

Arthur O. Bauer

Deckname „Würzburg“

Ein Beitrag zur Erhellung der Geschichte des geheimnisumwitterten deutschen Radargeräts 1937 - 1945

Table Report No. 6/R/21
COPY NO ...
FINAL TECHNICAL REPORT ON THE GERMAN RDF EQUIPMENT
CAPTURED AT BRUNELVALE ON 28TH FEBRUARY 1942
HIGHLY SECRET

Dies ist ein schwerer Gegenstand im Sinne
des § 88 Reichsstrafgesetzbuchs (Strafung vom
24. April 1934). Mitjebrauch wird nach den Be-
stimmungen dieses Gesetzes bestraft, sofern nicht
andere Strafbestimmungen in Frage kommen.



Front-Bild:

FuG 62 D von der rückwärtigen (Bedienungs-)Seite her gesehen - 10 ist das EAG 62 Emil. Der aufgesetzte Schacht hält das Tageslicht vom e-Meßschirm fern. Links oben die Feinmeßskala für das Ablesen des e-Werts (vgl. Fig. 4E). Die links vom EAG 62 angeordneten Türen geben Zugang zum Geräteschrank (vgl. Abb. 2), in dem Gehäuse rechts vom EAG 62 befindet sich das Bedienungsgerät (BG 62) für die Kontrolle der Versorgungsspannungen und die Bedienung der alten Kennungsanlage.

Daneben, oberhalb rechts des senkrechtstehenden Handrads für die Höheneinstellung, erkennt man das EAG 62 Saturn, (vgl. Fig. 4A, B, C). Das etwa waagerecht angeordnete Handrad diente der Seiteneinstellung. In dem vertikalen weißen Schlitz in der Mitte der oberen Hälfte des Spiegels konnte zu Eichzwecken ein Richtfernrohr angebracht werden, mit dessen Hilfe die genaue Ausrichtung des Dipols auf die Antenne des abgesetzten künstlichen Ziels FZG 64 „Rehbock“ überprüft werden konnte.- UK Crown Copyright (DRA Malvern)

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	5
Der Anfang	6
FuG 62 A	8
FuG 65	22
Kennung	32
Enstörungsmaßnahmen	33
Stendal A	40
Stendal B	44
Laus	48
Steinhäger-Würzlaus	56
Phasenregulierung Fack I	56
Phasenregulierung Fack II	60
Tastlaus	64
Nürnberg	70
Taunus	74
K-Laus	78
Windlaus	82
Toter Raum	86
Carpet contra Würzburg	96
Schlußfolgerung	96
Danksagung	100
 Anhänge	
Die Würzburg-Chronologie	101
Erklärung von Begriffen und Abkürzungen	102
Anhang A	105
Anhang B	105
Anhang C	106
Anhang D	110
Anhang E	118
Anhang F	121
Verzeichnis der Abbildungen	129
Verzeichnis der Figuren	130
 Literaturverzeichnis	 132

Einleitung

Würzburg ist vermutlich das bekannteste deutsche Radargerät¹ des Zweiten Weltkriegs. Es wurde in großer Zahl an fast allen Fronten eingesetzt.

Sowohl Fritz Trenkle wie A.-E. Hoffmann-Heyden haben viel dazu beigetragen, daß uns überhaupt gewisse Kenntnisse von den deutschen Entwicklungen auf dem Radargebiet erhalten geblieben sind. Das Studium der seit mehr als 35 Jahren verfügbaren Quellen zur Funkgeschichte kann für mehrere Generationen technisch interessierter Weltbürger von großer Bedeutung sein. Die Bücher von F. Trenkle sind im allgemeinen der einzige Anhaltspunkt, um sich systematisch über die Funkgeschichte während des Zweiten Weltkriegs zu informieren. Vor allem General a.D. Martini ist es zu verdanken, daß zu einer Zeit, als die Ereignisse noch nicht so weit zurücklagen und die Vergangenheit noch eher tabu war, mit einer systematischen Aufzeichnung und Untersuchung begonnen wurde. Es grenzt an ein Wunder, daß noch so viel ans Tageslicht gekommen ist. Der Zeitpunkt für den Beginn der Untersuchung war allerdings gut gewählt: Die meisten Ingenieure und Wissenschaftler waren noch am Leben und hatten noch viele Einzelheiten präsent. Heute sind nur wenige Personen übriggeblieben, die während des Zweiten Weltkriegs wichtige Positionen in Forschung und Entwicklung bekleidet haben und die sich noch gut an die damaligen Ereignisse erinnern können. Zu ihnen zählt A.-E. Hoffmann-Heyden.

Der Zweck der vorliegenden Abhandlung ist es nicht, eine Wiederholung dessen zu geben, was in der verfügbaren Literatur bereits beschrieben ist, sondern vielmehr einen Aspekt der Geschichte anders zu beleuchten und technische Zusammenhänge und Hintergründe zu verdeutlichen. Es war unumgänglich, für eine systematische Übersicht die verschiedenen Trenkle-Publikationen wie auch das Standardwerk von Hoffmann-Heyden ("Die Funkmeßgeräte der deutschen Flakartillerie 1938-1945") heranzuziehen. Der letztere war seit 1938 Leiter der Versuchsgruppe der Flakartillerieschule III (FAS III), in der Versuchs- und Entwicklungsarbeiten betrieben wurden, die mit der Erstellung einer Kleinserie von Mannheim-Geräten (Fu.M.G. 77) auf einer Wellenlänge von 10 cm (3.000 MHz) Anfang 1945 endeten.

Die technischen Entwicklungen hatten viele Väter, und wo das notwendig erscheint, werden diese auch genannt. Es ist jedoch nicht beabsichtigt, eine systematische Aufzählung zu geben.

Man kann über die Opportunität der Behandlung technischer Themen, die nach heutigen Maßstäben veraltet sind, verschiedener Meinung sein. Es ist indes das Los aller technischen Entwicklungen, sicher auch heutzutage, daß sie binnen kurzer Zeit überholt sind.

Die Leistungen der Vergangenheit dürfen dabei nicht unterschätzt werden. Wir sollten nicht vergessen, daß die alliierten Luftstreitkräfte während des Luftkriegs über Westeuropa mehr als 40.000 Flugzeuge verloren haben. Diese enormen Verluste verdeutlichen die Dimension der Geschehens. Das Würzburg-Gerät war vermutlich bei dem Gros dieser Kampfhandlungen irgendwie beteiligt. Das ist auch der Grund, warum sehr große An-

¹ Um keine Verwirrung zu stiften, werden hier gewöhnlich die modernen Bezeichnungen verwendet, so etwa Radar statt Funkmeß.

strengungen unternommen wurden, diese Radareinrichtungen unbrauchbar zu machen und somit für die Kämpfe auszuschalten.

Es war ein wechselhafter Kampf zwischen Katz und Maus, ein Kampf auf Leben und Tod.

Der Anfang

Wie in [1,2]² ausführlich beschrieben, wurde in Deutschland, streng abgeschirmt von der Außenwelt, seit 1933 Forschung auf dem Radargebiet betrieben. Es war nach [3,4] selbst nach dem Fall Frankreichs für die Engländer noch fraglich, ob die Deutschen Radar besaßen oder ob ihnen nicht vielleicht ein bei Dünkirchen zurückgelassenes, aber zerstörtes Radargerät dabei helfen könnte, ihren Rückstand aufzuholen. Daraus geht deutlich hervor, daß der britische Geheimdienst keine zutreffende Vorstellung von der Radarentwicklung des Dritten Reichs besaß. Der damals nur einem kleinen Kreis bekanntgewordene Bericht, der später als **Oslo-Bericht** in die Geschichte eingegangen ist [3], gab allerdings einen Hinweis darauf, daß die Deutschen über fortgeschrittene Systeme nachdachten und solche in Entwicklung begriffen waren. Man erwog damals in England die Möglichkeit, daß das "Zuspielen" dieses Berichts ein Komplott der Abwehr sein könnte.

Ich habe aus der Literatur keine Klarheit darüber gewinnen können, warum man selbst in dem Kreis um Churchill's War Cabinet nicht wußte, daß sich an Bord der **Graf Spee** ein Radargerät befunden hat [4, S.74], vermutlich eine frühe Ausführung des **Seetakt**. Die Kenntnis davon erhielten die Briten bei der Untersuchung der noch teilweise aus dem Wasser ragenden Aufbauten der **Graf Spee**. Das zeigt, daß ein Informationsfluß selbst unter diesen Umständen nicht immer gewährleistet ist. Das soll nun nicht heißen, daß die deutschen Spionagedienste besser gearbeitet hätten. Sehr viel über die Arbeitsweise der **Chain Home** haben sie glücklicherweise nicht in Erfahrung gebracht. Wäre das anders gewesen, dann hätte wahrscheinlich die **Battle of Britain** einen ganz anderen Verlauf genommen, denn dann hätte man die **Chain Home** durch Störsignale lahmlegen können.

In diesen Tagen waren die deutschen Radaranlagen denen ihrer alliierten Gegenspieler noch überlegen [4, S.74].

Zu einer Zeit, da man es in England nicht einmal wagte, an die praktische Realisierung von dm-(Dezimeter-)Radar zu denken [8], wurden die Entwicklungsarbeiten für das **Würzburg-Gerät** bei **Telefunken** im Auftrag des Reichsluftfahrtministeriums in Angriff genommen; das war 1937. Im Sommer 1939 wurde es der Luftwaffe dann erstmals vorgeführt.

Sowohl die Ergebnisse der Demonstration wie der recht einfache modulare Aufbau waren ausschlaggebend dafür, daß direkt ein großer Auftrag vergeben werden konnte. Im Sommer 1940 begann die Serienproduktion. Insgesamt sind von den unterschiedlichen Ausführungen mehr als 4.000 FuG 62 und etwa 1.500 FuG 65 gebaut worden [1,12,16].

Um eine Vorstellung davon zu bekommen, was es bedeutet, mit einem **Würzburg**, das eine Antennenleistung von etwa 8 bis 10 kW hat, ein von einem Flugzeug reflektiertes Signal

² Die Angaben in [] beziehen sich auf das Literaturverzeichnis.

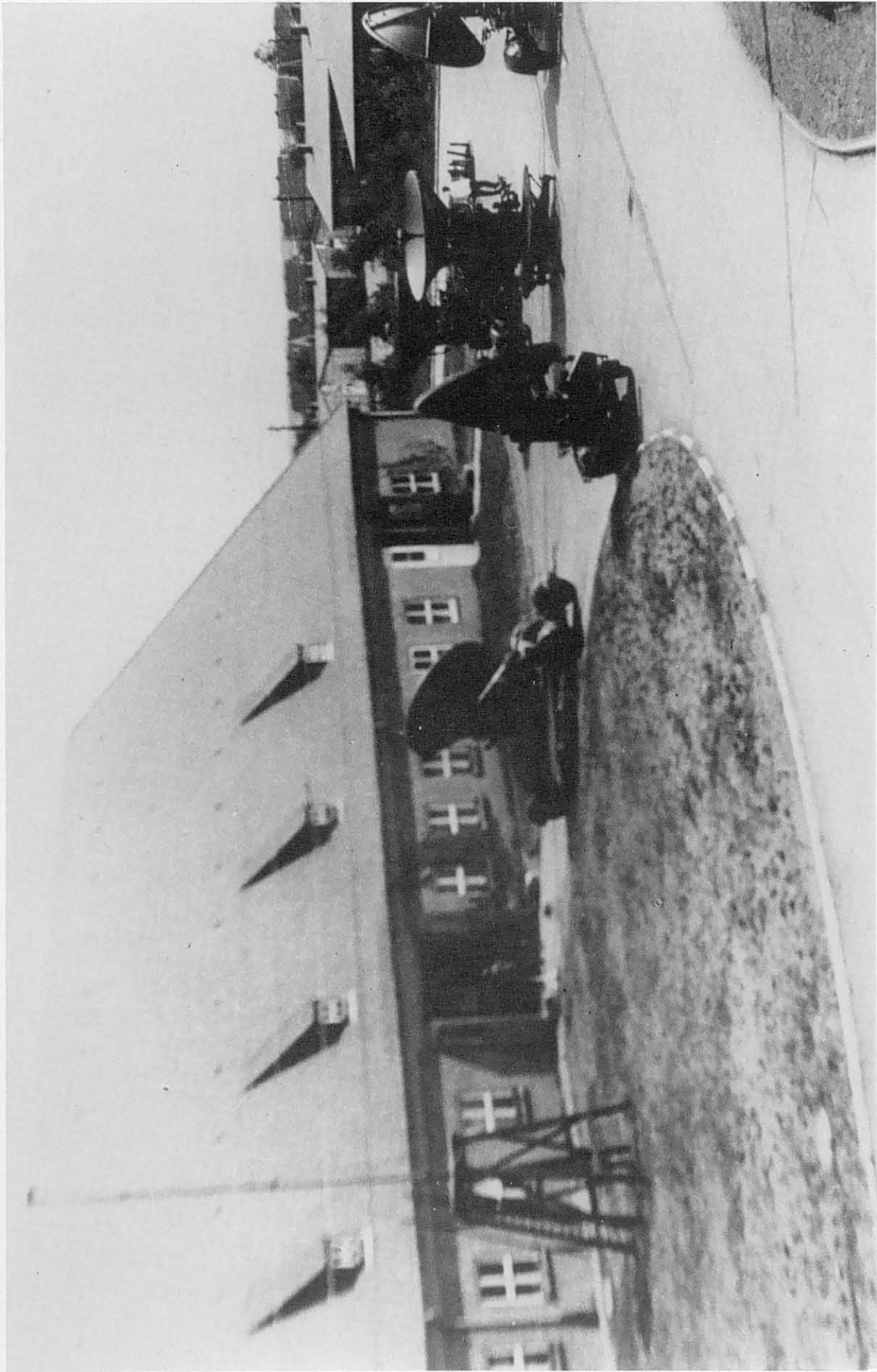


Abb.1 Mehrere FuG 62 D in einem Luftwaffen-Arsenal in Halle a.d.Saale - Deutlich sind unterschiedliche Lafetten auszumachen. (Foto Archiv Fritz Trenkle, Freising)

zu empfangen, müssen wir die totale Dämpfung vom Sender zurück zum Empfänger betrachten [2]. Diese Dämpfung kann sich bei einer Entfernung von etwa 30 km zwischen Flugzeug und Würzburg belaufen auf

$$\text{Dämpfung} = \frac{\text{empfangene Leistung}}{\text{ausgesendete Leistung}} \approx 150 - 160 \text{ dB} \approx 10^{-15} - 10^{-16} ! \quad (1)$$

In diesen Tagen steckte die Empfangstechnik auf 600 MHz noch in den Kinderschuhen. Wenn wir uns heute ansehen, was die verschiedenen Firmen seinerzeit über diese Technik in den einschlägigen Zeitschriften publizierten, wird deutlich, daß mit den damals gangbaren Mitteln die dm-Technik kaum realisierbar war [13,14].

Es dauerte nicht lange, bis die Luftwaffe erkannte, daß das Würzburg-Gerät die für die Flak am besten geeignete Radaranlage war, und zwar in Anbetracht seiner Leistung und seiner universellen Einsatzmöglichkeiten. Ein weiterer Grund war, daß das viel kompliziertere und teurere Mannheim erst vom Sommer 1942 an lieferbar war, und dann auch nur für die erste praktische Erprobung. Die Möglichkeiten des Mannheim lagen an der Grenze des für diese Zeit technisch Machbaren; das Gerät war gleichzeitig auch die genaueste deutsche Radaranlage. Die Frequenz des Mannheim war der des Würzburg gleich, aber die Antennenleistung war durch die Verwendung von 2 x LS 180 mit Anodentastung verdoppelt.

Der modulare Aufbau des Würzburg erleichterte später die Vornahme von Änderungen und Modifikationen. Man konnte alle Bausteine austauschen, ohne eine einzige Drahtverbindung loszuschrauben.

Die Versorgungsspannung war 220 V \approx 50 Hz einphasig. Das war ein großer Vorteil, denn dadurch konnte die Versorgung aus dem normalen Stromnetz erfolgen und bei Stromausfall einfache Notstromaggregate verwendet werden. Die aufgenommene Leistung betrug 3 kW ohne und 5 kW mit den eingebauten Heizelementen, die dafür sorgten, daß die Anlage bei allen Witterungsverhältnissen inwendig trocken blieb.

Zum Transport konnte der Parabolspiegel in zwei Hälften auseinandergeklappt werden, wodurch die Transporthöhe auf 2,50 m beschränkt blieb (FuG 62), vgl. Abb.3.

FuG 62 A³

Die erste Ausführung war das FuG 62 A, das in Anhang C beschrieben ist. Dieses Basismodell verfügte zwar noch nicht über die späteren Möglichkeiten, seine Einführung war aber ein deutlicher Fortschritt für die Feuerleitung der Flak.

Die Entfernungsmessung erfolgte bei der A-Ausführung noch mit Hilfe des einfachen Sichtgeräts OSZ 62 mit einer Anzeige von 0 bis 40 km in Hektometerschritten (= 100-m-Einteilung). Gleichzeitig wurden im OSZ 62 die benötigten Impulse erzeugt. Zur Verwendung kam eine LB 13/40, wie später auch beim ANG 62 (vgl. Abb.4).

³ Andere gebräuchliche Schreibweisen sind Fu.M.G... und Fu.SE... Hier findet einheitlich die Bezeichnung FuG... Verwendung.

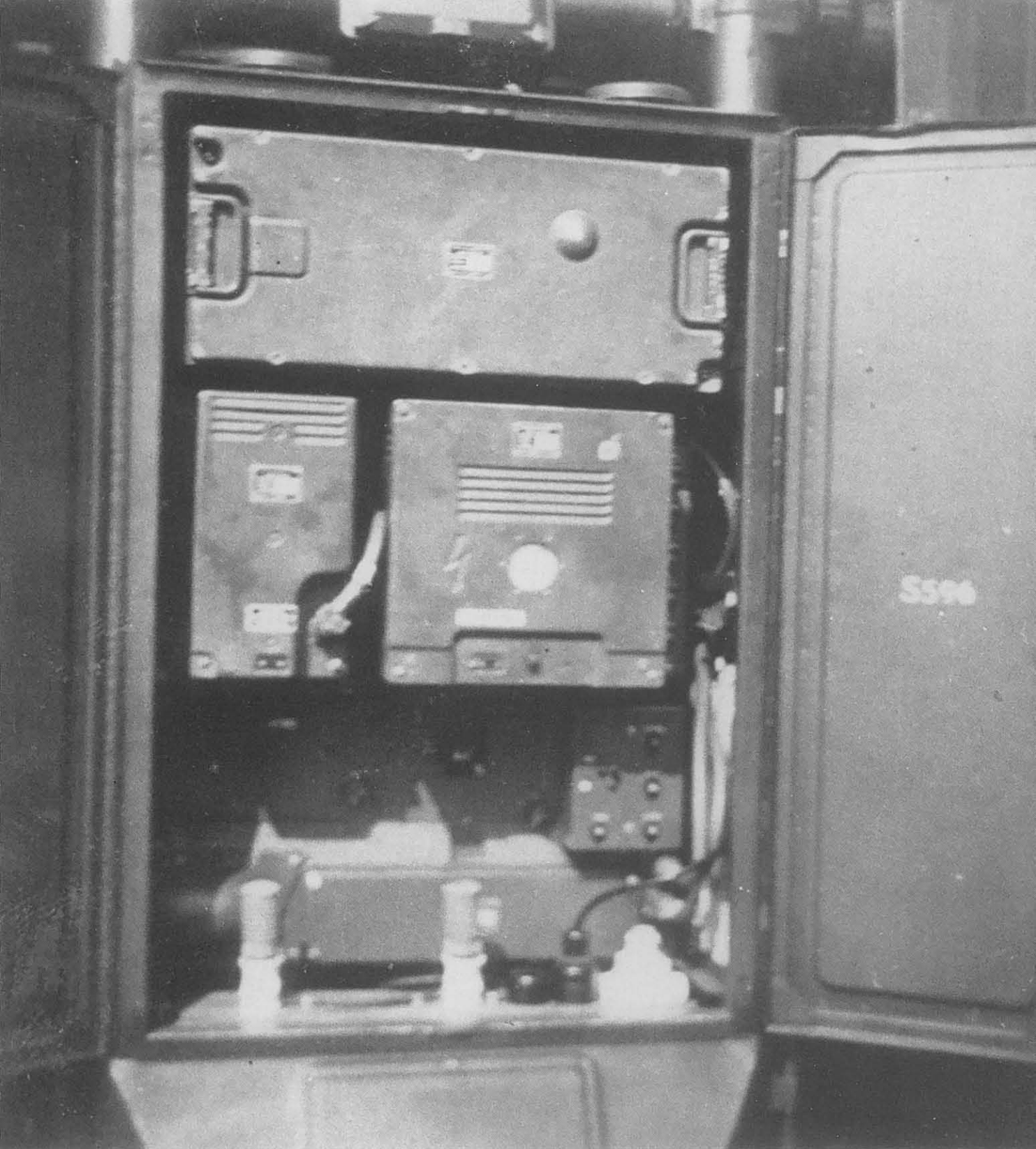


Abb.2 Der geöffnete Geräteschrank - Dieser Schrank befand sich in dem Zentralaufbau, auf dem der Parabolspiegel angebracht war. Zuerst erkennt man den Sender-Überlagerer SÜ 62, darunter links den ZF-Verstärker ZFV 62. Rechts davon der Impulsgenerator IG 62 mit der Elektronenstrahlröhre für die optische Überwachung von Senderhochast- und Empfänger-sperrimpuls. Der leere Raum darunter zeigt, daß die Freund/Feind-Abfrage nicht mehr in Gebrauch war. Auf der Rückseite des Schrankes befand sich der Netzgeräteschrank, in dem die beiden großen Netzteile NA I 62 und NA II 62 untergebracht waren. Um an diese heranzukommen, mußte der Spiegel nach oben in eine waagerechte Position geschwenkt werden. (Foto Archiv Fritz Trenkle, Freising)

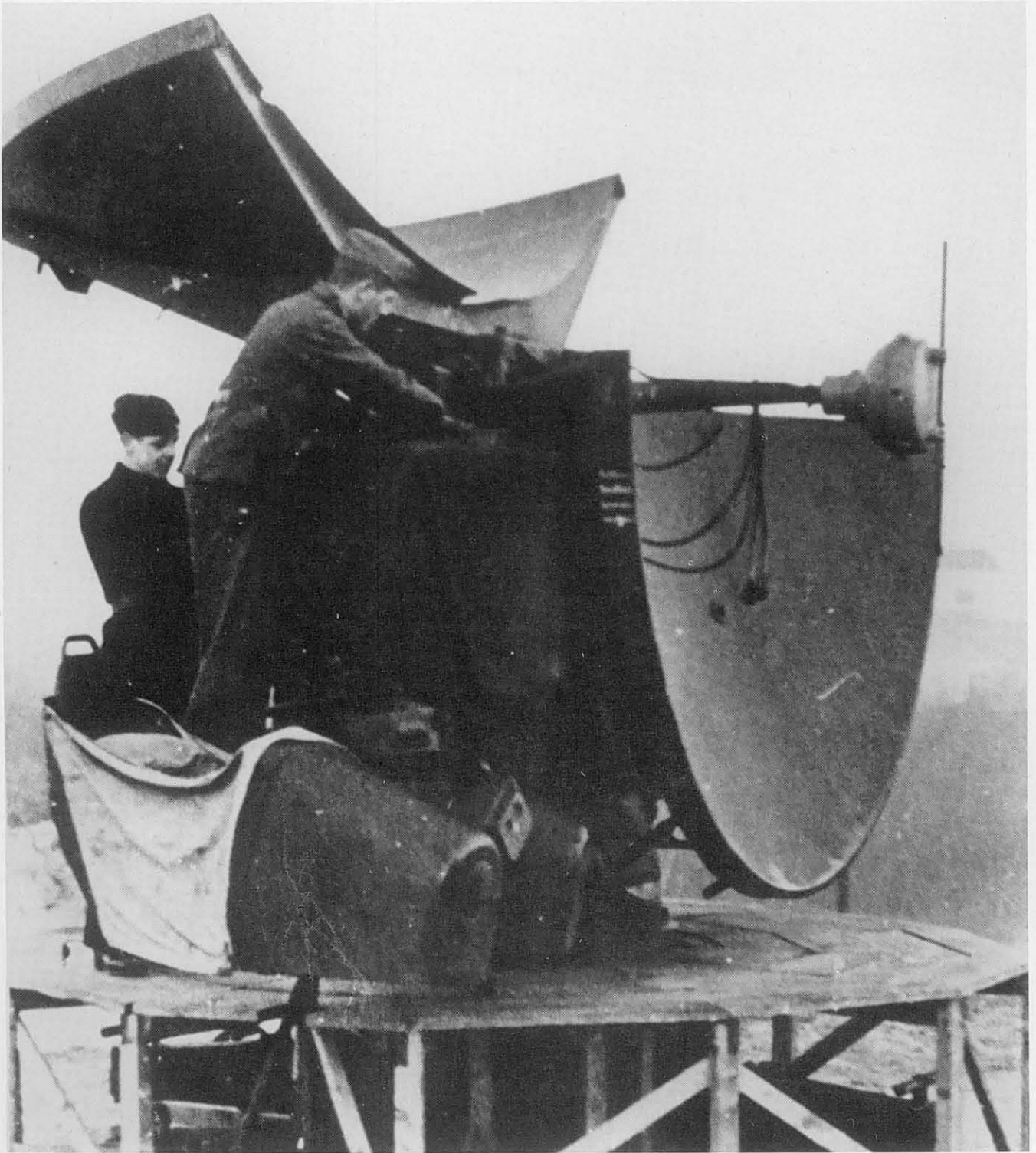


Abb.3 FuG 62 Würzburg - Diese Aufnahme ist wahrscheinlich während einer der vielen Umrüstaktionen entstanden. Der zweigeteilte Antennenspiegel ist gut zu erkennen. Zum Transport konnte der obere Teil noch weiter zurückgeklappt werden. (Foto Archiv Fritz Trenkle, Freising)

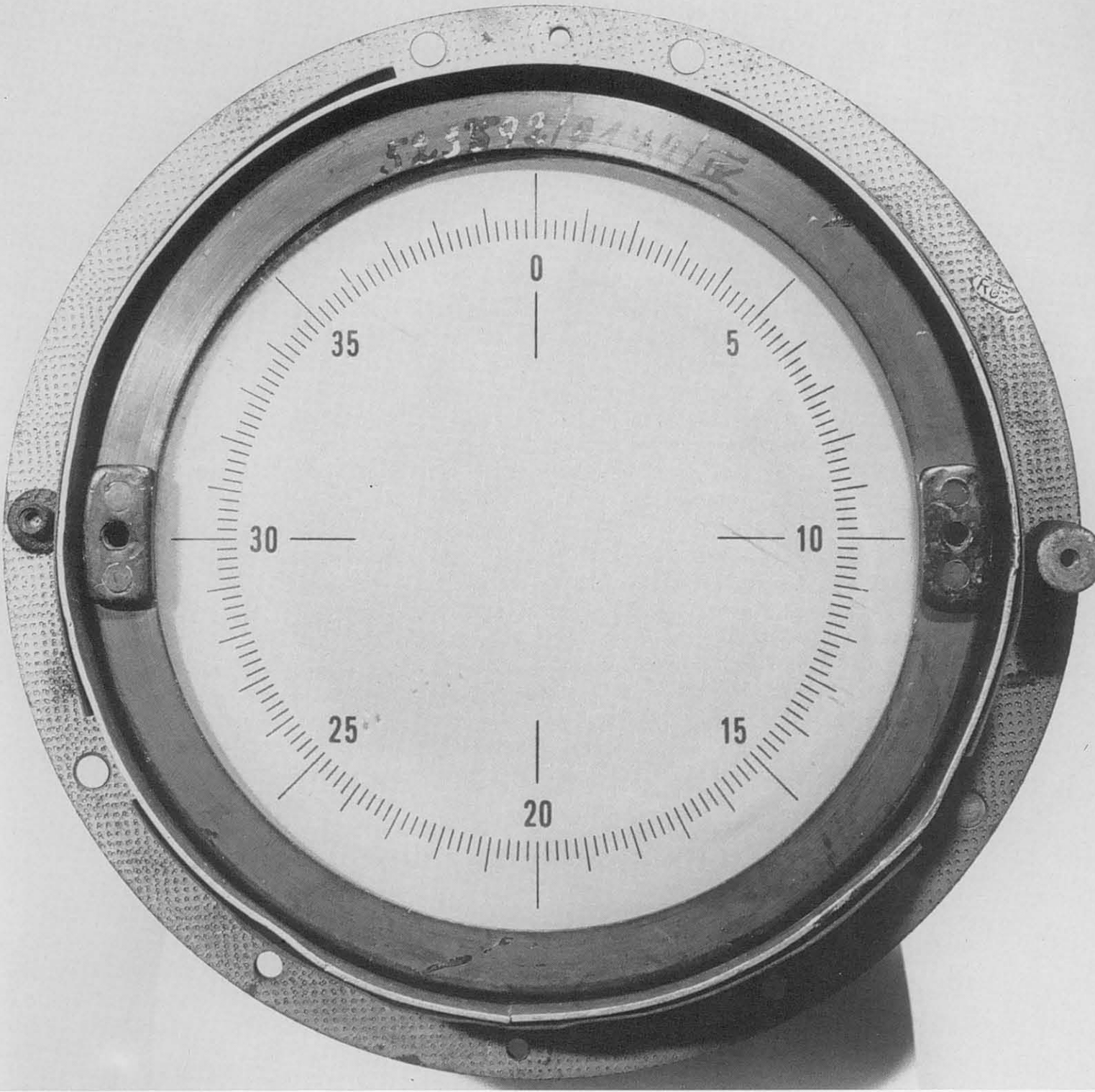


Abb.4 Elektronenstrahlröhre LB 13/40 - Findet Verwendung in den Anzeigegeräten OSZ 62 und ANG 62. Dargestellt wird der Bereich von 0 bis 40 km. Bemerkenswert ist die völlig flache Ausführung des Bildschirms, eine für die damalige Zeit beachtliche Leistung. Dadurch wurden Verzerrungen ausgeschaltet und so Ablesefehler vermieden.

Das Richten des Antennenspiegels mußte noch auf das Maximum des reflektierten Signals erfolgen (Maximumpeilung), eine Technik, die bei Radiopeilgeräten schon lange der Vergangenheit angehörte. Das Verfahren, über ein herzförmiges Diagramm das Minimum zu finden, das gegenüber dem Maximum um 180° gedreht lag, war hier nicht leicht zu realisieren. Schon im November 1940 wurde von Telefunken die neue **Feinpeilung** als Modifikation vorgestellt [2,15].

Diese Verbesserung war allein dadurch möglich, daß gleichzeitig ein neues **Sichtgerät ANG 62** eingeführt wurde. Die entsprechende Anzeige auf den Bildschirmen ist in Fig.3A-D und 4A-C dargestellt.

Die feste Antenne im Brennpunkt des Parabolspiegels wird nun durch eine drehbare ersetzt; der Dipol wird jedoch 75 mm gegenüber der Mitte versetzt angeordnet, so daß die Antenne jetzt eigentlich ein wenig schief "sieht" (Fig.1). Diese Defokussierung von $3,5^\circ$ vergrößerte den halben Öffnungswinkel von 8° auf nunmehr $11,5^\circ$ [2,15]. Fig.1 zeigt, wie für eine Polarisationssebene die zwei Antennenkeulen teilweise übereinander zu liegen kommen. Aus Fig.2A geht der 20° -Öffnungswinkel des auf der Motorachse angebrachten Sektorschalters hervor, aus Fig.2B das Anschlußschema seiner Umschaltkontakte. Fig.2C zeigt den gegenüber der Mitte versetzten rotierenden Dipol **DA 62 Grille** im Schnittbild. Der Reflektor befand sich auf einer runden Scheibe aus Bakelit. Auf Höhe des Dipols war eine reflektierende Zinkschicht aufgebracht. Die Scheibe korrigierte gleichzeitig die Unwucht der sich drehenden Einrichtung. Ein **Topfkreis** besorgte die Umsetzung von Asymmetrie in Symmetrie bzw. Symmetrie in Asymmetrie von und zu der Koaxial-Verbindung zwischen **SÜ 62** und Antenne.

