

Historische Militär-Rechner:

## **Bomben-Abwurfrechner BT-9 des HUNTER (ein SAAB-Export-Produkt)**

Patentiert in USA durch den Erfinder E.A. Wilkenson als rein mechanischer Rechner **1949-52**  
(in Schweden gemäss US-Patent offenbar schon 1941 angemeldet)

Eingebaut als elektromechanischer Rechner BT-9 in die schweizerischen HUNTER **1964-66**

Im Dienst, bis das Flugzeug HUNTER aus dem militärischen Betrieb ausscheidet **1994**

Der Rechner hat sich seit seinem Urzustand stark verändert; er rechnet im Zustand 1964 elektrisch, unter Verwendung von Transformatoren und von mechanisch verstellten Drahtwiderständen, welche gemäss der Fluglage (Winkel, Druck, Geschwindigkeit etc.) stets nachgeführt werden. Die Aufbereitung der Flugvariablen bis zum rechenbereiten Widerstand ist aufwändig und benötigt viel Mechanik. Die eigentlichen Rechnungen erfolgen ausschliesslich mit dem Ohm'schen Gesetz, mit Serie- und Parallelwiderständen - wenige Elektronenröhren helfen beim genauen Erkennen von Nullstellen.

Der Rechner war das erste Exportprodukt von SAAB. Nach der Schweiz wurde der Rechner auch nach Frankreich, in die USA und nach Dänemark exportiert, und natürlich in Schweden selber verwendet.

### **Inhalt:**

Erster Blick in den elektromechanischen Rechner von 1964	Seite	2
Vorbemerkungen		2
Ein Vorläufer: rein mechanischer Rechner von 1949		3
Was der Rechner tut, Aufgabe, Bombenwurf, Winkel-Bilanz		5
Nachführung von vier Variablen, Umwandlung in aktuelle Rechenwiderstände		7
Wie der Rechner rechnet, Widerstands-Rechnen		17
Einwände, Fragen, Unsicheres		21
Raketen, Kreisel, Relais-Ebene		23
Anhang Nr.1 (Verwirrungen), Nr.2 (Reflex-Visier) und Nr. 3 (Digitales zu dieser Zeit)		28
Zusammenfassung, Gesamt-Schema		38
Quellen, Literatur		40



Das Flugzeug Hawker HUNTER Mk. 58, lange Zeit das Rückgrat der bodennahen Schweizerischen Luftwaffe. Bild: J. Hostettler, U. Hofer, Hunterverein Interlaken – Danke für die Erlaubnis!

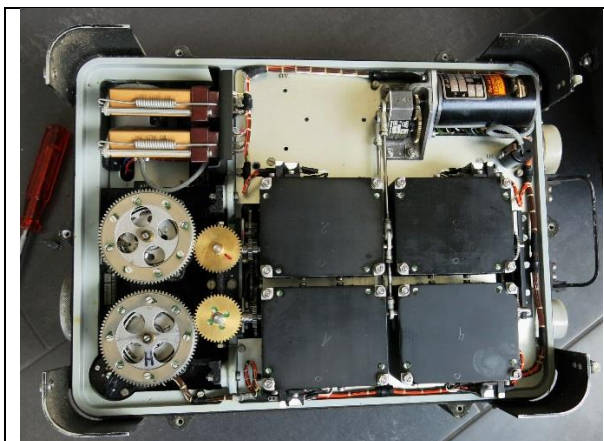
Um einen **ersten Eindruck** zu erhalten, wird der Rechner zuerst einmal geöffnet – er war ringsherum plombiert, noch vom Flugplatz Interlaken her. Der Rechner konnte über Ricardo ersteigert werden.



**Hauptrechner:** Metallkoffer von 42 x 30 x 18 cm., hinter dem Piloten fest im Flugzeug eingebaut. 18 kg. Zwei Stecker mit elektr. Anschlüssen, zwei Schläuche vom Pitot-Rohr her (Luftdruck). Unten ist eine Öffnung zum Druckausgleich. Zusätzlich hat es eine Kreisel-Einheit zur Orientierung, und diverse Anzeigen / Einstellungen im Cockpit.



**Oberste Etage:** sauber aufgeräumt, keine Kabel sind sichtbar. Zwei Röhrenverstärker (oben links), Transformator mit 7 inneren Transformatoren (5 Rillen im Blech), 14 Relais (2 x Umschalter). Rechts unten die Luftdruck-Einheit, oben rechts eine Uhr, daneben dunkel das letzte Relais zur Bombenauslösung. Links 2 Stecker u. Pitot-Eing.



**Unterste Etage** von unten her gesehen: 4 **Rüttel-Motoren** zur Nachführung zweier Winkel und zweier Luftdruck-Werte (dunkle Kästen). Links unten luftdichte Barometer-Einheit mit Luftdruck-Dosen und zwei grossen Zahnrädern.



**Mittlere Etage** von oben her gesehen: Vier Metallkästen mit je mehreren **verstellbaren Drahtwiderständen** – mit dem aktuellen Wert dieser Widerstände wird die Berechnung durchgeführt. Rechts die Luftdruck-Einheit.

## Vorbemerkungen

### Flieger-Latein

Der Verfasser dieser Arbeit ist nicht Pilot und kennt die Feinheiten der Flugzeugbewegung nicht. Der Rechner kann nur im Zusammenhang mit der Flugtechnik verstanden werden. Die freundliche Hilfe von Hunter-Pilot **Rudolf Wicki** für allerlei Einstiegsfragen und die wertvolle Unterstützung des **Huntervereins Interlaken** (Ref. 4) wird hier wärmstens verdankt: Das war unerlässlich zum Einstieg!

### **Zeitgenössische Unterlagen:**

a) **Englischer Text** Patent 1949/52: Es handelt sich um den mechanischen Vorläufer-Rechner. Ref. 1

b) **Schwedischer Text** «Beskrivning Bombsikte BT9C». Herausgegeben von der Schwedischen Flygwapnet 1971. Ref. 2

Ein englischer, französischer oder deutscher Text war im Krigsarkivet und im Riksarkivet nicht aufzutreiben, trotz der Exporte dieser Rechner nach Frankreich und den USA. Die Google-Übersetzung Schwedisch > Deutsch war eine grosse Hilfe, aber bei der geringsten Formel, bei jedem Spezialzeichen kommt die Übersetzung ins Stottern – das gab es laufend.

c) Zeitgenössischer NZZ-Artikel 1964 (Ref. 3)

d) Unterlagen vom Flugplatz Interlaken, wo die Rechner damals technisch gewartet wurden (Ref. 4). Details über die Ebene der vielen Schalt-Relais waren nur hier zu finden.

**Militär:** Das Ziel aller militärischer Aktivitäten ist nicht menschenfreundlich. Es geht bei dieser Arbeit um das Studium früher Analog-Rechner. Dass der Eindruck entsteht, mit solchen Technik-geschichtlichen Arbeiten würde das Kriegshandwerk oder eine kriegführende Partei verherrlicht, ist in der Schweiz kaum zu befürchten. **Die Computer-Geschichtsschreibung hat grosse Lücken im Bereich der militärischen Rechner.** Diese Lücken aufzuhellen, ist die Absicht der vorliegenden Arbeit.

Es geht darum zu verstehen, **wie der Rechner funktioniert**. Ob das Problem bezüglich Bombentreffpunkt in allen Feinheiten richtig modelliert ist, kann nicht gültig entschieden werden, der Aufwand wäre viel zu gross.

### **Schwierigkeiten beim Lesen der englischen und schwedischen Beschreibungen:**

Es gibt zahlreiche Variablen – und oft noch «korrigierte» Versionen, d.h. der Wert wird vermehrt, vermindert um den Luftwiderstand, um einen Hilfwinkel – je mit anderen griechischen Buchstaben als Abkürzung.

Das Lesen der Unterlagen wird oft dadurch erschwert, dass man leicht den Überblick verliert:

- Ist jetzt die Rede von einer **physikalischen Grösse**, z.B. einer Zeit in Sekunden, oder einem Luftdruck in mbar, dem Anstellwinkel des Flügels in Grad ?
- Oder ist der **Korrekturwinkel** der Bomben-Flugbahn gemeint im Abwurf-Punkt, verursacht durch eben diese Variablen ?
- Oder ist die Rede vom **Ohm-Wert** des Widerstandes, welcher den Korrekturwinkel im Rechner darstellt ?

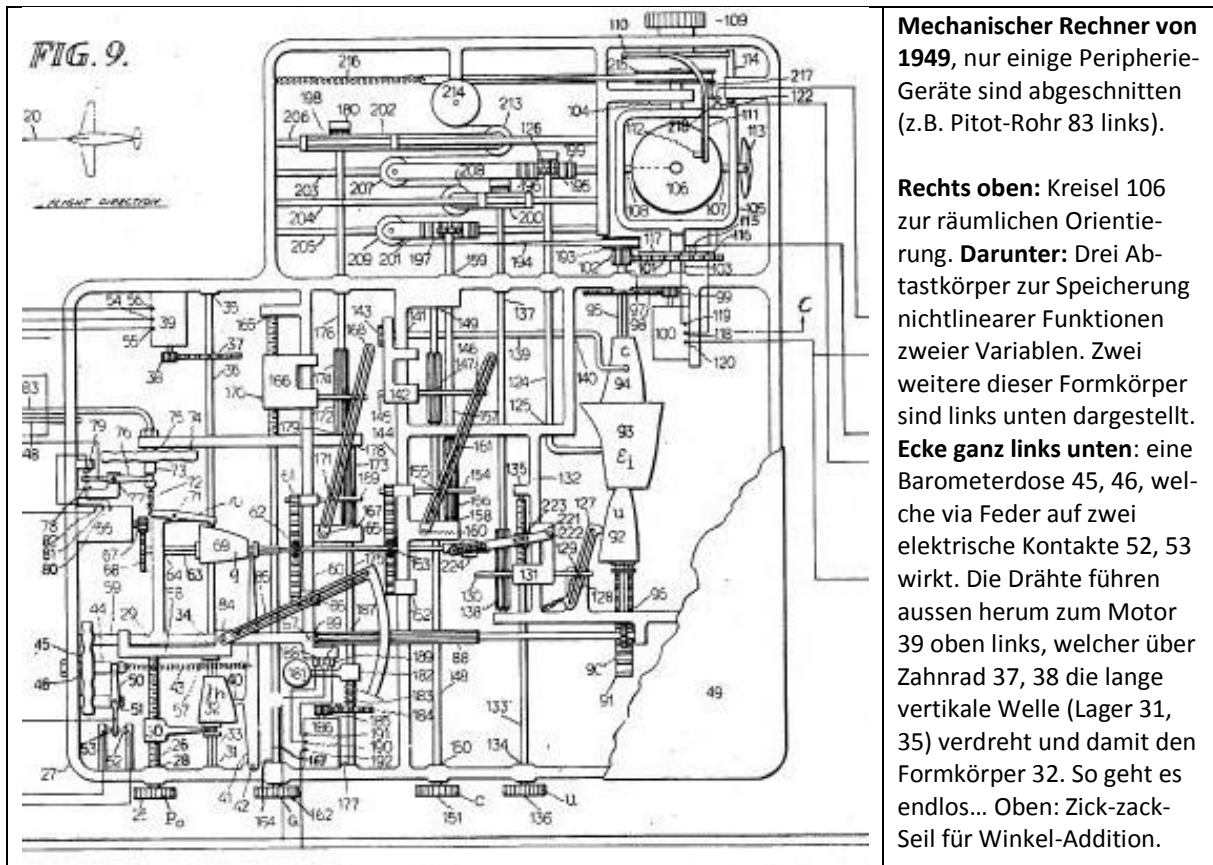
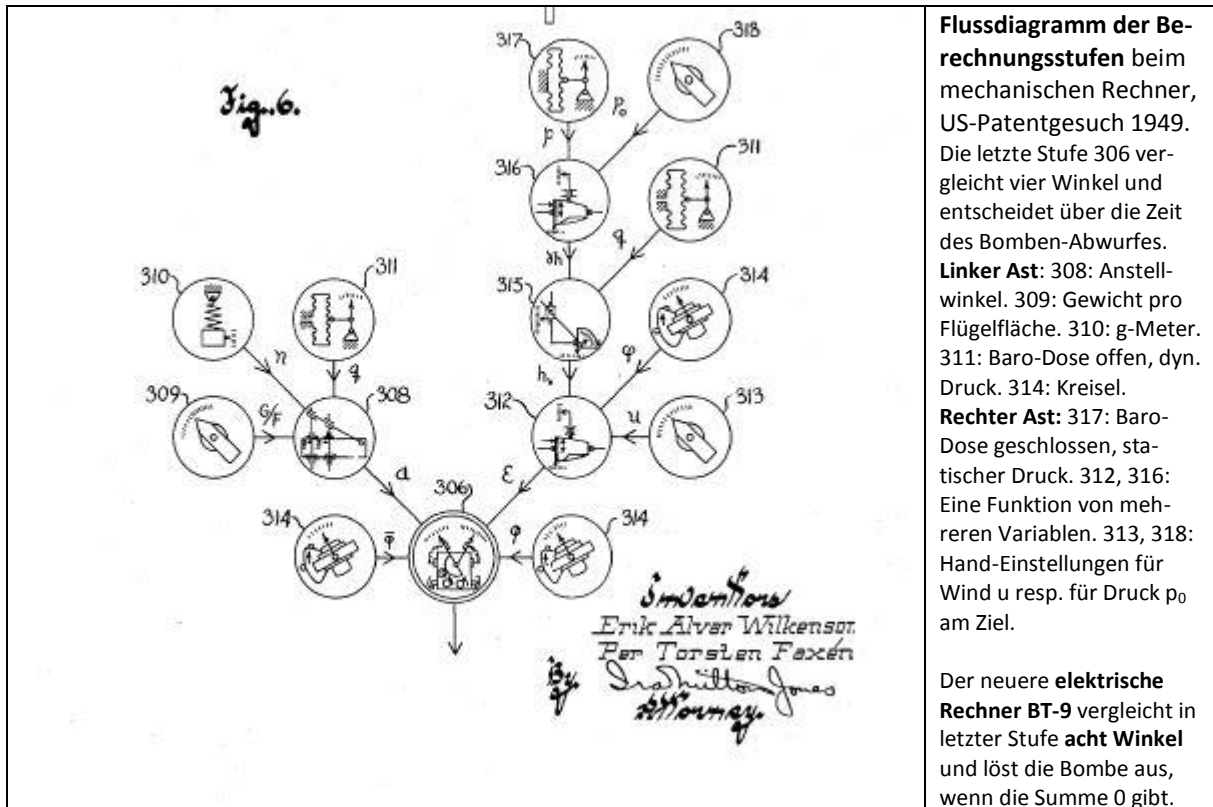
>>> mbar oder Winkelgrad oder Ohm ?? <<<

**Druck-Werte:** Es wird hier gesprochen vom **statischen Druck** (entsprechend der Flughöhe) und vom **dynamischen Druck** (entsprechend der Geschwindigkeit des Flugzeuges). Diese Grössen stehen dem Rechner nach der Druckmess-Einheit mit vier Barometer-Dosen und einer Differenz-Bildung tatsächlich zur Verfügung. Vom Staudruck und vom Totaldruck wird möglichst nicht gesprochen.

---

### **Impressionen zum rein mechanischen Vorläufer-Rechner von 1949 (Patentschrift US 2'609'729):**

Ohne alles im Detail zu verstehen, einfach als Erinnerung an vergangene Zeiten... Diese Anlage wurde *nicht* im HUNTER eingebaut, sondern ein jüngerer Nachfolgemodell, das die Berechnungen elektrisch durchführt.



## Was der Rechner tut

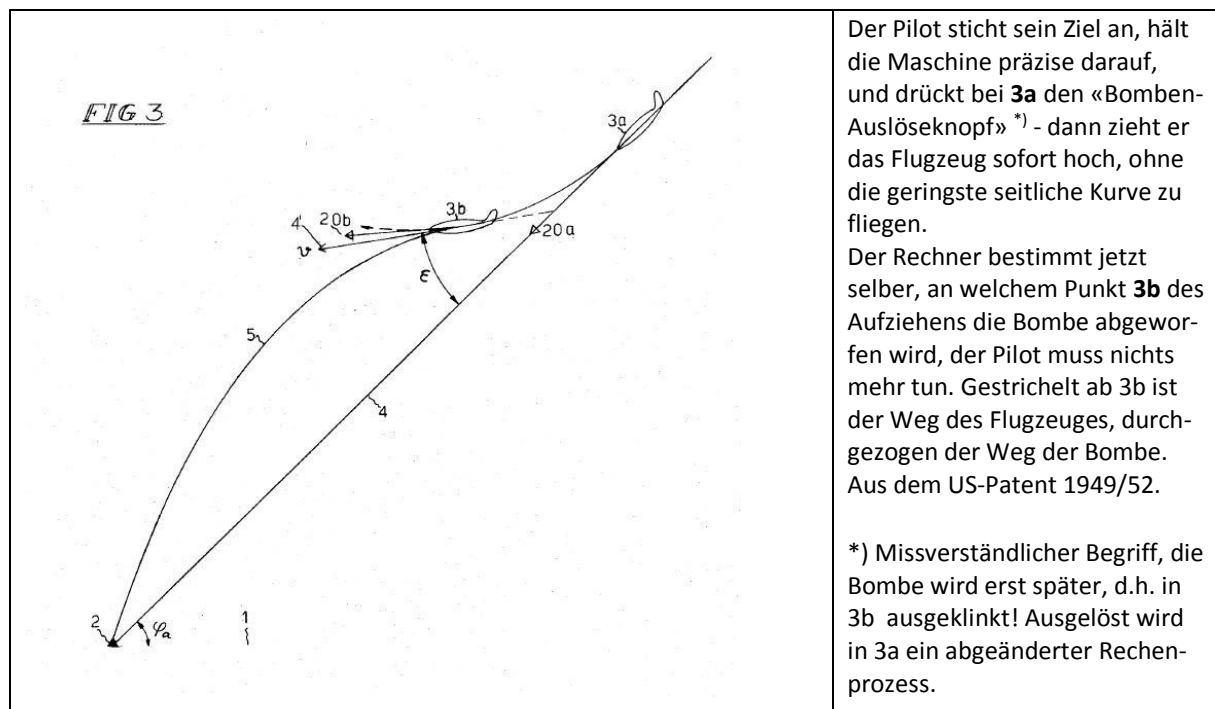
**Ohne Hilfe eines Rechners** könnte man eine Bombe einigermaßen zielsicher ins Ziel bringen, wenn das Flugzeug von hoch oben ganz oder fast **senkrecht** nach unten stürzt, das Ziel anvisiert, die Bombe löst – und dann wieder aufzieht. Der gestreckte Weg für die Bombe wäre einfach und präzise, aber für den Piloten ist das nicht angenehm, er muss wieder wegkommen.

Etwas gekrümmter und deshalb leicht ungenauer wird die Flugbahn der Bombe, wenn der Pilot steil ansteigt ( $50^\circ$  bis  $70^\circ$ ), einen **Hilfspunkt hinter dem Ziel** anvisiert, die Bombe noch im Stechflug auslöst – und dann wieder hochzieht. Das gibt für das Flugzeug eine realistischere Flugbahn. Es braucht **Zielhilfen**, um die Distanz «hinter dem Ziel» mit der Krümmung der Bomben-Flugbahn zu korrelieren. In Ref. 5 ist dieser Zielvorgang beschrieben bei der Bombenzielanlage BZA 1 der Deutschen Luftwaffe.

Der **SAAB-Rechner** ermöglicht eine noch flachere Flugbahn ( $5^\circ - 55^\circ$ ), mit sanfterem Wegziehen, und dennoch ein Anvisieren des **exakten** Zieles; der Pilot braucht also nicht mehr abzuschätzen, welchen Punkt hinter dem Ziel er anvisieren soll, damit trotz gekrümmter Flugbahn die Bombe das Ziel erreicht. Ein **typisches numerisches Beispiel** aus Ref. 3: Sticht das Flugzeug mit  $20^\circ$  auf ein Ziel herunter, mit  $v = 300$  m/s, Bombenauslösung in 2700 m Höhe, so fliegt die Bombe horizontal 7 km weit bis ins Ziel. Beim Abwurf zieht das Flugzeug schon wieder hoch, es kommt der gegnerischen Flab nicht zu nahe. **BT-9** heisst «**Bomb tossing**» = Bombenwerfen. (Ref. 3 wählt sehr optimistische Distanzen!)

Die **Bombardierung ab Horizontalflug**, z.B. aus grosser Höhe, ist hier kein Thema. Das braucht grosse Flugzeuge, bei denen man mittels Fernrohren aus der Pilotenkabine nach unten hinausschauen kann – was beim HUNTER ganz unmöglich ist. Man sagt oder man liest, dass es fast unmöglich sei, mit horizontaler Bombardierung (ab grosser Höhe?) etwa ein Schiff zu treffen.

In späteren Zeiten hat man mit dem Bombenrechner BT-9 auch ab ca. Horizontalflug aus geringen Flughöhen geworfen, weil der Stechflug nicht mehr möglich war (etwas sei im Rechner mechanisch ausgeleiert gewesen, von einem gewissen Umbau des Rechners ist die Rede). Hier hat der Hunter beim Hochziehen die Bombe sogar **hochgeworfen**.



**Die folgenden Grössen spielen eine Rolle** bei der Bestimmung des Auslöse-Zeitpunktes:  
*Kursiv: Der Wert wird am Anfang von Hand eingegeben, bleibt fest und variiert nicht mehr während des Angriffes (der noch vorhandene Treibstoff kann während des Fluges nachkorrigiert werden).*

(r): Wird laufend ausgerechnet      (m): wird laufend gemessen

Höhe über Ziel als Druckdifferenz (r)	Geschwindigkeit des Flz. (r)	
Flugzeugmasse inkl. Treibstoff u. Bombenlast	Flügelfläche	Anstellwinkel (r)
Beschleunigung nach unten (m)	Form der Bombe	dynam. Luftdruck (m)
Windgeschwindigkeit am Ziel	Luftdruck am Ziel	stat. Luftdruck (m)
Aktueller Tauchwinkel des Flugzeuges (m)	Tauchwinkel zum Zeitpunkt «erfasst» (r)	
Zeitmessung ab «erfasst» (m)		

**Grundidee des Rechners:**

Von allen möglichen Einflüssen musste vor der Konstruktion des Rechners ausgerechnet werden, was sie ausmachen bezügl. **Flugzeug-Neigungswinkel am Auslösepunkt**, wenn die Bombe ihr Ziel treffen soll. Geschwindigkeit, Flughöhe, Luftwiderstand... - **alles wird auf Winkelkorrekturen** umgerechnet. Am Ende werden alle diese Winkel und Zusatzwinkel zusammengezählt, und wenn die Neigung des Flugzeuges der Summe dieser Winkel entspricht, wird die Bombe automatisch ausgeklinkt – der Pilot braucht nichts mehr zu entscheiden.

Die Bombe wird abgeworfen, wenn der aktuelle Tauchwinkel des Flugzeuges gleich gross ist wie die laufend durchgeführte Summierung von sieben Winkeln:

$\gamma_1 = \varphi - \varepsilon - \delta - \alpha + \tau + \alpha_s - \Delta\gamma$  Diese Grössen bedeuten: Flugzeug-Neigung = Korrigierter Tauchwinkel (um Luftwiderstand der Bombe korrigiert) im Moment des Zielens - was das Flugzeug seit der Ziel-Erfassung hochgezogen wurde - Windkorrektur am Ziel - Anstellwinkel (aus gemessener Beschleunigung gerechnet) + Parallax-Korrektur (Zeit und Weg seit Knopfdruck) + Anstellwinkel-Korrektur (Flügelwinkel bei Nullauftrieb) - Korrekturwinkel für Zeitverzögerung beim Ausklinken der Bombe.

