soll immer null anzeigen. Das ist das „Auflösen“ der trigonometrischen Gleichung durch ein dauerndes Ausprobieren der richtigen Distanz.

Doppel-Striche = mechanische Wellen, mit Zahnrad-Verzweigungen. Einfach-Striche = elektrische Variablen (mit je zwei Drähten). E = Zahlwert der Entfernung.

Die erhaltene Distanz (horizontale Welle gleich über den Buchstaben RV) wird auf Papier aufgezeichnet und mit dem Wert von vier separaten Telemetern verglichen: die vier Differenzen werden laufend auf Papierstreifen geschrieben. Im Oionoskop wird die Distanz mittels Drehwelle anderweitig verwendet.

Bild aus Bundesarchiv, Oionoskop, Nov. 1942, und aus Flieger-Flab-Museum, Verograph, Okt. 1943

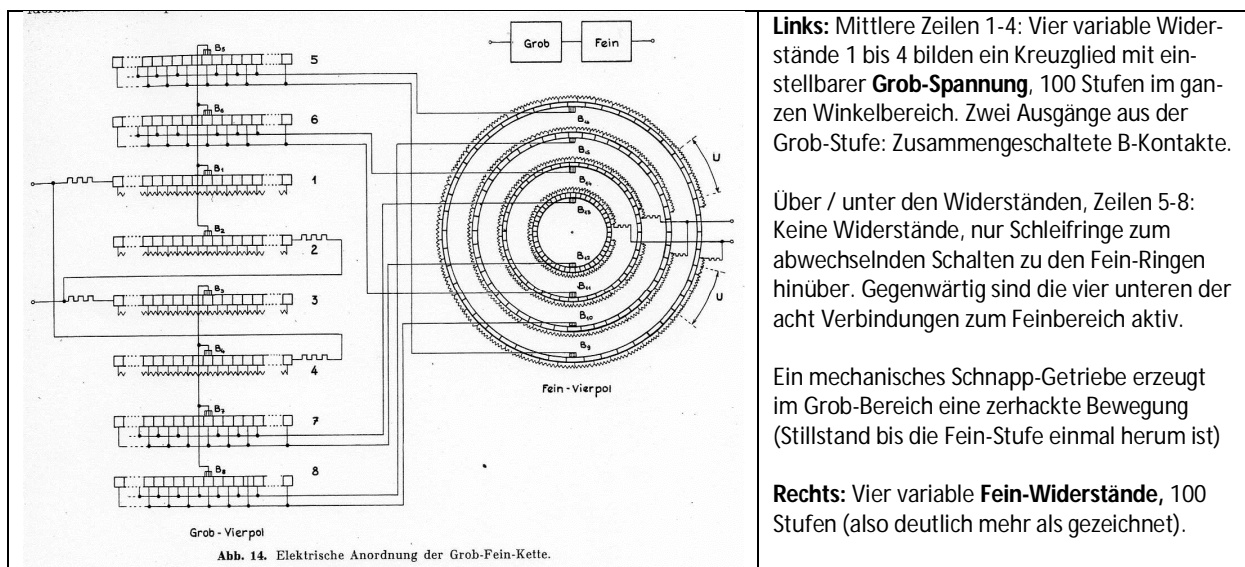
Ob die zwei Sechspole zur Aufspaltung eines Signals (in TV2 und in RV) und die zwei Sechspole zur Subtraktion (in TV1 und in RV) nur die vereinfachten oder die vollständigen Entkoppler-Sechspole sind, bleibt vorerst unbekannt. – Das Vorzeichen bei der Tangens-Differenz kann nie kippen; sind beide beobachteten Winkel gleich, ist das Flugzeug unendlich weit weg.

Tatsächlich wird nicht mit den normalen Winkelfunktionen der gemessenen Winkel zum Flugzeug gerechnet, wie hier zum leichteren Verständnis im Schema eingezeichnet, sondern mit **hyperbolischen Funktionen einer Hilfsvariablen u** , die nicht linear ist zum gemessenen Winkel γ (vgl. p. 6, 7). Mehr dazu im Anhang, ab p. 18.

Erhöhung der Genauigkeit durch eine Grob-Fein-Kaskade

100 Schritte, um den Winkelbereich von -75° bis zu $+75^\circ$ zu überstreichen, war zu wenig genau, und viel mehr Schritte sind für den Widerstandswähler nicht machbar. Eine Grob-Stufe entspricht ungefähr 1.5° , und diese Stufe wird durch 100 Schritte einer nachfolgenden Fein-Stufe unterteilt, so dass die kleinste Stufe ungefähr 0.015° entspricht, wenn alles linear im Winkel wäre.

Schema: Oberhalb / unterhalb der vier Grobstufen-Widerstände (Zeile 1 bis 4) sind Umschalter für die Wahl der Fein-Ringe. Das wird erlauben, dass die Umschaltung zur nächsten Grobstufe exakt gleichzeitig erfolgt mit der Rücksetzung der Feinkette.



Die \cos -Funktion ist um 0° herum viel flacher, um 80° herum viel steiler – was machen wir da mit den feinen Schritten, die im ersten Fall ganz klein, im zweiten Fall viel grösser sein müssten? Was sind für Widerstandswerte einzulöten, wenn die Feinstufen je nach Ort des Flugzeuges am Himmel ganz andere Werte annehmen müssen?

Es geht gut, dank **Additionstheorem!** Wir müssten nehmen: $\cos(g + f)$, wobei g bedeutet: z.B. 14. Grobstufe, f bedeutet: z.B. 42. Feinstufe.

Es gilt: $\cos(g + f) = \cos g \cdot \cos f - \sin g \cdot \sin f$

Das geht gerade gut: Hintereinander schalten = Produkt. Die Figur oben ist z.B. die erste Hälfte, $\cos \text{grob} \cdot \cos \text{fein}$, dann alles nochmals mit \sin , gibt nochmals eine Zeichnung wie oben, gibt zusammen die präzise \cos -Funktion.

Pro Kreuzglied (grob oder fein) sind es je 400 Widerstände, macht etwa 1000 in der Zeichnung oben (mit etwas Reserve bei der Feinstufe, ausserhalb Bereich, s. unten). Macht ca. 2000 Widerstände für $\cos(g + f)$ insgesamt, nach Additionstheorem. Da insgesamt drei Winkelfunktionen zu ermitteln sind (\tan , \cot , \cos) im Gesamt-Funktionsschema, **kommen wir in die Region von 6'000 präzise gefertigten Widerständen** für die Winkelfunktionen, plus „1/r“ plus „mal b“, sowie die Aufspalter/Addierer. Die Anzahl der Stufen ist bei den tatsächlich benutzten hyperbolischen Funktionen gleich wie hier abgeschätzt. Hyperbolische Additionstheoreme gibt es auch.

Zu verstehen bleibt noch die **Umschaltung**, wenn die Fein-Stufen „voll“ sind und die nächste Grobstufe geschaltet wird. Gleichzeitig mit der Umschaltung der Grobstufe muss im Fein-Bereich wieder der Anfang gefunden werden. Das muss mit dem zweiten Bürstensatz möglich werden.

Ganz verstanden ist es nicht. Und wozu sind die Widerstände oder die Ringpositionen, die offensichtlich über die 100 Stufen hinausreichen?

Geschätzte Genauigkeit für die Verographen-Messung

Die Genauigkeit der Distanzbestimmung ist sowohl beim optischen Telemeter wie beim Verographen konstant in der reziproken Distanz. F. Fischer schätzt beim Verographen einen typischen Fehler in $(1/e)$ auf etwa $0.2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1}$. Zurückgerechnet ergibt das für den Verographen bei einigen typischen Distanzen zum Flugzeug etwa die folgenden Genauigkeiten der Distanzbestimmung (für Basis 2 km):

Distanz zum Flugzeug	3 km	5 km	10 km	15 km
Typ. Messfehler	2 m	5 m	20 m	45 m

Kann das wirklich eingehalten werden, sind es für die Flab **sehr schöne, hervorragende Werte!** Die Länge einer „Fliegenden Festung“ B-17 betrug 23 m, die Spannweite 31 m. Allerdings: Die Telemeter, mit denen schliesslich geschossen wird, sind wesentlich ungenauer als der Verograph.

Diverse kleinere Angaben:

» Gewicht

Ein Theodolit zum Verograph wiegt 300 kg! Die vielen Widerstände bestehen aus Drahtspulen, vgl. Bild p. 1 (Bild gilt für den Stereomat, beim Verograph wird es ähnlich aussehen)

» Vermessung

Die Genauigkeit der Vermessung der beiden Standorte der Verograph-Theodoliten sollte 1 m oder 0.5 m betragen (auf ein bis zwei Kilometer). Stereomat, Verograph und auch das Oionoskop dürften alle eher **für den Schiessplatz-Betrieb** vorgesehen sein, und nicht für den Kriegseinsatz. Ein schneller Stellungswechsel liegt kaum drin (ev. auf vorbereitete Plätze).