Betrachten wir Fig.1, so sehen wir für die Dipolstellung 1, wie sich das Antennendiagramm über den Brennpunkt nach der Unterseite der herzförmigen Linie verschiebt. Bei Dipolstellung 2 verläuft die Strahlrichtung oberhalb der Herzlinie. Die Peilschirme des **ANG 62** in Fig.3 und 4B,C sind derart "umgedreht" angeschlossen, daß immer die richtige Lage angezeigt wird. Wenn sich der Antennensektorschalter in Fig.2A zwischen L-A-B befindet (U3 geschlossen), resultiert das in Fig.3A; ist der Schalter U2 bei C-D-E geschlossen, dann steht die Antenne rechts von der Herzlinie, dennoch entsteht die Anzeige nach Fig.3B. Sowohl in Fig.3C,D wie in Fig.4B,C ist die Antenne genau auf das Ziel gerichtet.

Die Steilheit der Keulen 1 und 2 in Fig.1 bestimmt jetzt die Schärfe der Peilung. Vergleichen wir die Steilheit der Vorderseite einer Antennenkeule mit der Lage von A in Fig.1, dann sehen wir, daß der Effekt einer Minimumpeilung beinahe erreicht werden konnte.

Ein Vorteil der Verwendung von nur einer Antenne war es, daß keine Fehler infolge von Abweichungen auftreten konnten. Hätte man beispielsweise vier einzelne Antennen eingesetzt, dann wäre das Antennendiagramm als Folge kleiner Abweichungen untereinander verformt worden, was unwiderruflich zu Meßfehlern geführt hätte.

Diese Peilmöglichkeit machte aus dem **FuG 62 A** ein **FuG 62 C**. Diesem Typ folgte die Ausführung **FuG 62 D** (für eine Beschreibung dieser Ausführung siehe Anhang D). Es dauerte einige Zeit, bis das Gros der Stellungen umgerüstet war; man begann natürlich mit den wichtigsten. Dazu rechneten die Deutschen die von **Bruneval** vermutlich nicht (siehe unten).

Vorläufig behalf man sich mit den weniger genau messenden Geräten. Zu Beginn des Kriegs war die britische Präsenz im Luftraum über Deutschland noch vergleichsweise gering,

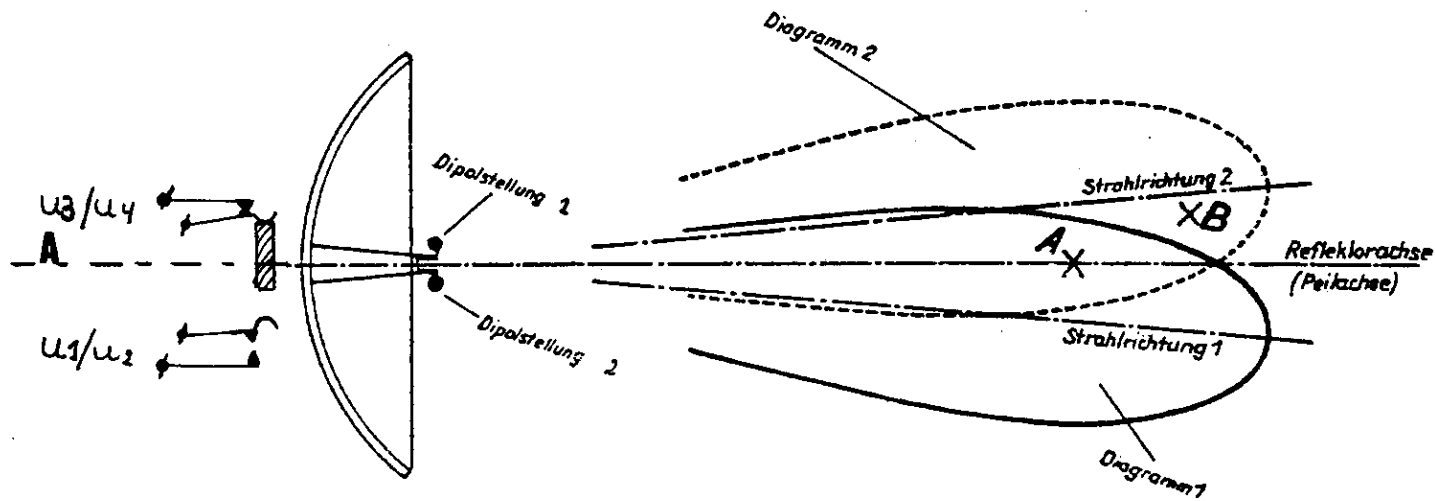


Fig.1 Schnittzeichnung des Parabolspiegels mit dem Dipol - Die exzentrischen Dipolstellungen 1 und 2 verursachen das "Schiefsehen" der Antenne. Eingezeichnet sind die Umschaltkontakte des Antennensektorschalters für eine Polarisations ebene. Der Dipol befindet sich in der oberen Stellung, der Schalter (U_3/U_4 , U_1/U_2) schließt U_3/U_4 und meldet den Antennenstand an die Peilschirme im ANG 62. Die Anschlüsse sind so ausgeführt, daß für jede Dipolstellung die entsprechenden Ablenkplatten angesteuert werden. Vgl. auch Fig.2A,B,C und Abb.5.

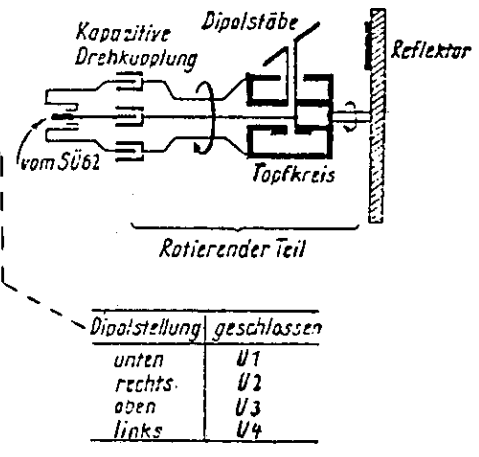
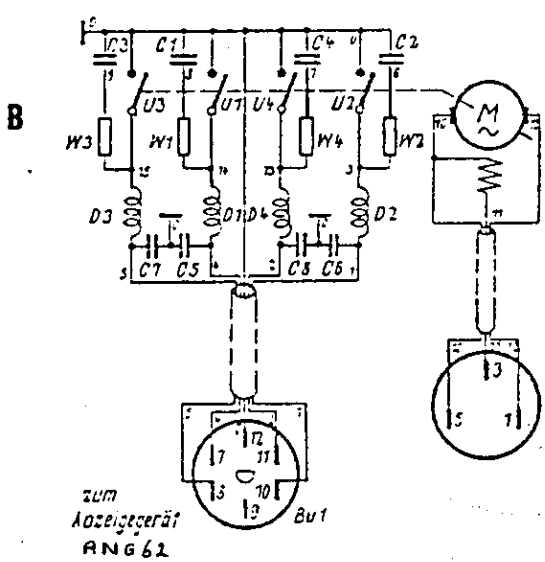
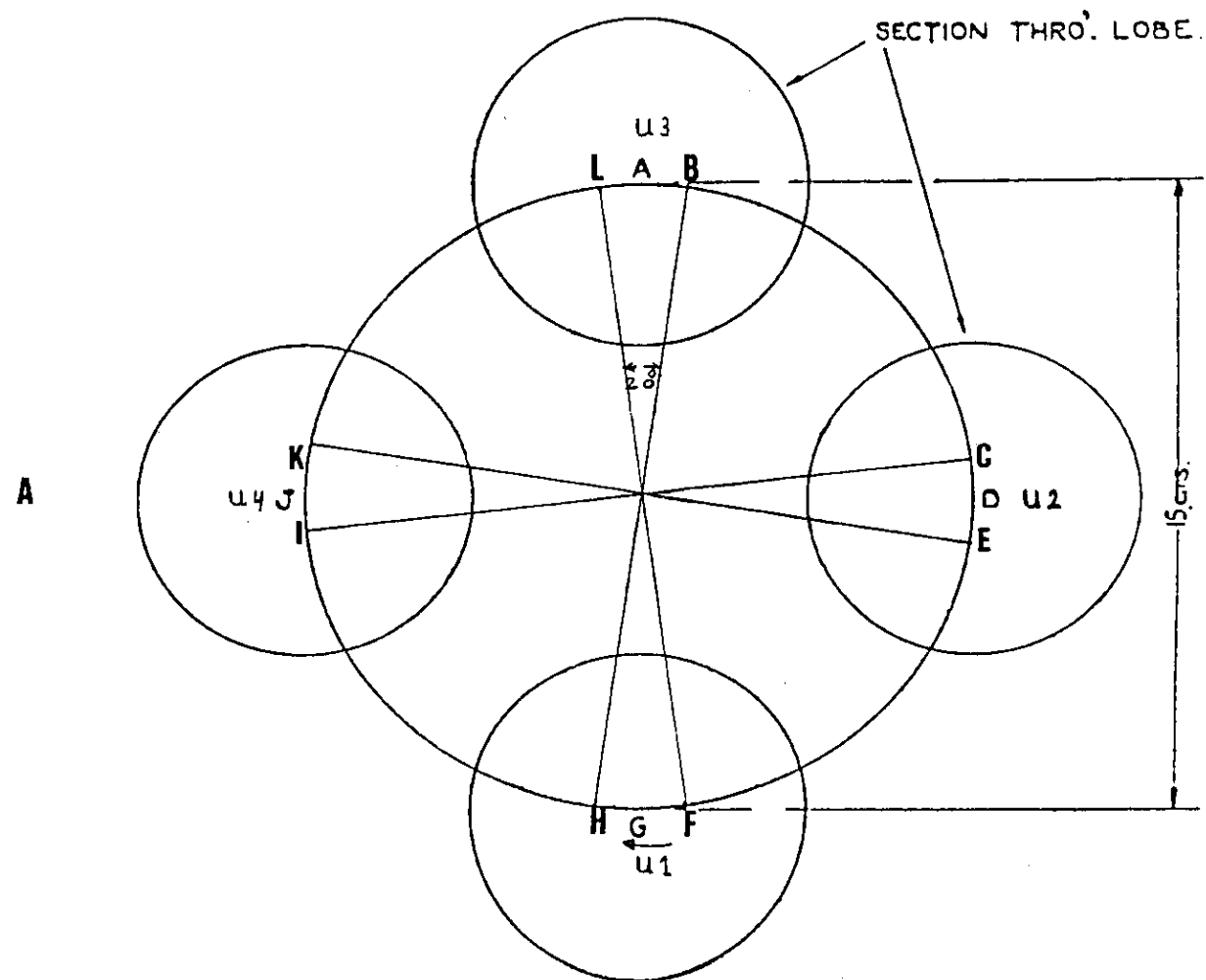


FIG. 2

Fig.2 Der rotierende Dipol DA 62 Grille und die Umschaltkontakte des Antennensektorschalters - A zeigt die Arbeitsweise der Umschaltkontakte (B) für einen Schließwinkel von 20°. C ist eine Schnittzeichnung des rotierenden Dipols ohne den Sektorschalter. Der Topfkreis dient als Symmetriertrafo zwischen Antenne und Koaxleitung.

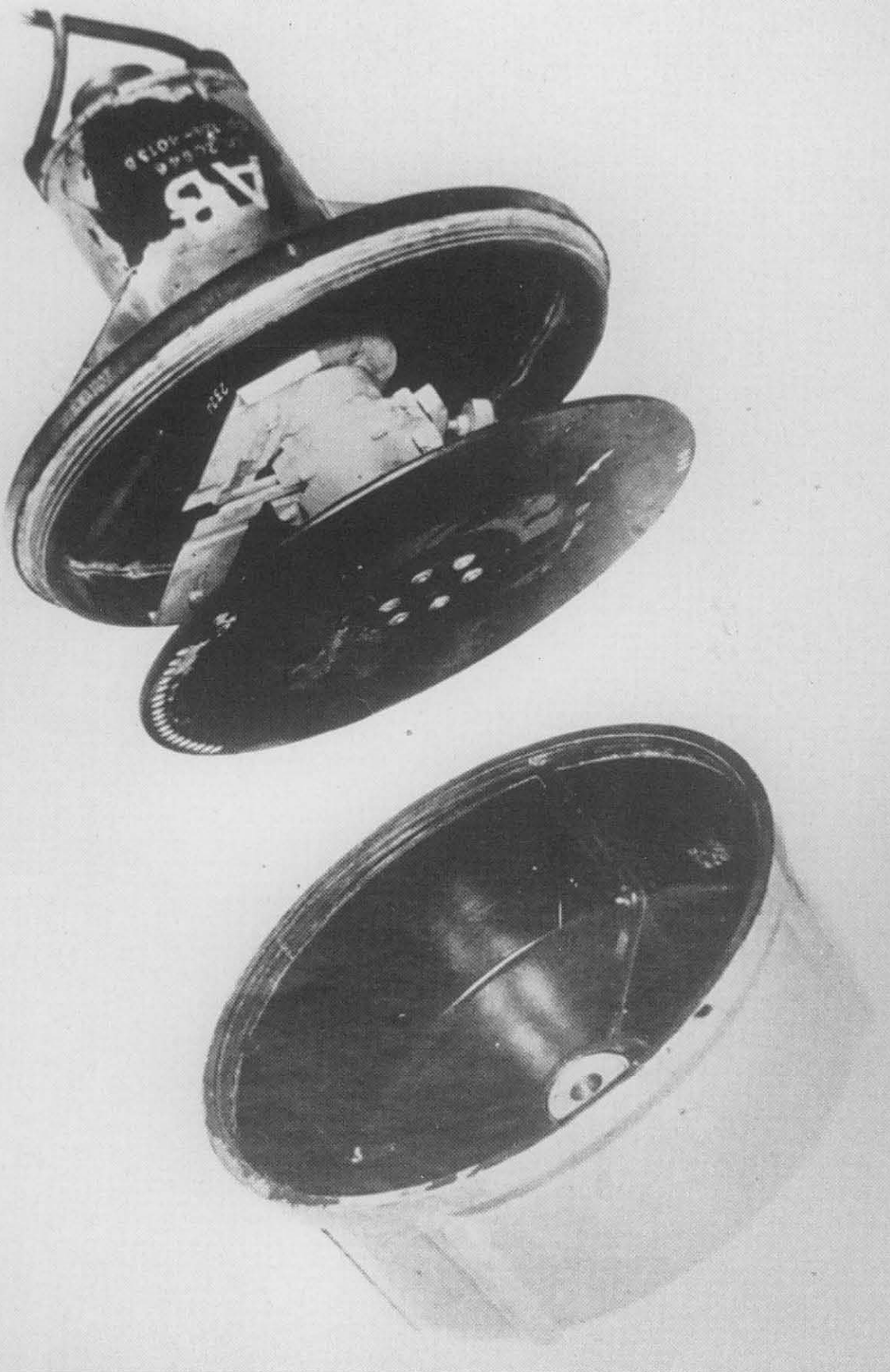


Abb.5 Der rotierende Dipol DA 62 Grille für die Inseln A und B - Deutlich sichtbar der gegenüber der Mitte um 75 mm versetzte Dipol. Seine breite, flache Form war erforderlich, um die Breitbandigkeit von ± 35 MHz und eine gute Anpassung der Antenne an das Koaxialkabel zu gewährleisten. Die Bohrungen in der Bakelitscheibe dienen dazu, die Unwucht der sich drehenden Einrichtung zu kompensieren. Vgl. auch Fig.1 und 2. (Foto Archiv Fritz Trenkle, Freising)

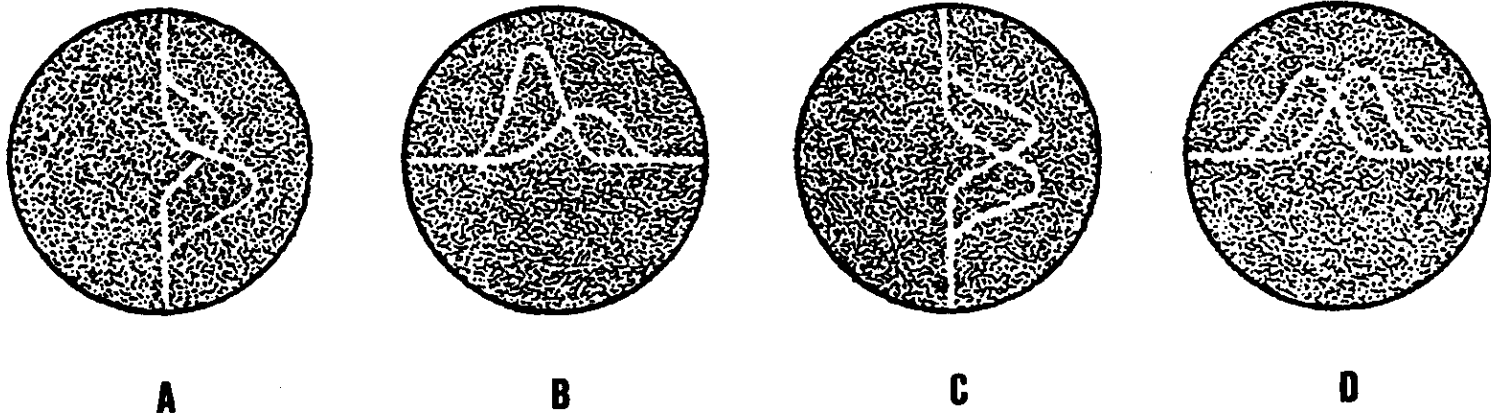


Fig.3 Beispiele für die Höhen- und Seitenanzeige auf den Peilschirmen des Anzeigeräts ANG 62 - Schirmbild A zeigt den Höhenwinkel, der Spiegel ist hier zu tief gerichtet; Schirmbild B den Seitenwinkel, der Spiegel ist hier zu weit nach links gerichtet. C und D richtige Spiegelstellung, d.h. genau auf das Ziel gerichtet.

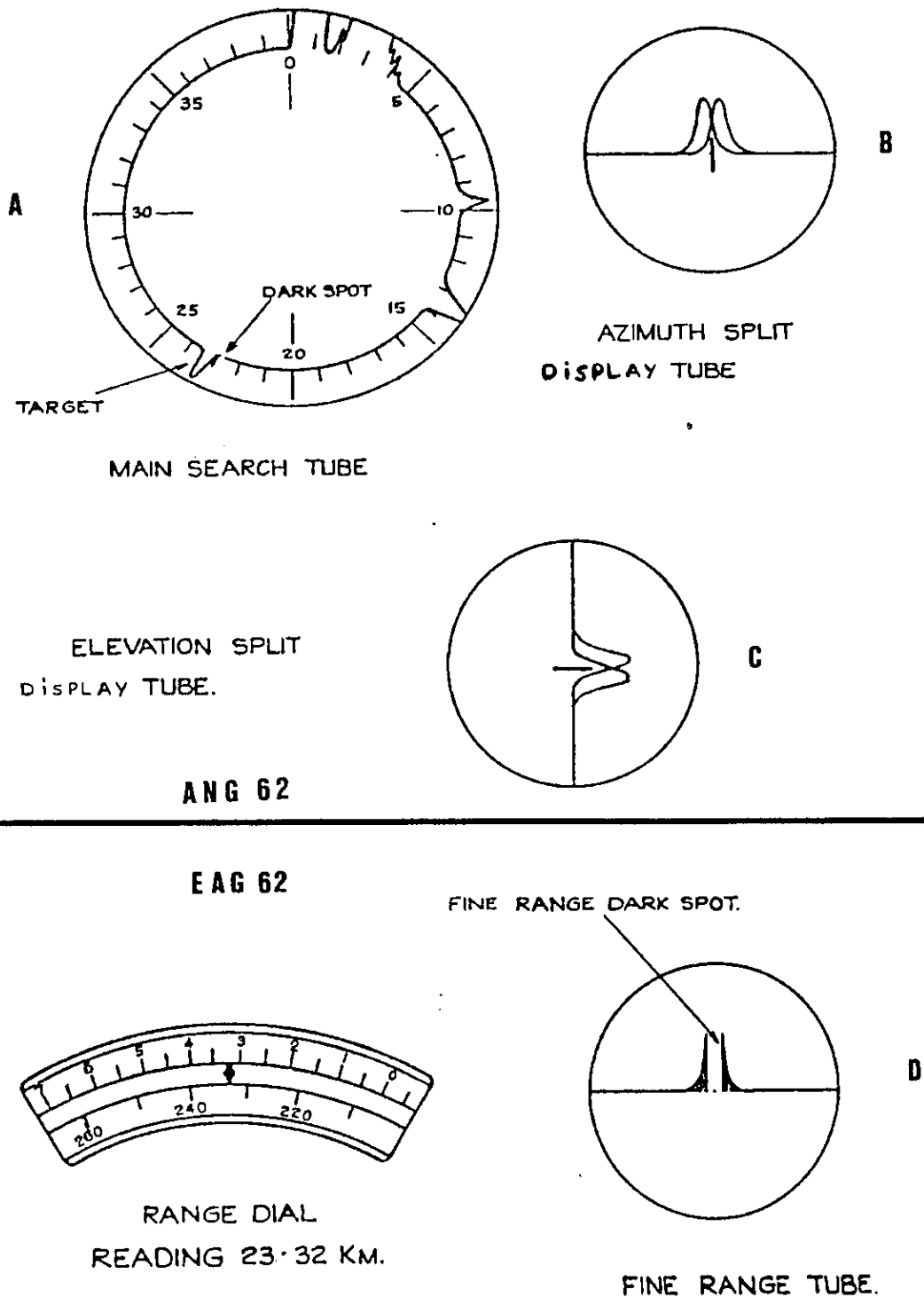


FIG. 4 TYPICAL PRESENTATIONS OF WUERZBURG D

Fig.4 Anzeigen auf dem Anzeigergerät ANG 62 und dem Entfernungsanzeigergerät EAG 62 - A ist die Übersichtsröhre (LB 13/40) für den Bereich 0 - 40 km. B und C sind die Peilschirme für das horizontale und vertikale Richten der Antenne, sie zeigen denselben Bereichsausschnitt wie der e-Meßschirm D. Die Entfernungsskala E ist mit zwei Goniometern gekoppelt, die eine Phasenverschiebung (grob/fein) bewirken. Der Wert von 23,32 km entspricht hier genau der Stellung der e-Meßanzeige in D, er wird über Servogeber an die Flak-Kommandozentrale übertragen. Vgl. dazu auch Anhang D und E.

und die geringere Genauigkeit fiel deswegen nicht so ins Gewicht. Die Flak-Batterien brauchten sich damals nur auf wenige Flugzeuge zu konzentrieren und leisteten so noch gute Dienste.

Die gemessene Entfernung auf dem Schirm des OSZ 62 (e-Messung, vgl. Fig.5) war für den direkten Gebrauch viel zu ungenau, da bei einer Abweichung von Hunderten von Metern ein Treffer mit einer Flakgranate eher ein Zufallstreffer war. Das lag unter anderem an der Dicke des geschriebenen Elektronenstrahls, der zuweilen mehr als 100 m "breit" war. Deswegen wurde im Lauf des Jahres 1941 der von Telefunken entwickelte D-Zusatz EAG 62 in Gebrauch genommen. Damit war nun das FuG 62 D entstanden, womit eigentlich das Ende der Entwicklung erreicht war. Fig.6 gibt das zugehörige Blockschaltbild wieder. Die Zeitbasis wurde von einem Quarz von 60 kHz abgeleitet und geteilt, bis Pulse von 3.750 Hz (PRF) erreicht waren.

Die gemessene Entfernung wurde auf einer drehbaren Doppelskala angezeigt (Fig.4E) und durch ein Drehfeld-(Servo-)System an die Flak-Kommandozentrale übertragen.

Von nun an standen die Modifikationen in Zusammenhang mit der Wismar-Aktion (siehe unten) und mit Verbesserungen der Festigkeit gegen passive und aktive Störungen. Wir betrachten das EAG 62 nicht näher, da schon viel darüber publiziert wurde [1,2], vgl. auch Fig.4 und Anhang D.

FuG 65

Wir wollen nicht allzu detailliert auf den großen Bruder des Würzburg eingehen. Zutreffenderweise wird er Würzburg-Riese genannt, in der englischsprachigen Literatur zumeist Giant Würzburg. Die Bedienungsmannschaft des Würzburg-Riesen betrug 6 Mann, während das FuG 62 mit 4 Mann auskam [10, S.454].

Elektrisch war das Gerät im Kern ein normales FuG 62 D, dessen Antenne auf 7,5 m Durchmesser vergrößert wurde und damit der größte bei der Wehrmacht verwendete Rotationsparaboloid war.

Diese Parabolspiegel wurden noch Jahrzehnte nach dem Krieg an vielen Orten Europas verwendet. Einige stehen heute noch in Gebrauch, unter anderem bei Sternwarten. Auch Universitäten bedienten sich der Antenne, so etwa für die Erforschung der Milchstraße.

Durch den großen Durchmesser des Antennenspiegels war es theoretisch möglich, Flugzeuge bis zu einer Entfernung von 50 bis 70 km zu erfassen. Das gelang mit einem gewöhnlichen FuG 62 D nicht mehr ohne weiteres, da hier die größte Entfernung durch das Verhältnis Impuls zu Pause von 1 : 133 bei einer Tastfrequenz (PRF) von 3.750 Hz auf 40 km begrenzt war. Eine Lösung wurde dadurch gefunden, daß man die Steuerimpulse durch den Frequenzteiler FT 65 Saturn zur Impulszentrale IG 62 schickte, wodurch die maximale Entfernung auf $2 \times 40 = 80$ km vergrößert werden konnte. Automatisch wurde der Sender nun nicht mehr mit einer Tastfrequenz von 3.750, sondern von 1.875 Hz (PRF) gesteuert, vgl. Fig.7.

Selbstredend wurde der Dipol wieder defokussiert angeordnet. Die Peilgenauigkeit erhöhte sich auf etwa $1/4^\circ$. Um einen derartigen Koloß stabil zu halten und gleichzeitig präzise richten zu können, wurde eine äußerst genaue Steuerungs- und Richtmechanik entworfen (AEG-

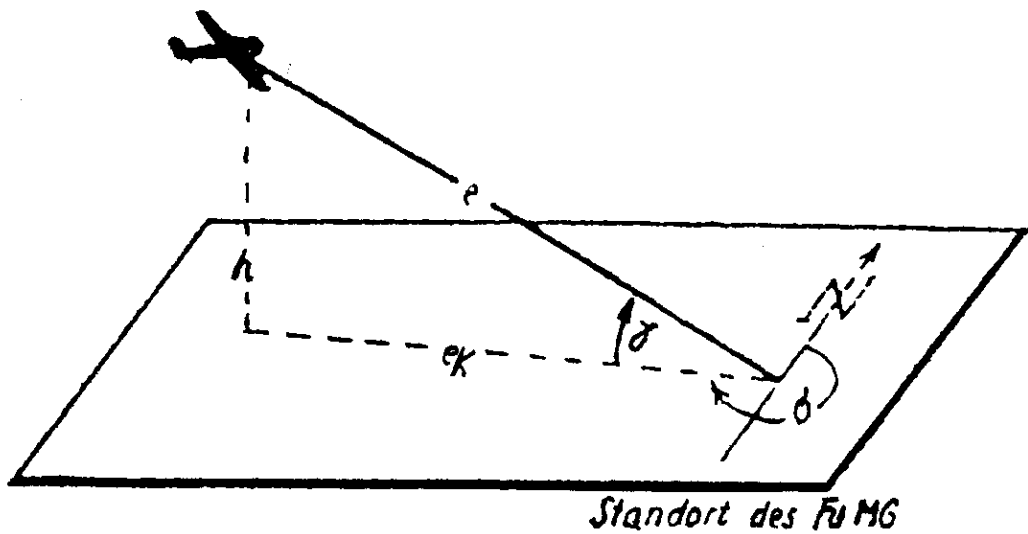
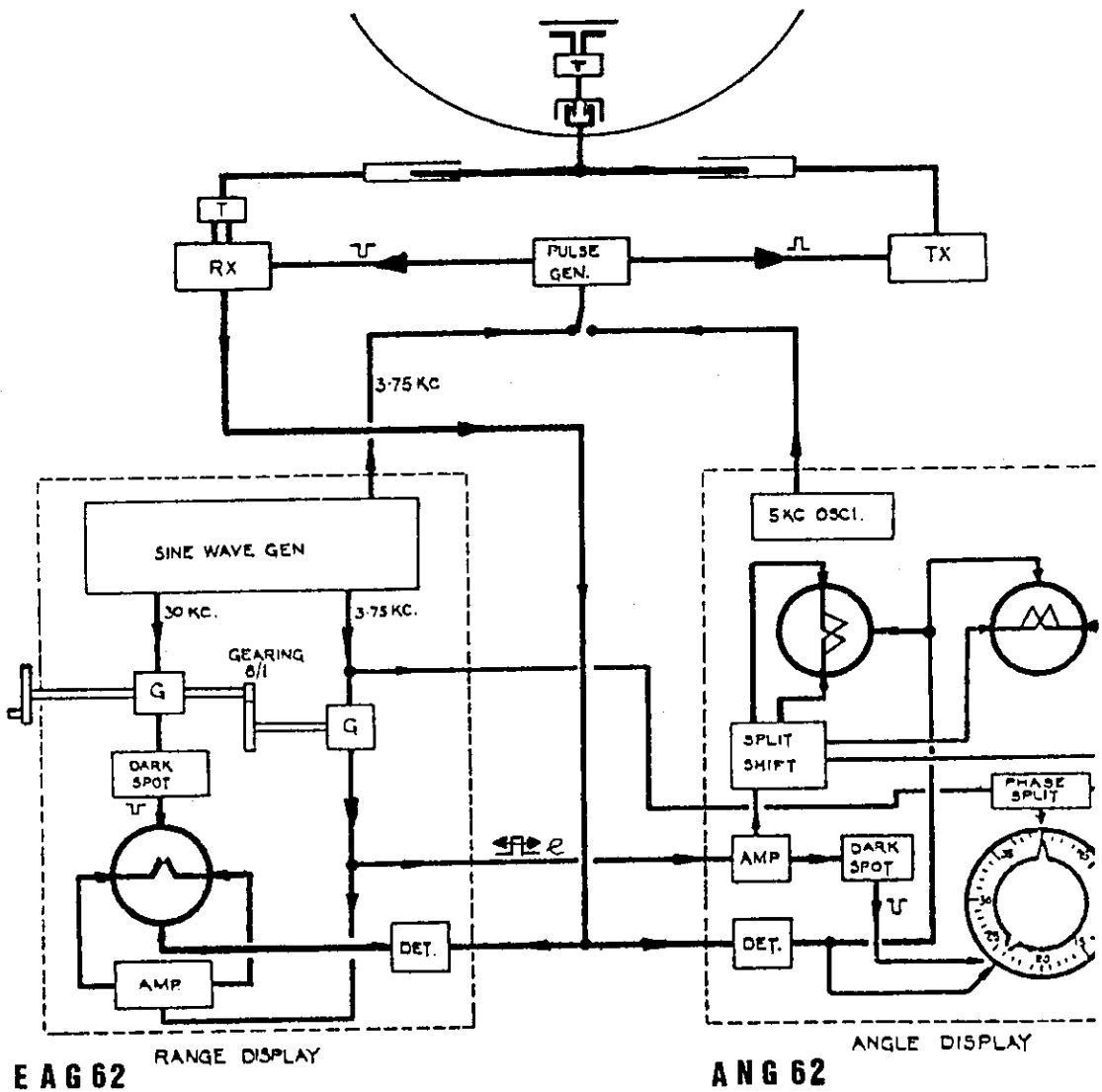


Fig.5 Standortbestimmung eines Punkts im Raum - e ist die direkte (schräge) Entfernung zwischen Beobachtungsstelle und Flugzeug, e_K die kartografische Entfernung, h gibt die Höhe über Grund an, σ den Seitenwinkel (hier $270^\circ = \text{West}$), γ den Höhenwinkel. Der e -Wert wird direkt auf der Entfernungsskala E des EAG 62 in Fig.4 abgelesen.



BLOCK DIAGRAM OF WUERZBURG D.

Fig.6 Blockschaltbild des FuG 62 D - Der 5-kHz-Generator im ANG 62 war der Modulator für die Kennungsanlage der ersten Generation mit FuG 25 J, J1 (Zwilling). Direkt unter dem Antennenspiegel sieht man die in der Länge einstellbare Koaxialleitung ("Posaune"), in der Mitte darunter den Impulsgenerator IG 62. Vgl. die ausführliche Beschreibung in Anhang D.

