

Frühe Flugzeug-Vermessung durch mechanische Rechner bei der Fliegerabwehr:

Horch-Ortung - Elascop und Orthognom

Überblick:

Wie wurden feindliche Flieger geortet, bevor es Radargeräte gab? Wie fand man die Flieger nachts, oder wenn sie über den Wolken flogen? Kernpunkt waren grosse **Horch-Geräte**: Mit starker Vergrößerung des Ohrenabstandes wird das **Richtungshören** empfindlicher gemacht (Zeitdifferenz zwischen linkem und rechtem Ohr). Viele Fabrikate versuchten, mit speziellen Trichtern das Richtungshören zu verfeinern. Um die Position der „erhorchten“ Flugzeuge den Scheinwerfern weiterzugeben, muss vom „Horch-Ort“ **umgerechnet** werden zum **wahren Flugzeug-Ort**: Der Schall kommt aus einer Richtung, in der das Flugzeug schon lange nicht mehr ist. **Diese Umrechnung ist das Haupt-Thema der Arbeit**. Es werden vier Methoden zur Horch-Ortung vorgestellt:

1) Ein früher, vom Horchgerät noch getrennter Rechner **Orthognom I** der Firma ELECTROACUSTIC (Kiel und Copenhagen, 1933) verwendet ein sehr spezielles Koordinatensystem, in dem die Umrechnung genial einfach wird. Ab Seite 3

2) Ein weiteres frühes Modell **Sphäroscop** derselben Firma verwendet den Rechner Orthognom I, aber keinen Horchtrichter, sondern eine **festen Mikrofonanordnung**, deren Horch-Richtung ferngesteuert zu verändern ist – exakt dem modernen Radar-Verfahren „Phased Array“ entsprechend. Ab Seite 8

3) Beim stark verbreiteten Nachfolgemodell des Trichter-Horchgerätes ist der Rechner **Orthognom II** direkt in das Horchgerät eingebaut. Die Schweizer Armee hat 1942-44 eine Serie von 50 Stück dieser Geräte in Auftrag gegeben (im Bundesarchiv dokumentiert, leider ohne den Rechner). Die Bedienung des Rechners ist deutlich einfacher geworden; die Orientierung am Himmel ist ähnlich geblieben wie beim Orthognom I. Ab Seite 12

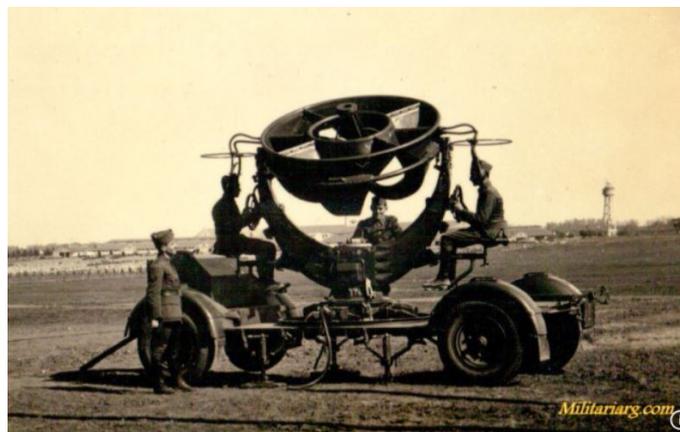
4) Zuletzt wird der **US-Sound Locators M2** (1940) vorgestellt, mit anderer Orientierung am Himmel. Ab Seite 20

Ein **Simulationsgerät** von AUTOPHON ermöglichte das **Horch-Training ohne Flugzeuge**.

Ab Seite 22

Stichworte:

Fliegerabwehr - Horchgerät - Orthognom - Elascop - Ringtrichter-Richtungshörer RRH - Acoustic locator - sound lag corrector - Schallverzugsrechner – Hasler (Bern), Gebr. Bühler (Uzwil), Xamax (Oerlikon), FBW (Wetzikon) – Sphäroscop – Zeit-Kompensator – Unterwasser-Horchortung bei U-Booten – Gruppenhorchgerät



www.militariarg.com



Versuche wurden in der Schweiz 1937 mit dem tschechischen Horchgerät TEPAS gemacht – rechts der Rechner. Die Ergebnisse waren gut, aber die Zerlegung und der präzise Wiederaufbau kompliziert – das ELASCOP musste nicht zerlegt werden.

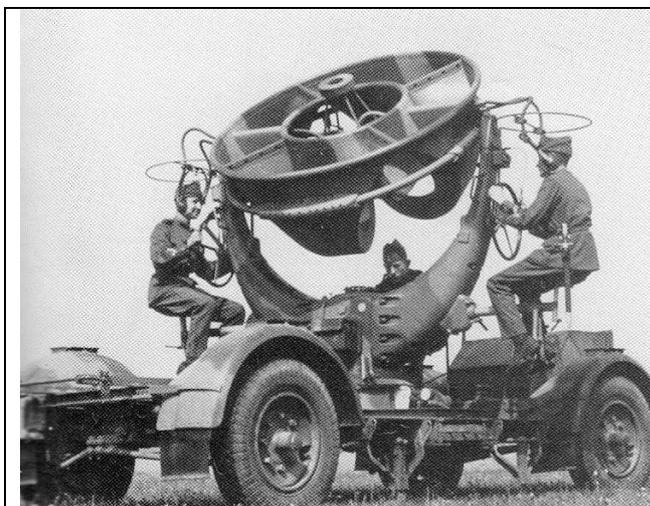


Auch das italienische Gerät GALILEO wurde in der Schweiz geprüft. Beide Bilder aus Ref. 6.

Einleitung:

Es gab einfachere Modelle von künstlichen Hörhilfen, etwa für den Flieger-Melde- und Beobachtungsdienst FLBMD, sowie grössere Modelle auf Anhängern, welche hauptsächlich den Suchscheinwerfern die richtige Richtung wiesen. Zahlreiche **historische Aufnahmen** von solchen Geräten aus diversen Ländern sind in Ref. 8 zu finden. Die grösseren Modelle sind mit einem **Korrektur-Rechner** ausgestattet, um die wahre Richtung zu den Flugzeugen zu finden.

Das **Suchprinzip** der grossen Geräte ist immer dasselbe: Mit paarweise zusammengefassten grossen Trichtern wird der Schall separat in die beiden Ohren geleitet. Der Horch-Orter hört den Ton z.B. eher von rechts her kommend, wenn das rechte Ohr den Ton früher erhält als das linke Ohr. Per Handrad wird eine Verstellung der ganzen Anlage bewirkt, bis der Schall genau aus der Mitte zu kommen scheint. Dasselbe gilt auch für die Vertikalrichtung. Die beiden Männer verstellen das Suchgerät so, dass es in die Richtung zeigt, woher der Schall kommt. Dort ist das Flugzeug allerdings schon lange nicht mehr! Sind grosse Bomber unterwegs, dürfte man sie schon von weitem hören. Der Schall braucht entsprechend lange bis zum Beobachter – so lange fliegt das Flugzeug aus seinem früheren Schallort weg. Es braucht deshalb bei den grossen Geräten einen **Korrektur-Rechner**, um vom Schall-Ort umzurechnen auf den echten Ort der Flugzeuge.



Dem Gerät ELASCOP wurde in der Schweiz schliesslich der Vorzug gegeben. Die Horchbasis, d.h. der Abstand der beiden Trichter horizontal resp. vertikal war zwar nicht so gross wie bei anderen Produkten, aber der Aufbau war sehr stabil und robust; es musste beim Transport nichts zerlegt werden.

Der Mann links verdreht die Horchschüssel in Richtung auf/ab, erhält vom obersten und vom untersten Horchtrichter den Schall je in ein Ohr. Der Mann ganz rechts richtet das Gerät horizontal aus (Kompassrichtung), bis er das Gefühl hat, der Ton komme exakt aus der Mitte. Der dritte Mann bedient den Rechner. Alle drei Männer werden mit dem Gerät herumgedreht. Der Schall wird durch Schläuche in die Ohren geführt. Strom gibt es nur für Licht und für die Kabel zum Scheinwerfer. Es gibt einen „Sammler“ (= Akku) Bild aus Ref. 6

Elascop: Markenname für das grosse Trichter-Gerät von ELECTROACUSTIC aus Kiel und Copenhagen. Das Gerät wurde in Deutschland **RRH** genannt, d.h. **Ringtrichter-Richtungshörer**.

Orthognom: Markenname der Firma ELECTROACUSTIC für ihren **Korrektur-Rechner**, der aus der Schallortung die tatsächliche Richtung zum Flugzeug ermittelt. Anspruch des Orthognoms ist es, aus den Schall-Peilungen eines einzigen Horchgerätes das Azimut und die Elevation der tatsächlichen Flugzeugposition zu finden (und beim Orthognom I auch die Schrägdistanz zum Flugzeug). Diese Werte werden nachts zum abgestellten **Scheinwerfer** übermittelt. Sobald der Flieger nahe genug ist, geht das Licht an – und sollte das Flugzeug direkt sichtbar machen. Die normale Flugabwehr tritt jetzt in Aktion. Bei 30% der Zuweisungen sollte das Flugzeug direkt im Lichtstrahl liegen (Ref. 3, p. 76)

Die Schweizer Armee betrieb bei Kriegsende 71 dieser Elascop-Horchgeräte, sowie 120 grosse Scheinwerfer. Einer der Richtungshörer befindet sich heute im Flieger-Flab-Museum in Dübendorf. Nach Einführung der Radar-Ortung wurde die Horch-Ortung aufgegeben.

Von der Firma Electroacustic sind **zwei unterschiedliche Korrekturrechner** bekannt, welche in dieser Arbeit mit I. und II. bezeichnet werden:

Orthognom I:

In der Schweizer Armee vermutlich nicht gebraucht.

Gefunden in zwei Broschüren der Firma ELECTROACUSTIC, beide 1933: „Elascop und Orthognom“, resp. „Sphäroscop und Orthognom“, Ref. 1A, 1B. Der Rechner steht neben dem Horchgerät auf eigenem Stativ.

Diese erste Form mit getrenntem Rechner hat unter dem Namen Orthognom keine Spuren hinterlassen im Bundesarchiv, im Flieger-Flab-Museum in Dübendorf, in der Guisan-Bibliothek, in der Nationalbibliothek.

Orthognom II:

Ein neuerer, ganz anders konstruierter Rechner, eingebaut direkt ins Horchgerät, im zentralen Fuss. In der Schweiz wurde ab 1942 eine Serie von 50 neuen Horchgeräten hergestellt. Dazu gibt es im Bundesarchiv Pläne, Stücklisten und Preisangaben, aber leider **ohne den zentralen Teil des Rechners** (siehe Chronologie weiter unten, 1942). Auch die früheren Geräte (CH: ab 1936) hatten schon denselben Rechner Orthognom II eingebaut, denn Bilder von 1936 und November 1942 zeigen bereits den dritten Mann, welcher den Rechner bedient (Ref. 9 B, p. 460). In Ref. 9A (1936) wird bereits die Notwendigkeit des Rechners erläutert.

Erste Form der Horchortung:

Werbeproschüre der Firma Electroacustic 1933, Ref. 1A
Verbreitung in dieser Form war möglicherweise klein
Mit Windkorrektur, mit Distanzberechnung
Eine Parallaxkorrektur war separat erhältlich

Elascop und Orthognom I

Das **Horchgerät** trägt die vier, auch später verwendeten exponentiellen Ring-Trichter. Der Aufbau besteht noch aus einem Stahlrohrgerüst, wie er auf Fotos nicht mehr gefunden wird. Von dort geht es über Kabel zum **separat aufgestellten Rechner**, genannt „**Orthognom**“. Als Kabel sind auf Wunsch erhältlich: elektrische Kabel oder mechanische Verbindungen durch starre Wellen mit Kardan-Gelenken. Vom Orthognom geht es mit elektrischen Kabeln oder mechanischen Verbindungen weiter **zum Scheinwerfer**, ev. über einen separaten **Parallax-Rechner**, falls die Distanz zwischen Horchgerät und Scheinwerfer zu gross ist (der P.-Rechner rechnet die Winkel um auf die Position des Scheinwerfers).

Die Horch-Männer müssen auf weit entfernten Motoren-Lärm achten und dessen Einfalls-Richtung bestimmen. Was sie am wenigsten gebrauchen können, ist eine nahe gelegene, dauernd aktive Schallquelle – wie z.B. das Stromaggregat. Die Scheinwerfer benötigen eine sehr grosse Leistung, d.h. ein kräftiges Aggregat (8 Zylinder Benzinmotor, 100 PS, 23 kW elektrisch, 100 V, 230 A, Gewicht 3.6 Tonnen). Die Kabel vom Aggregat zum Scheinwerfer sind 200 m lang (Ref. 11).

Gegen störende **Windgeräusche** am Rand der Trichter wird ein aufsteckbarer wulstförmiger Aufsatz aus Bronzedrahtgaze mitgeliefert.

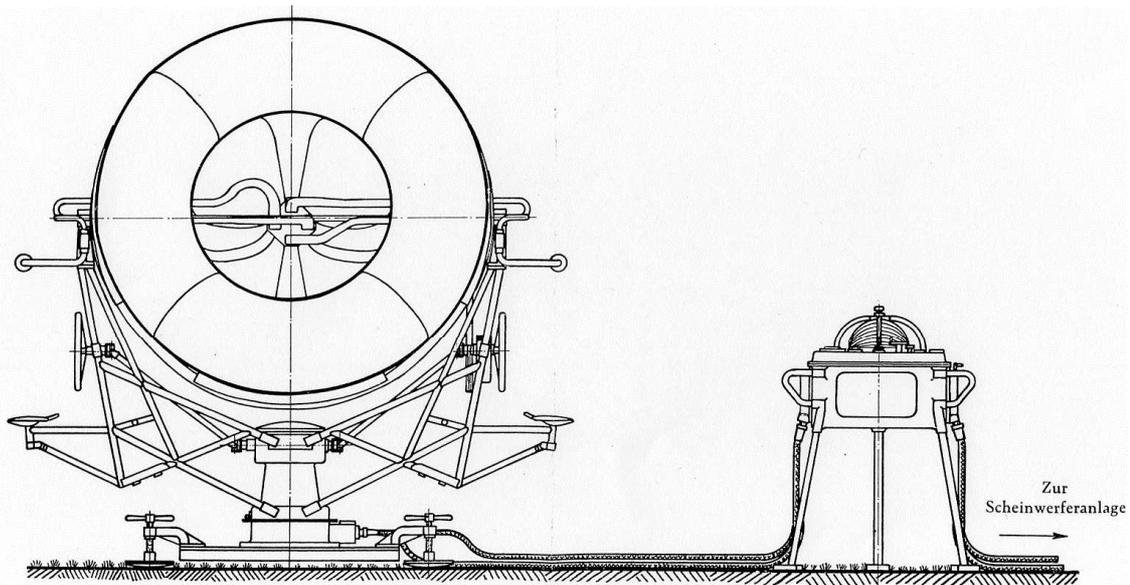


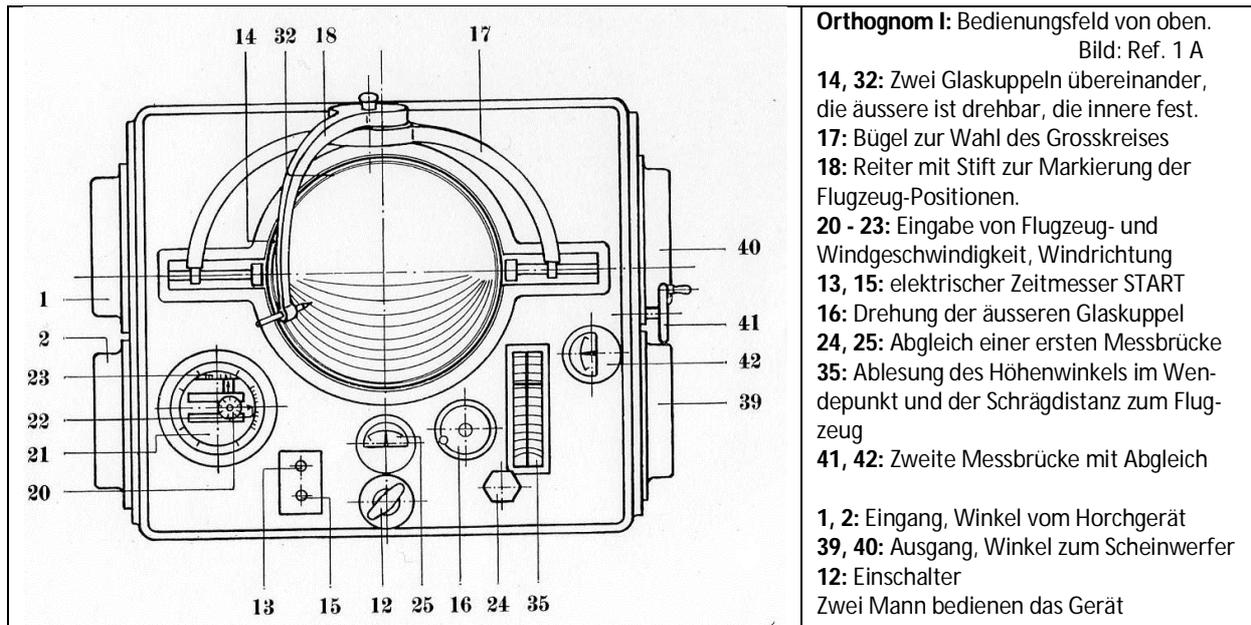
Abbildung I.
Elascop mit Orthognom in Betriebsstellung.

Bild aus Ref. 1 A, Original-Firmenbroschüre 1933. Das Rohrgerüst als Träger sieht man im Internet nirgends. Vielleicht war es zu schwach und konnte so nicht verkauft werden (?). Rechts der Rechner Orthognom I, welcher von der gemessenen Schallrichtung **umrechnet zur wahren Richtung der Flugzeuge**, und die korrigierten Winkelwerte zum Such-Scheinwerfer meldet. Darüber hinaus wird auch die **Distanz** zum Flugzeug ermittelt, was in den späteren Geräten nicht mehr der Fall war.

Das **Orthognom I** zeigt prominent und als zentrales Bedienungs-Instrument eine Nachbildung der Himmelskuppel in Form einer **gläsernen Halbkugel**. In deren Zentrum ist der Standort des Horchgerätes zu denken. Die Flieger werden auf den Himmel, d.h. auf die Glaskugel projiziert. Haben die beiden Horcher den Ringtrichter in Azimut und Höhenwinkel so eingestellt, dass sie die Flugzeuggeräusche „aus der Mitte hören“ (d.h. mit beiden Ohren gleichzeitig), so geben sie ein Signal. Es wird jetzt am Orthognom mit einem **Lichtzeiger** ein Signal aus der Mitte der Glaskugel nach aussen projiziert, wo der Lichtfleck auf der äusseren Halbkugel von Hand markiert wird. Der Lichtzeiger bewegt sich im selben Masse wie die Schall-Trichter des Horchgerätes.

Die „Himmelskuppel“ besteht aus **zwei nahe übereinander liegenden Glaskuppeln**. Die äussere Glaskuppel, auf welcher der Ort des Flugzeuges markiert wird, ist drehbar gelagert. Die innere Kuppel ist fest und trägt eingraviert die Spuren aller möglichen **Grosskreise**. Fliegt ein Flugzeug auf konstanter Höhe mit konstanter Geschwindigkeit in beliebiger Himmelsrichtung, so liegt vom Horchgerät aus gesehen die Flugzeugspur immer längs eines Grosskreises am Himmel.