» Schräges Gelände

Im Buch „Fliegerabwehr“ von Herrmann Schild ist auf p. 36 ein Verograph-Theodolit abgebildet, dessen Hauptkörper nicht horizontal auf der Grundplatte sitzt, sondern leicht schief: Verursacht durch die Höhendifferenz zwischen den Standorten der beiden Theodoliten. Dort sieht man auch sehr gut, dass der oberste Fernrohr-Teil wirklich ganz überkippen kann (Drehwinkel um die Okular-Achse 220° , d.h. ganzer oberer Halbraum 180° , plus beidseits 20° tiefer als horizontal, gemäss Skizze in Ref. 1). Das ist das einzige bekannte Foto, auf dem man das sieht.

» Automatischer Abgleich

Auf dem Rechen-Schema des Verographen (p. 13) wird die Erfüllung der Hauptgleichung automatisch mit einem Motor gemacht: jede Abweichung wird verstärkt und im richtigen Sinne wird die gesuchte Distanz so verändert, dass der Abgleich jederzeit möglichst gut erfüllt wird. Wahlweise kann der Abgleich auch durch einen Menschen erfolgen, mittels Handrad, mit oder ohne Weg-Geschwindigkeits-Addition. Ein Schalter (persönl. Bild 1549) zeigt die vier Möglichkeiten des Distanz-Abgleiches. Es ist bei allen Hand-Nachführungen so (auch bei den Folgezeigern am Kommandogerät), dass ein Mensch ruckelnde Grössen von Hand ohne weiteres **glätten und ausmitteln** kann. Möglicherweise ist ein Mensch diesbezüglich den automatischen Lösungen überlegen. - Fertig eingebaut ins Oionoskop, hat der Verograph aber kein Handrad mehr (ein Foto erhalten, persönl. Bild 1602). In einem frühen Gesamt-Schema „Oionoskop D“ (7.3.1940) ist die Distanz-Nachführung ebenfalls automatisiert eingezeichnet.

» **Hand-Rechenarbeit**

Auf welche Art und Weise die vielen Teilwiderstände innerhalb der Mehrfach-Pole praktisch berechnet worden sind, ist nicht bekannt. Es gab ja noch keine Computer damals. Auch die erreichte Präzision in der Fertigung der Widerstände bleibt unbekannt. - Womöglich finden sich in der schwer verständlichen Veröffentlichung Ref. 3 von F. Fischer Angaben darüber, mit welchen mathematischen Tricks oder Vereinfachungen sich die einzelnen Widerstände leichter bestimmen lassen.

» **Verstärker-Röhren**

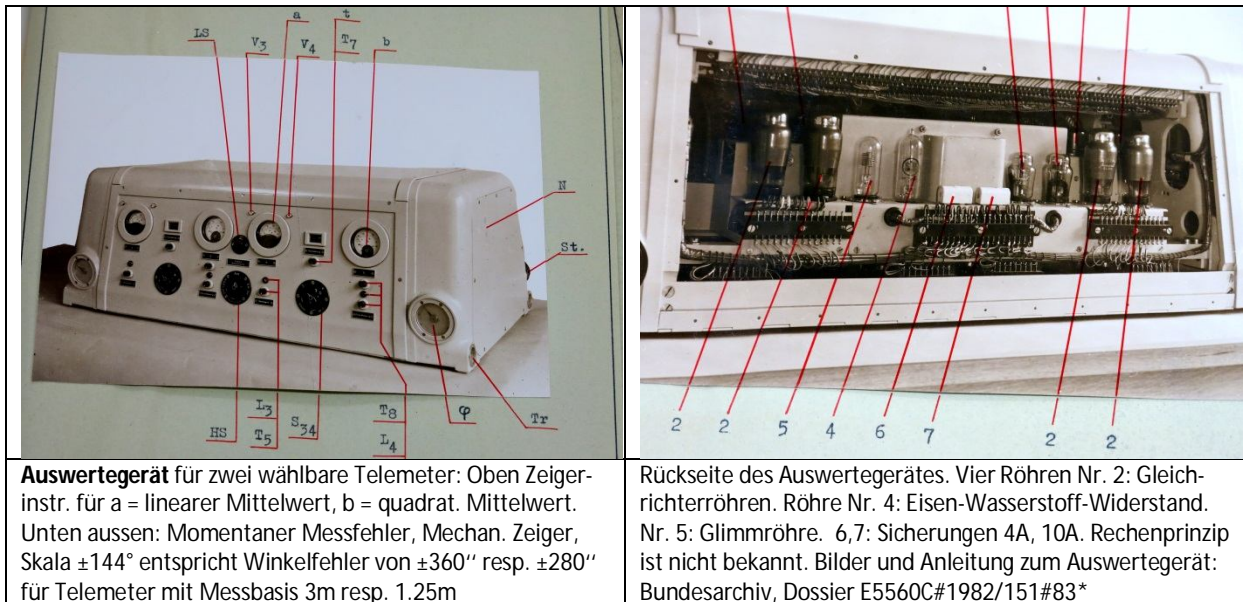
Aufgelistet in den **Ersatzteilen zum Verograph** sind vier Typen von **Verstärker-Röhren** (CF 50, CF 3, EL 3, EF 9, alle Philips) sowie eine Gleichrichterröhre EZ 4 Philips und ein Eisen-Wasserstoff-Widerstand für Nebentheodolit Osram (0.5 A 18-54 V (als Konstantstromquelle). Wozu die Verstärkeröhren gediend haben, ist im Detail nicht bekannt. Etwas wurde sicher beim Verstärker gebraucht, der die Distanz motorisiert angepasst hat, um den Fehler laufend auf Null zu regeln. Hier ist der Begriff „Röhrenvoltmeter“ angetroffen worden, das den Fehler zum „Galvanometer“ führt. Der Strom zum Motor wird kräftige Röhren erfordert haben, denn die Anpassung der Distanz muss ja schnell erfolgen. Sicher gab es Massnahmen, um dort ein **Schwingen zu verhindern**. (Das sind nur die Röhren bei den Ersatzteilen – gesamte Röhrenzahl bleibt unbekannt).

» **Einzigartig**

Aus Ref. 5, dort p. 37, Rückblick der Contraves, 40 Jahre danach geschrieben, 1976: „Ich glaube, der Verograph war und ist das einzige elektromechanische Analog-Rechenggerät in dieser Genauigkeitsklasse (d.h. mit Grob-Fein-Kaskade) geblieben, das je gebaut wurde. Erst die sehr schnellen Digitalrechner der 70er-Jahre konnten ein Rechenproblem dieser Art zeitverzugslos bewältigen“.

» **Auswertung der Messfehler – noch intensiver**

Vier Telemeter liessen sich mit dem Verographen laufend auf Messgenauigkeit überwachen – die Fehler werden angezeigt und auf Papierstreifen geschrieben mit nicht-linearer Skala (so dass kleine und grosse Fehler gut ablesbar bleiben). Später wurde noch ein separates „Auswertegerät“ gebaut, um die Messfehler von zwei Telemetern noch intensiver auszuwerten (Anleitung zum Gerät: Mai 1945). Das Gerät erzeugt die **arithmetischen und quadratischen Mittelwerte** der Messfehler und zeigte sie mit je zwei elektrischen Zeigerinstrumenten direkt in Winkelsekunden an. Messung: ab „Start“ folgen nach 17 Sek. die ersten Anzeigen, Messung möglich während maximal 270 Sekunden. Es lassen sich damit falsch justierte Telemeter und falsch messende Männer unterscheiden.



Auswertegerät für zwei wählbare Telemeter: Oben Zeigerinstr. für a = linearer Mittelwert, b = quadrat. Mittelwert. Unten aussen: Momentaner Messfehler, Mechan. Zeiger, Skala $\pm 144^\circ$ entspricht Winkelfehler von $\pm 360''$ resp. $\pm 280''$ für Telemeter mit Messbasis 3m resp. 1.25m

Rückseite des Auswertegerätes. Vier Röhren Nr. 2: Gleichrichterröhren. Röhre Nr. 4: Eisen-Wasserstoff-Widerstand. Nr. 5: Glimmröhre. 6,7: Sicherungen 4A, 10A. Rechenprinzip ist nicht bekannt. Bilder und Anleitung zum Auswertegerät: Bundesarchiv, Dossier E5560C#1982/151#83*

» **Vergessene Schätze**

Es gibt heute noch je eine Verograph- und Stereomat-Anlage, mit je zwei Theodoliten, verpackt in ziemlich verrosteten Anhängern, die sich nicht mehr öffnen lassen (womöglich seit dem letzten Gebrauch in den Sechzigerjahren nie mehr

geöffnet ??). Stationen waren das Technorama, AMP Burgdorf, heute lagern sie wahrscheinlich in Tavannes. **Es wäre schön, diesen Geräten die nötige Ehre anzutun und sie endlich im Flieger-Flab-Museum gebührend auszustellen** – dort findet sich gar nichts (abgesehen von den Papier-Archiven) von den frühen Contraves-Rechnern, die ca. 20 Jahre lang treu ihren Dienst versehen haben. Wunderbar wäre es, wenn sich noch Schaltschemen fänden – aber dies ist für den Gebrauch der Geräte auf dem Schiessplatz unwahrscheinlich. Gerätemechaniker gab es kaum, Reparaturen gingen zu Contraves.



Von links nach rechts: Stereomat Rechner, Stereomat Haupt- und Nebentheodolit, Verograph Registriergerät. Im AMP Burgdorf aufgenommen, A. Masson, Februar 2017. Die langen Röhren oberhalb einzelner Anhänger tragen die Messbasen früher v_0 -Messanlagen (werden befestigt vor den Mündungen der Geschütze).