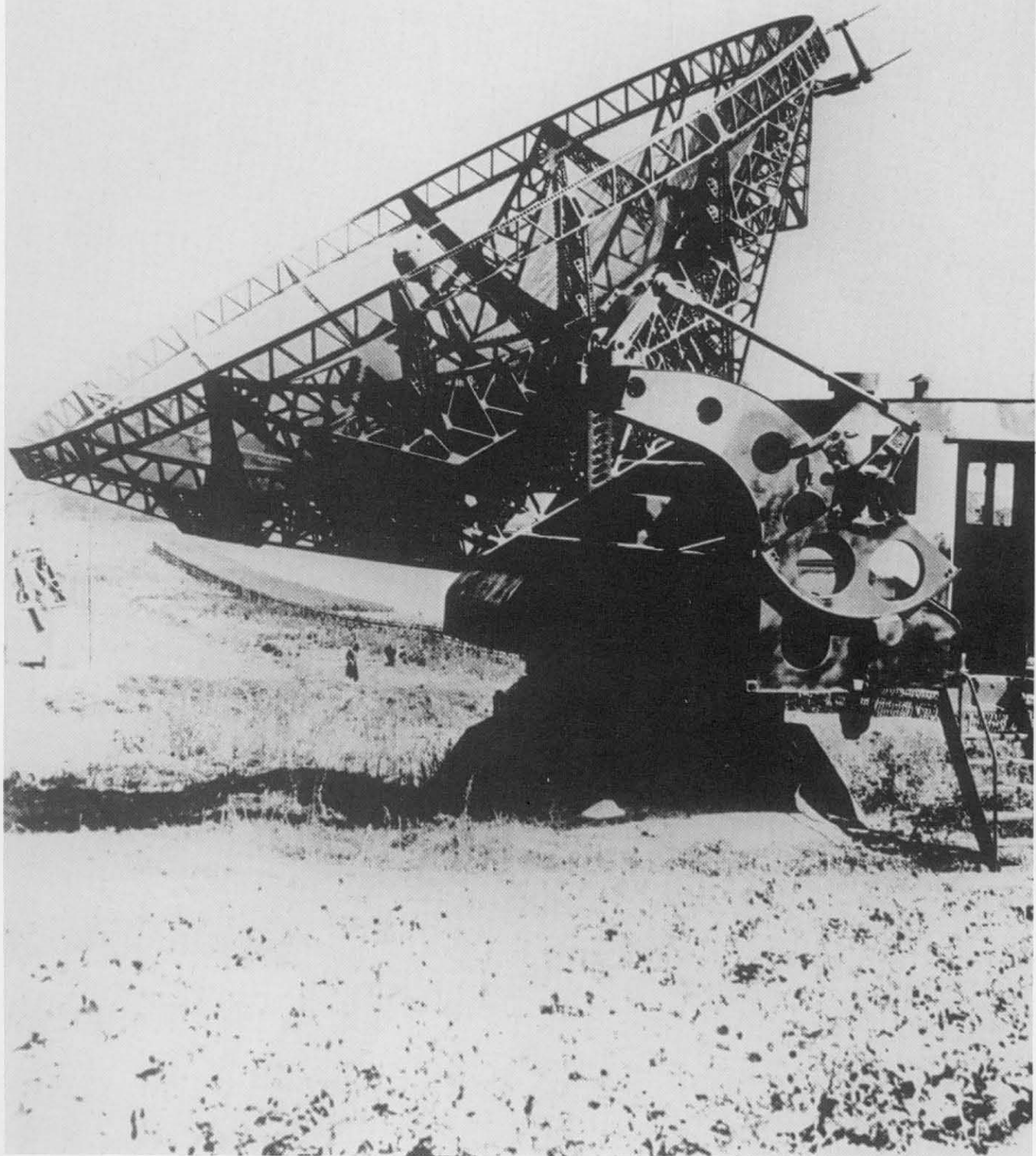


Abb.6 FuG 65 Würzburg-Riese - An der Oberseite des Spiegels ist die Antenne für Kennungssender (Kuh) und -empfänger (Gemse) zu erkennen. (Foto Archiv Fritz Trenkle, Freising)

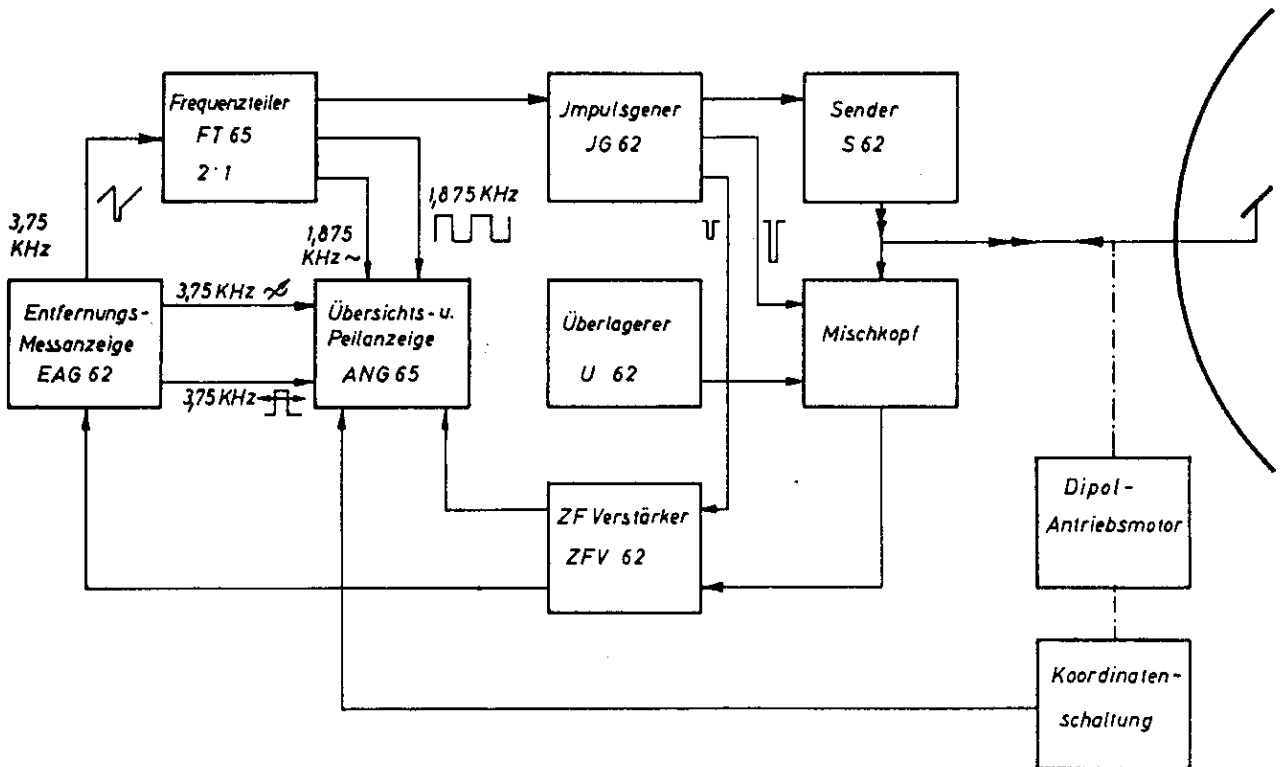


Fig.7 Blockschaltbild des FuG 65 Würzburg-Riese - FT 65 ist der Frequenzteiler 2 : 1. Interessant die Verwendung des EAG 62 aus dem "kleinen" Würzburg. Es gab außerdem die Versionen ANG 65/62 und EAG 65/62, wobei es sich um nachträglich modifizierte Geräte handelt, die durch Umschalten weniger Kontakte in beiden Radaranlagen - FuG 65 und FuG 62 - verwendet werden konnten.

Leonard-Steuerung), die den Antennenspiegel auf $1/4^\circ$ genau positionieren konnte. Diese Steuerung, mit der der drehbare Teil der Anlage mit 11 t Gewicht (11.000 kg!) bewegt und gerichtet werden konnte, stammte von AEG. Parabolspiegel und Bedienungskabine waren ungefähr im Gleichgewicht, wodurch die auf die Lager einwirkenden Kräfte gering gehalten werden konnten. Alle Entstörmaßnahmen waren nahezu identisch für FuG 62 D und FuG 65.

Wie Jones in seinem äußerst interessanten Buch "Most Secret War" schreibt, wurden die Gerüchte über ein sogenanntes **Würzburg**-Gerät immer lauter, so daß eine eingehende Untersuchung gestartet wurde [3,4]. Das Ergebnis war, daß man beschloß, einen Kommandotrupp einzusetzen, um hinter die Geheimnisse von **Würzburg** zu kommen.

In der Nacht vom 27. auf den 28. Februar 1942 wurde das Unternehmen ausgeführt. Es wurden verschiedene Teile erbeutet, jedoch nicht das sogenannte Sichtgerät (OSZ 62). Der bei dieser Gelegenheit gefangengenommene Soldat scheint nach dem Ergebnis der Verhöre in England wenig von der Arbeitsweise "seines" **Würzburg** verstanden zu haben. Aus dem sogenannten **Bruneval**-Bericht [8] geht hervor, daß zwar nichts besonderes gefunden wurde, aber man doch wohl zu der Erkenntnis kam, daß die Beutestücke vermutlich aus der Zeit vor 1939 stammten, also aus einer Zeit, wo die Briten nichts, was dem auch entfernt nahegekommen wäre, besaßen! Es fiel weiter auf, daß einige Teile sehr gut ausgeführt waren und daß die Briten über nichts vergleichbares verfügten. Zu nennen wären hier der universelle Kraftprotz **LS 50** und die ebenso universelle **RV 12 P 2000**, die beinahe überall dort, wo es nicht auf Leistung ankam, eingesetzt wurde. Auch die verwendeten Bauteile waren nach Ansicht der Briten von guter Qualität und viel kleiner als die in England gebräuchlichen. Dabei ist zu bedenken, daß die in dem Bericht abgebildeten Radarteile noch aus der ersten Generation stammten, nämlich von einem **FuG 62 A**, so beispielsweise die nicht rotierende sondern feste, vertikal polarisierte Antenne [8].

Die Ereignisse am frühen Morgen des 28. Februar 1942 lösten bei der Luftwaffe einen Schock aus. Der Gegner wußte nun, auf welcher Frequenz das **Würzburg**-Gerät arbeitete und daß diese Frequenz fest eingestellt war. Man war sich von Anfang an darüber im klaren, daß sich die Alliierten die Informationen, die ihnen in die Hände gefallen waren, früher oder später zunutze machen würden.

Kennung

Die damit verbundenen Probleme schienen beim **Würzburg** nur sehr schwer lösbar zu sein. Die Ursache dafür lag in der Konzeption. Die Frequenz der deutschen Radaranlagen lag fest; so gebrauchte etwa das **Würzburg** 560 MHz (53,6 cm). Der Grund für die Wahl einer festen Frequenz war darin zu suchen, daß es so möglich war, Radarmessungen vorzunehmen und mit derselben Anlage gleichzeitig eine **Freund/Feind-(IFF-)Abfrage** durchzuführen. Die Empfänger der ersten Generation waren fest abgestimmt, und deswegen mußte die Frequenz genau festgelegt sein. Das sollte sich als tödlich erweisen. Man hatte für jede Radaranlage eine besondere Version des **FuG 25 J, J1** (Zwilling) nötig, da das **Freya** auf 125 MHz (2,4 m) arbeitete und das **Würzburg** auf 560 MHz (53,6 cm). Als nachteilig wurde auch empfunden, daß während der Abfrage des **FuG 25**.. die Anlage keine Ortung auf dem Bildschirm anzeigte.

Das Erkennen der eigenen Flugzeuge erfolgte durch von diesen ausgesendeten Morsezeichen. Dafür waren im FuG 25.. und dem verbesserten Nachfolgegerät FuG 25a zwei lange, platte, mit Zähnen versehene Metallschlüssel vorgesehen. Die Zähne konnten einzeln ausgebrochen werden, wodurch ein Schlüsselcode entstand (zwei Zähne für einen Strich, ein Zahn für einen Punkt). Mit dem Schlüsselcode wurde der Sender getastet. Über das Bordfunkgerät konnte das Einschalten einer der beiden Schlüsselcodes befohlen werden.

Die Ursache für den Ausfall der Ortungsanzeige bestand darin, daß die Sendeimpulse nicht mehr eine Frequenz von 3.750 Hz hatten, sondern das Kenngerät mit einer Tastfrequenz von 5.000 Hz angestrahlt wurde (Fig.6). Das FuG 25.. reagierte nämlich auf das 560 MHz-Signal, das hierfür mit 5.000 Hz pulsmoduliert wurde. Dadurch schaltete das FuG 25.. auf Sendung und strahlte auf 156 MHz (1,9 m) zum Würzburg zurück. Dieses Signal wurde durch zwei seitlich innen am Antennenspiegel des Würzburg angebrachte Dipole empfangen und durch den Kennungs-Empfänger E 62.. sicht- und hörbar gemacht, siehe Abb.7.

Während der Freund/Feind-Messung verlor man häufig das eigene Flugzeug vom Anzeigeschirm und mußte es folglich erst wieder auffassen. Aber man war sich dann nicht mehr sicher, ob es sich um dasselbe Flugzeug handelte wie vorher. Wir sehen hier deutlich die Nachteile dieses Systems. Es wurde dann auch aus dem Einsatz gezogen und verschrottet. Später verwendete man die Teile bei der Produktion der ersten Generation von Naxos-Empfängern. Aber damit waren die Probleme noch lange nicht aus der Welt geschafft.

Entstörungsmaßnahmen

Es wurde bereits erwähnt, daß die Empfänger zunächst mit fester Abstimmung ausgeführt wurden. Wie aus den Abb.8 und 8a zu sehen ist, ist der gezeigte prächtige keramische Block des Überlagerers Ü 62 sehr schwer zu verstimmen; es war in der Tat normalerweise keine Möglichkeit zur Abstimmung vorgesehen!

Bei dem in meinem Besitz befindlichen Exemplar wurde später die Möglichkeit zur Veränderung der Frequenz nachgerüstet, aber damit ist immer noch keine einfach vorzunehmende Verstimmung möglich, die konnte nur in einer Werkstatt vorgenommen werden! Der Sender S 62 (die "Lokomotive") konnte um ungefähr 3 MHz (0,4%) verstimmt werden. Vergleichbare Probleme traten bei allen Radaranlagen auf.

Um eine Frequenzverschiebung zu gestatten, wurde ein Wismar genanntes Programm in die Wege geleitet. Der Deckname Wismar wurde nicht allein für das Würzburg, sondern für alle Radaranlagen verwendet. Die Frequenzverschiebung erfolgte in kleinen Frequenzbändern, sogenannten Inseln. Die erste dieser Inseln wurde mit A bezeichnet und betrug für das FuG 62 ± 560 MHz, es folgten B mit ± 530 MHz und C um 490 MHz. Zunächst wurden die sogenannten A- und B-Inseln in Gebrauch genommen. Mit der Einführung Ende 1943/Anfang 1944 der Urechse wurde auch das Band C verfügbar. Die Urechse war das Endstadium der Entwicklung, es konnte damit ein schneller Frequenzwechsel binnen 20 bis 30 Sekunden vorgenommen werden, vgl. dazu Abb.9 und 9a.

Wie wurde die Empfangsfrequenz variabel gestaltet? Telefunken setzte in seinem dm-Richtfunkgerät auf etwa 600 - 650 MHz einen Oszillator ein, der als Modul leicht in andere

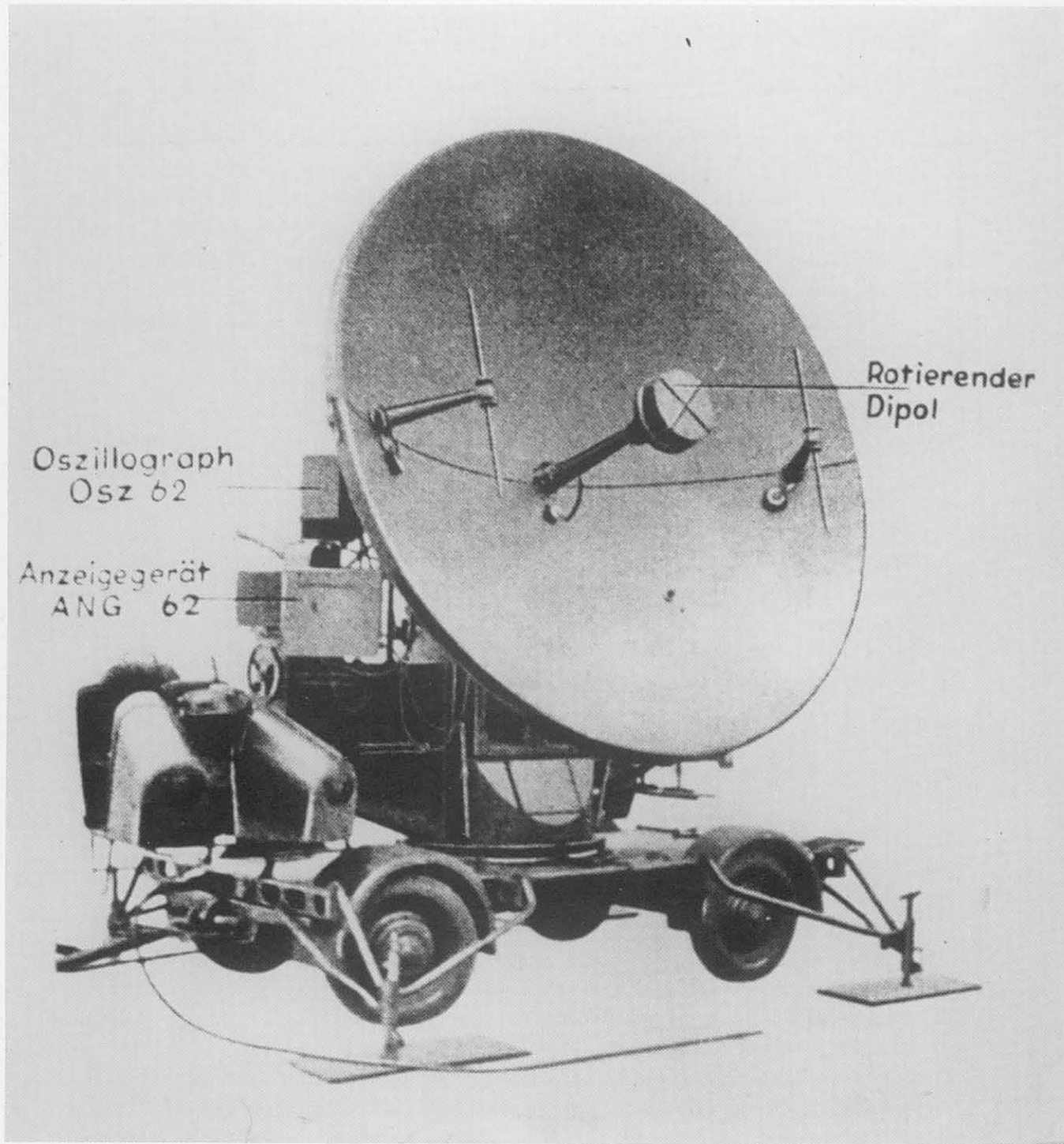


Abb.7 FuG 62 C Würzburg - Die Dipole seitlich innen am Antennenspiegel sind Teil des alten Freund/Feind-Abfragesystems (Kennung, IFF). Bei diesem Exemplar ist sowohl das alte Sichtgerät OSZ 62 wie das neue Anzeigegerät ANG 62 eingebaut. Die Aufnahme wurde gemacht, bevor das Feinsichtgerät EAG 62 zur Verwendung kam. (Foto Archiv Fritz Trenkle, Freising)

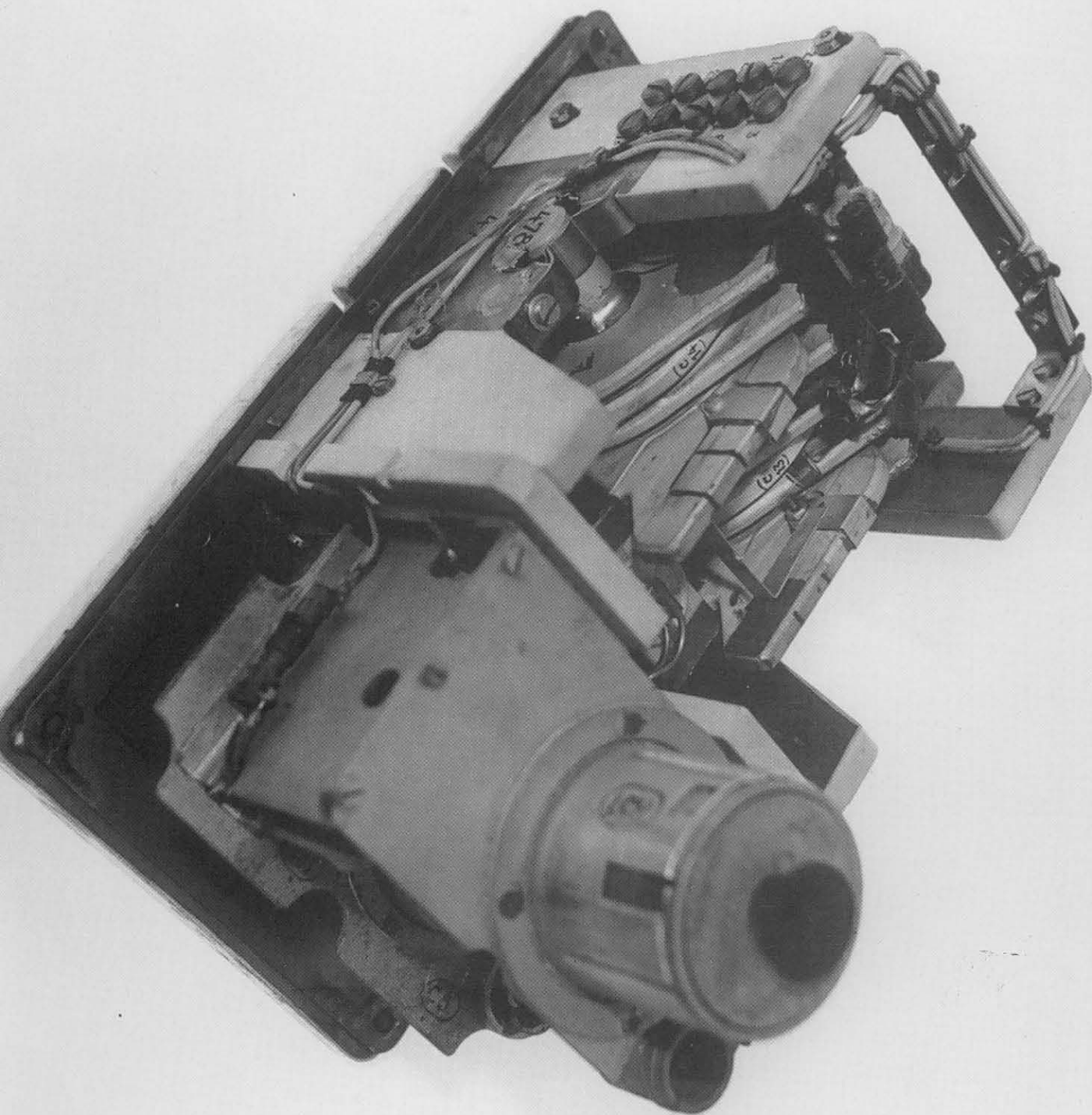


Abb.8 Überlagerer Ü 62 - Fast alle Verbindungen innerhalb des keramischen Blocks sind auf die Keramik aufgedampft. Dadurch wird eine sehr große Stabilität erreicht. Es sind einzelne Abstimmkapazitäten wie C 13 und C 14 zu erkennen. Die beiden flachen, mit Markierungsstrichen versehenen Bügel - sie dienen zur Abstimmung der Inseln A und B - sind versilbert und bilden einen Teil des Oszillatorkreises. Man beachte die kupferne Dichtung zwischen dem keramischen Block und der Gußhaube.

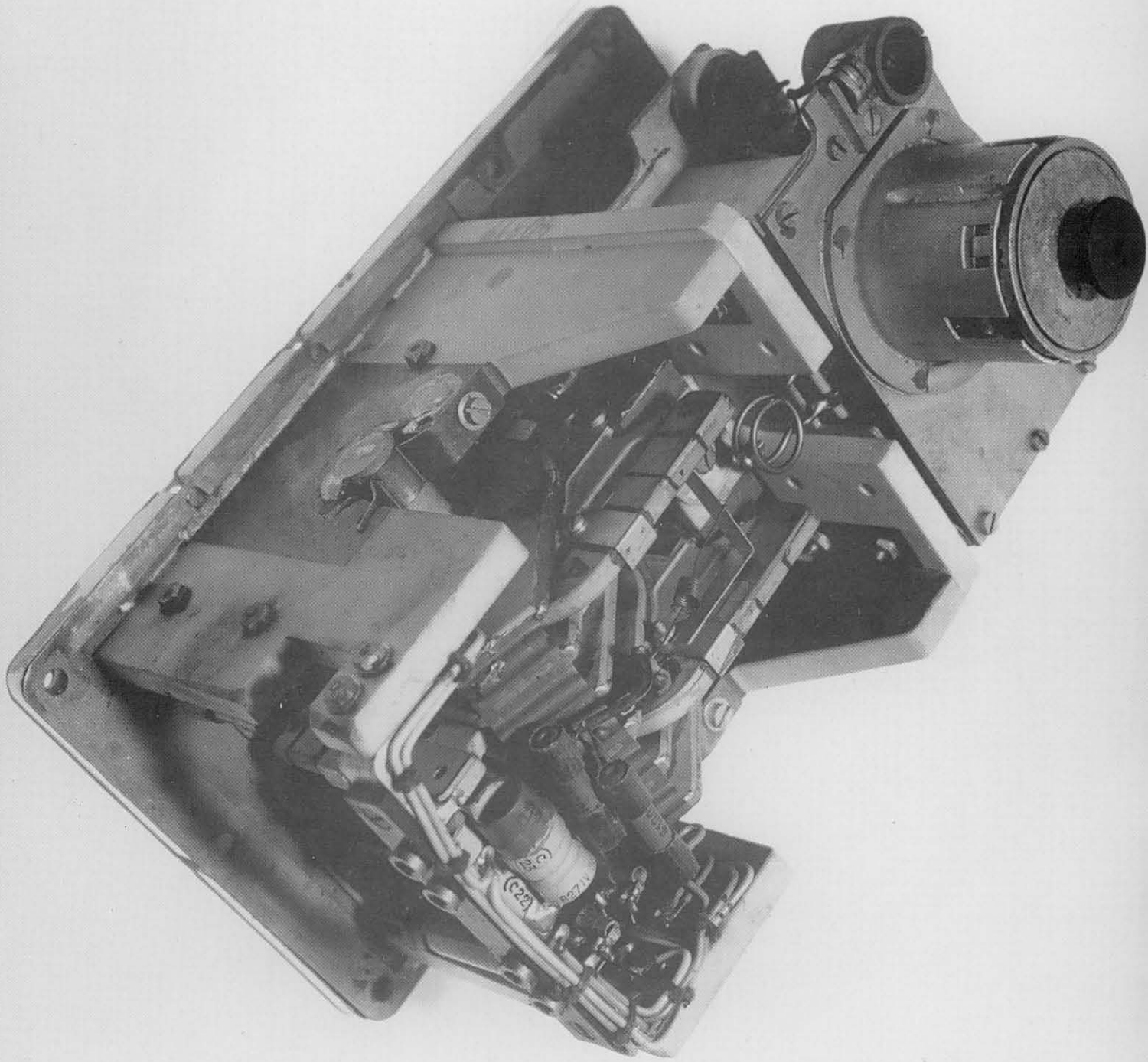


Abb.8a Eine andere Ansicht des Überlagerers Ü 62 - Auf den flachen Bügeln in der Mitte ist noch der Buchstabe A sichtbar, was vermuten läßt, daß der Block im (Insel-)Band A abgestimmt war. Die Buchse neben der LD 5 ist die Signal-Auskopplung. Die gesamte Bodenplatte besteht aus Keramikmaterial, das auf der Innenseite verkupfert ist. Alle weißen Teile sind aus Keramik.

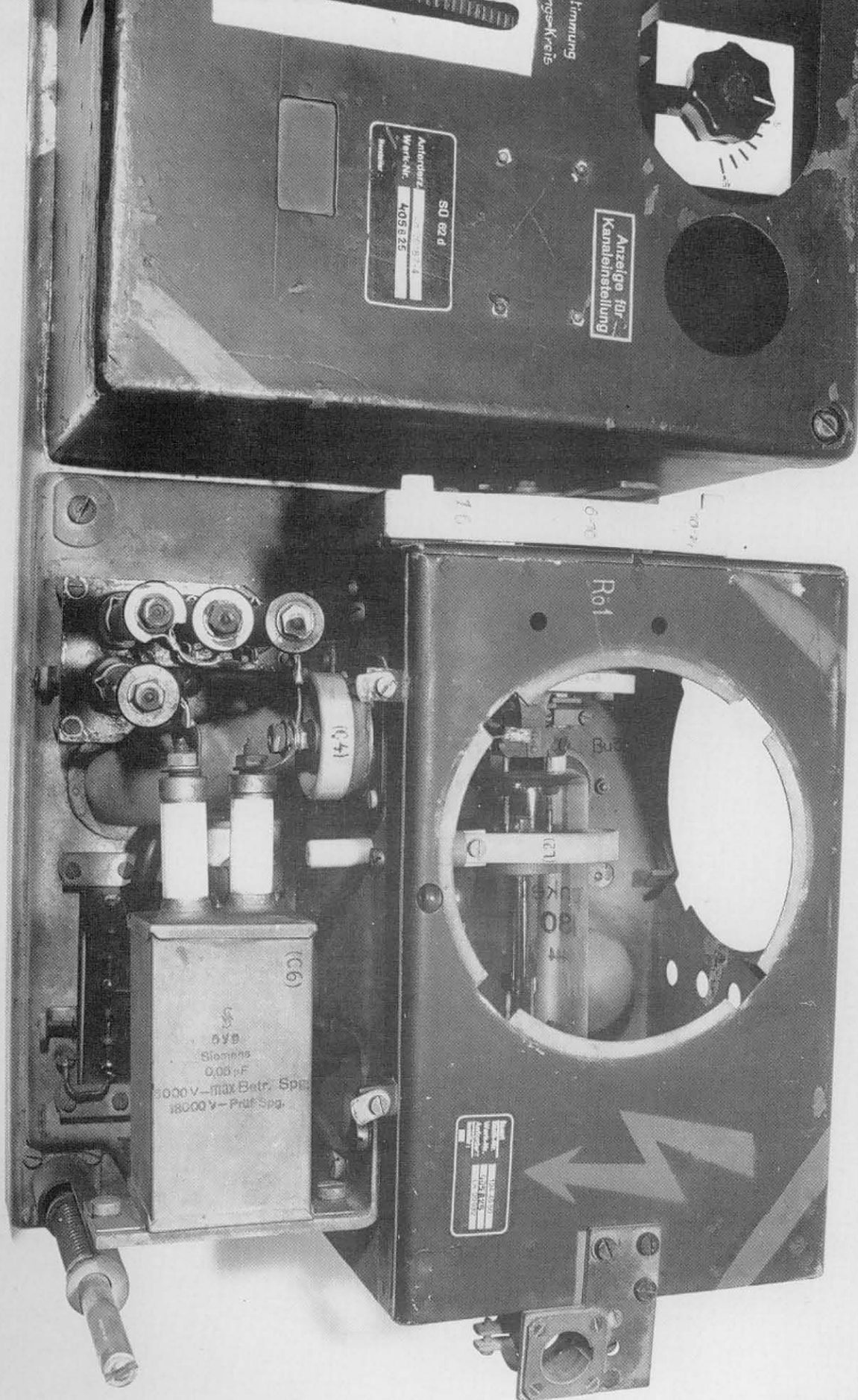


Abb.9 Sender der Urechse S 62d, Abdeckungen entfernt - Die LS 180 ist gut zu erkennen. Mit dem über der Röhre angebrachten Bandstreifen L 2 wird das Sendersignal nach der Antenne ausgekoppelt. Die außen am Gehäuse montierte Buchse ist der Eingang des Reguliernsignals. Die gerändelte Scheibe dient zur Empfängerabstimmung. Mit dem Handgriff links am Sendergehäuse wird die Frequenzeinstellung des Senders vorgenommen. Bei etwa 6-10 liegt das 530-MHz-Gebiet (Insel B). Der schräge (rote) Strich auf dem Gehäuse bedeutet, daß es sich um einen geheimen Gegenstand handelt.