Modell zur Geometrie: Man halbiere eine Orange längs der Schnitze, und lege sie mit der flachen Seite nach unten auf den Tisch. Im Zentrum der Orange denke man sich das Horchgerät. Das Äussere der Orange entspricht dem Himmelszelt. Wird die Orange auf der Tischfläche so gedreht, dass das Flugzeug parallel zur Orangen-Achse fliegt, so liegt die Flugbahn zwischen zwei gedachten Schnitzen – und das sind immer **Ebenen**; das Flugzeug fliegt geradeaus, die Spur des Flugzeuges erscheint am Himmel als **Grosskreis**, als Grenze zwischen zwei gedachten Schnitzen.



Wenn alles fertig eingestellt ist, fliegt das Flugzeug **immer parallel zur Hauptachse** des Gerätes, also von links nach rechts oder umgekehrt – egal mit welchem Kompasskurs das Flugzeug fliegt (Erklärung siehe unten). – Gebraucht wird nur die eine Hälfte der Halbkugel, wo die Grosskreise sichtbar sind.

Orthognom I Bedienung und Berechnungsart

Orientierung am Himmel: Der eine Bedienungsmann am Orthognom hat die folgende Aufgabe: Ein erster Lichtpunkt des innen liegenden Lichtzeigers ist auf der äusseren Halbkugel zu markieren. Nach einer gewissen Zeit wird eine zweite Position des Horchgerätes ebenfalls markiert. Die **äussere** Halbkugel ist jetzt von Hand so zu **verdrehen**, dass die beiden Markierungen auf einen fest aufgedruckten Grosskreis der **inneren** Kuppel zu liegen kommen (oder mindestens parallel erscheinen).

Das gibt nur Sinn, wenn sich der innen liegende Licht-Zeiger ebenfalls mit der äusseren Kuppel mitdreht – aber weiterhin vom Horchgerät gesteuert wird. Eine Änderung der Kompassrichtung (Azimut) von 10 Grad beim Horchgerät ergibt auch beim Lichtzeiger eine Änderung von 10 Grad. Aber der Bedienungsmann kann das gesamte Azimut so einstellen, wie er will. Das ist eine typische Aufgabe für ein **Differentialgetriebe**. Die Glaskuppel muss dabei mechanisch etwas gebremst werden, damit das Horchgerät wirklich den Lichtzeiger verdreht, und nicht die Glaskuppel. Alle drei Variablen hängen im Differentialgetriebe direkt mechanisch zusammen.

Markiert der Bedienungsmann später weitere Punkte, sollen sie immer auf demselben Grosskreis liegen, resp. interpoliert zwischen zwei aufgedruckten Spuren. Führt der Mann den Markierstift immer dem Lichtzeiger nach, so „spüren“ die Gelenke von Bügel 17 und Stifthalter 18 den gefundenen Schall-Ort der Flugzeuge; in beiden Gelenken sind nämlich **elektrische Potentiometer** eingebaut, d.h. **variable elektrische Widerstände**. Der Bügel 17 misst bei der Wahl eines Grosskreises den Elevationswinkel beim höchsten Punkt der Flugbahn, dem sog. **Wechsellpunkt WP**. Dieser Punkt wird je nach Fluglage erst später erreicht (beim Anflug), oder das Flugzeug war schon früher dort (beim Wegflug). Der Stifthalter 18 registriert elektrisch, wie weit weg das Flugzeug vom WP ist. Dieser zweite elektrische Widerstand im Gelenk des Stifthalters ist **nicht-linear**, also nicht proportional zum eingestellten Winkel des Stifthalters, sondern zur geflogenen horizontalen Wegstrecke ab WP (ein „Tangens“ liegt dazwischen).

Wo ist das Flugzeug ? Die Hauptaufgabe des Rechners! Ist das Flugzeug direkt am Wechsellpunkt WP (maximaler Höhenwinkel, das Horchgerät liegt querab zur Flugbahn), so liefert das Verhältnis Flugzeuggeschwindigkeit zu Schallgeschwindigkeit den Tangens des Winkels, um den das Flugzeug schon weiter ist als der Ort, von dem der Schall herkommt. Nun kommt eine **verblüffend einfache, geniale** Lösung, wie sich bei **jeder Flugzeug-Position** vom Schall-Ort umrechnen lässt auf den echten Ort: Man muss zuvor eine geschätzte Flugzeuggeschwindigkeit einstellen, und dadurch wird die Begrenzung eingestellt, wie weit sich der Bügel 17 bei seinen Gelenken **parallel zur Flugrichtung verschieben lässt**, entgegen der Flugrichtung. Der Spielraum der Verschiebung des Bügels 17 ist im Schema des Rechners (oben) klar ersichtlich. So wird beim Abtasten der gemeldeten Horch-Positionen auf der Glaskuppel gleich der korrekte Ort des Flugzeuges weitergemeldet wird. Die eingestellte, geschätzte Flugzeug-Geschwindigkeit wird zuvor noch vektoriell mit der Windgeschwindigkeit addiert.

Die Umrechnung zum echten Flugzeug-Ort erfordert, dass der Bügel 17 (von Hand ?) an den Anschlag verschoben wird, je nach der Flugrichtung. Bei verschobenem Bügel zeigt der Stift zwar auf den ursprünglich markierten Horch-Ort, aber die beiden Gelenke mit den veränderlichen Widerständen spüren **veränderte Winkel**, d.h. den richtigen Flugzeug-Ort, und geben ihn so weiter.

Bild: aus Ref. 1 A.

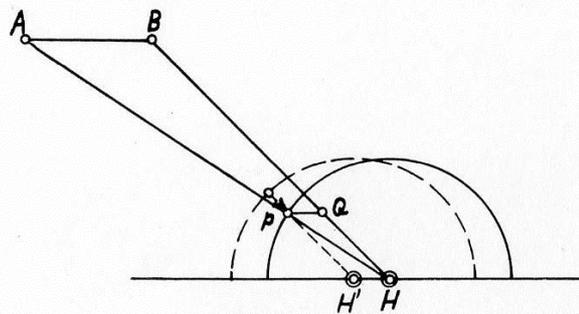


Abbildung VIII.
Darstellung der Korrektur der Aberration

Dargestellt ist die Fluglage in der Ebene Flugzeugbahn $A > B$ und Horchgerät H . Punkt P ist die auf der Glaskugel markierte, erhörte Position A . HB ist die gesuchte Richtung zum tatsächlichen Ort des Flugzeuges, welches in der Zeit, die der Schall benötigte, bis zu B weitergeflogen ist. Verschiebt man das Zentrum des Bügels von H zum neuen Ort H' , so zeigt die Richtung vom neuen Zentrum H' zum markierten Punkt P exakt in der gesuchten Richtung $H > B$. **Etwas detaillierter – siehe Anhang 1 Anschauungs-Modell der Glaskuppeln – siehe Anhang 3, Seite 27**

Ohne Verschiebung des Bügel-Zentrums: Man könnte den markierten Punkt P um den Betrag (Radius der Kugel mal das Verhältnis Flugzeug-Geschwindigkeit zu Schall-Geschwindigkeit) in Flugrichtung zum Punkt Q verschieben. Dann würde man von H über Q direkt zum korrekten Ort B zielen. Statt den Punkt P nach Q zu verschieben, wird jetzt das Zentrum H um denselben Betrag entgegen der Flugrichtung zu H' verschoben. Ein Getriebe rechnet PQ mechanisch, sobald die geschätzte Flugzeug-Geschwindigkeit und die Wind-Richtung und -geschwindigkeit eingegeben sind. **Die Horcher sollen ab Motoren-geräusch den Flugzeug-Typ erkennen, damit sich die Fluggeschwindigkeit abschätzen und am Rechner eingeben lässt.**

Der Bedienungsmann braucht eine **ruhige Hand**, so dass die Lage des Horch-Ortes möglichst ruhig übersetzt wird in elektrische Werte – denn die werden jetzt weiterverarbeitet:

Ermittlung der Schrägdistanz zum Flugzeug: Die elektrischen Widerstände der beiden Winkel-Aufnehmer liegen in einer **Messbrücke**, die von Hand dauernd auf Null abzugleichen ist (Hand an Knopf 24, Auge auf Messinstrument 25). Dann gib es noch eine zweite Messbrücke, leider ohne jede Beschreibung, die ebenfalls stets auf null abzugleichen sei (Handrad 41, Zeigerinstrument 42). Die beiden Messbrücken könnten ev. miteinander kombiniert sein, d.h. von den Werten her miteinander zusammenhängend. *Ja, tatsächlich, vgl. Anhang 2, Seite 27: konkrete Schaltung einer Messbrücke in Orthognom I.*

Weiter geht eine **gemessene Zeit** ein in die Messbrücke, und zwar wie folgt: Bei der Markierung eines Punktes auf der Glaskugel wird durch Knopfdruck der **Zeitmesser gestartet**. Bis zum nächsten Punkt oder auch Zwischenpunkt (nicht markiert) hat der Motor einen Widerstand entsprechend dem Flugweg verändert. Da der Startpunkt irgendwo liegen kann, nahe oder weit weg vom WP, wird auf „Start“ wohl ein Kontakt fest an einen langen Drahtwiderstand angeklammert, und ein zweiter Kontakt bewegt sich entsprechend der Flugzeuggeschwindigkeit auf dem Widerstand. Dieser zeitabhängige Widerstand liegt auch in der Messbrücke.

Zitat: „Anstatt für verschiedene Flugzeuggeschwindigkeiten den Zeitmesser verschieden schnell laufen zu lassen, wird hier, was für die Proportion auf dasselbe hinauskommt, der dem Bügelradius entsprechende Widerstand von dem bereits erwähnten Getriebe 21 (Flz-Geschw.) automatisch verändert, wobei auch der Wind nach Grösse und Richtung berücksichtigt wird“.

Letztlich wird eine **geometrische Proportion** (Strahlensatz) gelöst mit einer **elektrischen Messbrücke**, deren einer Widerstand von Hand laufend auf „Abgleich“ gehalten wird. Drei Widerstände entsprechen gemessenen geometrischen Abschnitten der Flugbahn, der vierte, mit dem Nullabgleich veränderte Widerstand entspricht der Entfernung zum Wechsellpunkt. Am Ende hat man auch die Schrägdistanz zum Flugzeug – dort wo es sich momentan befindet, also dem Horch-Ort vorausgeilt. Die zweite Messbrücke ist nicht ganz klar.

Zusammenfassend Orthognom I: Am Ausgang steht der tatsächliche Ort des Flugzeuges (oder der Flugzeuge) zur Verfügung – korrigiert von der primären Horch-Richtung um die Flugstrecke, die zurückgelegt wird, bis der relativ langsame Schall beim Horchgerät angekommen ist. Die Windgeschwindigkeit wird ebenfalls einbezogen. Das Flugzeug fliegt seiner Horch-Position voraus: man hört es dort, wo es schon lange nicht mehr ist. Hört man die Flugzeuge z.B. 10 km weit, so dauert es ca. 30 Sekunden, bis der Schall beim Horchgerät ist – in dieser Zeit fliegen die Flugzeuge womöglich 3.5 km weit! Beim Ausgang des Orthognoms stehen Azimut (Kompassrichtung), Lagewinkel (Höhenwinkel) und sogar die **Schrägdistanz** zum Flugzeug zur Verfügung. Dies mit der Peilung eines **einzigsten** Horchgerätes, das **die Flieger nicht sieht, nichts über Höhe und Flugrichtung weiss**. Diese Werte gehen zu den **Scheinwerfern**, die ab geeigneter Distanz eingeschaltet werden. Hoffnung: Das Flugzeug soll sofort im Lichtstrahl liegen, ohne weiteres Suchen. (Oft wurde betont: Man darf die Scheinwerfer nicht zu lange brennen lassen, wegen möglicher Angriffe). Sobald das Flugzeug / die Flugzeuge im Lichtstrahl der Scheinwerfer liegen, werden sie durch die Fernrohre des Kommandogerätes erfasst und genau vermessen. Das Kommandogerät rechnet den Vorhalt aus und sendet die erneut umgerechneten Winkel zu den Geschützen.

Man fragt sich, wie die absolute Ortsangabe überhaupt möglich ist. Würde das Flugzeug auf demselben Himmels-Grosskreis fliegen, aber stets doppelt so weit weg, so gäbe das dieselbe Projektion auf die Himmelskugel. Da allerdings eine geschätzte Flugzeuggeschwindigkeit eingegeben wird (bei der man sich wohl nicht allzu sehr täuschen wird), und auch noch eine Zeitmessung, ist die Sache tatsächlich bestimmt. Alles funktioniert nur, wenn das Flugzeug **auf konstanter Höhe mit konstanter Geschwindigkeit und festem Kompasskurs fliegt** – das ist die Grundvoraussetzung.

Eine direkte **Steuerung der Geschütze** durch das Orthognom, d.h. unter Auslassung des Kommandogerätes, sei hoffnungslos (Ref. 9 B, p. 463).

Zweite Form der Horch-Ortung:

In der Schweizer Armee nicht gebraucht.

Sphäroscop und Orthognom

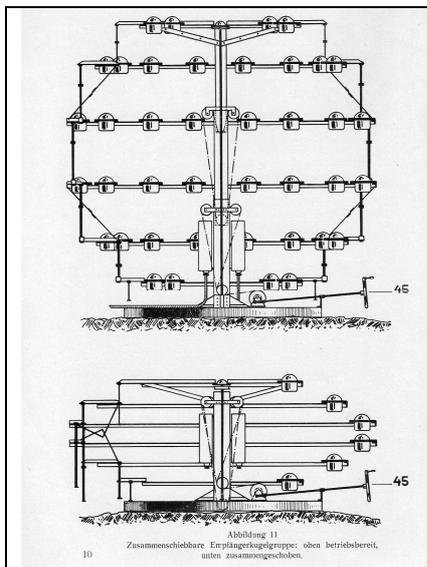
„Ohr mit fernsteuerbarer Horchrichtung“

Eine wahre „Perle“, eine Trouville!

Man kann überall quer- oder diagonal lesen – aber bitte nicht hier

Die Firma ELECTROACUSTIC hat noch eine zweite, ganz andere Lösung vorgestellt zur Horch-Ortung von Flugzeugen: Das **Sphäroscop** (Ref. 1 B). Es hat 76 elektrodynamische Mikrophone, die regelmässig auf einer Kugloberfläche mit einem Durchmesser von 2m angeordnet sind, die Öffnungen alle nach oben. Die Mikrophone bleiben fest, es bewegt sich nichts beim Suchen oder Verfolgen des Flugzeuges – hingegen kann die **Horchrichtung** dieser Mikrophon-Anordnung durch geschickte **zeitliche Verzögerung** der einzelnen Signale verändert werden.

Je nachdem, wo das Flugzeug ist, trifft der Schall zuerst auf diejenige Stelle der **Horch-Kugel**, die dem Flugzeug am nächsten ist – etwas später auf die entfernteren Teile der Kugel. Es wird nun der Schall, der die Mikrophone erreicht, leicht verzögert mit einer elektrischen Schaltung, für jedes Mikrophon anders. Dann wird alles zusammengezählt, am Schluss horcht ein menschliches Ohr. Sind die Verzögerungen der 76 Signale optimal eingestellt, so sind sie exakt gleichzeitig, die Lautstärke erreicht ein Maximum. Die grösste zeitliche Verzögerung entspricht der Laufzeit des Schalles für den Durchmesser der 2 m Kugel, d.h. 5.9 Millisekunden.



76 Mikrophone in Kugel-Anordnung, oben geöffnet, unten zusammengefaltet. Bilder aus Ref. 1 B.

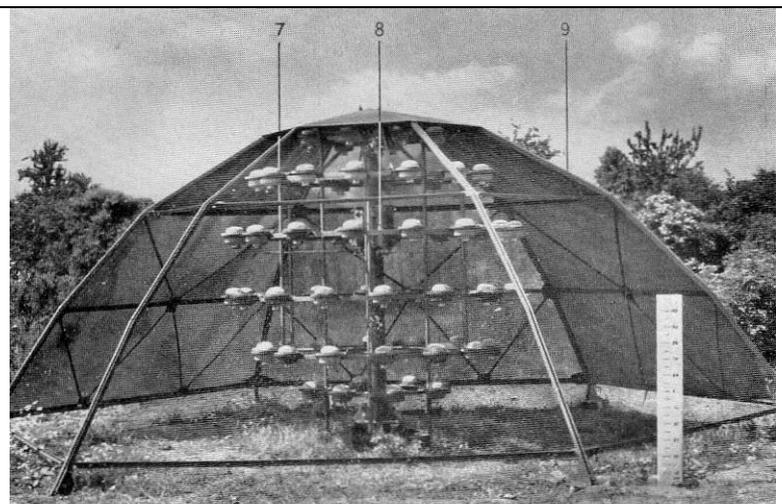


Abbildung 1
Empfänger-Kugelgruppe mit geöffnetem Schutzschirm.

Schutzschirm gegen Wind- und Regengeräusche. Rechts ein Meter-Stab. Die Horcher sitzen in einem Haus oder Lastwagen und steuern von dort aus die Horch-Richtung.

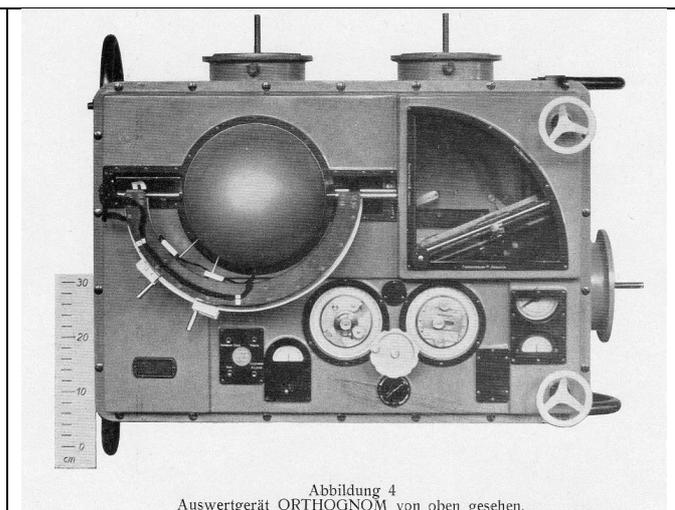
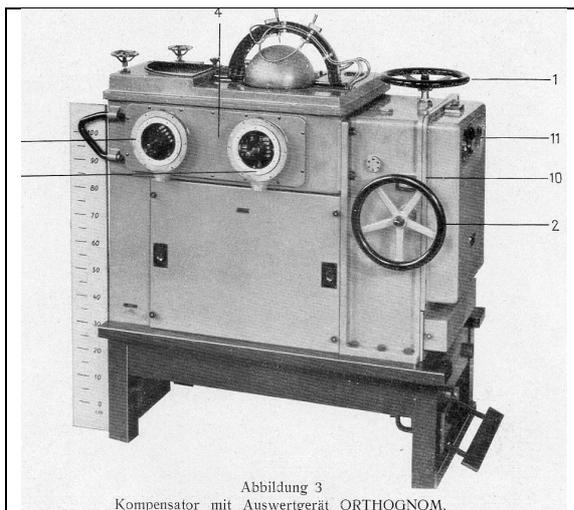
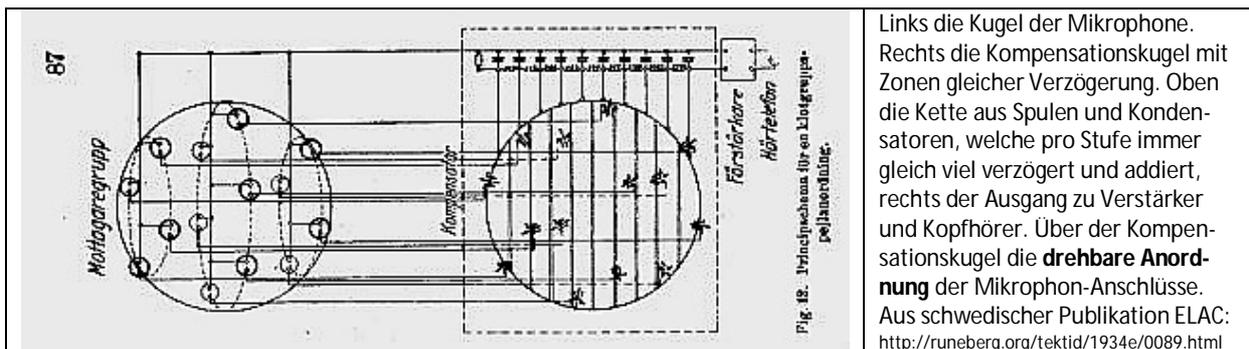
Die Verzögerung der einzelnen Mikrophon-Signale wird mit einer zweiten Kugel bewerkstelligt, der **Kompensations-Kugel**, die sich nicht bei den Mikrophonen befindet, sondern beim Rechner, an geschützter Stelle weit daneben. Die Kompensations-Kugel ist je nach „geographischer Breite“ mit unterschiedlichen Verzögerungsgliedern verbunden (eine „Leiter“-ähnliche Anordnung aus Spulen und Kondensatoren). Über die Kompensationskugel hinweg gleitet mittels Bürsten oder Schleifkontakten eine Anordnung aller Mikrophon-Kontakte, unter sich starr in Kugelform, aber gegen die Kompensations-Kugel mit zwei Handrädern beweglich ausrichtbar. Der „Nordpol“ der Mikrophon-

Kontakte lässt sich in eine beliebige räumliche Richtung verdrehen: sowohl Himmelsrichtung wie Höhe über Horizont sind veränderlich. Die Verlängerung der Achse Südpol > Nordpol der Mikrofon-Kontakt-Kugel zeigt – wenn alles schliesslich richtig eingestellt ist – zum Flugzeug.

