



Durch die Schweiz ab 1937 angeschafft und bei HASLER in Lizenz gebaut: Ungarisches Kommandogerät GAMMA-JUHASZ. Links die beiden Fernrohre zur Verfolgung des Fliegers.

## Mechanische Analog-Computer für schwere Flab-Kanonen

ca. 1930-1945

Technische Studien ab historischen Quellen  
André Masson, Langenthal



12 von 14 Mann bedienen den Flugbahn-Rechner: Deutsches Kommandogerät 36 mit aufgesetztem Telemeter. In der Bildmitte der runde „Flugrichtungstisch“.

**1935 kauft die Schweizer Armee den US-Rechner SPERRY zur Probe** – das war  
Sechs Jahre vor dem ersten funktionsfähigen Computer der Welt (Zuse Z3)

## Funktionsweise des mechanischen Analog-Rechners SPERRY (USA)

Grosse Schussdistanzen resp. lange Flugzeiten bei der schweren Fliegerabwehr erfordern zwingend eine rechnerische Unterstützung: Das optische Anvisieren des Flugzeuges liefert die Daten an den Rechner, welcher daraus denjenigen Punkt bestimmt, an dem sich Flugzeug und Geschosse treffen werden. An die Kanonen liefert der Rechner drei sich laufend verändernde Grössen: Seitenwinkel, Höhenwinkel und Tempierung (d.h. Dauer des Zeitzünders der Geschosse). In den Dreissigerjahren sind die Berechnungen in den meisten dieser „Kommandogeräte“ erst für Geradeausflüge möglich.

Die Schweiz beschaffte sich 1935 versuchsweise zwei Rechner der amerikanischen Firma SPERRY (Angaben B. Benz, Museum Dübendorf). Ein Gerät ist verschollen, das zweite steht heute im Flieger-Flab-Museum in Dübendorf. Die Erfahrungen mit diesem Gerät und den zugehörigen 7.5 cm-Kanonen VICKERS sind offenbar nicht zur Zufriedenheit verlaufen. Es wurden deshalb Versuche gemacht mit dem ungarischen Gerät GAMMA-JUHASZ, das in Stückzahlen gekauft, durch HASLER in Lizenz produziert und weiterentwickelt wurde. Ab 1944 (Modell 1943) wurden beim HASLER-Gerät neue Extrapolationen für Kurvenflüge eingebaut. Geschütze dazu: 7.5 cm-Kanonen SCHNEIDER-CREUSOT

Bilder des erhaltenen SPERRY-Gerätes im Flieger-Flab-Museum Dübendorf:



Schriftliche Unterlagen (Dokumentation, Betriebsanweisungen) zum SPERRY-Gerät haben sich im Flieger-Flab-Museum leider keine erhalten. Hingegen finden sich im Buch „Flak-Kommandogeräte“ (Oberstingenieur **Alfred Kuhlenkamp**, 1943, VDI Verein Deutscher Ingenieure) (vgl. Ref. 1) ein Schema der Rechengetriebe und nähere Angaben zur mathematischen Arbeitsweise des mechanischen SPERRY-Rechners. Alfred Kuhlenkamp (1901-1973) arbeitete ab 1931 bis zum Kriegsende im Heereswaffenamt für die Entwicklung von Flak-Kommandogeräten und Flak-Visieren. Die Bilder in seinem Buch zeigen, dass der ihm bekannte SPERRY-Typ glücklicherweise fast identisch ist zum erhaltenen Exemplar im Flieger-Flab-Museum Dübendorf. Ein nachfolgender SPERRY-Typ (wird in Ref. 1, p.144 als „neuzeitlich“ genannt) sieht dagegen im Aufbau ganz anders aus, auch die Arbeits- und Rechenart ist stark umgebaut worden.

Im erwähnten Buch von A. Kuhlenkamp finden sich ebenfalls nähere Angaben zum deutschen Kommandogerät 36, jedoch keine Silbe zum bereits vorhandenen KdoGt 40 (bis 1942 sind davon schon 746 Stück produziert worden!). Erklärt wird auch das GB-Gerät VICKERS. Bloss summarische Angaben gibt es zum ungarischen Gerät GAMMA-JUHASZ, zum französischen AUFIERE und OPL, zum

tschechischen ŠKODA (welches die Russen als PUAZO kopiert haben) und zum holländischen HAZEMEYER. Das waren in der Regel im Krieg erbeutete und untersuchte Geräte. Die detailliert beschriebenen Geräte SPERRY, KdoGt 36 und VICKERS unterscheiden sich in der mathematischen Arbeitsweise und in der praktischen Konstruktion beträchtlich. Im Flieger-Flab-Museum Dübendorf hat es noch zahlreiche Unterlagen zum GAMMA-JUHASZ (spätere Produktion HASLER). Das deutsche Kommandogerät 40 wird im Aufbau und mitsamt Funktionsschema beschrieben in Ref. 3, p. 60-63

### Ein Menschenleben vor unserer Zeit sieht die Rechner-Architektur noch sehr anders aus als heute!

	<p><b>SPERRY-Rechner: Impression des Innenlebens</b></p> <p>Welches ist das optimale Betriebssystem? Wie viele Gigabytes, wie viele MHz? Diese Fragen stellten sich 1935 noch lange nicht.</p> <p>Man sieht lauter Zahnräder, Hebel, Übersetzungen, Getriebe, Federn und sogar einen Spannfaden.</p> <p>Speicher gibt es noch keinen. Für jede neue Aufgabe muss ein neuer Rechner gebaut werden.</p>
---	---

Zum Verständnis der Funktionsweise des mechanischen Rechnens ist es unerlässlich, vorerst das Prinzip des „**Folgezeigers**“ zu kennen:

### Bedienung des Rechners – fast durchwegs am Folgezeiger

Frühe Rechner benötigten bis zu 12 Mann, welche laufend aktuelle Werte einzustellen hatten (Kommando-Hilfsgerät 35, Kommandogerät 36). Später wurde der Personalbedarf reduziert. Alle Leute am Rechner mussten „ihre“ Variable (Distanz, Winkel etc.) laufend aktualisieren: per Handrad war ein rotierender Messzeiger so einzustellen, dass er stets in Übereinstimmung blieb mit einem vorgegebenen, durch die Maschine bewegten Zeiger. Die Folgezeiger hatten zuäusserst eine feste numerische Skala zur Ablesung des Wertes, dann einen mittleren, drehbaren Ring mit Marke, und ein inneres, drehbares Zentrum, ebenfalls mit Markierung. Von den beiden beweglichen Teilen (Ring / Zentrum) wird das Zentrum durch den Rechner vorgegeben, und das Bedienpersonal muss mit einem Handrad den Ring stets so einstellen, dass immer genau „Marke auf Marke“ liegt.

Anfänglich wundert man sich, wieso die Mannschaft mittels Handrädern immer wieder Variablen einzugeben hatte, welche das Gerät bereits kennt. **Es gibt keine andere Tätigkeit am SPERRY, als**

**stets „Marke auf Marke“ zu halten** – wenn man von den Fernrohren absieht, die das Flugzeug (in der Seite und in der Höhe) ja ebenfalls immer im Fadenkreuz halten müssen.



Flughöhe (rechts) und Lagewinkel (links) müssen am Rechner andauernd von Hand „nachgeführt“ werden. Rechts unten das Handrad zur manuellen Nachführung der Flughöhe, welche im Gerät bereits bekannt ist (Eingang vom Telemeter her).

Am Geschütz: Der Kanonier stellt die Höhe des Rohres ein, gemäss den Vorgaben des Rechners: Die Marke auf der zentralen Scheibe muss auf die Marke des mittleren Ringes zu liegen kommen. Links Grob-, rechts Feinbereich. Eingestellter Wert am Ring: 474 Promille

### Verständnis und Interpretation dieser „Nachführungen“:

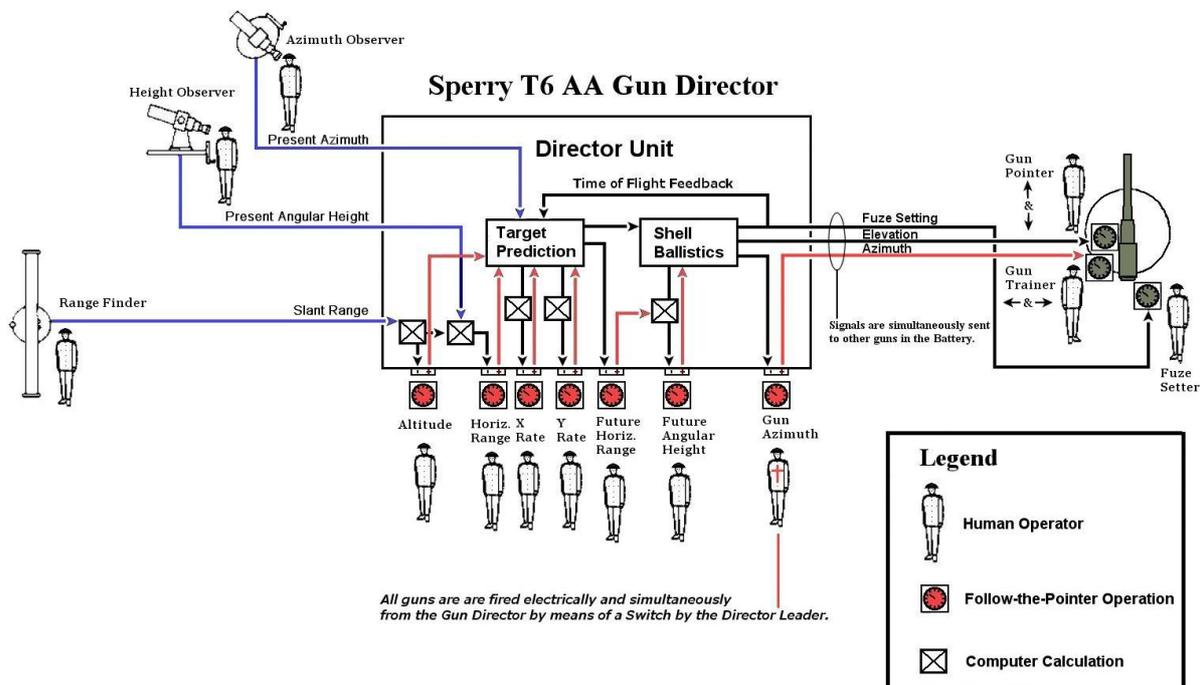
- Es ist eine einfache Tätigkeit, die womöglich auch unter Stress gelingt. Die benötigte Bewegung geht vom Auge direkt in die Hand, man braucht dabei nicht zu „denken“.
- Die einzelnen Variablen werden durch das Rechenwerk in zahlreichen, hintereinander liegenden mechanischen Getrieben verarbeitet. „Von Hand“ kann oder muss immer wieder **mechanische Kraft** in den Rechenprozess eingespeist werden. Die elektrische Synchron-Übertragung vom Telemeter zum Kommandogerät, und von letzterem zu den Geschützen liefert nur das Signal allein, aber nicht die nötige Kraft, um die nachfolgenden Prozesse wirklich durchzuführen. Genauigkeit, Schlupf (bei den Integratoren), Reibung und benötigte Kraft hängen miteinander zusammen.
- Wahrscheinlich ist der Mensch bei seiner „Nachführung“ in der Lage, allerlei **Schwingungen und Ruckelbewegungen** automatisch auszugleichen und zu glätten. Womöglich erlauben erst diese „leeren“, scheinbar unnötigen Handeingriffe eine genauere Rechnung (das liesse sich nur beurteilen, wenn man ein voll angeschlossenes und in Betrieb stehendes Gerät sähe).
- Wird an einem Handrad eine bestimmte Grösse „nachgeführt“, so ist es nicht immer so, dass die Bewegung des Handrades die dort bezeichnete Grösse verändert – per Nachführung mag auch eine ganz andere, bisher unbekannte Grösse im richtigen Wert **gefunden** werden. So kann zwischen Handrad und Nachfolgezeiger eine **mathematische Operation** eingebaut sein: der (unbekannte) Eingang ist dann richtig, wenn der (bekannte) Ausgang korrekt eingestellt ist. Der Operator kann durch die Nachführung des Folgezeigers also **eine bisher unbekannte Grösse richtig finden**. Beispiel beim Sperry-Rechner (siehe in der nachfolgenden Beschreibung): Auffinden der unbekannteren Kartendistanz zum Flugzeug durch korrekte Nachführung des bereits bekannten Lagewinkels (Vertikalkwinkel zum Flugzeug). Der Mann hat das Gefühl, er führe den Lagewinkel nach, aber in Tat und Wahrheit schraubt er an der Kartendistanz herum. Der Rechner sorgt rein mechanisch dafür, dass die Gleichung  $[\tan \Gamma = \text{Höhe} / \text{Horizontaldistanz}]$  jederzeit stimmt, und der Operator muss durch manuelles Verändern der Horizontaldistanz ein solches Gamma erhalten, das mit dem optisch gemessenen Wert im Zielfernrohr übereinstimmt – jetzt entsprechen alle drei Variablen dem gegenwärtigen Zustand. Natürlich müssen sämtliche Grössen laufend dem Flug nachgeführt werden.

In späteren Jahren ist die „Nachführung“ immer mehr durch **elektrische Lösungen** automatisiert worden, was Bedienungspersonal einspart. Beim hier besprochenen SPERRY-Typ wird nur eine

einzigste Grösse (in zwei Komponenten) automatisch nachgeführt. Die elektrische Nachführung scheint heikel zu sein, weil es Schwingungen geben kann, weil die Nachführung genau und dennoch schnell sein sollte, und weil (gemäss Ref. 1, p. 116) im stromlosen Zustand durch Hand-Manipulationen die empfindlichen elektrischen Kontakte (mit Abständen von Zehntels-Millimetern) nicht verdorben werden dürfen. Der SPERRY-Rechner hat allerdings eine ganz andere Nachführung, es sind keine Zehntels-Millimeter-Kontakte vorhanden, wie in den Schemas von Ref. 1, p. 113-115 gezeichnet.