Bild links Ref. 1      Bild rechts Ref. 2

<p>Jetzt wird's genau... kurz hinschauen genügt nicht mehr. Unzählige Winkel im Ablösepunkt. Linie 4 ist die Visierlinie zum Ziel, Linie 5 ist der Bombenweg.</p>	<p>Die Achse des Flugzeuges entspricht nicht seiner Bahnkurve, hier während des Aufziehens. <math>\alpha</math> = Anstellwinkel, wird laufend ausgerechnet. <math>\gamma</math> wird vom Kreisel gemessen.</p>

Etliche Details über die vielen Winkel und Winkelkorrekturen bleiben eher unverstanden. Näheres findet man auch unter den eigentlichen Rechenkreisen, vgl. p. 18,19. Hier werden jetzt **zwei Schwerpunkte** besprochen:

- **Wie werden die Variablen in Widerstände umgewandelt, die zur Berechnung nötig sind ?**
- **Wie rechnet der Rechner ?**

Alle vorkommenden Variablen werden massstabsgerecht in **veränderliche elektrische Widerstände** umgewandelt, mit denen anschliessend gerechnet wird. Da während des Fluges praktisch alle Variablen sich laufend verändern, muss auch die Umwandlung der Werte in elektrische Widerstände laufend und möglichst in «realtime» erfolgen.

**Zwei Winkel** und **zwei Druckwerte** lösen eine besonders aufwendige Umwandlung aus:

- $\epsilon$  um welchen Winkel seit Erfassung des Zieles (Knopfdruck des Piloten) das Flugzeug hochgezogen worden ist – aber nicht in der Flugzeugachse, sondern in der Bewegungsrichtung
- $\varphi$  ein berechneter, korrigierter Tauchwinkel (nicht der aktuelle Tauchwinkel) des Flugzeuges
- $p$  Statischer Druck, entspricht der Höhe, gemessen mit zwei Barometerdosen
- $Q_c$  Dynamischer Druck, entspricht der Geschwindigkeit, gemessen mit zwei Barometerdosen

Die Werte dieser vier Grössen werden laufend konstruiert, rechnerisch und motorisiert nachgeführt. Als Folge des Nachführprozesses stehen dann etliche Drahtwiderstände richtig eingestellt zur Verfügung, welche vom Rechner benutzt werden. Pro Variable können es zwei bis fünf unterschiedliche Draht-Widerstände sein, die alle gleichzeitig eingestellt werden und dem Rechner zur Verfügung stehen. Sobald der Pilot das Ziel erfasst hat, werden mit seinem Knopfdruck die drei letzten dieser vier Variablen **eingefroren** und verändern sich nicht mehr bis zum Abwurf der Bombe.

### **Nachführprozess für die Variable $\epsilon$**

Winkel bisher hochgezogen seit  
Knopfdruck

Es wird laufend die Gleichung gelöst gehalten:  $\Phi \cdot E = Y$

$\Phi$  ist eine Funktion der ebenfalls nachgeführten Variablen  $\varphi$  (korrigierter Tauchwinkel):

$$\Phi = 0.067 \cdot \varphi + 2.44 \cdot \varphi^3$$

E ist eine Funktion von  $\epsilon$ , dessen Nachführung hier besprochen wird:

$$E = \cos(30^\circ - \epsilon) \cdot \sin \epsilon$$

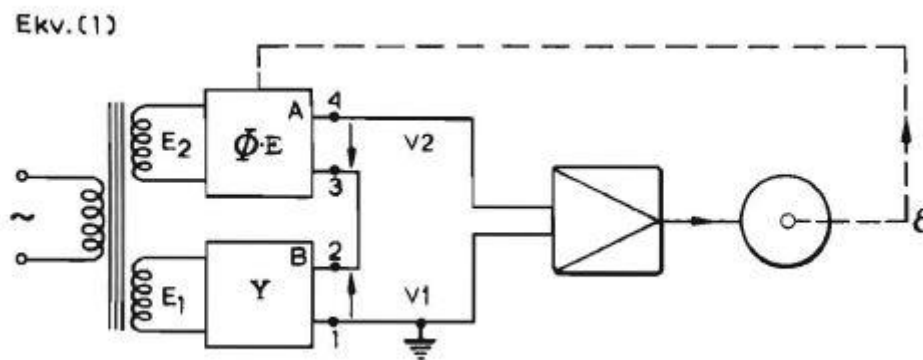
Y ist eine Kombination aus drei Druck-Werten: statisch und dynamisch in der Höhe des Flugzeuges, statisch im Ziel.

$$Y = 2 g h / v^2 \text{ oder aus den Druckwerten: } Y = K_8 \cdot \frac{p_1 - p}{q_c} \cdot \frac{p + K_7 \cdot q_c}{p + K_5}$$

K5, K7, K8 sind Konstanten

Alle Variablen brauchen einander – um den richtigen Wert jeder einzelnen Variablen zu finden. Von der Haupt-Rechnung ist hier noch gar nicht die Rede.

Der laufende Abgleich geht wie folgt, so dass am Schluss der richtige Wert für  $\epsilon$  vorliegt:

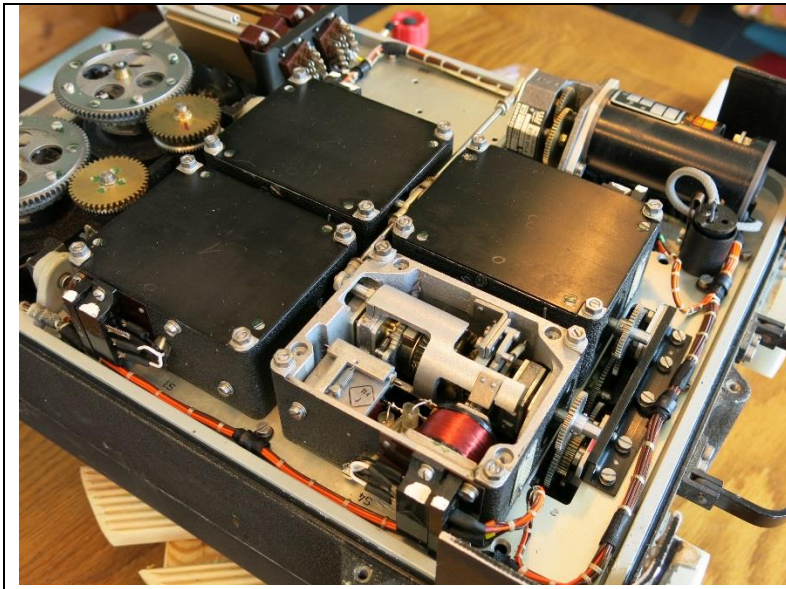


Zwei Recheneinheiten A und B bilden den Wert des Produktes von  $\Phi \cdot E$  resp. von  $Y$  (wie gerechnet wird – siehe später). Ab Transformator nimmt man die Differenz, d.h. mit unterschiedlichem Wicklungssinn (Pfeile am Ausgang der Blöcke). Die Differenz der beiden Spannungen wird mit Hilfe einer Röhre ca. 200 mal verstärkt, und dann durch die Rückkopplung mit laufender Veränderung von  $\epsilon$  möglichst auf null gehalten – die Gleichung  $Y = \Phi \cdot E$  ist damit laufend erfüllt, und der Wert von  $\epsilon$  ist jederzeit richtig eingestellt. Beim weiteren Flug bewegen sich  $\varphi$ ,  $\epsilon$ , und zwei der drei Druck-Werte (dyn. Druck, stat. Druck, Ziel-Druck).

Auf den Verstärker (Quadrat mit Dreieck) folgt ein «Rüttelmotor» (Kreis mit Punkt) mit zwei möglichen Drehrichtungen:  $\epsilon$  aufwärts, resp.  $\epsilon$  abwärts, und zwar wie folgt: Der Ausgang der Verstärkerröhre wird in einer nachfolgenden Doppel-Triode mit der Heizspannung gemischt (400 Hz); ein langsamer Nulldurchgang der Signalspannung (nicht 400 Hz) führt mit diesem Trick zu einer Umpolung der beiden Ausgangsdrähte. Letztere werden auf ein vor-polarisiertes, bistabiles Relais gegeben (Spulen über einen Magneten gewickelt). Das Relais hat zwei Endlagen, zwei Ausgänge und gibt Spannung auf eine der beiden Spulen im Rüttelmotor ( $\epsilon$  aufwärts oder abwärts verstellen). Unten abgebildet die vier Rüttel motoren im untersten Stockwerk des Rechners: Vier dunkle Kästen, einer ist geöffnet. Zwei der vier Motoren werden durch die bistabilen Relais angesteuert, zwei direkt durch die Druck-Dosen (Flughöhe und Geschwindigkeit), hier ohne bistabile Relais.

Jetzt gehen wir näher heran und öffnen einen der vier Rüttel motoren:

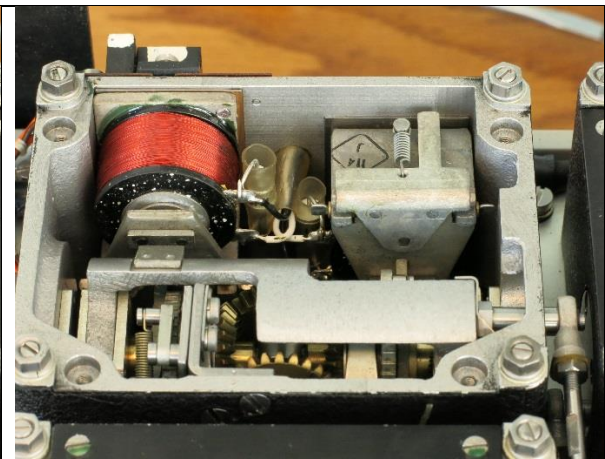
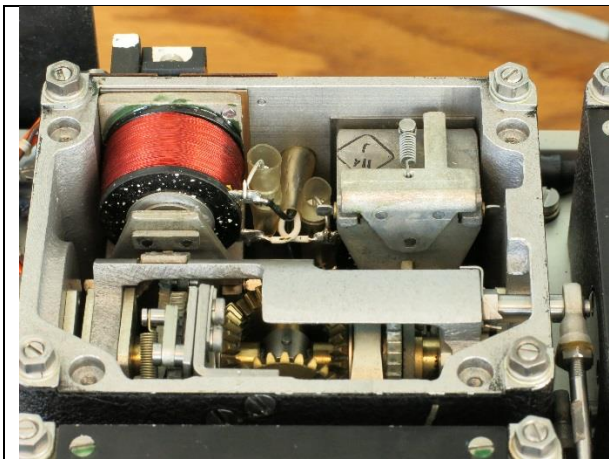




Rechts hinten: ein schneller Elektromotor, 10'000 T/Min. Links davon Untersetzung, Exzenter, Schubstangen. Die zwei Stangen bedienen alle vier Motoren mit einer Rüttelbewegung, 25 Bewegungen pro Sekunde!

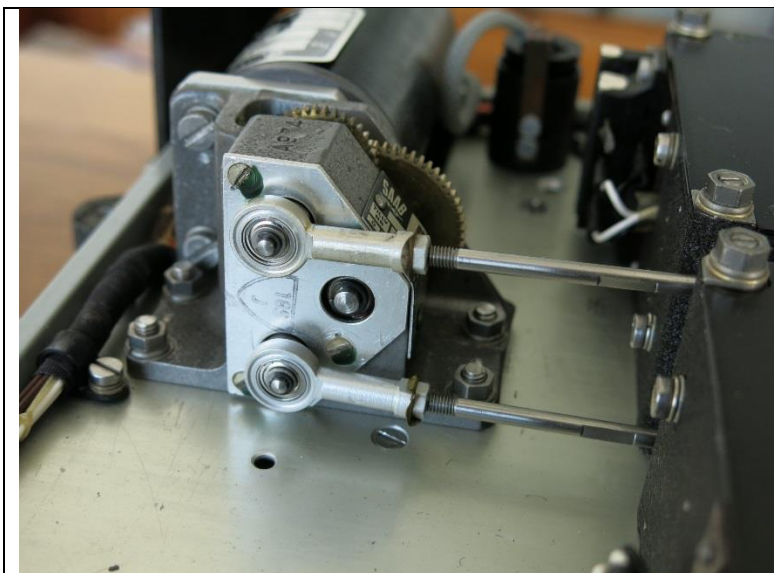
Im Kasten: Der helle, verzweigte Rotor vibriert mit 25 Hz um ein Differentialgetriebe herum. Zwei Spulen (anders eingebaut) bestimmen, bei welcher Klinke der Rotor einhängt – das gibt am Zahnrad-Ausgang rechts unten eine Bewegung vorwärts oder rückwärts.

Die Zahnräder führen zu den Widerstandskasten auf der Rückseite und verschieben dort simultan bis zu 5 Reiter an den 5 Drahtwiderständen – die Variable  $\epsilon$  hat den richtigen Wert!



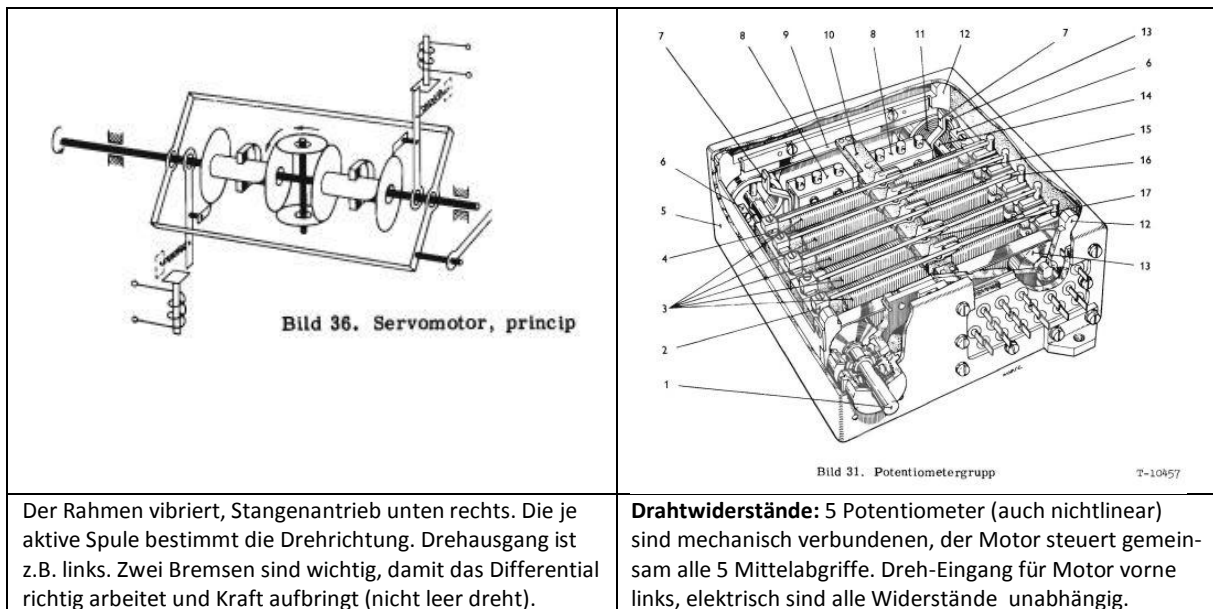
Die beiden Endpositionen des vibrierenden Rahmens...

.. unterscheiden sich wenig. Darunter Differentialgetriebe.



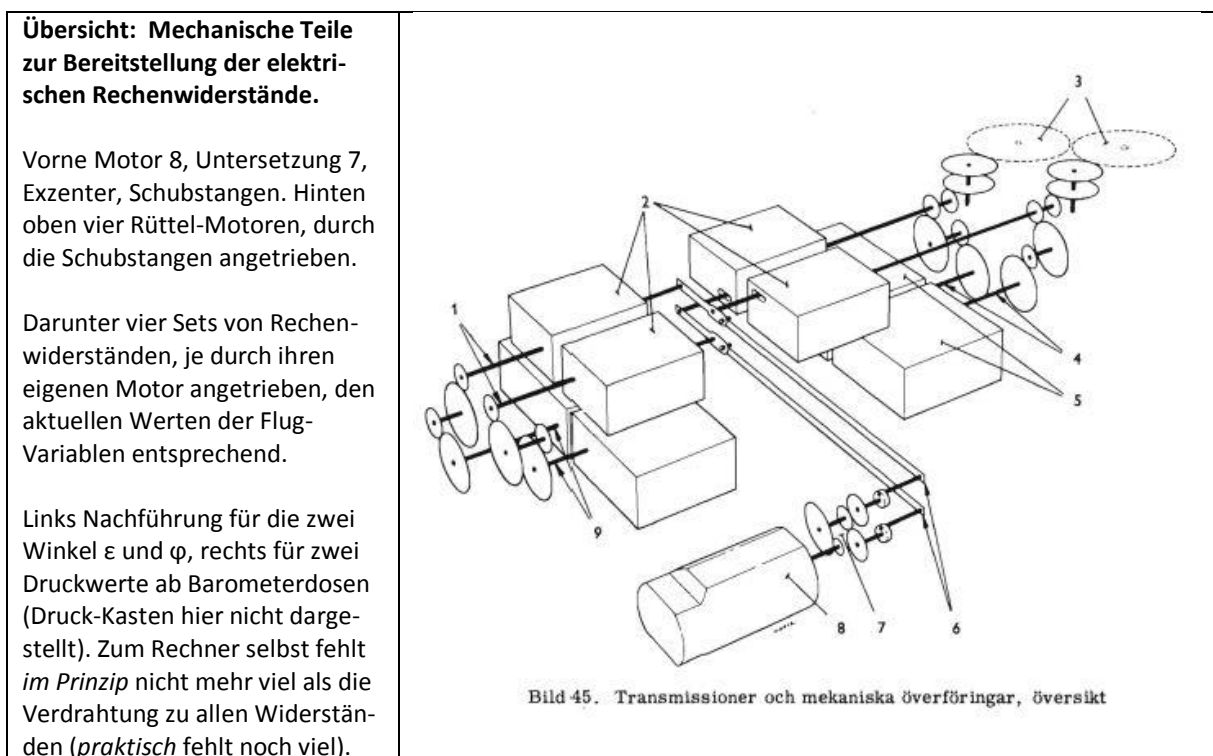
Die beiden Exzenter mit ihren Schubstangen. Dahinter unscharf der Motor.

Der maximale Weg der beiden Schubstangen beträgt ungefähr 3 mm. Die beiden Exzenter sind um 90° versetzt, wahrscheinlich damit es ruhiger läuft. Die schwingende Masse im Motor ist ziemlich gross (im Skizzen-Bild weiter unten links: der Rotor ist als grosser, rechteckiger Rahmen gezeichnet).



Die «Brems» im Differentialgetriebe in den Original-Worten aus Ref. 4:  
 «Eine Sperrklinke verhindert die Rückwärtsbewegung der einen Seite des Differentialgetriebes während der Vorwärtsbewegung der andern Seite». Vielleicht gibt es auch beides: Sperrklinken für den Moment des Weiterschaltens, Bremsen gegen die Rückwärts-Beeinflussung einer Kraft vom Ausgang her.

Die **Metallkasten mit den Drahtwiderständen** liessen sich leider nicht öffnen, ohne den Rechner sehr tiefgreifend zu zerlegen – das wäre kaum zu rechtfertigen. Bis fünf Potentiometer, die Mittelabgriffe bei allen synchron sich bewegend, das kann man sich ja vorstellen. Bei SAAB wird ein Unterschied gemacht zwischen **Potentiometer** (drei Anschlüsse) und **Rheostat** (ein End-, ein Mittelabgriff genutzt).



**In Ref. 3 wird die vibrierende Bewegung anders und unrichtig wahrgenommen:** «Zur Verhinderung des Festsitzens der Schrittmotoren wird auf deren Anlenkhebel eine Schwingung von 25 Hz übertragen».

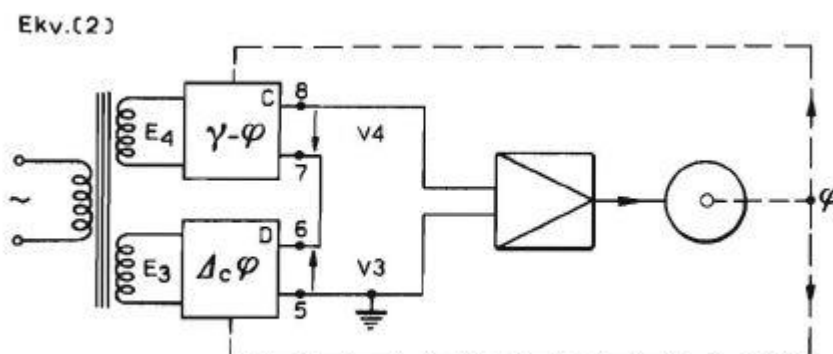
Das kann nicht richtig sein – der eigentliche Motor und Kraftlieferant zum Weiterdrehen der Zahnräder ist der mit 25 Hz schwingende Rahmen im Rüttelmotor. Die beiden Magnetspulen sagen nur, auf welcher Seite des Differentialgetriebes die Schwingung an den Ausgang angekoppelt wird.

Dies schon nur aus der folgenden Überlegung: Solange die zu regelnde Grösse höher ist als dem gegenwärtig eingestellten Wert entspricht, bleibt eine der Motorspulen eingeschaltet – aber dauernd, kontinuierlich; das gäbe also nur einen einzelnen Motor-Schritt, wenn die Spule antreiben würde, denn die Spule wird bei Dauer-Verstimmung nie mehr unmagnetisch. Die Rüttelbewegung verhindert nicht ein Festsitzen einer anderen Kraft – sie ist selber Ursache der Motorbewegung.

## Nachführprozess für die Variable $\varphi$

Tauchwinkel des Flugzeuges inkl.  
Bomben-Luftwiderstands-Korrektur

Wie steil das Flugzeug nach unten zeigt, wird eigentlich gemessen mit Hilfe des Kreiselsystems. Hier haben wir es jedoch mit einem «verbesserten Tauchwinkel» zu tun, da kommt noch der Luftwiderstand der Bombe hinein.



Die Nachführung erfolgt im Prinzip gleich wie oben besprochen: der Winkel  $\varphi$  wird in den Drahtwiderständen, hier aber in gleich zwei Recheneinheiten, motorisiert verändert. Der Motor (Kreis mit Punkt drin) ist der Rüttelmotor, fährt aufwärts oder abwärts. Die zu erfüllende Gleichung lautet:

Aktueller Tauchwinkel  $\gamma$  ab Kreiselsystem - korrigierter Tauchwinkel  $\varphi$  = Luftwiderstandskorrektur

**Ziel:** Ausgang Kasten C = Ausgang Kasten D, oder deren Differenz wird immer zu null ausgeregelt. In jedem Kasten C oder D sind nur aktiv nachgeregelte Ohm'sche Widerstände, die zum Rechenvorgang in Serie- und Parallelschaltungen mit anderen Widerständen verdrahtet werden. Die Trafowicklungen sind im Gegensinne gewickelt (Pfeil am Ausgang), damit es die Differenz ergibt.

## Nachführprozess für zwei Druckmessungen: Variablen $p$ und $q_c$

Der Rechner ist mit zwei Metall-Röhren direkt angeschlossen an das Pitot-Rohr, ev. Prandtl-Rohr des Fliegers (Staudrucksonde). Rohr am Flügel: Mit einem zentralen Loch vorne und seitlichen Öffnungen weiter hinten werden zwei Druckmessungen ermöglicht, wodurch sich die barometrische Höhe des Fliegers und seine Geschwindigkeit errechnen liesse (im Rechner wird nur mit dem Druck gerechnet).

Der Rechner BT-9 hat eine hermetisch abgeschlossene Einheit von gut einem Liter Inhalt. Darin sind vier Barometerdosen, je zwei und zwei gegeneinander arbeitend für grössere Ausschläge oder grössere Kraft. Zwei sind **Aneroide** (keine Luft drin), zwei sind **Eneroide**, wo dem Druck entsprechend Luft hineinkommt (sprachlich noch schön, noch nie so gehört). Bild zu den Druckdosen: Seite 36

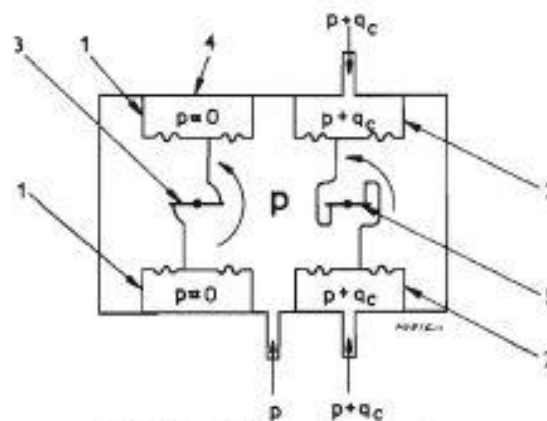


Bild 37. Mätarens princip

In der Druckeinheit befindet sich der **statische Druck**  $p$  des einen (meterlangen!) Rohres von der linken Flügelspitze her. In den beiden Eneroid-Dosen ist der Totaldruck, d.h. der statische und dynamische Druck zusammen. Gegen ihre Umgebung messen die beiden Luftgefüllten Dosen also den **dynamischen Druck**  $q_c$  (aus dem sich die Geschwindigkeit ermitteln liesse, wird aber nicht gemacht).