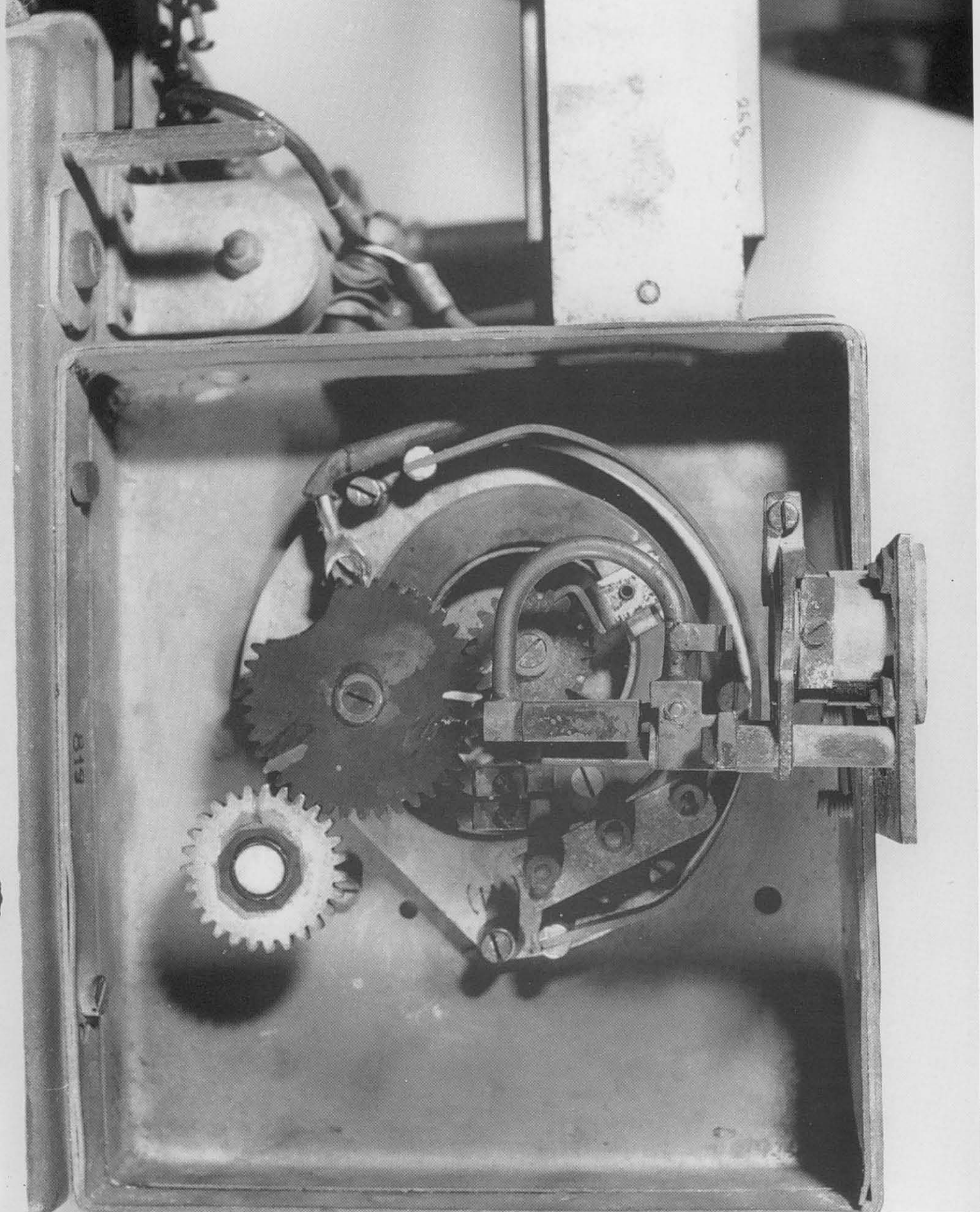


Abb.9a Kathodenabstimmung des Senders der Urechse S 62d - Der längliche, rechteckige Gegenstand in der Einkopplungsschleife des Reguliersignals (stammend vom Hilfssender HS 62/65) ist ein Einstellkondensator, mit dem die Einspeisespannung dosiert werden kann. Der flache, etwa halbkreisförmige Kupferstreifen (von der Breitseite zu sehen) ist der Kathodenkreis. Er wird über das kleine Zahnrad in der Mitte abgestimmt.

Gehäuse eingebaut werden konnte. Daraus entstand der berühmte **Michael-Überlagerer**. Die Bezeichnung ist abgeleitet von der ursprünglichen Verwendung in dem **Michael-Gerät** (DMG 5), vgl. Abb.10.

Schon im April/Mai 1942 wurden die ersten **Michael-Überlagerer** an die Truppe geliefert. Damit konnte die **Aktion Wismar** beginnen [6].

Wie schon vielfach beschrieben, entdeckten Deutsche und Engländer die reflektierende Wirkung eines Halbwellendipols etwa zu gleicher Zeit. Beide waren sich völlig bewußt, welche vernichtende Auswirkung diese auf das Arbeiten ihrer Radaranlagen haben konnte. Die Deutschen machten aus ihrem **Düppel** ein **Staatsgeheimnis**, und die Alliierten taten dasselbe mit **Window** oder **Chaff**. Erst am 24. Juli 1943 fühlten sich die Alliierten stark genug, ihr Geheimnis preiszugeben. Mit schrecklichen Folgen, wie uns die Geschichte gelehrt hat.

Düppel war auf deutscher Seite verboten. Hoffmann-Heyden erwähnt in einem Brief an den Verfasser, daß es bis zu dem schweren Luftangriff auf Hamburg ("the Hamburg disaster") im Juli 1943 auf deutscher Seite streng verboten war, über **Düppel** zu schreiben, Versuche anzustellen oder auch nur davon zu sprechen. Man beging den folgenschweren Fehler, Gegenmaßnahmen, um eventuellen Störungen zuvorzukommen, fast ausschließlich auf aktive Störsignale abzustellen⁴. Man ging davon aus, daß die Bedrohung in erster Linie von im Flugzeug mitgeführten Störsendern ausging. Daß die Gegenseite zunächst nicht auf aktive, sondern auf passive Störungen (**Window**) setzte, haben die Deutschen später mit der nahezu völligen Ausschaltung ihrer Anlagen büßen müssen.

Stendal A

Zu dieser Zeit wurden für die Erfassung von Flugzeugen noch häufig große Scheinwerfer eingesetzt. War ein Flugzeug einmal in einem Scheinwerferkegel gefangen, befand es sich in höchster Gefahr. Die Scheinwerfer erlaubten es der **Flak**, ihre Geschütze auf das Ziel zu richten. Gleichzeitig wurden die Piloten durch das sehr starke und grelle Licht geblendet und konnten in der Dunkelheit nichts mehr wahrnehmen. Es war darum verlockend, sich zunächst als Ziel zu setzen, den Einfluß der feindlichen Störtätigkeit auf das Richten der Scheinwerfer auszuschalten. Hierbei bediente man sich einiger sehr einfacher Kunstgriffe. Nehmen wir die in Fig.6 abgebildeten beiden Peilschirme im **ANG 62**. Der linke (Fig.4C) zeigt an, ob beide Signale gleich stark empfangen werden und ob die Antenne vertikal genau gerichtet ist. Der rechte (Fig.4B) zeigt die horizontale Peilung an. Sind auf beiden Schirmen gleiche Amplituden sichtbar, ist das Gerät genau auf das Ziel gerichtet.

Indem man nun einfach eine Röhre im Ablenkmodul **C** des **ANG 62** herauszieht, wird die horizontale Ablenkung der Bildschirme unterbrochen, vgl. Fig.8. Dabei bleibt der Ausschnitt (= sichtbarer Bereich) des e-Schirms unverändert; es ist jetzt nur leichter, trotz Vorliegen einer Störung zwei gleiche Amplituden einzustellen (Fig.3C,D), was nötig ist, um

⁴ Hoffmann-Heyden unterscheidet in [2] Entstörung zur Begegnung aktiver Störungen (= Blendung) und Enttrübung zur Begegnung passiver Störungen (= Täuschung). Wir verwenden hier einheitlich den Begriff Entstörung.

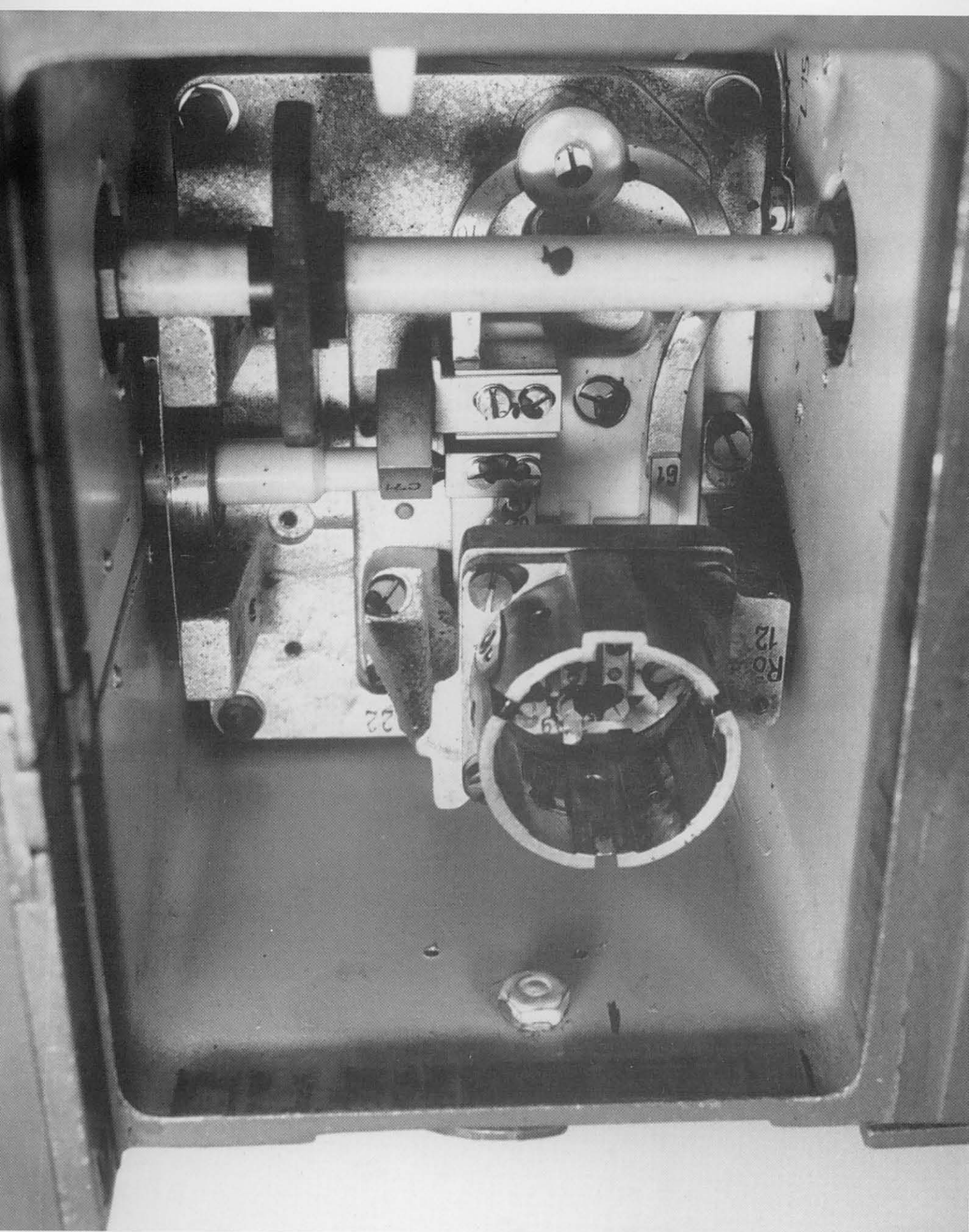


Abb.10 Michael-Überlagerer - Hier fotografiert im Original-Sendergehäuse des Michael-Geräts DMG 5. Der silberfarbene Block ist eine selbständige Einheit. Dieses Modul wurde später, in ein anderes Gehäuse eingebaut, im Würzburg-Gerät verwendet, wodurch die Aktion Wismar möglich wurde.

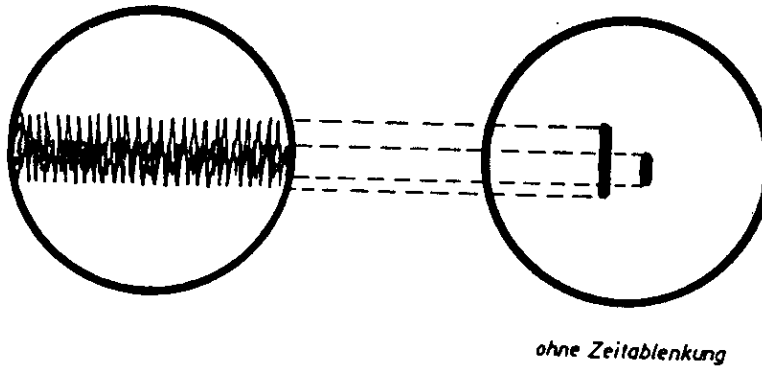


Fig.8 Stendal A - Links sieht man die gestörte Anzeige auf dem Peilschirm, rechts die Anzeige ohne horizontale Ablenkung. Durch Wobbeln des Signals, auf das der e-Meßimpuls eingestellt ist (EAG 62, Fig.4D), entstehen die beiden balkenartigen Signale. Beide Schirmbilder werden wieder durch den Wechsel links/rechts und oben/unten des Antennendiagramms bestimmt. Die Antenne ist hier zu weit nach links gerichtet.

wenigstens einigermaßen genau richten zu können. Die Peilgenauigkeit wurde bei diesem Verfahren stark reduziert, dennoch war es möglich, den Anflugkurs eines Flugzeugs ungefähr zu ermitteln [2].

Diese Schaltung wurde bereits im April 1942 durch die FAS III unter Leitung von Hoffmann-Heyden entwickelt; sie konnte in der Folgezeit noch verbessert werden. Dabei bediente man sich des im EAG 62 erzeugten e-Mess-Austastimpulses. Wie in Fig.6 zu sehen ist, sind die beiden Peilschirme des ANG 62 (Fig.4B,C) mit dem e-Schirm des EAG 62 (Fig.4D) verbunden. Auf diesem befindet sich der Dunkelpunkt stets in der Mitte des Bildschirms. Für eine ausführliche Beschreibung siehe Anhang D und [2].

Lediglich die Anzeigen auf den Peilschirmen im ANG 62 (Fig.4B,C) werden durch den Antennensektorschalter (Fig.2) laufend leicht aus der Mitte nach links und rechts verschoben, was sich dem Auge als Wobbeln darstellt.

Da die Ebene zwischen den beiden Signalen nicht deutlich zu unterscheiden ist, wird der letzte ZF-Verstärker nur während der e-Austastung (Fig.4D) freigegeben. Dadurch konnte die Schaltung derart ausgelegt werden, daß durch **Stendal A** das Bild wieder sehr der von früher vertrauten Anzeige auf dem Bildschirm entsprach, vgl. Fig.9. Gleichzeitig nahm die Peilgenauigkeit zu, und der Einsatz dieser Modifikation wurde von den Bedienungsmannschaften im allgemeinen begrüßt, auch wegen der ruhigen Anzeige. Deswegen wurde selbst bei ungestörtem Einsatz auf **Stendal A** umgeschaltet, vgl. Fig.10. Lediglich während der e-Austastung wurde die Helligkeit dann nicht unterdrückt, d.h. ein Schirmbild entstand nur während des e-Pulses als e-Meßanzeige, sonst war der Schirm dunkelgesteuert.

Stendal B

Wie wir gesehen haben, arbeitete das **Würzburg** mit einer sowohl horizontal wie vertikal polarisierten Antenne. Der Dipol durchlief beide Polarisations Ebenen zweimal je Umdrehung, vgl. [15] und Fig.2. Es lag somit auf der Hand, eine dieser Ebenen auszuschalten und mit der am wenigsten gestörten Ebene zu arbeiten.

Die Deutschen gingen davon aus, daß die Briten schnell versuchen würden, das **Würzburg** mit fliegenden Störsendern außer Gefecht zu setzen. Sie nahmen an, daß diese Sender eine Polarisations ebene (horizontal oder vertikal) bevorzugen würden. Es war dann nur logisch, nach einem Verfahren zu suchen, das beiden Möglichkeiten automatisch Rechnung tragen konnte.

Aus Untersuchungen wußte man, daß damit eine Verbesserung von bis zu 1:10 (20 dB) erreicht werden konnte. Wieder unter der Leitung von Hoffmann-Heyden wurden die ersten praktischen Versuche mit **Stendal B** bei der FAS III in Berlin-Heiligensee vorgenommen.

Um zu untersuchen, ob eine derartige Schaltung brauchbar war, wurde zusätzlich ein verstellbarer Schalter auf der Motorachse der Antenne angebracht. Dieser Schalter konnte von Hand um die Achse gedreht werden, um die Kontakte auf der horizontalen oder der vertikalen Ebene zu schließen. Dabei stellte man eine deutliche Verbesserung der Anfälligkeit gegen Störungen fest.

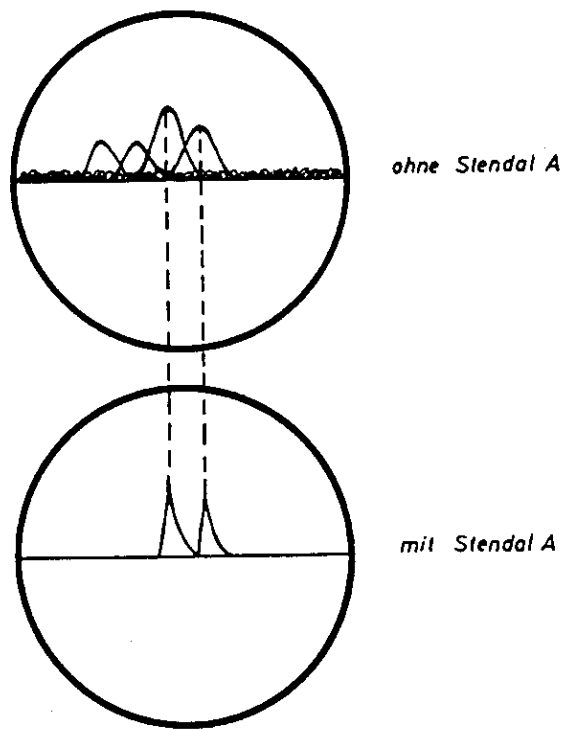


Fig.9 Stendal A - Obere Anzeige ohne, untere mit Stendal A. Die Darstellung auf dem Bildschirm zeigt hier viel Ähnlichkeit mit dem von früher gewohnten Bild.

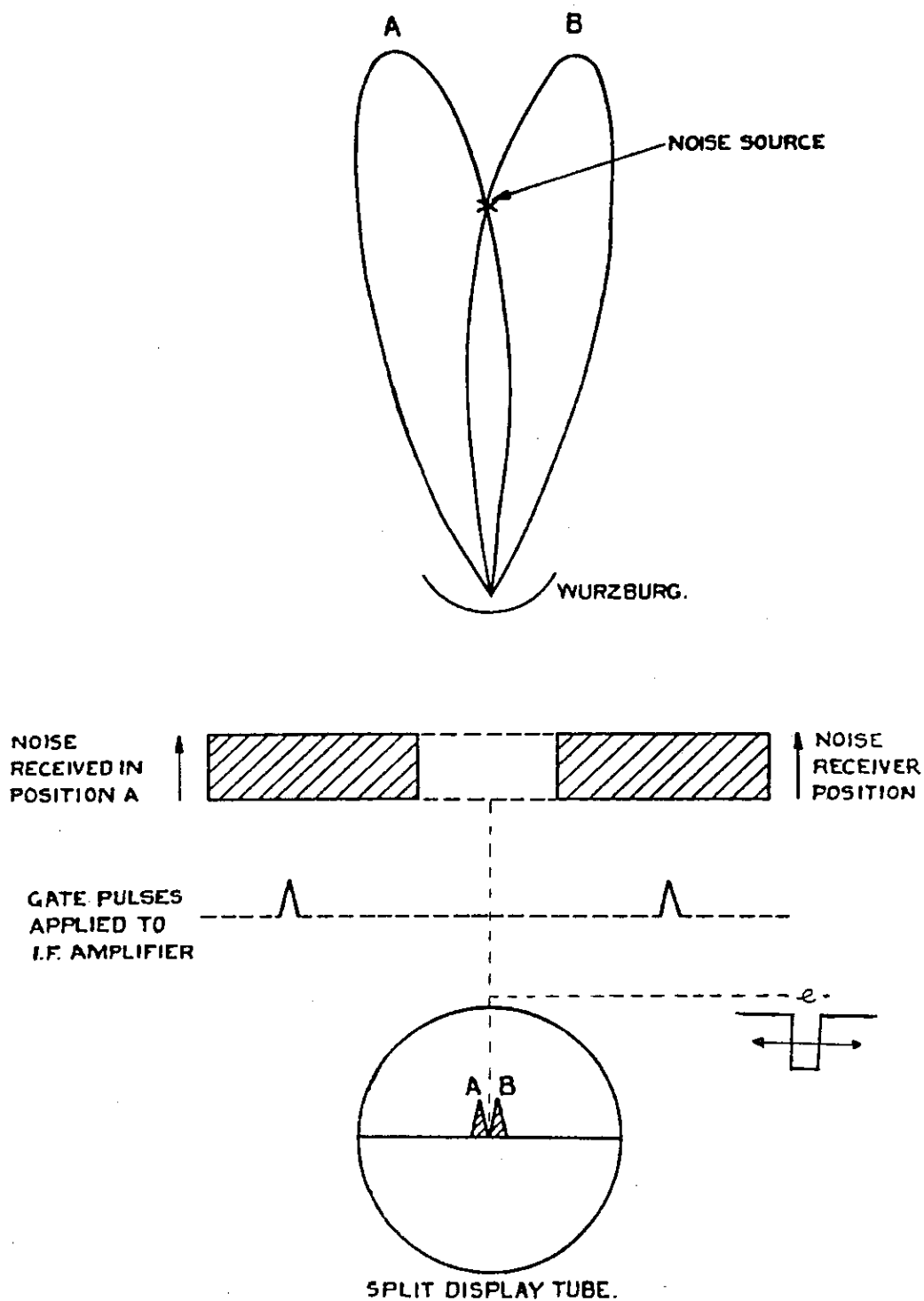


FIG. 10 PRINCIPLE OF STENDAL 'A' D/F

Fig.10 Stendal A - Die weiße Lücke zwischen den schraffierten Feldern macht einen kleinen Teil des gesamten Meßbereichs aus, und das nur während des e-Meßimpulses. Ausgewertet wird nur der Teil des Meßbereichs, der in der e-Meßanzeige eingestellt ist (vgl. Fig.4E), außerhalb dieses freigegebenen Bereichs bleibt der ZF-Verstärker gesperrt.

Der Schalter steuerte die Helligkeit des e-Meß-Schirms (Entfernungsmessung im EAG 62). Jeweils beim Durchlaufen der gewählten Polarisationssebene wurde die Helligkeit erhöht. Die Helligkeit selbst wurde durch die rotierende Antenne (1.440 U/min) zweimal in der Sekunde ein- und ausgeschaltet. Die 2 x 24 ergaben 48 Hz und damit ein flimmerfreies Schirmbild. Ein deutlicher Nachteil war indessen, daß nur auf einer Ebene/Achse gepeilt werden konnte, was große Einschränkungen mit sich brachte. Aber unter den gegebenen Umständen hatten die Deutschen keine andere Wahl. Bevor bessere Lösungen verfügbar wurden, mußten neue Techniken erfunden werden.

Telefunken entwickelte binnen kurzer Zeit die sogenannte **Polarisationsblende Goldammer**, womit **Stendal B** entstand, vgl. Abb.11 und Fig.11.

Ein Verstärker in der **Goldammer** verstärkte das aus dem ZF-Verstärker stammende 6,5-MHz-Signal und lieferte es an einen Dioden-Demodulator. Die Ausgangsspannung wurde über eine Zeitkonstante gefiltert, die im Verhältnis zu Änderungen des Empfangssignals relativ groß bemessen war und somit der Umdrehungszahl des Dipols und der PRF Rechnung trug. Der **Inhalt** des empfangenen Radarsignals hatte demzufolge nahezu keinen Einfluß auf die gleichgerichtete und dann gesiebte Ausgangsspannung, weil nur Signale längerer Dauer durch diesen Tiefpaßfilter durchgelassen wurden.

Traten Störungen auf, dann waren die gestörten Signale sehr viel stärker als die reflektierten Flugzeugsignale. Wenn nun die rotierende Antenne die beiden Polarisationssebenen durchlief, ergab sich am Ausgang des Tiefpaßfilters eine Art Wechselspannung. In Fig.11 ist oben das demodulierte, aber noch nicht gefilterte Empfangssignal zu sehen, wobei die weniger starken Signalstellen der weniger gestörten Polarisationssebene entsprechen, darunter die Wechselspannung am Ausgang des Tiefpaßfilters.

Diese "umhüllende" Wechselspannung wurde nun so aufbereitet, daß sie zum richtigen Zeitpunkt einen Hellstimpuls für die Peilschirme des ANG 62 (vgl. Fig.4B,C) freigab, mit anderen Worten: der Hellstimpuls wurde von der Hüllkurve abgeleitet (Fig.11). Fig.12 zeigt einen Ausschnitt für eine Periode; man erkennt zwischen der zu unterdrückenden (= gestörten) Polarisationssebene, durch gestrichelte Linien begrenzt, die bevorzugte (= weniger gestörte) und als Hellstastsignal verwendbare Polarisationssebene.

Dadurch erreichte man, daß sich nur der ungestörte Peilschirm aufhellte. Die Anfälligkeit gegen Störungen konnte damit im Durchschnitt auf 1/3 bis 1/6 reduziert werden.

Da man annahm, daß nach der Durchführung der Aktion **Wismar** die größten Schwierigkeiten gelöst waren, wurden die **Goldammer**-Zusatzgeräte wieder aus den **Würzburg**-Anlagen entfernt. Die Einzelteile wurden später für nachfolgende Modifikationen verwendet.

Erst gegen Ende 1943/Anfang 1944 setzten die Alliierten fliegende Störsender in großem Maßstab ein. Aber zu diesem Zeitpunkt waren die Geräte schon verschrottet.

Laus

Das ist die Bezeichnung eines Demodulationsverfahrens, mit dem bewegliche von festen Radarzielen unterschieden werden können (MTI= Moving Target Indication).

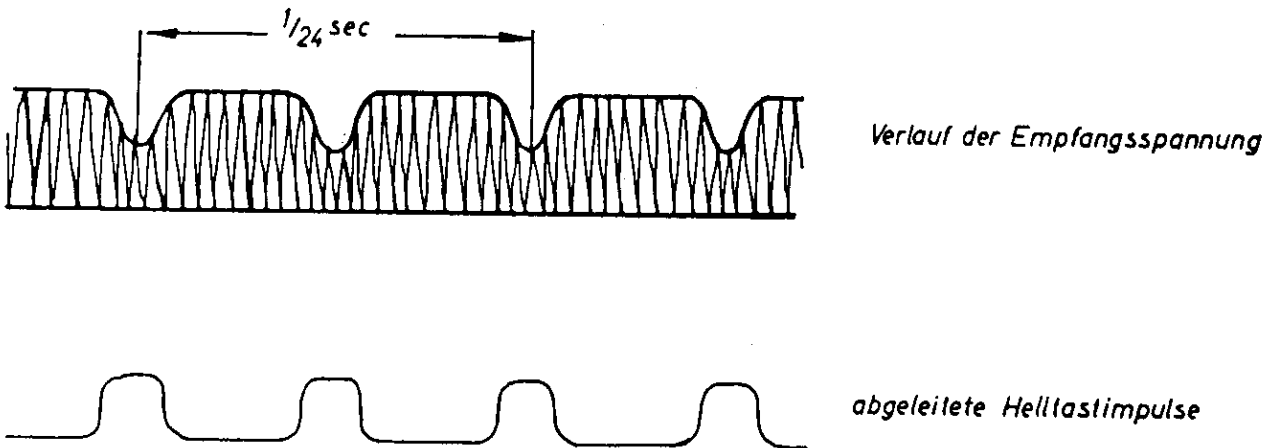


Fig.11 Stendal B (Goldammer) - Die "dips" im oberen Bild entstehen dadurch, daß der rotierende Dipol abwechselnd horizontal und vertikal polarisierte Signale empfängt. Die Goldammer-Schaltung bereitet das Signal derart auf, daß nur bei Durchlaufen der Ebene/Achse mit der geringsten Störung eine Hellastung ausgelöst wird. Dadurch ist es möglich, nur in einer (ungestörten) Polarisationssebene, also entweder der horizontalen oder der vertikalen, zu messen.

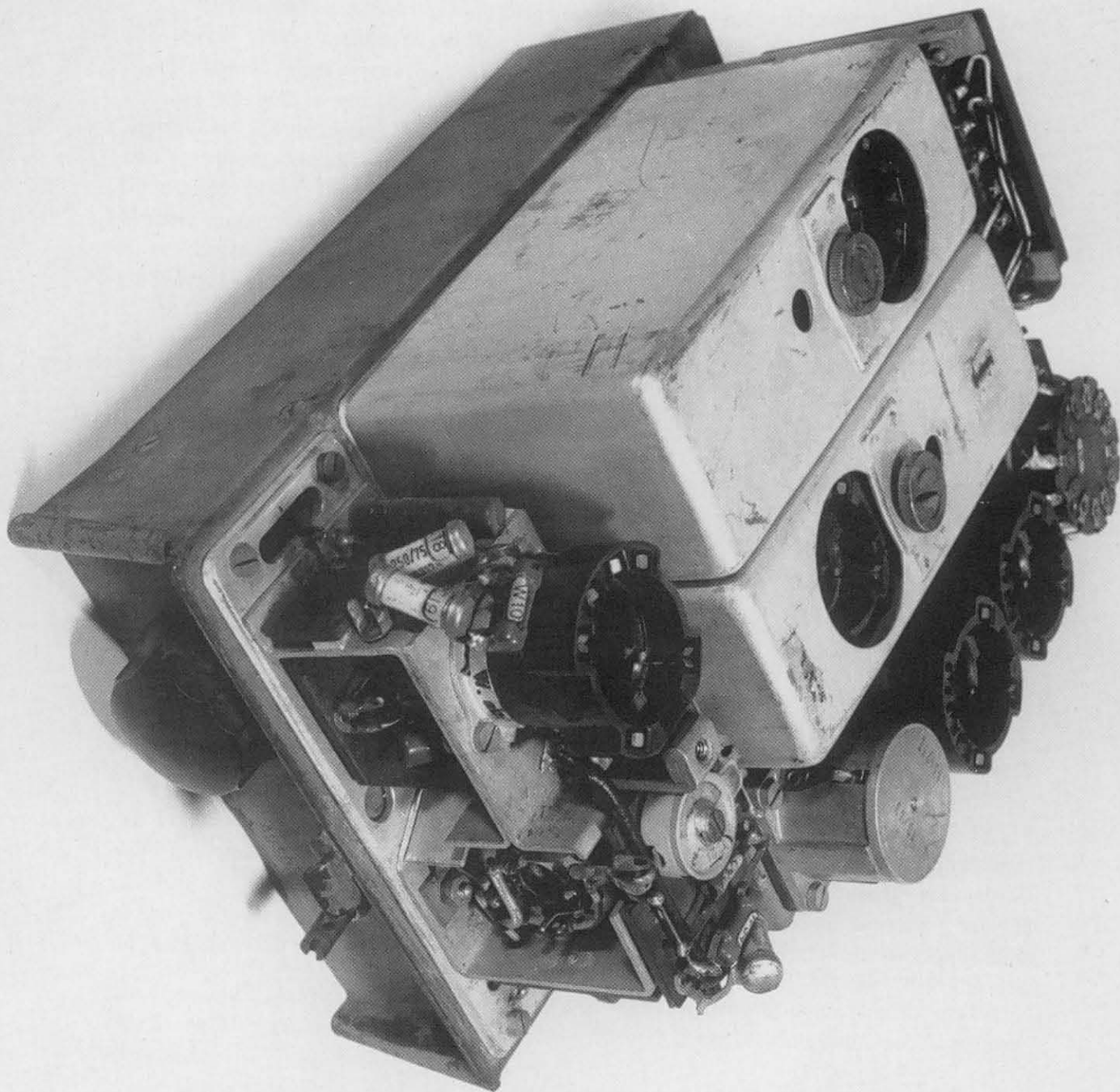


Abb.11 Goldammer mit abgenommener Haube und Abschirmbecher - Etwas versetzt oberhalb des flachen keramischen Trimmers ist die Demodulationsdiode in ihrer Metallfassung sichtbar. Deutlich erkennbar ist die Aufschrift "Ausblendung" unter der Potentiometerachse (Knopf fehlt).