Chronologisches zu beiden Widerstandsrechnern Stereomat und Verograph:

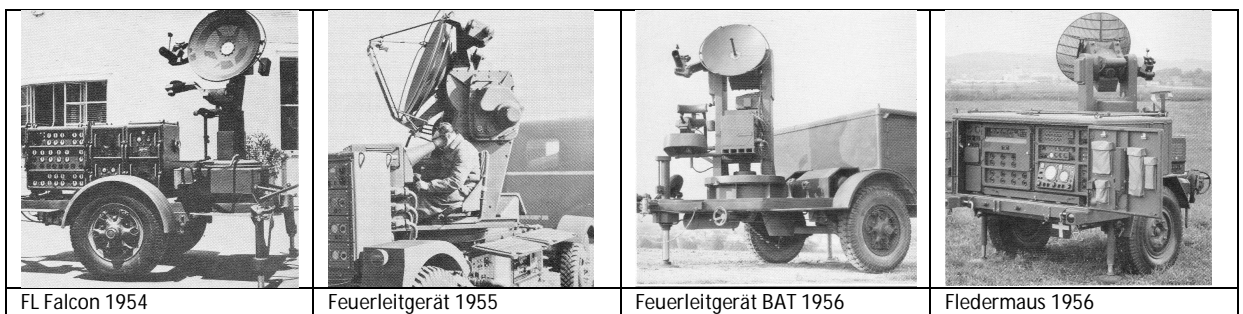
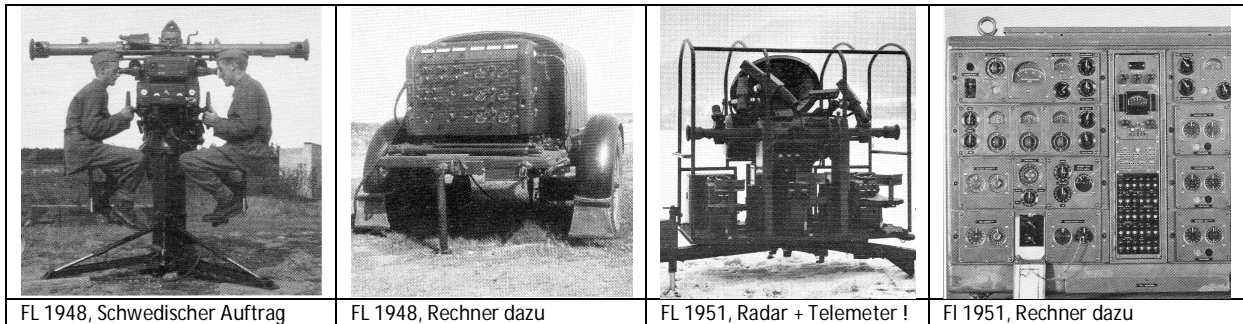
Mehrheitlich aus Ref. 4: „Die ersten zehn Jahre der Contraves AG“, Dr. H. Brändli und Dr. M. Lattmann, Firmenzeitschrift. Sowie aus Ref. 5: 40 Jahre Contraves, Sondernummer Contact (Hausmitteilungen der Contraves AG, Zürich), 6/1976

- 1936 (20. März): Gründung der Contraves AG. Später auch kurz-bezeichnet mit CZ, Contraves Zürich.
- 1936 (5. August) Erstes gefundenes Patentgesuch von Contraves: Winkel- und wegtreue Bewegungsübertragung (Verzögerung mit Stahlband, wie im Oionoskop gebraucht. Auch Verzögerungs-Vierpole mit L und C, div. weitere Verzögerungen).
- 1937 (17. August) Patentgesuch von Contraves eingereicht: „Zur fortlaufenden Umwandlung von Koordinaten“ mittels 8-Polen (Patent eingetragen: 15. Dez. 1938. Patent veröffentlicht: 1. März 1939, CH-Patent Nr. 201'663).
- 1938 (Feb.): F. Fischer veröffentlicht Theorie zu den 2n-Polen (Ref. 3) – sehr abstrakt, schwer verständlich, unpraktisch
- 1938 Der Stereomat wird beim Albiswerk zur Fabrikation in Auftrag gegeben
- 1939 Erster Stereomat fertiggestellt, der KTA abgeliefert und im praktischen Betrieb auf dem Schiessplatz Zuoz erprobt (noch ohne die neuen Theodoliten, Betrieb vorerst mit den alten Askania-Kino-Theodoliten). Man war zufrieden.
- 1940 Die KTA (= Kriegstechnische Abteilung) bestellt den ersten Verographen (Entwicklung noch im Prototyp-Zustand). Bezahlung Fr. 100'000.- für den ersten Stereomaten. Bestellung weiterer fünf Stereomaten.
- 1941 Fünf Stereomaten werden abgeliefert; einer geht an das Heereswaffenamt Deutschland, einer möglicherweise nach Schweden (als Reserve für späteres CH-Oionoskop). Erster Verograph ist fertiggestellt, er hat „auf Anhieb“ funktioniert. Beginn der Produktion von zehn Verographen.
- 1941 (8. Dezember) Vorführung des Verographen vor einer Kommission aus Deutschland (Vermerk im Bundesarchiv)
- 1942 Die ersten zwei Stereomat-Theodoliten werden der KTA abgegeben. Januar: Publikation zum Verographen, Ref. 1
- 1942 „Der Verograph hat zu verschiedenen Auslandsaufträgen geführt“
- 1943 Beginn der Auslieferung der Verograph-Erstserie an die Schweizer Armee
- 1944 Export von Stereomat-Theodoliten nach Schweden kann noch rechtzeitig erfolgen, nachher erfolgen Blockaden.

Nachfolgende Contraves-Entwicklungen bis vor Super-Fledermaus (oft aus Ref. 5, Bilder mit leider nur kurzen Legenden)
Kursiv: Entwicklung bei der Schweizer Armee mit dem englischen Radar Mark VII, das hat nichts mit Contraves zu tun.
 In allen Ländern sind die Militärkredite nach Ende des Krieges drastisch gesunken.

- 1948 Entwicklung eines „Radar-Verographen für die elektrische Distanzmessung auf Flugzeuge“.
- 1948 Feuerleitgerät: 3 Mann sitzen auf Stativgerät und verfolgen das Flugzeug – ein ca. 2m-Telemeter ist fest montiert Daneben ein Einachs-Anhänger mit dem „Rechner für Feuerleitgerät“. Entwicklungsauftrag aus Schweden.
- 1951 „Feuerleit-Richtgerät 1951. Erstmals mit Radar.“ Bild: Dreibein mit Drehteil, **Radarschirm und opt. Telemeter** 1.25m. Man traut der Radar-Distanz noch nicht richtig, oder sucht eine Ungefähr- oder schnellere Distanzangabe? Drei Sitze sind sichtbar: es gibt ev. noch keine automatische Radar Nachführung, oder während des Tages ist die Nachführung von Hand vielleicht auch genauer.
- Div. Feuerleitgerät 54, mit separatem Rechner, FL Falcon 1954 (ganz anders), FL 1955, FL BAT 56 (ev. alles Prototypen?) (Bat heisst engl. Fledermaus)
- 1950-57 Versuche CH-Armee mit dem englischen Radar Mark VII. 1957 gehen wenige Geräte an die Truppe. Umbau einiger Kommandogeräte Gamma zur mechanischen Eingabe der Radar-Werte mit 3 neuen Folgezeigern: Seite, Höhe, Distanz.
- 1958-60 Weitere Radar Mark VII werden beschafft, total 12 Stück.

1956 Entwicklung und Bau der „Fledermaus“ auf Einachs-Anhänger, Vorstufe der weltweit erfolgreichen Super-Fledermaus
 1962 Schweiz bestellt 78 Feuerleitgeräte Super-Fledermaus und 156 Contraves-Geschützsteuerungen. Wikipedia, gilt ev. später: 111 Geräte im Einsatz, plus 38 Stück mit MTI, Moving Target Indicator zur Standzeichenunterdrückung für FlpI/Flab (FIGt 69). Das war für die Gebirgsflugplätze mit ihren extremen Berg-Signalen eine grosse Erleichterung.
 1964 Erstes Schweizer Flab-Regiment wird auf Mittelkaliber und Super-Fledermaus (FIGt 63) umgeschult. Die Schwere Flab 7.5 cm wird ausgemustert. Kommandogeräte, grosse Telemeter werden nutzlos. 71 ältere Telemeter sind schon 1959 ausgeschieden worden.



Alle acht Bilder oben (1948-1956) stammen aus Ref. 5. Weitere Bilder finden sich online in **schwedischen Militärmuseen**.

Zum Feuerleitgerät 1955: Das Verfolgen des Flugzeuges per Steuerknüppel von Hand (freier Blick zum Himmel benötigt) und die Bedienung des Radars kann fast nicht durch denselben Mann gemacht werden: die Helligkeitsunterschiede sind zu viel gross. In eine Optik schaut er ja nicht, das ist sicher die Radaranzeige. Bei der Fledermaus wird mit einem angebauten Zelt (hier nicht sichtbar) alles rings um den Radarleuchtschirm dicht abgedunkelt!