Je nach der räumlichen Ausrichtung der Mikrofon-Anschlüsse werden also die Signale der einzelnen Horch-Mikrophone **unterschiedlich verzögert**. Hat man die Richtung zum Flugzeug gefunden, so werden alle Mikrophone der Horkkugel, die eine geographische Breite von z.B. 20° bis 30° *zum Flugzeug* haben, um denselben Wert verzögert, und sämtliche 76 Mikrophone (die nächsten wie die entferntesten) liefern jeden Teil der originalen Schallwelle exakt gleichzeitig. Ist alles korrekt eingestellt, addieren sich die Signale sämtlicher Mikrophone und aller Frequenzen zu einem „lautesten Ton“, ev. zu einem „klarsten Ton“, den der Horcher beim Verstellen der Kompensationskugel laufend abhört. Ist die Mikrophongruppe dagegen auf eine falsche Horkrichtung eingestellt, die klar neben dem Flugzeug vorbei zielt, so werden die 76 einzelnen Signale noch vor der Addition zeitlich unterschiedlich verzögert, d.h. die Wellen passen nicht mehr zusammen, so dass sie sich bei der Addition teilweise aufheben (bei tiefen Frequenzen anders als bei hohen).

Damit die Handräder *mehrfach* und ganz frei herumgedreht werden können, und die Kabel nicht abreißen, werden ca. 76 Schleifringe benötigt. Eventuell war die zweidimensionale Bewegung aufgeteilt auf die innere und die äussere Kugel.

Unten eine symbolische Darstellung der Ton-Verzögerung: Es hat real viel mehr Mikrophone und wahrscheinlich viel mehr Verzögerungs-Zonen



Rechner Orthognom I (oben) und Kompensationskugel (innen) mit zwei grossen Handrädern zur räumlichen Verstellung der Hork-Richtung. Links ein Meterstab. Vorne oben die mechanischen Ausgänge zum Scheinwerfer, elektrische Wandler lassen sich daran ansetzen. Zuerst Glaskuppel mit kippbarem Bügel, siehe rechts

Glaskuppel des Orthognoms zum Einzeichnen der Horkrichtung = Orientierung ab Kompensationskugel. Der Bügel ist bereits nach links verschoben, also fliegt das Flugzeug nach rechts. Zwei Stifte zur Positionsbezeichnung. Oben mechanische Wellen zur Weiterleitung des errechneten Flugzeug-Ortes. Rechts / unten Bedienung, Abgleich der Messbrücken etc. Bilder aus Ref. 1 B

Die dritte Ausgangswelle (in Abb. 4 rechts) ist für „**dreiaxige**“ **Scheinwerfer** vorgesehen (mit anderen Koordinaten als Azimut/Höhe). Achse 1: Spur der Dachebene = Flugrichtung. Achse 2: Neigung der Dachebene. Achse 3: Schwenkt das Licht so, dass die ganze Dachebene abgeleuchtet wird. Skizze der Dachebene: Siehe Seite 26. Bild aus Holland mit einem dreiaxigen Scheinwerfer: http://www.extra.research.philips.com/hera/people/aarts/RMA_papers/aar09pu3.pdf

Es wird von ELAC in Ref. 1 A behauptet, die **Ortung mit dem Sphäroscop sei den beweglichen Horchgeräten klar überlegen** – aber man müsse auf den Transport der Anlage verzichten; das Sphäroscop eigne sich eher für ortsfeste Anlagen. In Ref. 1 B wird gesagt, dass die Anlage des Sphäroscopes durchaus transportabel sei. Einen Hinweis dafür, dass die Fliegerabwehr irgend eines Landes die Flugzeuge mittels Sphäroscop gesucht hat, ist im Internet bisher nicht gefunden worden.

Was unklar bleibt beim Sphäroscop:

a) Unklar ist, wie sich im Ohr des Horchers eine perfekte Ausrichtung (= richtige räumliche Verzögerungen) unterscheidet von einer schlechteren. Immerhin ist der Lärm der Flugzeugmotoren sehr ruhig, kontinuierlich: er wird mit oder ohne Verzögerung der einzelnen Mikrofon-Signale ähnlich tönen. Dass sich im Gesamt-Ton aller Mikrophone eine „beste“ Verzögerung heraushorchen lässt, erscheint erstaunlich – unmöglich ist es nicht. >> **Anhang 4 zur modernen „akkustischen Kamera“**

b) Wie lässt sich eine beste Ausrichtung der Kompensationskugel überhaupt finden? Die Kompensations-Kugel muss in **zwei** Dimensionen eingestellt werden; der Suchvorgang ist nur dann einfach, falls sich die Verbesserung / Verschlechterung während des ganzen Suchvorganges laufend erkennen lässt. Bei den beweglichen Horchgeräten aller anderen Bauarten hat jeder Horcher nur eine eindimensionale Suche zu vollziehen, d.h. das Signal wird beim Drehen des Handrades besser oder schlechter. Die zweidimensionale Suche mit zwei Handrädern gestaltet sich deutlich schwieriger, undurchsichtiger.

Das Problem wird dadurch entschärft, dass die Flugzeuge meistens weit weg, etwas oberhalb des Horizontes erscheinen werden. Zuerst ist die Himmelsrichtung abzusuchen (eindimensional), danach die Höhe.

c) Abzuklären wäre, wie gut und treu die Kette oder Leiter von Spulen und Kondensatoren die Signale der einzelnen Mikrophone verzögert, d.h. die Kurve jedes Mikrophone-Signals nur verspätet, aber ohne Verformung beiträgt zur Gesamt-Addition – und zwar bei höheren wie tieferen Frequenzen.

d) Zwei Mikrophone, deren Signale gleich stark verzögert werden, fallen auf dieselbe Kontakt-Zone beim Kompensator. Ihre Signale müssen sich trotz „Kurzschluss“ normal addieren. Die schwachen Mikrophone-Signale werden unverstärkt durch die lange Leitung vom Horchgerät zur Kompensationskugel geführt.

Leichte Änderungen beim Rechner „Orthognom I“, mit dem Sphäroscop arbeitend:

Der Rechner arbeitet nach demselben Prinzip wie beim Elascop. Er übernimmt die Horch-Ortung ab Kompensationskugel: ihre Position muss wieder auf der Glas-Halbkugel eingezeichnet werden. Dazu sind jetzt *zwei* Stifte vorhanden, die elektrische Abtastung erfolgt längs der Peripherie des Bügels (ein zentrales Gelenk auf dem Bügel gibt es nicht mehr). Die Bedienungs-Elemente des Rechners sind leicht anders aufgebaut, das ganze Orientierungs- und Rechenprinzip bleibt offensichtlich gleich. Die Verschiebung des „Bügels“ entgegen der Flugrichtung erfolgt wie bereits oben beschrieben. Die elektrischen Messbrücken sind auch vorhanden, die Ablesung der Distanz zum Flugzeug sieht etwas anders aus (sichtbares Vektor-Parallelogramm statt bedruckter Walze?). Ein Parallax-Rechner zum Ort des Scheinwerfers (Richtung und Distanz) ist hier bereits fest eingebaut (er wurde beim Rechner zum Elascop als externer Zusatz angeboten). Zum Parallaxrechner gibt es einen Folgezeiger, der nur anfänglich einzustellen sei.

Die **Idee des Sphärosopes** war nicht bloss beeinflusst, sondern fast eine **Kopie** der damaligen passiven, nur horchenden **Unterwasser-Suchgeräte bei den U-Booten**. Deutschland war gegenüber GB und USA in dieser Technik deutlich voraus. Internet-Suche unter GHG, Gruppenhorchgeräte. Einführung englisch: <http://www.cdvandt.org/GHG1996.pdf>

Beschreibung eines Deutschen Unterwasser-Horchgerätes 1944 zur Peilung der Einfallsrichtung mit einer Kompensations-Scheibe (nicht –Kugel):
<http://www.cdvandt.org/GHG-AN301-Beschreibung.pdf>

Die Unterwasser-Mikrophone beruhten anfänglich auf der Magnetostriktion, später auf ferroelektrischen oder piezoelektrischen Kristallen. Jeder einzelne Kristall hatte im U-Boot seinen Röhren-Verstärker.

Zum Begriff der „Gruppen-Horchgeräte“: Zitat von F.A.Fischer, siehe das dritte Papier (1932) unter:
<http://www.cdvandt.org/ent1930heft9.htm>

„Soll an einer Stelle des Raumes eine bestimmte Intensität (nA) erzeugt werden, so bringt eine Aufteilung der dazu erforderlichen Quelle in eine Gruppe von n Einzelstrahlern, deren gegenseitige Abstände sämtlich ganze Vielfache von $\lambda/2$ sind, eine Leistungersparnis von 1 : n.“ Herleitung nach Lord Rayleigh, 1903. Sehr anspruchsvolle, theoretische Überlegungen!

Schema einer U-Boot-Peilhaorchanlage mit beidseits je 24 Mikrophenen und 100 Streifen beim Kompensator: (aus: <http://www.u-historia.com/uhistoria/tecnico/articulos/ghg/ghg.htm>)

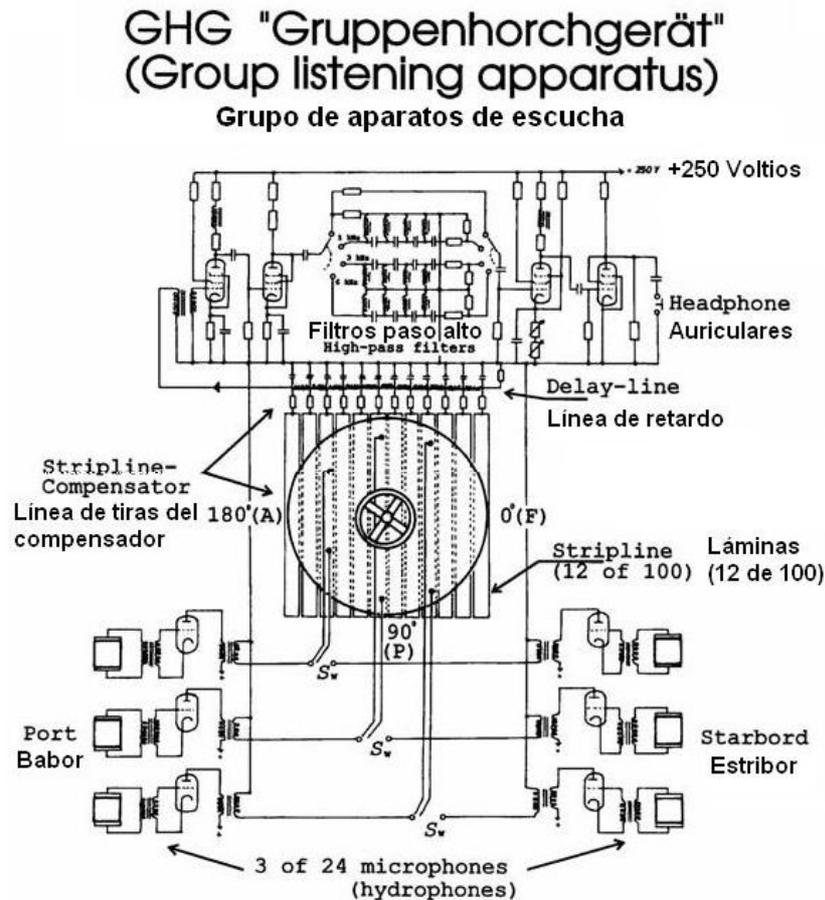


Figura 11: Diagrama esquemático de un equipo GHG estándar

Dritte Form der Horch-Ortung:

International weit verbreitetes Gerät, auch in der Schweizer Armee verwendet. Ein Exemplar steht heute im Museum in Dübendorf
In Deutschland als „Ringtrichter-Richtungshörer“ bekannt, RRH, und zu Tausenden eingesetzt
Ohne Parallax- und ohne Windkorrektur, keine Distanzberechnung

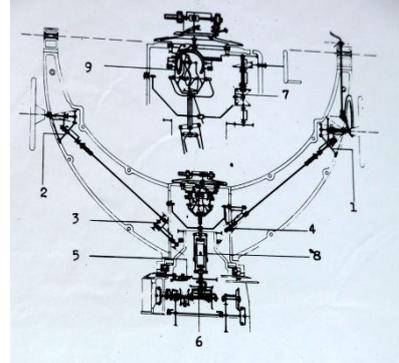
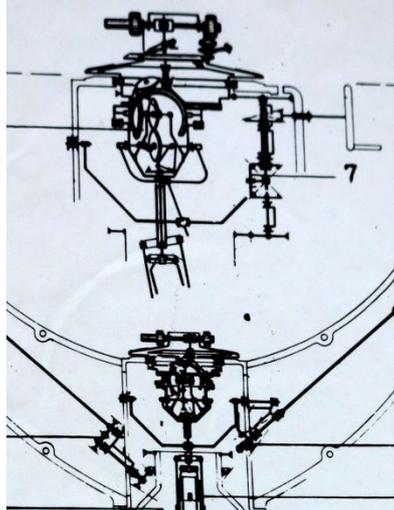
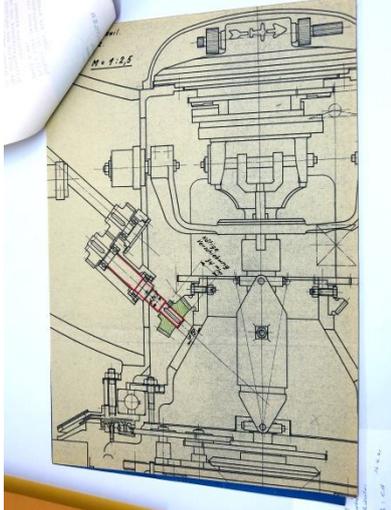
Elascop und Orthognom II

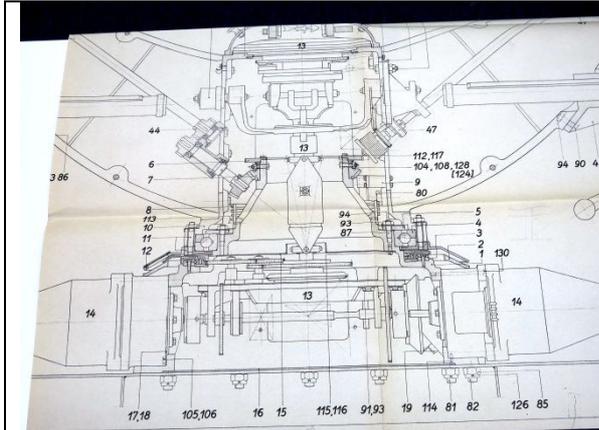
Gegenüber dem Vorgängermodell (siehe oben) hat das später gebaute Elascop als Stativ der Horch-Trichter eine **massive Gabel aus Stahl**, also keine Einzelstangen mehr. Der Rechner Orthognom II ist im zentralen Teil der Gabel, die Übertragungsräder sind im Fuss des Gerätes eingebaut. Von aussen ist nichts vom Rechner zu sehen – nur der dritte Mann, der mitten zwischen den beiden Horchern sitzt: Er bedient den eingebauten Rechner zur Kompensation der langsamen Schallgeschwindigkeit **mit einem einzigen Handrad**.

Orthognom II Die Pläne

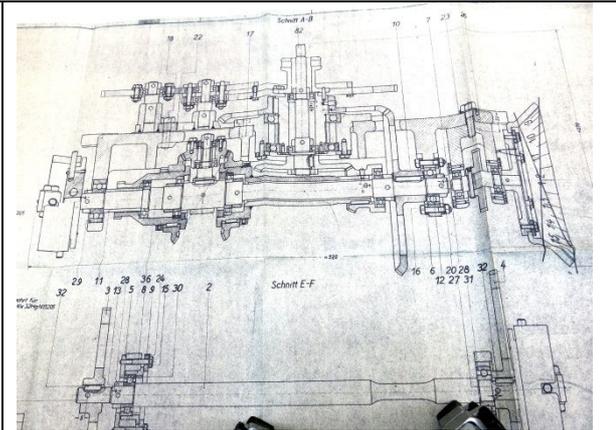
Die Schweizer Armee hat ab 1942 bis 1944 50 Geräte nachbauen lassen. Im Bundesarchiv (Ref. 2) finden sich allerlei Pläne dazu (Stücklisten, Preislisten, technische Zeichnungen) – aber leider **nichts Detailliertes** zum eigentlichen Rechner! Es folgen einige Bilder aus Ref. 2.

Die **Firma Gebr. Bühler, Uzwil**, hat die Gehäuse, Anhänger, Trichter etc. gebaut und die Geräte letztlich der Armee abgeliefert. Die **Firma Xamax, Oerlikon**, hat die Einbauten gemacht und auch mit Plänen dokumentiert, welche die Ausgangswerte des Orthognoms nach unten zu den Ausgangsgetrieben bringen. Die **Firma Hasler, Bern**, hat wahrscheinlich die Ausgangsgetriebe zuunterst im Fuss gemacht, jedenfalls sind sie in der Firma fotografiert worden (Ref. 4); ebenfalls stammen die seitlich ganz unten herausragenden automatischen Geber, welche die korrigierten Ausgangswerte für Höhe und Seite in elektrische Signale umwandeln, von Hasler. Zuerst auf der zentralen Ablese-Einheit (Dreh-Fenster, Bunte Scheibe) prangt beim Dübendorfer-Gerät auch das Hasler-Namens-Schild. Hasler war am Schluss nicht mehr dabei, Xamax war am Anfang noch nicht dabei. Wieso die Pläne zum Rechner fehlen, ist nicht bekannt.