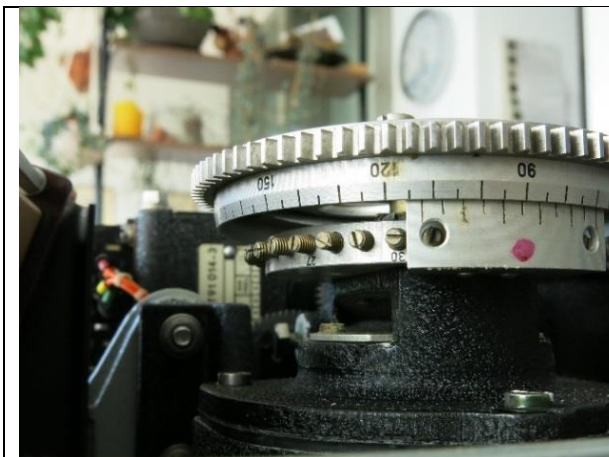
Das Volumen der druckdicht verschlossenen Büchse abzüglich Inhalt wird einen knappen Liter betragen. Sticht das Flugzeug auf ein Ziel, wird wegen der Druckerhöhung dauernd Luft in die Büchse geblasen, die langen Rohre stellen einen Widerstand dar – d.h. **man hat nie den echten Druck auf aktueller Höhe**. Das gilt auch für alle anderen Fluginstrumente. SAAB wollte zur Dimensionierung des Rechners die genaue Länge der Röhren vom Pitot-Rohr bis zum Rechner kennen.

**Messung des Druckes / der Druckdifferenz:** Es ist nicht so, dass man wie bei einem Barometer einfach die Durchbiegung der Baro-Dosen misst. Vielmehr bleibt jede Dose immer im **selben Verformungs-Zustand**. Zwei grosse Spiralfedern innerhalb der Druckeinheit wirken entgegen dem Druck mit einer variablen Kraft auf die Dosen, und es wird gemessen: Wie viel Kraft braucht es, bis die Dosen wieder in Neutralstellung sind, d.h. unverformt bleiben? Die aufgebrachte Kraft ist ein Mass für den gegenwärtig wirkenden Druck – sie muss dauernd nachgeführt, d.h. aktualisiert werden.

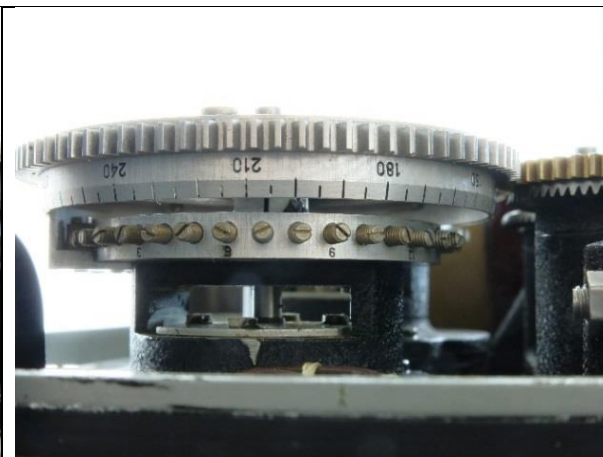
Die **Umwandlung der Druck-Werte in Widerstands-Werte** geschieht ähnlich wie bei der Umwandlung der Winkelwerte, hier aber ohne Elektronenröhren zur Verstärkung. Diese Aufgabe wird direkt durch mechanische Kontakte an den Druckdosen übernommen, welche die Rüttelmaschinen aufwärts oder abwärts laufen lassen. Der Motor-Ausgang hat eine Verzweigung – einerseits wirkt er auf die zu verstellenden Metalldraht-Potentiometer (Rechen-Widerstände), andererseits über die grossen Zahnräder auf die Spiralfedern, welche den Barometer-Dosen eine Gegenkraft bis zu ihrer Normalstellung liefern. In Bild 45 auf Seite 10 ist diese Kraft-Verzweigung rechts hinten gut sichtbar.

Die Spiralfedern sind innerhalb der geschlossenen Druck-Einheit und deshalb unsichtbar (wie die Aufzugsfedern im alten Uhrwerk). Nun hat es zwischen dem grossen Zahnrad und der Spiralfeder noch eine malerische **Korrektur-Möglichkeit**, die als technische Lösung sehr speziell und eigenartig aussieht. Das grosse Zahnrad ist mit der tiefer liegenden Spiralfeder nicht direkt verbunden – dazwischen befindet sich ein Satz von 33 kleinen Korrekturschrauben (alle 10°), mit denen sich individuell ein innenliegendes Stahlband verstellen lässt: es lassen sich damit längs eines Umfanges Berge oder Dellen formen, oder das Band bleibt kreisrund, aber exzentrisch zur Achse. Jede Schraube ist – wie überhaupt im ganzen Rechner – mit einem grünen Lack gegen Herausdrehen durch Vibrationen gesichert. Innen am Federband tastet ein schräger Gleitfuss das verformte Federband ab und koppelt sich an einen einzigen Zapfen innen im Umfang des grossen Zahnrades, welches selber nicht Kraftschlüssig auf der Achse frei und leer dreht. Je nach Form des einstellbaren Federbandes verfrüht oder verspätet sich die Drehung des grossen Zahnrades gegenüber der Spiralfeder, welche direkt an den Aneroid-Dosen liegt. Im plombierten Zustand, wie der Rechner übernommen wurde, war einzig beim Zahnrad des dynamischen Druckes von blossen Auge eine Verformung des Federbandes zu erkennen. Die (wahrscheinlich starke) Spiralfeder innerhalb der luftdichten Dose wird also durch das grosse, sichtbare Zahnrad nicht genau 1:1 verdreht.

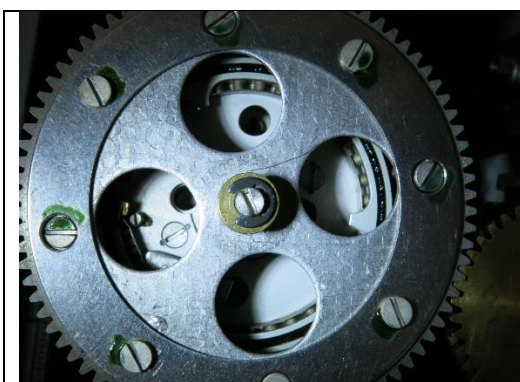
„Die Spannung in der Drehfeder hängt auch von der Korrektur im Korrekturmechanismus ab. Die Blattfeder im Korrekturmechanismus wird so eingestellt, dass die Kennlinie der Drehfeder möglichst linear wird. Es ist zu beachten, dass die Federkennlinien des Höhen- und Tachosystems nicht gleich sind.“ Ref. 2, p. 45 (Google-Übersetzung schwed. > deutsch)  
Die **Nonius-Skala** an beiden Zahnrädern wird der Einstellung der Winkelkorrektur dienen. Diese Korrektur erfolgt in der Werkstatt, nicht im Flugzeug. Die Stellung der Haupträder ist angeschrieben mit 0 ... 360, die Korrekturschrauben mit Nummer 0 ... 30 (plus zwei in den Löchern). Durchmesser der grossen Zahnräder: ca. 8 cm.



Geschwindigkeitsmessung, dynamischer Druck



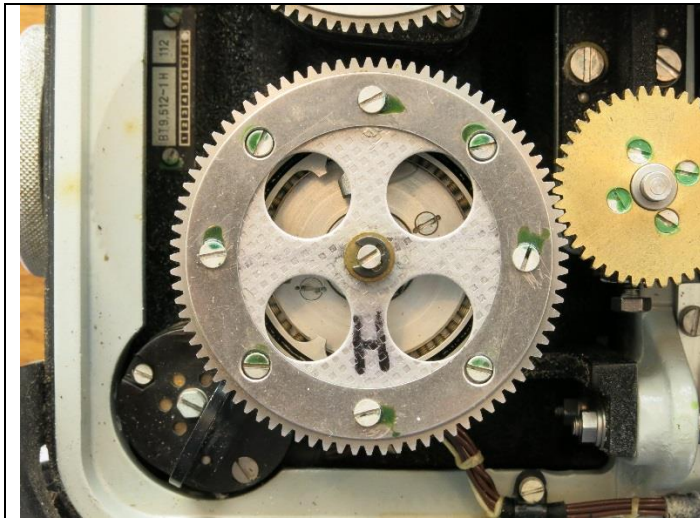
Höhenmessung, statischer Druck, **Korrekturschrauben**



Hier ahnt man die Verformung des Federbandes (Variable: Dyn. Druck). Bei 8h: Spitze Ablesefuss, bei 9h: Band-Ende.



Ablesefuss: Vermittelt zwischen der Achse zur Spiralfeder und der Peripherie des Zahnrades.



H wird «Höhe» heissen. Man sieht die radial angeordneten vielen Schraubchen durch die vier Löcher nur knapp, das verformbare dünne Federblatt liegt innen an den Schraubenspitzen und ist kaum sichtbar. Es steht aufrecht parallel zum «Niederhaltering» weiter aussen.

Gegenüber dem H bei 12h die Abtastung des Federblattes. Der volle Messbereich beschränkt sich auf eine einzige Umdrehung des grossen Zahnrades, denn am Anfang und Ende des Federbandes ist eine Abtastung unmöglich.

Das Bronze-Zahnrad kommt vom Rüttelmotor her, führt auch zu den einstellbaren Widerständen. Vorsicht bei der Zerlegung – **da sind Kräfte am Werk**, die Spiralfeder drückt andauernd!

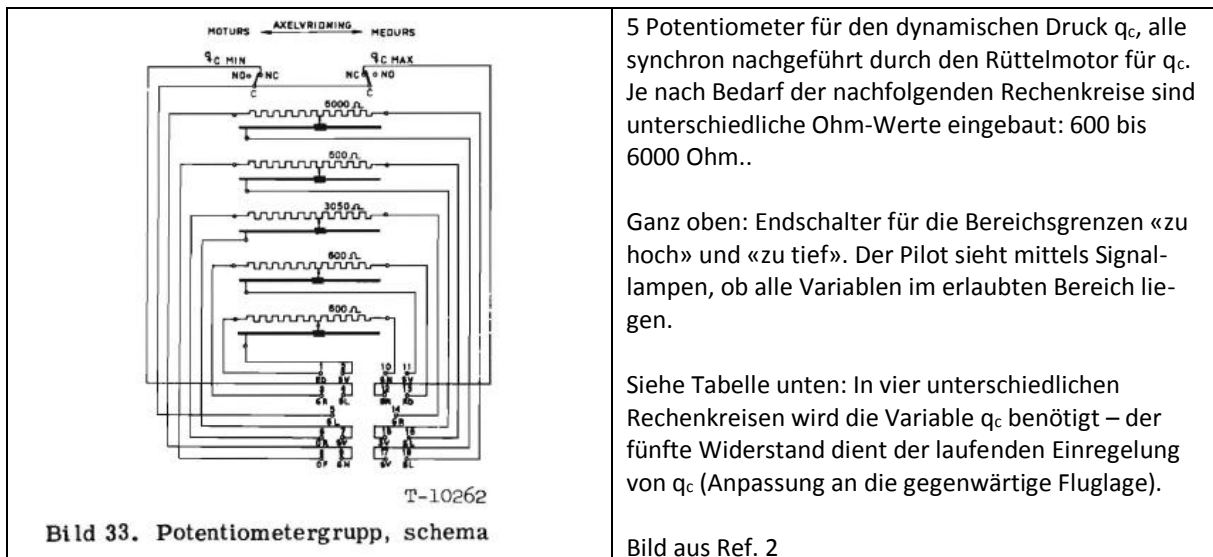
Der einzige Zapfen, an dem via Ablesefuss die Spiralfeder noch etwas gedrückt werden kann, ist knapp unterhalb der Schraube bei 12 Uhr erkennbar. **Grobe Abschätzung:** Ändert das Korrektur-Stahlband seinen Radius um 0.8 mm, wenn sich **das Zahnrad um 90° dreht**, so mag sich die Achse des Zahnrades (und damit die Spiralfeder) um **ca. 84° oder 96° drehen** (unsicher). - Angaben aus Ref. 4 zu diesem Korrektur-Mechanismus: «Diese Anordnung erlaubt, Unregelmässigkeiten der Spiralfederkurve und der Dosenkurve auszugleichen». **Da hat man sich wirklich grosse Mühe gegeben!! Unglaublich!**

Dies waren die vier kompliziertesten Nachführungen der Widerstände. Andere Wandlungen von der Messgrösse zum Widerstand sind direkter:

- Der **Zeitgeber** betätigt mit seinen Relais-Pulsen (Zeit-Takt) direkt ein Dreh-Potentiometer
- Der **Beschleunigungsmesser** hat als Ausgang einen variablen Widerstand mit 2 Anschlüssen
- Mehrere **Handeingaben** erfolgen ohne weiteres direkt über eingebaute Potentiometer
- Der **Gyrowinkel** des eingebauten Kreiselgerät ist als fertig eingestelltes Potentiometer ablesbar

**Drei der vier aufwändigen Nachführungen werden im Moment, bei dem der Pilot den Knopf drückt «Ziel erfasst» und anschliessend aufzieht, eingefroren.** Es wird weitergerechnet mit den eingefrorenen Werten. Einzig der Wert für  $\epsilon$  (Flugzeug bisher hochgezogen, Winkel) wird noch richtig nachgeführt, sowie alle einfachen Wandlungen (Zeit, Beschleunigung, Gyrowinkel). Für den Winkel  $\varphi$  ist das Einfrieren gut verständlich, denn alle Winkel beziehen sich auf den ursprünglichen Tauchwinkel. Wieso die Druckwerte für Höhe und Geschwindigkeit einfrieren, ist nicht verstanden. Der  $\varphi$ -Verstärker wird ab Einfrieren neu verwendet in einem anderen Zusammenhang (in einem Rechenkreis für die Haupt-Rechnung, wo die «Spannung null» via letztes Relais zum Ausklinken der Bombe führt).

Bis jetzt ist beschrieben worden, wie die wichtigsten Variablen der Fluglage in **veränderliche Widerstände** umgewandelt werden. Jetzt wird gezeigt, wie diese Rechenwiderstände den weiteren Verlauf der Bearbeitung ermöglichen: Es gibt total **acht Recheneinheiten**, zwei (A, B) zur Nachführung von  $\epsilon$ , zwei (C, D) zur Nachführung von  $\varphi$ , und vier (E – H) zur Hauptrechnung. Es sind dieselben Buchstaben wie in den Abbildungen zu den Rechner-Schematas. Ziel der folgenden Tabelle: Der Wert jeder Variablen kann mehrfach und in ganz unterschiedlichem Zusammenhang auftauchen. Man konnte damals nicht einen Ohm-Wert einfach kopieren – man brauchte mehrere Drahtwiderstände, die alle miteinander verstellt und je einzeln ausgelesen und weiterverarbeitet werden.



**Ausgänge der Recheneinheiten A bis H:**

(C bis H: alles Winkel)

- |   |                                     |   |  |
|---|-------------------------------------|---|--|
| A | Abstrakte Funktion $\Phi \cdot E$   | E | Stechwinkel minus Korrektur (wie C)      |
| B | Abstrakte Funktion Y                | F | Parallax-Winkel Bombe durch Hochziehen   |
| C | Stechwinkel minus Korrektur (wie E) | G | bereits hochgezogen plus Wind-Korrektur  |
| D | Ballistische Korrektur Bombe        | H | Anstellwinkel (Strömung) beim Hochziehen |

**Rechenteile A bis D:** Zur laufenden Konstruktion der aktuellen Ohm-Werte von  $\epsilon$ ,  $\varphi$  und Druck  
**Rechenteile E bis H:** Wenn die Addition all dieser Winkel null ergibt, wird die Bombe ausgelöst

**Veränderliche Widerstände zum Rechnen:**

Recheneinheiten →	A	B	C =E	D	E =C	F	G	H
<b>Flug-Variablen</b>								
↓								
$\epsilon$ Flz. hochgezogen	1					1	1	
$\varphi$ Korr. Stechwinkel	1		1	1		1		
p Druck Höhe Flz		2		1				
$q_c$ , Druck Geschwindigkeit		2				1		1
Gyrowinkel, Kreisel			1					
Zeit (ab Erfassungspkt.)						1		
Beschleunigung								1
$p_1$ Druck Höhe Ziel	1	1		1				
Bombenform				1				
Flz.Gewicht, Treibstoff								1
Sonstige (Wind $\delta$ am Ziel, Flugzeugkonstante $S_m$ )							1	1
Zeitkorrektur Ausklinken							1	

**Oberste vier Zeilen:** Flugvariablen ändern laufend – aktueller Ohm-Wert aufwendig **konstruiert**  
**Nächste drei Zeilen:** Flugvariablen ändern laufend – Wert wird laufend **direkt in Ohm gemessen**  
**Nächste fünf Zeilen:** Beim Start **von Hand eingestellt**, Wert ändert im Flug kaum mehr. Diese fünf Widerstände befinden sich nicht im Rechner, sondern beim Piloten im Cockpit und im Fahrwerk-schacht des Vorderrades (Bombenform und Zeitkorrektur, werden beim Anhängen der Bomben eingestellt).

#### Lesebeispiele:

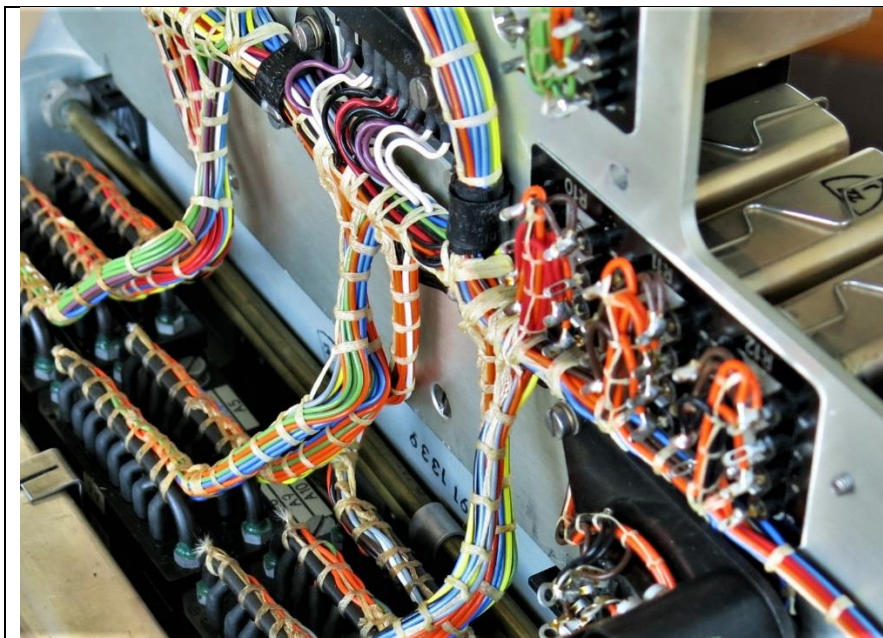
- a) Die Druckangabe  $q_c$  ab Staurohr, welche die Geschwindigkeit ergibt, verstellt vier Widerstände  $q_c$ , die den Druck abbilden und in den Recheneinheiten B, F und H gebraucht werden.
- b) Recheneinheit F benötigt laufend die aktuellen Widerstandswerte von vier Flug-Variablen.

In den verlöteten, bisher nicht geöffneten Widerstandskästchen der obersten vier Flug-Variablen kommt wohl je ein verstellbarer Widerstand noch dazu, der gebraucht wird zur laufenden Nachregelung dieser Grössen.

Die Recheneinheit C (in der Variablen-Nachführung) macht dasselbe wie die Recheneinheit E (in der Hauptrechnung); C arbeitet **vor** dem Knopfdruck des Piloten, E **nach** dem Knopfdruck. Eingang und Ausgang der einzigen Recheneinheit werden mittels Relais umgeschaltet. Ein Verstärker zur Erkennung der Nullstelle wird so eingespart.

Der **Raketenrechner** braucht den Widerstand für den dynamischen Druck  $q_c$  sowie (umschaltbar von C, E) den Gyrowinkel.

Der korrigierte Tauchwinkel zum Ziel  $\varphi$  wird laufend nachgeführt bis zum Knopfdruck des Piloten; nach dem Knopfdruck wird die Nachführung unterbrochen, d.h. der aktuelle Wert bleibt **eingefroren**. Das gilt auch für die beiden Druckwerte  $p$  und  $q_c$ .



**Die Recheneinheiten A bis H gibt es nicht**, wenn man danach sucht – es gibt nur Drähte und ganze Kabelbündel, die von Widerständen zu anderen Widerständen führen.

**Links unten die Widerstands-Anschlüsse.** Rechts hinten drei Schalt-Relais für Bereichs-Begrenzungen und zeitlich gestaffelte Zuschaltungen. Sie erschweren die Lesbarkeit im Schema und im Zeitablauf stark.

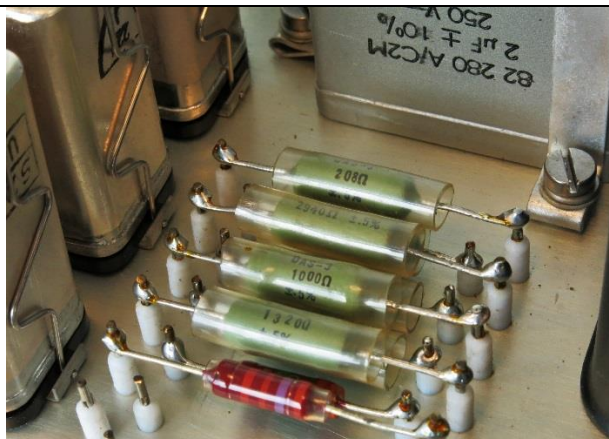
«Elektromagnetische Verträglichkeit» wird hier noch lange ein Fremdwort bleiben.

Die folgenden Widerstände sind auch in den Rechenkreisen eingebaut – aber sie **bleiben unzugänglich** und im Wert unveränderlich, sobald der verschlossene Rechner ins Flugzeug eingebaut ist:





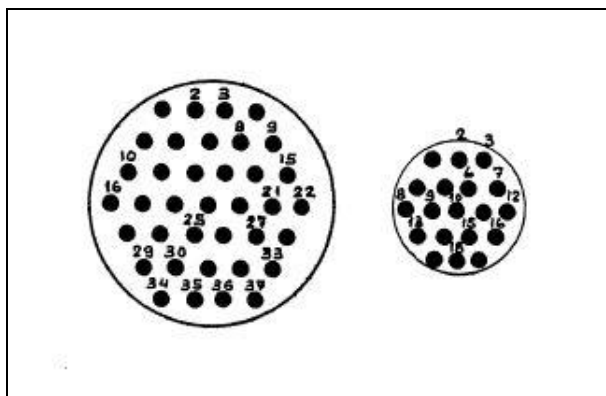
Acht Trimm-Potentiometer werden ev. dafür eingesetzt, dass die Bereichsgrenzen der Variablen schön stimmen.



7 präzise Widerstände (0.5%), 2 weitere – erst eingebaut bei fertig zusammengesetztem Rechner? Wo der  $\Omega$ -Wert sichtbar ist: genaue Werte waren **in drei Rechnern** identisch.

### Einstellbare Widerstände ausserhalb des Rechners:

Die Rechenkreise sitzen nicht nur im eigentlichen Rechner, sondern auch sonstwo im Flugzeug:



Die beiden **Anschluss-Stecker zum BT-9**: Mehrere Widerstände (ca. 8) sind nicht im Rechner zu finden, sondern im Cockpit und im ballistischen Kästchen im Fahrwerkschacht. **Die Rechenkreise erstrecken sich also weit ins Flugzeug hinaus!** Mit 30 Drähten ist der Rechner insgesamt am Flugzeug angeschlossen.

Der Anschluss der beiden Stecker gilt für «Rechner Nr. 101 – 170». Für die «Rechner 201-290» ist in beiden Steckern der Stift Nr. 3 nicht mehr belegt. Die **Kreisel-Einheit hat** einen Stecker mit 12 belegten Drähten – die meisten werden zum Rechner führen.