Bei einem der SPERRY-Vorgänger-Typen T6 (das CH-Gerät ist vielleicht T8, unsicher) haben allein am Rechner sieben Mann je einen Folgezeiger bedient (engl.: **follow the pointer**) und per Handrad eine Grösse eingestellt, die der Rechner bereits kennt. Dazu kamen drei Mann für Azimuth-, Höhen- und Distanzmessung, plus pro Geschütz drei Mann, welche Azimut, Richthöhe und Zünder einstellen – **alles mit Folgezeigern** (Illustration ab Internet gefunden). Deutlich sieht man hier die interne Rückkoppelung der Geschoss-Flugzeit: **Der Treffpunkt wird erst gefunden, wenn die Flugzeit der Geschosse bekannt ist – und um die Flugzeit zu finden, benötigt man den Treffpunkt.**

<http://web.mit.edu/STS.035/www/PDFs/sperry.pdf>



## Funktionsbeschreibung des SPERRY-Gerätes (ev. T8, durch die schweizerische Armee Versuchsweise angeschafft 1935):

Jeder „Strich“ im folgenden Schema bedeutet eine **sich drehende Welle**, welche einer Variablen entspricht. Die Variable kann durch den Drehwinkel der Welle oder durch ihre Umdrehungsgeschwindigkeit dargestellt werden. An beiden Enden sind oft Zahnräder, um die Information um die Ecken herum an die nächsten Stufen zu übertragen.

**Rechtwinklige Koordinaten** (Ost/West, Nord/Süd, Höhe) werden in **Grün** markiert

**Polare Koordinaten** (Winkel, Distanz) werden in **Rot** markiert

**Zeiten** werden in **Blau** markiert.

Ein kleines **Quadrat mit Diagonal-Kreuz** bedeutet **Addition** der zugeführten Grössen.

**Abkürzungen:** HR für Handrad FZ für Folgezeiger

Variablen mit tiefgestelltem M bedeuten im Schema stets „... für den Messpunkt“, für das Flugzeug.  
Variablen mit tiefgestelltem T bedeuten im Schema stets „... für den Treffpunkt“, vor dem Flugzeug.  
Das Funktions-Schema des SPERRY-Rechners stammt aus Ref. 1, p. 139.

**A) In / Out - Die Anschlüsse des Rechners an die Umgebung**

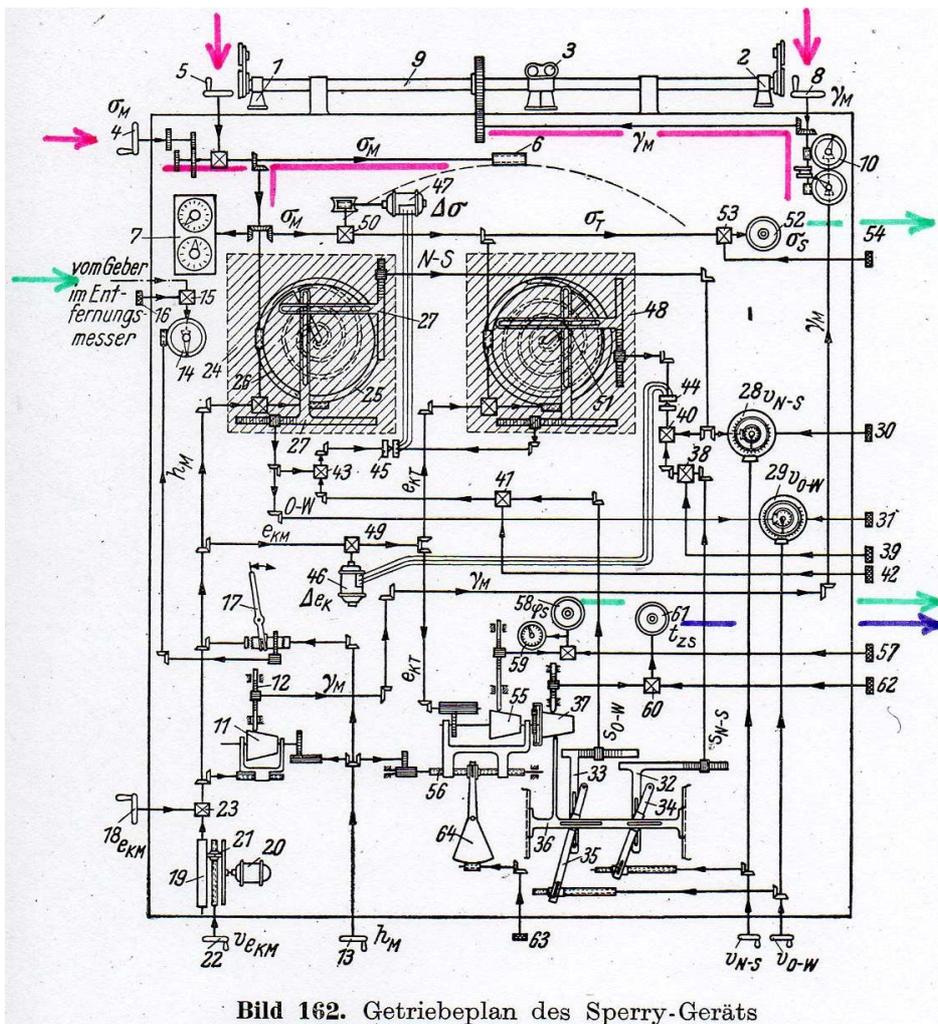


Bild 162. Getriebeplan des Sperry-Geräts

**Eingabe von Daten:**

HR 4 (fein, zwei Geschwindigkeiten) und 5 (grob): Einstellung des **Seitenwinkels**, das ganze (schwere!) Gerät wird über die Schnecke 6 seitlich zum Flugzeug gedreht, dann der Flugzeugbewegung fein nachgerichtet. Der Beobachter steht am **Fernrohr 1** und folgt dem Ziel in der Seite, d.h. im Azimut. Die Blickrichtung ins Fernrohr ist stets horizontal, auch bei hoch stehendem Flugzeug.

HR 8: Einstellung des **Höhenwinkels**. Der Beobachter steht am **Fernrohr 2** und folgt dem Flugzeug der Höhe nach. Die Bewegung des HR 8 wird einerseits zur Anzeige FZ 10 gebracht (grob und fein), andererseits wird gleichzeitig mit dem Handrad die Welle 9 in der Höhe gedreht, auf der alle drei Fernrohre sitzen. Fernrohr 3 in der Mitte dient dem Schiessleitenden zur Beobachtung der Schüsse; er wird gegebenenfalls Hand-Korrekturen veranlassen.

Das **Telemeter** ist ein stereoskopischer optischer Entfernungsmesser. In der Schweiz waren Röhren mit 3 Metern Basislänge üblich, in Deutschland auch grösser bis 4m und 6m, ja selbst 8m und 12m wurden bei Zeiss produziert. Beim SPERRY wird erstaunlicherweise nicht die Distanz, sondern die **Flughöhe** dem Rechner übermittelt und am FZ 14 gross zur Anzeige gebracht. Das Telemeter verfügt selber über Seitenwinkel, Höhenwinkel und Distanz, und kann deshalb die Höhe des Flugzeuges ohne weiteres ausrechnen (ab 1942, vorher Zurufen der Distanz). – In der Schweiz steht das Telemeter traditionell separat auf einem Stativ. In Deutschland und Frankreich waren die Telemeter fest mit dem Rechengerät verbunden - durch die langen Röhren wird der Rechner schwerer und sperriger gegen Drehungen, aber von schnellen Düsenflugzeugen war damals ja noch nicht die Rede.

Beim Gerät GAMMA-JUHASZ, beim britischen VICKERS, beim ŠKODA waren die Telemeter stets getrennt auf einem eigenen Stativ aufgebaut. Es gibt Fotos (siehe später, p.14), wonach auch in der Schweiz Versuche gemacht wurden, das aus dem GAMMA-JUHASZ folgende GAMMA-HASLER-Gerät direkt mit dem Telemeter zu kombinieren, und alles auf einen schweren Anhänger zu stellen. Bei der Truppe gab es nie derartige Ausführungen. Eine Direktmontage auf dem Rechner bedeutet, dass die gemessene Entfernung zum Flugzeug sowie eingestellte Winkel automatisch vom Rechner übernommen werden (es braucht keine Kabel mehr, weniger Bedienungspersonal).

### Ausgabe von Daten:

Vom Geber 52 her geht der **Seitenwinkel** zu den Geschützen, ab Geber 58 der **Höhenwinkel** mitsamt der nötigen ballistischen Rohrerhöhung, und ab Geber 61 die **Tempierung** (Zeitverzögerung für den Zünder des Geschosses). Technische Ausführung der Datenübertragung: siehe Bild unten, p.13.

Das Gerät hat zahlreiche Möglichkeiten zur manuellen **Nachverbesserung** der Schusslage. Sie werden hier nicht besprochen, da sie einerseits zum prinzipiellen Verständnis des mechanischen Rechenvorganges nicht wichtig sind, und zudem leicht verständlich (abgesehen von der Windkorrektur). In der Reihenfolge der Anordnung im Schema bedeuten die Hand-Korrekturen:

54 Seitenverbesserung	30 Wind N/S	31 Wind E/W
39 Parallaxe N/S	42 Parallaxe E/W	57 Höhenverbesserung Treffpunkt
62 Tempierungskorrektur	63 Parallaxe Höhe	16 Höhenkorrektur Flugzeug

Parallaxe: Das Rechengerät steht nicht mitten in den Geschützen, sondern wenige hundert Meter daneben, ev. auch höher oder tiefer. Die Korrekturmöglichkeit der Parallaxe in der Höhe wurde am Museums-Gerät in Dübendorf bisher nicht gefunden.

### **B) Ermittlung der Position des Flugzeuges:** Polare > Rechtwinklige Koordinaten N/S und E/W

Der unveränderte, ab Fernrohr ermittelte Seitenwinkel zum Flugzeug dreht über eine Schnecke die eine Scheibe mit dem Azimut-Schlitz des **Koordinaten-Wandlers** 25-27 (vgl. Bild, p. 11). Die darunterliegende Scheibe mit der eingravierten Distanz-Spirale wird über die Kartendistanz  $e_{km}$  (Projektion auf die Geländeebene) eingestellt, welche mit HR 18 und 22 gefunden wird. Beim Koordinatenwandler gibt die Spirale eine lineare Beziehung zwischen Kartendistanz (Drehwinkel der Scheibe) und Lokalabstand der eingravierten Rille zum Zentrum hin. Ein Zapfen, der durch alles hindurchgeht, zwingt die beiden Schieber der rechtwinkligen Koordinaten auf ihre korrekte Position, so dass die Koordinaten Ost/West und Nord/Süd abgelesen und weiterverwendet werden können. Die lineare Verschiebung

der beiden Arme 27 wird per Zahnstange und Zahnrad gleich wieder in eine Drehbewegung umgewandelt, die zu weiteren Getrieben geführt wird.

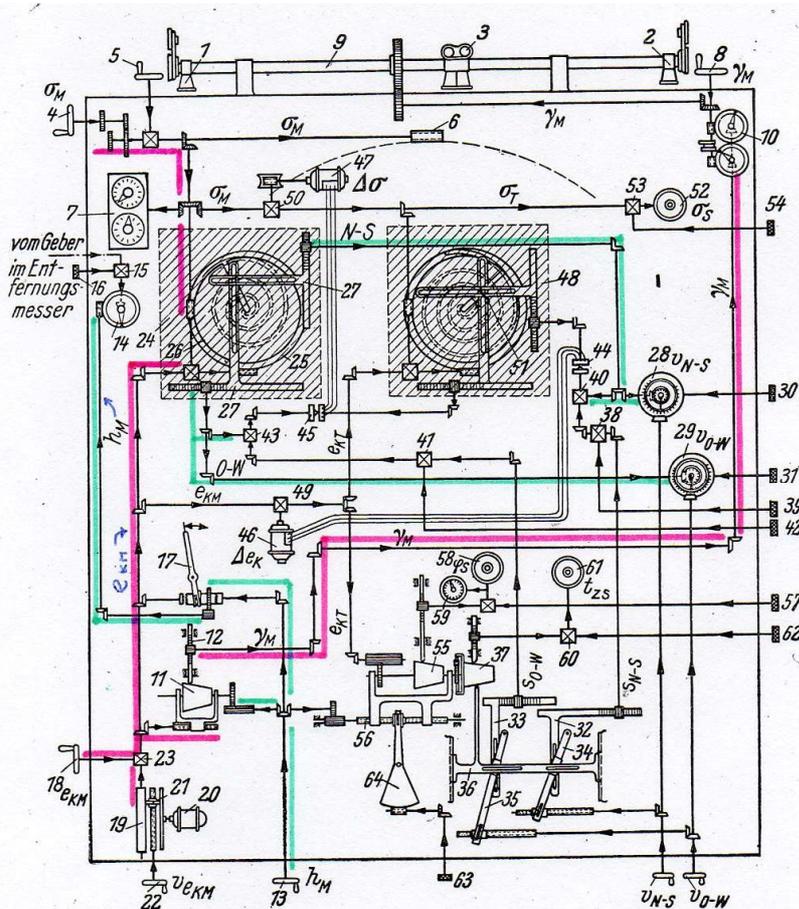


Bild 162. Getriebeplan des Sperry-Geräts

Zur Ermittlung der Kartendistanz wird eine raffinierte, abenteuerliche Lösung gewählt. Wenn  $\gamma_m$  (Gamma) der Lagewinkel zum Flugzeug ist, und  $e_{km}$  die Kartendistanz zum Flugzeug,  $h$  die Flughöhe, so gilt immer:  $\tan \gamma_m = h / e_{km}$ . Mit dieser Beziehung wird  $e_{km}$  ermittelt: Die Flughöhe  $h$  ist vom Telemeter her bekannt und wird mit dem HR 13 nochmals neu eingestellt (FZ 14). Hebel 17 ist eine Umschaltung zwischen Luft- und Seezielen (hier nicht besprochen). Die am HR 13 eingestellte Höhe  $h$  dreht dabei den **Formkörper** 11, welcher horizontal durch die (noch unbekannte) Kartendistanz  $e_{km}$  verschoben wird. Der Formkörper 11 löst jetzt die gesamte Gleichung  $\tan \gamma_m = h / e_{km}$  auf, so dass der Abtaststift 12 als Abstand von der Drehachse den Höhenwinkel  $\gamma_m$  ergibt (Formkörper: siehe Bilder unten, p. 12). Die Verschiebung des Abtaststiftes 12 wird mit Zahnstange/Zahnrad in eine Drehbewegung umgewandelt. Dier gefundene Höhenwinkel  $\gamma_m$  wird mit den beiden HR 18/22 im FZ 10 dem per Fernrohr gemessenen Höhenwinkel  $\gamma_m$  angepasst – und damit ist die Kartendistanz  $e_{km}$  korrekt gefunden worden! Der Formkörper 11 vereint eine trigonometrische Funktion und eine Division (Funktionstabelle dreier Variablen).