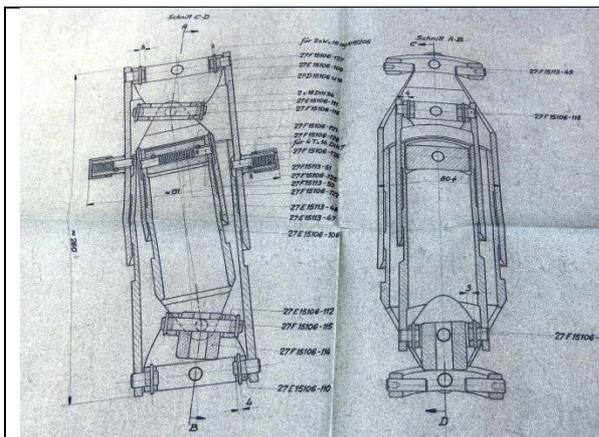
 <ol style="list-style-type: none">1.) Antrieb für Höhe2.) Antrieb für Seite3.) Umkehrgetriebe4.) Antrieb für den akustischen Bügel5.) Antrieb für den opt. Seitenzeiger6.) Getriebe für Übertragung7.) Antrieb für Zielwegrechner8.) Schieberohre9.) Orthognom <p style="text-align: right;">497.</p>		
<p>Die einzigste Skizze in den Nachbau-Plänen, bei der der Rechner überhaupt eingezeichnet ist! Die Teile 5 und 6 hat bei der nachträglichen Serie von 50 Stück wahrscheinlich Hasler, Bern, gemacht – alles darüber eher Xamax. Wie die Arbeitsteilung war zwischen den beiden Firmen, ist unbekannt. Xamax war nahe beim Bührle-Konzern. Bilder aus Ref. 2A oder 2B.</p>	<p>Orthognom II, aus zwei Richtungen. Oberhalb Ziff. 7 ist das einzige Bedienungshandrad. Oben leicht links neben der Hauptachse die „Lyra“. Zwei unterschiedlich grosse Bügel (links von „7“) heben sich mit der Elevation der Trichter. Durch die z.T. schiefen Schieberohre werden die korrigierten Koordinaten nach unten geleitet: Winkelwert = Rotationswinkel der Schieberohre.</p>	<p>Die zwei Bügel sind sichtbar, oben die Drehräder zur Anzeige (Deckel darüber), unten die beiden konzentrischen Schieberohre. Von links schräg kommt der Seitenantrieb, der sich am festen Konus abstösst. Die Zahnräder in der untersten gezeichneten Etage drehen sich nicht mit dem Horchgerät. Fast nichts vom Orthognom ist zu sehen, nur der blaue Bügel und das gelbe U.</p>



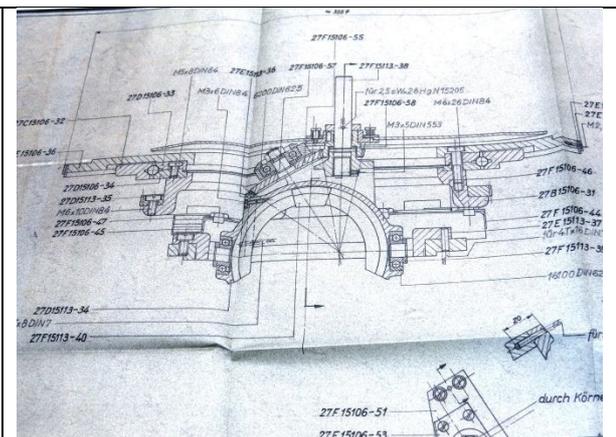
Überblick: Anzeigescheiben (zuoberst, unter Deckel), zwei Bügel, die zum Orthognom gehören, Schieberohre, Ausgangsgetriebe mit den seitlichen Gebern 14 für den Seiten- und Höhenwinkel. In letzteren werden die mechanischen Bewegungen in elektrische Signale übersetzt, sie gehen dann zum Scheinwerfer. Rechts Höhenantrieb 47, er bewegt den blauen Bügel und die Horchtrichter.



Unterste Etage: Diese Getriebe wurden bei der Firma Hasler fotografiert, siehe Ref. 4. Dieser Plan wurde gezeichnet und geprüft (Jahe schlecht lesbar!) 1933 oder 37 oder 38 oder 39, also klar vor Beginn des Nachbaues. Die letzte Änderung stammt vom 13.4.1940, klar lesbar: „Passtift gestrichen“. Der Firmenname fehlt – ev. unter zwei schwarzen Balken. Alte Pläne wurden wiederverwendet für den Nachbau.



Die beiden konzentrischen Schiebe-Rohre gleichen dank kardanischer Aufhängung eine Seitenbewegung aus, leiten aber in der Rotation die korrigierten Variablen starr nach unten. Oberes Ende kann einen ganzen Kreis ausführen.



Ganz zuoberst, unter den Ablesescheiben: Das muss die „Lyre“ sein, welche Teil des Rechners ist (siehe Chronologie, 1942). Erst später erkannt: ein kipparer Grosskreis, dessen Neigung an der „bunten Scheibe“ angezeigt wird.

Im Bundesarchiv wurde vorerst nichts darüber gefunden, wer den eigentlichen Rechner beim Nachbau der 50 Stück hergestellt oder geliefert hat, oder wie er ausgesehen oder funktioniert hat. Erst am Schluss der Arbeit sind die älteren Unterlagen der Firma ELECTROACUSTIC aufgefunden worden, die wahrscheinlich mit dem ersten Horchgerät 1936 den Schweizer Militärbehörden mitgegeben worden sind (Ref. 2 C). In der Bibliothek am Guisanplatz findet sich unter „Orthognom“ nichts. Dieser Name war aber verbreitet, denn alle drei erwähnten Firmen haben ihn gebraucht, auch die Armee (Ref. 11). Die Bilder bei Hasler (Ref. 4) finden sich alle unter dem Stichwort „Orthognom“.

Orthognom II Bedienung

Die Bedienung ist gegenüber Orthognom I sehr stark vereinfacht worden: Der dritte Mann am Gerät bedient bloss **ein einziges Handrad**. Damit muss er versuchen, eine horizontale, drehbare Anzeige zuoberst richtig einzustellen: Die äussere Drehscheibe hat 12 Fensterchen, die darunter liegende Drehscheibe hat schwarze und farbige Symbole. Gemäss Ref. 3 und Ref. 11 muss mit dem Handrad erreicht werden, dass die „bunte Scheibe stillsteht“. Damit ist die Horchdachebene (vgl. Seite 26) in der Neigung richtig eingestellt – und wenn sie es bleibt, hat der Mann am Rechner nichts mehr zu

tun. Die beiden Horcher folgen dem Schalleindruck, und der Rechner ermittelt laufend und automatisch den richtigen Ort des Flugzeuges, auch nachts, ohne dass man es je sieht.

Hat man den Vorgänger Orthognom I verstanden, so wird man sich sagen: **Das geht ja gar nicht, man hat zu wenig Möglichkeiten, resp. zu viele Unbekannte.**



Der Arbeitsplatz der Rechner-Bedienung. Auf der tiefsten Stelle der Tragegabel sitzt die Anzeige mit zwei drehbaren Tellern: oben mit 12 Fensterchen, unten die Scheibe mit Markierungen. Zwei Lichtsignale mit abdeckbaren Schiebern zeigen, wann die beiden Horcher die Position gefunden haben. Rohr: Licht für die Drehscheibe. Rechts unten angeschnitten das Handrad zur Bedienung!

Die untere Drehscheibe trägt ein Muster von drei schwarzen Streifen, dann ein farbiges Symbol (immer wieder andere Zeichen und andere Farben). Dreht man am Handrad bei sonst stillstehender Anlage, so dreht sich die bunte Scheibe – je nach Konfiguration des Flugzeugkurses – einmal mit den Fenstern, einmal im Gegensinne, einmal steht die bunte Scheibe auch still.

Der eine deutlich sichtbare Pfeil mit der Flugzeug-Richtung ist auf einem gewölbten, hochklappbaren Blech aufgebracht, das unten einen Spiegel trägt; darunter kommt die Skala zur **Einstellung der geschätzten Flugzeuggeschwindigkeit** zum Vorschein. Der Spiegel wird wohl Licht auf die Geschwindigkeits-Skalen bringen.

Dass sich mit dem **einzigem Handrad** das Flugzeug richtig am Himmel orientieren und den Rechner darauf einstellen lässt, erscheint unverständlich. Bei Orthognom I gab es ungleich mehr auszuführende Operationen, mehr Dimensionen, um der räumlichen Lage des Fluges und den Winkel-Geschwindigkeiten gerecht zu werden. Bei Kögel (Ref. 3, p.76) findet sich ein Satz, wonach mit dem Handrad die richtige „Dachebene“ eingestellt werden muss (schiefe Ebene Flugzeugkurs-Horchgerät), und in diesem Fall die „bunte Scheibe“ stillsteht. Das wäre in folgender Weise vorstellbar:

Bei horizontalen Flugbahnen in sämtlichen Kursrichtungen, Höhen und Geschwindigkeiten gilt für jeden einzelnen Punkt der Flugbahn:

Herleitung der Formel siehe Anhang 1, Seite 25

$$\operatorname{tg} \lambda_{\text{Fiz}} = \operatorname{tg} \lambda_{\text{WP}} \cdot \cos \alpha$$

λ_{Fiz} = Höhenwinkel des Flugzeuges, ändert sich beim Verfolgen laufend
 λ_{WP} = Höhenwinkel beim Wendepunkt WP (höchster Punkt über Horizont)
 α = Seitenwinkel Flugzeug, gemessen ab Seitenwinkel zum WP

Der Höhenwinkel des WP ist für den ganzen Flug konstant, aber unbekannt. Es ist während der Flugzeugverfolgung eine Funktion des Höhenwinkels stets proportional zu einer Funktion des Seitenwinkels. Die trigonometrischen Funktionen sind für mechanische Rechengetriebe gut zugänglich. Das Problem ist nur: Man hat **zwei Unbekannte** und nur **ein Handrad**, an dem sich (probeweise) etwas einstellen lässt. Der Seitenwinkel α bezieht sich eben *nicht* auf Norden wie beim Horchgerät, sondern auf den Wendepunkt, und der ist von der Flugrichtung abhängig und nur beim Orthognom I sofort erkennbar. Bei Orthognom II ist der Seitenwinkel des WP und auch der Lagewinkel des WP unbekannt. **Man hat eine Dimension zu wenig zum Einstellen, man hat eine Unbekannte zuviel.**

Aus der **Bedienungsanleitung (Ref. 11) ist zu entnehmen:** Haben die beiden Horcher den Mitteneindruck gefunden, stellt der Rechner-Mann „das Orthognom so ein, dass der Pfeil parallel zur ankommenden Schallwelle ist, d.h. der Pfeil soll auf den Orthognom-Mann zeigen“. Dann „beachtet er die Bewegungen der bunten Scheibe und dreht solange an dem Handrad im Gleichsinn der Bewegung der bunten Scheibe bis diese still steht“ (wahrscheinlich: still relativ zum drehenden Horchgerät). – Diverse Meldungen, wer wann bereit ist, erfolgen mit Lichtern und Klingelzeichen. (Erster Satz mit der ankommenden Schallwelle: das ist bloss die Bereitschaftsstellung, zum Beginn, hat nichts zu sagen).

Prinzipielle Möglichkeit, wie sich das Unmögliche vorstellen lässt: die Gleichung oben wird umgeschrieben:

$$\operatorname{tg} \lambda_{\text{Flz}} = \operatorname{tg} \lambda_{\text{WP}} \cdot \cos (\alpha_{\text{Flz}} - \alpha_{\text{WP}}) \quad \text{Höhen- und Seitenwinkel für Flugzeug / für Wechsellpunkt}$$

Das Horchgerät liefert laufend die Werte für λ_{Flz} und α_{Flz} , also Höhenwinkel und Seitenwinkel zum Flugzeug. Mit dem Handrad wird der Winkel α_{WP} eingestellt, ohne dass man ihn kennt. In der Gleichung sind also drei Variablen (provisorisch) bekannt. Die mechanischen Getriebe errechnen daraus λ_{WP} oder $\operatorname{tg} \lambda_{\text{WP}}$ und geben diesen Wert als Winkelposition auf die „Bunten Scheibe“. Solange sich die „Bunte Scheibe“ bewegt, hat man mit dem Handrad noch nicht den richtigen Wert für das Azimut des Wechsellpunktes getroffen. Das Handrad wird verstellt, bis λ_{WP} oder $\operatorname{tg} \lambda_{\text{WP}}$ konstant bleibt, d.h. bis sich die „Bunte Scheibe“ nicht mehr dreht. Damit hat man die Orientierung der Flugzeug-Bahn (analog Orthognom I) gefunden. **Mit diesem Trick lässt sich eine Gleichung mit vier unabhängigen Variablen lösen, wobei das Horchgerät zwei Werte beisteuert. Die beiden anderen unbekannt Variablen sind ohne jede äussere Information gefunden worden – was eigentlich nicht geht – durch blosses Ausprobieren!** Man nimmt an, dass Flughöhe, Kurs und Geschwindigkeit konstant seien, dann müssen auch λ_{WP} und α_{WP} konstant sein für den gegenwärtigen Flug (für den nächsten Flug wieder anders).

Nach später endlich verstandenem Rechner zeigte sich: Genau so funktioniert der Rechner – aber geometrisch, nicht algebraisch. Es wird nirgends ein „Tangens“ berechnet, nirgends multipliziert. Jetzt gilt es noch, die Getriebe, die Mechanik und die Geometrie zu verstehen.

Orthognom II Bewegungen am Museums-Gerät

Das Gerät im Flieger-Flab-Museum in Dübendorf ist noch in einem guten Zustand: knapp 70 Jahre nach der Ausserdienststellung scheint nichts gebrochen, nichts verrostet, nichts blockiert zu sein! Alle Bewegungen werden einwandfrei mitgemacht. Durch ein **Glasfenster** sind Teile des Rechners sichtbar und können während der Bewegungen beobachtet werden, allerdings nur knapp und nur im unteren Teil.

Die Eindrücke sind **verwirrend**. Es gibt (siehe Schema Seite 17) **drei vertikale Drehachsen**, die sich im Betrieb umeinander herum drehen. Die beobachteten Bewegungen wirken unklar, seltsam.

Klar ist soviel:

- > Der Winkel des **blauen Bügels** (auf/ab um horizontale Drehachse) hängt direkt ab vom Höhenwinkel der Horchtrichter (unkorrigierter Horch-Ort).
- > Der **gelbe Topf** dreht um seine eigene Achse und eiert gleichzeitig im Kreis herum; sein unteres Ende führt die korrigierten Winkel für Seite und Höhe als Rotationswert in die beiden Schieberohre, welche die Kreisbewegung ausgleichen und unbeachtet lassen.
- > Bei seitlicher Rotation des Horchgerätes verstellt sich im Rechner fast nichts, bei einer Höhenbewegung dagegen fast alles.
- > Im blauen Bügel ist ein **Kugelgelenk**, durch das eine Stange vom gelben U her stösst. Je nach der horizontalen Entfernung des gelben U vom Kugelgelenk (komplexe Rotationen) ist die Stange steiler oder flacher als der blaue Bügel – sie zeigt den **korrigierten Höhenwinkel** des echten Flugzeug-Ortes.

- > Der Seitenwinkel des Horchgerätes und die Stellung des Handrades (Flugzeugkurs) werden in einem Differentialgetriebe addiert/subtrahiert und gehen ganz oben in den Rechner.
- > Mit grösserer Flugzeuggeschwindigkeit wird der Radius der Bewegung des gelben Topfes grösser, d.h. die Winkelkorrekturen vom Horch-Ort zum Ist-Ort werden grösser.
- > Der fertig korrigierte **Höhenwinkel** wird durch das innere Schieberohr nach unten weitergeleitet – aussen nur die **Korrekturen des Seitenwinkels**. Im Fuss des Gerätes werden die Korrekturen mit dem Horch-Seitenwinkel gemischt und zum Scheinwerfer gegeben (im einzigen Differential dort unten).



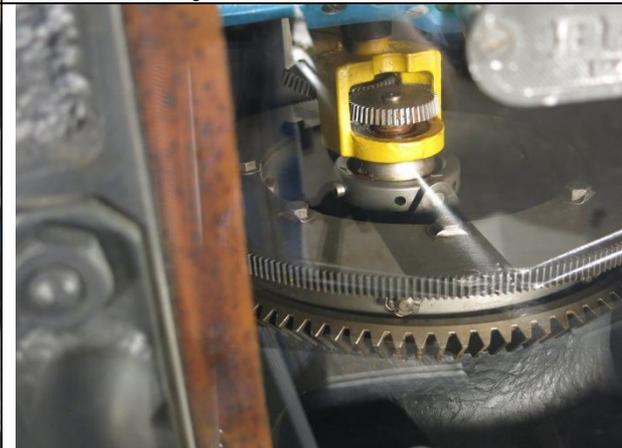
Beim Sitz des 3. Mannes gewährt ein kleines Fenster Einblick zum Rechner Orthognom II. Licht ab Taschenlampe. Das grobe Kegelrad und das feinere Zahnrad darüber stehen fest auf dem Erdboden.



Per Differential wird die Bewegung gegen die Erde plus diejenige des Handrades addiert und oben in den Rechner eingeführt. Kabel rechts für die Lichtsignale, der Rechner ist rein mechanisch.



Die Neigung des gelben U wird über ein Schrägachs-Zahnrad nach unten zum Rad des inneren Schieberohres geführt, das Azimut des gelben Topfes (liegt höher oben, siehe 2 letzte Bilder) wird unten ...



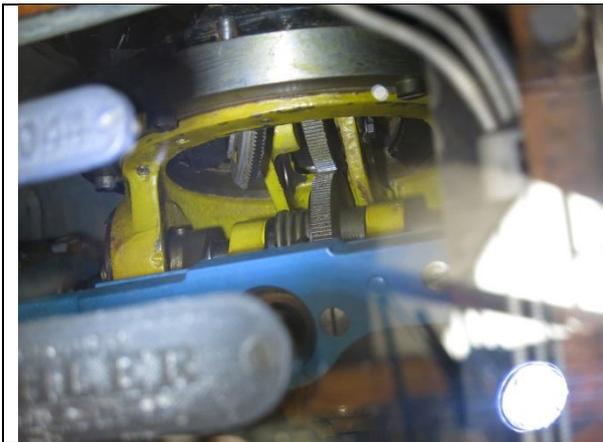
... durch den gelben Metallrahmen zum äusseren Schieberohr geführt. In den erdfesten Zahnradern unten gibt es Platz für die horizontale Kreisbewegung von gelbem Topf und Schieberohren.



Am Horchgerät wird nichts verändert, aber am Handrad ein anderer Flugzeugkurs eingestellt. Der gelbe Topf kreist, die Achse des gelben U verdreht sich gegen die horizontale Drehachse des blauen...



... Bügels. Ort und Drehwinkel des Schieberohres aussen haben sich verändert, der korrigierte Höhenwinkel ebenfalls (Steilheit des blanken Stössels durch das Kugelgelenk). – Reflexe am Glas.



Blickrichtung nach oben: Bei sehr hohem oder sehr tiefem blauen Bügel werden oben neue Elemente sichtbar: Zahnrad zum Antrieb der bunten Scheibe (links) resp. die „Lyre“, ein schräg stehender dunkler Grosskreis am Himmel (Bild rechts), dessen Neigung mit...