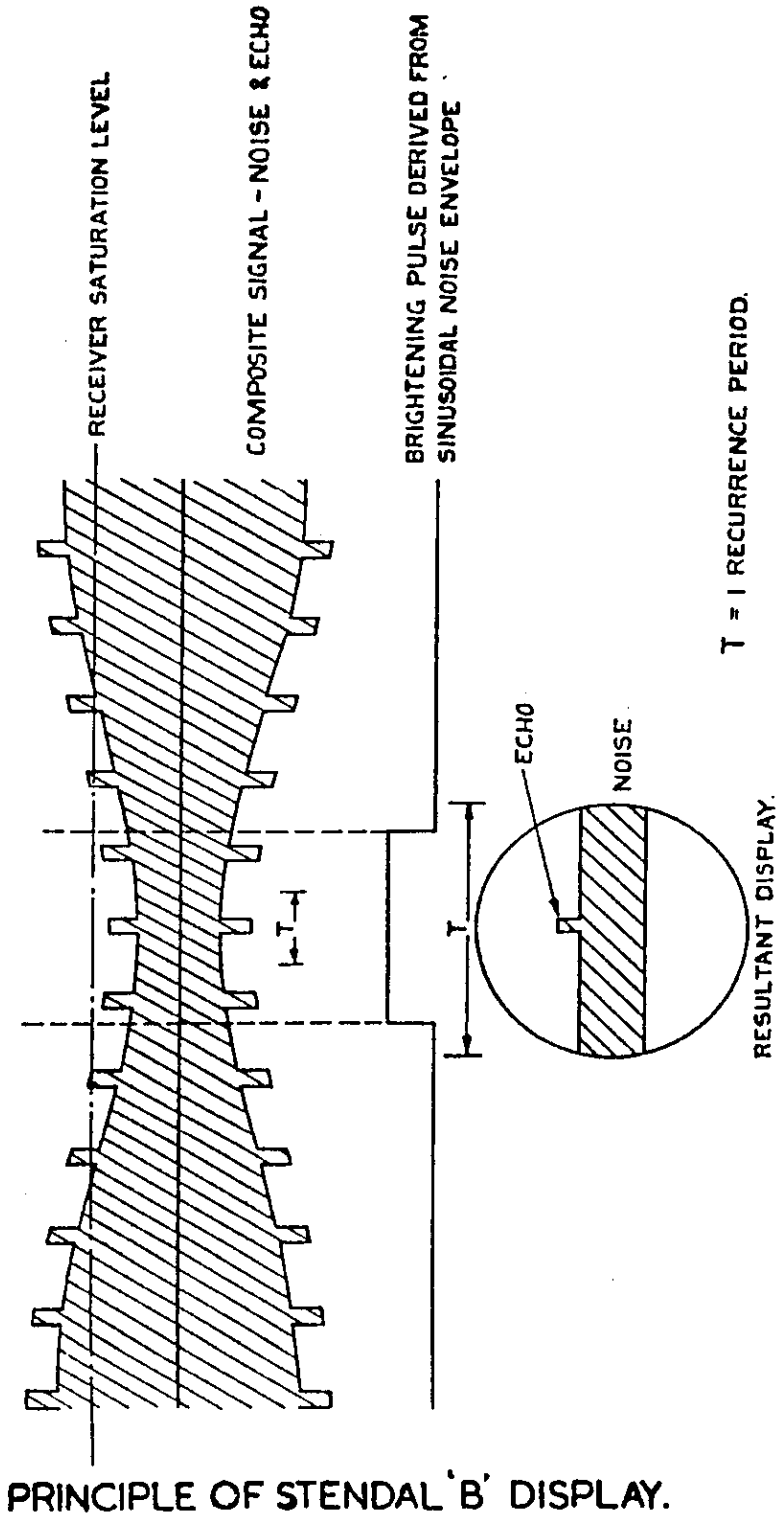


Fig.12 Stendal B - Die Zeitdauer T wird erzeugt durch die EFB 62 Goldammer Polarisationsblende und entspricht etwa der Polarisations Ebene mit den geringsten Störungen. Die Antennenrotation verursachte beim Durchlaufen von horizontaler und vertikaler Polarisation ein Störsignal, bei dem lediglich der Gesamtinhalt pro Zeiteinheit von Belang war, nicht hingegen die eigentlichen Radarsignale. Es war ja zu erwarten, daß zwischen den beiden Polarisierungen ein Unterschied in den Störungen auftreten würde. Dieses alternierende Signal wurde so aufbereitet, daß nur während T der Peilschirm freigegeben werden konnte. Vgl. auch Fig.11.

Dieses Verfahren bedient sich eines von einem zusätzlichen Hilfssender abgeleiteten Referenzsignals (Phaselock), das um einen gewissen Betrag von der Arbeitsfrequenz des Impulssenders abweicht und so im ZF-Detektor mit dem reflektierten Radarsignal eine Schwebung (Beat) erzeugt. Dieses Schwebungssignal wird genutzt.

Bei der Reflexion von einem festen Ziel bleiben Referenzsignal und Echo phasengleich, das Schwebungssignal bleibt unverändert und erscheint auf dem Peilschirm als "Schlängel". Anders bei einem sich bewegenden Ziel. Hier bewirkt der **Doppler-Effekt** eine Änderung der Schwebungsfrequenz, und das Schwebungsbild erfährt eine Phasenänderung in Abhängigkeit von der Radialgeschwindigkeit des Ziels, was ihm ein charakteristisches Aussehen (**Laus**) verleiht.

Die Phasen-Wiederholungsfrequenz, d.h. das Intervall, nach dem sich die gleiche Phasenlage wiederholt, bemißt sich nach der folgenden Formel:

$$F(\text{ph}) = \frac{2 V_e}{\text{Wellenlänge}} ; \quad F(\text{pH}) \text{ in Hz, } V_e \text{ m/sek, Wellenlänge m .} \quad (2)$$

Nehmen wir als Beispiel eine Wellenlänge von 50 cm (600 MHz) und eine V_e von 100 m/sek. Dann beträgt der Abstand zwischen Perioden gleicher Phase als Folge der Radialgeschwindigkeit 400 Hz, was im Verhältnis zur Arbeitsfrequenz sehr wenig ist.

Das menschliche Auge ist nicht in der Lage, Phasenänderungen des Schwebungsbilds bei Frequenzen oberhalb von 10 Hz zu folgen. Die ständige Veränderung der Phasenlage läßt auf dem Schirm ein Muster von Linien entstehen, deren Bewegungen nicht wahrgenommen werden können und die sich dem Auge so darstellen, als ob sie übereinander liegen würden. Vermutlich hat man das entstehende Bild mit Läusen in Verbindung gebracht und daher die Bezeichnung **Laus** gewählt.

Schon 1940 wurden an der Universität Hamburg Versuche unternommen, sich bewegende von sich nicht bewegenden Zielen zu unterscheiden. Im Frühjahr 1943, also noch vor dem schweren **Angriff auf Hamburg** am 24./25.7.1943, wurden praktische Erprobungen durch **Fack** durchgeführt.

Sein erstes Projekt (vgl. Fig.13) bediente sich eines besonderen Hilfssenders (Phasenregulier-Senders), der auf 200 kHz oberhalb der Arbeitsfrequenz von 560 MHz abgestimmt war ($560 + 0,2 = 560,2$ MHz). Die Frequenzdifferenz fällt noch in die ZF-Durchlaßkurve und kann so demoduliert werden. Der Hilfssender bestimmt jeweils den Beginn des Radar-Sendertastimpulses (**Phaselock**). Nach dem Ansteigen der Senderamplitude macht der Sender einen kleinen Frequenzsprung und arbeitet auf seiner ursprünglichen Eigenfrequenz weiter, wobei bei jeder neuen Periode die Phase des Hilfsoszillators die Anfangsphase bestimmt (eine Beschreibung findet sich in [2, S.183] und Anhang A).

Der ständig schwingende Hilfssender strahlt während der Empfangsperiode weiter (CW, Sender gesperrt). Dieses Signal wird deswegen durch den Empfänger des Würzburg gleichzeitig erfaßt. Das von einem beweglichen Objekt reflektierte Signal enthält einen dopplermodulierten Anteil. Der Empfänger verstärkt beide Signale in der ZF und mischt am Ausgang der Demodulationsstufe sowohl das Mischprodukt der beiden Signale, z.B. $560,2 - 560$ MHz = 200 kHz, wie auch das dopplermodulierte Signal. Fig.14 zeigt deutlich, was nach dem

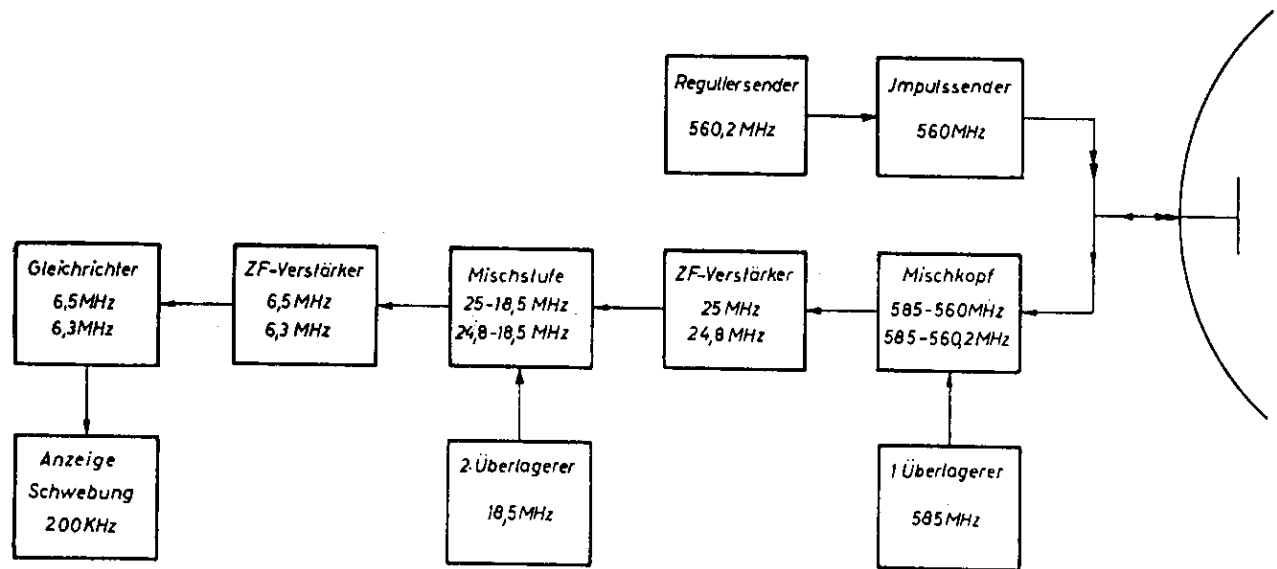
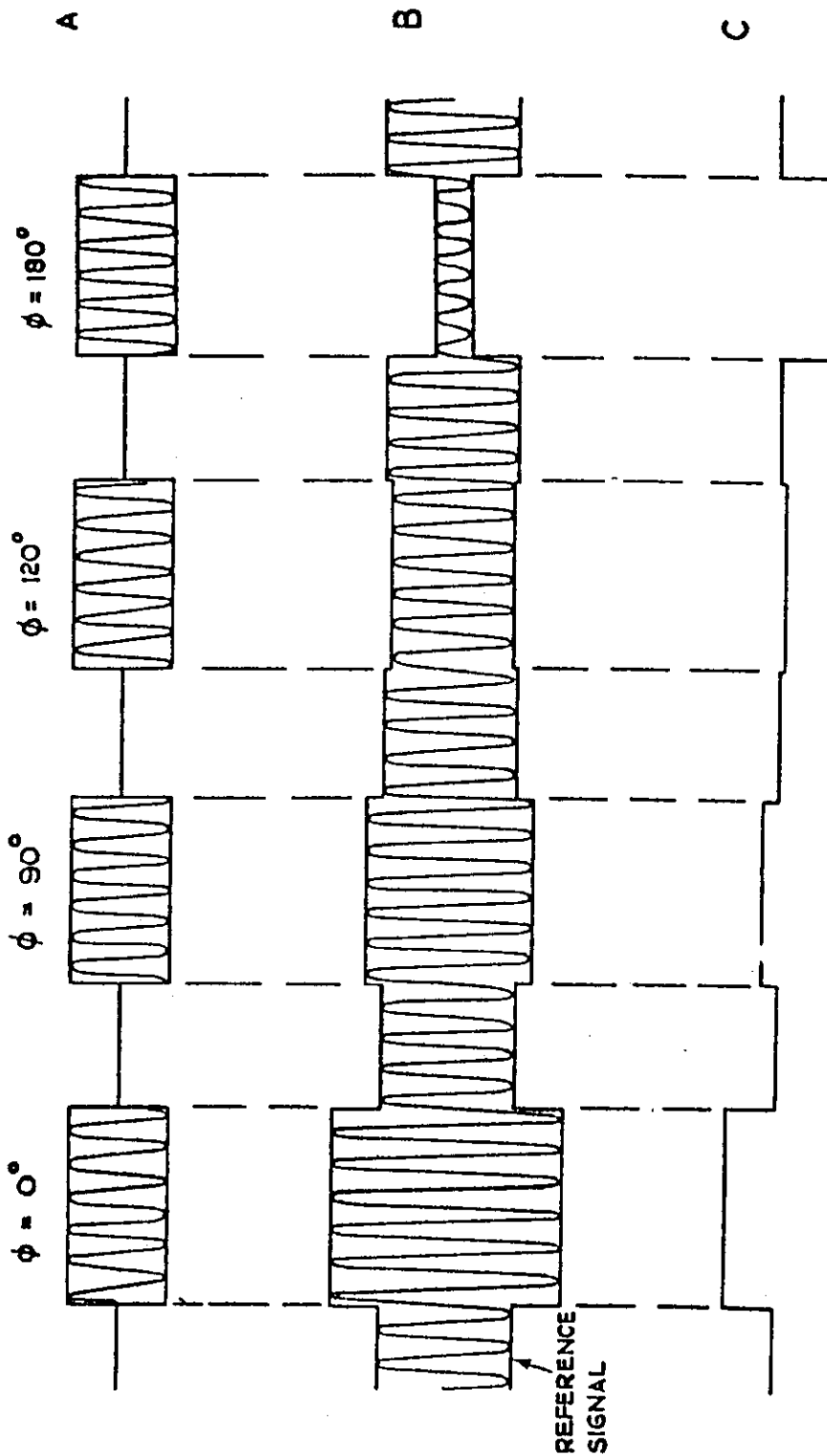


Fig.13 Erstes Blockschaltbild für die Phasenregulierung (Phaselock) - Mit dieser Anordnung wurden die ersten Laus/Würzlaus-Versuche durchgeführt. Das Signal des Regullersenders strahlt während der Sendepause zum Empfänger durch, passiert zusammen mit dem reflektierten Signal den gesamten ZF-Verstärker und läßt nach der HF-Gleichrichtung die Laus-Schwebungen (Beat) entstehen.



A:- RECEIVED PULSES BEFORE MIXING WITH REFERENCE SIGNAL. (PHASE CHANGE DUE TO ASSUMED MOTION OF TARGET)
 B:- RECEIVED PULSES AFTER MIXING WITH REFERENCE SIGNAL.
 C:- ENVELOPE AS SEEN AT DETECTOR OUTPUT.
 NO APPRECIABLE PHASE CHANGE IS ASSUMED TO TAKE PLACE DURING THE PERIOD OF THE PULSE.

PRINCIPLE OF WURZLAUS DISPLAY (I)

Fig. 14 Entstehung des Laus-Signals durch Dopplermodulation, am Videodetektor gemessen - In dieser grafischen Darstellung ist A das in der Phase wechselnde Dopplersignal, B das Signal, das durch Mischen (Überlagern) mit dem Schwebungs-(Beat-)Signal entsteht. Zwischen den Meßwerten auf 0°, 90° usw. erkennt man in B die Einkopplung des 6,3-MHz-Hilfssendersignals. Die Addition von Laus- und Hilfssender-(Regulier-)Signalen ergibt nach Gleichrichtung die Hüllkurve C. Nach Eliminierung der DC-Komponente wird dieses Videosignal dem Radarschirm zugeführt.

vektoriellen Addieren (abhängig vom Vorzeichen bzw. durch einfaches Überlagern) mit dem Signal geschieht. Fig.15 gibt das Ergebnis auf dem Radarschirm wieder, wobei A ein in der Phase verändertes, B ein nicht in der Phase verändertes Signal ist.

Bei den grundsätzlichen Untersuchungen ergaben sich noch eine Reihe von praktischen Problemen. Wie wir gesehen haben, wurde alles daran gesetzt, die Aktion Wismar (das schnelle Umschalten auf eine andere Radarfrequenz) frontreif zu machen.

Aber das war bei diesem Projekt nur beschränkt möglich. Einen freischwingenden Oszillator bei einer Frequenz von 560 MHz auf 200 kHz genau einzustellen, war in jenen Tagen unter Gefechtsbedingungen kaum realisierbar. Das hätte ein Zuviel an **Fingerspitzengefühl** auf seiten der Bedienungsmannschaft verlangt. Dabei mußte gleichzeitig die Amplitude des Signals des Hilfssenders (560,2 MHz) überprüft und genau eingestellt werden (auf $\approx 0,034\%$ genau!).

Bei (beinahe) allen Laus-Varianten wurde das Interferenz-Prinzip beibehalten; man hat allerdings mit verschiedenen Methoden versucht, eine einfache und leichte Bedienung zu erreichen.

Die Grenzen des Laus-Verfahrens lagen bei Dopplerfrequenzen zwischen 100/200 und 700 Hz einerseits und Geschwindigkeiten von 100/190 bis 630 km/h andererseits. Die Antennenstörung von 24 Hz lag hinreichend weit entfernt von den unteren Dopplerfrequenzen, während die oberhalb des Durchlaßbereichs von 100 bis 700 Hz auftretenden Störungen - sie entstanden durch die Impulswiederholungsfrequenz (PRF) von 3.750 Hz - durch Filterung weitgehend eliminiert werden konnten; es entstanden so keine Probleme.

Wie bereits gesagt, wurden bei **Stendal A** und **B** besondere Schaltungsmaßnahmen gegen Polarisationsstörungen entwickelt, vgl. Fig.10 und 12. Nachdem aber Stendal und Laus nicht miteinander zu kombinieren waren, wurde das letztere System wieder aus dem Verkehr gezogen (abgebaut). Auch hier wurden die Einzelteile für verschiedene Modifikationen weiterverwendet. Man muß sich vergegenwärtigen, daß die Modifikation eines Einzelteils für die 5.500 Würzburg-Geräte der verschiedenen Varianten die Bereitstellung und den Einbau von ebenso vielen Teilen erforderlich machte!

Steinhäger-Würzlaus

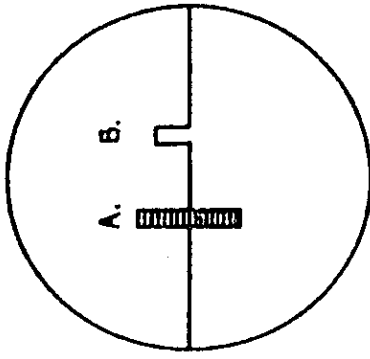
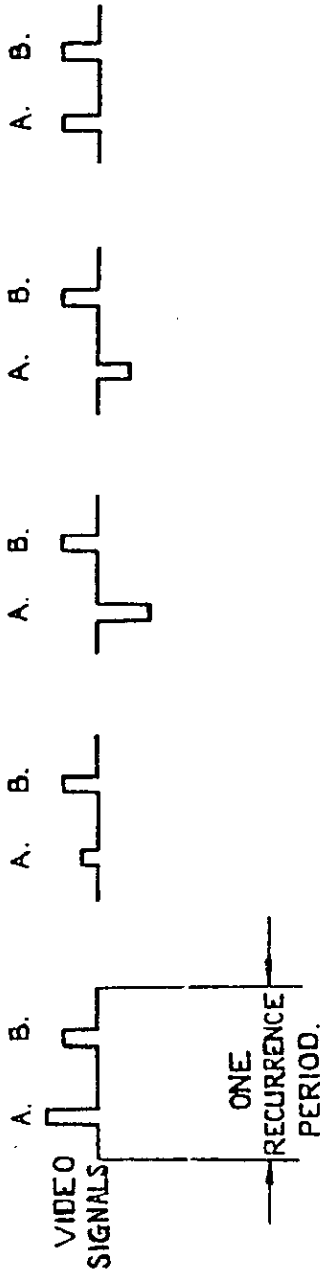
Bereits 17 Tage nach dem **Angriff auf Hamburg** wurden die ersten Versuche mit einem quartzesteuerten Hilfssender durch Dr. Schulze durchgeführt. Diese Versuche sollten die Brauchbarkeit des **Laus-Verfahrens** beweisen. Aber mit Rücksicht auf Wismar konnte für den operativen Einsatz eine Quarzsteuerung nicht ins Auge gefaßt werden.

Phasenregulierung Fack I

Die Wirkungsweise unterscheidet sich von Facks erster Version darin, daß der Hilfssender (Reguliersender) nun eine Frequenzdifferenz von 1 MHz hat, wodurch ein zweiter ZF-Verstärkungszweig nötig wird (Fig.16). Nachdem im ZFV 62 zwei Zwischenfrequenzen verwendet werden (25 MHz und 6,5 MHz), muß der Mischoszillator von 18,5 MHz beiden

A = MOVING TARGET, EXHIBITING CHANGE OF PHASE BETWEEN
 RECURRENCE PERIODS, AS SHOWN IN FIG. 14

B = FIXED TARGET, OF CONSTANT PHASE.



RESULTANT DISPLAY, TAKING
 INTO ACCOUNT PERSISTENCE
 OF VISION.

FIG. 15

Fig. 15 Entstehung der Laus-Anzeige auf dem Radarschirm - A ist das die Phase wechselnde Dopplersignal (MTI), dessen Entstehung Fig. 14 zeigt, B ist das nicht phasenmodulierte Signal (Festziel). Die A-Signale erscheinen dem trägen Auge als übereinanderliegend und ergeben ein seltsames Gebilde, das "Laus" genannt wurde.

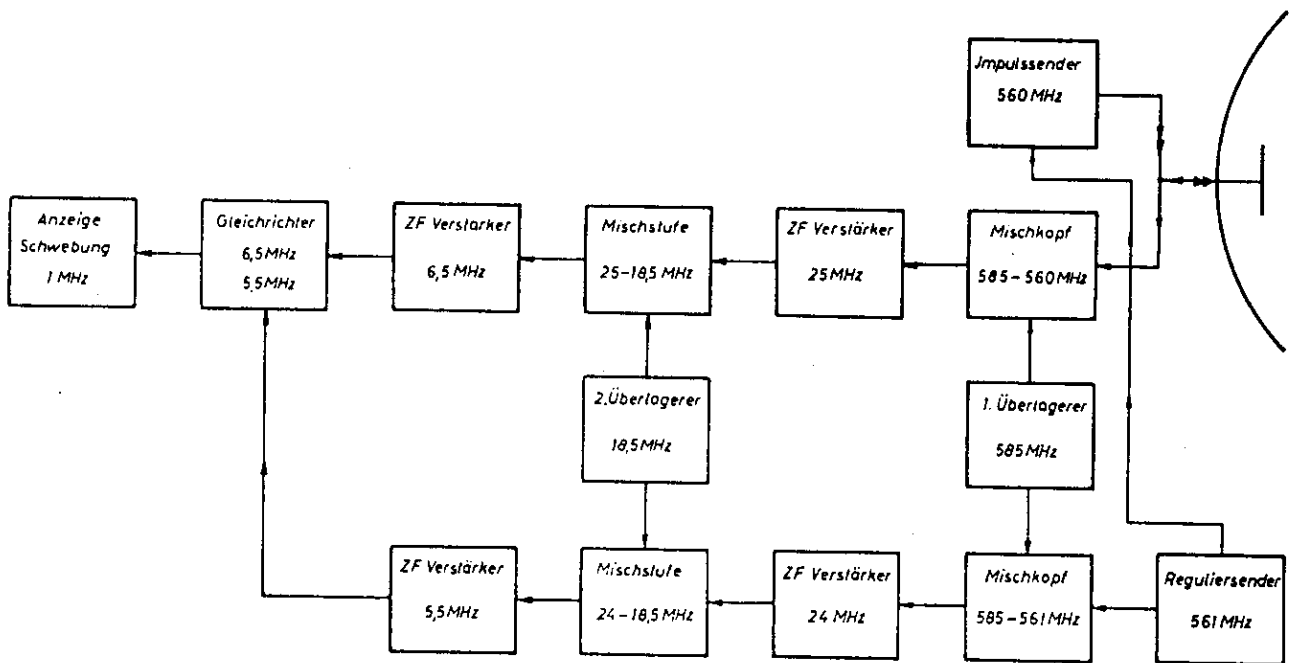


Fig. 16 Fack I - Rechts unten befindet sich der Reguliersender (Phaselock oscillator), mit dem alle Signale in Phase gekoppelt (=kohärent) sind.

gemeinsam sein, da sonst ein kohärentes Video nicht möglich ist. Aus dem Blockschaltbild geht hervor, daß in diesem Fall zwei Mischstufen erforderlich sind, eine ziemlich umständliche Methode.

Versuche hatten übrigens ergeben, daß mit einer Frequenzdifferenz von 200 kHz durchaus zufriedenstellende Resultate zu erzielen waren, und daß man deswegen leicht mit einem ZF-Verstärker auskommen konnte.

Phasenregulierung Fack II

Diese Vereinfachung brachte eine Reihe von deutlichen Veränderungen mit sich (Fig.17). Der phasenregulierende Hilfssender arbeitet jetzt auf der deutlich tieferen Frequenz von 24 MHz. Wir sehen, daß der Empfangsoszillator mit dem 24-MHz-Signal moduliert wird. Dabei entstehen zwei Seitenbänder, wovon eins für die Phasenregulierung des Impulssenders (IS) gebraucht wird; das zweite liegt viel zu weit von der Sendefrequenz entfernt, um diese noch beeinflussen zu können. Die Gefahr des "Mitgezogenwerdens" durch die große Signalamplitude des Senders besteht hier nicht.

Wie schon bei Fack I wird das 18,5-MHz-Signal gemeinsam verwendet, so daß, wenn die 18,5 MHz "weglaufen", das für beide Zwischenfrequenzen in gleichem Maß gilt und so kein Meßfehler entsteht. Nimm die Frequenz z.B. den Wert 18,6 MHz an, dann änderten sich zwar beide Signale um + 100 kHz, die Schwebungsfrequenz blieb aber gleich (die beiden ZF betragen dann 5,6 bzw. 6,6 MHz, was wiederum 1 MHz Schwebung erzeugte). Das Mischprodukt von $24 - 18,5 = 5,5$ MHz wurde erst verstärkt und dann demoduliert. Auch hier war die Laus-Frequenz um 1 MHz (Beat) gegenüber der ZF verschoben. Der Grund für diese hohe Frequenzverschiebung lag darin, daß so das kohärente Signal den ZF-Verstärker nicht übersteuern konnte, denn diese Gefahr war bei der gemeinsamen Verwendung eines ZF-Verstärkers für zwei Signale durchaus vorhanden.

In Verbindung mit der forcierten Einführung einer schnellen Frequenzverstellung hatte Dr. Schulze den Einfall, hier ebenfalls auf den Michael-Überlagerer zurückzugreifen - eine einfache und schnelle Lösung in Anbetracht des drängenden Düppel-Problems. In der Folge kamen Michael-Überlagerer als Reguliersender (Phaselock) in großem Umfang zum Einsatz (vgl. Abb.10). Diese Geräte eigneten sich ebenfalls gut für den Gebrauch als Reguliersender (Phaselock). Um einem "Mitgezogenwerden" des Hilfssenders zuvorzukommen, verwendete man ein Oszillatorsignal auf $1/3$ bis $1/4$ der Arbeitsfrequenz. Hierdurch wurde es auch möglich, direkt mit einem Abstimmknopf die Wismar-Bänder **A, B und C** (= die Inseln A, B und C) zu überstreichen, siehe Abb.12. Diese erste Lösung ergab einen Signal-Störabstand von 9 dB.

Hierbei nahm man unter dem Druck der Kriegsverhältnisse verschiedene Unzulänglichkeiten in Kauf. Dazu gehörte das schwierig einzustellende Hilfssendersignal, das so beschaffen sein mußte, daß sich der Sender des Würzburg stabil darauf "locken" konnte und daß die Einstrahlung auf den Empfänger nicht das zulässige Maß überstieg, denn sonst wäre die Anlage zu unempfindlich geworden.

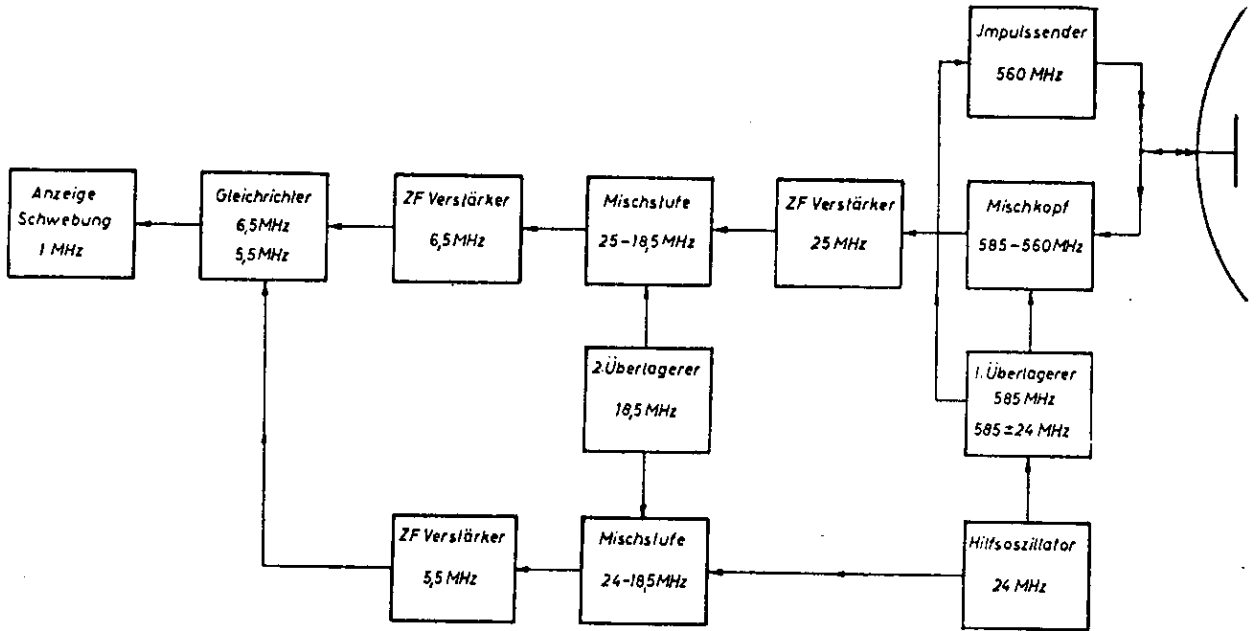


Fig.17 Fack II - Der 24 MHz-Oszillator rechts unten ist die kohärente Signalquelle, mit der alle Signale phasenstarr verbunden sind.