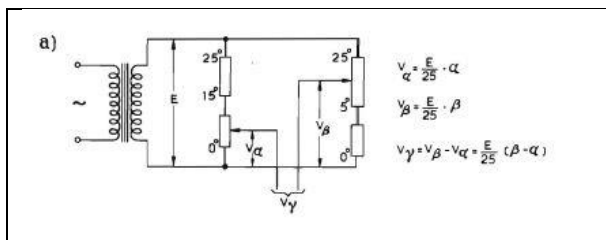
### So rechnet der Rechner – Prinzip der Widerstandskreise

Beispiele aus Ref. 2

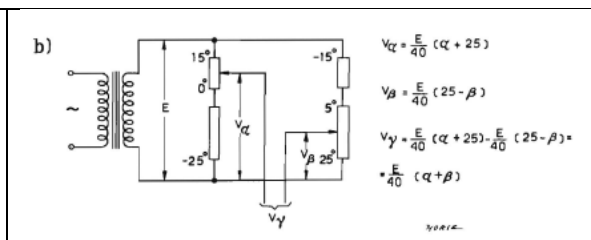
Serieschaltung von Widerständen (d.h. hintereinander geschaltet): Die Spannungen an den Widerständen verhalten sich wie die Ohm-Werte der Widerstände.

Die Widerstände mit Mittelabgriff (verschiebbarer Pfeil, aufwärts oder abwärts verschiebbar) entsprechen den vielen einstellbaren Drahtwiderständen, welche die Flug-Variablen darstellen (Winkel, Druck, Beschleunigung, Zeit etc.). **Betrieben werden alle Rechenkreise mit Wechselstrom 400 Hz.**

### Prinzip von Subtraktion und Addition:



a) Subtraktion und b) Addition sehen genau gleich aus. Unterschiedlich ist der Drehsinn der Potentiometer, in welcher Richtung man drehen muss, damit sich der Widerstand oder der Messwert vergrößert.



Subtraktion und Addition sind auch möglich bei zwei getrennten Trafos, deren Ausgänge hintereinander geschaltet werden – ev. mit unterschiedlichem Drehsinn der Sekundärwicklung.

**Prinzip von Multiplikation und Division:**

<p>Eine Multiplikation mit Einstellung des möglichen Wertebereiches: Ausgang = <math>E(\text{ingang}) \cdot x/x_1 \cdot y/y_1</math>. Die festen Widerstände ab «null» skalieren die «Spannweite» des variablen Bereiches.</p>	<p>Division: <math>z = E \cdot x/y</math>, wobei <math>x</math> von null bis zum Pfeilabgriff in <math>R_1</math> geht, und <math>y</math> von null bis zum Pfeilabgriff in <math>R_2</math>. Die Werte von <math>R_0</math> und <math>R_1</math> müssen also in <math>y</math> auch schon enthalten sein.</p>

Eine Multiplikation oder Division mit dieser Widerstandstechnik kann nicht am Ausgang mehr Volt machen als am Eingang anstehen – die Operationen wirken ohne Röhren und Transistoren nur in «abschwächender» Richtung. Hingegen kann man bei Bedarf ev. den Transformator anders dimensionieren und beim Eingang mehr Volt bereitstellen (dies aber fest und nicht variabel). Viermal mehr Volt, dann um die Hälfte abschwächen – ergäbe immer noch eine «Verstärkung» um Faktor zwei.

**So rechnet der Rechner – Die Rechenkreise E-H der Hauptrechnung** Ref. 2, p.24,25

	<p>In der <b>Hauptrechnung</b> werden acht Winkel addiert resp. subtrahiert. <b>Ist das Ergebnis null, fällt ein Relais ab, die Bombe wird ausgeklinkt.</b> Der eingezeichnete Verstärker ist derselbe, der für die Nachführung von <math>\phi</math> gebraucht wird – aber in einer früheren Phase des Angriffs-Fluges.</p> <p>Zahlreiche Relais beeinflussen je nach Flugphase Details in den Rechenkreisen. Die Hauptrechnung geht erst nach dem Knopfdruck des Piloten «Ziel erfasst» in Betrieb.</p>
--	---

Das letzte Relais für den «utlösungs-impuls» ist noch im Rechner drin. Wenn es abfällt, gibt es einen elektrischen Kontakt zu den Flügelstationen – dort werden diejenigen Waffen ausgeklinkt, die der Pilot zuvor angewählt hat.

Es folgen die vier Recheneinheiten E – F – G – H der Hauptrechnung im Detail:

$V_4 = 0,25 \cdot (\gamma - \varphi) \text{ volt}$	$V_7 = 0,25 \cdot \tau \text{ volt}$ $\tau = \frac{450t}{500t + q_c + 12000} (60 - \varphi + \varepsilon) \text{ grader}$
<p><b>Einheit E</b> Aktueller Tauchwinkel des Flz. ab Gyro minus korrigierter Tauchwinkel bei Knopfdruck (korrigiert um Luftwiderstandswinkel der Bombe). Tauchwinkel 60° abwärts bis 40° aufwärts (ab Kreisel)</p>	<p><b>Einheit F</b> <math>\tau</math> = Parallax-Winkelfehler infolge Weiterfliegens des Flz. bis zum Ausklinken; t = Zeit seit Knopfdruck, <math>q_c</math> = Dyn. Druck; <math>\varphi</math> = korr. Tauchwinkel bei Knopfdruck, <math>\varepsilon</math> = Flz. im Winkel schon hochgezogen</p>

$V_6 = 0,25 (\delta + \varepsilon + \alpha_s + \Delta\gamma) \text{ volt}$	$V_5 = 0,25 \cdot (\alpha - \alpha_s) \text{ volt}$ $\alpha - \alpha_s = \frac{W \cdot n}{S_m q_c} \text{ grader}$
<p><b>Einheit G</b> Windkorrektur plus Winkel Flz. bereits hochgezogen plus Anstellwinkel Flügel plus Fehler beim Ausklinken der Bombe</p>	<p><b>Einheit H</b> Anstellwinkel Strömung minus Flügelwinkel = Gesamtmasse mal Beschleunigung dividiert durch Flügelfläche durch dynamischen Druck. Der Anstellwinkel wird so ausgerechnet (vgl. Flugbahn beim Aufziehen auf p. 6, Bild 4)</p>

Anstellwinkel-Differenz: ein Teil des Anstellwinkels stammt fest vom Flugzeug und hat nichts mit der Fluglage zu tun. Einige der Widerstände dienen der exakten Einstellung des praktisch vorkommenden Messbereiches. Das Flugzeug wird ja nie mit einer Geschwindigkeit von 3 m/s fliegen... Der tatsächlich vorkommende Bereich aller Variablen muss sich decken mit dem Bereich der einstellbaren Widerstände.

Die Rechenkreise A bis D funktionieren ähnlich, sie sind hier nicht im Detail gezeigt; sie dienen der laufenden Aktualisierung der Variablen  $\varepsilon$  und  $\varphi$  und der beiden Druckwerte. Damit stellen A bis D letztlich die vielen Drahtwiderstände auf die korrekten aktuellen Werte ein, damit E bis H damit rechnen kann. Das Blockschema der Einheiten A bis D (ohne Einzelwiderstände) wird auf den Seiten 8 und 11 abgebildet. Einheit B ist in den Widerständen etwas komplizierter.

Neben den Regelkreisen A bis D werden andere variable Widerstände ganz direkt eingestellt – von Hand oder per Sensoren, welche einen Dreh- oder linearen Widerstand im Wert verstellen:



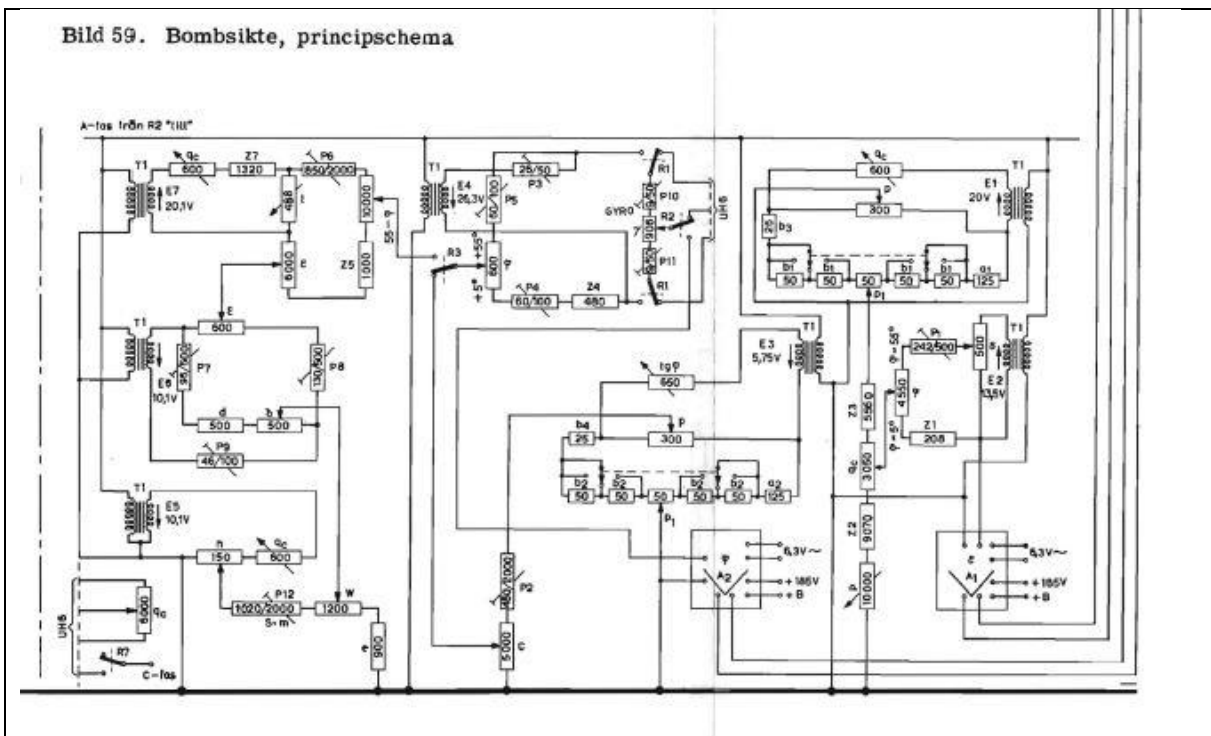
**Einstellgerät** im Cockpit: Zielhöhe, Zieldruck, Wind mit oder gegen Flugrichtung. Vier Einstellräder zu den Drahtwiderständen ragen aussen am Umfang heraus (zwei sichtbar). Drei Zeiger, aussen Verschiebe-Skala zwischen Höhe hm und Druck mbar.



**Uhr** im Rechner: Die schnelle Unruhe (unsichtbar) schliesst periodisch einen Kontakt, der Elektromagnet rechts stösst das Klinkenrad (beschriftet) um einen Zahn weiter – und dreht gleichzeitig am Potentiometer links. Ganze Uhr in  $5 \times 6 \times 7 \text{ cm}^3$ .

Mögliche Zeitmessung: 10.15 bis 11.6 Sek (je nach Quelle)

Es folgt jetzt das **Elektroschema des gesamten Rechners**: Rechenstufen A bis H von Vor- und Hauptrechnung (bei den Transformatoren beginnen beim Entziffern). Die Nachführung der Variablen ist enthalten, aber nicht bezüglich der Mechanik. Unten rechts: Röhrenverstärker, welche mit nachfolgenden polarisierten Relais die Servomotoren «aufwärts» oder «abwärts» ansteuern. **Dieser Rechner ist in der Herstellung viel einfacher als der frühere, rein mechanische Rechner** (vgl. p. 4).



In der Mitte oben bei den vielen Relais-Umschaltern ist die Wahl zwischen Bomben-Abwurf und Raketenbeschuss (UH6), ebenfalls ganz links unten. Gyro in der Mitte oben ist der Neigungswinkel, gegeben durch das Potentiometer im Kreisgerät. Der Gesamt-Ausgang ist nach dem Verstärker  $\varphi$ .

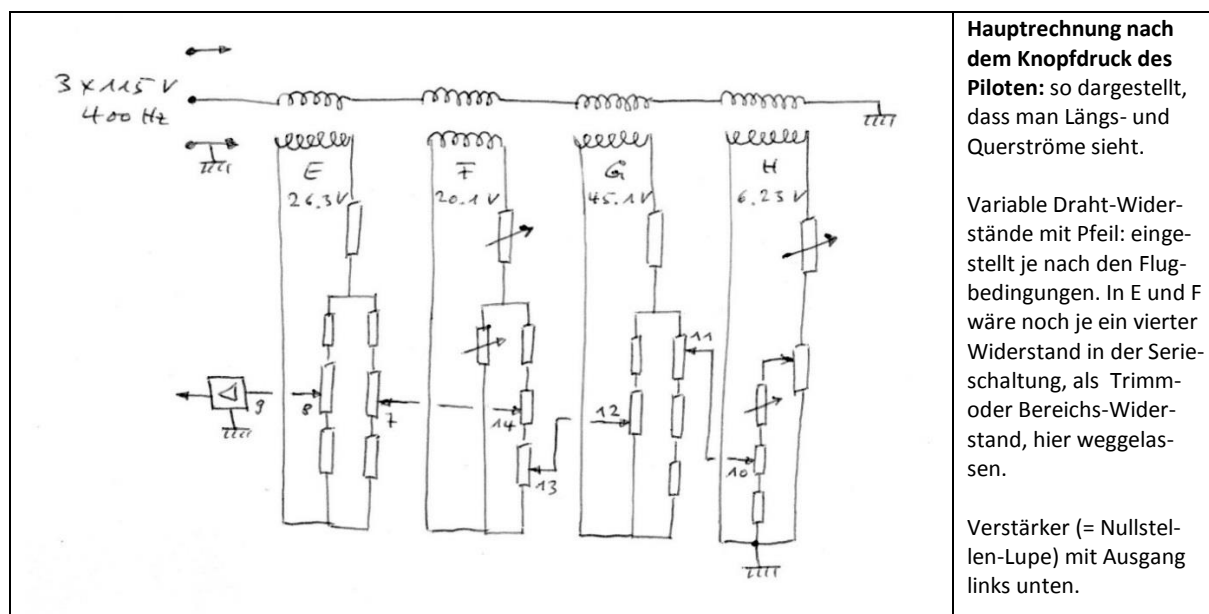
Die beiden Verstärker rechts unten dienen der Nachführung von  $\varphi$  und  $\varepsilon$  (korrig. Tauchwinkel, Flugzeug bisher hochgezogen). Sie steuern die beiden polarisierten Relais an (nicht mehr gezeichnet), welche ihrerseits die zwei Spulen in den Rüttelmotoren für «aufwärts» oder «abwärts» bedienen. Schalten in einer späteren Phase des Angriffes einige zusätzliche Relais um (oben Mitte), so geht der für «abwärts» gedachte Puls über Umwege bis zum stärkeren Bombenausklink-Relais – das wäre denn der Ausgang der ganzen hier gezeigten Rechnerschaltung. Die dauernd nachgeführte Regelung für  $\varphi$  mit wechselnder Betätigung von aufwärts und abwärts ist dann allerdings ausgeschaltet. So hat man einen einzigen Verstärker für zwei unterschiedliche Signalwege verwendet.

«Verstärker»: es geht nur um die präzise Erfassung des Nulldurchganges, das analoge Signal wird sofort zerstört und steht nicht verstärkt zur Verfügung.

## Ja aber.... Einwände, Fragen, Unklares

### Rechenverhältnisse durch Strombelastung gestört ?

Anfänglich gab es Bedenken, ob die Spannung der einzelnen Rechenstufen A bis H nicht sofort gestört und verfälscht wird durch die vielen Querkopplungen zwischen den Stufen. Je nachdem, wie «hart» die benachbarten Stufen sind, gibt es grössere oder kleinere Fehler in der Spannung (stets beidseitig, vorwärts wie rückwärts). Nach Umzeichnung der Stufen E – F – G – H (Hauptrechnung nach dem Knopfdruck des Piloten) und dem erlösenden Hilfe-Tip von Walter Vollenweider (grazie mille!) wurde klar: Wenn der Verstärker links unten keinen Strom zieht, kann nirgends ein Querstrom fließen.



In der schwedischen Beschreibung zeigen die Trafo-Spannungen bei E und F andere Werte, vermutlich wegen anderem Flugzeugtyp (Anstellwinkel, Flügelfläche, Grundgewicht).

Zuvor war die Hoffnung so: In der gezeigten Schaltung E – F – G – H werden acht Winkel addiert. Die Bombe wird ausgelöst, sobald die gemeinsame Gesamtspannung E – F – G – H «null» wird. Je kleiner die Gesamtspannung, desto geringer wird auch der Strom zwischen den vier Stufen, desto geringer

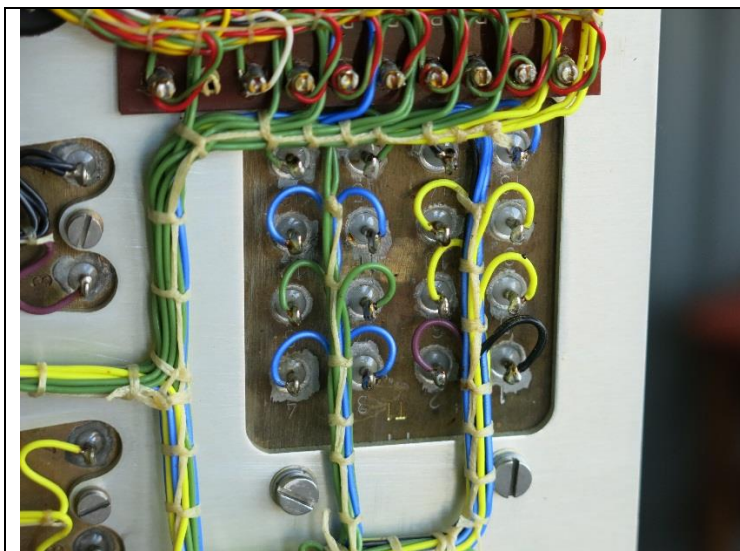
werden somit auch die Spannungs-Fehler. Bei wirklich «Null» am Verstärker-Eingang fließen keine Querströme mehr, es gibt dann auch keinen Fehler. Wenn der Abwurfpunkt weit weg ist, mögen die Fehler gross sein – aber wenn's draufkommt, wird die Sache genauer.

Die typischen Widerstände in den Rechenkreisen liegen um die 500 bis 1000 Ohm, die normalen Belastungen innerhalb der Kreise liegen um die 10 bis 20 mA. Der Röhrenverstärker gibt das Signal auf das Gitter der ersten Röhre – aber noch zuvor werden die positiven Halbwellen über eine Diode und einen Widerstand gegen Erde abgeleitet (ev. Begrenzung der Gitterspannung weit weg vom Abwurfpunkt, zum Schutz der Röhre ?).

Es sind – abgesehen von den gut zugänglichen Präzisionswiderständen, Bild Seite 17 - **keine vorbereiteten Test-Punkte** sichtbar, welche eine Kontrolle und Feineinstellung des Rechners erleichtern. Die acht Trimpoti sind bloss zum Verstellen gut zugänglich, aber nicht um Spannungen abzugreifen, siehe ebenfalls Seite 17.

### Sieben Transformatoren – kombiniert oder einzeln ?

Das Addieren / Subtrahieren gelingt einfach mit Einzelspannungen ab Einzeltransformatoren. Insgesamt sieben Transformatoren gibt es für die Rechenkreise – sind die Sekundärwicklungen alle über dieselbe Primärspule gewickelt ? Das gäbe weitere Abhängigkeiten, die sieben Kreise wären nicht mehr ganz voneinander unabhängig. Der Transformator ist verlötet und kann nicht geöffnet werden, ohne den Rechner massiv zu beschädigen.



Der **Kombinationstransformator** wurde weder geöffnet noch ausgelötet – er ist mit 16 Drähten angeschlossen. Das passt für 7 Sekundärwicklungen über einer einzigen Primärspule (oder wird die Primärspannung im Gehäuse-Inneren auf sieben einzelne Transformatoren mit sieben Eisenkernen verteilt ??).

Wenn es nur einen einzigen Kern gibt: Vielleicht können gewisse Fehler in den 7 Sekundärspannungen bereits in der Planung durch Korrekturen der Windungszahlen minimiert werden.

### Einfrieren

Vier Grössen werden in aufwändiger Weise laufend rekonstruiert, so dass gewisse Gleichungen erfüllt sind: Zwei Druckwerte, zwei Winkelwerte. Man erhält dadurch die aktuellen Werte der Variablen in Form von richtig eingestellten Schiebe-Widerständen (= Draht-Potentiometern).

Nun werden im Laufe eines Angriffes **drei dieser vier Grössen mechanisch angehalten und ihr Wert bleibt ab Knopfdruck des Piloten eingefroren** für die zukünftige Rechnung. Nur der Wert von  $\epsilon$  bleibt während des Hochziehens des Flugzeuges jederzeit aktuell, also der Winkel, um den das Flugzeug hochgezogen wurde. Dass  $\varphi$ , also der damals gültige Tauchwinkel als eingefroren erhalten bleiben muss, ist verständlich: alle Winkel werden davon ausgehend gemessen. Seltsam ist, dass die beiden Druckwerte (für Höhe und Geschwindigkeit) nicht mehr aktualisiert werden – das ist unverständlich. (Zur weiteren Nachführung von  $\epsilon$ : vgl. Anhang 1 auf p. 28)

### Staurohr für Druckmessungen

Der Rechner braucht das normale Staurohr oder Prandtl-Rohr des Flugzeuges am linken Flügel, um die Druck-Werte zu verarbeiten. Die geschlossene Druckeinheit mit den beiden grossen Messrädern hat ein Volumen von gut einem Liter – abzüglich der Innen-Geräte gibt das einen knappen Liter Luft. Beim Stechflug muss dieses Volumen über dünne Rohre entsprechend der Druckzunahme gefüllt werden, d.h. alle fünf Fluginstrumente mit angeschlossenem Luftdruck verfügen dank dem Rechner nur über **verzögerte** Höhen- und Geschwindigkeitsangaben. Man kann den Rechner nicht ausschalten oder «abhängen». Das scheint kein Problem gewesen zu sein für die Genauigkeit der Instrumente.

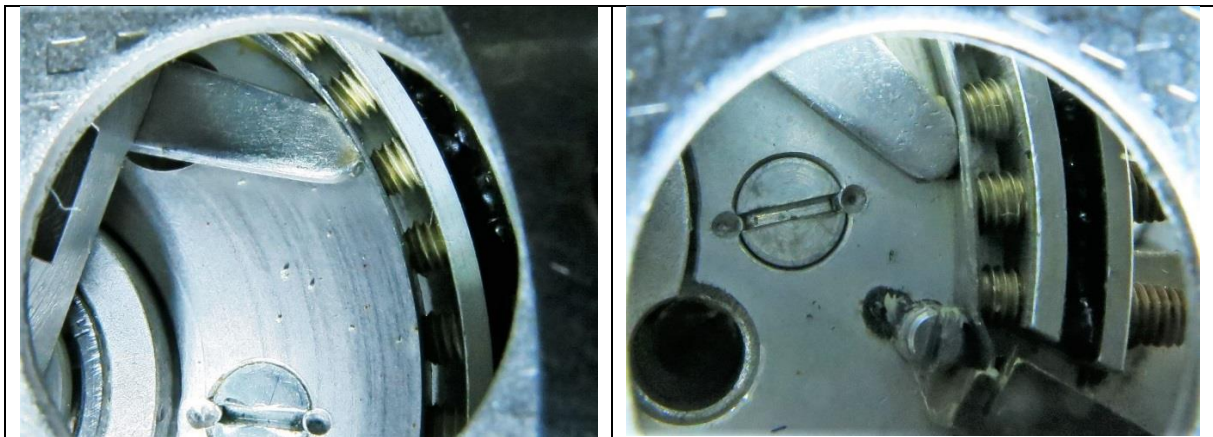
### Ende der Lebenszeit – Spuren von 30 Jahren Einsatz

Pilot Rudolf Wicki erinnert sich, es seien die Rechner mit der Zeit etwas «ausgeleiert» gewesen, irgendetwas hätte sich mit den Jahren verschlechtert. Man hätte deshalb nicht mehr im Stechflug, sondern nur noch im Tiefflug angreifen dürfen, mit anschliessendem Hochziehen.