Anhang: Numerische Werte der benötigten Widerstände Praktische Realisierbarkeit der Anlage

>>> Jetzt geht's wirklich in die Einzelheiten... <<<

Auf diesem Niveau der Widerstände sind gar keine Angaben gefunden worden – in keinem Archiv, keinem Museum, in keinem Schriftstück. Nach den knappen Angaben von Prof. Fischer wird hier versucht, wie sich die Einzelwiderstände berechnet haben müssen. **Gesichert ist nichts!**

Auf p. 11 (Legende zur Illustration der Kreuzglieder, Fig. d) ist das Rezept dazu angegeben, welche Widerstandswerte in einem Kreuzglied eingebaut werden müssen, damit die ganze Schaltung den geforderten Übertragungsfaktor ergibt. In diesem Anhang werden die Widerstandswerte numerisch errechnet – um zu schauen, ob es Überraschungen gibt, oder ob alles realisierbar bleibt.

Denkgrundlage: Falls Sie sich beim Widerstands-Rezept auf p. 11 beim eigenen Prübeln gefragt haben, ob etwas nicht ganz stimme, oder falls Sie sich bei den folgenden Tabellen in komische Widersprüche verheddern: **Ihre Überlegungen werden wohl richtig sein – sind aber 80 Jahre zu spät, zu modern.** Heute denken wir automatisch, dass ein Eingang einigermaßen „hart“ sei, und der Ausgang jeder Stufe genügend Strom liefern könne. Das war vor Halbleiter und Radioröhre noch nicht der Fall! **Alles Folgende bezieht sich auf eine Messbrücke oder ein Kreuzglied, das durch die Belastung der nachfolgenden Schaltung grob verstimmt wird gegenüber Leerlauf.** Die zwangsläufige Verstimmung ist im Widerstands-Rezept auf p. 11 bereits einberechnet.

Im folgenden werden zwei Situationen durchgerechnet:

a) Normale Geometrie mit den normalen Winkelfunktionen \sin , \cos , \tan – so wie das Funktionsprinzip des Verographen weiter oben erklärt wurde (aber wie der Verograph nicht gebaut ist). Es wird hier direkt mit dem Winkel gerechnet, den der Theodolit mit seinem Fernrohr zwischen Messbasis und Flugzeug laufend ermittelt.

b) Der Winkel zum Flugzeug wird nichtlinear verzerrt, bevor er in die Rechnungen eingeführt wird. Die Drehungen am Handrad des Theodoliten gehen in die Rechnung ein, wobei ein Grad Fernrohr-Änderung nahe bei 0° weniger Drehungen am Handrad benötigt als bei grösserem Winkel. (Winkel 0° : Flugzeug liegt rechtwinklig zur Verbindungslinie zwischen den beiden Theodoliten, vgl. p. 6). Mit dieser künstlich eingeführten Verzerrung gilt es eine neue Gleichung zu lösen, und zwar mit hyperbolischen Winkelfunktionen \sinh , \cosh – es wird jetzt alles etwas unanschaulich.

a) Normale Geometrie mit den normalen Winkelfunktionen \sin , \cos , \tan

Zum Verstehen des Lösungs- und Rechnungsweges sind weiter oben die normalen, korrekten geometrischen Überlegungen dargestellt worden. So liess sich der Verograph aber nicht realisieren – das erkennt man aus den elektrischen Widerständen, die teilweise viel zu klein oder viel zu gross würden. In den folgenden Tabellen sind Grobbereich und Feinbereich der Winkel dargestellt. Der Grobbereich hat ähnlich viele Teilschritte (ca. 100) wie im Verographen realisiert, aber der Feinbereich müsste feiner aufgeteilt werden als hier dargestellt: 100 Schritte pro Grob-Stufe.

Der genaue Rechenbereich des Theodolit-Winkels geht gemäss Ref. 1 von -75° bis zu $+75^\circ$. Es ist nicht klar, ob die beidseits zusammen 150° in 100 Schritte aufgeteilt worden sind, oder ob es gelungen ist, die beiden symmetrischen Hälften ineinander überzuführen, so dass 75° in 100 Stufen geteilt werden, oder ob beidseits bis 90° weitergerechnet worden ist, trotz reduzierter Genauigkeit. Es gibt also mehrere Möglichkeiten, die Winkel in 100 Stufen einzuteilen.

Gerechnet werden die folgenden Widerstands-Tabellen mit einem willkürlich angenommenen Gesamtwiderstand des Kreuzgliedes von 1000 Ohm. **Angegeben wird der Wert des grossen und des kleinen Widerstandes (je zweimal vorhanden in einem Kreuzglied) und die Differenzen zum vorhergehenden Widerstand. Eingelötet werden in einer langen Kette jeweils die Differenzen.**

Resultat: Die elektrischen Widerstände besonders im Feinbereich können nicht so klein und erst noch präzise gefertigt werden – das ist unmöglich zu realisieren!

Grobbereich: 0° bis 90° (nutzbar 75°). Tabelle ähnlich fein abgestuft wie im Verographen.

Winkel In Grad	cos	R klein In Ohm	Diff In Ohm	R gross In Ohm	Diff In Ohm
2	0.9994	0.30		3'282'139.70	
4	0.9976	1.22	0.91	820'035.00	2'462'104.70
6	0.9945	2.75	1.53	364'089.78	455'945.22
8	0.9903	4.89	2.14	204'509.06	159'580.72
10	0.9848	7.65	2.76	130'646.10	73'862.96
12	0.9781	11.05	3.39	90'523.13	40'122.96
14	0.9703	15.08	4.03	66'330.38	24'192.75
16	0.9613	19.75	4.68	50'628.49	15'701.89
18	0.9511	25.09	5.33	39'863.46	10'765.03
20	0.9397	31.09	6.01	32'163.44	7'700.02
22	0.9272	37.78	6.69	26'466.44	5'697.00
....
38	0.7880	118.56	12.99	8'434.44	1'037.70
40	0.7660	132.47	13.91	7'548.63	885.81
42	0.7431	147.35	14.88	6'786.49	762.14
44	0.7193	163.24	15.89	6'126.05	660.43
....
56	0.5592	282.71	23.10	3'537.13	314.71
58	0.5299	307.26	24.54	3'254.59	282.54
60	0.5000	333.33	26.07	3'000.00	254.59
62	0.4695	361.03	27.70	2'769.83	230.17
....
74	0.2756	567.84	39.98	1'761.05	133.38
76	0.2419	610.41	42.56	1'638.25	122.80
78	0.2079	655.75	45.34	1'524.97	113.28
80	0.1736	704.09	48.34	1'420.28	104.69
82	0.1392	755.66	51.57	1'323.35	96.93
84	0.1045	810.73	55.07	1'233.46	89.89
86	0.0698	869.58	58.86	1'149.97	83.49
88	0.0349	932.55	62.97	1'072.32	77.65
90	0.0000	1000.00	67.45	1'000.00	72.32

Feinbereich: 0° bis 2°. Sowohl cos- wie sin-Anteile werden benötigt (Additionstheorem). Im Verographen sind die Fein-Stufen feiner als hier dargestellt: ist eine Grobstufe 1.5° (150° zu 100 Stufen), so wäre eine Feinstufe 0.015° oder **dreimal feiner** als in der Tabelle unten. Die Differenzen der R-Werte kommen damit in den Bereich von unter einem Milli-Ohm – das wird praktisch nicht mehr zu realisieren sein. Die Giga-Ohm tönen auch nicht gerade verlockend... Kleine und grosse Widerstände müssen ja nicht nur hergestellt werden, sondern überdies in genügend genauen Werten.

Grad	Cos	R klein cos	R gross cos	Sin	R klein sin	R gross sin
0.05	1.000000	0.000190	5'252'489'493.28	0.000873	998.256	1001.747
0.10	0.999998	0.000762	1'313'121'873.33	0.001745	996.515	1003.497
0.15	0.999997	0.001713	583'609'351.12	0.002618	994.778	1005.250
0.20	0.999994	0.003046	328'279'968.34	0.003491	993.043	1007.006
0.25	0.999990	0.004760	210'098'939.73	0.004363	991.311	1008.765
0.30	0.999986	0.006854	145'901'837.78	0.005236	989.583	1010.527
0.35	0.999981	0.009329	107'193'010.07	0.006109	987.857	1012.292
0.40	0.999976	0.012185	82'069'492.08	0.006981	986.134	1014.061