Die gefundenen rechtwinkligen Koordinaten gehen einerseits in die Tacho-Generatoren 28 und 29, wo die rechtwinkligen **Geschwindigkeitskomponenten** des Flugzeuges ermittelt werden. Die Tacho-Generatoren sind eine Art Uhrwerk: eine feste Zeit lang wird die Weg-Zunahme ermittelt, die proportional der Geschwindigkeit ist. Andererseits werden die Flugzeug-Koordinaten auch gebraucht, um in der Addition (40, 43) die jeweilige **Vorhaltestrecke** (E/W, N/S) dazuzuzählen, was die Koordinaten

des **Treffpunktes** ergibt. Die werden dann wieder in Polarkoordinaten umgewandelt, mit dem zweiten Koordinatenwandler 48.

Mit HR 18 wird die Karten- oder Horizontaldistanz verstellt. Um beim Flug nicht andauernd drehen zu müssen, wird mit HR 22 die Distanz-Veränderungsgeschwindigkeit (Annäherung oder Entfernung, nicht die Flugzeuggeschwindigkeit) eingestellt – welche mit einem **Scheiben-Integrator** schliesslich zur Horizontaldistanz aufsummiert wird, und zwar so: Der Motor 20 treibt mit konstanter Geschwindigkeit eine runde Scheibe an, hier seitlich gesehen. Darauf angedrückt liegen zwei Kugeln oder eine drehbare Mess-Scheibe, welche mit dem HR 22 mehr oder weniger weit vom Drehzentrum eingestellt wird, mittels Spiralgewinde. Die Kugeln oder die Mess-Scheibe teilen ihre Drehung der Walze 19 mit, welche schneller dreht, wenn die Kugeln weiter aussen sind. Distanz-Zunahme oder –Abnahme sind beide möglich, da die Kugeln im umgekehrten Sinne drehen, wenn die Drehachse des Motors überschritten wird. Der Bedienungsmann muss nur noch die sich langsam ändernde Radialgeschwindigkeit nachstellen. Ob die verlangte Angleichung des Lagewinkels mit **zwei** HR einfach zu bewerkstelligen ist, könnte nur die Praxis zeigen. HR 18 entspricht einer Integrationskonstanten.

**C) Ermittlung der Vorhaltstrecke und des Treffpunktes:** Wie weit fliegt das Flugzeug während der Geschossflugzeit ? Rechtwinklige Koordinaten

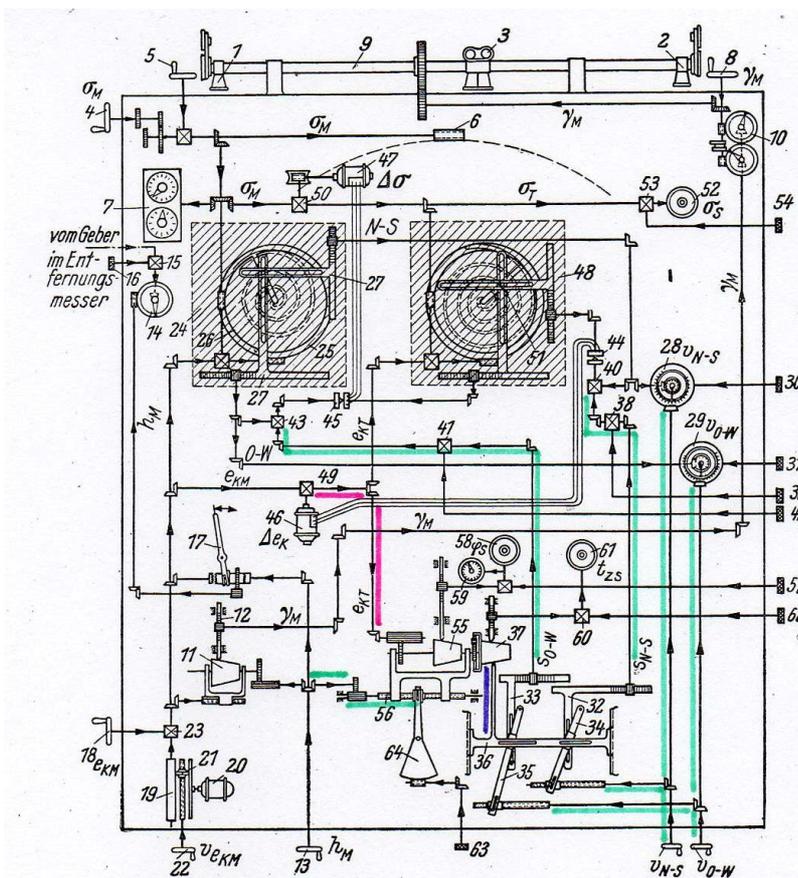


Bild 162. Getriebeplan des Sperry-Geräts

Geschwindigkeit mal Zeit gibt Wegstrecke: In den Multiplikatoren 32 bis 36 wird komponentenweise die Flugzeuggeschwindigkeit (Handeingabe nach FZ) multipliziert mit der Flugzeit der Geschosse – das ergibt die **zusätzliche Flugstrecke** des Flugzeuges bis zum Treffpunkt (Geradeausflug angenommen). Die Flugzeit der Geschosse wird der unteren Hälfte des Formkörpers 37 abgenommen, welcher längs der Achse durch die Flughöhe verschoben wird, und in der Rotation durch die Kartendistanz  $e_{kt}$

bis zum Treffpunkt. Formkörper 37 wird gegenüber Formkörper 55 nur mit halbem Winkel verdreht bei einer Änderung der Kartendistanz. Zu jedem Paar Flughöhe / Kartendistanz muss (wohl aus theoretischer Berechnung ?) die Geschossflugzeit bekannt sein, damit sich der Formkörper herstellen lässt.

Der Ausgang der beiden Multiplikatoren entspricht der Wegstrecke des Flugzeuges während der Geschossflugzeit. Diese Wegstrecke wird komponentenweise in den Summatoren 40 und 43 addiert zur gegenwärtigen Position des Flugzeuges – bei dieser Addition entstehen die Koordinaten des prognostizierten **Treffpunktes**. Auf diesen Punkt werden die Kanonen ausgerichtet.

**D) Umwandlung des Treffpunktes: Rechtwinklige > polare Koordinaten, Ausgabe an die Geschütze Tempier-Information an die Geschütze**

Die Geschütze brauchen aber Winkel, und nicht rechtwinklige Koordinaten. Im Seitenwinkel (Azimut) kann der berechnete Vorhalt nicht einfach addiert werden. Deshalb müssen die Polarkoordinaten neu errechnet werden aus den karthesischen Komponenten. Leider funktionieren die Koordinatenwandler nicht in der Richtung von der karthesischen zur polaren Form – das bedingt einen Umweg. Im **zweiten Koordinatenwandler** 48 werden (vorerst provisorische) Werte für Azimut und Distanz zum Treffpunkt eingegeben. Die daraus errechneten karthesischen Koordinaten E/W, N/S werden bei 44 und 45 verglichen mit den bereits bekannten korrekten Werten des Treffpunktes: der Eingang der Koordinatenwandler wird durch **zwei Motoren** 46 und 47 so lange verändert, bis die karthesischen Werte am Ausgang richtig sind. In diesem Moment ist der Eingang (Polarkoordinaten zum Treffpunkt) auch korrekt. Der Vergleich von Istwert und Sollwert erfolgt durch eine elektrische Nachführung (punktirt). Die beiden Motoren ersetzen zwei Bediener, die an zwei FZ dasselbe machen würden.

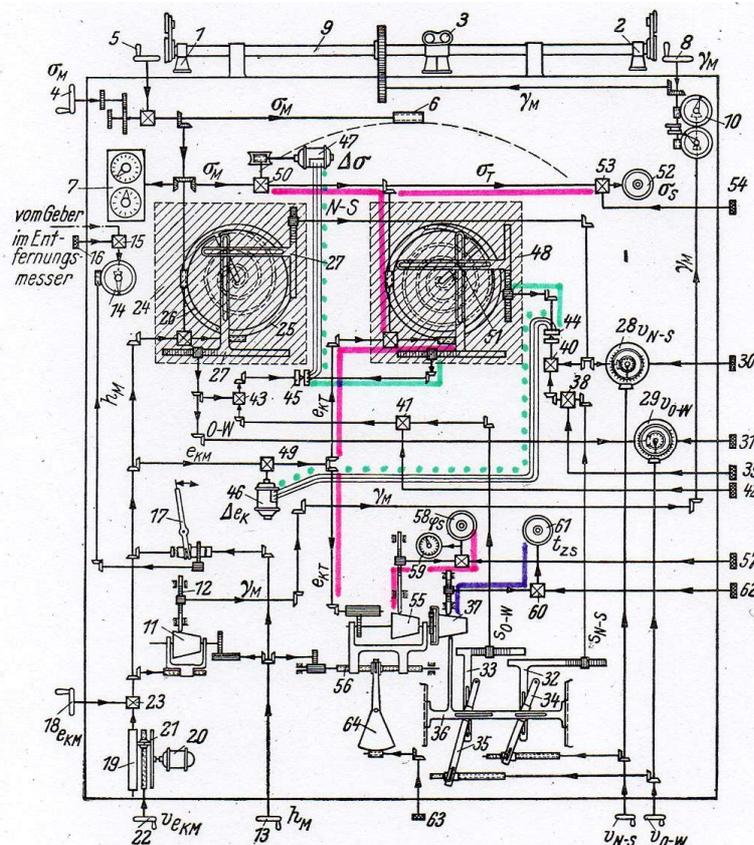
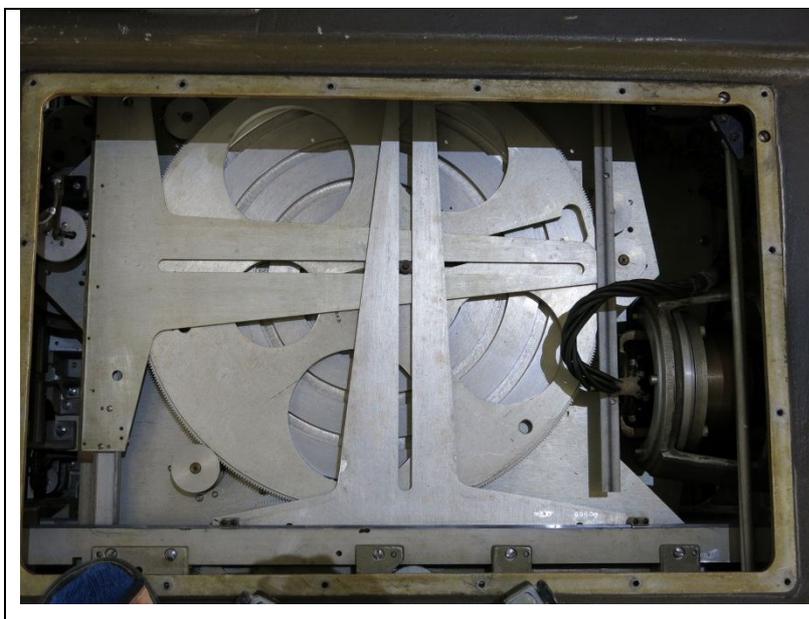


Bild 162. Getriebeplan des Sperry-Geräts

Allerdings ist die Nachführung hier heikel, denn **beide** zu findenden Werte (Distanz und Azimut zum Treffpunkt) beeinflussen je **beide** kartesischen Koordinaten E/W, N/S! Die zwei Mann am FZ würden einander gegenseitig stören. Die elektrische Nachführung ist **deutlich komplizierter** ausgeführt, als im dargestellten Schema von A. Kühlenkamp dargestellt, wo der Motor 47 für die Nachführung des Azimutes einzig von der E/W-Komponente her gesteuert wird, der Motor 46 für die Distanz allein von der N/S-Komponente. Die beiden Motoren, die im Ausgang zwar nur je eine Grösse verändern, nehmen sich in Tat und Wahrheit den Eingang – je nach Lage des Treffpunktes – einmal von dieser Quelle (Vergleich der E/W-Komponente), einmal von der anderen Quelle (Vergleich der N/S-Komponente). Das geht hervor aus der **US-Patentschrift 2'065'303** aus dem Jahre 1933 resp. 1936 (Anmeldung resp. Publikation des Patentes ?). Die dort publizierte elektrische Ansteuerung der Nachführmotoren wird weiter unten **im Anhang** gezeigt, p.14/15: **Zahlreiche Relaiskontakte** beeinflussen den Informationsfluss der elektrischen Nachführung! Es gibt sogar eine Hysterese, damit die Motoren bei speziellen Lagen des Flugzeuges nicht zu viel umschalten von einer Quelle zur anderen.