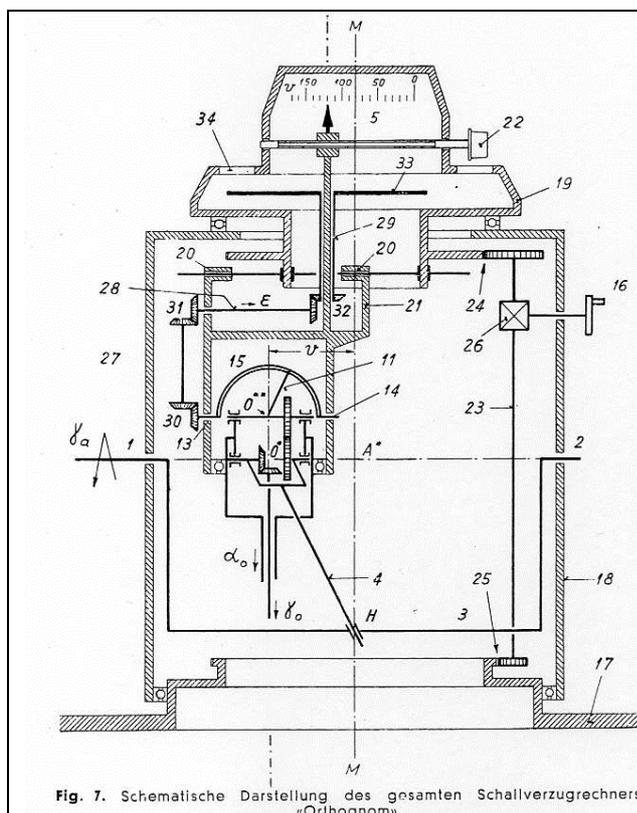
... der „Bunten Scheibe“ angezeigt wird. Der gelbe Topf und der blanke Ring darüber bewegen sich unterschiedlich schnell, es ist ein Kugellager dazwischen. - Der Durchmesser des gelben Topfes mag ca. 15 cm betragen.

Orthognom II Zusammensetzen der Mosaiksteine

Endlich wurde in Ref. 12 B (1944) eine Publikation des Hasler-Ingenieurs Dr. H. Baasch gefunden, der womöglich selber am Bau der 50 Rechner (Nachbauserie 1942-44) für die Schweizer Armee) beteiligt war. Erst jetzt begann sich der Nebel zu lichten! Mit viel Geometrie wird gezeigt, dass der Rechner in jeder Lage korrekt umrechnet vom Horch-Ort zum tatsächlichen Ort des Flugzeuges. Von einer Näherungsrechnung (wie beim US-Gerät, siehe unten) ist nirgends die Rede. Beim Orthognom I war das Nachvollziehen der Berechnungsweise allerdings einfacher als beim Orthognom II.

In Ref. 12 B wird das Funktionsprinzip des Horchgerätes mit seinem Rechner dargestellt:

Bild ist original, Text ist neu

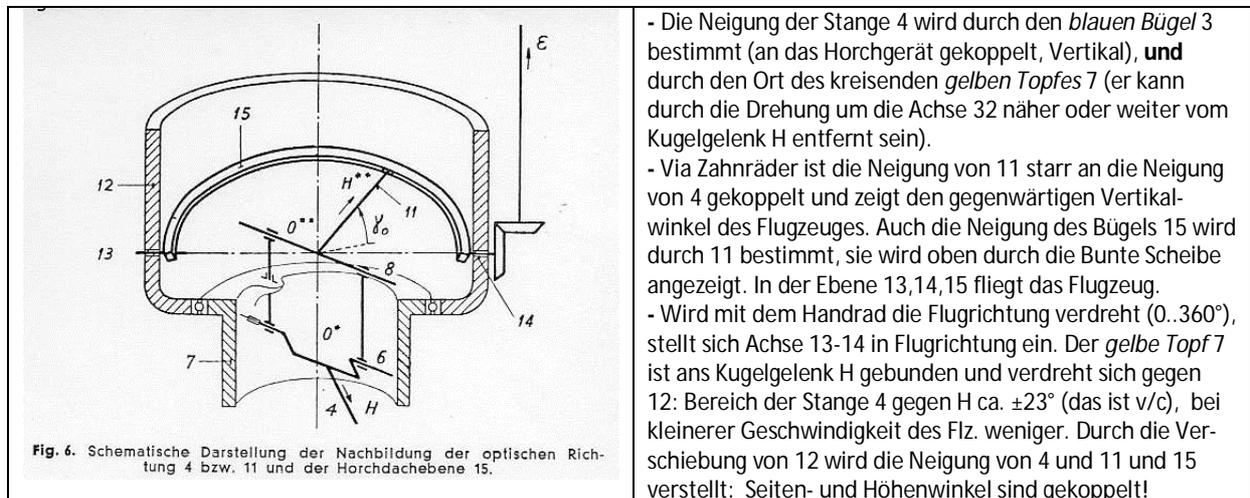


- 17: Bodenfester Sockel
- 18: Drehbarer Teil des Horchgerätes mit den grossen Trichtern (nicht gezeichnet).
- 16: kleines Handrad, Einstellung der Flugrichtung, geht auf Differential 26. Einzige Möglichkeit zur Drehung von 19 zusammen mit dem ganzen inneren Rechner.
- 19: Obere Anzeigescheibe mit den Fenstern, dreht zusammen mit dem Rechner um die Achse M. Wenn alles fertig eingestellt: Anzeige der Flugrichtung, Pfeil markant sichtbar zuoberst auf 19.
- 22: Einstellung der geschätzten Geschwindigkeit, ergibt Entfernung der Rechner-Drehachse von der Hauptachse.
- 33: Bunte Scheibe, zeigt die Neigung an des drehbaren Grosskreises 15, mit Achse 13-14. Das ist die Neigung der Horchdachebene (muss bei weiterer Peilung konstant bleiben) – diese Ebene enthält die Flugbahn; die Richtung 13-14 entspricht der Kursrichtung des Flugzeuges.

H: Kugelgelenk im blauen Bügel 3. H-A* ist die akkustische, H-O* längs Stange 4 ist die gesuchte optische Peilrichtung. A*-O* entspricht der Flugrichtung, wenn alles eingestellt ist (Bereich 0-360°). Symmetrisch in der Neigung zu Stange 4 ist die Stange 11, die den Neigungswinkel der Horchdachebene 15 einstellt und über die „Bunte Scheibe“ 33 anzeigt. Die „Spur“ der Horchdachebene wird mit dem Handrad eingestellt. – Der unterste Teil des Rechners (Kontur = Strich) ist der gelbe Topf.

Nicht gezeichnet in der Funktions-Skizze sind die Dreh- und Zahnräder der beiden Horchmänner: Horizontal-Mann dreht den Turm 18, Vertikal-Mann dreht – kombiniert mit den grossen Horchtrichtern – den blauen Bügel 3 in die Horchrichtung. Ausgang nach unten: in der Seite wird nur die Korrektur, in der Höhe der echte korrigierte Winkel zu den Getrieben im Gerätefuss geleitet. Dort wird mittels Differentialgetriebe der aktuelle Seitenwinkel dazugezählt.

Bei den Stangen 4 und 11 sind die Bewegungen etwas delikat, hier nochmals detailliert: Bild Ref. 12



Ist einmal alles eingestellt, so kann der Bedienungsmann des Rechners *theoretisch* seine Hände wegnehmen; das Horchgerät verdreht automatisch weiterhin den Seitenwinkel und die Neigung des blauen Bügels. *Praktisch* wird das Horchgerät leicht Zickzack fahren, und der Flieger kann auch seinen Kurs verändern – dann muss am Rechner ausgemittelt resp. langsam korrigiert werden.

Kurzform, ohne mechanische Einzelheiten:

Es ist Nacht, weit entfernt im Nordwesten hört man schwere Bomber. Die Horchmänner bestimmen mit ihrem riesigen „Ohrenabstand“ die Richtung, aus der der Schall kommt. Sie versuchen den Flugzeug-Typ zu erraten, was einen Hinweis auf die Geschwindigkeit gibt. Das Gerät ist vom letzten Mal her noch auf eine Flugrichtung nach Süden eingestellt (Pfeil oberhalb der Drehscheibe). Der Mann am Rechner sieht die „Bunte Scheibe“ sich drehen, und verstellt mit dem Handrad solange, bis sie stillsteht – jetzt zeigt der Flugzeugkurs nach Osten. Der Kurs ist gefunden, der Mann schaut aber nur, ob er konstant ist. Der Rechner ermittelt laufend die Richtung zum wahren Ort der Flugzeuge und gibt die korrigierten Höhen- und Seitenwinkel zum Scheinwerfer.

Wann ist der Scheinwerfer einzuschalten? So spät wie möglich, man verrät dadurch seine Stellung. Leider kennt der Feuerleitende die Distanz zum Flugzeug nicht, nur die Richtung (der Vorläufer Orthognom I hat auch die Distanz berechnet). Vermutlich wird man mittels telephonischer Durchsage der Seitenwinkel von *mehreren* Horchgeräten und Triangulation auf der Karte den wahren Ort der Flugzeuge ermittelt haben. Kommen sie so nahe, dass eine Bekämpfung sinnvoll ist, wird das Licht eingeschaltet – und mit Glück ist ein Flugzeug im Lichtstrahl. Das Kommandogerät misst das Flugzeug präzise aus und errechnet die Vorhaltewinkel für die Geschütze. Jetzt kann geschossen werden.

Im November 1943 wurden durch HASLER in Uzwil mit Messflügen **Versuche zur Präzision des Orthognoms** gemacht. Bei tiefen Lagewinkeln lag die zulässige Grenze zum Seitenfehler bei ca. 10 %, was problemlos unterschritten wurde. Bei höheren Lagewinkeln wurden bis 20 % gestattet, was ebenfalls gut erfüllt wurde. Auf einem Blatt „am 19. 12. 39 von Rentsch erhalten“ ist in einem Diagramm eingetragen: „In diesem Bereich (oberhalb $53^\circ = 940\%$) korrigiert der Orthognom nicht mehr“. In den HASLER-Messungen 1943 wurden Lagewinkel bis 1150 % erreicht, und die Lagewinkel-Fehler

waren dort immer noch gering (< 8 ‰), die Seitenwinkel-Fehler ca. 12 ‰ (12‰ entspricht ca. 0.7°). Ist beim Nachbau des Gerätes 1942/44 der Rechner noch etwas verbessert worden ?

Da es konkrete Messflüge waren mit genau bezeichneten Höhen und Geschwindigkeiten, müssten diese Fehler eigentlich **den Horchfehler zusammen mit dem Rechenfehler** des Orthognoms darstellen. Skeptisch macht bloss, dass gar keine Fehler und keine Methode der Flugzeugvermessung angegeben sind, und beim Flugzeug-Ort stets sehr runde Zahlen eingesetzt werden: Abstand des Flugzeuges zum Wechsellpunkt stets genau alle 500m oder 1000m ... wie präzis hält denn das Flugzeug seine Flughöhe, seine Geschwindigkeit, seinen geplanten Kurs ein ? Das geht alles direkt in die Rechnung ein! Seltsam, unverständlich. War es eine Gefälligkeitsprüfung ?? Bei HASLER kaum denkbar. Prüfprotokolle in Ref. 2A oder 2B.

Orthognom II in der Deutschen Wehrmacht

Die **Wehrmacht** benützte dieselben Horchgeräte, in grosser Anzahl (August 1944: offenbar waren 5559 Geräte vorhanden, gemäss Wikipedia). Es finden sich **viele Bilder im Internet** über diese Horchgeräte. Selten erkennt man, meistens nur knapp, dass es derselbe Typ ist, der heute im Museum in Dübendorf steht, mit der typischen Drehscheibe oberhalb des eingebauten Rechners. Ob der Rechner in Deutschland auch mit „Orthognom“ bezeichnet wurde, ist unbekannt (es wurde Wert gelegt auf deutsche Sprach-Reinheit).

Ein einziges Bild ist gefunden worden bei den „Freunden Sprendlingens“ (Ref. 7), welche die oberste Drehscheibe **in hervorragender Qualität** zeigt. Sogar der Pfeil mit der Flugrichtung ist klar zu erkennen, auch das Handrad – es ist einwandfrei dasselbe Fabrikat wie beim Exemplar im Museum in Dübendorf!



Das Bild ist an sich interessant, ist es doch eine **frühe Farbfoto** von Prof. Siegfried Rösch (1899-1984), einem Farbchemie-Professor, der schon 1930 einen Preis der Photographischen Gesellschaft Wien erhalten hat. Die Bilder sind gefunden worden im FraPort Archiv (Frankfurter Flughafen). Sie sind **datiert zu 1940**. Mit freundlicher Erlaubnis vom Sohn des Siegfried Rösch. Weitere Bilder von derselben Flak-Stellung siehe Ref. 7.

Vierte Form der Horchortung:

Abgebildet in Ref. 8, unter USA-Locators, mit drei doppelwandigen Trichtern. Ohne Distanzangabe. Mit eingebauter Parallax- und Windkorrektur.

Korrektur-Rechner des US-Gerätes Sound Locator M2 (1940)

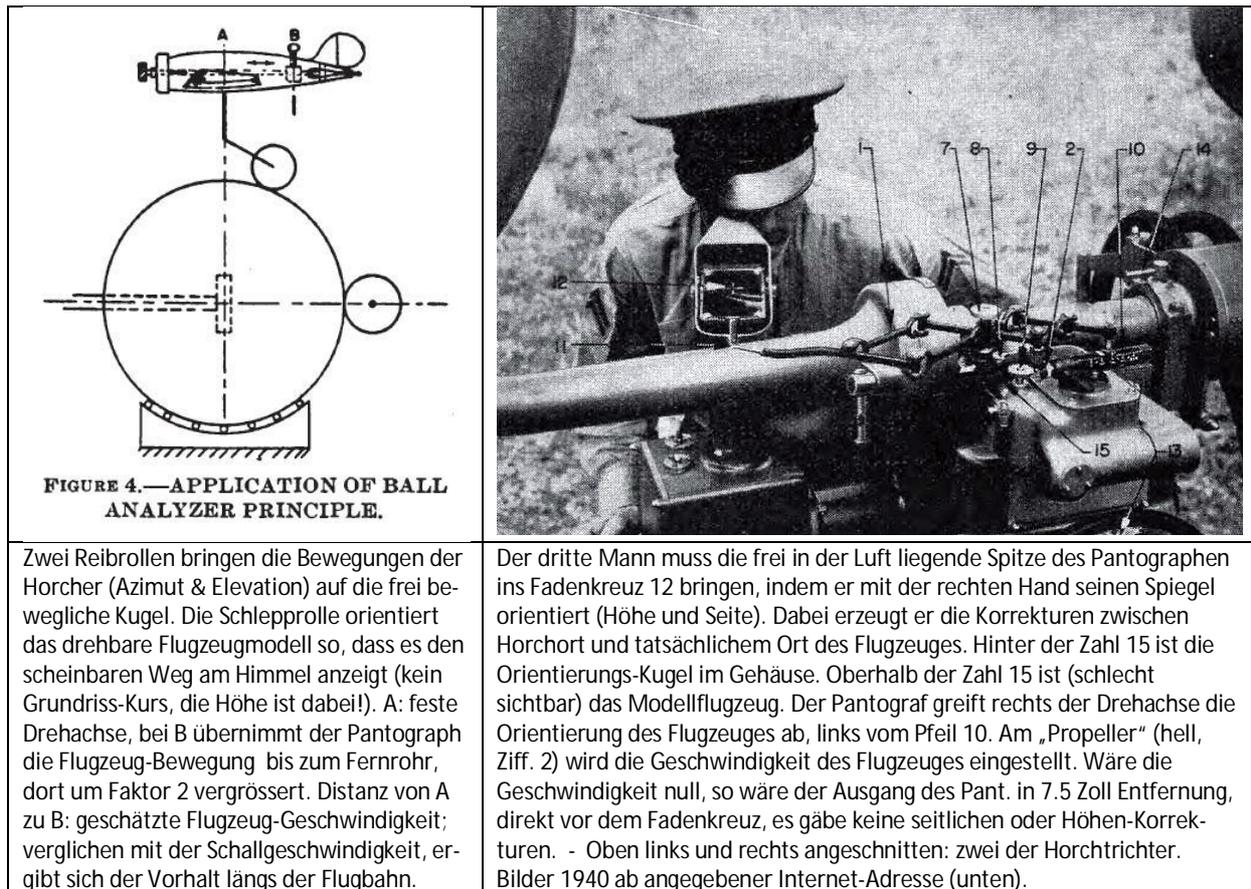
Bisher sind ausschliesslich Geräte des Herstellers ELECTROACUSTIC besprochen worden. Zum Abschluss noch ein Ausblick auf ein amerikanisches Gerät, das zur Koordinaten-Korrektur völlig andere Prinzipien verwendet. Es wiederholt sich der Eindruck, der schon beim Studium der Kommandogeräte entstanden ist: ... immer wieder sind ganz andere Lösungen gefunden worden!

Grundprinzipien der Ortungs-Korrektur beim Horchgerät M2:

- > Zwei Mann bedienen die Trichter Azimut / Elevation, bis sie den **Mitten-Eindruck** im Ohr haben.
- > Der dritte Mann schaut durch ein Okular auf einen **beweglichen Umlenkspiegel**, und hat im Blickfeld: gleichzeitig die Spitze am Ende einer **mechanischen Pantograph-Schere** (mechanische Kopie ab einer Modell-Orientierung), sie muss mit dem Spiegel ins Fadenkreuz gebracht werden, und dann auch das **echte Flugzeug** am Himmel, sofern tagsüber sichtbar. Von Hand bedient dieser Mann einen kombinierten Knopf (Drehen und Schieben), mit dem er die Neigung seines Spiegels in zwei Dimensionen verstellt. Die Bewegungen des kombinierten Knopfes stellen gleichzeitig die **Koordinaten-Korrekturen** dar, die zu den Trichter-Koordinaten (1. Und 2. Horcher) addiert und dann zum Scheinwerfer geleitet werden. Bisher das einzige Gerät, welches auch visuell das Flugzeug erfasst.
- > Die Horch-Koordinaten des 1. Und 2. Horchers gehen mittels Reibrollen auf eine **frei bewegliche Kugel**. Der Azimut- und der Elevationswinkel der erhörten Position treiben die Kugel an ihrem Äquator an (Reibrollen um 90° versetzt, drehen je in die Meridian-Richtung). Die Kugel dreht also in einer Kombination aus Azimut- und Elevations-Änderungsgeschwindigkeit. Bleibt einer der Winkel konstant, so dreht sich die Kugel in dieser Richtung nicht mehr. Die beiden Winkel werden mit unterschiedlicher Empfindlichkeit / Übersetzung an die Reibrollen übertragen.
- > Nahe beim Nordpol der Kugel sitzt eine **Schlepprolle**, welche die Bewegungsrichtung der Kugel übernimmt, also die Winkelveränderungen der beiden erhörten Winkel. Die Schlepprolle bedient und orientiert ein symbolisches **Modellflugzeug**, ab dem der Pantograph die Bewegung des Modells übernimmt. Am Modell wird mit langem Gewinde eine geschätzte Flugzeuggeschwindigkeit eingestellt, und dadurch überträgt der Pantograph die scheinbare Bewegungsrichtung am Himmel stärker oder schwächer, d.h. mit grösserem oder kleinerem Vorhalt. Der dritte Mann bringt mit seinen Hand-Korrekturen das andere Ende des Pantographen in sein Fadenkreuz und hat damit die richtigen Winkel-Korrekturen gefunden. Die nötigen Parallax-Korrekturen (Umrechnung der Koordinaten zur Scheinwerfer-Position) werden am Pantographen auch gleich berücksichtigt.