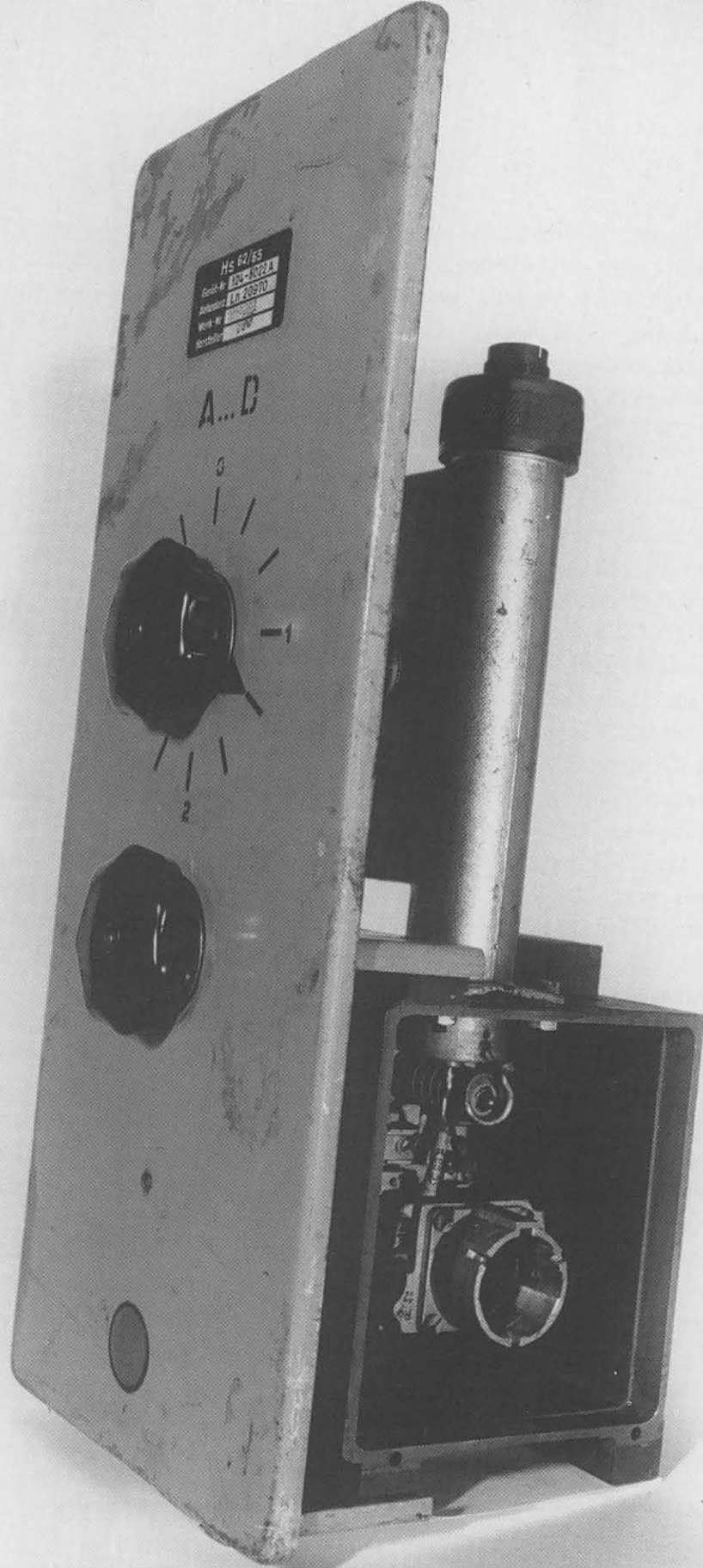


Abb.12 Hilfs-/Reguliersender (Phaselock) HS 62/65 - Wie aus der Typenbezeichnung hervorgeht, wurde dieser Sender sowohl beim FuG 62 als auch beim FuG 65 verwendet. In dem senkrechtstehenden Rohr befindet sich der kapazitive Spannungsteiler, mit dem die Einspeisespannung für den S 62 über den oberen Knopf genau dosiert werden konnte. Mit dem unteren Knopf wurde die Frequenz eingestellt. - Das hier abgebildete Gerät war, wie auf der Frontplatte deutlich zu erkennen ist, für den Betrieb auf den Inseln A bis D vorgesehen. Im Gegensatz zu den Inseln A - C ist über die Insel D nicht viel bekanntgeworden; dem Vernehmen nach lag sie bei ± 450 MHz.

Ein anderes gravierendes Problem trat in der Nachbarschaft von großen Flak-Batterien auf. Die beim Schießen entstehenden Stoßwellen lösten eine starke FM-Modulation aus, durch die alle Signale gleichsam "gelaust" wurden! Hinzu kam, daß der rotierende Dipol hinderliche Störungen erzeugte; er verursachte nämlich eine Störung auf 24 Hz (bei 1.450 U/min), da zweimal die horizontale/vertikale Antennenachse durchlaufen wurde (Fig. 1 und 2). Man suchte mit allen Mitteln nach Abhilfe für diese Nebenwirkungen.

Tastlaus

Das Resultat dieser Bemühungen war die von Dr. H. Pöhlmann entwickelte Lösung, **Tastlaus** genannt, die im Frühjahr 1944 frontreif war. Zur gleichen Zeit begannen die Deutschen mit der Einführung bei der Truppe (Fig. 18,19 und 19a).

Das Herz des Systems war der auf 6,3 MHz schwingende kohärente Oszillator (bei der endgültigen Ausführung). Alle durch Laus beeinflussten Signale wurden mit diesem Signal phasengekoppelt (kohärent). Gleichzeitig kam man wieder auf die Schwebungs-(Beat-)Frequenz von 200 kHz zurück. Wie man sieht, wurden die im zweiten Oszillator von 18,5 MHz, der sich innerhalb des ZF-Bausteins (Block E) befindet, erzeugten Schwingungen mit dem kohärenten 6,3-MHz-(Master-)Signal gemischt. Diese Mischstufe ($18,5 + 6,3 = 24,8$ MHz) wurde durch einen Impuls aus der Impulszentrale **IG 62** freigegeben (getastet). Durch den dort in einer Vorstufe erzeugten Tastimpuls steht vor der Freigabe des Senders garantiert ein phasenregulierendes (phaselocking) Signal zur Verfügung. Im ersten Überlagerer des Empfängers werden, wiederum durch Mischen, zwei Seitenbänder erzeugt. Eins dieser Seitenbänder hat dann eine Frequenz, die 200 kHz von der Sendefrequenz abweicht und dazu dient, die Phase des Sendersignals zwingend zu bestimmen (Phaselock).

Vor der Demodulations-/Gleichrichterstufe wird das 6,3-MHz-Signal in die niedrige Zwischenfrequenz (6,5 MHz) eingespeist (Block G des ZF-Verstärkers). Das ursprüngliche 6,5-MHz-Signal wird in der Demodulationsschaltung mit dem 6,3-MHz-Signal gemischt. Am Ausgang des Demodulators liegt dann immer eine Gleichspannungs-(DC-)Komponente und das 200-kHz-Beat-Signal an. Wenn sich nun unter den vielen Signalen ein dopplermoduliertes Signal befindet, ergibt sich, abhängig von der augenblicklichen Phase, eine Addition oder Subtraktion (vgl. Fig. 14, wo deutlich die Additions-/Subtraktionsergebnisse sichtbar sind). Da jedoch durch die Geschwindigkeit des Flugzeugs ein schnell die Phase änderndes Signal empfangen wird, werden die wechselnden Amplituden durch das träge Auge als **Laus** wahrgenommen (Fig. 15A).

Diese Schaltung (Tastlaus) war einfacher zu bedienen und erlaubte es, schnelle Frequenzwechsel vorzunehmen, sie war damit "Wismar-fähig".

Wie wir bereits gesehen haben, ergab das zweimalige Durchlaufen der horizontalen und vertikalen Polarisationsachse eine 24-Hz-Störung. Um sich schnell zu behelfen, wurde ein Kniff angewendet. Der Antennensektorschalter auf der Achse des Dipol-Motors, der bei den links/rechts- und oben/unten-Peilungen die Antennenposition rückmeldete (H-G-F in Fig. 2A) wurde gleichzeitig dafür eingesetzt, den Übersichtsschirm im ANG 62 (Fig. 4A, LB 13/40, vgl. Abb. 4), aber nur für eine Koordinatenebene, freizugeben. Die Peilschirme, mit denen die

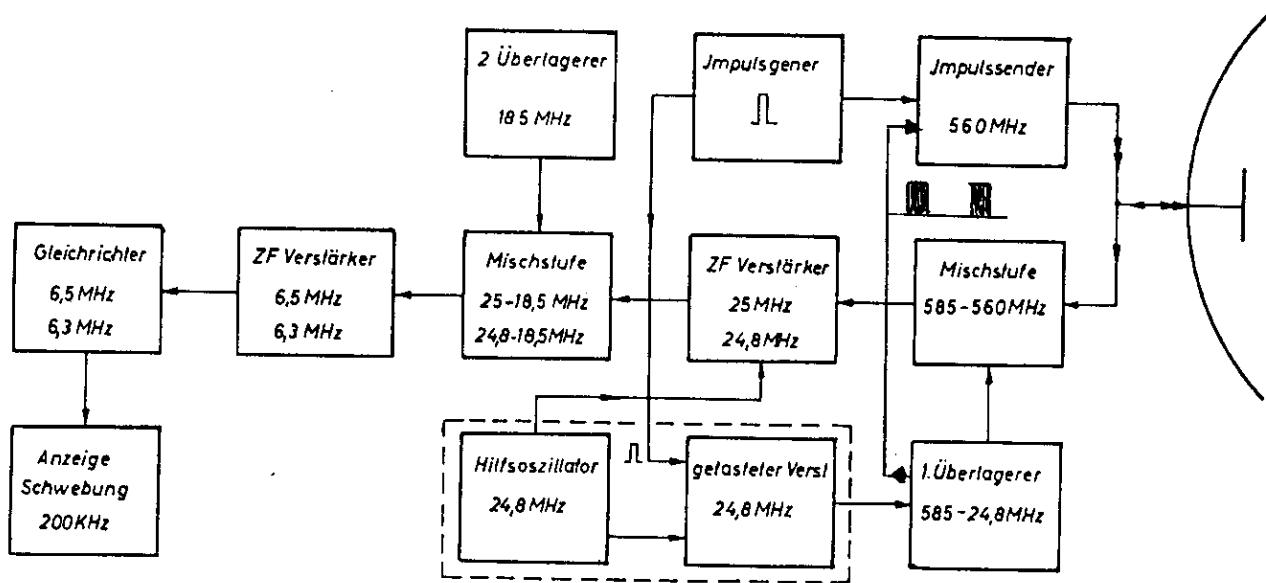


Fig.18 Tastlaus, erste Versuchsschaltung - Der Unterschied zur definitiven Version liegt hauptsächlich in dem kohärenten Schwebungsüberlagerungs-(Beat-)Signal, das in die ersten Stufen des ZF-Verstärkers eingespeist wird. Dadurch konnte der Verstärker nicht hinreichend zurückgeregelt werden, weil sonst das Beat-Signal zu schwach geworden wäre.

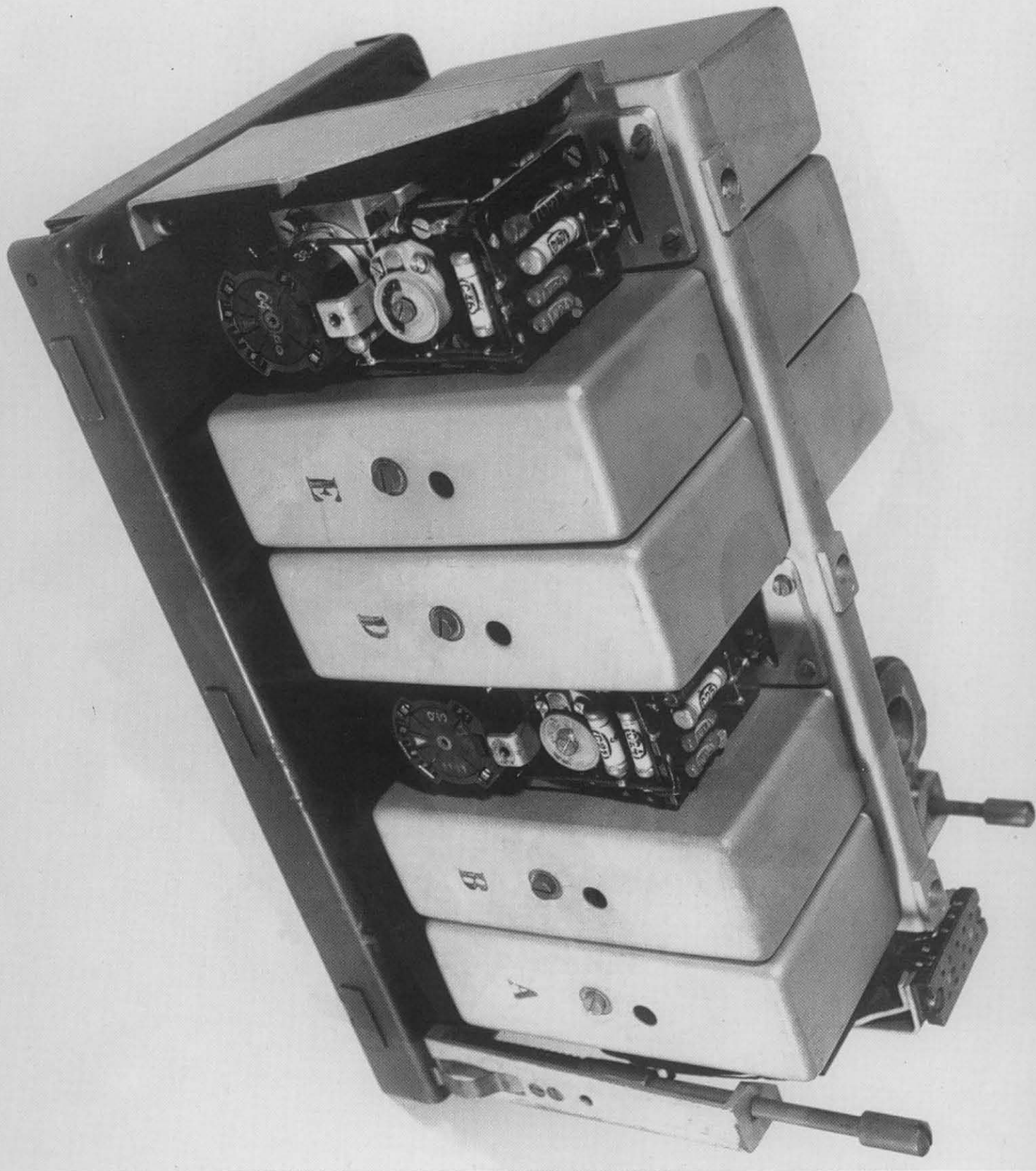


Abb.13 ZF-Verstärker ZFV 62 - Die Abschirmbecher C und F sind abgenommen. Nicht sichtbar sind die Anschlüsse für die Laus-Ein- und Auskopplung. Der runde Gegenstand über dem Schnellverschluß ist die ZF-Ausgangsbuchse zum Anzeigerät ANG 62.

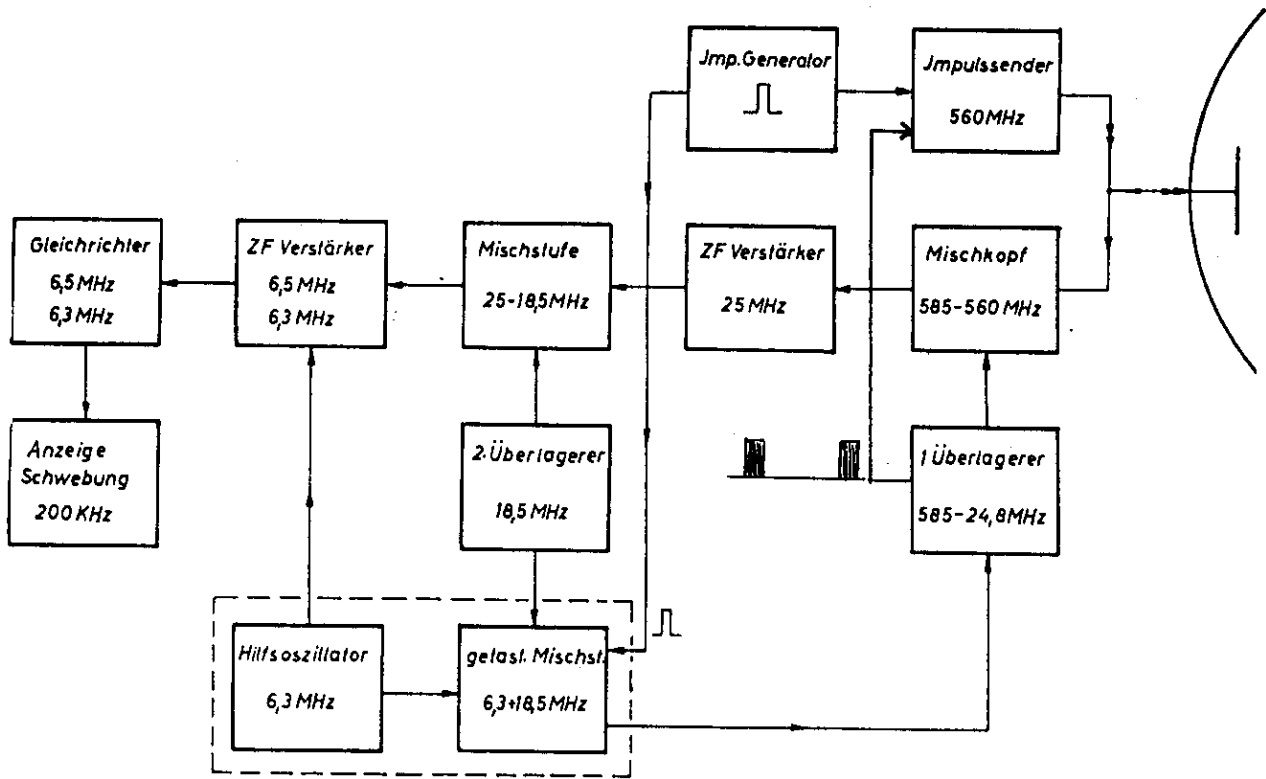
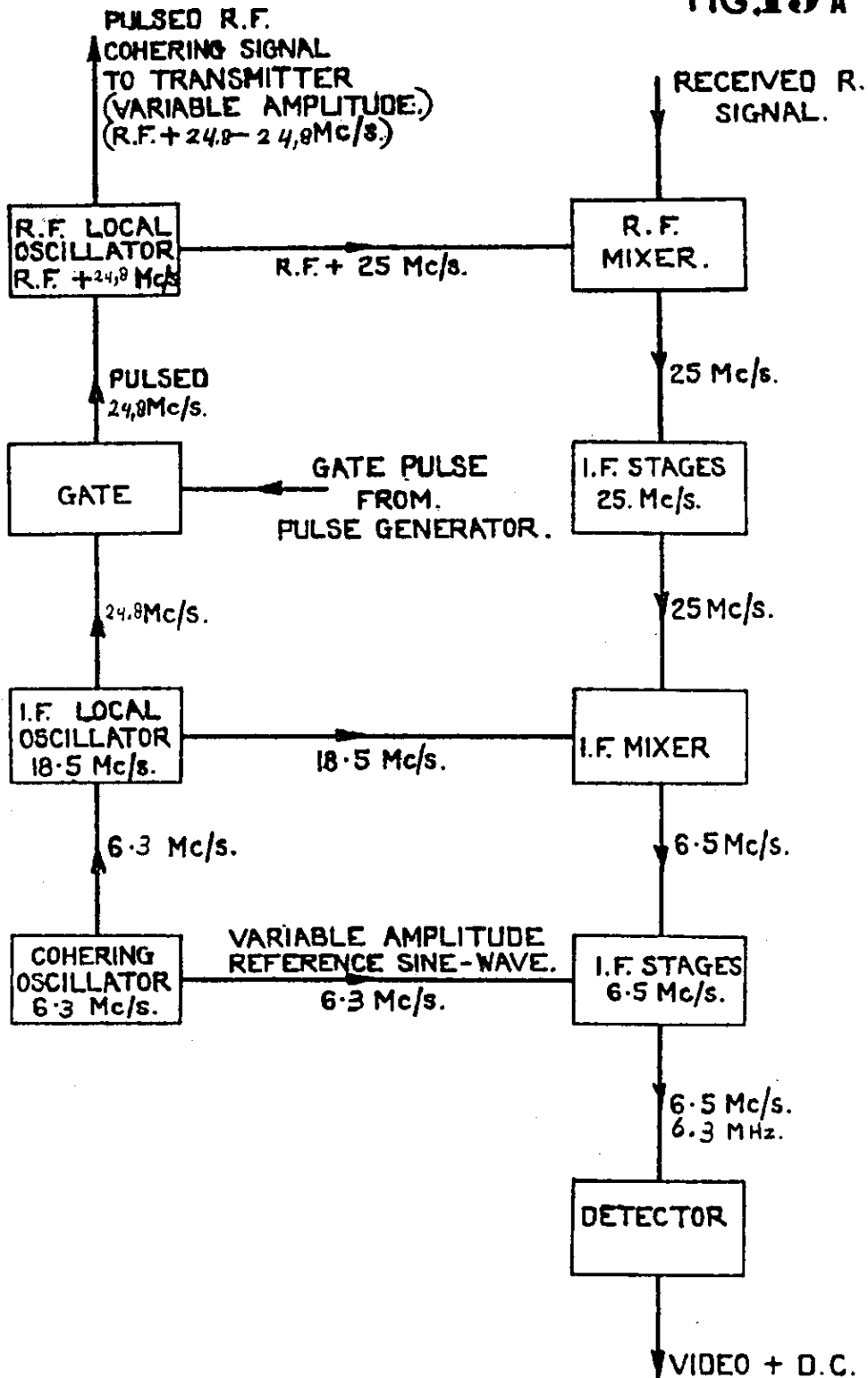


Fig. 19 Tastlaus, definitives Blockschaltbild - Das Signal vom 1. Überlagerer zum Sender ist das während $\pm 2 \mu\text{sek}$ freigegebene 560,2-MHz-Signal, von dem auch der Impulsender seine Startphase aufgezwungen bekommt (Phaselock). Dieses Signal enthält gleichzeitig das andere Seitenband von $585 + 24,8 = 609,8 \text{ MHz}$. Der Abstand zur Resonanzfrequenz des Impulsenders ist viel zu groß, als daß hier eine Beeinflussung auftreten könnte. Alle Signale sind kohärent gekoppelt mit/abgeleitet von dem 6,3-MHz-Oszillator.

FIG.19 A



'TASTLAUS' PROCEDURE BLOCK SCHEMATIC.

Fig.19a Tastlaus, anders präsentiert - Im Vergleich dazu siehe Fig.14 und 19. Das getastete (pulsed) HF-Signal dient als Reglersignal für den Sender, das kohärente 6,3-MHz-Signal als Schwebungsüberlagerungs-(Beat-)Signal zur Modulation des dopplermodulierten Echos im ZF-Gleichrichter.

Antenne gerichtet werden mußte, erhielten hierbei, weil sie nicht dunkelgesteuert wurden, die vollständige und richtige Information. Gleichzeitig wurde der sogenannte e-Meßschirm (die Entfernungsanzeige im EAG 62) nur einmal per Polarisationssebene hellgetastet, z.B. nur links/oben oder rechts/unten. Dadurch verschwanden die 24-Hz-Störungen automatisch. Der Nachteil war indessen, daß Bildhelligkeit und Bildinhalt reduziert waren, weil die Häufigkeit, mit der pro Zeiteinheit ein Signal auf dem Bildschirm sichtbar gemacht wurde, geringer war. Das hatte andererseits auch Vorteile, da das gleichsam "dünnere" Schirmbild weniger Beeinträchtigung durch Störungen erfuhr.

Nur die Form der Darstellung auf den Peilschirmen (Fig.4B,C) bereitete noch Probleme, da die sich ständig bewegenden Laus-Signale ineinander übergingen (Fig.20 links oben). Hierdurch war es schwierig, die beiden Amplituden gegenüber der Grundlinie zu vergleichen und manchmal unmöglich, genau zu richten. Einen Ausweg fand man in der Kehr bildanzeige (Fig.20 rechts oben). Für diese Darstellungsweise wurden verschiedene Möglichkeiten ausprobiert. Schließlich wurde eine von Hoffman-Heyden entwickelte Relaisumschaltung übernommen. Er verwendete dafür die in großer Zahl gefertigten Fernschreib-**Polair**-Relais. Auf die diversen Varianten wollen wir hier nicht eingehen.

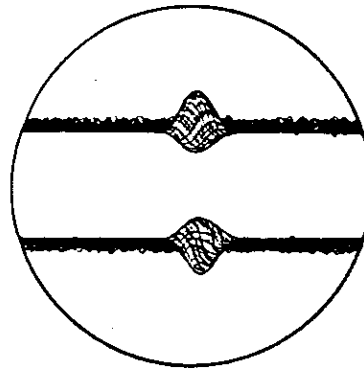
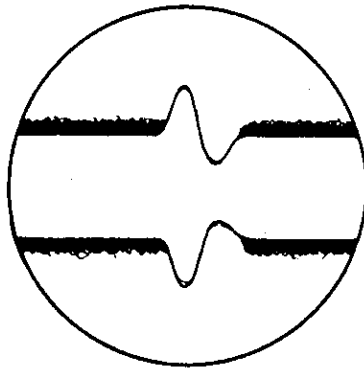
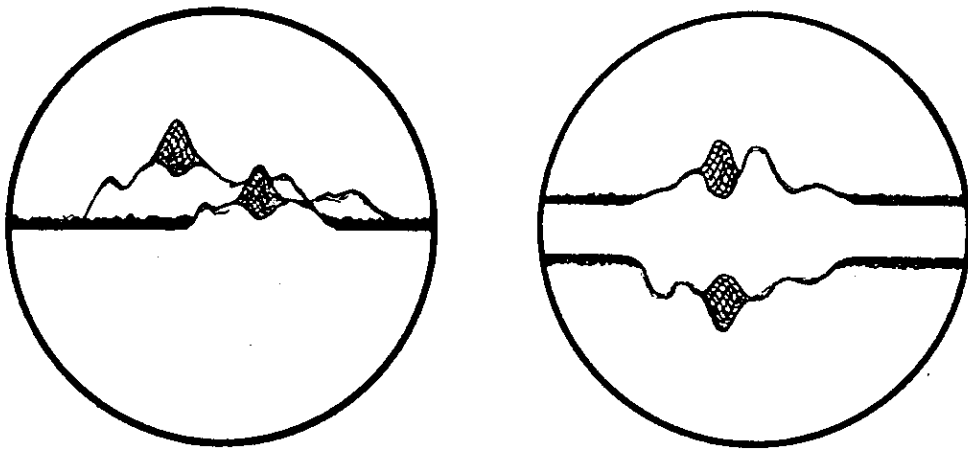
Von November 1944 an kam die modifizierte **Tastlaus** in großer Zahl zur Truppe. Vermutlich irrt sich Price in [16], wenn er behauptet, daß die **Urechse** (SÜ 62d) nicht mit der **Tastlaus** zusammen eingesetzt werden konnte. In einem Brief an den Verfasser weist Hoffmann-Heyden darauf hin, daß verschiedenen Untersuchungen der FAS ergeben haben, daß diese Kombination durchaus anwendbar war. Eine Untersuchung der sich in meinem Besitz befindlichen **Urechse** zeigt, daß es zwar eine Möglichkeit gibt, um das **Regulier**-(Phaselock-) Signal in den Sender einzuspeisen, daß aber zwischen dem ersten Empfangsoszillator und der Endstufe keine Verbindung besteht, Abb.9 und 9a. - Durch diese operative Einschränkung ging viel von dem Vorteil verloren, den die **Tastlaus** hätte bringen können.

Nürnberg

Window störte in zunehmendem Maß die Wirksamkeit des **Würzburg**. Es erwies sich in der Praxis als sehr schwierig, ein Ziel sowohl auf dem Übersichtsschirm wie auf dem Feinmeßschirm (e-Anzeige im EAG 62, Fig.4D) auszumachen. Bereits früher hatten Kinder und Scholz vom **Flugfunk-Forschungsinstitut** in **Oberpfaffenhofen** (FFO) Untersuchungen über die Modulationen angestellt, die durch die Vibration und die Propellerbewegungen eines Flugzeugs auftraten. Die sogenannte **Propellermodulation** erwies sich als willkommene und sehr nützliche Informationsquelle.

Die Modulationstiefe eines anfliegenden Flugzeugs kann bis fast 100% ansteigen.

Schon im August 1943 wurden durch die FAS III praktische Versuche angestellt. Der Nutzen des Verfahrens (Deckname Nürnberg) liegt in der praktischen Verwirklichung. Das Abhören aller Videoechos mit dem Kopfhörer konnte keine brauchbare Information liefern. Vielmehr verwendete man für diesen Zweck den e-Meß-Dunkelpunkt (Marker), der sich auf dem Feinmeßschirm (des EAG 62) stets in der Mitte befindet. Vgl. Fig.4D, wo eine Entfernung von 23,32 km angezeigt wird, und Fig.21.



*Peilrohranzeige
Schlängel*

*Peilrohranzeige
Laus*

Fig.20 Kehr Bild-Peilschirm - Links oben ist das alte Schirmbild für ein empfangenes Laus-Signal wiedergegeben (siehe Fig.4B bzw.4C). Das Erkennen von zwei sich überlappenden Signalen wurde immer schwieriger. Deswegen ging man zur Kehr Bildanzeige über, deren Vorteile deutlich zu sehen sind. Das Ziel war, beide Signale auf gleiche Signalhöhe einzustellen. Die hier abgebildeten Schirmbilder stellen die Seitenanzeige (Seitenwinkel) dar.

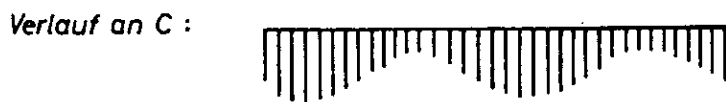
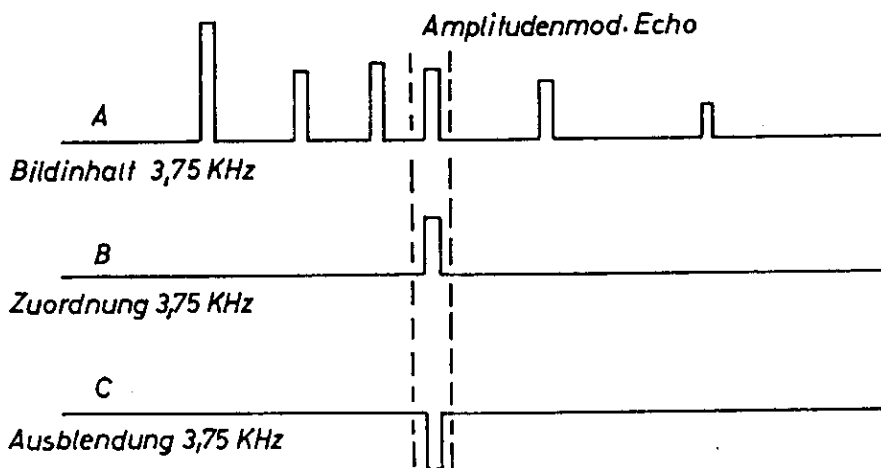
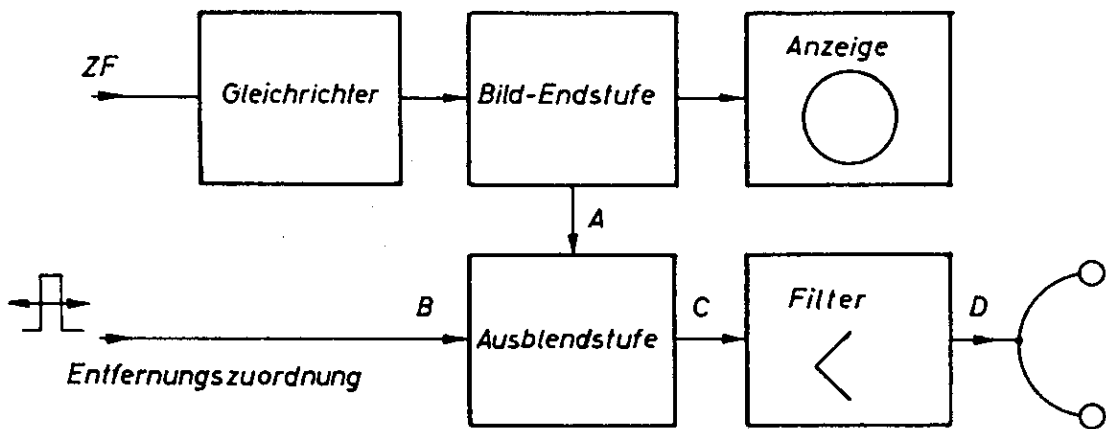


Fig.21 Nürnberg, Blockschaltbild - Die Buchstaben bei den wiedergegebenen Signalformen findet man im oberen Teil der Zeichnung wieder. Die Entfernungszuordnung ist der Dunkeltastimpuls des e-Meßschirms im EAG 62, der mit der Entfernungs-skala gekoppelt ist. Vgl. Fig.4E.