Der gefundene Seitenwinkel wird direkt zu den Geschützen übermittelt mit dem Geber 52. Die Distanz zum Treffpunkt geht zu den Formkörpern 55 und 37, welche (zusammen mit der Flughöhe) die Rohrelevation inkl. ballistischer Erhöhung ausrechnen (das „Fallen“ der Geschosse während der Flugzeit muss kompensiert werden, Körper 55), sowie die Geschoss-Flugzeit zur Vorhaltberechnung (Körper 37 unten), und die Tempier-Informationen zum Einstellen der Zünder (Körper 37 oben).

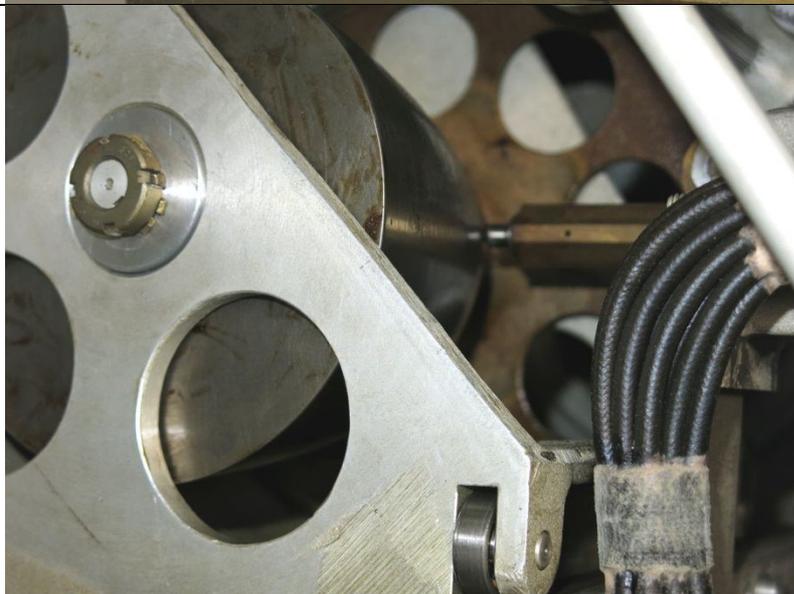
## Bilder zum Kommandogerät SPERRY:



Der eine der zwei **Koordinatenwandler** liegt ganz oben im Gerät (links unten die Fussspitze des Fotografen, zum Grössenvergleich). Polare Koordinaten (Winkel, Distanz) werden hier in rechtwinklige Koordinaten umgewandelt: Zuunterst ist eine **Distanz-Scheibe** mit spiralförmig eingefräster Nut (Distanz proportional zum Drehwinkel). Darüber liegt die **Azimut-Scheibe** mit Schlitz, welcher dem Kompasswinkel zum Flugzeug entspricht. Durch alles hindurch geht ein verschiebbarer Zapfen, welcher die beiden rechtwinklig verschiebbaren Arme mitnimmt: sie zeigen die reine Ost-/West- resp. Nord-/Südverschiebung des Zieles an. Mit Zahnstangen gibt es Drehbewegungen, die weitergeleitet werden. Rechts Synchro für die Höhenanzeige, Wert kommt vom Telemeter.



Ein **Formkörper** (Bildmitte, hinter dem Lochblech) ist eine präzise ausgefräste dreidimensionale Tabelle aus Stahl. Sie ist rotierbar (erste Variable), gut sichtbar sind auch die Kugellager zur Längsverschiebung (zweite Variable). Abgegriffen wird das „Resultat“ horizontal mit einem ortsfesten, auf die Oberfläche drückenden Stift, der im nächsten Bild besser gezeigt wird: Abstand von der Drehachse = dritte Variable. Darüber das Additionsgetriebe des übernächsten Bildes, wo eines der inneren Zahnräder sichtbar ist. Schräge Zuführung des einen Summanden. Im ganzen Rechner werden gemäss dem Schema von A. Kuhlenskamp total 13 Additionsgetriebe benötigt. Was hier addiert wird, konnte nicht ermittelt werden.



Die Oberfläche des **Formkörpers**, etwas seitlich gesehen. Hinten leicht unscharf der Stift, der zu den beiden Variablen Rotation und Längsverschiebung die passende dritte Variable abgreift. Sofern dieser Rechner dem von A. Kuhlenskamp 1943 publizierten Schema entspricht, löst der Formkörper die Gleichung: Flughöhe (Rotation) durch Horizontalabstand (Verschiebung) gleich Tangens des Höhenwinkels; letzterer wird mit dem Stift abgegriffen und von Hand gleich eingestellt wie der gemessene Fernrohr-Höhenwinkel – damit ist die Horizontalabstand gefunden. H steigt: Drehung im Gegenuhrzeigersinn. Abstand steigt: Formkörper nähert sich dem Beobachter. Unter dem Formkörper (s. oben) ist eine Heizung, davor die Wasserwaage.



Ein **Additionsgetriebe**, das einfacher herzustellen ist als das klassische Differentialgetriebe.

Im Inneren des hellen, runden, selber rotierenden Gehäuses sind zwei Zahnräder (hier nicht sichtbar), je mit einem der kleinen Peripherie-Räder im Eingriff stehend. Die beiden Summanden werden achsial eingeführt, vorne sichtbar, hinten knapp – die Summe besteht in der Rotation des runden Gehäuses.



Unten, auf beweglichem Rad: Elektrische Kontakte, mit denen sich die beiden **Nachführmotoren** selber die passende Eingangsvariable suchen (Koordinaten Nord/Süd oder Ost/West), nach denen sie die Ausgänge (Distanz, Azimut) nachregeln.

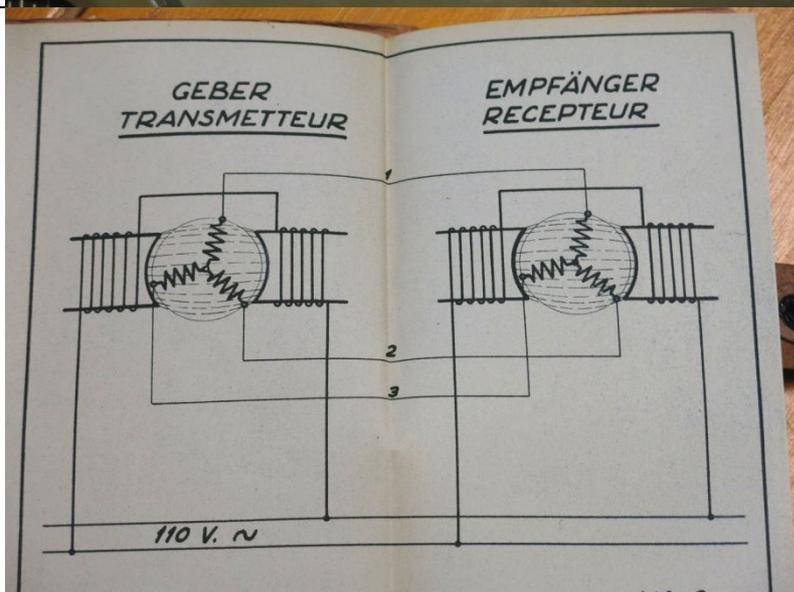
Vgl. das Schema aus der Patentschrift, weiter unten im Anhang, p.15. Es muss sich um die einander überlappenden Abgreifkontakte handeln, etwa in der Mitte der Zeichnung p.15.

Das ist eine effizientere Lösung als sie im Schema von A. Kühlenkamp gezeichnet ist (das sich allerdings bloss auf den mechanischen Informationsweg beschränkt).

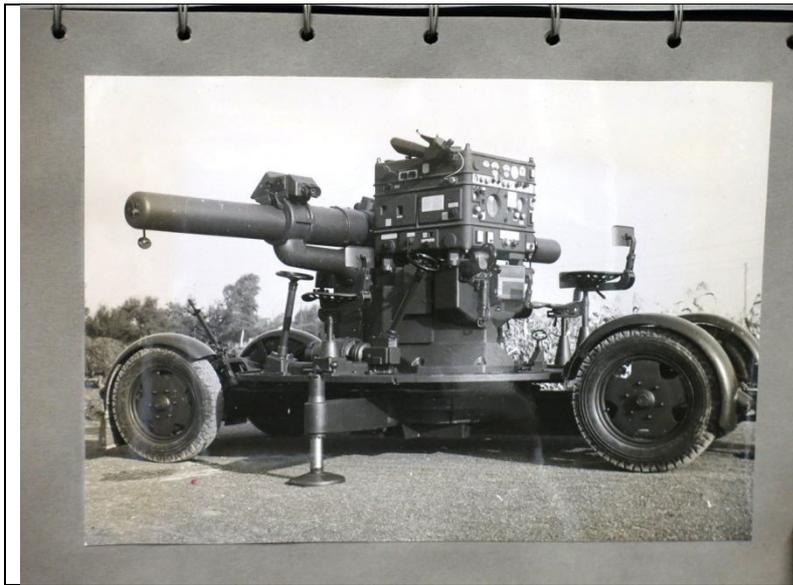


Einstellung der **Parallaxe**, d.h. der horizontalen Entfernung zwischen Geschützen und dem Kommandogerät. Die Geschütze müssen in eine andere Richtung zielen, als vom Rechner her ermittelt. Die Ost-/West- und die Nord-/Süd-Komponente ist je separat einstellbar. Die Einstellung für die unterschiedliche Höhe wurde (noch) nicht gefunden. Durchmesser der Handgriffe knapp ein cm. Diese Einstellungen sind unter einem abschraubbaren Deckel verborgen, sie müssen erst nach einem Stellungswechsel neu eingestellt werden.

Die Einstellung der Parallaxwerte erfolgt mit den Korrekturknöpfen 39 und 42 im Schema – hier sind sie. Links oben: Die Schnecke verstellt den Winkel eines grossen Rades.



Elektrische Synchron-**Übertragung von Drehwerten** zu den Geschützen, oder vom Telemeter zum Kdo.gerät (Bild aus den Unterlagen Dübendorf zu GAMMA-JUHASZ, Anpassung an CH-Sprachen). Die 3 Rotorspulen (beim Geber aktiv eingestellt) bleiben auf beiden Seiten parallel. Beim SPERRY wird es ähnlich sein (ebenfalls 5 Kabel pro Kanal). Nur Signal wird übertragen, keine Kraft!! - In Ref. 3 ist auf p.41 ein MIWIKOG-Kdo.gerät abgebildet, bei welchem das abgehende Kabel angeschrieben ist mit: „**Torsionskabel zur Datenübertragung**“ – eine mechanische Lösung! (plus elektrische Leitungen für Beleuchtung, Telefon). MIWIKOG ist von K. Papello konstruiert worden, ev. 1937 oder früher. Ev. Abkürzg. für Militärisches Winkel-Kommando-Gerät.



Versuchsgerät **Gamma-Hasler 43** auf Anhänger. Diese Form mit **direkt aufgesetztem Telemeter** war nie bei der Truppe in Verwendung. Seiten- und Höhenwinkel zum Flugzeug sowie Distanz (oder ev. Flughöhe) werden direkter an den Rechner angekoppelt als beim frei stehenden Telemeter.

Später kam eine Version Gamma-Hasler 43/50 RS mit Bezug von Radar-daten (anstelle des Telemeters) ab Englischem Radargerät „Mark VII“. Das war der Vorgänger des elektronischen Analogrechners „Fledermaus“ und „Superfledermaus“ von Siemens-Albis (ca. ab 1963).

## Anhang mit besonderen Einzelthemen:

- Elektrische Nachführung bei der Umwandlung der Koordinaten im Gerät SPERRY
- Unklares zur Munition, zur Einstellung der Anfangsgeschwindigkeit beim SPERRY
- Wie werden die Geschütze geladen? Einstellung des exakten Zeitbedarfes
- Kurvenflug
- Vergleich zwischen Kommandogeräten unterschiedlicher Hersteller
  - A) Produzierte Geräte - dokumentierte Typen
  - B) Mechanische Elemente und verwendete Bausteine, Vergleich
  - C) Unterschiedliche mathematische Modelle zum Finden des Treffpunktes
  - D) Blick ins Innenleben des GAMMA-JUHASZ
  - E) Getriebeplan des Deutschen KdoGt 36 und des britischen VICKERS PREDICTOR
- Der Rechner in der ganzen Flab-Batterie (für Flab-Laien)
- Literatur

## Elektrische Nachführung bei der Umwandlung von karthesischen zu polaren Koordinaten

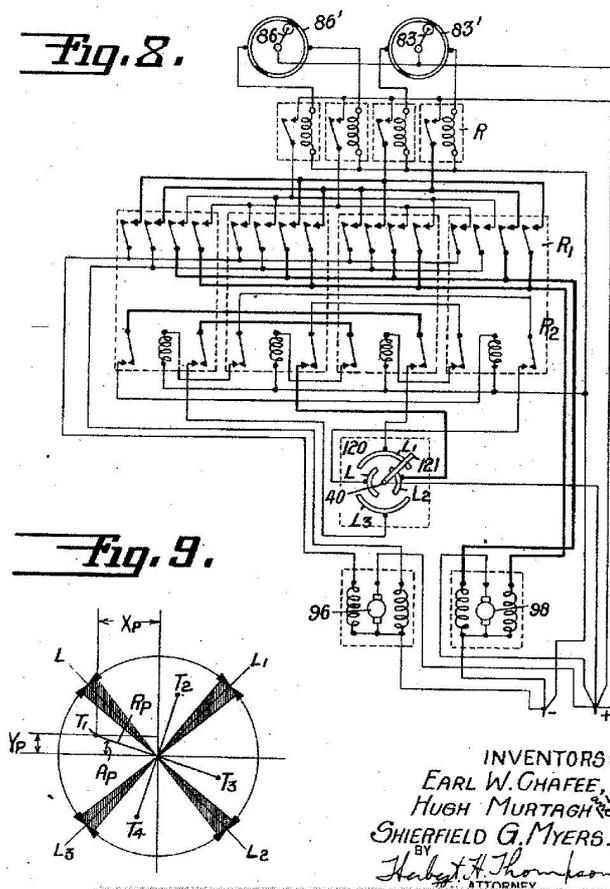
In der **Patentschrift** <http://www.google.com/patents/US2065303> finden sich kurze Erklärungen zu einem Rechner, der dem SPERRY-Gerät in Dübendorf sehr stark gleicht (Gehäuse und Prinzipschema). Die Nummern der einzelnen Elemente stimmen hier nicht überein mit den Nummern im Schema von A. Kuhlenkamp, der zehn Jahre später in Deutschland erbeuteten Geräte studiert hat (und diese Patentschriften wohl nie gesehen hat). Um die Patent-Erklärungen zu lesen, braucht es etwas Flexibilität, denn das automatische Einscannen hat zahlreiche Zeichen falsch erkannt (i statt 1, eine null wird als acht gelesen, usw).