Der dritte Mann muss mit seinem Spiegel die Pantographen-Spitze ins Fadenkreuz bringen: Rein vom Signalweg her liesse sich das direkt koppeln, so dass der Mann überflüssig würde. Die Hauptaufgabe des dritten Mannes wird darin bestehen, die Ruckel-Bewegungen der beiden Horcher auszugleichen und zu glätten – und neue Kraft einzuspeisen. Die drei Reibrollen an der Kugel müssen präzise arbeiten und dürfen nicht durch Kraftaufwand gestört werden, um die nachfolgenden Getriebe anzutreiben.

Es folgen **Bildausschnitte** und **Funktions-Schema** des M2 (Quelle: nächste Seite unten):



Fliegt das Flugzeug höher über den Horizont, so steigt die Analyzer-Kugel (zusammen mit den Horchtrichtern) und auch der Pantograph höher nach oben, der dritte Mann korrigiert mit seinem Spiegel. Die Blickrichtung ins Fernrohr bleibt in der Höhe fest, dreht sich im Azimut mit den Trichtern.

Kürzer: Der dritte Mann schaut im Fernrohr ursprünglich zur Horchposition, und erhält durch die Spitze der Pantographen-Schere angezeigt, in welcher Richtung und wie schnell sich das Flugzeug scheinbar bewegt. Diese scheinbare Richtung kommt teilweise durch den Flugzeugkurs, teilweise durch die Perspektive zustande (ein „senkrecht hochsteigendes Flugzeug“ fliegt ev. einen Horizontalkurs, wenn es exakt auf das Horchgerät zu fliegt). Indem so korrigiert wird, dass die Spitze des Pantographen wieder im Fadenkreuz steht, sind die gesuchten Koordinaten-Korrekturen gefunden. Mit Differentialgetrieben werden sie zu den ursprünglichen Horch-Koordinaten addiert und zum Scheinwerfer geschickt, mittels elektrischer Synchron-Folgezeiger (benötigen Wechselstrom).

In den USA wird also die schiefe **Horchdach-Ebene, die bei ELECTROACUSTIC immer und in allen Modellen grundlegend war, gar nicht gebraucht.** Die Pantographen-Schere sieht empfindlich aus.

Mechanisches Gesamt-Schema (unten) aus: <https://ia801508.us.archive.org/10/items/TM9-2660/TM9-2660.pdf>

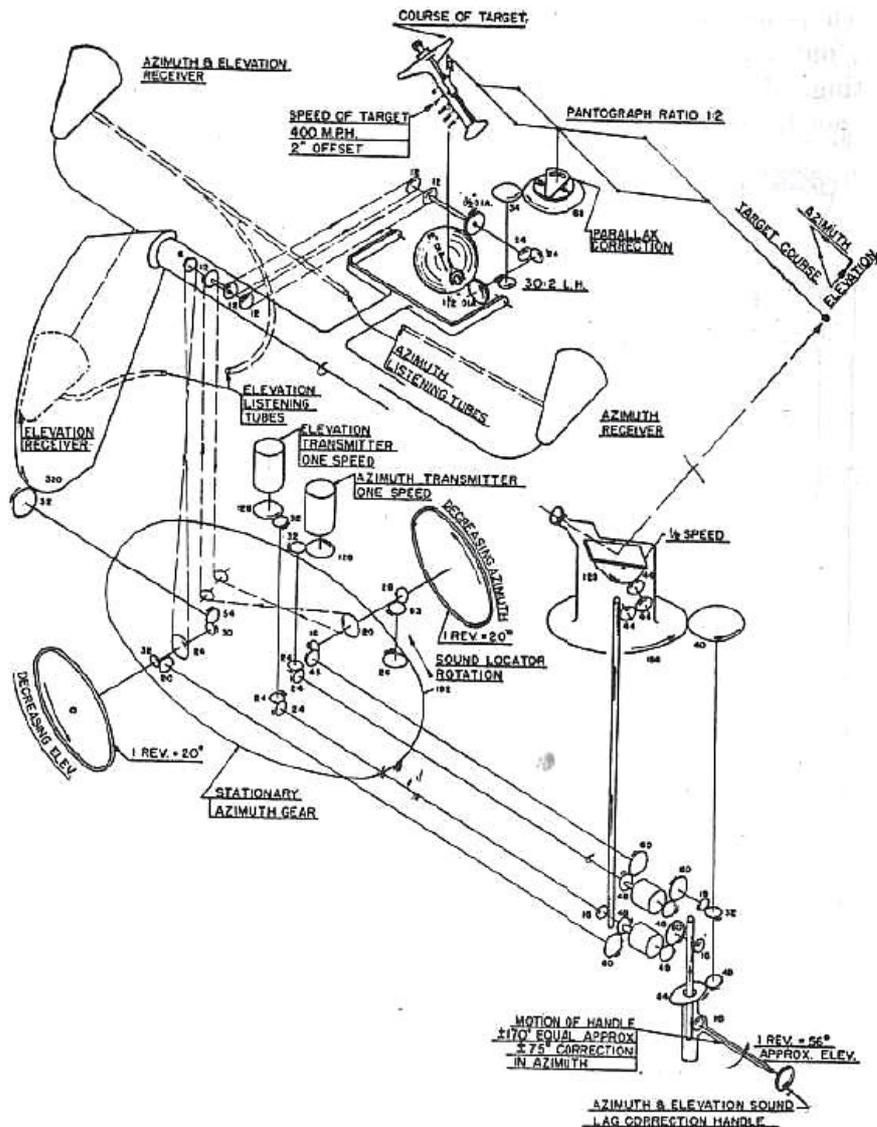


FIGURE 15.

Für genauere geometrische Studien siehe unter: <https://ia800301.us.archive.org/9/items/Fm4-111/Fm4-111.pdf>
 Auf Seite 16 bis 23 (Druckseiten) sind nähere Informationen zur Treue der Kugel-Abbildung zu finden – es sind **gewisse geometrische Näherungen** im Spiel.

Es gibt auch ein **Kommandogerät** Sperry Typ M2, in Englisch: (gun) director, ca. 1930 als Nachfolger des Wilson-Modells. Neben dem **Horchgerät** M2 (locator) gibt es auch einen **Rechner** M2 (corrector). „Note that the M2 acoustic corrector is **not** used with the M2 sound locator“. Die Typen-Nummern sind bei Sperry rätselhaft bis chaotisch, auch bei den Kdo.geräten. Schliesslich gibt es noch den „**binaural trainer M2**“ zur Horchausbildung... das Durcheinander ist gross.

Horch-Ausbildung mit Horch-Simulator

Jedesmal ein Flugzeug zu starten, um die Horcher auszubilden, ist aufwendig und teuer. So hat man einen **Horch-Simulator** gebaut, welcher die **Horch-Ausbildung** in der Halle und ganz ohne Flugzeuge erlaubt. Ab Schallplatten werden die Geräusche der wichtigsten Flugzeuge abgespielt – wenn möglich sollten die **Flugzeug-Typen schon am Motorenlärm erkannt werden**. Dann weiss man ungefähr, welche Geschwindigkeit am Horchgerät einzustellen sei.

Der Simulator hat fünf Plätze, vermutlich sind es vier Auszubildende und ein Instruktor. Durch Schläuche erhalten die Männer die Flugzeug-Geräusche in die Ohren. Ab jetzt wird vermutet: Der Instruktor fabriziert aus dem Ton des Plattenspielers einen räumlichen Flugkurs. Er hat zwei grosse Handräder vor sich, mit denen er durch Schall-Verzögerungen mittels ausziehbaren Umweg-Kanälen (analog der Zugposaune) einen Vorbeiflug, einen Überflug etc. simuliert, mit den passenden Winkelgeschwindigkeiten. Die vier Auszubildenden haben je ein grosses Handrad vor sich, und versuchen durch Gegen-Kompensation, den Ton immer mittig zu halten, d.h. beim linken und rechten Ohr trifft er gleichzeitig ein. In diesem Zustand wäre das Horchgerät auf den Flieger ausgerichtet (genauer: auf den Ort, wo der Schall herkommt). Fünf Protokollstreifen informieren darüber, wie gut die Teilnehmer dem Flugkurs gefolgt sind, oder wie gross die Abweichungen waren. Im Flieger- und Flab-Museum Dübendorf ist ein solches Schulungsgerät vorhanden, mitsamt der Schallquelle. Es liegen dort, neben den alten Kopfhörern mit Rohr-Zuleitung, auch bereits einige elektrische Kopfhörer herum, man hat wohl Versuche gemacht.

Die Umweg-Verzögerung wird in Ref. 3, p.77 ausdrücklich erwähnt.



Der Horch-Simulator von Autophon (Flieger-Flab-Museum in Dübendorf). Vier Trainingsplätze, per Schlauch wird der Schall mit unterschiedlicher Verzögerung an je ein Ohr geleitet. Mit dem Handrad muss die Verzögerung wieder ausgeglichen werden (das Horchgerät würde durch die Bewegung des Handrades seitlich oder in der Höhe verstellt).



Wahrscheinlich der Platz des Instruktors, der als einziger zwei Handräder hat. Alle Bewegungen werden auf Papierstreifen protokolliert. Links hinten ist die Schallquelle mit zwei Plattenspielern, Röhrenverstärkern, Tongenerator mit oder ohne Oberwellen, und mit zuschaltbaren Störmöglichkeiten. Rechts elektr. Kopfhörer: ev. spätere Versuche ?

Bereits in Ref. 9 (1942) wird vom „Horchtrainingsgerät mit fünf Übungsplätzen“ gesprochen. Das dürfte ein Missverständnis sein, denn vier Auszubildende (mit je einem Handrad) und ein Instruktor, der den Flug formt (mit zwei Handrädern) gibt einfach mehr Sinn.



Aus einer Sammlung von Schellack-Platten konnten die passenden Motorengeräusche der gängigsten Flugzeugtypen ausgewählt werden. Bilder beim Technorama in ...



... Winterthur aufgenommen, Platten jetzt im Museum in Dübendorf. Gemäss dem Beiblatt Technorama stammt der Horchsimulator von 1940, in Ref. 9 B wird er abgebildet.

Der damaligen Technik Respekt zollen!

Wollen wir einmal versuchen, ob unsere Hirnwindungen noch so viel hergeben wie damals ?

Lasst uns den **Horchsimulator selber erfinden**, anhand einiger Detail-Fragen:

- > Wenn es um die grobe, erste Orientierung am Himmel geht (nicht um die präzise Feinortung) – würde der Instruktor die Schallwege für linkes / rechtes Ohr besser so verzögern, dass sie einem normalen Ohrenabstand von 20 cm entsprechen – oder gleich dem Horchgerät von 1.5 m ?
- > Was erhalten wir für einen Eindruck, wenn die Schallverzögerung zwischen den Ohren ganz deutlich grösser ist, als es im normalen Leben je möglich ist ?
- > Der Instruktor wählt die Schallplatte eines Vorbeifluges oder eines Überfluges: Zuerst leise, dann lauter, am Ende wieder leiser. Was kann der Instruktor tun, um aus diesem Ton einen Vorbeiflug im Norden, im Osten oder im Süden herzustellen ? Wie muss er die beiden Handräder bedienen, falls eines die Seitenverzögerung, das andere die Höhenverzögerung beeinflusst ?
- > Gewinnt man etwas hinsichtlich der Simulation von räumlichen Flügen, wenn die Aufnahme mit *zwei* Mikrofonen geschieht, die ev. Richtwirkung haben, eines ist nach Norden gerichtet, eines nach Westen ?
- > Wie lässt sich auf dem Protokollstreifen eine präzise oder eine mangelhafte Schallortung aufzeichnen ?
- > Wenn der Instruktor die Schallverzögerung einstellt mit einem Umweg-Kanal, analog der Zugposaune: um wie viel muss der eine Schall-Weg länger sein als der andere, wenn der Auszubildende einen Eindruck haben soll, das Flugzeug befinde sich um 30° oder 80° neben der Gesichts-Mitte ?
- > Könnte man den einseitig verzögerten Schall statt mit räumlichen Umwegen auch mit **zwei** Plattenspielern machen (das hat es eben!), wenn bei einem der Plattenspieler der Motor ganz minimal gebremst wird ?

Ein weiteres nettes **Rätsel der Horchortung** – ganz unabhängig von allen militärischen Lösungen:

Hören wir in den Bergen einen Helikopter kommen (in touristischen Regionen ist das häufiger als im Flachland): Sofort die Augen schliessen, und dann mit ausgestrecktem Arm zeigen, woher man den Lärm hört. Auffallend ist, dass wir **ganz klar auch einen Höhen-Eindruck haben!** Wenn die beiden Ohren auf gleicher Höhe stehen, sollte (per Zeitdifferenz des Schalles an beiden Ohren) bloss ein Eindruck über den seitlichen Einfallsort resultieren – wieso spüren wir auch die Höhe ?? Eine wahre **Knacknuss**, und keine leichte! Die Sicherheit der Positionsbestimmung in horizontaler wie vertikaler Richtung scheint gleich zu sein – wir zögern nicht, mit dem Arm direkt auf den Helikopter zu zeigen.

Anhänge – sie können bei erster Lektüre übergangen werden. Sie dienen der Entlastung des Textes, der etwas zu lange geworden ist:

Anhang 1: Zwei mathematische Herleitungen: Umrechnung vom Horch-Ort zum tatsächlichen Ort des Flugzeuges bei Orthognom I / Herleitung der Formel, nach der die Orientierung des Flugzeugkurses beim Orthognom II ursprünglich vermutet wurde.

Anhang 2: Unklares, Unverstandenes bei Orthognom I und II

Anhang 3: Modell mit Glaskuppeln bei Orthognom I. Vergleich Orthognom I und II

Anhang 4: Sphäroscop und moderne „Akkustische Kamera“, Radarschirme, Phased array

Anhang 5: Weiteres zu Orthognom II: Schema, Ansichten, Fertigungspräzision, Finanzielles.

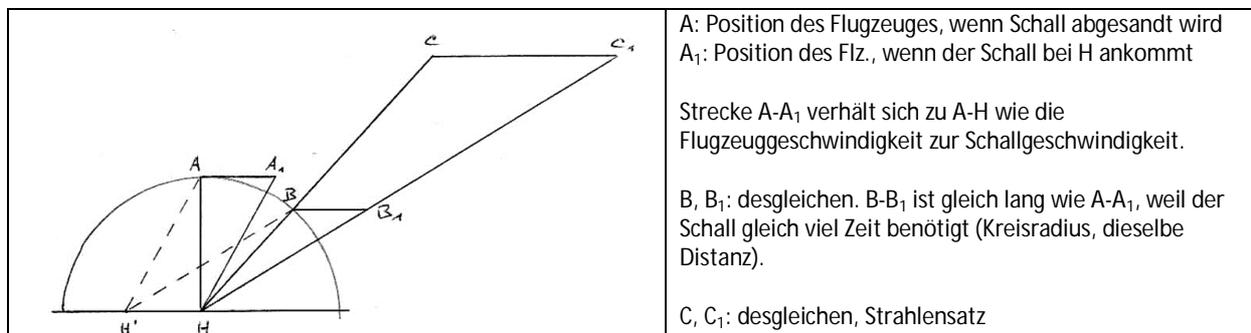
Anhang 1:

Zwei mathematische Herleitungen

a) Umrechnung vom Horch-Ort zum Ist-Ort des Flugzeuges beim Orthogonum I

Auf Seite 6 wird anhand der Original-Zeichnung von ELECTROACUSTIC das Prinzip der Umrechnung gezeigt. Hier dasselbe etwas eingehender, so dass auch zweifelnde Geister beipflichten müssen: **Ja, diese genial einfache Umrechnung erfolgt korrekt in allen Fällen** – solange die konstante Höhe, ein fester Flugzeugkurs und eine konstante Flugzeuggeschwindigkeit gegeben sind.

Die Umrechnung ist letztlich so einfach, weil die Distanz zum Flugzeug keine Rolle spielt: Wird das Flugzeug in einer bestimmten Position erhört, aber echt ist es schon um einen bestimmten Winkel weitergeflogen, so bleibt dieser Winkel fest, selbst wenn das Flugzeug dreimal weiter entfernt ist. Der Kreis in der folgenden Zeichnung liegt in der Horchdachebene, d.h. in der Ebene der Flugbahn. H ist die Position des Horchgerätes.

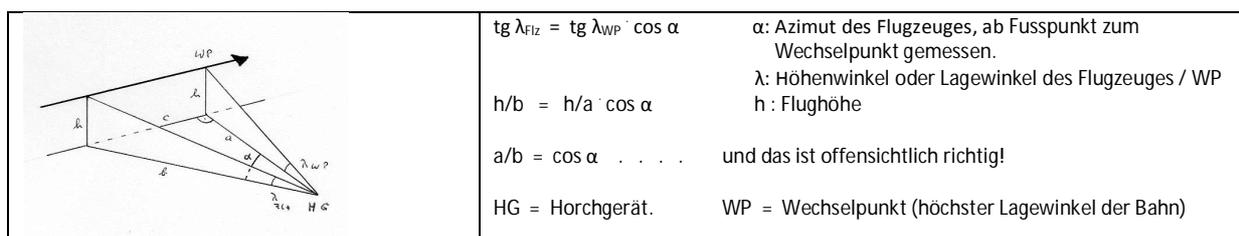


Um die gesuchten Winkel zum echten Flugzeugort zu erhalten, ist vom Horchgerät H aus nach A₁, nach B₁ oder nach C₁ zu zielen. Das sind exakt dieselben Richtungen, wie wenn man von einem fiktiven Ort H' des Horchgerätes nach A oder nach B oder nach B₁ zielt, also zu den erhörten Positionen. Die Strecke H-H' ist gleich lang wie die Strecken A-A₁ oder B-B₁. Bedienung des Orthogonum I: Wird die Horchposition zuerst auf der Halbkugel markiert, dann das Zentrum der Peilung von H nach H' verschoben, und von dort die Markierung angepeilt, so erhält man gerade die gesuchte echte Position des Flugzeuges. Q.e.d.

b) Herleitung der Formel zur vorerst vermuteten Arbeitsweise von Orthogonum II

Auf Seite 15 wird auf Grund einer geometrischen Beziehung zwischen Höhen- und Seitenwinkel auf allen Punkten der Flugzeugbahn vermutet, wie das Prinzip der Flug-Orientierung beim Orthogonum funktionieren haben könnte. Die Idee, wie man eine Gleichung „mit zuvielen Unbekannten“ löst, hat sich als zutreffend erwiesen, aber die Umrechnung erfolgt rein geometrisch, und nicht algebraisch (keine Multiplikation, keine numerischen Winkelfunktionen).