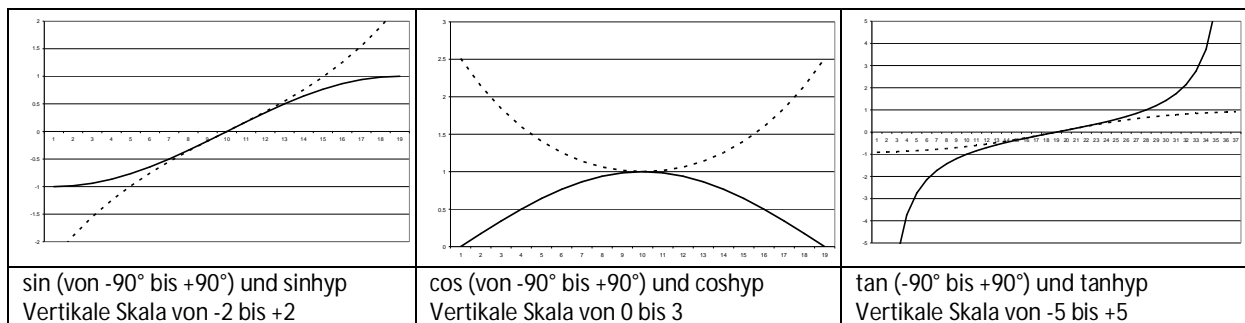
0.45	0.999969	0.015421	64'844'890.87	0.007854	984.415	1015.832
0.50	0.999962	0.019039	52'524'234.93	0.008727	982.698	1017.607
0.55	0.999954	0.023037	43'408'342.92	0.009599	980.984	1019.384
0.60	0.999945	0.027416	36'474'959.45	0.010472	979.273	1021.165
....
....
1.50	0.999657	0.171367	5'835'433.52	0.026177	948.982	1053.761
1.55	0.999634	0.182983	5'464'983.88	0.027049	947.326	1055.603
1.60	0.999610	0.194980	5'128'718.27	0.027922	945.674	1057.447
1.65	0.999585	0.207359	4'822'556.63	0.028794	944.024	1059.295
1.70	0.999560	0.220118	4'543'009.96	0.029666	942.377	1061.146
1.75	0.999534	0.233259	4'287'080.42	0.030539	940.733	1063.001
1.80	0.999507	0.246781	4'052'180.70	0.031411	939.092	1064.859
1.85	0.999479	0.260684	3'836'068.31	0.032283	937.453	1066.720
1.90	0.999450	0.274968	3'636'791.91	0.033155	935.818	1068.584
1.95	0.999421	0.289633	3'452'647.07	0.034027	934.185	1070.452
2.00	0.999391	0.304679	3'282'139.70	0.034899	932.555	1072.323

b) Lösung mit verzerrten Winkeln und hyperbolischen Funktionen

Der Verograph rechnet nicht mit dem richtigen Winkel des Fernrohres, sondern mit einer **verzerrten Hilfsvariablen u**, welche den Drehungen des Handrades beim Verfolgen des Flugzeuges entspricht. In der Nähe von 0° braucht es weniger Umdrehungen am Handrad pro Grad am Fernrohr, bei grossem Winkel dagegen mehr. Die Umwandlung von u zum Winkel γ am Fernrohr erfolgt rein mechanisch, mit einer präzisen Schablonen-Kurve (vgl. p. 6). Die Schablone erreicht, dass dy/du proportional zu $\cos \gamma$ verläuft: bei konstanter Drehung des Handrades am Theodoliten, verdreht sich das Fernrohr bei $\gamma = 0^\circ$ stark, dann immer weniger, bis es sich bei $\gamma = 90^\circ$ gar nicht mehr bewegen würde. Ziel des Zusammenhanges zwischen u (Handrad) und γ (Fernrohr-Winkel) ist:

$$\sin \gamma = \operatorname{tanhyp} u \quad \text{oder} \quad \tan \gamma = \operatorname{sinhyp} u$$

Infolge dieser Transformation muss die trigonometrische Gleichung, welche der Verograph löst (vgl. p. 6), sehr verändert werden, es kommen hyperbolische Funktionen ins Spiel. Es folgt der Vergleich der normalen trigonometrischen Kurven $\sin/\cos/\tan$ (durchgezogene Linien) mit den hyperbolischen Funktionen (gestrichelt):



Die hyperbolischen Funktionen sehen wesentlich anders aus als die trigonometrischen. Wie die drei Fakten...

- Verzerrung der Handrad-Umdrehungen u gegenüber dem gemessenen Winkel (Fernrohr zum Flugzeug)
- statt der trigonometrischen Funktionen sind die hyperbolischen Funktionen zu verwenden,
- die generelle Gleichung, die zu lösen ist (ursprünglich der Sinussatz), verändert sich markant bei den Hyp-Funktionen,

... genau miteinander zusammenhängen und zu verstehen sind, bleibt dem Verfasser eher nebulös. Alles ist treu und ziemlich unverstanden aus Ref. 1 übernommen worden.

Neue Gleichung, welcher der Verograph zu lösen hat ($u_1, u_2 = \text{Handrad-Drehwinkel}$ der beiden Theodoliten; über das Kabel übertragen vom ferneren Theodoliten wird der Werte für $\text{sinhyp } u_2$):

$$\frac{b}{r_1} = (\text{sinhyp } u_2 - \text{sinhyp } u_1) \frac{1}{\text{coshyp } u_1}$$

b Messbasis
r₁ gesuchte Distanz

Verograph: Die beiden Theodolite realisieren durch die Widerstandsnetzwerke den sinhyp aus den Drehwinkeln der beiden Handräder beim Verfolgen des Flugzeuges. Allerdings: **Sinhyp kann in gewissen Bereichen grösser als eins werden** – das ist mit reinen Widerstandsgliedern aber nicht zu machen. Man kann mit Widerständen nur abschwächen, nie verstärken. **Hier braucht es eine Elektronenröhre.** Etwa so könnte man es sich *vorstellen* – nichts darüber gefunden:

- > Vorgängiges Berechnen der sinhyp -Werte im ganzen Messbereich (ergibt z.B. Werte im Bereich von 0 bis 3.42, das entspricht den Fernrohr-Winkeln von 0° bis 74°, bis ca. zur Bereichs-Grenze oder Genauigkeitsgrenze von 75°).
- > Dividieren auf dem Papier aller dieser Werte durch einen konstanten Faktor, hier z.B. 3.8 angenommen, das ergibt einen neuen, reduzierten Wertebereich von 0 bis 0.9.
- > Rechnen der benötigten Widerstände im Kreuzglied für den Bereich 0 ... 0.9, einlöten der Widerstands-Differenzen.
- > Am Ende werden die erhaltenen Spannungen hinter der Grob-Fein-Widerstandskette mit einer Elektronenröhre wieder um den Faktor 3.8 verstärkt. **Das ist eine anspruchsvollere Aufgabe für eine Röhre**, als die digitale Darstellung von Zahlen in Flip-Flops, wie in den späteren Elektronenrechnern ENIAC (1946), ERMETH (1956). Eine falsche Verstärkung wirkt sich direkt auf das Resultat aus. Im **Stereomat** sind Röhren-Testkreise vorhanden, mit denen dank eingebauter Test-Widerstandsnetzwerke die Röhrenverstärkung gemessen und berichtigt werden kann. Das wird beim **Verograph** auch so sein.

>>> **Wird der konstante Faktor** (hier z.B. 3.8) **etwas grösser als nötig gemacht, so vermeidet man Übertragungsfaktoren in der Nähe von eins, wodurch die unpraktischen sehr grossen und sehr kleinen Teilwiderstände entfallen.** <<<

Der Eingangswiderstand der Verstärkerstufe mit der Elektronenröhre muss auch wieder dem Widerstand aller Stufen entsprechen, vielleicht auch ihr Ausgangswiderstand.

Tabelle der Widerstände für Sinhyp (Grobereich):

Voraussetzungen:

- > 50 Intervalle für ca. 75 Grad: u (Umdrehungen Handrad) steigt linear an, der Winkel nicht ganz
- > Die Winkel des Fernrohres werden der Klarheit halber in der ersten Spalte gezeigt, berechnet aus Tanhyp (Spalte 4), sie werden aber nirgends benutzt.
- > Sinhyp ist um den Faktor 3.8 reduziert worden, damit kein Übertragungsfaktor eines Kreuzgliedes je grösser als 1 wird. Dieser Reduktionsfaktor muss später mit Hilfe einer Radioröhre kompensiert werden.

Grad	Nr.	u	Tanhyp(u)	Sinhyp(u)	Sinhyp reduziert	R klein	R klein Differenz	R gross	R gross Differenz
Fernr.	Interv.	Drehrad			Faktor 3.8	Fallend		Steigend	
4	1	2	3	5	6				
0.0	0	0	0	0	0.000	1000		1000	
2.3	1	0.04	0.04	0.04	0.011	979.16	20.84	1021.28	21.28
4.6	2	0.08	0.08	0.08	0.021	958.72	20.44	1043.06	21.78
6.9	3	0.12	0.12	0.12	0.032	938.63	20.09	1065.38	22.32
9.1	4	0.16	0.16	0.16	0.042	918.86	19.77	1088.30	22.93
11.4	5	0.20	0.20	0.20	0.053	899.37	19.50	1111.89	23.59