Dieser Schirm zeigte nur ein Achtel, nämlich 5 km, des gesamten Bereichs von 40 km. Die Dunkeltastung (Markerimpuls) war mit dem Drehfeldgeber (Servogebler) der e-Meßskala im EAG 62 gekoppelt, auf der die Entfernung in Dekametern (10-Meter-Schritten) abgelesen wurde und die ihrerseits durch eine direkte Verbindung in die Kommandozentrale der Flak übertragen wurde, vgl. Fig.4E. Der Markerimpuls (Ausblendimpuls aus dem EAG 62) von $\approx 1 \mu\text{sek}$ wurde einer **Koinzidenzschaltung** zugeführt. Nur während des Markerimpulses öffnete sich die Schaltung, und das Audiosignal wurde nach Filterung an die Kopfhörer geleitet. Dies wiederholte sich mit der Impulswiederholungsfrequenz von 3.750 Hz (PRF).

Dadurch wurde sichergestellt, daß nur das angepeilte Signal abgehört wurde.

Der Markerimpuls lieferte gleichsam eine "Stichprobe" des Signals von 3.750 Hz. Fig.22 zeigt deutlich, was geschieht. Heutzutage ist das bei D/A-Wandlern ein normaler Vorgang. Der Durchlaßbereich von 50 bis 700 Hz macht es möglich, sowohl die Propellermodulation von ungefähr 100 Hz wie auch schnellfliegende Ziele mit einer Dopplermodulation zwischen 600 und 700 Hz zu erfassen. Wie aus Fig.22 hervorgeht, kann auch die Phasenmodulation abgehört werden. Das hatte enorme Vorteile, da dadurch Beurteilungsfehler ausgeschlossen werden konnten. Die PRF-"Stichprobenfrequenz" von 3.750 Hz war durch die relativ große Frequenzdifferenz leicht auszufiltern.

Mit Hilfe des empfindlichen menschlichen Ohrs war es auf diese Weise möglich, sowohl den Einfluß der Dopplermodulation als auch den der Propellermodulation zu erkennen. Hierdurch wurden selbst durch Window abgeschirmte Echos in vielen Fällen noch mit einem Störabstand von $\leq 20 \text{ dB}$ (Window-Amplitude/Signalamplitude) wahrgenommen.

Es wurde dabei als unerheblich angesehen und notgedrungen in Kauf genommen, daß bei einer Verschiebung zwischen dem Nürnberg-Signal und der Anzeige auf dem Bildschirm eine (Laufzeit-)Differenz von $\approx 200 \text{ m}$ auftrat. Da das Nürnberg-Signal mehr Stufen durchlaufen mußte als das Signal, das direkt an den Übersichtsschirm (Fig.4A) geleitet wurde, ging Zeit verloren. Das angemessene Ziel legte nämlich in der Zwischenzeit etwa 200 m zurück. Diese Abweichung war systembedingt, sie war immer gleich und nicht zu beheben.

Taunus

Es war Winters aufgefallen, daß die Flankensteilheit eines Flugzeug-Echos und eines Window-Echos prägnante Unterschiede zeigen. Es lag auf der Hand, sich diese Erscheinung zunutze zu machen.

Ein Problem war, daß diese Differenzierung nicht direkt auf HF vorgenommen werden konnte, sondern daß das erst nach der Demodulationsstufe möglich war. Die endliche (relativ schmale) Bandbreite des ZF-Verstärkers begrenzte die Flankensteilheit. Wenn wir Fig.23 und 23a ansehen, dann ist deutlich zu erkennen, was die Differenzierung bewirkt. Es kann nun vorkommen, daß ein Echo, das sehr schwach, aber von großer Flankensteilheit ist, ein größeres Schirmbild erzeugt als ein starkes Signal mit geringerer Flankensteilheit. Jede Komponente verursacht in der Abfolge der verschiedenen Stufen ihre eigene Verzögerung. Wird das vernachlässigt, dann können Meßfehler entstehen. Es war für das Bedienungspersonal verlockend, die ruhige Taunus-Anzeige dem oft stark gestörten Schirmbild vorzuziehen.

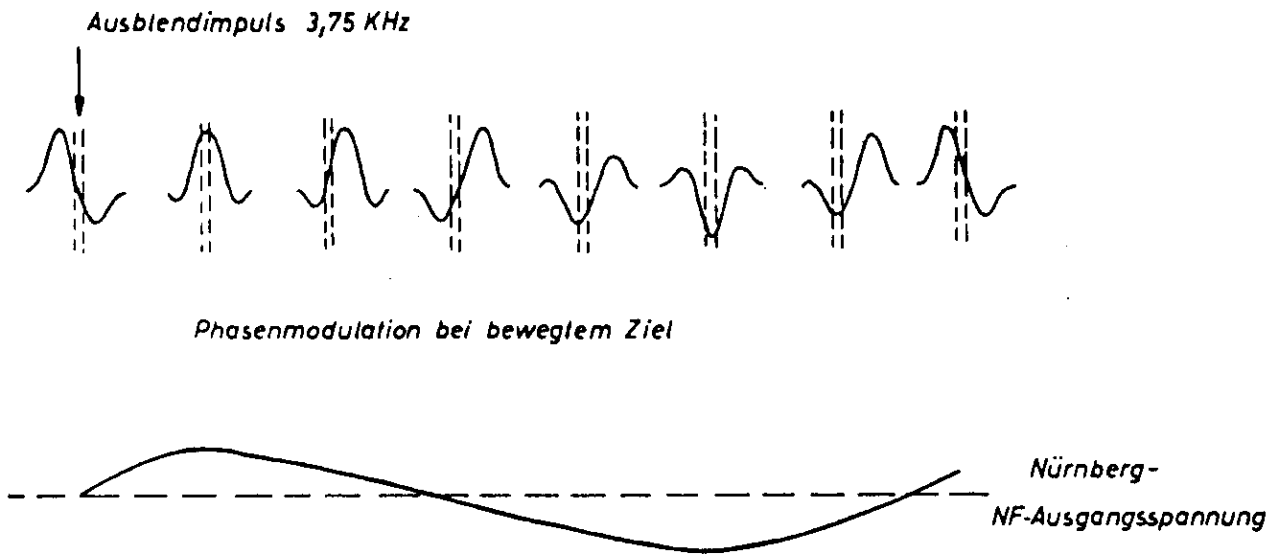


Fig.22 Nürnberg, Abtasten eines empfangenen Echos - Der Zeitraum zwischen den gestrichelten senkrechten Linien entspricht $1 \mu\text{sek}$. Die Meßwerte fallen 3.750 mal pro Sekunde an und stammen vom EAG-62-Ausblend-(Austast-)Impuls. Nach Filterung bleibt ein Signal übrig, dessen Inhalt abgehört werden kann. Mit dieser Anordnung lassen sich akustisch u.a. Propellermodulation und Phasenmodulation (infolge des Dopplereffekts) erkennen.

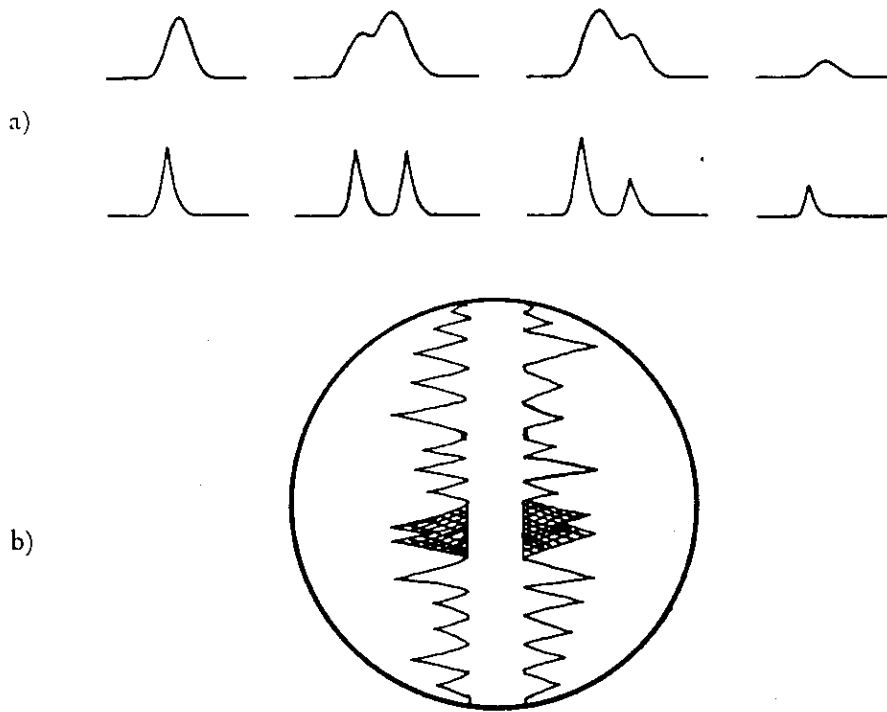


Fig.23 Taunus - In der oberen Reihe normal empfangene Signale. Direkt darunter die Signalform nach der Differenzierung. b) ist ein Laus-Signal in der sog. Kehrbild-Wiedergabe.

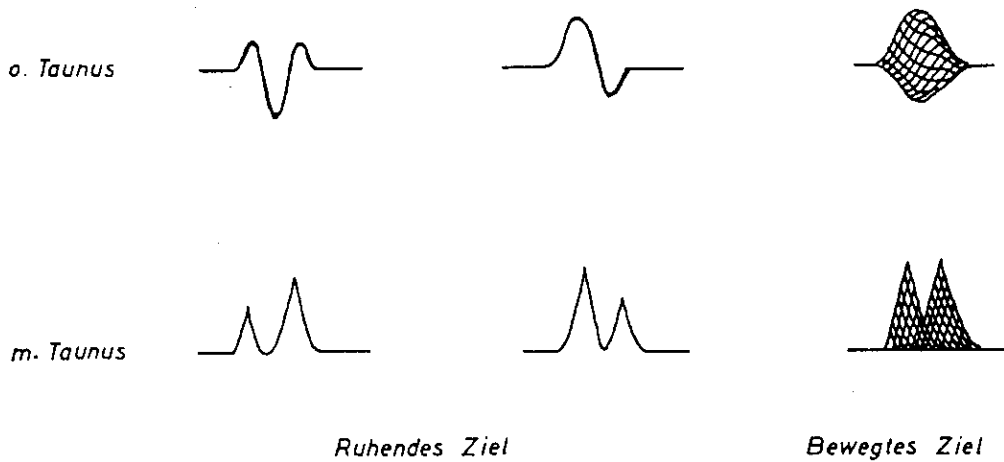


Fig.23a Taunus - In der oberen Reihe Signale ohne Taunus und darunter mit eingeschaltetem Taunus.

Deswegen war es wichtig, regelmäßig mit ausgeschaltetem Taunus die richtige Arbeitsweise des Würzburg und der verschiedenen Entstörmittel zu kontrollieren.

Ab Ende 1943 waren ungefähr 60% der Radaranlagen mit Laus, Nürnberg und Taunus ausgerüstet [16].

K-Laus

Bald nach der erfolgreichen Einführung des Nürnberg-Verfahrens fand Dr.-Ing. Kettel von Telefunken, daß die Dopplermodulation auch für die direkte Ansteuerung von Radarschirmen verwendet werden kann. Das System ging wieder von den Audiosignalen aus, die durch die "gelauste" Dopplermodulation entstanden. Betrachten wir nun das Blockschaltbild Fig.24; es verlangt einiges Umdenken, um zu begreifen, was vor sich geht.

K-Laus ist eine Meßmöglichkeit mit Hilfe eines Anzeigeelements. Die Wirkungsweise gleicht eigentlich einem zweikanaligen Nürnberg-Verfahren. Die Schaltung innerhalb von Kanal I und Kanal II ist im Prinzip dieselbe wie beim normalen Nürnberg. Der sogenannte Ausblendimpuls (e-Meßimpuls, Entfernungszuordnung) stammt wie beim Nürnberg-Verfahren wieder aus dem EAG 62. Die Laufzeitkette ist eine Verzögerungsleitung von $2 \times 1 \mu\text{sek}$, insgesamt $2 \mu\text{sek}$, und damit doppelt so lang wie der Ausblendimpuls. An beide Kanäle wird dieselbe Videoinformation (nicht getastet) geliefert. Wenn nun ein Laus-Signal vorliegt, wird sich als Folge der Dopplermodulation die Phase kontinuierlich verändern. Im Grunde prüft die Vergleichsschaltung, ob eine konstante oder wechselnde Phase anliegt (Differenzbildung).

Aus dem Blockschaltbild geht noch nicht hervor, daß parallel zum Anzeigeelement ein Kopfhörer angeschlossen war und gleichzeitig der Meßschirm angesteuert wurde. Das Drehspulinstrument mit Ruheposition (0-Stand) in der Mitte ließ erkennen, ob die Phase früher oder später ankam; es war so geschaltet, daß ein linker Ausschlag früh (nah) und ein rechter Ausschlag spät (weit) bedeutete.

Die Absicht war, genaue Informationen über die e-Werte (vor/nach dem e-Impuls) zu bekommen. Die Entfernungsskala im EAG 62 war, wie wir bereits gesehen haben, über Servogebir direkt mit der Flak-Kommandozentrale gekoppelt. Und da zumeist blind geschossen werden mußte, waren exakte Werte für Höhe, Seite und Entfernung (e-Wert) von ausschlaggebender Bedeutung, vgl. Fig.5 und Anhang E.

Das Blockschaltbild Fig.25 zeigt die endgültige Ausführung. Der Durchlaßbereich lag für alle Kanäle zwischen 100 und 700 Hz. Die Antennenrotation wurde auch hier als störend empfunden. Wie Fig.2 deutlich zeigt, durchläuft die rotierende Antenne zwei Polarisations-ebenen. Da sowohl Signale wie störende Objekte verschieden polarisiert waren, traten selbst bis $8 \times 24 = 196$ Hz Audiosignale als Folge der Harmonischen auf. Dies beeinträchtigte die Messung, da die Harmonischen im Audio-Durchlaßbereich verstärkt wurden und damit das Meßresultat beeinflussten. Die Lösung wurde darin gefunden, daß man die Umdrehungszahl des Dipols auf 12 Hz halbierte. Diese Verringerung war vertretbar, weil dadurch noch kein allzu störendes Bildschirmflimmern auftrat. Die maximale Störfrequenz lag jetzt unter $8 \times 12 \approx 100$ Hz und verursachte in der Praxis so gut wie keine Probleme mehr. Wir sehen, daß der dritte Verstärker zwei Aufgaben hatte, nämlich die Bildschirme und den/die Kopfhörer anzusteuern.

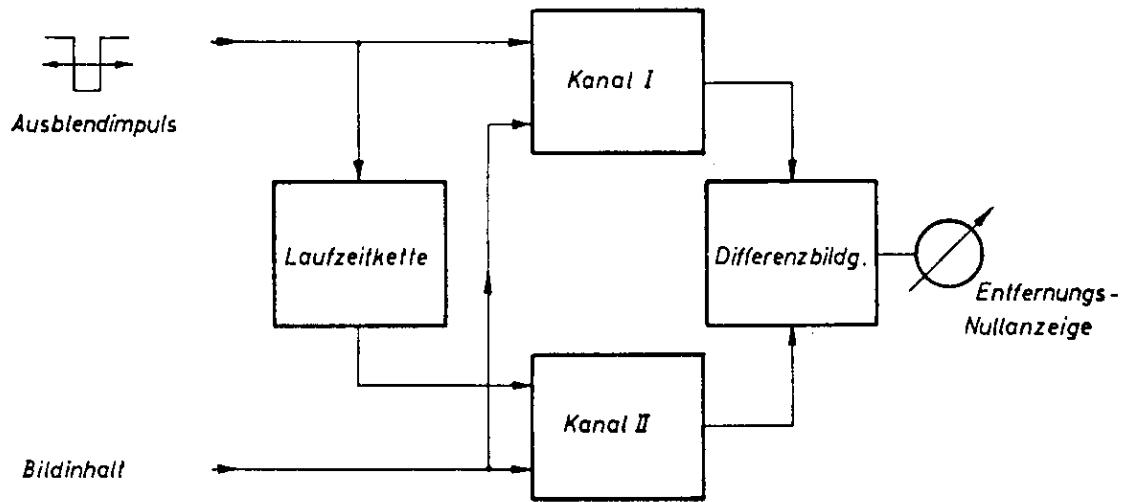


Fig.24 K-Laus - Der Ausblendimpuls ist wieder der e-Meßimpuls der Entfernungsmessung, der im EAG 62 erzeugt wird. Kanal I und II gleichen in etwa der normalen Nürnberg-Schaltung. Die Laufzeitkette (Verzögerungsleitung = delay line) bewirkt eine zweifache Verzögerung des Ausblendimpulses ($2 \times 1 \mu\text{sek} = 2 \mu\text{sek}$). Die Vergleichsschaltung (= Differenzbildung) ermittelt, ob zwischen den beiden Kanälen ein Unterschied besteht. Ist das der Fall, dann bedeutet das ein phasenmoduliertes Signal, das von einem sich bewegenden Ziel stammt. Der Ausschlag des Instruments aus der Mitte nach links oder rechts wird durch die Abweichung zwischen Kanal I und II bestimmt.

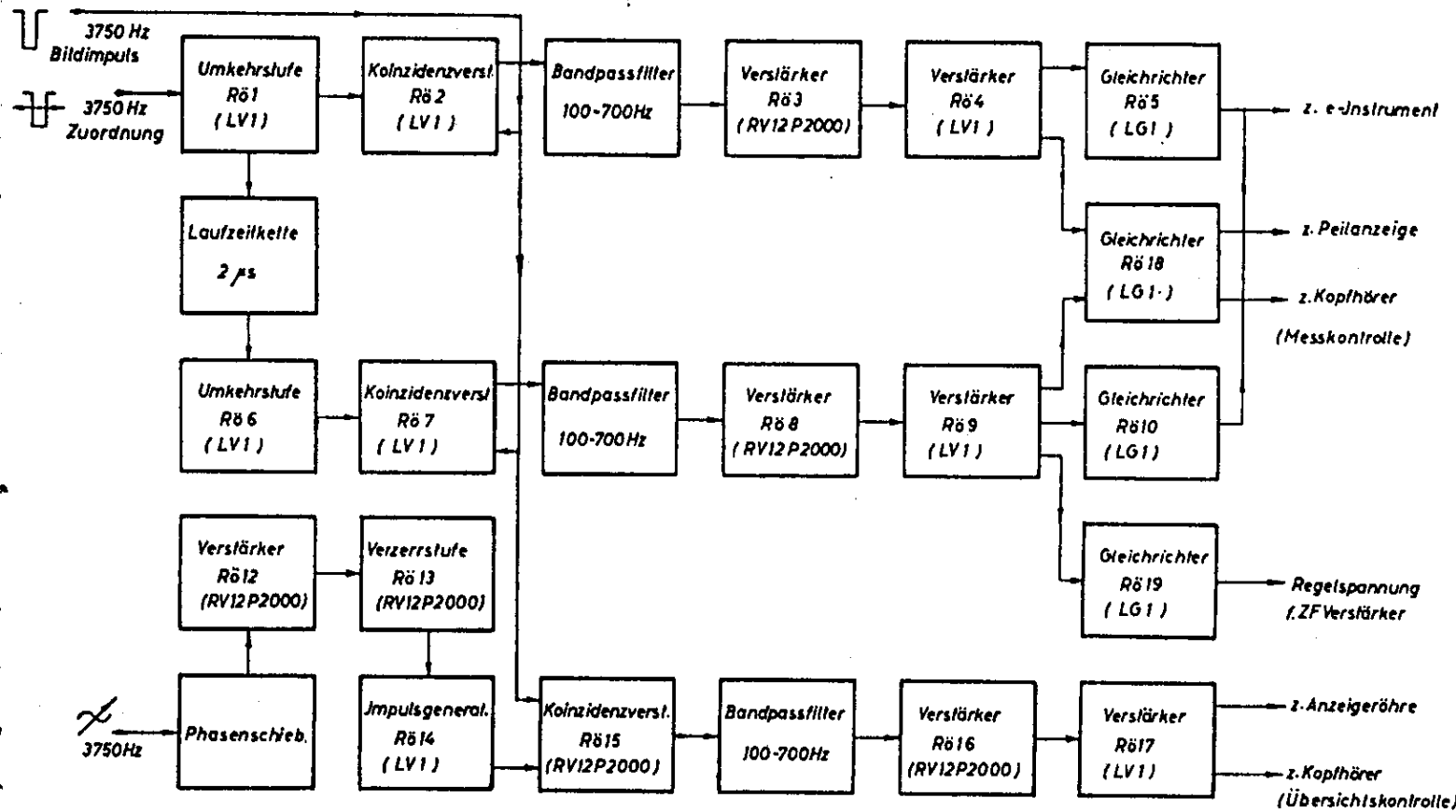


Fig.25 K-Laus, definitives Blockschaltbild - Der untere Kanal (III) dient dazu, den Übersichtsschirm abzusuchen. Um schnell den gesamten Bereich von 0 - 40 km überblicken zu können, wird dem Schirm extern eine in der Phase einstellbare Spannung zugeführt. Hierdurch konnte man schnell (etwa mittels eines 180°-Knopfes) den Bereich überstreichen. Um das gleiche mit der K-Laus zu bewerkstelligen, mußten Grob- und Feintrieb des EAG 62 mühsam durchgedreht bzw.-gekurbelt werden, wobei mit der Feineinstellung Dutzende von Umdrehungen nötig waren. Es sei daran erinnert, daß die Entfernungsskala in 10-m-Schritten eingeteilt war, was bei 40 km 4.000 Skalenteile bedeutet! (Siehe Darstellung in Fig.4E)

Man gebrauchte diese Schaltung auch, um auf dem Übersichtsschirm eine Helligkeitsmodulation zu erzeugen - wie wir später sehen werden, war der Elektronenstrahl meistens dunkelgesteuert -, wobei direkt sichtbar war, wo und auf welchem Teil des Bereichs gemessen wurde (irgendwo zwischen 0 und 40 km). Wir müssen uns vorstellen, daß mehrere Mitglieder der Bedienungsmannschaft zur gleichen Zeit an den verschiedenen Schirmen arbeiteten, und daß es deswegen angebracht war, ein unnötiges Durcheinander zu vermeiden. Um unabhängig von der normalen Entfernungsmessung eine Übersicht über den gesamten Bereich zu bekommen, wurde der dritte (unterste) Kanal über eine phasenverschobene Spannung gespeist. Die Phasenverschiebung erfolgte mittels eines Drehkondensators, der sich in einem kleinen Gehäuse nahe beim Bedienungsmann befand. Dieser "lag" auf seinem Sitz und betätigte die Handräder, mit denen die Antenne nach Seite und Höhe gerichtet wurde (siehe Abb.3, linker Teil). Eine Eichung war nicht nötig, weil die Helligkeitssteuerung des Bildschirms (einer LB 13/40) die Entfernung durch einen helleren Teil des Kreises anzeigte.

Der zweite (mittlere) Kanal lieferte die Regelspannung (AVC) für den ZF-Verstärker. Da eine nicht festgelaufene und nicht zugestopfte Verstärkung für ein gutes Arbeiten entscheidend war, wurde die ZF-Verstärkung gering gehalten und erst nach der Audiofilterung (der Trennung der Störspannung von der Geschwindigkeits- und Propellermodulation zwischen etwa 100 und 700 Hz) auf das gewünschte Niveau gebracht.

Bei Absuchen des überstrichenen Bereichs (vgl. Fig.26 und 27) erschienen auf dem Übersichtsschirm nur längliche Markierungen (Fig.27), die ausschließlich dopplermoduliert waren. Über einen Umschalter konnte dann auf das gebräuchliche Schirmbild zurückgegangen werden (Fig.4A im Vergleich zu Fig.27). In Anbetracht der Tatsache, daß auch hier die in den verschiedenen Stufen entstehenden Verzögerungen Abweichungen in der Laufzeit verursachten, brachte man einen von außen einstellbaren Ausgleichskondensator an, womit man erreichte, daß die auf dem Übersichtsschirm eingätzte Entfernungseinteilung weiterbenutzt werden konnte, siehe Abb.4. Insgesamt sind 125 Anlagen mit K-Laue ausgerüstet gewesen [16].

Windlaus

Es bedarf keiner besonderen Erklärung, daß die abgeworfenen Window bei starkem Wind (Drift von mehr als 25 m/sek Radialgeschwindigkeit) eine nicht zu vernachlässigende eigene Dopplermodulation erzeugen konnten. Die Möglichkeit, Window von anderen Zielen zu unterscheiden, bestand dann nur mit Nürnberg. Eine andere, von Dr.-Ing. Kettel vorgeschlagene Möglichkeit war, dem Laue-Signal eine künstliche Geschwindigkeitsmodulation mit umgekehrtem Vorzeichen zu geben und so den Einfluß des Winds zu kompensieren.

Nehmen wir an, daß die abgeworfenen Window eine Dopplermodulation von 50 Hz erzeugen. Wenn man nun Vorkehrungen trifft, von dem Lauesignal 50 Hz abzuziehen, ist das entstehende Signal nicht gelaue. Zwar haben dann auch alle anderen Dopplersignale (Laue!) eine um 50 Hz niedrigere Dopplerfrequenz; da aber die Lauesignale normalerweise in den Bereich zwischen 100 und 700 Hz fielen, spielte das in den meisten Fällen keine große Rolle.

Bei diesem Verfahren, Windlaus genannt, wurde ein abstimmbares Kompensations-signal erzeugt, mit dessen Hilfe die sogenannte Laue-Schwebung (Beat) entstehen konnte und

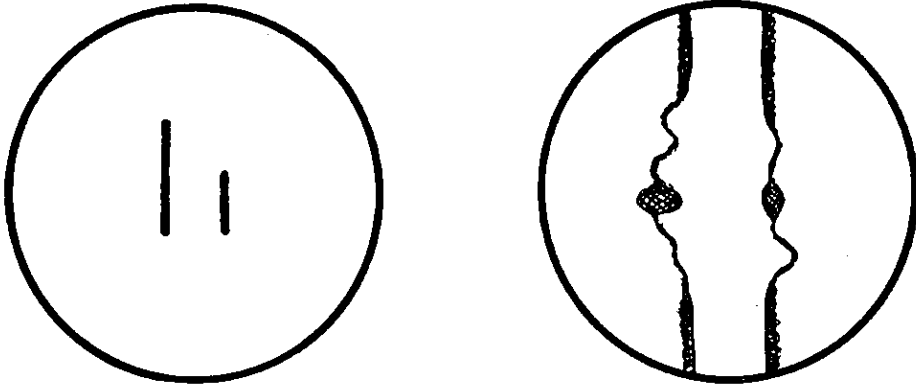


Fig.26 K-Laue-Anzeigen - Links Antenne zu weit nach links gerichtet, rechts die Anzeige auf dem vertrauten Kehr bild-Peilschirm des ANG 62 nach Umschaltung auf ein normales Laue-Signal. (Die beiden Schirmbilder sind insoweit nicht vergleichbar, als das linke die Seiten-, das rechte dagegen die Höhenanzeige darstellt.)

eine eindeutige Laus-Anzeige auf dem Übersichtsschirm möglich war. Bei langsamem Verlauf der Frequenzverschiebungen waren mit dieser Methode Ergebnisse möglich, die mit denen der ursprünglichen Tastlaus nahezu vergleichbar waren.

Sehen wir uns zunächst Fig.28 näher an. Der 7,7-MHz-Oszillator tritt hier an die Stelle des auf 6,3 MHz schwingenden kohärenten Oszillators in Fig.19 und Fig.19a. In Richtung Sender bleibt alles gleich, so die Mischung mit dem 18,5-MHz-Signal, nur liegt das Regulierringal (Phaselock) nun 1,2 MHz über der Sendefrequenz. Das kohärente 7,7-MHz-Signal wird einer zweiten Mischstufe zugeführt und dort mit einem variablen Signal großer Stabilität gemischt. Es handelt sich um ein Signal von 975 kHz, das nach oben und unten um bis zu 225 Hz verstimmbar werden kann. Die zur Gewinnung der 975 kHz verwendeten 900 kHz wurden aus dem EAG 62 bezogen und waren ihrerseits abgeleitet aus der 60-kHz-Quarz-Zeitbasis und somit stabil. Das schwächste Glied in der Kette war das variable Signal von 75 kHz, es war aber in Anbetracht der niedrigen Frequenz mit einfachen Mitteln zu erzeugen und stabil zu halten. Das durch Mischung erzeugte Signal von $\pm 6,725$ MHz wurde genauso wie bei der Tastlaus in die letzte Stufe (Block G) des ZFV 62 eingespeist.

Bleiben wir bei unserem Beispiel, daß die angemessenen Düppel durch die Windversetzung eine Dopplermodulation von 50 Hz erzeugen. Dann ist es möglich, diese Windversetzung dadurch zu kompensieren und auszuschalten, daß das in den ZFV 62 eingespeiste Signal um 50 Hz auf 6,72495 MHz reduziert wird.

Die Differenz von 1,2 MHz zwischen Regulierringal und Sendefrequenz war von Dr.-Ing. Kettel festgelegt worden. Damit ergab sich die Möglichkeit, ein viel stärkeres Regulierringal zu verwenden, das so bis in die ZF von 6,725 MHz gelangen konnte, ohne daß der Empfänger übersteuert wurde.

Der Einsatz der Kombination Wind-/K-Laus brachte eine Verbesserung von etwa 20 - 26 dB (Window-Amplitude/Signal-Amplitude). Die Ergebnisse der Radarmessungen konnten damit wieder auf den Stand von Juli 1943 gebracht werden, also bevor die ersten Störungen einsetzten.

Toter Raum

Wie Fig.30 zeigt, tritt bei einer sehr geringen Geschwindigkeitsmodulation eine tote Zone, ein toter Raum, auf. Fig.29 unten und Fig.30 lassen die relative Beziehung zwischen Entfernung und Höhe in dem Raum um das Radargerät herum erkennen, wenn man von der Dopplerdemodulation Gebrauch macht und somit davon abhängig ist.

Fig.31 und 31a veranschaulichen die Auswirkungen auf eine schwere Flakbatterie. Man sieht deutlich, daß nur außerhalb des toten Raums eine Messung möglich ist, da innerhalb dieser Zone die Dopplerfrequenz zu gering wird und damit stationäre Objekte ohne Dopplermodulation und von der Rotation der Antenne verursachte Störungen nicht mehr voneinander zu unterscheiden sind.