Herleitung der Formel rückwärts, Behauptung zuoberst, leichte Umformungen:

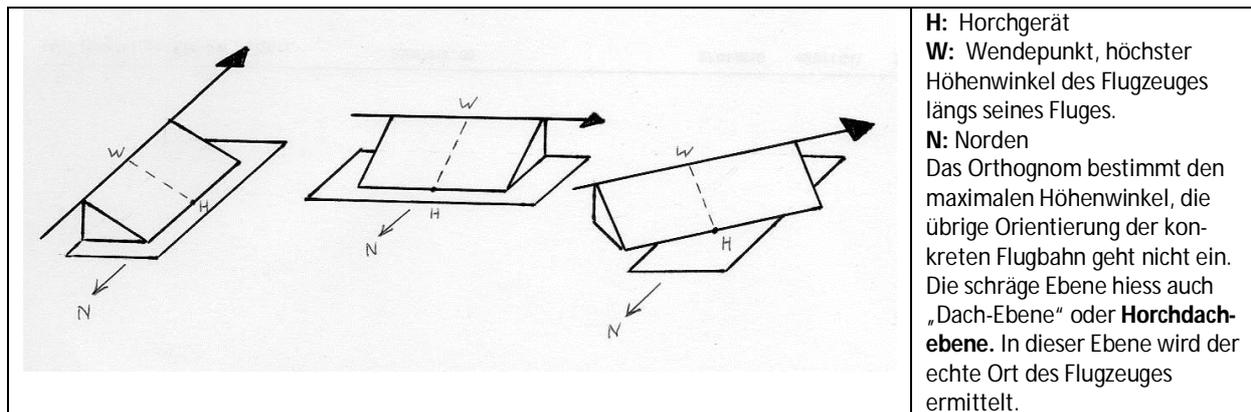


Anhang 2:

Unverstandene Punkte bei Orthognom I

Unklare Rückwärts-Transformation der Koordinaten

Der Rechner muss vom Ort, wo man den Flieger hört, umrechnen auf den aktuellen, tatsächlichen Ort. Diese Umrechnung wird besonders einfach bei der speziellen Orientierung an der Glaskuppel des Orthognom I: sämtliche Flüge (egal in welcher Kursrichtung) werden auf dieselbe Flugachse abgebildet. Dabei geht aber wichtige **Information verloren**. Orientierung der **Horchdachebene**:



Alle drei oben skizzierten Flüge (Kursrichtung nach Süden, nach Westen, nach Südwest) und viele weitere werden an der Glaskuppel identisch abgebildet. Die wichtigste Information, die vom Scheinwerfer gebraucht wird (wo ist der Flieger?), ist dabei **verloren gegangen**. Es ist nicht ersichtlich, wie **nach** der Orthognom-Orientierung wieder zurückgerechnet wird zu den normalen Koordinaten Azimut (Himmelsrichtung) und Höhenwinkel, welche der Scheinwerfer benötigt.

Offensichtlich muss die vom Horchgerät kommende Information der beiden Winkel vorerst gerettet werden, wenn die Flugbahn am Orthognom I eingestellt wird. Dann müssen diese primären Winkel durch den Rechner gezielt verändert werden. Die beim seitlichen Verstellen des Bügels (vgl. Seite 5 und 6) erhaltene neue Position ist aber der tatsächliche, umgerechnete Ort in der Dach-Ebene, und nicht eine Differenz oder blosser Korrektur. Die Sache ist letztlich nicht verstanden. Sehr gut sieht man, wie dieses Problem beim US-Sound-Locator M2 gelöst wird, siehe Schema Seite 22. Auch beim Orthognom II ist die Situation klar.

Horchprinzip, Sinneseindrücke: Der eine Horch-Mann in der horizontalen Richtung löst eine natürliche Aufgabe, bloss mit stark vergrössertem Ohren-Abstand: woher kommt der Schall? In vertikaler Richtung ist die Lage ungewohnt – dieser Mann muss ev. die Augen schliessen? Er hört in Richtung links-rechts, stellt dort die Mitte ein - verstellt aber mit seinem Handrad die Richtung höher-tiefer. Bei offenen Augen oder wenn er den Fliegern nachschaut, gibt das ev. ein Durcheinander der Sinne.

Redensart, hier oft gebraucht: „Umrechnung zum tatsächlichen Ort *des Flugzeuges*“: Wie haben die Realitäten ausgesehen, wenn nicht *ein* Flugzeug, sondern Dutzende angeflogen kamen, vielleicht Hunderte? Konnten die Horchgeräte noch etwas tun, oder musste man zusammenpacken, wenn der Motorenlärm breit von überall her kam??

Bezeugt ist, dass die Horchgeräte in der Zeit beginnender Radarmessungen (FuMG, Funkmessgerät) *wieder wichtiger* wurden, als die künstlichen Störungen mittels Düppel-Abwurf praktiziert wurden.

Auf Seite 6 wird vermutet, dass **mehrere elektrischen Messbrücken** miteinander verhängt und elektrisch gekoppelt sein könnten. Das ist tatsächlich der Fall – wie aus einer Patentschrift zum Orthognom I in der leicht abgeänderten Form zum Kugel-Horchgerät hervorgeht, siehe folgende Abbildung:



Anhang 3:

Modell mit Glaskuppeln, Orthognom I. Vergleich Orthognom I und II

Zur Veranschaulichung wurden die beiden Glaskuppeln des Orthognom I improvisiert mit Halbkugeln aus Plexiglas nachgebildet. Die äussere, drehbare Schale musste unten gekürzt werden: die beiden, eng aneinander liegenden Schalen können nicht gleich gross sein, wenn sie dicht aneinander anliegen sollen. Die obere Schale ist leicht zu klein.



Die Berechnungsart von Orthognom I und II ist unterschiedlich:

Bei **Orthognom I** wird anhand der beiden ersten Peilungen die Horchdachebene gültig festgelegt (Markierung der zwei ersten Peilungen, Drehen der äusseren Glaskuppel). Anschliessend werden die folgenden Peilungen mit Bügel und Stift am Reiter von Hand verfolgt: Der Stift muss laufend mit dem Lichtpunkt vom Horchgerät her in Übereinstimmung bleiben. Die Umrechnung zum echten Ort des Flugzeuges erfolgt bei seitlich verschobenem Bügel automatisch. Ein beginnender Kurvenflug muss durch Beobachtung an der Glaskuppel erkannt werden. – Der Flugzeugkurs (Kompassrichtung des Piloten) kommt in diesem Rechner nie vor und kann durch Beobachten der Spur auf der Glaskuppel auch nicht erkannt werden.

Bei **Orthognom II** wird bei provisorisch angenommener, zuerst sicher falscher Horchdachebene der echte Flugzeugort durch das Gestänge automatisch errechnet. Die Rechenoperation erzeugt daraus die Neigung der Horchdachebene, die sich bei weiterer Peilung laufend verändert. Der Bedienungsmann erkennt dadurch, dass er am Handrad den Flugzeugkurs verändern muss, was dann auch die Horchdachebene anders einstellt – bis die „Bunte Scheibe“ stillsteht. Jetzt hat der Bedienungsmann eigentlich nichts mehr zu tun, ausser die „Bunte Scheibe“ würde sich bei beginnendem Kurvenflug wieder systematisch zu drehen beginnen. Der Flugzeugkurs (Kompassrichtung des Piloten) wird durch den Pfeil zuoberst auf der Fenster-Scheibe jederzeit klar angezeigt; korrigiert von Hand wird aber allein durch die „Bunte Scheibe“ (Neigung der Horchdachebene). Der angezeigte Flugkurs wird nie benützt, weder durch den Menschen noch durch die Maschine.

Es wäre prinzipiell leicht, die Drehung der „Bunten Scheibe“ mechanisch direkt mit dem Handrad zu koppeln, so dass sich die Horchdachebene stets selber automatisch richtig einstellt, d.h. ohne Bedienungsmann. Das hat man nicht gewollt: Der Bedienungsmann muss offenbar glätten und ausgleichen, d.h. in den dauernden Bewegungen der „Bunten Scheibe“ infolge **unruhiger Peilung** eine systematische Bewegung erkennen und durch Korrektion des Flugzeugkurses wieder auskorrigieren.



Blick von oben auf die drehbare Fensterscheibe mit dem Pfeil des absoluten Flugzeugkurses, darunter die „Bunte Scheibe“. Sie ist **exzentrisch** montiert und dreht sich um ihr Zentrum, entsprechend der Neigung der Horchdachebene. Das Zentrum seinerseits wandert um die Symmetrieachse der Fensterscheibe, je nach Azimut des Horchgerätes und je nach Bewegung des Handrades. Durchmesser der Fensterscheibe: 35 cm. Maximale Horizontalverschiebung der bunten Scheibe: 4 cm

Die „Bunte Scheibe“ hat ein Muster von je drei schwarzen Strichen, dann abwechselnd Symbole in drei Farben, pro Farbe fünf Muster pro Umfang. Pro Umdrehung ergibt das 60 Teile. Ev. lassen sich damit Messungen anstellen – erklärt wird es in der Betriebsanleitung nicht, gebraucht wird es im Betrieb nicht. Links unten der Sitz des Bedienungsmannes. Etikette: Hasler AG Bern. Drehwalzen beim Pfeil: Einstellung der Flz. Geschwindigkeit.

Anhang 4:

Sphäroscop: „Phased Arrays“ und die moderne „Akustische Kamera“

Das Sphäroscop hat bereits 1933 das moderne Konzept der „**Phased arrays**“ vorweggenommen und elektro-mechanisch realisiert. Die Idee der „phased arrays“ beruht auf **selektiven Signalverzögerungen** – bei jedem Einzelelement immer wieder anders. So ist etwa der Radarschirm eines Verkehrs-

oder Militärflugzeuges kein beweglicher Hohlspiegel mehr, sondern eine ebene, fest montierte Platte mit unzähligen Einzel-Abstrahlern, deren Signale zeitlich immer wieder anders verzögern werden, sowohl beim Senden wie beim Empfangen (Erklärungen siehe Wellen-Physik):

Soll der Radarstrahl in Flugrichtung nach rechts schwenken, so strahlen die Einzelelemente ganz links das Signal zuerst ab, später diejenigen in der Mitte, und noch später diejenigen rechts.

Soll der Radarstrahl in Flugrichtung nach oben schwenken, so strahlen die Einzelelemente ganz unten das Signal zuerst ab, später diejenigen in der Mitte, und noch später diejenigen oben.

Die numerischen Werte der Zeitverzögerungen bestimmen den Ablenkwinkel des Gesamtstrahls.



Quelle der Bilder:

Flugzeug: [https://en.wikipedia.org/wiki/Zhuk_\(radar\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Zhuk_(radar))

Schiff: <http://pena-abad.blogspot.ch/2012/07/spy-radar-arrays-arrive-in-adelaide.html>

Akkustische Kamera: <http://www.isotildam.de/index.php?id=39>

Eine moderne **Akustische Kamera** arbeitet genau gleich wie der flache Radarschirm, einfach mit Schallwellen: Es wird mit einer ganzen Mikrofon-Anordnung ein Schall-Bild abgetastet (Strasse, Industrie-Betrieb, ein Auto etc.), indem man die von jedem Mikrofon empfangenen Signale unterschiedlich verzögert – heute elektronisch und Rechner-gesteuert. Mit der Wahl der Zeitverzögerungen kann bestimmt werden, „wohin gehorcht wird“: von diesem Punkt aus summieren sich die Schallwellen sämtlicher Mikrophone – von anderen Punkten her löschen sie sich teilweise aus.

Unglaublich - dieses Prinzip wurde schon 1933 angewandt, um Schiffe und Flugzeuge zu suchen!

Es ergäbe sich mit einer akustischen Kamera die ganz wundersame Gelegenheit, **80 Jahre in die Vergangenheit zu tauchen** und nochmals zu hören, was die Horchmänner am Sphäroscop damals bei guter / bei schlechter Ausrichtung gehört haben! Wie unterscheidet sich der relativ gleichmässige Ton der Flugzeugmotoren, wenn ihn alle Mikrophone exakt gleichzeitig empfangen, oder wenn einige der Mikrophone einen etwas früheren / etwas späteren Ton beimischen? Wie sicher erhört sich das Maximum, wie präzise lässt sich das Flugzeug orten? Stimmt die Behauptung von ELAC, wonach das Sphäroscop genauer arbeitete als das Elascop?

Anhang 5:

Weiteres zu Elascop und Orthognom II: Schema, Ansicht, Genauigkeit, Kosten

4 Bilder aus den Unterlagen 1936 ELAC, aus Ref. 2C. Bild rechts oben vom Museumsgerät in Dübendorf.

<p>Einstellen der Flz.Geschw.: 56, 30; dabei wird der Rechner im Schlitten 26 um max. 4 cm verschoben. Andere Flugrichtung: 42, 45, 49, Drehung Rechner um HH. Lagewinkel Horchgerät: 11, 12. Kugellager: 21, 28. Neigung Dachebene mit 20 verstellt, mit 36, 37, 38 gezeigt.</p>	<p>Seitliche Ansicht des Rechners Orthognom II, vor dem Einbau ins Horchgerät. Durchmesser der grossen Scheibe oben: 35 cm. Die Einleitung der korrigierten Winkel in die Schieberohre unten wurde 1942/44 anders gelöst: siehe Bild rechts.</p>	<p>Der korrigierte Seitenwinkel geht mit gelbem Gehäuse direkt in das äussere Schieberohr, der korr. Lagewinkel wird mit einem neuen Schräg-Zahnrad in das innere Schieberohr geführt: hinten knapp sichtbar. Reflexionen am Glas. Gelbes U = 51, blaues U = 12 (links)</p>

<p>Der Abstand von Unterkante des Kugellagers in dem das ORTHOGNOM sich in der Säule dreht bis zur waagerechten Mitte des optischen Bügels soll $123 \pm 0,05$ mm betragen. Etwaige Abweichungen können durch Entfernen oder Hinzufügen von Ringen aus Kupferfolie unter der Auflagefläche des inneren Kugellagerringes ausgeglichen werden. Beim Einbau des ORTHOGNOM in die Säule ist darauf zu achten, daß die Säulen-Ausdrehung für das Kugellager einwandfrei rein ist. Der akustische Bügel ist so einzustel-</p>	
<p>Einbau- und Herstellungs-Genauigkeit: Das ist nicht etwa ein Schreibfehler! Diese hohen Anforderungen an die Genauigkeit findet man auch anderswo. Die deutschen Firmen sind sich an äusserste Präzision gewohnt. Wie misst man 1/20-Millimeter bei diesen grossen Geräten? An anderen Stellen werden Toleranzen von 0.1 mm vorgeschrieben.</p>	<p>FBW lieferte das Fahrgestell zu den Horchgeräten. Stark verkleinert wurden die Pläne in ein Buch mit Goldprägung gebunden, so ging es an die KTA. Die Aufträge müssen begehrt gewesen sein. Zu damaligen Preisen ist ein Horchgerät auf Fr. 57'200.- gekommen (Bühler und FBW, inkl. Rechner), der Rechner allein kostete Fr. 11'800.- (Xamax, 1943), plus div. Nebenkosten. Heutige Preise: mal fünf (?).</p>

Chronologie der Horchgeräte Für die Schweiz

1933

Broschüre „Elascop und Orthognom“ der Electroacoustic GmbH Kiel und Copenhagen

Broschüre „Sphärosop und Orthognom“ der Electroacoustic GmbH Kiel und Copenhagen

Beide Systeme arbeiten mit (leicht unterschiedlichem) Rechner Orthognom I. In der Schweizer Armee nicht verwendet.

1936

Erprobung Sommer-RS: eine SIEMENS-Scheinwerfer-Anlage mit **Horchgerät ELASKOP** Schild p.17
(In Ref. 9A wird 1936 das TEPAS-Gerät erwähnt, das ELASCOP dagegen noch nicht – ev. ist es eine Werbe-Information der TEPAS-Hersteller.). Unter..
<http://www.lw.admin.ch/internet/luftwaffe/de/home/themen/history.parsys.13972.downloadList.25709.DownloadFile.tmp/geschichtederluftwaffede.pdf>
wird ein Elascop abgebildet, datiert 1936 (Abb. 32, 33 – der Rechner Orthognom II ist bereits eingebaut). Unter Abb. 34 ein Stromaggregat (hauptsächlich für den Scheinwerfer).
Ausführliche Unterlagen von ELAC zu diesem ersten Horchgerät sind in Ref. 2 C erhalten. Der Rechner wird beschrieben, die Ausbildung für Horcher und Orthognom-Bedienung – total ca. 100 Seiten dünnes Schreibmaschinen-Durchschlagpapier plus Fotos.

1937

Vier zusätzliche Scheinwerfer-/Horchanlagen SIEMENS erhalten (1936 bestellt) Schild p.18
Eine Anlage GALILEO Scheinwerfer und Horchanlage
Ein (Schild) oder zwei (Born) tschechische Horchgeräte TEPAS erprobt. Sie waren gut, etwas empfindlicher als ELASCOP, aber beim Zusammenbau musste TEPAS zerlegt werden, ELASCOP nicht. Born p. 102
Der Rechner beim TEPAS ist vorhanden, soll noch verbessert werden.
1937-39 Erprobung von Sperrballonen, Verzicht darauf Schild p.18
1937 Je ein Horch**trainings**-Gerät SPERRY und AUTOPHON werden beschafft Born p. 103

1938

Erprobung der Horchgeräte ZELLWEGER und ALBISWERKE für FLBMD Schild p. 21
Erprobung GALILEO ab März. Bericht über Versuche und Entscheid; Born p.133-138
Entscheid: TEPAS und GALILEO werden nicht weiter verfolgt, FLBMD erhält keine Horchgeräte Schild p.19-21
März: „einige wenige ELASCOP und TEPAS“ stehen zur Verfügung Born p. 133

1939

Bis 1939 ist SIEMENS D Hersteller des ELASKOP, in der Schweiz „ab 1940 Bühler AG, Uzwil“ Kögel p.28

1940

In der Schweizer Armee gibt es 8 Elascop-Geräte Kögel p.28

1942

23. Februar: Major Hess orientiert die Anwesenden einer Besichtigung in Münsingen, dass „eine Anzahl“ Horchgeräte „nach einem fremden Modell“ hergestellt werden müssen. Die Firmen Bühler, Uzwil, Hasler, Bern, und FBW (Xamax Oerlikon ist noch nicht dabei) besichtigen ein „Gerät Nr. 3“ von ELAC und haben festzustellen, „welche Teile des Gerätes de(n) eingeladenen Firmen zur raschmöglichsten Anfertigung der erforderlichen Zeichnungen zugestellt werden sollen.“
Hasler erhält das Orthognom in der Mittelpartie, jedoch „ohne die Kegelräder mit Wellen und Handrad in der Lyre“, plus „die zwei Geber für Höhe und Breite, welche aus einem anderen Gerät freigemacht werden“. Handschriftlich darunter: Hasler würde auf die Anfertigung von Abzweigkasten und Gebern für Höhe und Seite gerne verzichten, wegen anderer Arbeiten für die KTA.

13.8., 26.8. Besprechungen: ... Zurückhaltung der KTA... mit Rücksicht auf Verhandlungen mit Electroacoustic Kiel. Zwei Prototypen sind im Bau. Von Xamax ist noch nicht die Rede. Dr. Baasch, Hasler: „Der rechnerische Teil für das Orthognom ist fertig. Mit den komplizierten Teilen des Orthognoms kann begonnen werden.“ Hptm. Schorno: „**Gummibereifung kommt nicht mehr in Frage**. Es ist Notlösung mit Ersatzbereifung (Holz, Eisen) und spätere Auswechslungsmöglichkeit vorzusehen“. Hasler braucht für die zwei Prototypen noch zehn Monate, dann monatlich 4-5 Stück, ev. 6. Dr. Bühler: 6 Monate werden für die Prototypen benötigt. Monatliche Seriefabrikation 6 Stück.

November 42: In der Zeitschrift „Schweizer Aero-Revue“ Nr. 11, 17. Jhg. (Ref. 9 B) wird ein „inländisches Horchgerät in Horchbereitschaft“ abgebildet – auch mit dem dritten Mann, d.h. offenbar mit dem Rechner Orthognom II. Die Winkel-Geber unten sind sicher noch nicht die neuen von Hasler, es ist ein früherer Typ. Auch ein abgebildetes TEPAS-Gerät wird auf derselben Seite p. 460 als „inländisches Gerät“ bezeichnet (seit 1938 wird diese Linie nicht mehr verfolgt).