13.6	6	0.24	0.24	0.24	0.064	880.11	19.25	1136.22	24.32
15.8	7	0.28	0.27	0.28	0.075	861.07	19.04	1161.35	25.13
...		
32.5	15	0.60	0.54	0.64	0.168	713.00	18.31	1402.52	35.12
34.4	16	0.64	0.56	0.68	0.180	694.69	18.31	1439.49	36.97
36.3	17	0.68	0.59	0.73	0.193	676.36	18.33	1478.50	39.01
38.1	18	0.72	0.62	0.78	0.206	658.00	18.36	1519.76	41.26
39.9	19	0.76	0.64	0.84	0.220	639.59	18.41	1563.50	43.74
41.6	20	0.80	0.66	0.89	0.234	621.12	18.47	1609.99	46.48
43.3	21	0.84	0.69	0.94	0.248	602.59	18.54	1659.51	49.52
44.9	22	0.88	0.71	1.00	0.263	583.97	18.61	1712.40	52.90
...		
67.2	40	1.60	0.92	2.38	0.625	230.66	20.51	4335.46	354.00
68.0	41	1.64	0.93	2.48	0.653	210.08	20.58	4760.17	424.71
68.9	42	1.68	0.93	2.59	0.681	189.43	20.64	5278.87	518.70
69.7	43	1.72	0.94	2.70	0.711	168.74	20.69	5926.29	647.42
70.5	44	1.76	0.94	2.82	0.742	148.00	20.74	6756.66	830.37
71.2	45	1.80	0.95	2.94	0.774	127.23	20.77	7859.61	1102.95
72.0	46	1.84	0.95	3.07	0.808	106.44	20.79	9394.73	1535.12
72.6	47	1.88	0.95	3.20	0.842	85.64	20.80	11676.33	2281.60
73.3	48	1.92	0.96	3.34	0.878	64.85	20.80	15420.92	3744.59
74.0	49	1.96	0.96	3.48	0.916	44.07	20.78	22693.31	7272.39
74.6	50	2.00	0.96	3.63	0.954	23.31	20.75	42895.22	20201.91

Die benötigten Widerstände liegen beim System mit den hyperbolischen Funktionen viel, viel besser, die Widerstands-Differenzen (= einzulötende Widerstände) sind traumhaft schön! So lässt es sich ohne weiteres realisieren. Leider gilt das nicht für den Feinbereich! Hier hat es immer noch viel zu kleine Werte ... irgendwelche Näherungen waren wohl nicht zu vermeiden.

Die Idee „Division mit einem konstanten Faktor von Hand, spätere Verstärkung um denselben Faktor mit Hilfe einer Röhre“ gilt wohl eher für den Stereomaten, denn beim Verographen könnte die ganze Gleichung durch einen konstanten Faktor dividiert werden. Aber wozu sind denn alle die Röhren ?

Röhrentypen Verograph: siehe p. 16

Abschliessend soll gezeigt werden, wie der Ausdruck „ $1/\cosh p u_1$ “ mit Grob- und Feinbereich in den Widerstandsnetzwerken erzeugt worden ist (aus Ref. 1). **Das zu verstehen, bleibt anspruchsvoll!** Was die Grössen p (ev. ρ) und s (ev. σ) genau darstellen, ist nicht klar. In Ref. 4 werden die Grössen bei derselben Darstellung gar nicht erwähnt, in Ref. 1 steht Schwerverständliches.

Abb. 17. Grob-Fein-Kette für $\frac{1}{\cosh(u+h)}$

„Ein spezieller Achtpol“ (fest, d.h. ohne variable Widerstände) verkoppelt die Signale unten durch und oben durch. Die Koppelung zwischen den beiden Eingang-Signalen links (1,2) ist null, ebenfalls zwischen den beiden Signalen rechts (3,4). Jeder Signalweg hat zwei Drähte, deshalb Achtpol.

Frakturschrift bedeutet hyperbolische Funktionen.

Man beachte, dass der Übertragungsfaktor jedes Kreuzgliedens mit demselben Wert für beide Richtungen gilt.

Die Bedeutungen von Sigma und p sind nicht verstanden. Es wird keine Röhre benötigt.

Die früher aufgestellte Vermutung, dass eine Division als Multiplikation mit den zuvor berechneten Kehrwerten ausgeführt wird, stimmt also nicht immer – es ist hier deutlich komplizierter.

Hier zum Abschluss das eindrückliche mathematische Programm des Stereomaten:

Der Stereomat gründet auf derselben Rechentechnik wie der Verograph, wurde aber noch etwas früher realisiert.

Seine Aufgabe: Wie weit auseinander liegen der Sprengpunkt der Granate und das Flugzeug, im Moment des Aufblitzens? Die räumlich kürzeste Entfernung zwischen Geschoss und Flugzeug könnte allenfalls auch geringer sein, z.B. falls die Zündzeit zu gross oder zu klein gewählt wurde.

Die benötigten Winkel werden aus Bildern der zwei Kino-Theodoliten herausgelesen (zuerst Fotofilme mit benötigter chemischer Entwicklung, später gestanzte oder bedruckte Streifen). Die Foto-Aufnahme wird durch eine Fotozelle ausgelöst.

Der Stereomat rechnet direkt, d.h. ohne Grob-Fein-Kaskaden. Näheres siehe in der Arbeit zum Oionoskop: Ref. 6.

$$J_x = \frac{b' \left\{ \left[\sin \alpha_2 \cdot \cos(\alpha_2 - \alpha_1) \cdot \Delta \alpha_{1B} - \sin \alpha_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \cdot \Delta \alpha_{2B} \right] \cdot \cos(\alpha_1 - \delta) - \left[\sin \alpha_2 \cdot \sin(\alpha_2 - \alpha_1) \cdot \Delta \alpha_{1B} \right] \cdot \sin(\alpha_1 - \delta) \right\}}{\cos \varphi_1 \cdot \sin^2(\alpha_2 - \alpha_1)}$$

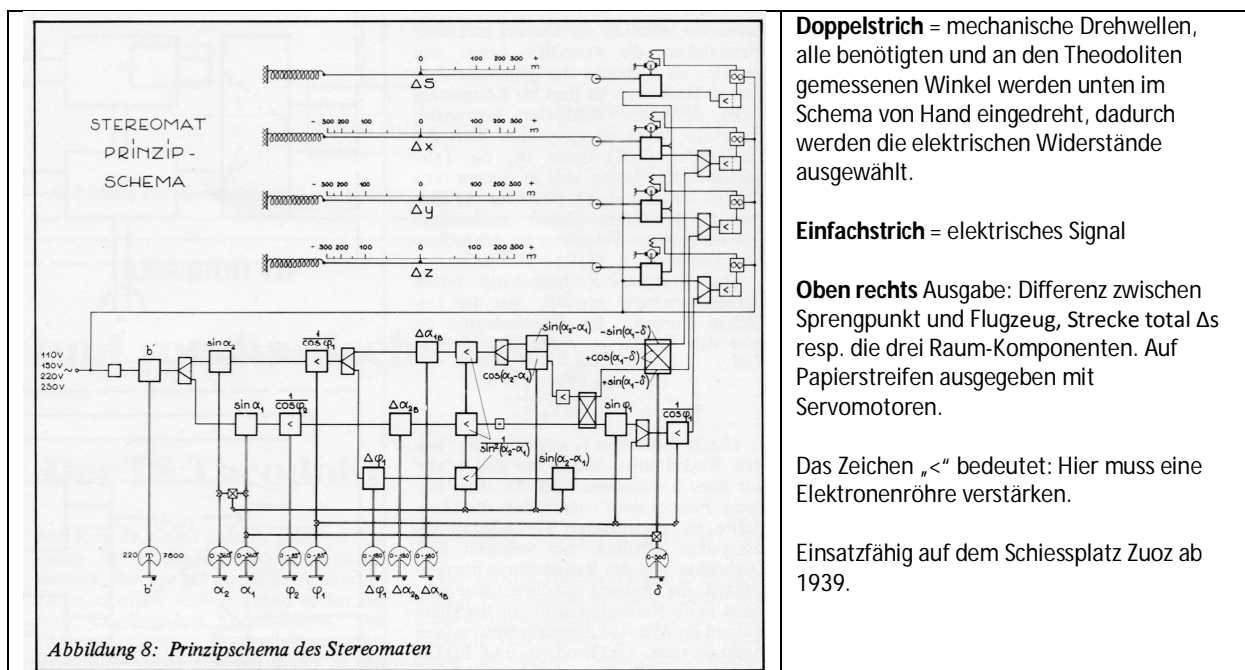
$$J_y = \frac{b' \left\{ \left[\sin \alpha_2 \cdot \cos(\alpha_2 - \alpha_1) \cdot \Delta \alpha_{1B} - \sin \alpha_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \cdot \Delta \alpha_{2B} \right] \cdot \sin(\alpha_1 - \delta) + \left[\sin \alpha_2 \cdot \sin(\alpha_2 - \alpha_1) \cdot \Delta \alpha_{1B} \right] \cdot \cos(\alpha_1 - \delta) \right\}}{\cos \varphi_1 \cdot \sin^2(\alpha_2 - \alpha_1)}$$

$$J_z = \frac{b' \left\{ \left[\sin \alpha_2 \cdot \cos(\alpha_2 - \alpha_1) \cdot \Delta \alpha_{1B} - \sin \alpha_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \cdot \Delta \alpha_{2B} \right] \cdot \sin \varphi_1 + \sin \alpha_2 \cdot \sin(\alpha_2 - \alpha_1) \cdot \Delta \varphi_1 \right\}}{\cos^2 \varphi_1 \cdot \sin^2(\alpha_2 - \alpha_1)}$$

$$J_s = \sqrt{J_x^2 + J_y^2 + J_z^2}$$

Abbildung 6: Topographische Transformationsformeln für den Stereomaten

Division durch cos oder durch cos² oder durch sin² benötigt jedenfalls eine Röhre mit entsprechender Verstärkung!