Die hier mit 83, 86 bezeichneten Kontakte ganz oben in der Fig. 8 sind die beiden Vergleicher 44 und 45 im Schema von Kuhlenkamp – einer liegt im Pfad der Ost/West-Komponente, einer im Pfad der Nord/Süd-Komponente. **Die diversen Relais-Kontakte wählen aus, welcher der beiden Nachführ-**

**motoren 96, 98 (bei Kuhlenkamp 46, 47) welchen Vergleicher als Eingang verwendet.** Die Nachführmotoren regeln im Ausgang die beiden Größen Azimut und Distanz.

Fig. 9 zeigt, dass es z.B. für den Treffpunkt T1 effizienter ist, mit der Ost/West-Komponente zu spielen, um rasch Veränderungen der Distanz erzielen zu können (und Nord/Süd geht besser für Veränderungen des Azimutes). Für Treffpunkt 1 muss also der Nachführmotor für das Azimut über die Nord-/Süd-Komponente gesteuert werden, bei Treffpunkt 2 wäre es gerade umgekehrt.

Die beiden Nachführmotoren wählen sich mit dieser Schaltung den effizientesten Eingang zur Steuerung selber aus! Die Sektor-Umschalter L, L1, L2, L3 in der Mitte des Schemas werden in einer der fotografischen Aufnahmen weiter oben gezeigt.



## Unklares zur Einstellung der Anfangsgeschwindigkeit

Im Formkörper 37 wird im unteren Teil die Flugzeit der Geschosse ermittelt, um daraus den Vorhalt und damit den Treffpunkt zu bestimmen. Es ist nicht ganz klar, wie bei einer **veränderten Munition** (oder schon nur bei stark unterschiedlichen Temperaturen) die Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  eingestellt wird, denn bei veränderter  $v_0$  gleich den Formkörper 37 (und wohl auch Formkörper 55) **auszubauen** und durch andere Körper zu **ersetzen**, wäre doch sehr aufwendig.

An der 7.5 cm-Kanone im Museum Dübendorf sind mit roter Farbe zwei Markierungen gesetzt für den Rücklauf des Rohres bei unterschiedlicher Anfangsgeschwindigkeit (für Schiessplatzbetrieb mit dem Ziel-Schleppsack resp. für Kriegsmunition). Wie man diesen Rücklauf im grossen Pulverdampf bestimmt, ist ein anderes Problem – aber jedenfalls ist die Anfangsgeschwindigkeit wichtig, denn deren Änderung geht **sehr direkt in die Trefferlage und die Flugzeit** ein. Im Funktionsschema des SPERRY ist keine  $v_0$ -abhängige Nachstellung von Flugzeit oder Tempierzeit ersichtlich (sie müsste zwischen Formkörper 37 und den Multiplikatoren erfolgen, denn *nach* der komponentenweisen Aufteilung wären zwei Korrekturen erforderlich). Die Hand-Korrektur 63 korrigiert die in die Rechnung eingehende Flughöhe (d.h. die Telemeter-Unsicherheit und/oder die Parallaxhöhe). Dieser Korrektur-Knopf 63 ist beim Dübendorfer-Gerät bisher noch nicht gefunden worden – das heisst aber nicht, dass es ihn nicht gibt.

Da hier die Situation nicht ganz klar ist, sei eine Stelle bei Kuhlenkamp (Ref. 1, p. 143) wörtlich wiedergegeben:

„Der Kurvenkörper kann nach der Höhe zusätzlich um einen durch den Bedienungsknopf 63 einstellbaren Betrag verändert werden. Durch das Segment 64 wird die Spindel 56 zusätzlich verschoben, so dass eine Addition dieses Wertes zu dem Messwert erfolgt. Der auf diese Weise einstellbare Wert ist der vertikale Stellungsunterschied, der zwischen -400 und +450 m liegen kann“.

*(Als Höhenunterschied zwischen Geschützen und Rechner sind 400 m von der Kabellänge her unvorstellbar)*

„Einige der innen- und aussenballistischen Einflüsse werden *näherungsweise* erfasst. Der Einfluss des Dralles wird durch eine Verbesserung des Treffseitenwinkels, der Luftwichte durch eine Verbesserung der Anfangsgeschwindigkeit und die Änderung der Anfangsgeschwindigkeit durch eine Verbesserung der Messhöhe berücksichtigt.“

In Ref. 1, p. 58 ist eine Flugbahnkarte abgedruckt für eine Normalflugbahn mit  $v_0 = 607$  m/s, sowie für eine um 5.5% reduzierte Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$ , d.h. 573 m/s. Bei Flughöhe 3000m, Horizontaldistanz 3000 m, Rohrerhöhung 50°, Flugzeit ca. 14 Sekunden, macht die Abnahme der Anfangsgeschwindigkeit um **5.5%** in der Distanz ca. 120 m aus, um die das Flugzeug verfehlt wird – das ist viel zu viel.

Die beiden roten Markierungen der Museumskanone in Dübendorf ( $v_0 = 550$  m/s für Schiessplatz, mit Schleppsack) resp.  $v_0 = 805$  m/s (für Kriegsmunition) entsprechen mehr als **30%** Abweichung voneinander. Die ballistischen Körper des verwendeten Gerätes GAMMA-JUHASZ mussten deshalb ausgewechselt werden, wenn mit anderer Munition geschossen wurde. Die erstmalige Berechnung und Herstellung der Ballistischen Körper muss sehr aufwendig gewesen sein.

**Lässt sich am Versuchsgerät, das die Schweizer Armee zu Testzwecken kaufte, die Anfangsgeschwindigkeit wirklich nicht einstellen, und hatten die Schweizer z.B. eine andere Munition als die Amerikaner, und einen zur Munition nicht passenden Formkörper – dann wäre es verständlich, dass die Ergebnisse nicht zur Zufriedenheit der Schweizer ausgefallen sind.**

Immerhin sind zum SPERRY-Rechner offenbar „passende“ Kanonen VICKERS gekauft worden (die dann durch SCHNEIDER-CREUSOT-Geschütze ersetzt wurden, als man zum Kommandogerät GAMMA-JUHASZ überging)

„Die Flakartillerie in Dessau“ ([www.militaermuseum-anhalt.de/Regionale Militärgeschichte](http://www.militaermuseum-anhalt.de/Regionale%20Milit%C4rgeschichte)) skizziert, wie die **Anfangsgeschwindigkeit der Geschosse gemessen** wurde (Deutschland, zweiter Weltkrieg):

„Die Geschützrohre der Flak-Batterien standen unter ständiger Pflege und Kontrolle. Um ihre Präzision zu erhalten, mussten in regelmäßigen Zeitabständen die V-Null-Werte gemessen werden, das ist die Geschwindigkeit des Geschosses beim Verlassen des Rohres. Während in der Heimat für diesen Zweck ortsfeste Stationen eingerichtet waren, zog im Bereich der Front ein motorisierter Trupp von einem Flakregiment zum anderen, um sich jedes Geschütz vorzunehmen. **Magnetisierte Geschosse** wurden durch **zwei Spulen** hindurch geschossen, die in genau bemessenem Abstand vor dem Geschützrohr aufgebaut waren. Die Zeit, die das Geschoss brauchte, um von der ersten Spule zur zweiten zu gelangen, wurde durch die sogenannten Boulanger-Apparate ermittelt, von denen – um die Genauigkeit der Messung noch zu erhöhen - gleich zwei in einem Sonderanhänger untergebracht waren. Beim Durchfliegen des Geschosses durch die Spulen wurde durch das magnetische Feld des Geschosses **ein Stromstoß** erzeugt, der über ein Relais nacheinander **zwei Fallgewichte** im Boulanger-Apparat auslöste, von denen das zweite kleinere ein **Schlagmesser** betätigte, das in das erste eine Kerbe schlug. Die Fallhöhe maß man mit einer Lehre, woraus sich für jedes Geschütz der neue V-Null-Wert ergab. So war es möglich, dass beim Feuern der Batterie die Sprengpunkte der Granaten in die genau vorgesehene Lage kamen.“  
(Le Boulengé, nicht Boulanger!)

Aus Ref. 3, p. 62, 63 wird *nicht* ersichtlich, wie im deutschen KdoGt40 die  $v_0$  eingestellt wurde (immerhin „Gebrauchsstufe“)

Aus Ref. 1, p. 127-136 geht auch nicht hervor, wie beim deutschen KdoGt36 die  $v_0$  eingestellt wurde. Immerhin sind zahlreiche „ballistische Trommeln“ vorhanden, bei denen mehrere Korrektur-Blätter oder –Folien aufgewickelt wurden, und die sich leichter auswechseln liessen als die Formkörper (unter anderem p. 131 zur „Gebrauchsstufe“ der Rohre: nach vielen Schüssen ändert sich die Anfangsgeschwindigkeit). Bilder dieser Trommeln vgl. auch Ref. 3, p. 27, 29

## Wie werden die Geschütze geladen ? Wichtig ist die genaue Zeitkonstanz

Die Geschosse werden in die Tempiermaschine am Geschütz gesteckt, wohin der Rechner laufend die richtige Zeitverzögerung meldet. Beim Ertönen der Feuerglocke wird das Geschoss tempiert, dann müssen die schweren Patronen von Hand in den Lauf eingeführt werden, der Verschluss geht zu, und beim Auslösen der roten Lampe wird der Abzughebel fallen gelassen – der Schuss geht los.



Im Flieger-Flab-Museum Dübendorf: Die 7.5 cm-Patrone steckt in der Tempiermaschine, der Zünder an der Spitze des Geschosses wird richtig eingestellt. Anschliessend reisst der Lader die Patrone heraus, dreht sie (in diesem Falle um 90°, bei steilerem Rohr noch mehr) und führt sie von hinten her in die Kanone ein. Dieser Vorgang dauert dank der Handarbeit nicht immer gleich lange. Dem Rechner gibt man die erwartete Ladezeitverzögerung vorgängig ein. Das Gewicht einer 7.5 cm-Patrone betrug ca. 11 kg (Bofors, Schneider)

Vom Verlassen der Tempiermaschine bis zum Abschuss vergeht Zeit, die dem Rechner vorgängig mitgeteilt wird (Ladeverzögerung). Die Zeitverzögerung wird dem physischen Zustand der beteiligten Lader angepasst. Man kannte die Leute und wusste, wer wie schnell arbeitete. Alle Geschütze sollten möglichst gleichzeitig schießen. Ab Auslösen des roten Lichtes am Geschütz (Kögel p. 68) (ev. 3 maliges Blinken, P. Blumer) muss mit möglichst geringer Verzögerung der Verschlusshebel losgelassen werden. Das rote Licht wird durch eine verstellbare Uhr am Geschütz eingestellt, getrennt vom Rechner. Diese Darstellung basiert auf den Erinnerungen des damaligen Kan Kpl Ulrich Wegmann (Flab RS 1962 auf 7.5 cm) und gilt für den in der Schweiz betriebenen Rechner GAMMA-JUHASZ und das 7.5cm-Geschütz SCHNEIDER-CREUSOT. Der SPERRY wurde in der Schweiz nicht eingesetzt, aber der Vorgang dürfte überall ähnlich abgelaufen sein.

Im Betriebshandbuch (Museum Dübendorf) zum ungarischen Gerät GAMMA-JUHASZ wurde ein lose eingeklebter Zettel gefunden, auf dem sich jemand aufgelistet hat, bei wieviel Zeitfehler ein Fehler am Ziel von 25 Metern<sup>\*)</sup> nicht überschritten wird, was dank der Splitterwirkung noch als zulässig erachtet wird. Titel der Liste: „Zulässige Tempierungsabweichung in 1/100-Sekunden, bei  $v_0 = 805 \text{ m/s}$ “. Bei einer Flugzeit von 1 bis 2 Sekunden darf ein maximaler Zeitfehler von 0.03 Sekunden vorkommen, bei einer Flugzeit von 10 Sekunden um die 0.06 Sekunden, bei einer Flugzeit von 20 Sekunden um 0.08 Sekunden – also durchwegs **unterhalb einer Zehntelssekunde**.

\*) berechnet *einzig* nach dem Flugweg der Granate – zusätzlich kommt noch der Flugzeug-Weg dazu!