Weiter gehört: Zwei Fehlwürfe am selben Tag vom selben Pilot auf zwei Flugzeugen führten zur Sperrung des Rechners für ca. ein Jahr. Der Pilot sei tiefer angefliegen als seine Kollegen, die gemessene Höhe sei viel zu klein gewesen, d.h. Druck zu gross. Pilotenhandbuch Kap. I-8, p. 20, Rev.11: Um Direktabgänge zu verhindern, ist neu ein 4-Sekunden-Verzögerungs-Relais eingebaut worden. Der modifizierte BT-9 ist nur noch für LOFT-Einsätze zu gebrauchen.

Es ist tatsächlich eine Stelle gefunden worden, wo sich etwas abgeschabt hat: bei der Winkelkorrektur beim Nachführen des **statischen Druckes**, Bild unten links. Dort sieht der Abtastfuss, der laufend an das einstellbare Korrekturband drückt, klar abgeschliffen aus. Das Abtragen von Material wird einen andauernden Fehler in der Flughöhe bewirken. Gerade noch als Bestätigung: Der Abtastfuss beim **dynamischen Druck**, wo die Kräfte deutlich geringer sind, sieht frischer, runder und nicht abgeschliffen aus (Bild rechts). Rechts unten das Band-Ende – die Schraube unterhalb der Bildmitte kann durch den Abtastfuss nicht überfahren werden. Grosses Loch im Messrad: Durchmesser ca. 1.6 cm.

Beschreibung des Abtast-Fusses: p. 12-14



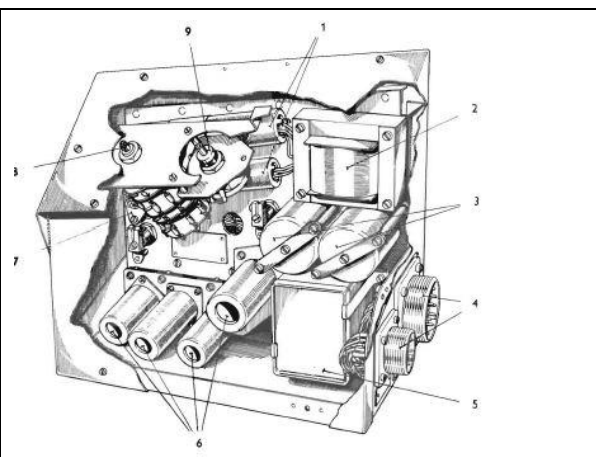
### Raketen-Einheit

Statt Bomben kann man mit dem BT-9 auch ungesteuerte Raketen abschiessen (Luft > Boden, 8 cm Oerlikon). Im Cockpit gibt es eine Wähl-Einheit um einzustellen, was abgeschossen wird. Beim Raketen-Zusatzrechner gab es bei der Recherche zuerst Verwirrung infolge **grosser Unterschiede** zwischen der schweizerischen und der schwedischen Form des Raketen-Schiessens. Die schwedische Beschreibung von 1971 ist jünger als die in der Schweiz verwendeten Geräte (Einbau in die Flugzeuge 1964-1966, Spezifikationen 1963). **In diesen acht Jahren ist man in Schweden beim Raketen-Rechner offenbar vom reinen Widerstands-Rechner weggekommen.**



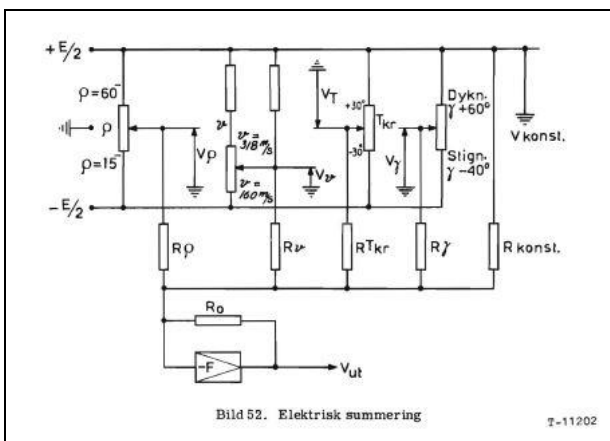
Zusatzrechner für den Raketenabschuss

Das sind noch die **reinen Widerstände** wie im bisherigen Rechner BT-9: Flieger-Flab-Museum in Dübendorf. Drehschalter rechts: Einstellung der Pulvertemperatur, -15° bis +25°C, Stufenschalter. Blau = Trimm-Potis



Schwedischer Raketen-Rechner: 4 Röhren, Trafo (rechts oben), zwei Drosseln (darunter), Gleichrichter – das sieht ganz anders aus als in der schweizerischen Version. Bild aus der «Beskrivning» (Beschreibung), Ref. 2

Der **Zusatzrechner BT-98** für die Raketen ist im Hunter-Cockpit nicht zu finden (Interlaken), und wird in Regl. 56.226 (Piloten, 1982), in 56.221 (Flz.Unterhalt, 1984) nicht beschrieben, auch in den Stromplänen nicht 56.221. Es gibt ihn im Museum Dübendorf und in der schwedischen Beskrivning von 1971. **Seltsam...** Statt BT-98 (CH) heisst der Raketenrechner auch UH-6 oder UH6-1 (Schweden). Wurde er bald wieder ausgebaut ??? Vgl. auch Ref.8, zweiter Fund, Schluss



Neuere Schaltung des Raketen-Rechners (schwedische Beschreibung 1971): Mit Röhren-Verstärker (unten im Schema) werden fünf Signale addiert – ein echter **Operationsverstärker**. Die mittlere dieser Grössen ist die Pulvertemperatur der Rakete, die von Hand am Drehwiderstand einzustellen ist. Das ist ein **Gleichstromrechner**, im Gegensatz zum BT-9.

Ausgang, Ut: der gerechnete Vorhalt geht ins Zielgerät, d.h. ins **Visier** vor den Augen des Piloten. Siehe Anhang Nr. 2, ab p. 29. Oben rechts der Steig- oder Tauchwinkel ab Kreisel Schema aus der «Beskrivning» (Beschreibung), Ref. 2

### Was die Raketen-Einheit tut:

Der Pilot nimmt das Bodenziel ins Visier – der Rechner bestimmt, um wieviel höher er zielen muss, um das **«Fallen» der un gelenkten Rakete** während des Fluges auszugleichen. Der nötige Erhöhungswinkel kommt gemäss der folgenden Formel zustande, reziprok ausgedrückt – hier die schwedische Version (Ref. 2), d.h. die numerischen Werte werden bei anderen Raketen etwas anders aussehen:

$$\frac{1}{\rho} = 0,0262 + 0,0095 \frac{v - 900}{200} + 0,0016 \frac{\gamma - 20}{10} + 0,0030 \frac{T_{kr} - 15}{40}$$

Reziprok-Winkel der «Erhöhung» Rho: Je kleiner das Rho, desto gestreckter wird die Flugbahn, desto weniger muss oberhalb des Zieles anvisiert werden. Rho liegt im Bereich 15 ... 60 mrad oder A‰, siehe Werte im Elektro-Schema oben, ganz links im Schema. Das macht 0.8° bis 3.4° Höhen-Vorhalt.

Erster Term: Konstant.  
Dritter Term: Tauchwinkel des Flugzeuges

Zweiter Term: Geschwindigkeit des Flugzeuges  
Vierter Term: Pulvertemperatur.

Das sind alles Näherungen. Die **Distanz zum Ziel** ist nicht dabei – sie kommt ev. im Visier dazu.



**Vermutung:** Alle 5 Beiträge (inkl. dem gesuchten Erhöhungswinkel links vom Gleichheitszeichen) werden addiert und zusammen auf den Servomotor im Visier gegeben. Dieser Motor regelt den Erhöhungswinkel so aus, dass die Summe stets null ergibt, die Gleichung erfüllt ist – damit hat das Visier den Erhöhungswinkel gefunden (= Grösse des Rauten-Kreises). Beim Kanonenschiessen regelt der Pilot mit demselben Servomotor die Distanz zum Ziel, so dass sie zur eingestellten Spannweite des Flugzeuges passt – aber der eigentliche Vorhalt wird beim Kanonenschiessen durch den Kreisel bestimmt; vgl. Anhang 2 zum Ferranti-Visier, ab Seite 29.

## Kreisel-Einheit

Ein Kreisel allein für den Rechner (*nicht* der Visier-Kreisel)

Ein schnell drehender Kreisel behält seine Lage bei, selbst wenn das Flugzeug taucht, Kurven macht etc. Der Kreisel des BT-9 hat eine automatische Aufrichtung und eine Möglichkeit zur schnelleren Hand-Aufrichtung. Kurz vor dem Angriff muss der Pilot eine halbe oder eine Minute lang horizontal fliegen ohne jede Beschleunigung, um den Kreisel per Knopfdruck von Hand aufzurichten.

Beim Stechflug kann die Neigung des Flugzeuges um die Querachse direkt an einem Potentiometer per Schleifkontakt elektrisch abgelesen werden (rechts hinter dem Kreisel). Drei weitere Schleifkontakte K1 bis K3 dienen der Kontrolle der Aufrichtung (Pitch und Roll). Stator- und Rotor- Momentmotor hat mit der Aufrichtung zu tun (Kreisel antwortet mit Präzessionsbewegung). Bei den CH-Kreiseln gibt es zwei Quecksilber-Schalter, die im schwedischen jüngeren Bild nicht eingezeichnet sind. Flugrichtung ist nach links hinten.

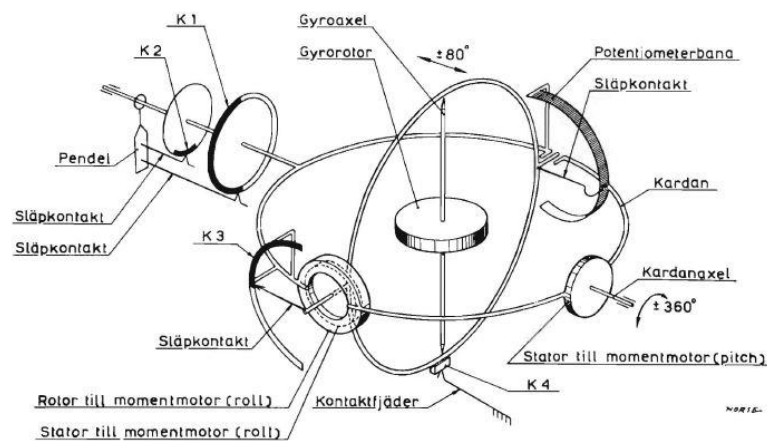
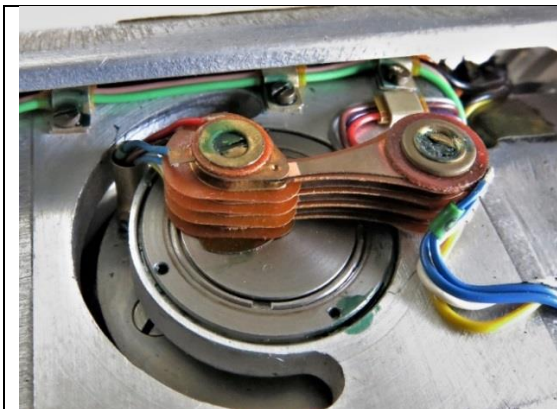


Bild 48. Gyroenhet, princip

T-10838

In Interlaken (Ref. 4) gibt es einen **aufgeschnittenen Original-Kreisel**: alles ist sehr kompakt – das «Potentiometerband» zur Ablesung des Tauchwinkels wurde nicht erkannt. Die Gelenke drehen enorm reibungsarm.



Die Potentiometer-Ablesung konnte leider am geöffneten Kreisel nicht gefunden werden – hier aber eine Herausführung von acht Signalen aus dem innersten beweglichen Rahmen (Pitch) zum mittleren Rahmen (Roll). Die punktförmigen Elektrokontakte zwischen zwei Sets Kupfer- oder Bronzeblechen befinden sich exakt in der Drehachse. Der Tauchwinkel kann nach der Skizze oben  $\pm 80^\circ$  betragen, was der Länge des Schlitzes für die Draht-Durchführungen entspricht; die mitdrehenden Drähte (links, knapp sichtbar) berühren den Schlitz dank Umhüllungsrohr nicht. Wird mehr als  $80^\circ$  getaucht oder hochgezogen, ist die Kreiseinstellung dahin und wertlos – vor dem nächsten Angriff muss der Kreisel im Horizontalflug neu aufgerichtet werden.

## Relais

Eine ganze Schar von Doppel-Relais steuert die wichtigsten Funktionen und Zustände des Rechners. Die Relais beeinflussen sich auch selber. Die Sache ist nicht leicht lesbar und wurde nicht bis in jedes Detail studiert. Zum prinzipiellen Verständnis des Rechners wird diese Steuerebene wohl wenig beitragen. Allerdings ist klar geworden: **Selbst in die Rechenkreise wird eingegriffen**, d.h. die schön gezeichneten Serie- und Parallelschaltungen sind nicht statisch, nicht ruhend, nicht immer fest verlötet! Je nach Flugzustand und Ablauf des Angriffes wird noch dies und jenes zu- oder abgeschaltet. Mit mindestens vier Relais (Nr. 3, 4, 12, 17) und sieben Schaltkontakten wird auf Knopfdruck des Piloten umorganisiert:

- Drei Rüttelmotoren werden abgeschaltet, die aktuellen Werte von statischem und dynamischem Druck und der Funktion  $\varphi$  bleiben ab sofort eingefroren. Einzig der Wert von  $\varepsilon$  (Spreizung, Flugzeug bisher hochgezogen) wird weiter nachgeführt (vgl. dazu Anhang 1, p. 28) .

- Der Verstärker A2 (bisher zur Nachführung von  $\varphi$ , dem korrigiertem Tauchwinkel verwendet) wird im Eingang umgeschaltet auf den neuen Haupt-Rechenkreis (Bild p. 18), der Ausgang des Verstärkers wird umgeleitet auf das kräftige Relais R13, das den Bombenabwurf einleitet; vielleicht hat es im Flügel noch weitere, allerletzte Ausklink-Relais.

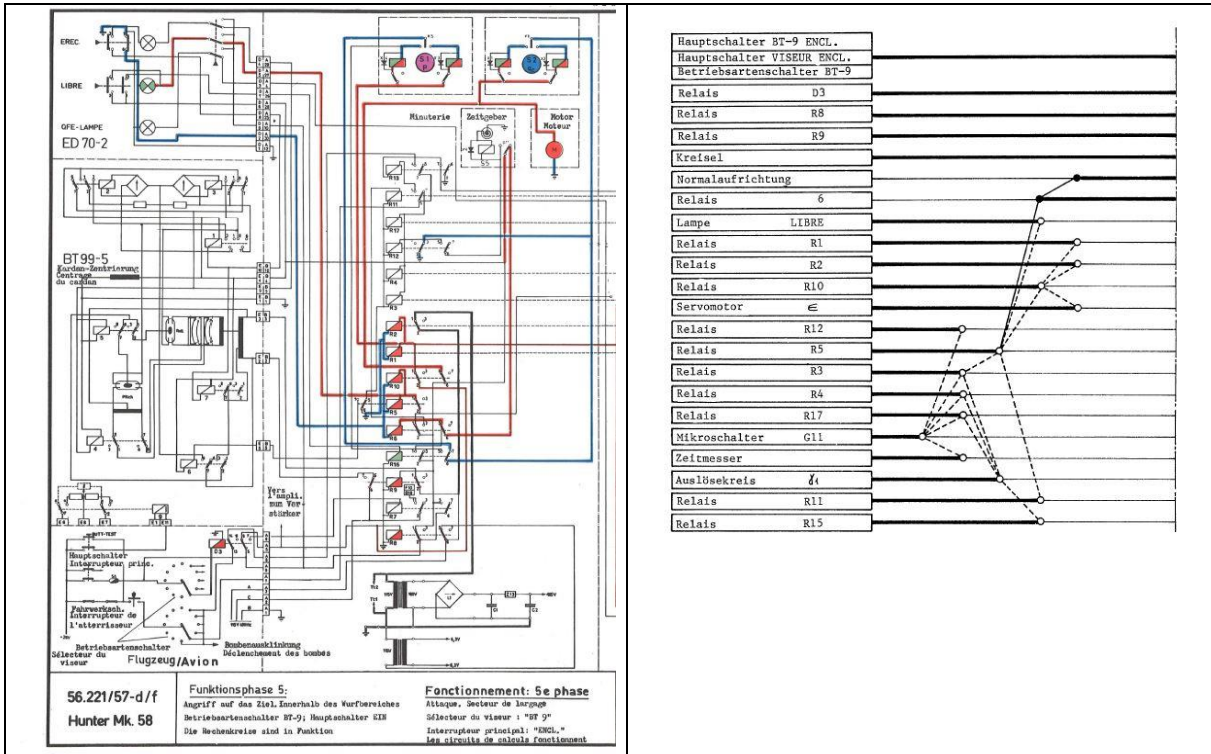
- Der Gyrowinkel  $\gamma$  aus dem Kreisel (aktueller Tauchwinkel) wird ebenfalls in den Hauptrechenkreis eingeschaltet, mit Relais 17. Anders gesagt: Block C (bisher mit D verbunden) wird neu mit Block F verbunden.

Das **Umschalten in den Rechenkreisen** könnte ev. unkontrollierbare Störspitzen erzeugen – besonders empfindlich wären richtige Strom-Unterbrüche. Das letzte Relais könnte abfallen und die Bombe freigeben. Hierzu müssten die Relais genauer studiert werden. Als sehr freie Vermutung und eher zweite Wahl – vielleicht ist es so zu erklären, wenn in einem CH-Reglement (Datierung unbekannt) steht:

«Um Direktabgänge zu verhindern, ist neu ein 4''-Verzögerungsrelais in den Auslösekreis eingebaut. Durch diese Änderung erfolgt frühestens 4'' nach Betätigen des Bombenauslöseknopfes eine Bombenauslösung.» Mit dieser Modifikation ist das Gerät BT-9 nur noch für LOFT-Einsätze einsetzbar. CH-Regl. 56.226 d, Rev. 11, Kap. I-8, p.20 (aus Dübendorf). LOFT-Abwurf: Aus dem Horizontal-Tiefflug und Aufziehen, ohne Anstechen auf das Ziel.

Wahrscheinlicher für diese Sofortabgänge ist eine allmähliches **Abschleifen** des Abtastfusses in der Nachführung des statischen Druckes, vgl. p. 23.

Der von der Schweiz verwendete Rechner hat **zwei Relais mehr**, als in der jüngeren Beskrivning (1971) abgebildet sind. In Ref. 3 und Ref. 4 wird der Rechner gelegentlich bezeichnet als BT-9H (für Helvetic). Es ist denkbar, dass die Kunden für ihre eigenen Geräte noch Modifikationen wollten. Die zusätzlichen CH-Relais sind das Relais 17 und das Relais 4 – an deren Ort sind in der schwedischen Beskrivning keine Relais vorhanden (ev. ist auch um-nummeriert worden ??). Sowohl Relais 17 wie Relais 4 helfen mit bei der Umgruppierung der Rechenkreise mitten im Angriff.



Schaltungszustand der Relais in Phase 5 (von 7). Der Zielerfassungsknopf ist gedrückt, die Rechenkreise arbeiten (nicht gezeigt, rechts anschliessend). Links oben Anzeigelampen und Drucktasten für den Piloten, links Mitte Kreisler-Einheit mit 8 Relais, 2 Quecksilber-Schaltern. Rechts der Mitte von oben bis unten sind die Relais zur Steuerung der Vorgänge.

Zustand der Relais, spätere Phase als im Bild links, erst nach dem Abwurf der Bombe. Nur noch ein einziger Servomotor für ε arbeitet, die anderen sind eingefroren. Der Hauptrechenkreis (dritunterst) arbeitet noch. Rechner und Kreisler werden wieder bereitgestellt. Dies ist das letzte von acht solchen Zeitdiagrammen.

Eigentliches Ausklinken der Bombe: Dieser Vorgang ist offenbar zu langsam erfolgt, es gab Fehler im Treffpunkt; man hat deshalb eine Art schwächster «Absprengung» der Bombe konstruiert und am Flügel des HUNTER eingebaut.

**Die Relaisgruppe zeigt: Eine zweite Serie von Rechnern kam viel später**

Im zerlegten Modell in Interlaken (Ref. 4) sind die Relais **vollständig anders angeordnet** als im ersten Rechner: Statt jeden Draht einzeln am Relais-Sockel anzulöten, sind die zusammengefassten Relais in eine **Steckkarte** eingelötet. Auch die beiden Röhrenverstärker sind verschwunden, es gibt zwei winzige Operationsverstärker LM101AH (Vorläufer des uA741), im Blechgehäuse. Die beiden bisherigen Transformatoren für Heizspannung und Anodenspannung sind damit auch entfallen. LM101A: spät in 1968 entwickelt, durch Bob Widlar.



Alter Rechner, Oberseite. 14 Relais sichtbar, am Sockel einzeldrahtweise verlötet. Links die Kabel-Anschlüsse.

Neuer Rechner: Relaisplatine, dahinter eine zweite Platine mit 2 OpAmp und wenigen Transistoren im Sockel.

Relais-Steckkarte, Rückseite, doppelseitig mit Leiterbahnen versehen. 11 Relais, weitere sind anderswo.

Mittleres Bild: Die grosse Druckeinheit rechts unten ist unverändert geblieben, aber der Blechdeckel ist hier entfernt.

## Anhang 1:

### Don Quichotte kämpft mit den Winkeln...

Ein Beispiel

Mehrfach ist der Verfasser gescheitert, die mathematisch-geometrischen Rätsel zu zerlegen, zu verstehen, zu klären. Als Beispiel sei hier bei der Variablen  $\epsilon$  gezeigt, wie verwickelt das wird.  $\epsilon$  ist eine der vier mit grossem Aufwand mechanisch nachgeführten **Haupt-Variablen**. Zitat Ref 4: «Sobald der Aufzugwinkel  $\epsilon$  den Wert erreicht hat, bei dem die Bombe ins Ziel trifft, liefert die Bombenrechenanlage den Impuls für das Ausklinken der Bombe» (Reglement 56.221 Flugzeugunterhalt, Kap. 57.31, p. 7).

**Bedeutung von  $\epsilon$ :** Um welchen Winkel das Flugzeug seit Knopfdruck des Piloten hochgezogen worden ist – aber nicht bezüglich der Flugzeugachse, sondern der Flugzeug-**Geschwindigkeit**. Mit dem Anstellwinkel (geht ebenfalls gegen die Luftgeschwindigkeit) wird dann wieder auf die Flugzeugachse zurückgerechnet.

**Berechnung von  $\epsilon$ :** Andauernd «ausprobiert», so dass eine Gleichung  $Y = E \cdot \Phi$  stets erfüllt wird.

Es gibt einen «Höhenfaktor»  $Y = 2 g h / v^2$ , der an sich nicht interessiert, und dessen Wert man nicht kennen muss. Die Flughöhe  $h$  und die Geschwindigkeit  $v$  kennt man nicht ohne weiteres, man hat im Flugzeug bloss zwei Druckwerte ab Prandtl-Staurohr, die der Höhe und der Geschwindigkeit entsprechen.

Nun lässt sich  $Y$  auf zwei unterschiedliche Weisen durch Näherungen ausdrücken. Die Gleichsetzung dieser beiden Näherungen ergibt die Gleichung  $Y = E \cdot \Phi$ , die durch dauernde Anpassung von  $\epsilon$  jederzeit erfüllt wird:

**Näherung 1 für  $Y$ :**  $Y$  als Funktion der gemessenen Luftdruckwerte

$P$  = statischer Druck Flugzeug

$P_1$  = statischer Druck Ziel

$$Y = K_8 \cdot \frac{P_1 - P}{q_c} \cdot \frac{P + K_7 \cdot q_c}{P + K_5}$$

$q_c$  = dynamischer Druck Flugzeug

$K_5, K_7, K_8$  Konstanten

**Näherung 2 für  $Y$ :**  $Y$  als Produkt zweier Funktionen, genannt  $E$  und  $\Phi$ : eine ist nur von  $\epsilon$  abhängig, eine ist nur von  $\varphi$  abhängig (Taufwinkel Flugzeug, mit dem Kreisel dauernd gemessen).

$$E(\epsilon) = \cos(30^\circ - \epsilon) \cdot \sin \epsilon$$

$$\Phi(\varphi) = 0.067 \cdot \varphi + 2.44 \cdot 10^{-5} \cdot \varphi^3$$

Mit der **Gleichsetzung dieser beiden Näherungen** durch dauerndes Ausprobieren von  $\epsilon$  hat man den Wert von  $\epsilon$  gefunden. Auch wenn nicht ganz verstanden ... ja nun, so ungefähr wird es gehen.