1943

Januar (im Datum ist der Tag noch offengelassen) Vertrag mit der Firma Bühler, Uzwil, über die Lieferung von 50 Horchgeräten, komplett mit Auswertegerät, auf Anhänger aufgebaut, zum Preis von Fr. 2'857'000.-

22.6., 24.6. Xamax-Pläne datiert. Es gibt auch Pläne mit geschwärtzter Firmen-Bezeichnung. Ein Plan mit geschwärtzten Namen hat als vorgedruckter Raster zur Planbezeichnung eine äusserst ähnliche Form wie ein ELAC-Plan von 1939 (Ref. 2C)

4.8.43 Die Firma ELAC ist genau orientiert über den CH-Lizenzbau und verhält sich kooperativ. Ref. 2C, Brief an KTA, Besprechung bei XAMAX.

16.10. Xamax-Offerte für 50 Garnituren komplette Orthognom-Gruppen an KTA. 2 Garnituren Ende Jan. 44, 6 Garnituren 6 Wochen nach Abnahme der ersten 2. Monatlich 5-10 Garnituren. (Hat Hasler mit der Produktion aufgehört ?)

3.11. Hasler hat Geräte geprüft, Fehlerprotokolle, errechnete und abgelesene Werte bei Messflügen. Zielgeschwindigkeiten: 50 m/s, 80 m/s, 500 km/h. Bei Flughöhe 4000 m oder 6000m, v=500 km/h korrigiert das Elascop bei einer Elevation oberhalb 53° angeblich nicht mehr (Diagramm mit dieser Höhen-Beschränkung: „am 19.12.39 von Rentsch erhalten“).

1944

23. Mai 1944, Aktennotiz zum Stand der Fabrikation der bestellten 50 Geräte Elascop. Die Firma Xamax ist beteiligt, auch H. Hürlimann, Zürich. Es sieht so aus, als seien nochmals weitere 50 Horchgeräte bestellt worden, eine zweite Serie (??). Vgl. Foto 1696/97.

1945

71 Horchgeräte stehen zur Verfügung (das spricht auch für eine zweite Serie)

Kögel p. 28

1947

Beginn Ausmusterung der Horchgeräte
Einsatz der Horchgeräte bis 1967

Flieger-Flab-Museum Dübendorf
Kögel p. 28

Das Gerät in Dübendorf zeigt einige Teile des Orthognom II in deutlich anderer Form, als sie in Ref 2 C (1936) dokumentiert sind – es dürfte deshalb aus dem Lizenzbau 1942-44 stammen. Der Bau 1942-44 ist im Bundesarchiv bezüglich Horchgerät und Fahrzeugchassis dokumentiert – aber vom Rechner ist gar nichts zu finden. Es ist ganz unklar, wie viel oder welche Teile des Rechners bei HASLER resp. bei XAMAX gebaut worden sind.

Quellen

1 A Electroacoustic, Kiel und Copenhagen: **Elascop und Orthognom**. Broschüre P.100 des Herstellers, **1933**.

1 B Electroacoustic, Kiel und Copenhagen: **Sphäroscop und Orthognom**. Broschüre P. 94 des Herstellers, **1933**. Mit Glück konnten diese beiden Schriften antiquarisch gekauft werden.

2. Bundesarchiv

A: E5150A#1968/9#184*

B: E5150A#1968/9#183*

Konstruktionszeichnungen, Bauteile, Listen, Preise, Korrespondenzen zum Nachbau von 50 Geräten ab **1942**. Keine technischen Erklärungen, nichts über den eigentlichen Orthognom II-Rechner (weder Pläne noch Beschreibungen).

C: E5150A#1968/9#181*

Ausführliche Unterlagen der Lieferfirma Electroacoustic, Kiel, mit zahlreichen Erklärungen, Bildern zum Elascop und Orthognom II. Zuerst noch in dünnen Schreibmaschinen-Durchschlagsblättern (älter als die CH-Nachbauserie, ab wahrscheinlich 1936). Sehr gepflegt, seitenweise Testfragen für die Horcher-Ausbildung, Fehlermöglichkeiten, Zerlegevorschriften. Lizenz-Nachbau 1942-44 von 50 Stück in genauer Absprache mit Electroacoustic. Pläne Fahrzeugbau durch FBW, Wetzikon.

Unter E27#1000/721#18315* sind Dokumente abgelegt (Juli bis Sept. **1948**), welche sich mit dem geplanten Bau von 15 Orthognom-**Trainingsgeräten** befassen. Es soll ein horizontaler Flug simuliert werden: kombinierte Bewegung von Seite und Höhe ab einer „Flugwegscheibe“, welche mit Mikrometer abgetastet wird. Geplanter Beginn der Trainingskurse Mai 1949. Es sollen mehrere Nutzer-Geräte ab einem Trainingsgerät zu betreiben sein. In der Reserve seien noch 31 Horchgeräte. - Irgendeinmal könnte das der Radar-Entwicklung zum Opfer gefallen sein ??

3. Adj. Uof. Alfred Kögel: Waffen und Geräte der Schweizerischen Fliegerabwehr. Herausgegeben von Oerlikon/Contraves AG, Zürich, **2006**.

Viele persönliche Handzeichnungen aller Flab-Vorgänge. Jahrezahlen, technische Daten. Alfred Kögel lebte von 1913-2004. Er war Instruktor 1936-1974. Das Buch wird im Flieger- und Flab-Museum in Dübendorf für Fr. 15.- verkauft.

4. <http://datenbanksammlungen.mfk.ch/eMP/eMuseumPlus>

Bilder Hasler in der Bildersammlung des Museums für Kommunikation, Bern. Im Feld für „Volltextsuche“ ist einzugeben: Orthognom. Es erscheinen drei Bilder vom Übertragungsgetriebe ganz unten, welches die korrigierten Werte für Höhen- und Seitenwinkel zu den seitlichen Gebern leitet, sowie ein Bild der obersten Kreisscheibe mit den 12 Fensterchen, und eine Seitenansicht des oberen Teiles. Unten im Sockelfuss ist ein einziges Differentialgetriebe erkennbar, sonst wird dort nichts mehr gerechnet. Ins Bild klicken, dann nochmals, macht es grösser. Bilder datiert **1942** und **1944**.

5. Oberstbrigadier Hans Born: Die geschichtliche Entwicklung der Flab. Avia Flab / Huber Frauenfeld. 2. Auflage **1969**.

6. Hermann Schild: Fliegerabwehr. Leichte und mittlere Fliegerabwehr, Fliegerabwehr-Lenk Waffen. Verein der Freunde der schweizerischen Luftwaffe VFL, Dübendorf. **1982** / 2005

7. <http://www.freunde-sprendlingens.de/flakstellungen.html>

Das letzte Bild dieser Serie stellt einwandfrei den Rechner Orthognom II dar, mit vielen Details. Original-Farbaufnahme von Siegfried Rösch, Farbchemie-Professor, datiert **1940**. Vgl. einleitende Bemerkungen auf dieser Internet-Seite. In Deutschland wurde der Rechner ev. nicht mit Orthognom bezeichnet, da zu wenig deutsch klingend? ELAC sprach von Orthognom. „Schallverzugsrechner“ wurde auch gebraucht.

8. <http://douglas-self.com/MUSEUM/COMMS/ear/ear.htm>

Viele schöne **Bilder** alter Horchgeräte aus diversen Ländern!

9. A Schweizer Aero-Revue, Dezember **1936**, 11. Jahrgang, p. 322-323: Das Horchgerät im Dienste der Flugabwehr.

Der Rechner zur Umrechnung in die „optischen Koordinaten“ wird klar erwähnt. Eine synchrone Bewegung des Scheinwerfers sei sehr kompliziert (Verkabelung vom Rechner her). Um sich davon unabhängig zu machen, gibt es auch die Möglichkeit, dass der Rechner die optischen Koordinaten nach einer festen „Kommandoverzugszeit“ ermittelt (was den Rechner komplizierter macht). Die Koordinaten werden jetzt per Telephondraht übertragen. Abgebildet ist ein Tepas-Gerät, man glaubt fast, eine Glas-Halbkugel im Bild zu erkennen (unsicher), wie sie beim Orthognom I das zentrale Bedienungselement war. Der Tepas-Rechner wurde durch drei Mann bedient, welche die Folgezeiger bedienen. Das Elascop wird hier nicht erwähnt (erst in diesem Jahr ausprobiert). Womöglich ist die Publikation eine Werbe-Information vom Hersteller, vor der geplanten Anschaffung? Kein Autor wird erwähnt. Vorhanden in der Militär-Bibliothek am Guisanplatz. - **Das älteste gefundene Dokument aus der Schweiz** (gleich alt wie die ELAC-Unterlagen in 2 C).

Die hier erwähnte Schiesstaktik „nach einer festen Kommandoverzugszeit“ und telephonischer Übermittlung der Daten wird im US-YouTube-Film (siehe unten, endend mit ...73ahf00) als eine von drei verbreiteten Formen der Schiesstaktik detailliert erklärt (1944).

Normale Signalkabel zur Datenübertragung in der Schweiz: Vom Horchgerät zum Scheinwerfer 50 m + 50 m (dazwischen Verteilkasten und/oder Richtgerät), vom Scheinwerfer zum Strom-Generator 200 m, gemäss Ref. 11.

9 B. Schweizer Aero-Revue, November **1942**, 17. Jahrgang. Thema: „Unsere Fliegerabwehrtruppe“

10. <https://unwritten-record.blogs.archives.gov/2014/11/10/mechanical-computers-and-sound-collectors-world-war-i-anti-aircraft-technology/>

Historischer US-Film Nr. 1132 mit Fliegerabwehr-Ausrüstung 1918-1930, 1935. Vickers locator. Horchgeräte, acoustic corrector, Scheinwerfer, Nachtschiessen. Gab es schon direkte Kanonensteuerung ab Kommandogerät ?? „World war I“ kann nicht überall stimmen! Total 18Min 50Sec.

11. Bedienungsanleitung für Horchgerät, Richtgerät und Scheinwerfer. Schweizer Armee, Kloten, **1940**.

Aufstellen, Ausrichten, Kontrollen, Betrieb und Zusammenpacken. Nur Text, ohne Abbildungen, ohne technische Daten, ohne Beschreibung des Rechners; Bedienung nur sehr knapp. Nationalbibliothek, Bern, Signatur G 3188/62.

12 A. Flugwehr und -Technik, Nov./Dez. **1940**, II. Jahrgang, p. 251-255: Das Horchgerät in der Armee, Oblt. Born.

Ausbreitung des Schalles, Horchverfahren, Peilgenauigkeit, Geometrisches Prinzip der Rechnung. Abgebildet: Tepas und Elascop. Ausbildung der Horcher. Vorhanden in der Militär-Bibliothek am Guisanplatz.

12 B. Flugwehr und –Technik, Dez. **1944**, VI. Jhg., p. 333-336: Schallverzugsrechner an den Horchgeräten der Flab-Scheinwerfereinheiten, Dr. H. Baasch, Hasler AG.

Ausführliche geometrische Erklärungen des Orthognom-Rechners, symbolische Funktionszeichnungen. Vorhanden in der Militärbibliothek am Guisanplatz.

13. VDI-Zeitschrift Bd. 8, Nr. 44, 2. Nov. **1940**, p.845-851 (Verein Deutscher Ingenieure):

Schallverzugsrechner bei Abhörgeräten für den Flugzeugschall, Dr. habil. Edgar Kutzscher, Kiel
Vorhanden in der Universitätsbibliothek Basel.

Orthognom II ist nur summarisch und fast unverständlich beschrieben, das Wort Orthognom taucht nie auf. Drei weitere Rechner werden beschrieben – alle sind wieder anders aufgebaut als die oben beschriebenen Lösungen:

Barbier, Bénard & Turenne, Paris: Das Horchgerät steuert einen Lichtfleck, welcher auf eine ebene „Kotangens-Fläche“ projiziert wird. Mit variabler Blende wird der Lichtfleck unterschiedlich gross gemacht. Mit einem Gelenkarm wird von Hand der Lichtfleck verfolgt.

Sperry, New York: Unwahrscheinlich kompliziertes Gebilde! Die Winkelgeschwindigkeit zweier gemessener Winkel wird übersetzt in die Tourenzahl zweier Luftdruck- / -saugpumpen, welche über Schläuche zwei Balge füllen/leeren. Mit sehr komplizierten Hebelkonstruktionen wird die Flugzeit ermittelt, mit „Steinen“ (ev. Rubine) versehene Biegestreifen erzeugen das Produkt Winkelgeschwindigkeit mal Zeit, gibt die Vorhaltungswinkel. Windeinfluss und Parallaxverschiebung sind dabei.

Goerz, Wien: Ein sehr kompakter, eleganter Rechner mit minimalem Materialaufwand. Es sind kaum zehn Teile. In einer halben Hohlkugel kreisen allerlei Bügel, Führungskreise, Hilfsachsen, Ringe usw. Eine in die Luft zeigende Spitze (Ausgang des Rechners) muss in Übereinstimmung gebracht werden mit einer handgeführten zweiten Spitze (dieser Ausgang ist etwas ähnlich zum Sperry M2).

Die Angaben darüber, in welcher Bibliothek die Quellen zu finden sind, beziehen sich auf Herbst 2016. Es wird alles umorganisiert... und vieles in die Speicherbibliothek Büron LU ausgelagert. Vielleicht ist in zwei Jahren alles anders (besonders bei der Universitäts-Bibliothek Basel)

Weitere Internet-Adressen:

<http://www.maquetland.com/phototeque/impression/2509>

In französischer und englischer Sprache. Bilder zum Elascop und weiteren; zum Rechner nichts (ausser dass es ihn gibt).

<http://www.avionslegendaires.net/dossier/detection-acoustique-guerre-aerienne/entre-deux-guerres/>

In französischer Sprache. Drei Bilder mit etwas wie grossen, horizontalen Rechnungstischen? In einem Bild vor der Hälfte, wo vier Bilder nebeneinander sind: drei runde Trichter vertikal untereinander, einer daneben, Mann sitzt „im ersten Stock oben“ – hält er einen „schiefen Grosskreis“ in der Hand, ähnlich wie er bei Orthognom I einzustellen war??

http://traktoria.org/files/sonar/binaural-listening/airborne_sound_locators_german.pdf

Ungefähr in der Mitte des Dokumentes (p. 48) ist ein mechanischer Rechner zu sehen mit der Halbkugel zur Orientierung des Fluges. Gemäss Ref. 8 ist das Horchgerät auch ein Deutsches Produkt, der Rechner ist aber kein Orthognom I (oder ein stark umgebautes Gerät). Das Laden des Dokumentes dauert lange.

<http://www.museumwaalsdorp.nl/en/airacous.html>

Teilweise sehr einfache Lösungen zur akustischen Ortung, mit Trichtern am Ohr und Korrekturzylinder am Rücken.

<http://www.cdvandt.org/L-Dv-T-1352-1-Kommandogeraet-40-low.pdf>

Auch im KdoGt 40 wird das Prinzip der beiden Glaskuppeln zur Flug-Orientierung verwendet, hier „Spurseitenwinkelschreiber“ genannt. Die Geometrie ist auf Zylinderform umgewandelt worden. Vgl. p. 40-44 im Originaldokument.

https://www.youtube.com/watch?v=Znf-Xrl_cSo

Inszenierter Lehrfilm über die Bedienung des M2 sound locator. Technisch wenig ergiebig, immerhin sieht man, wie die Geschwindigkeit eingestellt wird, und wie die Spitze des Pantographen ins Fadenkreuz geführt wird. Dazugehörend auch:

<https://www.youtube.com/watch?v=ObUf607ZcEA>

Bedienung des Scheinwerfers. Organisatorische Rollen der Mannschaft; technisch wenig interessant.

<https://www.youtube.com/watch?v=ywzk73ahf00>

Drei Methoden für Schiesstaktik der schweren Flak und entsprechende Empfehlungen für die Piloten: Continuously pointed fire / predicted concentration / barrage (=Sperr-Schiessen, fast ohne jede Flugzeugvermessung). **Sehr instruktiv, auch vom Piloten aus, mit optimalen Kurven-Manövern.** Deshalb war der Flak-Erfolg so gering !?? Ab ca. Min. 5'30''. US-Film 1944.

Schliesslich noch eine sehr schöne Seite zur **Suche nach alten Patenten**, die bei allen technik-historischen Recherchen gute Dienste leisten (und auch sehr viel Zeit verbraten) wird – herzlichen Dank an Thomas Müller für den Tip! Die Seite wurde erst benützt, als die Arbeit praktisch fertig war...

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

GB-Patent Electroacoustic zu Orthognom I (Form mit Kompensationskugel) :	1933	GB000000423922A
GB-Patent Electroacoustic zu Orthognom I, Kompensationskugel in älterer Form:	1930/32	GB000000369360A
GB-Patent Electroacoustic zu Orthognom I, Kompensationskugel in älterer Form:	1930/31	GB000000362534A
AT-Patent Electroacoustic zu Orthognom I, mit angebl. rein elektrischer Brückenrechng.	1937/38	AT000000154972B
DE-Patent Electroacoustic zu Orthognom II, nur knapp erklärt	1935/41	DE000000714340A

Der durch die Firma Electroacoustic selber geprägte Begriff « Orthognom » findet sich bei der Patentsuche nirgends. Die Unterscheidung Orth. I und Orth. II wird hier eingeführt, weil es sich um grundverschiedene Rechner handelt. Der Rechner gemäss AT-Patent mit der rein elektrischen Brückenrechnung hat noch sehr viele mechanische Getriebe.

Militärische Geheimhaltung

Einerseits ist überliefert, wie gross die Anstrengungen zur militärischen Geheimhaltung bei diesen technischen Geräten waren. Andererseits sind da und dort zeitgenössische Publikationen in Zeitschriften zu finden, die einem breiteren Publikum zugänglich waren, und recht präzise Detailangaben enthalten. Für die Thematik der Horchgeräte bezieht sich das sicher auf Ref. 12 B, in reduziertem Masse auch auf 9A, 12A, 13. Bei der früheren Arbeit des „Oionoskops“ der Contraves AG sind in diesem Sinne erstaunlich präzise Publikationen zu erwähnen durch Prof. F. Fischer, ETH Zürich und Contraves AG. Bei den Kommandogeräten hat der Oberst-Ingenieur A. Kuhlenkamp des Heereswaffenamtes 1943 ein Buch mit grundlegenden und sehr detaillierten Angaben publiziert (die Verbreitung des Buches ist unbekannt); das damals neueste deutsche Kommandogerät 40 erwähnt er jedoch mit keinem einzigen Wort.

Verfasser: André Masson, Langenthal, Schweiz

Juni-November 2016

Dies ist die **siebente Arbeit** zu den **mechanischen Rechnern der Fliegerabwehr** zur Zeit des zweiten Weltkrieges.

Erste Arbeit:	Kommandogerät SPERRY
Zweite Arbeit:	Kommandogerät GAMMA-JUHASZ-HASLER
Dritte Arbeit:	Diverse Geräte der Fliegerabwehr: Distanzbestimmungen, Kontroll- und Schulungsgeräte
Vierte Arbeit:	Rechnen mit Formkörpern
Fünfte Arbeit:	Kommandogerät zur 34mm Kanone (Winkelgeschwindigkeits-Gerät)
Sechste Arbeit:	Frühe CONTRAVES-Geräte: Stereomat, Verograph, Oionoskop