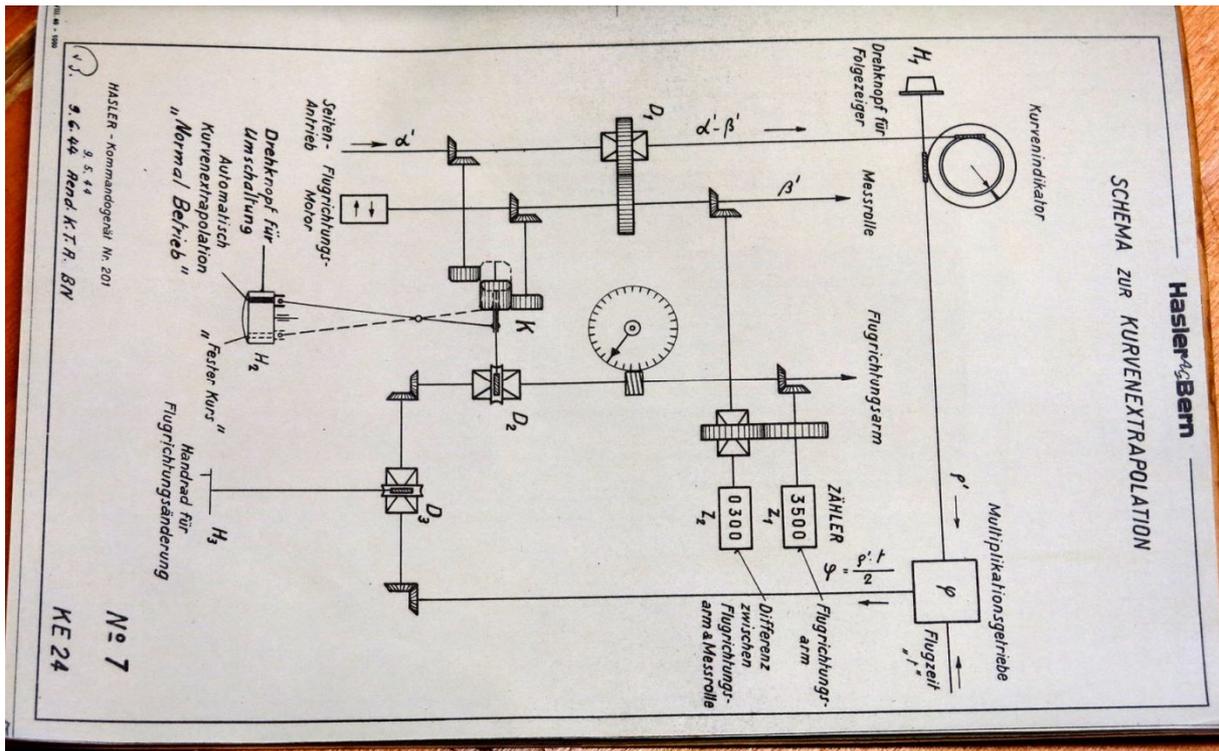
Ref. 3, p. 24, zum deutschen Kommandogerät 36: „Die für den Kommando- und Ladeverzug benötigte Zeit konnte am Gerät eingestellt und somit berücksichtigt werden (in der Regel 13 Sekunden)“. Das ist fast nicht möglich!!? Andersorts findet man viel kürzere Werte: drei bis sechs Sekunden zwischen zwei Schüssen.

## Kurvenflug

Das durch die Schweizer Armee gekaufte Gerät GAMMA-JUHASZ wurde durch HASLER AG in Lizenz gebaut und später weiterentwickelt. Ursprünglich war es konzipiert für **reinen Gradausflug**, 1941 (oder früher) wurde bereits ein Steig- oder Sinkflug berücksichtigt. Ab 1944 wurde es durch HASLER erweitert, um auch einen Kurvenflug richtig vorzuberechnen.

### Wer möchte sich bestätigen ? Wer versteht diese Schaltung für die Kurven-Extrapolation?

Versuchen Sie, unbekannte mechanische Rechengetriebe zu lesen und zu verstehen! Hier wird das neu eingebaute Getriebe mit der Kurvenflug-Erweiterung ab 1944 dargestellt, mit einem Umschalter zwischen „Fester Kurs“ und „Kurvenflug“. Diesen Umschalter gab es auch noch bei der „Super-Fledermaus“.



Es bedeuten: D1, D2, D3 Additionen oder Subtraktionen (die Richtung wird bei D1 klar).

$\alpha'$  Geschwindigkeit der Seitenwinkeländerung (Anvisieren des Flugzeuges vom Rechner aus, wie schnell sich der gemessene Seitenwinkel ändert)

$\beta'$  Geschwindigkeit der Flugwinkeländerung. „Flugwinkel“: Winkel zwischen dem Flugzeugkurs (seinem Kompasswinkel) und der Visierlinie vom Rechner zum Flugzeug, stets auf die Karte bezogen. Selbst im Gradausflug gibt es laufend eine Flugwinkeländerung. Flugwinkel vom Piloten aus gesehen: Winkel zwischen Flugzeugnase und der Richtung zum Rechengertät (ev.  $\pm 180^\circ$ ).

$\rho'$  Geschwindigkeit der Flugzeug-Kursänderung, d.h. wie viele Grad pro Sekunde sich der Flugzeugkurs (Kompass-Ablesung) ändert.

$\varphi$  Verschwenkungswinkel der Sehne der Flugbahn: Winkel zwischen dem gegenwärtigen Flugzeugkurs (Tangente) und der Sehne zum zukünftigen Treffpunkt auf der krummen Flugbahn.

(Das sind jetzt **nicht-rechtwinklige Koordinaten**: viel schwieriger, ungewohnt. Vgl. weiter unten, Seite 21: Unterschiedliche mathematische Modelle)

## Vergleich zwischen Kommandogeräten unterschiedlicher Herkunft

Die Kommandogeräte unterschiedlicher Länder unterscheiden sich stark, sowohl in der technischen Ausführung wie auch in der Gedankenwelt dahinter, d.h. mit welchen mathematischen Methoden und in welcher Koordinatenwelt der zukünftige Treffpunkt bestimmt wird. Es kann hier nur kurz auf einige Unterschiede eingegangen werden, denn ein vertieftes Eintauchen in einen weiteren mathematischen Rahmen bedeutet eine grosse Arbeit.

### A) Produzierte Geräte – davon besser dokumentierte Typen

Untersucht wird hier die Funktionsweise des Gerätes **SPERRY** aus den USA (ev. Typ T8, gekauft durch die Schweiz 1935, erprobt im Sommer 1936). Näher bekannt sind aus der Literatur (Ref. 1 bis Ref. 3) auch die Funktionen des **Kommandogerätes 36**, des **Kommandogerätes 40** (beide aus Deutschland), sowie des englischen **VICKERS**. Im Museum in Dübendorf hat es reichhaltige Unterlagen zum ungarischen **GAMMA-JUHASZ** und zu den späteren Versionen **GAMMA-HASLER 40, 43**, die noch später (ab 1950 bis ca. 1962) statt der Telemeter-Distanz auch noch Radardaten verarbeitet haben.

**Fragmentarisch** (wenige Schemen, einzelne Bilder) bleibt das Wissen über diverse Hilfs-Kommandogeräte aus Deutschland (WIKOG, MIWIKOG, Kommando-Hilfsgerät 35, Zeiss Kommandorechner C2 (1927-37), Pschorr 27 (aus der Firma NEDINSCO in Holland, wo Zeiss fertigte wegen Beschränkungen infolge Versailler Vertrag), Schönian 1918. Zum Namen „Hilfs-Gerät“: Die Kommandogeräte waren ausgesprochen teuer in Entwicklung und Fabrikation, und sie waren stets in viel zu geringen Stückzahlen verfügbar. Man versuchte es deshalb auch mit einfacheren Hilfsgeräten.

Aus anderen Ländern gibt es Einzel-Hinweise oder Bilder von Kommandogeräten aus Frankreich (Bauarten AUFIERE oder OPL), Holland (HAZEMEYER, von Siemens-Halske in Lizenz gebaut), Tschechoslowakei (SKODA), letzteres nachgebaut von Russland (PUAZO). Ein letzter PUAZO-Typ 6-60 (ab 1953 oder 1956) wog offenbar 7 Tonnen und brauchte Strom für Motoren etc. für 2.5 kW! Bloss ganz knapp erwähnt in Ref. 1, p. 10, p.123 wird noch ein Kommandogerät GOERTZ aus Wien: „in einem Stück gebaut und an Russland geliefert“. Finnland soll ab 1929 auch mit einem Goertz gearbeitet haben, der nicht richtig funktionierte (?). Der „KERRISON PREDICTOR“ (GB) war offenbar optimiert auf tiefer fliegende Flugzeuge mit hohen Winkelgeschwindigkeiten.

Überall sind **Entwicklungen** zu beobachten – frühere Typen und spätere Nachbauten und Verbesserungen. Eine seltsame Stelle zu den SPERRY-Geräten wurde im Internet gefunden (war Amerika kaum von fremden Flugzeugen bedroht ??): <http://web.mit.edu/STS.035/www/PDFs/sperry.pdf>

Of the nearly 10 models Sperry developed during this Period (1927-35), it never sold more than 12 of any model; the average order was five. The Sperry Company offset some development costs by sales to foreign governments, especially Russia, with the Army's approval [9].

Deutschland produzierte 1936-1945 allein bei Zeiss insgesamt 2'053 Kommandogeräte 40 sowie weitere 2'376 Kommandogeräte anderer Bauart (Ref. 3, p. 43)

## B) Aufbau der Geräte: mechanische Elemente und verwendete Bestandteile

Es folgen bruchstückhafte Teil-Informationen der bekannteren Geräte – immerhin zeigen sie, auf welch **unterschiedlichen Wegen** sich die immer gleiche Aufgabe (Ermittlung des Treffpunktes vor dem Flugzeug) mittels mechanischer Getriebe-Rechnung anpacken liess. Infolge der andauernden Weiterentwicklung aller Typen dürfen diese Werte und Jahrzahlen nicht allzu wörtlich genommen werden!

	<b>Vickers Predictor</b> 1928 GB (US)	<b>SPERRY</b> 1935 US	<b>Kdo Gt36</b> 1936 D	<b>GAMMA- JUHASZ</b> (1934)/37 Hun/Sui	<b>KdoGt 40</b> 40 D
Additionen	9	13	9	12 <sup>1)</sup>	20
Integratoren	3 <sup>2)</sup>	1	3	0	7
Formkörper	1 <sup>3)</sup>	4 <sup>4)</sup>	0	19	14 <sup>6)</sup>
Kurven-Trommeln	2	0	3 <sup>5)</sup>	0	3
Motoren	0	2	3 <sup>7)</sup>	18	16
El. Nachführungen	0	2	0	14	10

- |    |  |    |                                 |
|----|--|----|---------------------------------|
| 1) | 12 Differentiale, plus 2 Hebel-Mehrfach-Addit. | 5) | Plus 3 Tafeln, plus 2 Schreiber |
| 2) | Einer davon mit zwei Reibrädern                | 6) | Plus 5 Kurvenscheiben           |
| 3) | Plus drei Kurvenscheiben (eine Dim. Weniger)   | 7) | Davon ein Federmotor            |
| 4) | 4 Kurven auf drei Körpern                      |    |                                 |

### Integratoren

Reibradgetriebe (oder in Deutschland auch Drehkalottengetriebe) lassen sich sehr vielseitig einsetzen: als Multiplikatoren, als Integratoren, bei andersartiger Variablenwahl zum Dividieren und Differenzieren, zum Beimischen unterschiedlicher Grössen.

### Formkörper

„Dreidimensionale Tabellen“: Sorgfältig geschliffene, räumliche Form, die sich drehbar und verschiebbar vor einem Abnehmer-Stift bewegt. Die Entfernung zwischen Drehachse und Abnehmer-Stift ist die dritte Variable.

### Funktionstrommeln

Oft wurden drehende Walzen oder Trommeln verwendet; darauf konnten Papiere oder Folien aufgezogen werden mit ganzen Kurvenscharen. Das Bedienungspersonal wählte (je nach Flughöhe, -geschwindigkeit, etc...) die passende Kurve aus und musste per Handrad einen Zeiger immer genau auf der Kurve halten.

### Elektrische Nachführungen

Ein Elektromotor steuert eine Variable derart, dass durch die Variable die Motorkontakte (vorwärts, rückwärts) beeinflusst werden. Damit lässt sich eine bereits bekannte Variable „kopieren“ und deren Einstellung mit mehr Kraft als bisher weitergeben an die nächsten Getriebe. Bedienungspersonal wird dadurch eingespart.

### Spezielle Versuche

Das Kommandogerät MIWIKOG von Karl Papello (1890-1958) soll bei den Handantrieben für Seiten- und Höhenwinkel und für die Entfernung offenbar **Schwungräder** verwendet haben, so dass das Gerät unverändert weiterrechnen konnte – selbst wenn das Flugzeug infolge natürlichen oder künstlichen Nebels vorübergehend nicht mehr sichtbar war. (Ref. 3, p.41). Ähnlich die neuen Handräder beim GAMMA-HASLER ab 1943, elektrisch.

### C) Unterschiedliche mathematische Modelle zum Finden des Treffpunktes

① Das Gerät SPERRY rechnet anschaulich in **rechtwinkligen Koordinaten**: Gegenwärtige Flugzeugposition plus zusätzliche Flugstrecke während der Geschossflugzeit ergibt den Treffpunkt. Das ist klar, logisch, gut vorstellbar. Die „Plus-Operation“ gelingt nur dann einfach, wenn die zusätzliche Flugstrecke in Metern ausgedrückt wird (Ost/West und Nord/Süd separat), und nicht in Winkeln.

② Nun gibt es andere Möglichkeiten zur Voraus-Rechnung: Statt dass man sich die Flugzeugbewegung vorstellt, bleibt man bei den direkt gemessenen Werten: **Seitenwinkel, Höhenwinkel, Schrägdistanz**. Alle drei Größen haben je eine eigene Veränderungsgeschwindigkeit – mit diesen Größen wird der Treffpunkt vorausberechnet, und nicht mit der Geschwindigkeit des Flugzeuges. Das gibt ganz andere Rechnungen als bei der rechtwinkligen Methode. Hat man sich wochenlang mit der rechtwinkligen Methode beschäftigt, so ist es nicht ganz leicht, plötzlich in eine neue Denkweise zu schlüpfen. Die Winkel addieren sich ganz anders als die Kilometer, und während beim Geradeausflug in konstanter Höhe mindestens die Flugzeuggeschwindigkeit konstant bleibt, so gilt das für die Seiten- und Höhen-Winkelgeschwindigkeiten und für die Annäherungsgeschwindigkeit nicht mehr.