**Es kommen aber grössere Schwierigkeiten:** In Ref. 3 wird mehrfach erwähnt, die Variable  $\epsilon$  würde auf Knopfdruck des Piloten «Ziel erfasst» **im Wert eingefroren**. Das stimmt nicht, wie die technischen Schemen und die Zeit-Diagramme der Relais-Steuerungen von Ref. 4 klar zeigen: die Nachführung von  $\epsilon$  bleibt bis nach dem Bombenausklinken funktionsfähig erhalten.

Jetzt könnte man sich überlegen: bleiben drei der vier Nachführungs-Variablen nach Knopfdruck eingefroren, so gibt es vielleicht auch für  $\epsilon$  keine Veränderungen mehr zu verzeichnen? Tatsächlich! Die Nachführung für  $\epsilon$  läuft zwar noch, aber es *verändert* sich keine relevante Variable mehr, deshalb kann sich der  $\epsilon$ -Wert gar nicht mehr verändern! Das heisst aber:  $\epsilon$  kann gar nie einen Wert annehmen, nach Knopfdruck = vor Knopfdruck = 0. **Das ist jetzt ein unhaltbarer Widerspruch!**

**Verirrt, verrannt, verloren. Schach-matt.**

## Anhang 2:

### Kreisel-Visier von Ferranti

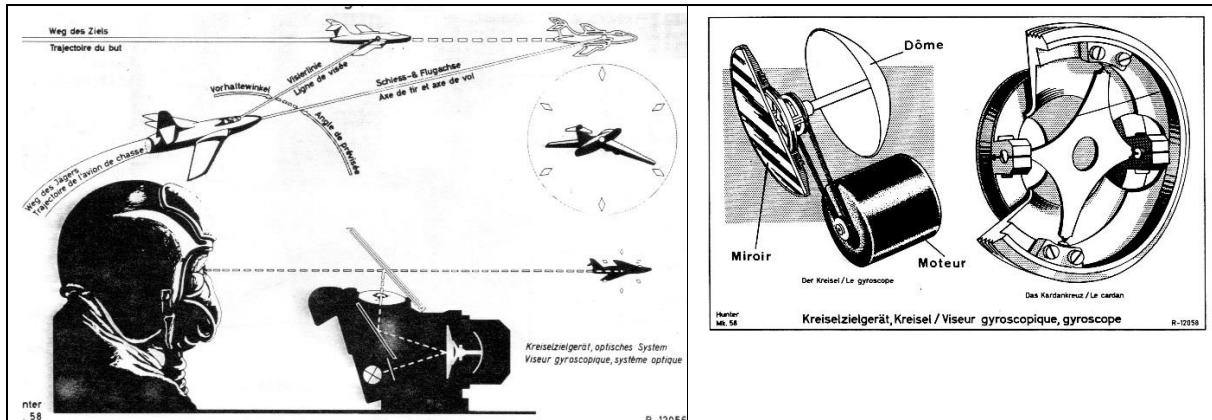
Der Kreisel rechnet den Vorhalt aus, um den die Kanonen **vor** das Ziel schießen müssen. *Hat mit dem Rechner-Kreisel nichts zu tun*  
Entwicklung: Ferranti Mark II seit 1943

Im Reflexvisier sieht der Pilot das feindliche Flugzeug ohne Optik, ohne Vergrößerung, mit beiden Augen. Gleichzeitig wird ihm eine leuchtende, **bewegliche Zielmarke** ins Gesichtsfeld eingespiegelt, die er durch die Bewegung des eigenen Flugzeuges auf das Ziel bringen muss. Jetzt kann der Pilot schießen – er zielt so viel vor das Ziel, dass die Schüsse und das Ziel sich treffen werden. Die Winkelgeschwindigkeit des eigenen Flugzeuges wird zusammen mit der Distanz, der Munition, der Temperatur und dem Barometerdruck so verrechnet, dass der Winkel-Vorhalt gerade stimmt. Anspruchsvoll!

**Der Kreisel im Ferranti-Visier übernimmt also eine ganz andere Aufgabe** als sonst bei Fluginstrumenten, wo er in Kurven etc. seine Richtung beibehält und der Orientierung der Fluglage dient. Im Kreisel-Visier spürt der Kreisel eine variable Kraft und driftet deshalb davon – **genau so schnell, dass seine Lage relativ zum ebenfalls sich drehenden eigenen Flugzeug den richtigen Vorhaltewinkel ergibt, wie er zum Schiessen auf das fremde Flugzeug benötigt wird.**

#### Aufbau des Visiers:

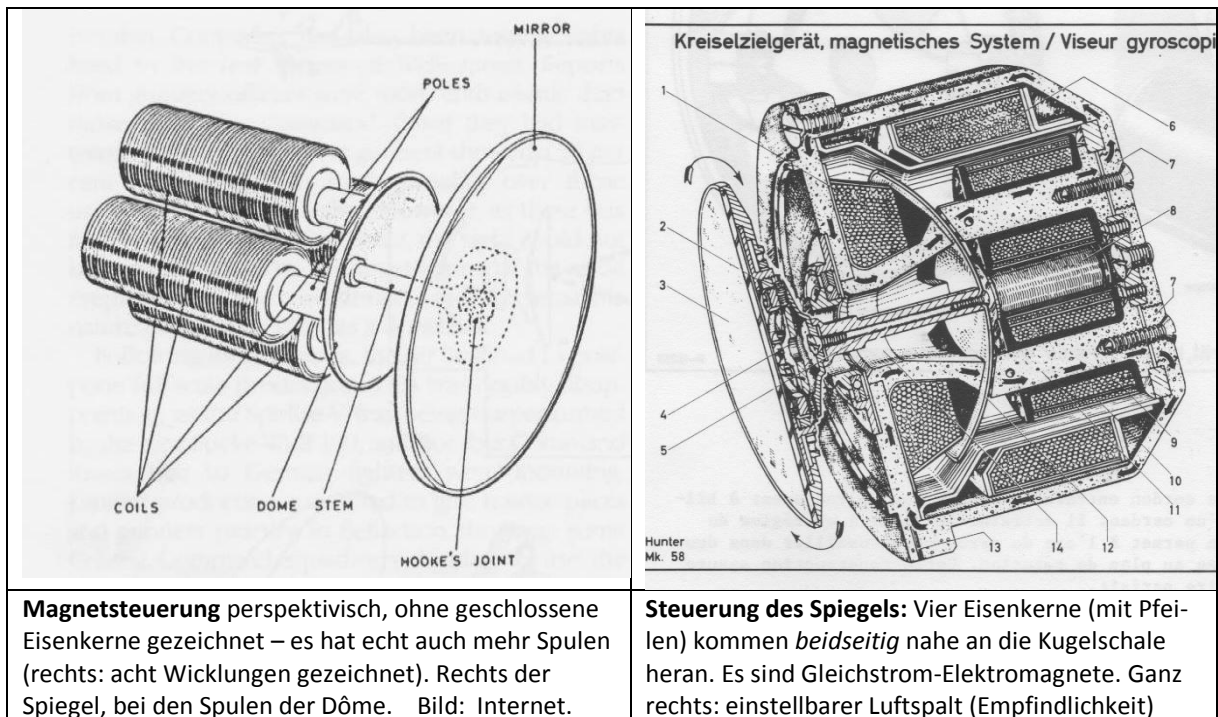
Die folgenden Bilder stammen mit einer Ausnahme aus dem CH-Reglement 56.221



Über drei Spiegel wird eine **Lichtmarke** (Kreis von 6 Rauten) erzeugt, die der Pilot durch Steuerung des eigenen Flugzeuges mit dem Ziel zur Deckung bringen muss. Ganz rechts im dunklen Visierblock der schnell rotierende, aber steuerbare Spiegel, welcher die Lichtmarke im Gesichtsfeld herumverschiebt. Ist das fremde Flugzeug mitten in der Lichtmarke, liegt es nicht mehr in der Achse des eigenen Flugzeuges.

Der rotierende Spiegel bildet mit dem Gegenstück Dôme (Metall-Kugelschale) einen Kreisel. Über zwei Gelenke (rechts) ist er mit dem Antrieb verbunden. Die Kugelschale bewegt sich im engen Spalt von vier Elektromagneten (nicht gezeichnet), was Wirbelströme im Dôme erzeugt. Das gibt Kräfte auf den Kreisel.

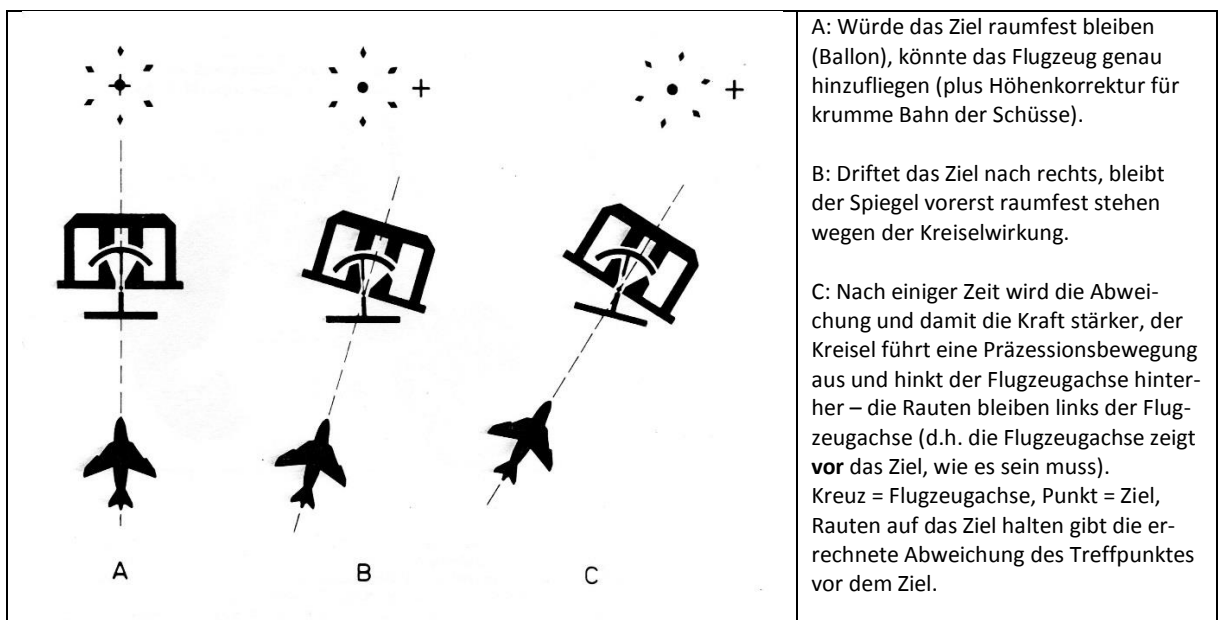
Der schnell rotierende Spiegel ist Oberflächen-verspiegelt und hat einen Durchmesser von ca. 4 cm. Das Antriebsrad mit dem Gelenk, das dem Spiegel die Beweglichkeit in zwei Achsen gewährt (Bild oben rechts), hat einen Durchmesser von 1 cm. Spiegel und Dôme sind unter sich starr verbunden, die Gelenke zur Aufhängung (Bewegungs-Achsen) müssen exakt im Kreisel-Schwerpunkt liegen.



Es gibt **vier einzelne Haupt-Eisenkerne** (z.T. mit zwei Wicklungen über einem Kern) und drei Spulen, die über alle vier Kerne gleichzeitig wirken – mit den Funktionen einer **Schwerkraftsspule** (freier Fall der Schüsse, nur nach unten), einer **Distanz-Spule** (gibt Hauptsache des Vorhaltes, um alle vier Kerne herumgewickelt – der Strom muss Distanz-abhängig sein, ab Potentiometer direkt neben der Distanz-Trommel), eine **Temperaturspule**, eine **Barometer-Korrektur**, eine **Aufrichtespule**, und eine **Munitions-Korrektur**. Die «Korrekturen» sind variable Widerstände, eingeschaltet in die Spulenkreisläufe, den Strom beeinflussend. Der Spulentopf hat einen Durchmesser von bloss 7 cm. Die Beschreibung der Spulen im Regl. 56.221 ist nicht erhellend und kaum verständlich. (vgl. auch weiter unten p. 33/34, Schiessen in der Kurve).

Es kann Schwierigkeiten geben, wenn das Flugzeug in der Kurve **geneigt** ist, denn die Spulen drehen natürlich mit dem Flugzeug mit. **Eine exakt vertikale Schwerkraft-Korrektur in der Kurve ist kaum denkbar.**

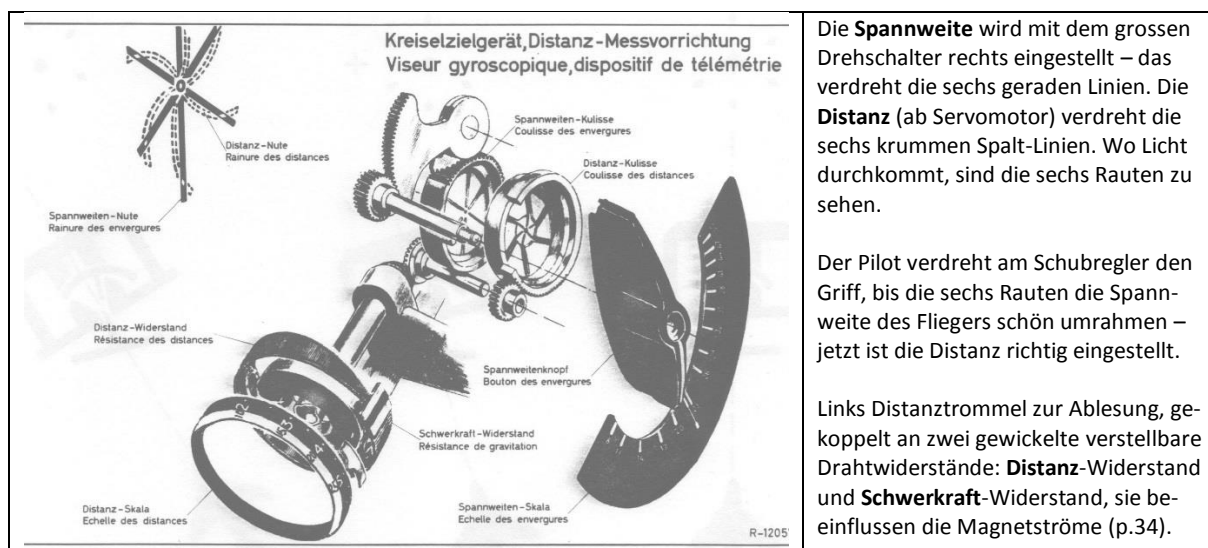
**So wirkt das Kreisel-Visier:** Flugzeug-Richtung, Spiegel, Magnetspulen, Ziel als Punkt gezeichnet, Leuchtmarken



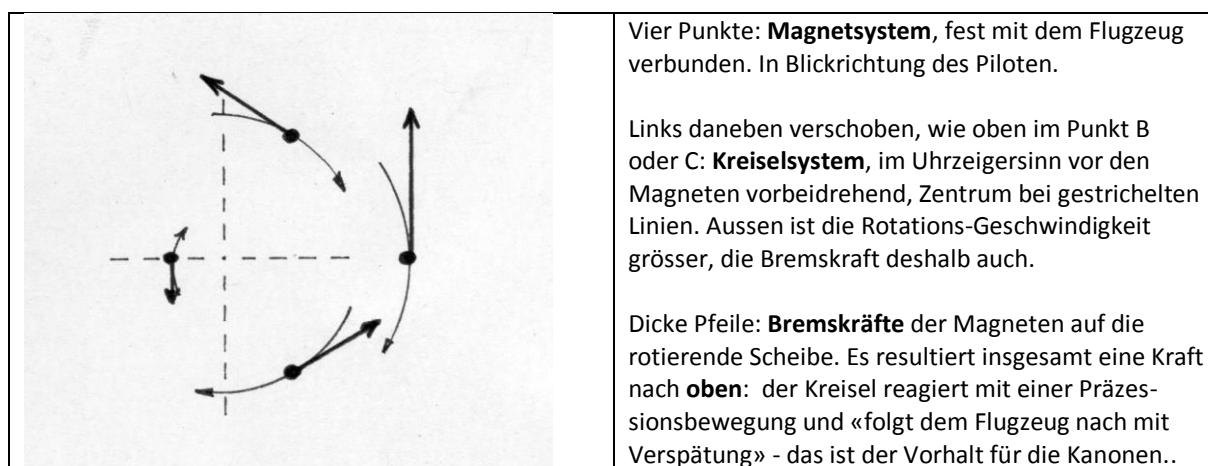
Zitat CH-Reglement: Der Winkel, um den der Spiegel hinter der Bewegung der Flugzeugachse nachhinkt, soll **proportional sein zur Winkelgeschwindigkeit des (eigenen) Flugzeuges und umgekehrt proportional zur Stärke des Magnetfeldes**. Eine enge Kurve benötigt einen grossen Winkelvorrhalt – das ist logisch. Mit den Magnetfeldern können weitere Korrekturen mitgegeben werden: Luftdruck, Distanz zum Ziel, Geschoss-Geschwindigkeit u.a.m.

**Woher nimmt man die Distanz zum Ziel ?** Der Pilot kann diese Distanz selber messen, wenn er die Flügelspannweite des Gegners kennt (Tabelle nach Flugzeug-Typen). Die 6 leuchtenden Rauten entstehen durch **Überlagerung zweier Scheiben mit Spalten**: Die geraden Linien drehen sich mit der eingestellten Spannweite, die gekrümmten Linien drehen sich mit der eingestellten Distanz. Wo sich die beiden Spalt-Muster überlagern, kommt Licht hindurch – die sechs Rauten entstehen.

Bild: Seite 35.



**So wird der Spiegel verstellt:** Durch die Magnetfelder bei der rotierenden Metall-Kalotte wird die Rotation gebremst (**Wirbelstrom-Bremse**). Der Motor muss das kompensieren. Zusätzlich gibt es asymmetrische Kräfte, sobald der Spiegel etwas ausgelenkt ist. **Annahme** für die Zeichnung unten: alle vier Magnetpole sind gleich stark (also ohne Schwerkraft-Spule), der Pilot sieht die Rotation im Uhrzeigersinn: links wirkt die Bremskraft nach unten, rechts nach oben, stets entgegen der Bewegungsrichtung. Wo sich das Metall schneller durch das Magnetfeld dreht, ist auch die Bremskraft grösser. Bei einer **Netto-Kraft nach oben** weicht der Kreisel infolge Präzession horizontal aus.



Bei allen vier Magneten wird der Kreisel gebremst, das muss der Antriebsmotor übernehmen. Zusätzlich wird die ganze rotierende Kugelschale nach oben gedrückt – das ergibt eine Präzessionsbewegung, der Kreisel weicht seitlich aus: er bewegt sich in der Richtung der Flugzeugkurve, nach rechts oder links. Die Kraft nach oben ist nicht ganz linear mit der Auslenkung des Kreisels, da sind noch Winkelfunktionen drin; da der Kreisel sich aber nicht mehr als  $13^\circ$  von «gradaus» entfernen kann, wird das nicht viel ausmachen. – Wie die **korrekte Einstellung der Magnetströme** mit allen Korrekturen für Luftdruck, -temperatur, Geschwindigkeit etc. erfolgt, **ist bisher nicht gefunden worden.**

Aus dem Patent US02527245 (1950) ahnt man, dass die Ströme mit vielen Korrekturen versehen werden, aber eine aktive, schnelle Regelung der Magnetströme fehlt. Je weiter der Kreisel auslenkt, desto grösser sind die Drehgeschwindigkeiten vor den Magneten, desto grösser die Bremswirkungen und damit die Präzessionskräfte. Es gibt von selbst eine stabile Lage, in welcher der Spiegel mit derselben Winkelgeschwindigkeit um die Kurve dreht wie das eigene Flugzeug (d.h. die «Verspätung» oder der Kanonen-Vorhalt bleibt konstant). Auch die Rückkehr zum «Gradaus» erfolgt von selbst.

In **Interlaken** gibt es einen funktionierenden **Boden-Prüfstand für das Visier** – die Flugzeugkurve wird per Handgriff simuliert. Die leuchtende Zielmarke folgt «mit Verspätung» ruhig der Flugzeugbewegung, das **Einpendeln braucht fast 2 Sekunden**. Mit aktiver Regelung der Magnetströme, wie es wohl heute üblich ist, könnte vielleicht noch etwas herausgeholt werden. Per Wahlschalter kann eingestellt werden, ob Bomben, Raketen, Kanonen eingesetzt werden – die damit verbundene Verstellung der Distanzen wirkt sehr verwirrend. Wahrscheinlich wird nicht «die Distanz» eingestellt, sondern ein Mass für das Fallen der Geschosse, und dieses Mass hängt ab vom Kaliber, von der Geschwindigkeit und von der Distanz. So geht's besser in der Vorstellung! Der Luftdruck (Höhe) wird auch korrigiert.

**Geöffnetes Ferranti-Kreiselvisier in Interlaken, Ref. 4:** Durchmesser des Magnettopfes aussen: ca. 7 cm



Blick auf **vier Magnete**, vor denen das Kugelsegment (zuoberst) in geringer Distanz hinwegdreht, zusammen mit dem Spiegel. Spulen mit einer Wicklung: Azimut. Zwei Wicklungen: Elevation / Gravitation. In der dicken Wand und oberhalb der Kugel-Kalotte sind weitere Spulen für Distanz und Temperatur (im Bild rechts knapp zu ahnen).

Das rasch rotierende Kugel-Segment hat zuunterst eine vorstehende Spitze, welche den Ring innerhalb der vier Magnetkerne berührt, sobald die Kurve zu eng wird. Das Bild der sechs Rauten beginnt dann zu vibrieren, der Pilot weiss, er kann nicht mehr schiessen. – Abstands-Stangen nur für Demo-Modell, die Kugel-Kalotte wird «versenkt».

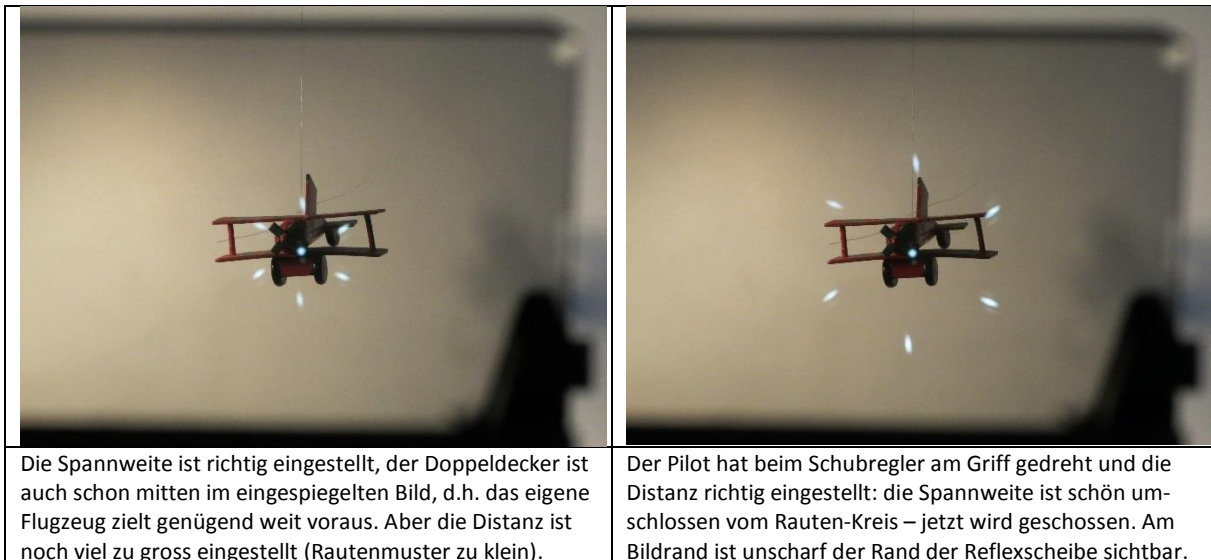
Hat der Kreisel bei kräftigen Flugmanövern eine Schiefe von  $13.5^\circ$  gegenüber der Flugzeugachse überschritten, berührt die Spitze einen elektrischen Kontakt-Ring (Bild links) – ein kräftiger Strom um alle vier Kerne herum (mit Kondensator verlängert) führt den Kreisel vorerst wieder näher zum Zentrum. Der Pilot sieht die Leuchtmarken flimmern. Bei den **Lenkwaffen** entfällt ein Vorhalt, der Pilot zielt exakt auf das Flugzeug (Sidewinder) oder auf den Panzer (Maverick). Beim Abschiessen der **8cm-Raketen** auf Bodenziele (ungelenkt) stellt der Pilot



mit «Norm-Spannweite» die Leucht-Rhomben auf exakt vertikal, und der **Raketen-Zusatzrechner** liefert die «Winkel-Distanz» als Grösse des Rautenkreises: Der Pilot hält das Ziel auf der untersten Raute. Der Raketenrechner kennt vom BT-9 nur den aktuellen Tauchwinkel und den dynamischen Druck (Geschwindigkeit).