Literaturstellen:

1. F. Fischer: Ueber elektrische Rechengeräte hoher Genauigkeit, unter spezieller Berücksichtigung eines neuen Entfernungsmessers für die Flabatterie (Verograph). Schweizer Archiv für angewandte Wissenschaft und Technik, 8. Jhg., Nr. 1, Feb. 1942, p.1-15.
2. F. Fischer: Ein neuartiges Rechengerät und einige Zusatzapparaturen. Schweizer Archiv für angewandte Wissenschaft und Technik, 5. Jhg., Nr. 3, März 1939, p.74-84. Beschrieben wird der Stereomat.
3. F. Fischer: Beitrag zur Theorie des 2n-Poles, der als n-Klemmenpaar betrieben wird. Schweizer Archiv für angewandte Wissenschaft und Technik, 4. Jhg., Nr. 2, Feb. 1938, p.29-42. Sehr mathematisch und theoretisch formuliert!
4. Dr. H. Brändli, Dr. M. Lattmann: „Die ersten zehn Jahre der Contraves AG“, Firmenzeitschrift, April 1977.
5. 40 Jahre Contraves, Sondernummer Contact (Hausmitteilungen der Contraves AG, Zürich), 6/1976
6. A. Masson: Oionoskop mit Stereomat und Verograph, Juli 2016. Unter www.wrd.ch oder www.big.admin.ch
7. K.H. Grossmann: Der Stereomat, ein Rechengerät für die Fliegerabwehr. Schweizerische Bauzeitung, Band 113/114, Heft 15, 1939, p.178-181. Recht mathematisch formuliert. Per retro.seals.ch abzurufen. Man findet etwas über den vollständigen Addierer (vgl. oben p. 12). Recht mathematisch formuliert.
8. W.Peres: 25 Jahre Flak. Wehrtechnische Monatshefte, **44**, Juli 1940, Nr. 7, p. 156-161. (In der Guisan-Bibl. vorhanden) Hier werden **Rechner aus Deutschland** beschrieben, um mit einer langen Basis von 2-3 km die **Distanz zum Flugzeug möglichst genau zu bestimmen**. Zwei Lösungen dieser Aufgabe werden in den „Wehrtechnischen Monatsheften“ näher vorgestellt:

a) Ein Gerät von 1917 (!) löst im selben Koordinatensystem wie beim Verographen das Problem wie folgt: Der Sinus-Satz mit den Proportionen wird logarithmiert – dadurch wandeln sich die Produkte zu Summen, resp. die Quotienten zu Differenzen. Die zu lösende Gleichung lautet jetzt: (e = Entfernung, b = Basis, σ_1, σ_{II} gemessene Winkel zum Flugzeug in der „Dachebene“)

$$\log e = \log b + \log \sin \sigma_{II} - \log \sin (\sigma_{II} - \sigma_1)$$

Vorzeichen bei σ_1 : ev. „Richtung“ beim Theodoliten

Die zwei gemessenen Winkel zum Flugzeug verdrehen nach „fernelektrischer Übertragung“ zwei Walzen, in denen je eine präzise gerechnete Spiral-Rille eingefräst ist: Entfernung vom Walzen-Ende = $\log \sin$ (Drehwinkel). In der Rille wird dieser Wert abgetastet, die Werte von „ $\log \sin$ “ werden mechanisch addiert resp. subtrahiert. Eine von Hand gedrehte dritte Walze verschiebt eine Kurve unter dem maschinell gesteuerten Ablesepunkt und erlaubt es, aus dem $\log e$ wieder die Distanz herauszulesen. Beide folgenden Bilder stammen aus Ref. 8. Das Bild ist um 90° im Gegenuhrzeigersinn zu drehen, damit nebenstehender Text zutrifft:

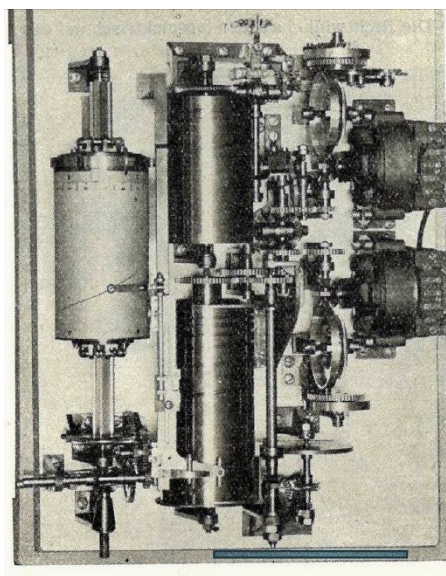
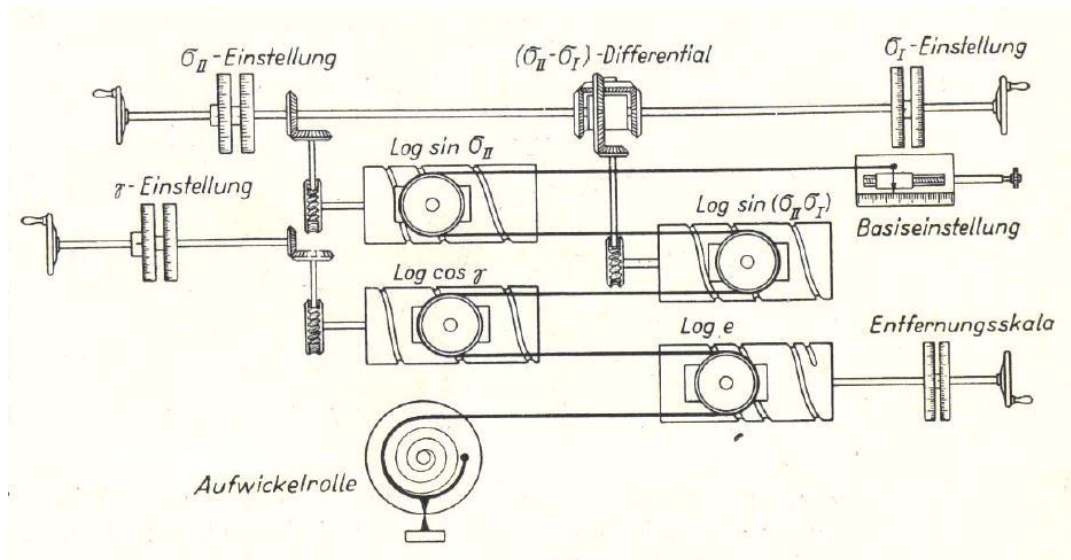


Fig. 6: Original-Veithen-Gerät wie es 1917 von den Askania-Werken (Carl Bamberg-Werk), Berlin-Friedenau, Kaiserallee 86—89 hergestellt wurde. Die Messung der Winkel geschah in der Dachebene; die Winkel wurden durch die am oberen Bildrand sichtbaren Empfängersysteme in das Gerät eingeführt. Durch Differential wurde der Spitzenwinkel gebildet und alsdann die beiden Kurvenwalzen entsprechend dem jeweils anliegenden Winkel verdreht. Im Vordergrund die Entfernungswalze mit der aufgetragenen Logarithmus e -Kurve und der Ablesemarke für die Entfernung am linken Rande der Trommel. Die $\log e$ -Walze wurde von Hand nachgeführt.

b) Ein „modernes Gerät“ (publiziert 1940) addiert resp. subtrahiert ebenfalls die logarithmischen Werte mit einem gespannten Band, das um verschiebbare Rollen geführt wird. Dieses Gerät ist jedoch in rechtwinkligen Koordinaten (Seite / Höhe) ausgeführt, weshalb zuerst das Dreieck in der Kartenebene bestimmt wird – anschliessend kommt im vertikalen Dreieck noch der gemessene Höhenwinkel $\log \cos \gamma$ dazu. Die Einstellungen der beiden Azimut-Winkel und des Höhenwinkels erfolgen von Hand mittels Folgezeigern. Von Hand wird die Entfernung so eingestellt, dass die Aufwickelrolle zur Marke zeigt. $\log e$ kann als Summe / Differenz der Rollen-Positionen betrachtet werden. Eine gewisse Eleganz ist dem Rechner nicht abzusprechen!



Die Geräte zur Distanzbestimmung mit einer langen Messbasis werden „Veithen-Geräte“ genannt (Eigenname, Lt. Der Reserve). In Deutschland heissen die Koordinaten des Gerätes von 1917 (und auch des Verographen) „Thetes-Koordinaten“ oder „Tetes“ (= Eigenname), in der Schweiz wurden sie mit „Thetis-Koordinaten“ bezeichnet; geometrische Darstellung der Situation siehe oben p. 3.