Diese „**Winkelgeschwindigkeitsmethode**“ wird als weniger genau betrachtet, da zum Anschmiegen der vorausberechneten Kurve an die echte Flugzeugbahn auch Beschleunigungen aller dreier Größen berücksichtigt werden sollten (analog einer Potenzreihen-Entwicklung). Das geht aber kaum, da die Bestimmung der Beschleunigung mit grossen Unsicherheiten behaftet ist (Zitat Kuhlenkamp siehe unten).

③ Das Kommandogerät 36 und das GAMMA-JUHASZ rechnen in Zylinderkoordinaten: **Seitenwinkel, Horizontalentfernung, Flughöhe**. Das gibt wieder eine ganz neue Denkart: Der Flugweg wird rein geometrisch nachgeahmt – mit „Zielwegplatte“ (beim KdoGt 36 einem sog. „Flugrichtungstisch“), da gibt es fahrbare Wagen, Höhengleitern, Seitenwinkel-Lineal. Mit Motoren und Gewindespindeln werden Distanzen, Flugrichtungen und Vorhaltstrecken massstäblich nachgezeichnet.

④ Die französischen Kommandogeräte, das HAZEMEYER und das ŠKODA benützen zwar rechtwinklige Koordinaten – aber nicht geografisch feste Richtungen (N/S, E/W), sondern mit der Flugzeugrichtung verbundene Richtungen: **Seitenwinkel vom Rechengerät zum Flugzeug, die Rechtwinklige dazu, und die Flughöhe**.

⑤ Das englische VICKERS und das deutsche WIKOG (Zeiss) rechnen **algebraisch**, indem zuerst recht komplizierte Gleichungen der sphärischen Geometrie zum Voraus und unabhängig vom konkreten Flugzeugkurs auf dem Papier vorgelöst werden. Das Rechengerät muss aus den gemessenen Winkeln zum Flugzeug (Seite, Höhe) und den berechneten Werten zum Treffpunkt *zwei miteinander gekoppelte* Gleichungen simultan lösen, in denen total 12 Winkelfunktionen vorkommen, ebenfalls die Flugzeit und die beobachteten Winkelgeschwindigkeiten in der Höhe und in der Seite.

Den Winkel-Vorhalt in der Höhe zu ermitteln, gelingt erst, wenn man bereits den Seiten-Vorhalt kennt. Den Vorhalt in der Seite und in der Höhe zu berechnen gelingt erst, wenn man den Treffpunkt kennt, also wenn die beiden gesuchten Winkel-Vorhalte bekannt sind. Auch die Flugzeit und die beiden Werte für die Winkel-Vorhalte bedingen einander gegenseitig.

Komplizierte Hebelgetriebe und (z.T. doppelte) Reibradgetriebe übernehmen die Auswertung. Die Rechnung in den Rechengetrieben lässt sich knapp nachvollziehen – aber sich vorstellen, wo sich das Flugzeug befindet usw., das kann man nicht mehr. Das Getriebe-Schema des VICKERS wird weiter unten auf Seite 24 gezeigt. Genauerer findet sich in Ref. 1, auf p. 122-124, oder Ref. 2, p.43-46. Siehe auch Ref. 5 und Ref 6 – **alles ist schwer verständlich**.

**Beschleunigungen:** Bei jeder zeitlichen Ableitung (d.h. aus dem beobachteten Ort oder Winkel die Orts- oder Winkelgeschwindigkeit zu ermitteln, oder aus den Geschwindigkeiten die Beschleunigungen zu errechnen) wirken sich die unvermeidlichen **Fehler, Unsicherheiten und Schwankungen** immer störender aus. Dazu ein klares Zitat von A. Kühlenkamp, Wissensstand 1943 (Ref. 1, p. 50):

„Trotz aller Massnahmen ist es bis heute nicht möglich, beim praktischen Arbeiten in der Truppe mit einer so hohen Gleichmässigkeit und Genauigkeit die Richtwerte zu bestimmen, dass eine höhere Ableitung als die Geschwindigkeit gemessen werden kann. An Versuchen, wenigstens auch die Winkelbeschleunigungen zu messen, hat es nicht gefehlt, desgleichen nicht an getriebetechnischen Messmöglichkeiten der Beschleunigung. Die Versuche sind aber immer wieder daran gescheitert, dass die erreichbare Richtgenauigkeit, insbesondere bei schwierigen Zielwegarten, noch nicht genügt und dass sich deshalb zu grosse Fehler in der Beschleunigung ergeben.“

## D) Blick ins Innenleben des GAMMA-JUHASZ:

Die Philosophie der gewählten Koordinatensysteme hat natürlich Auswirkungen auf die mechanischen Getriebe, welche die mathematischen Funktionen übernehmen. Es folgen zwei Ausschnitte aus den Gesamtplänen des GAMMA-JUHASZ, nachgebaut in der Schweiz.

Die erste Zeichnung ist datiert 12.2.1941, Kdo Flieger- und Flabtruppen (Inventar Museum 045925 alt / 12271 neu).

Die zweite Zeichnung ist datiert 12.10.1943, K+W Thun (Inventar 039469 alt / 5123 neu). Pläne im Museum Dübendorf

**Zielwegplatte des GAMMA-JUHASZ:** Grosser Kreis, in dem die hauptsächlichsten Elemente des Fluges rein geometrisch nachgebildet werden in Grundriss und Aufriss. Mit dabei:

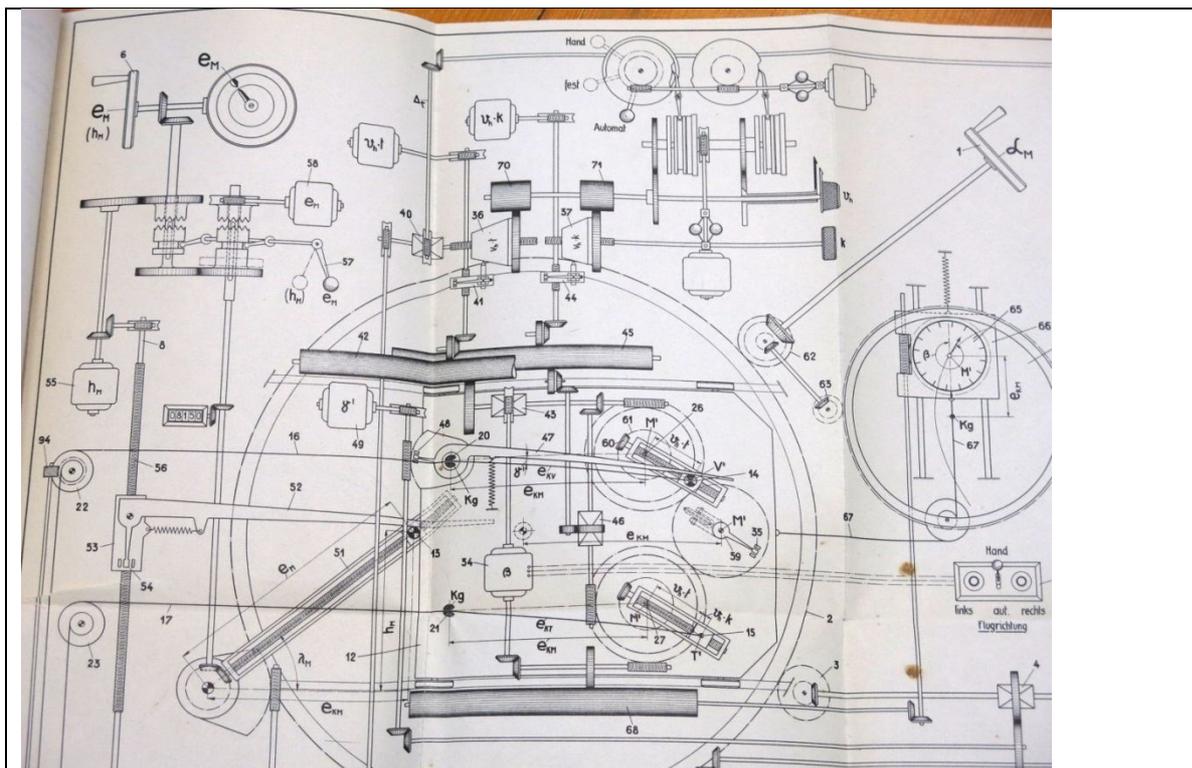
**Zwei Flugrichtungsarme** im grossen Kreis rechts: zwei kleinere, drehbare Arme im selben Winkel, sitzen auf einem Wagen (Räder angedeutet), der per Drehspindel u. Spannkabel bewegt wird. Deshalb die langen Zahnwalzen 42, 45, 68.

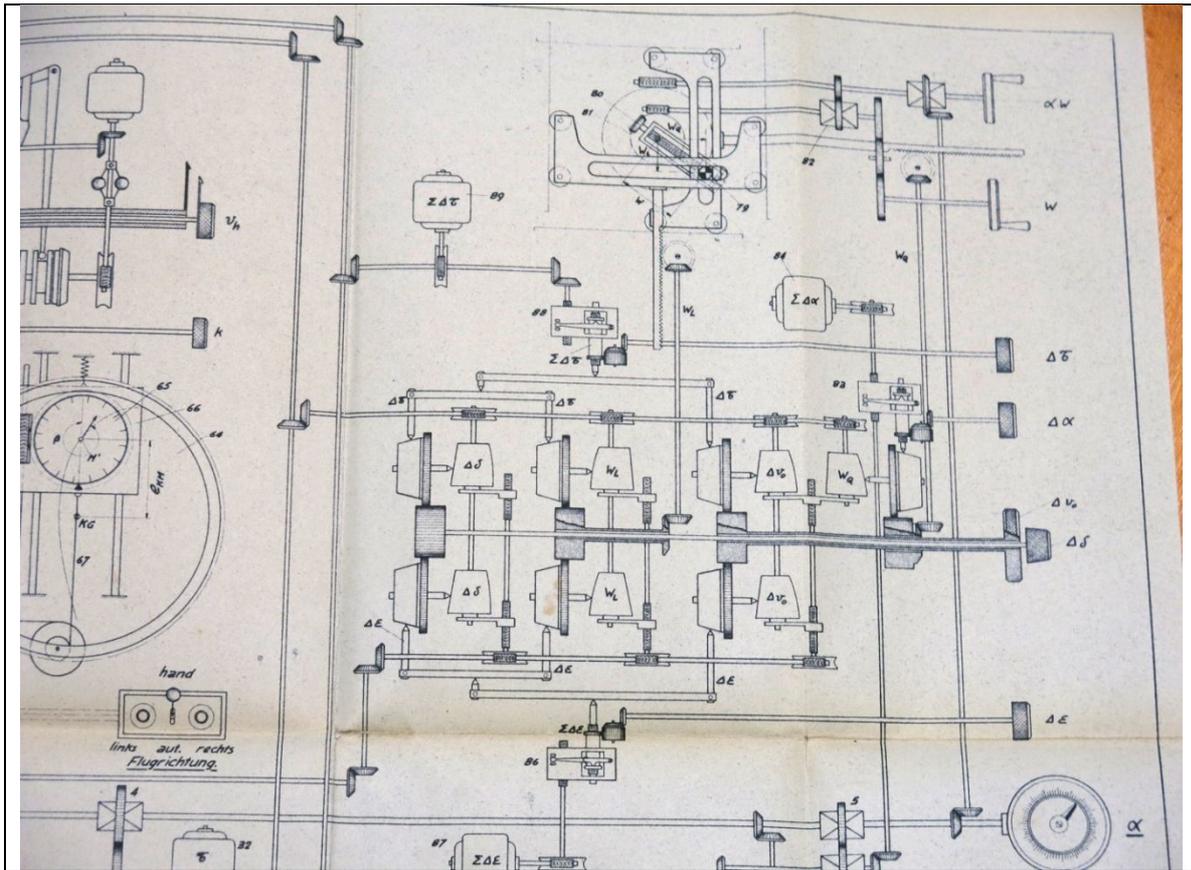
**Seitenvorhalt-Lineal** lange Nadel 47 fast horizontal, leicht oberhalb des Zentrums, ermittelt den Seitenwinkel-Vorhalt. Darunter ein Spannkabel zur Messung der Distanz zum Treffpunkt 14 (= Distanz zum Flugzeug 26 plus Vorhaltstrecke).

**Höhenschlitten** 53 links unten, führt die Auf-/Ab-Bewegung des **Höhenlineals** 52 aus, in der Abbildung horizontal

**Distanzlineal** 51 Drehpunkt links unten, mit ca. 40° nach rechts oben ansteigend. Die Höhe des Flugzeuges 13 ist mit  $h_m$  eingezeichnet, die Schrägdistanz  $e_m$  wird mit dem Handrad links oben dem Wert des Telemeters nachgeführt.

Acht Motoren sind im Ausschnitt sichtbar, zwei Handräder (Schrägdistanz und Seitenwinkel), drei Spannkabel. Rechts im kleinen Kreis eine Anzeige aussen am Gehäuse („Zielwegschreiber“), zur visuellen Kontrolle von Distanz und Flugrichtung.