**So sieht das Ferranti-Visier für den Piloten aus** - Richtübung auf dem Küchentisch, mit **Venom-Visier**:

Das eigene Flugzeug muss derart manövriert werden, dass das gegnerische Flugzeug mitten in den eingespiegelten Lichtkreis kommt. **Der Kreisel bestimmt, wohin der Lichtkreis zu liegen kommt.**



**Beide Flugzeuge bewegen sich... nichts ist ruhig!**

Beim **Venom** geht ein **Draht-Kabelzug** vom drehbaren Handgriff des Schubreglers zum Ferranti-Visier, der Pilot stellt von Hand die Distanz ein. Beim **Hunter** ist es dort etwas heikel: Neben dem Piloten kann auch der **Radar** die Distanz einstellen (für Luftziele), und auch der **Raketen-Rechner** verstellt den Kreis der sechs Rauten, wenn un gelenkte Raketen auf Bodenziele verschossen werden. Pilot, Radar, Raketenrechner wirken elektrisch auf einen Servomotor im Visier ein. Der Radarschirm im Hunter kann noch keine Suchbewegungen machen – er zielt fest gradaus mit einer Strahlbreite von  $\pm 5^\circ$  (Regl.56.226, I-7/p. 17, kaum tauglich, wenn das eigene Flugzeug bis  $13^\circ$  vor das Ziel ausgerichtet wird!). 1986 wurde der Radar stillgelegt, da der Hunter nur noch Bodenziele, aber keine Flugzeuge mehr zu bekämpfen hatte. - Erzeugung des Rautenmusters: vgl. auch Seiten 31 und 35.

### **Die Magnetspulen des Visiers im Detail und: Schiessen aus der Kurve**

Aus der Beschreibung der Zielanlage wird man nicht recht klug (CH-Reglement 56.221, Kap. 57.21, p.11 bis 18). Hier wird abgestützt auf: <http://www.gbairspares.co.uk/reference/ap112e-ggs-mk5.pdf> «Gyro Gun Sight Mk. 5B and 5D, Fighter A/C», drei Teilkapitel ohne Quelle, ohne Gesamtzusammenhang, Mar / Apr. 68 / Jul. 74. Mehrere Variationen und Typen sind beschrieben, netto aber eine konsistente Beschreibung der Dinge. Die CH-Visiere können in Details leicht abweichen.

#### **Einzelne Spulen und ihre Aufgabe:**

##### **Vier zentrale Magnete mit zwei Azimut- und zwei Elevations-Spulen:**

Grundlage zur Auslenkung des Kreisels in Horizontal- oder Vertikal-Kurven. Beginnt das Flugzeug eine Kurve, rutscht der Kreisel wegen seines Beharrungsvermögens von der zentralen Achse weg, die vier Wirbelströme werden asymmetrisch, eine Präzessionsbewegung beginnt – und die Lichtmarke im Visier verschiebt sich in gewollter Richtung. Das funktioniert auch, wenn das Flugzeug schon schief in der Kurve liegt, die Rolle von Azimut und Elevation werden mit steigendem Winkel um die Längsachse vermischt bis ausgetauscht.

### **Zwei Spulen «Gravitation», um die Spulen «Elevation» gewickelt**

Die Schüsse fallen unterwegs, das Flugzeug muss etwas steiler nach oben zeigen, um den freien Fall auszugleichen. Das wird so gemacht, dass eine der Elevations-Spulen stärker, die andere schwächer wird (im Gegensinne gewickelt) – das magnetische Zentrum verschiebt sich deshalb. Es müsste der Strom in der Gravitations-Spule leicht abhängig sein vom Tauchwinkel des Flugzeuges, dazu ist nichts gefunden worden.

### **Spulen «Temperatur», «Distanz» (CH: Temperatur und Distanz, Druck als Grav.-Korrektur ??? p.16)**

Diese Spulen gehen aussen herum, d.h. um alle vier Magnetkerne. Es hat zwei Spulen oben im Deckel (Anschluss-Drähte) und eine Spule (ev. 2 Spulen) in der dicken Wand ausserhalb der vier Magnete. Diese Spulen machen die vier Magnete miteinander stärker oder schwächer. Sinn und Zweck: Der gerechnete Vorhalt nimmt ab, wenn die Geschosse lange fliegen und stärker abgebremst werden. Das hängt von der Distanz und der Luftdichte ab. Ein hoher Strom in diesen Spulen fliesst bei hohen Distanzen und hohem Druck. Der Kreisel geht zur magnetischen Mitte, also zu kleinerem Winkel-Vorhalt. Gemäss GB-Manual ist bei der **Temperatur** die **interne Visier-Temperatur** gemeint, nicht die Lufttemperatur.

### **Kurvenflug**

**Ein Vorhalt, d.h. ein Schiessen vor das Flugzeug ist nur möglich, wenn das eigene Flugzeug eine Kurve fliegt!** Beim Geradeausflug zeigen die Leuchtmarken genau in die Richtung der Kanonen, und so kann nicht getroffen werden, wenn das Ziel auf anderer Flugbahn fliegt.

In der Kurve steht das Flugzeug schräg, und die **Gravitationswirkung wird deshalb falsch kompensiert**. Es bleibt abzuklären, wie viel das ausmacht, wie schräg das Flugzeug typischerweise steht. In **sehr groben** Überschlagsrechnungen mit typischen Distanzen von «nahe» bis «weit» (250-700m), eigenes bzw. fremdes Flugzeug von «langsam bis «schnell» (500-900km/h) ist gezeigt worden:

Ein Flugzeug kann nicht beschossen werden, wenn man rechtwinklig auf dessen Flugbahn zufliegt. Die benötigten Kurven sind zu eng, die Beschleunigungen zu hoch, der Winkelvorhalt meistens grösser als die maximal erlaubten  $13^\circ$ . Die sanfteste Kurve wird benötigt, wenn das Ziel langsam fliegt und weit weg ist, der Hunter ebenfalls langsam fliegt: Der Hunter liegt dann um  $70^\circ$  geneigt gegen die Horizontale, der Winkel-Vorhalt wird  $10.5^\circ$ , der Pilot spürt 3 g. Alle anderen Kombinationen sind schlimmer.

Steht das eigene Flugzeug  $30^\circ$  neben / hinter der gegnerischen Flugbahn, gemessen ab Treffpunkt, so geht es besser: Der Winkel zwischen Ziel und künftigem Treffpunkt liegt noch zwischen  $10^\circ$  und  $5^\circ$ . Die zu fliegenden Kurven sind immer noch deutlich, die sanfteste Kurven-Neigung des Hunters liegt grob geschätzt bei  $50^\circ$ .

Hat sich der Hunter um die Längsachse geneigt, so ist die Gravitations-Korrektur nicht mehr richtig. In 0.3 Sek. resp. 1 Sek. fallen die Schüsse um 0.5 m resp. um 5 m – diese Strecke wird jetzt horizontal/vertikal falsch verteilt. Das ist aber noch vertretbar, das ist ein kleiner Fehler!

-----

**Internet-Publikation** mit SEHR viel Vektor-Mathematik zum Kreisel-Visier - beginnt historisch und endet bei ganz modernen Visieren: Keine Angaben zur eventuellen Steuerung der Magnetströme (Folie 23).

<https://www.slideshare.net/solohermelin/6-computing-gunsight-hud-and-hms>

WWII: Ein US-Visier K-14 für Flak-Kanonen und ein deutsches Flugzeugvisier EZ-40 und EZ-42 arbeiten auch mit Kreiseln – aber nicht mit einem, sondern mit **zwei Kreiseln** (einer für die Seite, einer für die Höhe). Dies ohne Wirbelströme: Input ist eine mechanische Drehung um eine Achse rechtwinklig zur Drehachse des Kreisels, Output ist wieder eine Drehung um die dritte Achse – und jetzt sind die Kapazitäten erschöpft, für den zweiten Winkel braucht es einen zweiten Kreisel. Weil die Bremsung der Wirbelströme im Ferrant-Visier die Kreisel-Rotationsachse benützt, sind zwei Drehwinkel mit einem einzigen Kreisel zu bedienen.

US-Visier mit klaren Kreisel-Skizzen: <https://eugeneleeslover.com/AMMUNITION/GUN-SIGHT-MARK-14-OP1040-2.html>

D-Visier: <http://www.deutscheluftwaffe.com/archiv/Dokumente/ABC/b/Beobachtungsgereate/EZ/EZ%2040/EZ%2040%20Visier.html>

## Anhang 3:

### Digitale Rechner in dieser Zeit

*Als Erinnerung und zum Vergleich*

Digitale Röhrenrechner waren zu Beginn riesig und füllten einen ganzen Saal, für ein Flugzeug absolut undenkbar. Rechner **ERMETH** der ETH wurde entwickelt von 1948-56, stand im Einsatz bis 1963.

Erster Transistor-Rechner der Schweiz (entwickelt 1957-63 durch Peter Toth bei der Contraves AG): **CORA I**, ein mannshoher Schrank. Ferrit-Kernspeicher, 8000 Dioden, viele Einzel-Transistoren. 1964 an der Expo in Lausanne im Einsatz als Zeichengerät (das Publikum durfte den Rechner nicht sehen, nur seine Zeichnungen: es könnte angeblich erschrecken). Im Museum Bolo in Lausanne zu sehen. Nachfolger **CORA II** deutlich kleiner, entwickelt bei Contraves 1966-70. Rechner im neuen Feuerleitgerät Skyguard (die frühere Super-Fledermaus hatte noch Röhren und Drehwellen, rechnete analog).

Hewlett Packard bringt den ersten Taschenrechner **HP-35** mit trigonometrischen Funktionen auf den Markt: 1972

**BT-9, analoger** elektromechanischer Rechner im Hunter: 2 Verstärker mit je 2 Röhren für Nebenaufgaben (genaue Erkennung einer Nullstelle, Nullstellen-Lupe), sonst hat es im Hauptrechner keine Röhren, keine Transistoren. Die zweite, spätere Serie hatte anstelle der Röhrenverstärker zwei neue Operationsverstärker LM101AH. Der Rechner stand im Einsatz im HUNTER in der Zeit von 1964 bis 1994, Dimensionierung und Spezifikationen wurden schon etwas vor 1964 festgelegt.

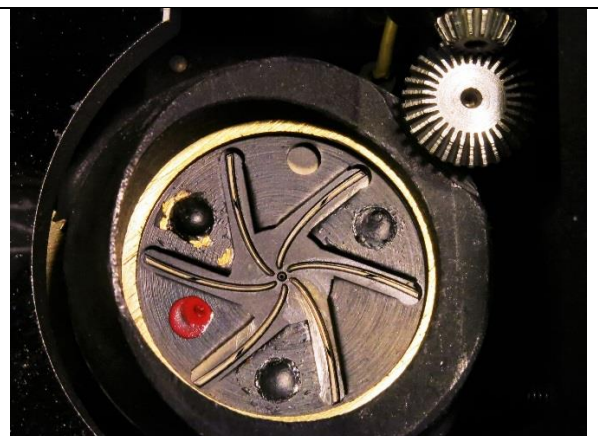
## Anhang 4:

### Einzelbilder

Nach Abschluss der Seiten-Einteilung gab es noch **neuere Bilder**, die nur mit grösserem Aufwand am richtigen Platz hätten eingefügt werden können. Hier sind deren fünf:

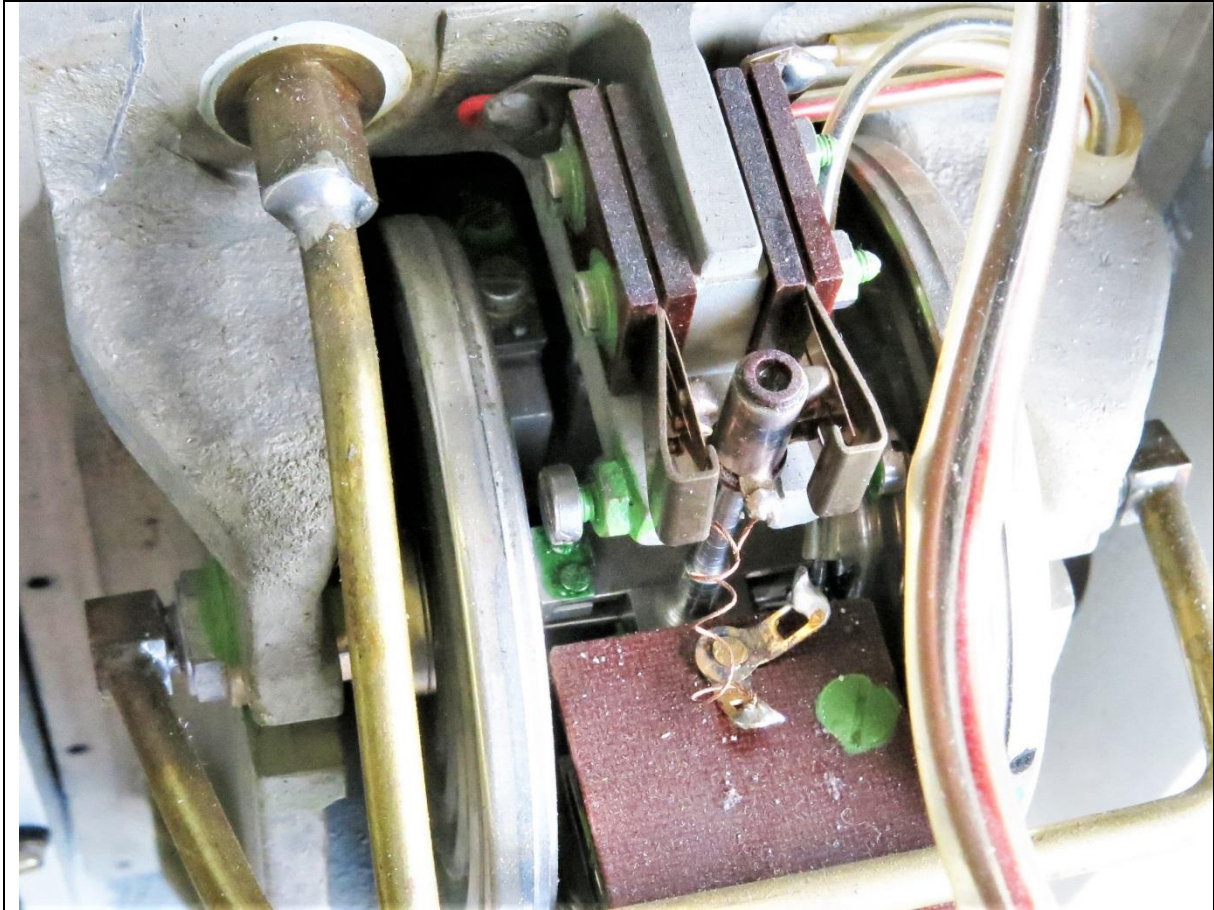


**Korrekturband bei der Druck-Nachführung:** Der offene Rechner des Huntervereins Interlaken zeigt bei den Druckmessungen viel grössere Korrekturen, als oben gezeigt. Hier die Korrektur des dynamischen Druckes: das Band (an den Schraubenspitzen) weicht stark ab von der Kreisform des hellen Niederhaltebandes. Ablesefuss zw. 6h und 7h.



**Ferranti-Visier Venom, Rauten-Leuchtmärke:** Zwei drehbare «Schablonen» mit feinen Öffnungen liegen aufeinander, werden verdreht gemäss der Spannweite (gerade Linien, hinten) resp. der Distanz zum Flugzeug (krumme Linien, vorne, am Schubregler verdreht). Durchmesser ca. 3 cm. Oben rechts Distanz-Rad mit Winkel-Trieb.

**Bild rechts:** Wird die Spannweite auf 22 m (Bombensymbol) eingestellt, steht die unterste Raute stets senkrecht unter dem Zentrum. So kann ein vertikaler Winkel-Vorhalt bei Bodenzielen eingestellt werden (Raketenwerfer, oder wie Venom-LAR).

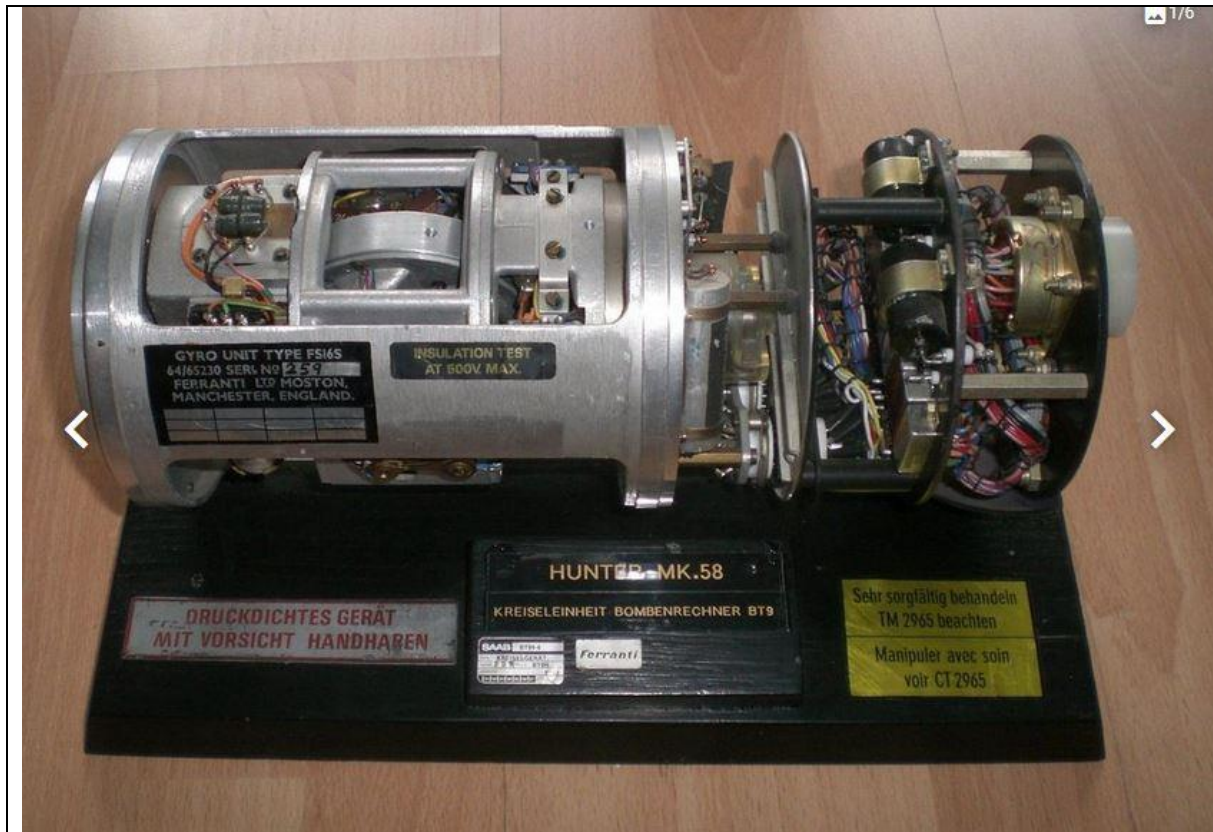


**Geöffnete Druckeinheit**, normalerweise unsichtbar, da sich alles in einer hermetisch dichten Blechdose befindet. Der geöffnete Rechner steht beim **Hunterverein Interlaken**:

Oben links kommt das Rohr mit dem **Totaldruck** (statischer plus dynamischer Druck addiert) vom zentralen Loch des Prandtlrohres am linken Flügel. Dieser Druck wird links und rechts in die beiden **Eneroid-Dosen** geführt, die Verzweigung des Rohres ist knapp abgeschnitten. Die Barometer-Messdosen (Ansicht fast von der Kante her) sind verlötet, haben ca. 5 cm Durchmesser. Ausserhalb dieser Dosen ist die Druck-Einheit mit dem **statischen Druck** gefüllt (Mass für die Flughöhe); in der Differenz werden die beiden Barometerdosen also gemäss dem **dynamischen Druck** auseinandergedrückt (ist ein Mass für die Geschwindigkeit des Flugzeuges).

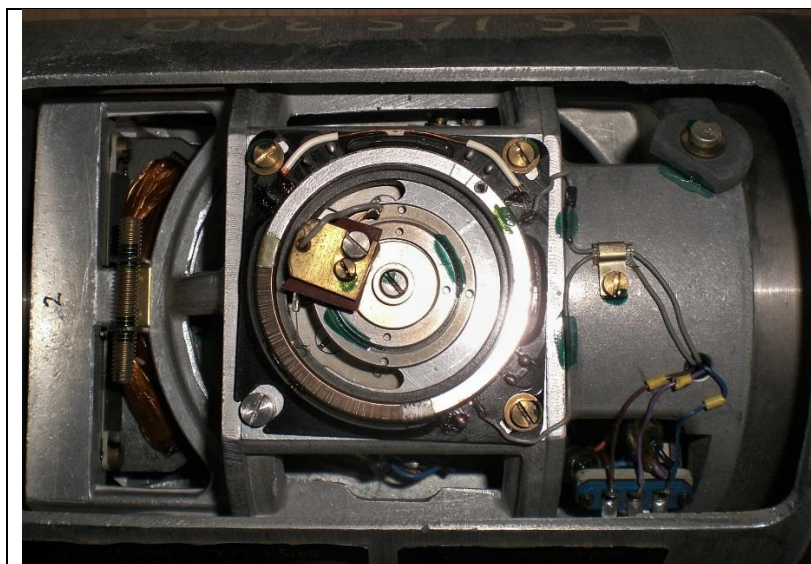
Die beiden Dosen sind aussen fest eingespannt, innen durch dünne, über Achsen gewickelte Stahlbänder miteinander verbunden. Die gemeinsame Verformung der Dosen verlängert oder verkürzt die Stahlbänder, welche ihrerseits die starke Spiralfeder (im Bild unsichtbar) verdrehen. Diese Drehung lässt den zentralen, hochstehenden Stift (hier perspektivisch verkürzt) nach links oder rechts schwanke, so dass er die Kontaktfeder links oder rechts berührt an ihren je drei hellen Kontaktpunkten. Der so geschlossene Stromkreis steuert die Spulen im Rüttelmotor für den dynamischen Druck aufwärts oder abwärts, so dass die Spannung der Spiralfeder ansteigt oder nachlässt. Über eine Zahnradverzweigung (p.10, Bild 45) verstellt der Rüttelmotor gleichzeitig auch die Schiebewiderstände für den dynamischen Druck – damit wird dann gerechnet.

Es ist nie ein Hinweis darauf gefunden worden, dass **aus dynamischem und statischem Druck irgendwo die Geschwindigkeit oder die Höhe des Flugzeuges ermittelt würde**. Gerechnet wird in den Widerstands-Rechenkreisen immer nur mit den Druck-Werten (mbar).



**Aufgeschnittener Kreisel** zum Rechner BT-9, hergestellt von Ferranti Ltd. Rechts der Anschluss mit zwei dicken Signal-Kabeln. Linke Hälfte: Der Kreisel dreht in einem luftdichten, ausgepumpten Blechgehäuse, das hier entfernt ist. In den drei Abteilen rechts befinden sich Überwachungen zur Kreiselposition (Aufstellen vor dem Angriff, Drehachse vertikal), neun Relais für die verschiedenen Betriebszustände, zwei Quecksilber-Schalter zur Überwachung der Lage (Roll und Pitch, ev. in einen Regelkreis eingebaut: Kreisel so lange aufstellen, bis alles stimmt). Kompakter Aufbau, die Bewegungen beim Kreisel verlaufen äusserst reibungsarm. Die eigentliche Schwungmasse ist nicht sichtbar.