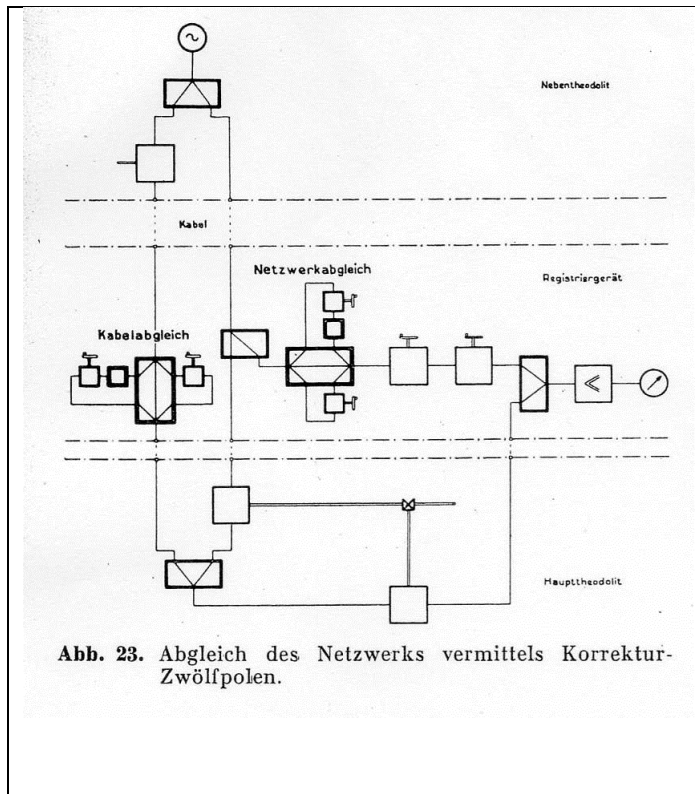
Nur drei Jahre vor diesem Rechner gab es noch gar keine Flak, sondern eine **BAK = Ballon-Abwehr-Kanone**.

Das Langbasis-Messverfahren wurde in Deutschland zwischen den Kriegen eingesetzt **zur Überwachung der Ausbildung der Entfernungsmesser**, genau wie später bei den Contraves-Geräten. Für den direkten Kampfeinsatz sei das Verfahren ungeeignet, und zwar aus drei Gründen:

- > Zu langsam bei Überraschungsangriffen
- > „Uneinheitlichkeit der Zielauffassung bei gleichzeitiger Anwesenheit mehrerer Flugzeuge im Bereich, insbesondere bei Auftreten von Rotten, Ketten, Staffeln oder noch grösseren Fliegerverbänden“
- > Unmöglichkeit des Einsatzes ohne zeitraubende Vermessung der Basisstrecke.

>> Bis hierher: Alles gemäss Ref. 8

Zu den besprochenen Lösungen aus Deutschland: Genauer abzuklären wären die **elektrischen Fehler, die im langen Kabel** zum entfernten Theodoliten entstehen, wenn normale Folgezeiger zur Winkel-Übertragung verwendet werden (Wechselspannung, drei 120°-Spulen stellen sich beim Empfänger gleich ein wie beim Sender). Prof. Fischer wollte eben dies vermeiden. Seinen eigenen Kabelabgleich beim Verographen richtig zu verstehen, ist anspruchsvoll. Verwendet wurden für den Abgleich der Kabel (ein langes mit zwei Aderpaaren, zwei kurze mit zusammen drei Signalen) zwei „Zwölfpole“. Damit lassen sich offenbar Phase und Spannung aller Verbindungen exakt einstellen.



Kabelabgleich beim Verographen:

Der Nebentheodolit (oben) ist mit einem langen Kabel (1 – 2 km) mit dem Registriergerät verbunden. Beide Aderpaare, gezeichnet je als Strich, sind separat geschirmt. Der Haupttheodolit (unten) steht gleich neben dem Registriergerät und ist mit zwei Kabeln und drei Signalwegen verbunden.

Auch der Kabelabgleich erfolgt mit Widerstands-Netzwerken. Je zwei verstellbare Vierpole (symbolische Handräder) gestatten es, im festen Zwölfpol zum Hauptsignal etwas zuzumischen, bis bei allen Signalwegen Phase und Betrag richtig sind. Womöglich sind bei den Korrekturmöglichkeiten auch Spulen und Kondensatoren beteiligt

Die Funktion der Zwölfpole (6 Ein- / Ausgänge) besteht gemäss der Schreibweise offenbar in einer Dreifach-Aufspaltung des Signals, mit anschliessender Dreifach-Summutation, wahrscheinlich mit Gewichtung 1 : 1 : 1.

Vgl. das Hauptschema mit besserer Beschriftung: Seite 13.

Bild aus Ref. 1.

Publikationen und militärische Geheimhaltung

Was darf man öffentlich publizieren, was die Kenntnis aktueller oder gar zukünftiger militärischer Geräte erleichtert? Und dies erst noch in Zeiten politischer Spannungen, oder direkt im Krieg?

Die zeitgenössischen Publikationen über die Flab-Rechner sind zwar spärlich, aber gelegentlich finden sich doch Stellen, in denen erstaunlich offen nicht nur über die Aufgaben, sondern auch über die Funktionsweise der Geräte gesprochen wird. Freihändige Vermutung: Die Geräte mussten ja verkauft werden – deshalb bestanden ohnehin Kontakte zu möglichen Abnehmern. Im Falle von Contraves bestanden zu Zeiten des zweiten Weltkrieges Geschäftsbeziehungen zur Deutschen Wehrmacht, zu Schweden und zu Italien, wahrscheinlich auch zu weiteren Ländern. Es ist möglich, dass die Geheimhaltung (die z.B. bei Hasler Bern überliefert gross war) etwas geteilt und nicht ganz durchgehend ausgeübt wurde. Auch von Hasler wird durch ein Bild dokumentiert: Das neu entwickelte Kommandogerät zu den 34mm-Geschützen wird 1938 in geöffnetem Zustand den Offizieren Deutschlands vorgeführt (Hermann Schild, Fliegerabwehr, p. 146, 1982).

Zu den **erstaunlich offenen Publikationen** würde ich zählen (Ref. 1-3: nachdem ich sie mehrere Jahre *nicht* verstanden habe, erscheinen sie jetzt doch relativ detailliert – für ein Land, das alles drangeben würde, so etwas zu produzieren):

Ref. 1-3	Stereomat und Verograph	Contraves, Zürich	1938-1942
Flugwehr und -Technik	Schall-Umrechnung im Horchgerät	Hasler, Bern	1944
Kommandogeräte	Steuerung der Geschütze	Kuhlenkamp, Heerswaffenamt D	1943
(Ob das Kuhlenkamp-Buch frei erhältlich war, ist nicht bekannt)		(mit Ausnahme des neuen KdoGt 40: Kein Wort davon!)	

Genauere Angaben dazu: siehe in den früheren Arbeiten.

Der Grad der militärische Geheimhaltung lässt sich auch aus den Einreichungs- / Publikationsdaten der erteilten Patente erahnen.

Biographie von Fritz Fischer, der wohl kreativste Kopf der frühen Contraves AG, gemäss der Adresse:
<https://www.deutsche-biographie.de/sfz16222.html>

1924 Doktorat an der ETH Elektroingenieur. Ab 1926 Zentral-Laboratorium Berlin Siemens & Halske, dort ab 1928 in der Leitung. Fernsteuerversuche für Zielschiff Zähringen sowie bei einer Ju-52. Nachlaufsteuerungen für Geschütze. Tonfilm-, Farbfilmarbeiten. Ab 1933 aus politischen Gründen zurück an die ETH, Professur und Aufbau des Institutes für technische Physik. Ab 1936 Arbeiten für Contraves, ab 1939 Arbeiten am Eidophor (TV-Projektion). Gestorben am 28.12.1947.

Dies ist die elfte **Arbeit** des Autors zu den **mechanischen Rechnern der Fliegerabwehr**. Frühere Themen waren:

Erste Arbeit:	Kommandogerät SPERRY	Herbst 2014
Zweite Arbeit:	Kommandogerät GAMMA-JUHASZ-HASLER	2014/15
Dritte Arbeit:	Diverse Geräte der Fliegerabwehr: Distanzbestimmungen, Kontroll- und Schulungsgeräte	
Vierte Arbeit:	Rechnen mit präzis geformten Stahlkörpern	März 2016
Fünfte Arbeit:	Kommandogerät zur 34mm Kanone (Winkelgeschwindigkeits-Gerät)	Mai 2016
Sechste Arbeit:	Frühe CONTRAVES-Geräte: Oionoskop mit Stereomat und Verograph	Juli 2016
Siebte Arbeit:	Horchortung: Elascop und Orthognom	Nov 2016
Achte Arbeit:	Kurvenflug-Rechner	Jan 2017
Neunte Arbeit:	Automatisierte Rechner für Geschossflugbahnen	Mai 2017
Zehnte Arbeit:	Auswanderungsmesser: Flugzeugvermessung im 1. Weltkrieg	Okt 2017

Daneben gab es noch vier kleinere Arbeiten:

AMP Burgdorf, historische Flab-Geräte parkiert (inkl. Stereomat und Verograph)
Werkstattgeräte von Gamma-Budapest (Fabrikation / Test der Tageskorrekturen am Gamma-Kommandogerät)
Versionen Gamma-Geräte Schweiz, Telemeter, „Nachlese“
Gebrauchsanweisung Stereomat, Vergleich der Ausgaben 1944/1946; Contraves-Geräte für Schweden.

Die grösseren Arbeiten können aufgerufen werden unter www.wrd.ch, dort unter Führungssysteme, dort unter Anfänge bis 1964, oder aber unter der Militär-Bibliothek am Guisanplatz, www.big.admin.ch (Suche nach dem Autor).

André Masson, CH-4900 Langenthal.

Dezember 2018