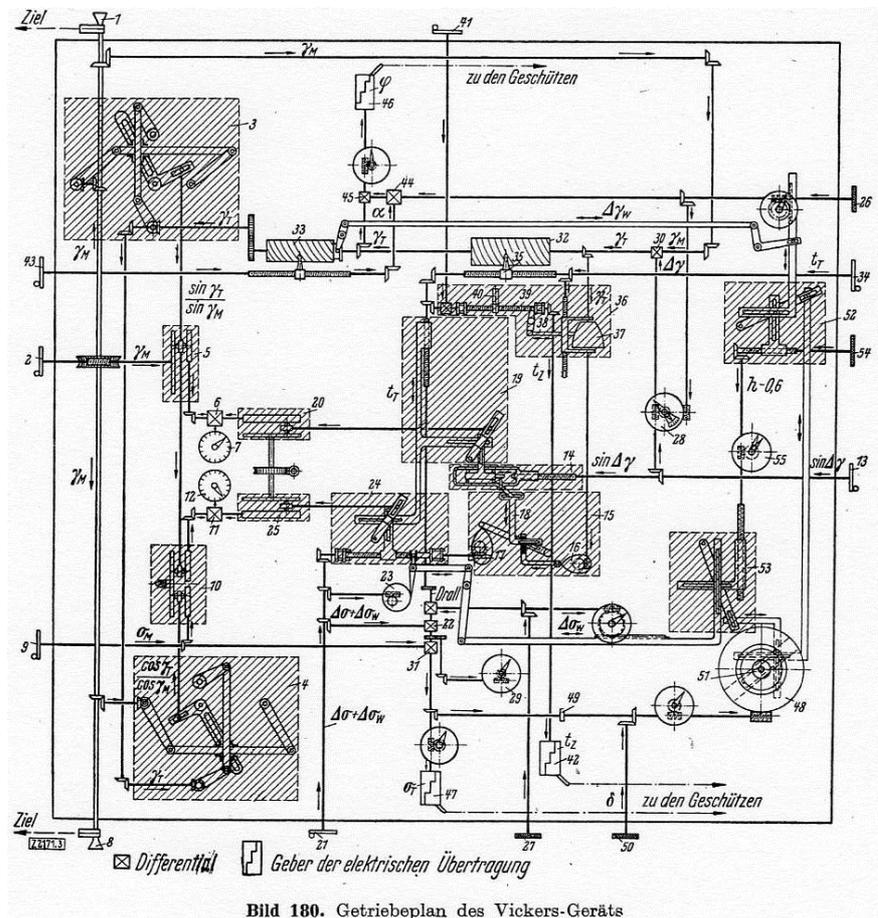
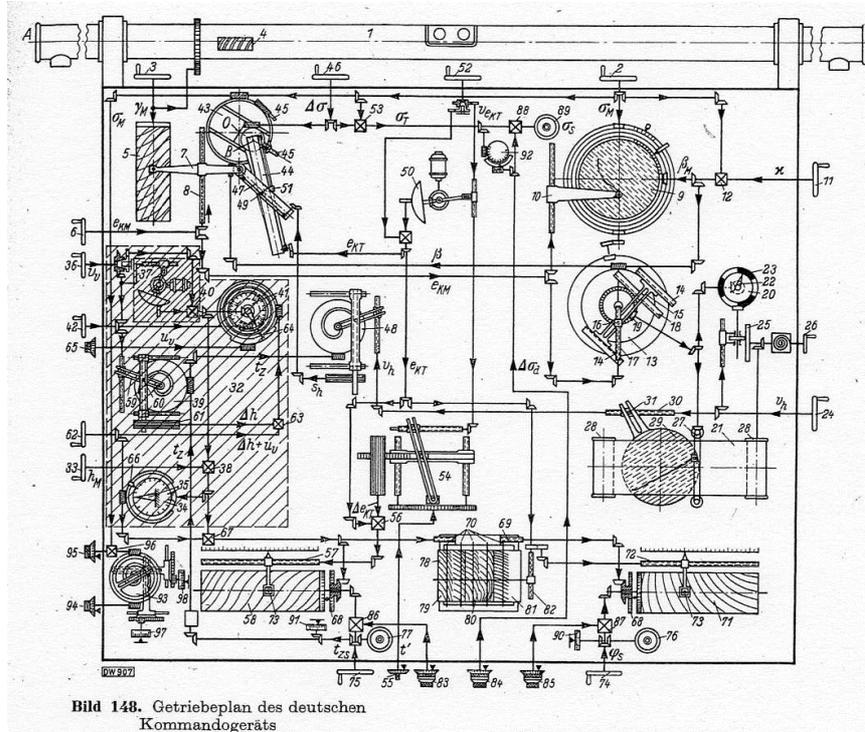
Eine ganze **Kaskade von Formkörpern**, die in komplexer Weise direkt voneinander abhängig sind.

In der **Rotation** sind die sieben Formkörper, die innen einen Buchstaben tragen, alle von derselben Welle gesteuert (ein Viertel der Bildbreite ab linkem Bildrand, wahrscheinlich die Geschossflugzeit). In der **Translation** (Verschiebung im Bild auf/ab) hängen die Formkörper ebenfalls alle von derselben Größe ab (Bildecke unten links, zweite Welle von unten, Elevation der Rohre – hier hat es zwischen 1941 und 1943 eine grössere Änderung gegeben!). Der **Abgreifstift**, welcher bei den angeschriebenen Formkörpern seitlich auf die Oberfläche drückt, steuert je die **Translation** der sieben flachen Formkörper, welche in der **Rotation** paarweise synchron gesteuert werden (d.h. durch insgesamt vier Variablen). Der **Ausgang** der flacheren Formkörper geht durch eine **Hebel-Kaskade** zu drei „Mikrometern“, die je mit einem Handrad verbunden sind (Hand-Korrekturen von Tempierzeit, Seitenwinkel, Elevation), und am gegenüberliegenden Ende drei **elektrische Kontakte** tragen: ein Mittelkontakt kann mit „oben“ oder „unten“ in Verbindung stehen und steuert die drei nahe liegenden Motoren, deren Ausgang wiederum die Bewegung der Mikrometer-Gehäuse beeinflusst. Das ist somit eine **elektrische Nachführung** der Variablen, d.h. eine Neu-Einspeisung von Kraft. Die el. Drähte sind hier nicht eingezeichnet. Die Motoren und die Handräder sind angeschrieben mit „**Tempierkorrektur**“, „**Seitenwinkelkorrektur**“ und „**Elevationskorrektur**“, wobei die Motoren ein deutliches **Summenzeichen** tragen. Die Hebelgestänge am Ausgang der Formkörper können also mehrere Größen **zusammenmischen**, welche alle zur entsprechenden Korrektur beitragen. Die „flachen“ Formkörper (jeweils links) scheinen die relative **Gewichtung** beim Zusammenmischen zu bestimmen, die „hohen“ Formkörper geben die Korrekturen (von links nach rechts) für Luftgewicht, Wind längs, Anfangsgeschwindigkeit, Wind quer – immer als Funktion von Geschossflugzeit und Elevation der Rohre. Der Querwind (oben ganz rechts) hat nur noch einen Einfluss auf den Seitenwinkel. Die **Handräder** ermöglichen letzte Korrekturen, wenn die beobachteten Schüsse in der Höhe oder Seite falsch liegen, oder wenn die Granaten zu früh oder zu spät explodieren.

**Insgesamt bewirken alle diese Formkörper also letzte Fein-Korrekturen für die Lage der Schüsse:** Alle nötigen Winkel und Zeiten für die Kanonen sind bereits anderweitig aus der Flugzeugbewegung ermittelt worden. Dazugemischt werden am Schluss noch Einflüsse wie der Wind oder eine veränderte Anfangsgeschwindigkeit. - Ganz oben ist die Zerlegung des Windes in eine Längs- und Querkomponente. Rechts davon sind (an den beiden obersten Wellen) zwei „Differenziale“: Das sind **Additionsmöglichkeiten**, analog dem Differentialgetriebe beim Auto: Drehzahl Antriebswelle =  $\frac{1}{2}$  von (Drehzahl Rad links + Drehzahl Rad rechts). Damit können zwei unabhängige Größen addiert, d.h. zusammengemischt werden.

### E) Getriebeplan des Deutschen Kommandogerätes 36 und des Britischen Gerätes VICKERS PREDICTOR:

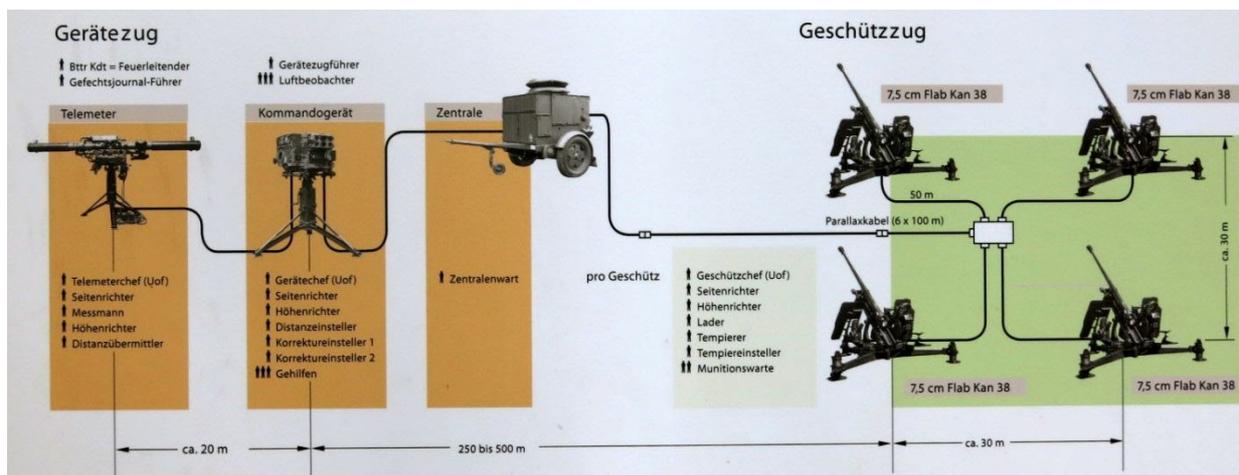
Unkommentierte Wiedergabe, entnommen aus Ref. 1, p. 127 und 154:



## Der Rechner in der ganzen Flak-Batterie:

Darstellung im Museum Dübendorf, hier gezeigt am Beispiel des Rechners GAMMA-JUHASZ. Ganz links Telemeter zur Distanzbestimmung, dann der Rechner, eine Zentrale mit Stromerzeugung (mit Benzinmotor und Akku), längeres Kabel zu den Geschützen (angeschrieben: bis 6 mal 100 m), Verteiler, Geschütz-kabel 50 m.

Pro Geschütz braucht es 8 Mann, am Rechner 9, am Telemeter 5, total 53 Mann für die Batterie (plus Ablösung).



## Verwendete Literatur:

1) Buch „**Flak-Kommandogeräte**“, Oberstingenieur Alfred Kuhlenkamp, 1943, VDI-Verlag GMBH (Verein Deutscher Ingenieure). 176 Seiten. Man spürt den Fachmann des Heereswaffenamtes! Viele geometrische Skizzen. Einzelgetriebe, Integratoren, elektr. Nachführungen. Gute, aber sehr dichte Erklärungen über die gesamte Rechnerstruktur bei drei Geräten. Nichts über Bedienung, Mannschaft, Organisation in der Batterie, Geschütze, Erfolg am Ziel.

Das Buch ist in ETHZ-Spezialbibliothek HDB vorhanden, Signatur R 1977 / 752, Standort Kammer 7. Ein weiteres Exemplar steht in der Fachhochschule Jena = Ernst Abbe-Hochschule Jena, mit der Signatur A05107. Standort: Magazin 2. Auch die „Bibliothek am Guisanplatz“ in Bern hat ein Ex. Die Wiedergabe der historischen Diagramme erfolgt mit dem Einverständnis des (Nachfolge-) VDI-Verlages.

2) Sonderheft „**Flugabwehr**“, A. Kuhlenkamp, VDI-Verlag GMBH, 3. Aufl. 1940 (1., 2. Aufl. 1938,39) Es werden auch Geschütze besprochen, Flak-Visiere, Scheinwerfer, Horchgeräte, Zünder etc. Auf 26 Seiten wird über die Rechengetriebe und Kommandogeräte geschrieben, ausführlich auch über Reibradgetriebe (Integratoren). Bei den Kommandogeräten wird nur das VICKERS detailliert beschrieben.

3) **Jenaer Jahrbuch zur Technik- und Industriegeschichte**, Band 11, 2008, Verein Technikgeschichte in Jena e.V. Beitrag von Klaus-Dieter Gattnar (arbeitete 1956-1991 bei ZEISS, Jena): „Kommandogeräte zur Flugabwehr – von 1915 bis 1945 in den Zeiss-Werken entwickelt und produziert“. Beitrag Gattnar: 91 Seiten. Andere Fabrikate als ZEISS-Produkte werden kaum besprochen. Thematisch äusserst breit angelegt, viele Bilder und Skizzen, Konstruktionsdetails, Herstellung. Hinweise zur Entwicklung der Funkmessgeräte FuMG (=Radar) - Das Buch ist erhältlich im Buchhandel oder bei (Adresse 2014) greger@technikgeschichte-jena.de

4) Original Pathé-Film 1939 zum Britischen „Gun Predictor VICKERS“, der im (symbolischen, d.h. im Werbe-) Betrieb gezeigt wird:

<http://www.britishpathe.com/video/predictions-while-you-wait>

5) Beschreibung VICKERS predictor, ab p.11-13 (auch andere britische Geräte):

<http://sydney.edu.au/engineering/it/research/tr/tr223.pdf>

(Falls die Adresse nicht mehr funktioniert: British mechanical gunnery computers in world war II, Allan G. Bromley)

6) Grössere Arbeit über „Computing before computers“, dort Kapitel 5, Analog Computing Devices, Allan Bromley: breite Sammlung, inkl. tide prediction von Lord Kelvin. Antiaircraft gun predictor VICKERS auf p. 186-190

<http://ed-thelen.org/comp-hist/CBC.html>

### **Bildquellen:**

Titelseite oben:

„Fliegerabwehr“, Herrmann Schild, p.19, Dübendorf 1982, Neuauflage 2005

Mit freundlicher Erlaubnis des Flieger- und Flab-Museums Dübendorf

Titelseite unten:

Aus Ref. 3, p. 25.

Mit freundlicher Erlaubnis des Jenaer Jahrbuches zur Technikgeschichte und des Podzun-Pallas-Verlages (früher Nebel-Verlag).

Alle übrigen Bilder wurden durch den Verfasser aufgenommen im Flieger- und Flab-Museum Dübendorf

Der Technik-Ausgräber:

André Masson, CH-4900 Langenthal

Herbst 2014