Präparation des Kreisels und Foto, auch im Bild unten: Heinz Wüest.



Endlich gefunden im Kreisel-Gehäuse: **Draht-Schiebewiderstand**, der den **aktuellen Tauchwinkel** des Flugzeuges an den BT-9 gibt. Links unten ist ein Stück der Drahtwicklung sichtbar (Tauchen bis  $-60^\circ$ , Hochziehen bis  $+40^\circ$ ). Abgreif-Kontakt unter dem Messingteil (kaum sichtbar), schleift mit zu- / abnehmendem Tauchwinkel nach links oder rechts. Der Winkelbereich, in dem sich das Messingteil mechanisch bewegen kann, ist ca.  $180^\circ$ . Der Kreisel bleibt fest, das Flugzeug bewegt sich um den Kreisel herum.

## Zusammenfassung

- 1. Die mathematische Aufgabe**, wie der beste Zeitpunkt zum Bombenabwurf geometrisch bestimmt wird, kann nur als «roter Faden» nachvollzogen werden. Ein vertieftes Verständnis der Einzelheiten war nicht möglich – die Aufgabe ist zu speziell und sehr anspruchsvoll.
- Besser verstanden wird die **Arbeitsweise des Rechners**. Die Werte aller Flugvariablen, aller Störungen und sonstigen Einflüsse werden laufend übersetzt in mechanisch **verstellbare Drahtwiderstände** (Schiebewiderstände). Bei den Druck-Grössen und Winkelmessungen war ein sehr grosser mechanischer Aufwand nötig zur laufenden Nachführung: mbar zu Ohm-Wandlung, resp. abstrakte, gerechnete Winkelgrad zu Ohm. Andere Grössen waren leichter in Widerstandswerte umzuformen.
- Der eigentliche Rechner arbeitet ausschliesslich mit diesen variablen und einigen festen Widerständen und ist vergleichsweise schlank, d.h. mit wenig Herstellungs-Aufwand verbunden. Es wird **allein mit dem Ohm'schen Gesetz** gerechnet, mit Serie- und Parallelschaltungen und 7 Transformatoren. Zwei Röhrenverstärker dienen der genaueren Erfassung der Amplituden-Nullstellen.
- Es wäre abzuklären, ob solche Widerstandsrechner je verbreitet waren. Dem Verfasser blieb diese Rechentechnik bisher unbekannt – im Rahmen vieler Untersuchungen an Militär-Rechnern der Fliegerabwehr aus der Vor-Digitalzeit sind derartige Widerstandsrechner noch nie aufgetaucht.
- Mitten in der heissen Phase des Angriffs baut sich der Rechner mit **Relais-Umschaltungen** selber markant um. Eingang und Ausgang des einen Verstärkers werden auf andere Rechenkreise umgeleitet. Man erspart sich dadurch einen Verstärker (oder Ausfall-Defekte, wenn Röhren kaputt gehen). Beim Umschalten werden einige der Variablen auf ihrem bisherigen Wert eingefroren, andere werden weitergeführt. Wieso der statische Druck (Höhe) und der dynamische Druck (Geschwindigkeit) eingefroren bleiben während des Wiederaufziehens des Flugzeuges, ist nicht richtig einzusehen – aber beim ursprünglichen Tauchwinkel während des Zielens ist das Einfrieren unerlässlich.
- Wichtig zur Orientierung ist der eigens zum Rechner gehörende **Kreisel**. Man muss ihn vor dem Angriff extra aufrichten, das Flugzeug muss deshalb ca. eine Minute ruhig gradaus fliegen ohne jede Beschleunigung – der Pilot kümmert sich nur um den Kreisel. Der Kreisel verstellt beim Abtauchen oder Hochziehen des Flugzeuges direkt einen Schiebe-Widerstand, der zum Rechner führt. Etwa sechs weitere verstellbare Widerstände sind ebenfalls ausserhalb des Rechners im Flugzeug verteilt, und beeinflussen den Rechengang im BT-9.
- Eine in der langen Betriebszeit (30 Jahre) aufgetretene Verschlechterung des Rechners konnte möglicherweise geortet werden in einem abgeschliffenen Abtastkörper (Vermutung).
- Nach einer ersten Serie von 70 beschafften Rechnern BT-9 verging eine gewisse Zeit, bis die zweite Serie von 90 weiteren Rechnern gekauft wurde. Diese Pause zeigt sich bei den Relais in stark veränderter Fertigungstechnik mit gedruckten Leiterbahnen. Zwei OpAmp LM101AH ersetzen jetzt die ursprünglichen Röhrenverstärker (unsichere Datierung für die zweite Serie: ab ca. 1970).
- Da beim Raketenschiessen auf Bodenziele der gerechnete vertikale Vorhalt in das **Ferranti-Visier** des Hunters einfliesst, ist dieses Kreiselvisier untersucht und dessen Funktion (auch beim Kanonenschiessen) qualitativ weitgehend verstanden worden: Der Winkel-Vorhalt wird durch einen rotierenden Kreisel erzeugt, dem eine Präzession aufgezwungen wird; die Präzessionsbewegung relativ zum drehenden Flugzeug ergibt den Vorhalt im Zielvorgang. Dieser Vorhaltwinkel ist abhängig von der Drehgeschwindigkeit des Flugzeuges, von der Distanz, Munition, Luftdruck, Temperatur. Neun stromdurchflossene Spulen müssen den richtigen Strom haben, damit das Schiessen genau wird. Begriff «Präzession»: Seitliches Ausweichen eines rasch drehenden Kreisels, wenn seine Drehachse verändert wird.

# Gesamtschema der Variablen und der Signalwege im BT-9 Ohne Raketenrechner

Aus der schwedischen Beschreibung, Ref. 2.

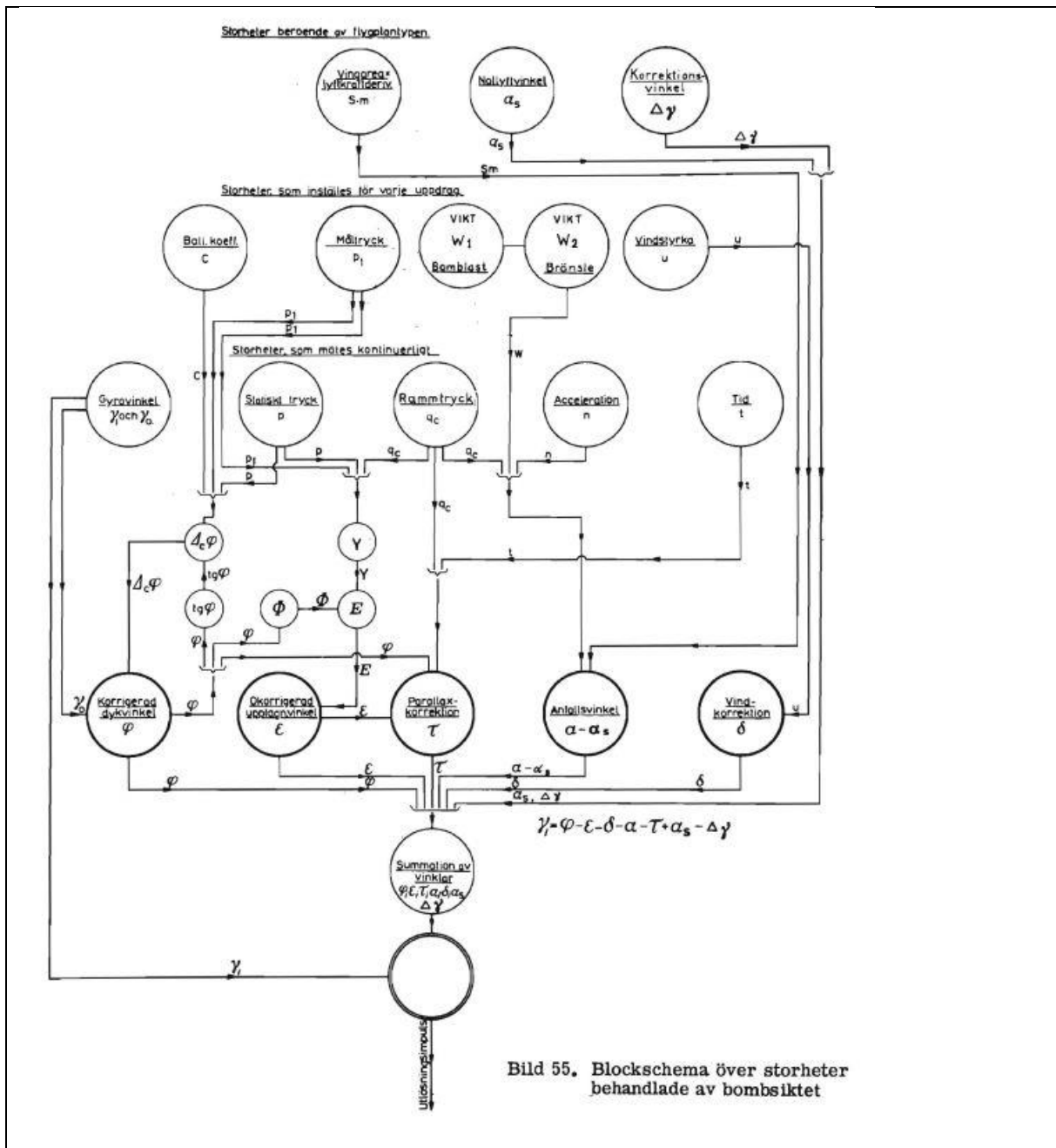


Bild 55. Blockschema över storheter behandlade av bombsiktet

**Oberste Zeile:** Diverse Flugzeugkonstanten und ein Pauschal-Korrekturwinkel, um bekannte Bombenfehler zu korrigieren  
Diese Größen werden **kaum je verstellt**

**Zweite Zeile:** Aerodynamische Form der Bombe / Zieldruck / Gewicht von Bomben und Treibstoff / Windstärke  
**Vor dem Angriff von Hand eingestellt**, bleiben danach fest (abgesehen von Treibstoff)

**Dritte Zeile:** Aktueller Tauchwinkel vom Kreisel / Statischer Druck Flz. / Staudruck / Beschleunigung vertikal / Zeit  
Im Flug **laufend gemessen** mit eignen Sensoren, diese Größen verändern sich andauernd im Flug

**Kleine Kreise:** Nachführung von  $\varphi$  und  $\epsilon$   
Im Flug andauernd **mathematisch konstruiert** (ausprobiert, mit Aufwärts- / Abwärts-Korrekturen)

**Vierte Zeile** (alles Winkel): Korrigierter Tauchwinkel / Korrigierter Aufzugswinkel / Parallax-Korrektur / Anstellwinkel / Windkorrektur

*Im Flug dauernd **mathematisch konstruiert** ( $\varphi$  und  $\varepsilon$ ) oder **berechnet** ( $\tau$ , Anstellwinkel,  $\delta$ ) im Hauptrechenkreis*

**Ausgang** Sieben Winkel werden laufend im Hauptrechenkreis E bis H zusammengezählt – wenn der aktuelle Tauchwinkel vom Kreisel her gleich gross ist wie diese Summe, wird die Bombe abgeworfen.

In den schweizerischen Dokumenten zum Bombenrechner BT-9 ist zur Vermeidung von Missverständnissen das Wort «Bombenauslösung» meistens zu lesen als: «Auslösung des Rechenganges, welcher später zum Ausklinken der Bombe führt». Das Wort Bombenauslösung wurde aus dem Schwedischen «bombutlösning» übernommen – unglücklich. Schon im Schwedischen sind Mehrdeutigkeiten erkennbar, so «utlösning» als späterer Moment des Ausklinkens: Beskrivning, Ref. 2, p. 2, p. 4, p. 18, Erklärung zu  $\gamma_1$ , p. 13, p.68, p.76 utlösningsrelä

## Literatur / Dokumente

**1.** US-Patent 2'609'729 Bombing Instrument for aircraft. Application **1949**, Patented **1952**. Schwedisches US-Patent. Zu US-Patenten von US-Firmen vgl. weiter unten unter Ref. 7.

Zu finden sind diese Patente unter Depatis (Angabe von Land und Patent-Nummer):

<https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?window=1&space=menu&content=index&action=einsteiger>

**2.** Beskrivning Bombsikte BT9C. Utgiven av Flygvapnet den 22/9 **1971**. Inskannat av AEF 2018-02-25. Reichhaltige schwedische Beschreibung des Rechners BT-9, etwas jünger als die schweizerischen Rechner.

**3.** Das schwedische Bombenzielgerät SAAB BT 9. Technik-Beilage NZZ 19. Feb. **1964**. Zwei Teile. Redaktion H. Jausli: «Es wurden ausschliesslich Werkangaben der Firma SAAB benützt» (Aus dem Flieger-Flab-Museum Dübendorf, wahrscheinlich auch im NZZ-Archiv zu finden)

**4.** In **Interlaken** wurden früher die schweizerischen Hunter-Flugzeuge gewartet. Der «**Hunter-Verein**» (Präs.: Beat Gerber; Technischer Chef: Kurt Steffen) liess mir zeitgenössische Dokumente zukommen mit Beschreibungen, Foto des Einbauortes, Auszüge aus den Werkstatt-Büchern – herzlichen Dank für diesen wertvollen Service! Adresse Hunter-Verein: <https://www.huver.ch/> Weiter hat es dort Demo-Modelle, Schnittmodelle, und sehr viel technisches Wissen zum Hunter. Selten fliegen die letzten privat gewarteten Hunter auch heute noch in der Luft (ab Sion, Altenrhein und St.Stephan, auch mit Doppelsitzern).

**5.** Vorhalterechner und Sturzvisier der Deutschen Luftwaffe, **1943**: BZA 1 (Bombenziel-Anlage für Sturzflug), Beschreibung der Anlagen, der Funktionen, des Zielvorganges:

[http://www.deuscheluftwaffe.com/archiv/Dokumente/ABC/r/Reflexvisiere/BZA\\_1/BZA%201.html](http://www.deuscheluftwaffe.com/archiv/Dokumente/ABC/r/Reflexvisiere/BZA_1/BZA%201.html)



Mit Originaldokumenten, Schaltplänen etc.

Hier wird ein **ganz anderes Zielverfahren** verwendet: Es wird mit dem Flugzeug ein Punkt hinter dem eigentlichen Ziel anvisiert. Der Winkel zwischen Visierpunkt und Ziel nimmt laufend zu, andererseits nimmt der im Visier angezeigte Winkel zwischen Visierpunkt und «gegenwärtigem» Treffpunkt laufend ab. Der Pilot vergleicht im Visier den Ort des Zieles mit dem vom Rechner vorausgesagten Vorhaltewinkel. Bei Übereintreffen wird die Bombe von Hand ausgelöst, d.h. noch während des geraden Stechfluges. Erst nachher kann das Flugzeug hochgezogen werden. Das Verfahren ist somit ähnlich wie bei den Horizontalbombardierungen aus grosser Höhe.

**6.** Abbildung eines erhaltenen Vorhalterechners der Anlage BZA 1 der Deutschen Luftwaffe (ähnlicher Typ wie bei Ref. 5, ganz anderes Prinzip als beim Schwedischen Rechner):

<http://www.cdvandt.org/exh-details-30-bza1.htm>

**7.** Es gab einen **Patentstreit** zwischen der Firma SAAB und amerikanischen Stellen (Mergenthaler). Im US-Patent 3'132'561 (1961/1964) sind offensichtlich sehr ähnliche Lösungen wie bei SAAB vorgeschlagen. Elektrische Schema-Zeichnungen mit Transformator-Schaltungen gibt es für zahlreiche Formen von Angriffsflügen, alles ist nur sehr knapp erklärt.

Ein älteres Patent (1956/1959) ist US 2'910'916, mit mechanischen Lösungen und den Transformator-Schaltungen, sowie US 2'898'809 (1955/1959).

Einige Einsichten, um was es beim Prozess gegangen ist (das US-Modell M-2 war wohl doch eine Weiterentwicklung) findet sich in Juristensprache und auf englisch unter:

<https://law.justia.com/cases/federal/appellate-courts/F2/410/979/154607/>

Entscheid des Gerichtes: 1969.

#### **8. Bundesarchiv Bern:**

E5460A#1973/109#84\*                      Zwischenbericht 1, 2, 3 über die Bombenabwurf-Versuche 1960/61 mit dem Hunter (und früher 1958 mit dem Venom). Zwei Hunter (J-4069, J-4071) sind schon früh mit dem Rechner ausgerüstet worden, um Erfahrungen zu sammeln. Unzählige Tabellen und Grafiken, z.T. gab es auch Kinderkrankheiten. Jemand nervte sich ob der vielen unverarbeiteten Zahlen: «Der Bericht enthält wieder einmal keine Beurteilung der Resultate und ist nicht brauchbar» (KTA an Abteilung für Flugwesen und Fliegerabwehr, 30.5.61). Das Gerät heisst damals noch AX-25 oder AX-25 (BT-9).

Wenige Protokolle von sehr vielen sind im BAR fotografiert und zuhause studiert worden; bei Abwurfdistanzen von 1 bis 2.2 km haben die Treffer in der Länge von  $\pm 20$  m (ausgezeichnet) bis zu  $\pm 100$  m gestreut, in der Seite von  $\pm 5$  m bis  $\pm 15$  m, wenn deutliche Ausreisser gestrichen werden. Von sehr grossen Wurfedistanzen wie im NZZ-Bericht (Ref. 3: 7.5 km) war man jedenfalls weit entfernt (es gab aber viel mehr Berichte, Auswahl ist nicht repräsentativ). Diese untersuchten Abwürfe fanden schon früh statt, als erst zwei Hunter mit dem Gerät ausgerüstet waren. - **Mehrfach gehört von Zeitzeugen:** Man war nicht wirklich zufrieden mit dem Rechner, die Abwurfgenauigkeit war zu gering. Die Raketen trafen besser.

E5156B#1986/39#126\*                      Reise vom 22.-24.11.1965 nach Meiringen: Erste Erfahrungen mit dem Rechner, anlässlich seiner Einführung bei Fl. St. 11. Zielvorgang. Der Kreisel driftet bei annähernd horizontaler Lage des Flugzeuges mit  $0.25^\circ$  pro Minute, ausserhalb  $-10^\circ$  bis  $+30^\circ$  mit  $0.5^\circ$  pro Minute. Welche Fehler im Ziel bei welchen Einstellungsfehlern zu erwarten sind (Tabelle ohne Begründung). Höhenfehler: beim statischen Druck ist das Pitot-Rohr sehr empfindlich auf die Anströmungs-Richtung: Bomben- und Treibstofflast können  $\pm 25$  mbar ausmachen. Man müsste das Pitot-Rohr eigentlich vom linken Flügelende auf das Seitenruder verlegen. Messbereich des Bombenrechners, statischer Druck Ziel: 730 ... 1030 mbar, stat. Druck Hunter: 500 .. 1100 mbar (Regl.56.221, 57.31-02) - Der Raketen-Rechner wirkt auf den Ferranti-Kreisel des Hauptvisieres ein und

zeigt dort den nötigen Vorhalt (unterster Rhombus ist auf das Ziel zu bringen). Dabei muss der Pilot die Distanz zum Ziel selber abschätzen, beim Bombenwurf nicht. >>> Eindeutige Stelle, dass **der Raketen-Rechner gleich zu Beginn installiert wurde!**

E5001G#1982/121#1996\* Informationsaustausch: Dänemark möchte 1970 die schweizerischen Erfahrungen kennen mit dem BT9R (mit **Laserdistanz-Messung**) und erhält nach Rücksprache mit SAAB den vertraulichen «Bericht über die **Bombenabwurf-Versuche mit dem System BT9R auf Mirage IIIS**, RK53, LK69 0396 vom 21. Juli 1969 der Gruppe für Rüstungsdienste». Der Bericht selber ist nicht dabei und liess sich im ganzen BAR nicht finden. Dänemark möchte den Rechner ev. auch im SAAB Draken einbauen, nach der Verwendung des älteren BT-9J im F-100. In einer Beschreibung (April 1969) der Mirage-TARAN-Anlage auf der Seite von W. Dürig passt die Bedienung des Mirage-Bombenabwurf-Rechners zum SAAB BT-9 (aber von Laser-Distanz ist im April 1969 nicht die Rede, der Radar misst die Distanz zum Boden).

Bereits in der Botschaft des Bundesrates zur Beschaffung der Mirage-Flugzeuge (25.4.61) werden diese Bombenabwurfrechner erwähnt.

E5460A#1974/93#103\* Div. Korrespondenzen (1964) mit dem Ziel, bereits bewilligte andere Kredite kurzfristig anzuzapfen, um nochmals 20 Rechner BT-9 für Fr. 1.8 Mio. zu beschaffen (später würde es teurer). Es geht aber nicht. Primault: vielleicht kann die Option (zu weiteren Geräten bei günstigerem Preis ?) noch verlängert werden, weil es Störungen am Rechner gibt, wenn mit allen vier Kanonen geschossen wird.

(1964-66 wird die erste Serie von 70 Rechnern in die Flugzeuge eingebaut. Die zweite Serie von 90 Rechnern wird wahrscheinlich erst anfangs der Siebzigerjahre beschafft. 1971 druckt SAAB eine Broschüre, wo noch die alten Relais drin sind.)

9. ASMZ 1936, Heft 5, p.296: Bombenabwurf aus Flugzeugen (früher als alle Rechner, mit behelfsmässigen Methoden. Horizontalflug und Sturzflug).

---

Rettung des historischen Materials:

### **Wie verkauft, verschenkt, rettet man Armeematerial, das einem gar nicht gehört ?**

Es lagert in privaten Sammlungen einiges an historischem Armeematerial. Bei Todesfällen kann es wieder in Umlauf kommen. Ich habe über Internet-Plattformen ein halbes Dutzend Geräte gekauft, sowie zahlreiche Papiere, Bücher, Reglemente, auch über Antiquariate.

Nach den Diskussionen über Raubkunst, Gurlitt-Sammlung etc. mag es ev. interessieren, woher denn die Geräte stammen, und ob alles richtig zu und hergegangen sei. So habe ich etwa nach der Herkunft gefragt, und ganz unterschiedliche Dinge gehört. Alles ist älter als ein Viertel-Jahrhundert und sicher verjährt. Einige der Männer, mit denen ich Kontakt hatte, standen im hohen Alter.

Einer sagte: Regulärer Armeeverkauf oder -Versteigerung mit Ortsangabe

Einer sagte: Aktives, heikles Täuschungsmanöver

Einer sagte: Gezielte Bekanntgabe, wo das Alteisen liegt, und wann genau es entsorgt wird. Diese Informationen weiterzugeben, sei nicht verboten gewesen. Genaue Zeitangaben der Kaffeepausen, und während des Kaffees würden sie sicher nicht hinschauen, das sei nicht ihre Arbeitszeit. Der Rest erfolgte automatisch.

Einer sagte: Zuerst sei er mit seinem Interesse langsam und sorgfältig abgetastet worden – und dann sei er regelrecht überhäuft worden mit immer weiteren Dingen – alles gratis. (Man spürt fast die Not der Bundes-Mitarbeiter, die nichts verkaufen dürfen und trotzdem retten wollen).

Einer sagte: interne Verteilung an interessierte Insider.

Einer sagte nichts und drückte herum.

Einer sagte sehr präzise: Name, Beruf, Arbeitsort und Foto des früheren Besitzers, Nähe Flugplatz.

Es wird alles gegeben haben, die Realität war breit und vielfältig. Vielen Dank den Leuten, die lange mit diesen Geräten gearbeitet haben, und einfach nicht zuschauen konnten, wie alles der Verschrottung zugeführt wird! Heute dürfen diese Ausverkäufe offenbar gesitteter und geregelter ablaufen, die Armee oder die Rüstungsdienste können so zu Geld kommen.

Es sind in dieser Reihe bereits die folgenden **historischen Militärrechner** studiert und beschrieben worden – bisher im Bereich der **Fliegerabwehr**:

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 präzise 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
Siebente Arbeit:	Horchartung: 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
Elfte Arbeit:	Rechenanlage Verograph zur genauen Distanzbestimmung	Dez 2018
Zwölfte Arbeit:	Flabvisier XABA zur 35mm-Kanone 1963 Oerlikon	Mai 2019

André Masson, Langenthal / Schweiz

Juni 2019 – März 2020