Fig.32 schließlich stellt die Beziehung zur Mindestgeschwindigkeit eines Luftziels her. Hier erhält man eine Vorstellung von den Größenordnungen, mit denen man in dieser Zeit rechnete. Die Geschwindigkeit der Flugzeuge lag damals selten über 600 km/h, womit die

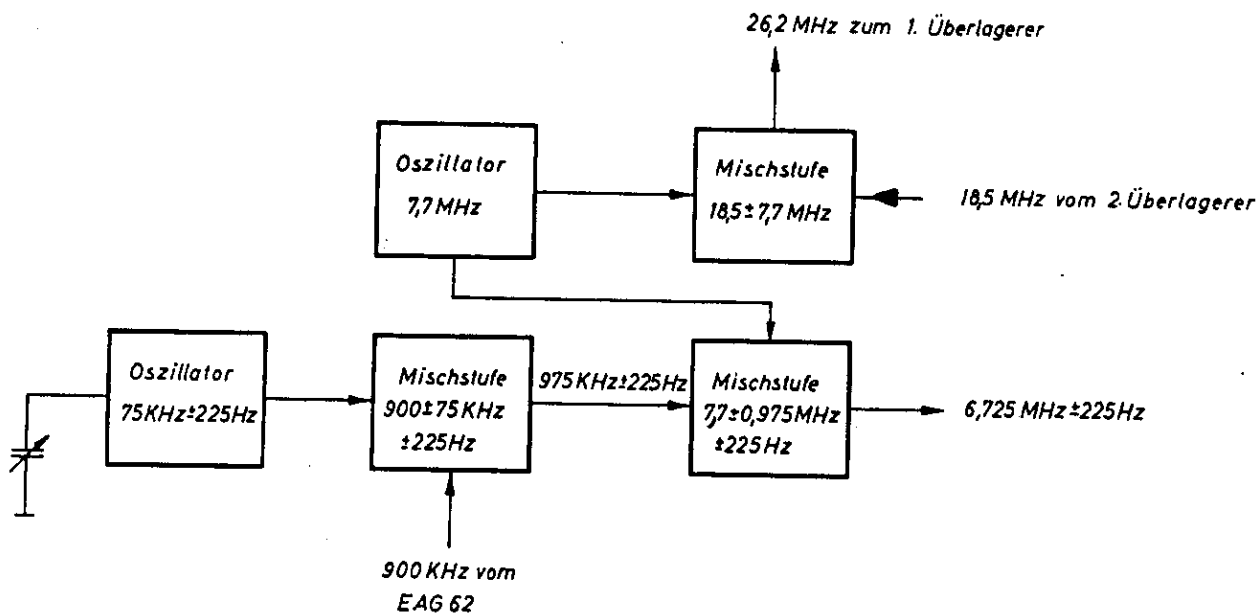
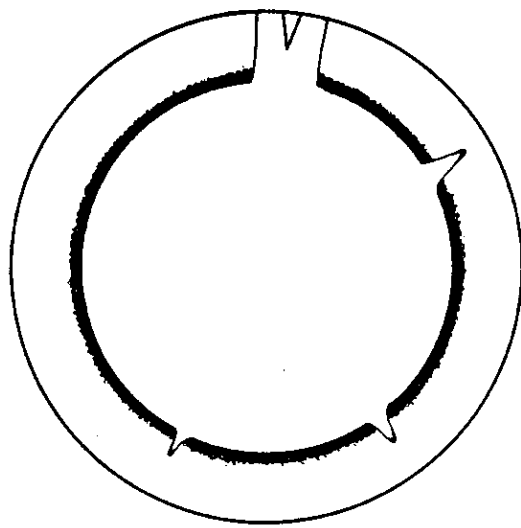
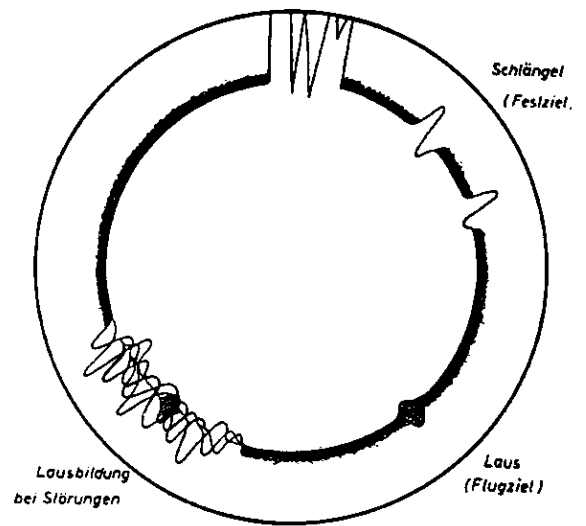


Fig.28 Windlaus, Blockschaltbild der variablen Schwebungseinstellung - Das 6,725-MHz-Signal wird in die letzte ZF-Stufe eingespeist und bewirkt so eine "Ablage" vom eigentlichen Laus-Signal. Damit war es möglich, den Einfluß des Winds auf Window zu kompensieren. Das 18,5-MHz-Signal kam wieder vom 2. Überlagerer im ZF-Verstärker, während das 26,2-MHz-Signal über Mischung im 1. Überlagerer zum Impulssender gelangte. Dieses 26,2-MHz-Signal wurde dann wie bei der Tastlaus weiter aufbereitet, vgl. Fig.19,19a.



Übersichtsrohr
Normalanzeige



Übersichtsrohr
Würzlausanzeige

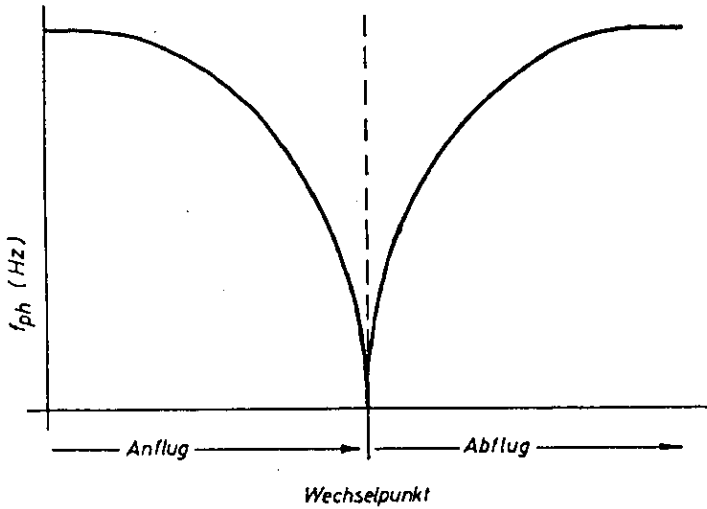


Fig.29 Laus-Anzeigen - Oben das Laus-Schirmbild, darunter der Verlauf von f_{ph} in Abhängigkeit von der Radialgeschwindigkeit und dem Wechselpunkt, wo die Phasenmodulation des dopplermodulierten Signals auf ± 0 Hz zurückgeht. Im Gebiet um den Wechselpunkt sind Laus-Messungen unmöglich, da die Frequenz der Phasenverschiebungen von der stark störenden Antennenmodulation überdeckt wird und/oder sich beide überlappen.

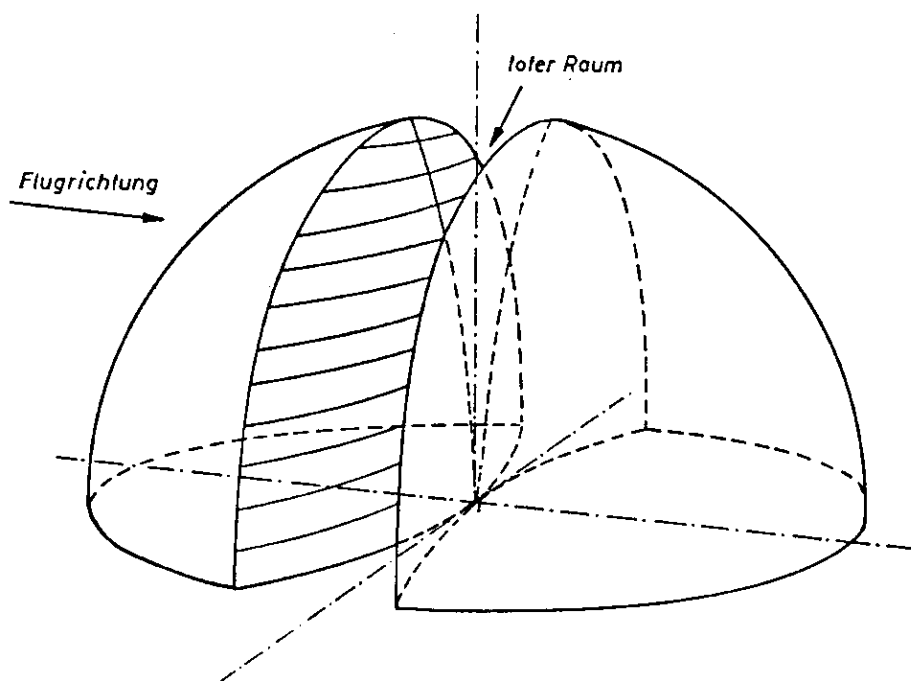


Fig.30 Der tote Raum um das Würzburg-Gerät - Die horizontal gestreifte Fläche grenzt das Meßgebiet vom toten (blinden) Gebiet ab. Dort geht die Radialgeschwindigkeitsmodulation auf weniger als 100 Hz zurück und ist deswegen, wie beschrieben, nicht mehr zu gebrauchen. Vgl. auch Fig.31, 31a.

Wirkungsbereich für 10,5 cm Flak mit K-Laus

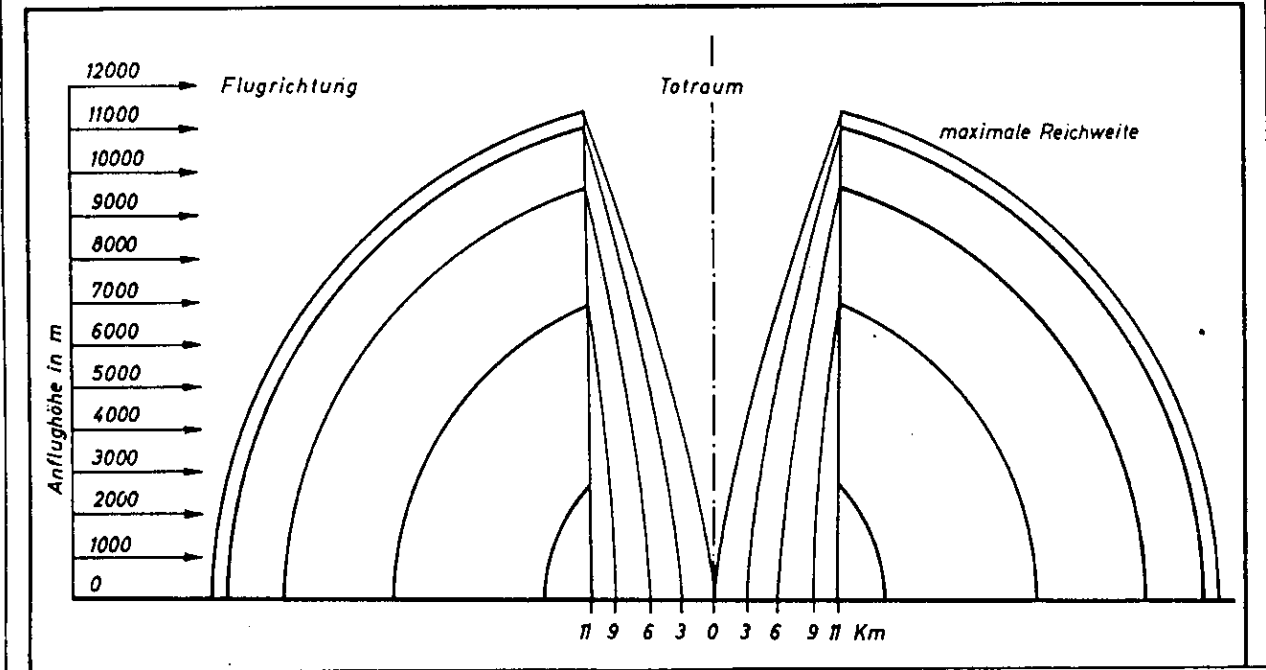


Fig.31 K-Laus, Zusammenhang zwischen Wirkungsbereich von 10,5-cm-Flak und totem Raum - Aus der Darstellung ist ersichtlich, daß ein Ziel bis auf 11 km Höhe getroffen werden konnte. Es ist weiter zu sehen, daß wenig Zeit blieb, um mit Hilfe von K-Laus zu richten. Während des Durchfliegens des toten Raums war man blind, weswegen zumeist auf anfliegende Ziele geschossen wurde.

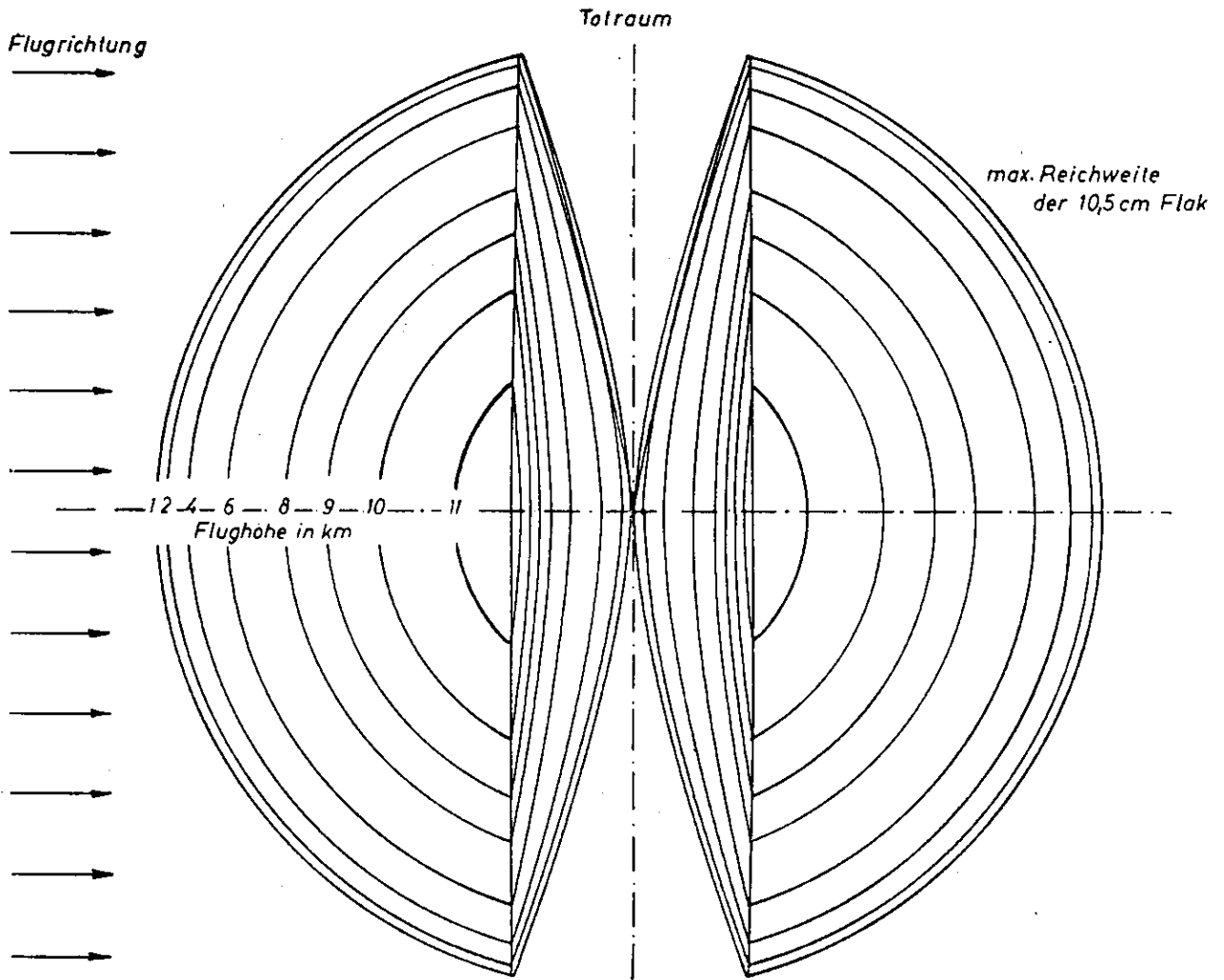


Fig.31a K-Laube aus der Perspektive über der Flak-Stellung gesehen - Fig.30 und 31 ergeben zusammengenommen einen Überblick über den Raum, in dem Laube und K-Laube eingesetzt werden konnten. Die Pfeile geben die Flugrichtung an. Würde aus einer anderen Richtung angefliegen, war das Diagramm nur entsprechend zu drehen, die Bedingungen blieben sonst gleich. Das zeigt auch, wie wichtig es war, Flak-Stellungen immer in den Haupteinflugrouten zu plazieren.

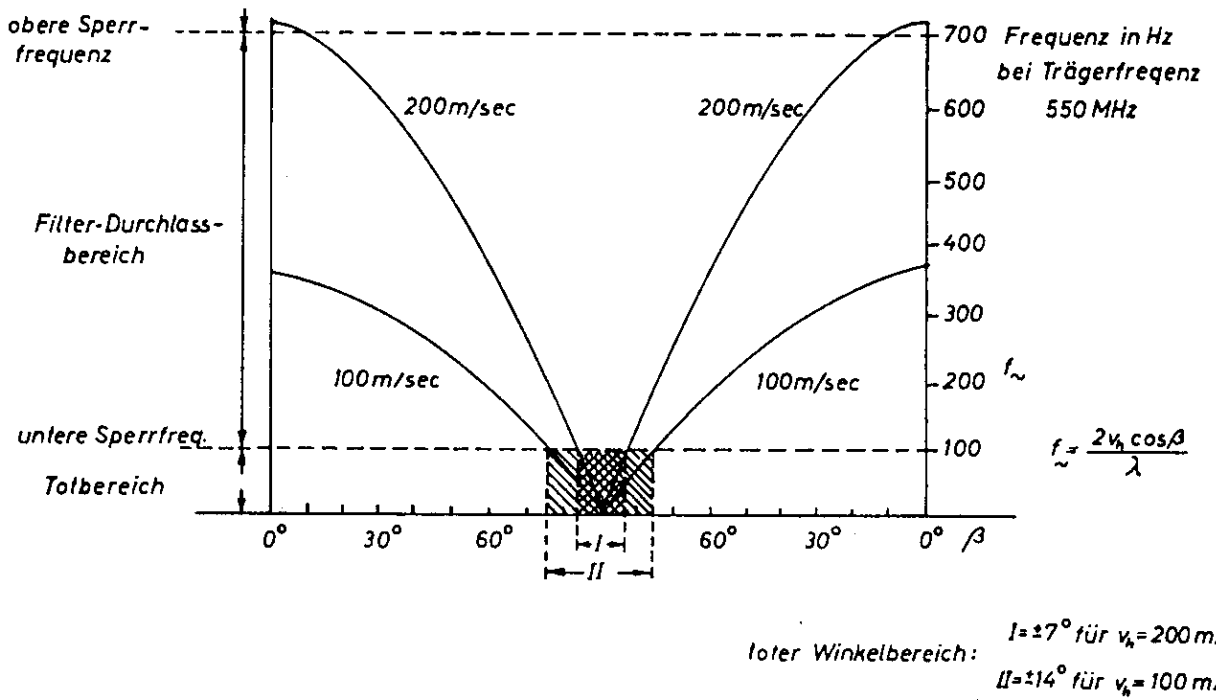


Fig.32 Der Zusammenhang zwischen totem Raum, Fluggeschwindigkeit und der daraus resultierenden Dopplerphasenmodulation - Für eine Sendefrequenz von 550 MHz ($\approx 54,5$ cm) liegt das Einsatzgebiet zwischen den beiden horizontal gestrichelten Linien.

meisten Luftziele in den Wirkungsbereich von Laus, Nürnberg, K-Laus und Windlaus fielen.

Carpet contra Würzburg

Neben Window machten den Deutschen gegen Ende des Kriegs fliegende Störsender stark zu schaffen. Ein von den Alliierten häufig eingesetztes Gerät war der Carpet-Sender. Abb.14 zeigt den Störmodulator des Carpet-Senders (hier modulator unit type 190, die englische Ausführung des Carpet APT-2-Senders).

Der Carpet-Modulator enthielt eine Rauschquelle von mehr als 15 MHz Bandbreite. Das Rauschsignal wurde recht einfach mit einem übersteuerten Sekundärelektronenvervielfacher erzeugt, wobei Sekundärelektronen mit Hilfe einer Glühlampe aus der Kathode herausgelöst werden. Damit sind Verstärkungen von 10^{10} möglich. Das Signal wurde breitbandig verstärkt und mit einer Leistung von etwa 5 Watt abgestrahlt (Abb.15). Obwohl nur ein kleiner Teil der abgestrahlten Rauschenergie empfangen wurde, war das völlig ausreichend, um das Würzburg vollständig blind zu machen. Das breite Rauschsignal stellte sicher, daß immer, auch nach einer Frequenzverschiebung innerhalb einer Insel, Störenergie empfangen wurde.

Denn wie wir zu Beginn sagten, wird von dem ausgesendeten Signal nur ein kleiner Bruchteil reflektiert und wieder aufgefangen. Die direkte Abstrahlung des Carpet-Senders war darum für die empfindlichen Radarempfänger viel zu stark. Es mußte also die Empfindlichkeit zurückgeregelt werden, wodurch die schwachen Radarsignale im Rauschen untergingen und nicht mehr sichtbar waren.

Dieses Problem ist übrigens bis zum heutigen Tag nicht ganz gelöst. Während des Golfkriegs (Januar/Februar 1991) zeigte sich, daß es trotz modernster Techniken noch immer möglich ist, z.B. mit Störsendern Radarmessungen so gut wie unmöglich zu machen.

Schlußfolgerung

Wir haben eine Reihe von technischen Entwicklungen Revue passieren lassen. Will man diese Entwicklungen beurteilen, dann muß man die Motive der einen Seite und die Reaktionen der anderen Seite untersuchen und das vor allem, weil Deutschland im Zweiten Weltkrieg eine totale Niederlage erlitten hat.

Von Clausewitz [17] fordert das deutlich und merkt an, daß in der Geschichte der Besiegte immer als der Dumme ("Imbecille") dasteht. Objektiv gesehen kann aber nur die Abwägung von Aktion und darauffolgender Reaktion eine Beurteilung der Ereignisse erlauben. Und das ist die Aufgabe des Historikers, schreibt er (freie Zusammenfassung, Originaltext in Anhang B).

Zwei wichtige Ursachen waren für die Ausschaltung der deutschen Radaranlagen und damit der Augen der Flak-Artillerie verantwortlich. Einmal die Einführung von Window im Luftkrieg. Es dauerte ungefähr ein Jahr, bis man sich von diesem Schlag einigermaßen erholt hatte. Aber danach wurden in immer größerer Zahl fliegende Störsender eingesetzt. Vielleicht wäre es möglich gewesen, auch hier mit entsprechenden Verfahren Erleichterung zu schaffen, aber der extrem intensive Einsatz beider Mittel machte es den Deutschen unmöglich, eine

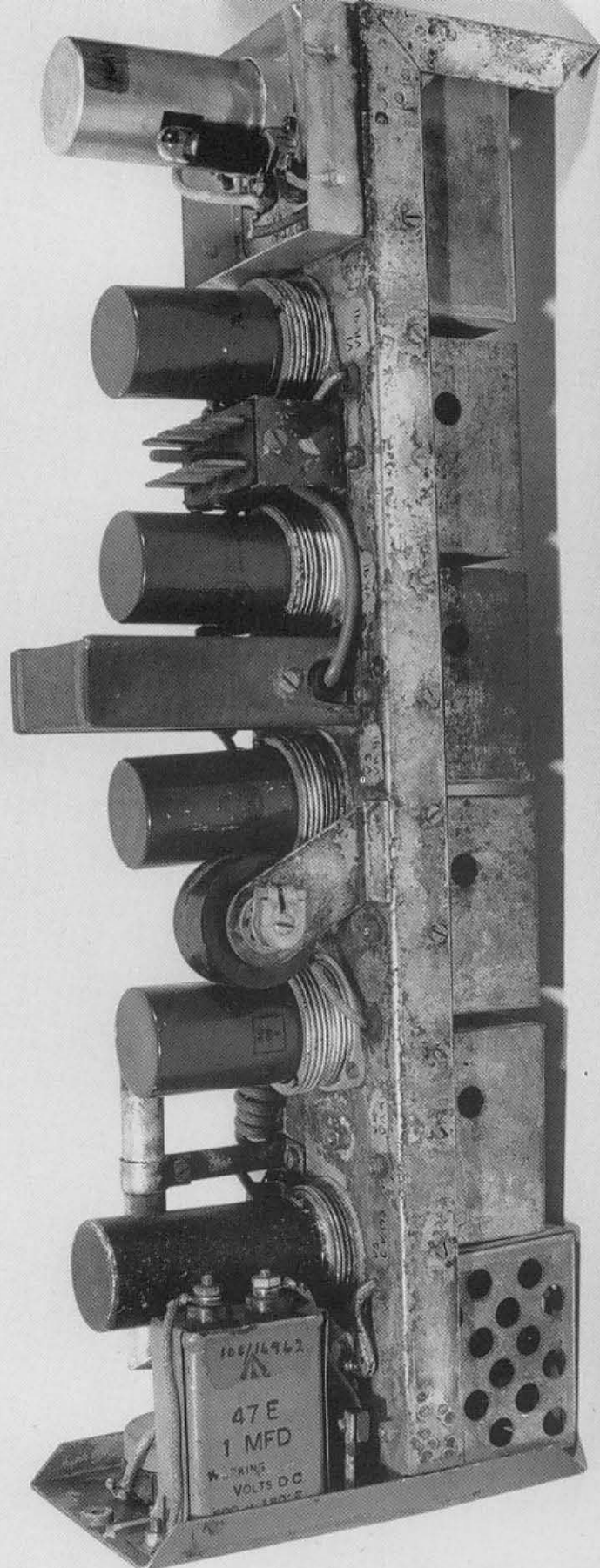


Abb.14 Modulator Unit 190 - Es handelt sich hier um die britische Ausführung des Carpet Modulator. Mit dieser Rauschquelle, zusammen mit Window oder Chaff (Düffel), wurden nahezu alle Würzburg-Anlagen ausgeschaltet. In dem etwas erhöht angebrachten Aluminiumrohr befindet sich der Sekundärelektronenvervielfacher (photomultiplier), der durch das Fahrradbirnchen vor dem fensterartigen Ausschnitt vollkommen übersteuert wurde. Das entstehende Signal wurde in mehreren Stufen (bestückt mit VR 91 = EF 50 und einer CV 173 = EF 55) auf 200 V ss verstärkt. Dieses starke, ± 20 MHz breite Rauschsignal wurde durch eine 5-W-Endstufe auf den Würzburg-Frequenzen ausgestrahlt und ergab das in Abb.15 dargestellte Rauschspektrum. Vor der Modulator Unit einige Streifen Window oder Chaff, wie sie gegen das Würzburg-Gerät zum Einsatz kamen.

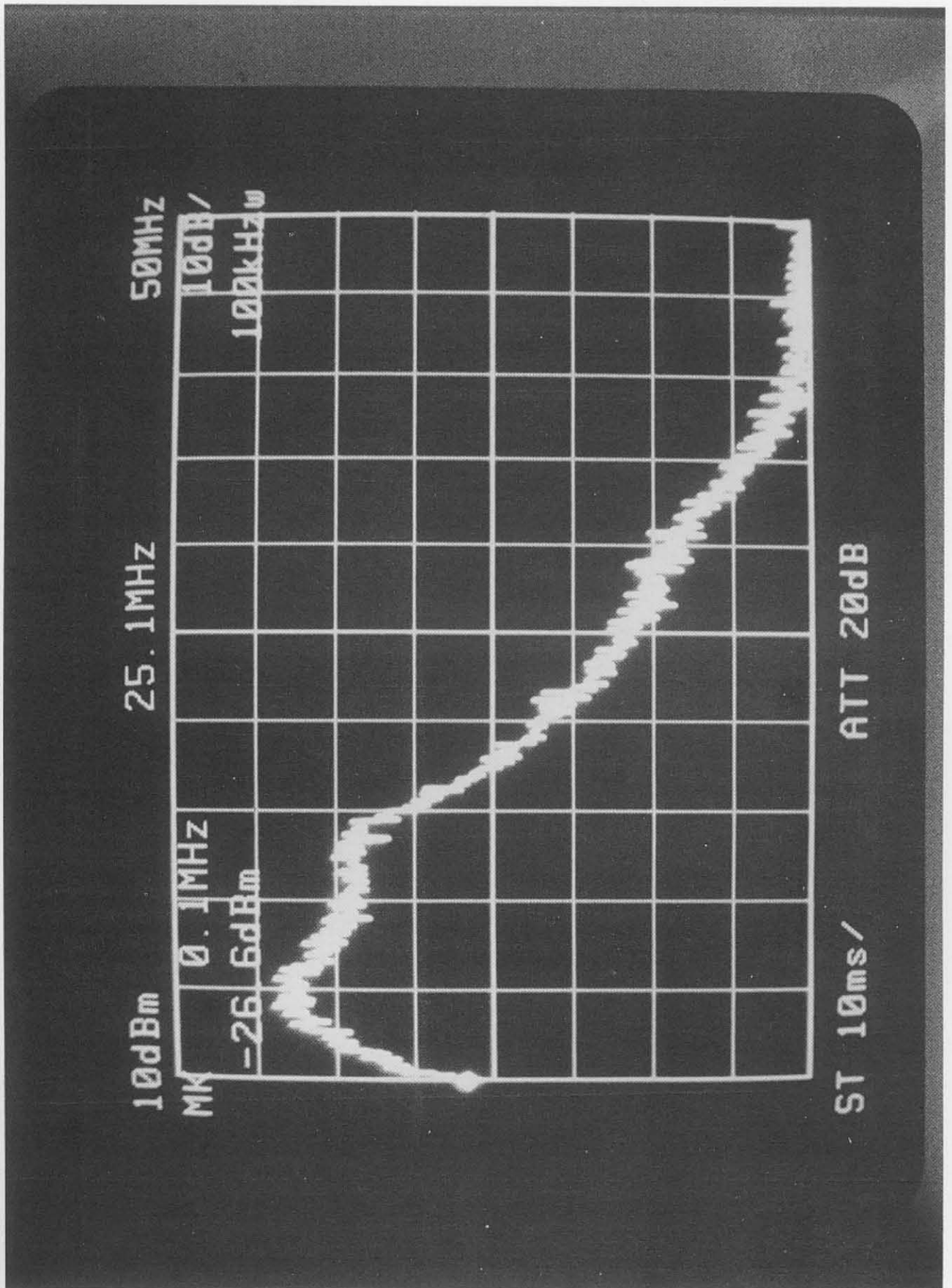


Abb.15 Rauschspektrum der Modulator Unit 190 - Die Messung erfolgte am 26.4.1991 mit einem Digital Spectrum Analyser, die Einstellwerte sind aus der Abbildung ersichtlich. Der Output (± 200 V ss) ist am Ausgang des Modulators gemessen. Die Bandbreite geht weit über 20 MHz hinaus. Ein derart breites Rauschsignal kann mehr als eine Frequenz-"Insel" gleichzeitig abdecken. Kleine Frequenzverschiebungen hatten deswegen beim Würzburg-Gerät keinen Sinn mehr.

Antwort darauf zu finden. Die Wirksamkeit der Flak wurde dadurch, verglichen mit der Zeit vor dem Einsetzen der Störungen, auf etwa 10 bis 25% reduziert.

Ende 1944 und Anfang 1945 gingen die Verluste auf alliierter Seite auf ein Drittel bis ein Sechstel der Verluste zurück, die vor den intensiven Störmaßnahmen zu beklagen waren. Ohne Zweifel spielte hier auch die Knappheit von Flugbenzin eine Rolle. Aber eine der Ursachen für diese Knappheit lag gerade in der alliierten Luftüberlegenheit, durch die die Flak und die Jägerführung größtenteils ausgeschaltet wurden.

Bisweilen brachte nur noch das Schießen von Sperrfeuer (eines Vorhangs von Flakgranaten) etwas Erleichterung. Aber der Munitionsverbrauch war dabei so enorm hoch, daß das kein Ausweg war. Diese Taktik, die man u.a. in Hamburg anwendete, resultierte in einem Verbrauch von 27.000 Flakgranaten in einer Nacht [16]!

Danksagung

Wie in der Einleitung vermerkt, konnte mit dieser Ausarbeitung nur dank Fritz Trenkle und A.-E. Hoffmann-Heyden begonnen werden. Vor allem Fritz Trenkle verdanke ich verschiedene Originalabbildungen und viele Berichte. Weil die hier wiedergegebenen Abbildungen meistens die "n-te" Kopie sind, ist die Qualität leider nicht immer optimal. Durch die Korrespondenz mit A.-E. Hoffmann-Heyden, mit dessen Zustimmung viele Blockschaltbilder übernommen werden konnten [2], wurde eine Fülle zusätzlicher Informationen erschlossen.

Meiner Frau Karin danke ich für Rat und Korrekturen.

Außerdem schulde ich Dank Cas Caspers, Eryl Davies vom Science Museum in London, Hans Evers, Jan ten Have, Karl Otto Hoffmann, Günter Hütter, Helmut Liebich, Louis Meulstee, Evert Odekerken, Dick Rollema und vielen anderen.

Anhänge

Die Würzburg-Chronologie⁵

1937	Beginn der Entwicklungsarbeiten
Sommer 1939	erste Vorführung
Sommer 1940	Beginn der Serienproduktion
November 1940	erste Vorführung der defokussierten Antenne (C-Satz)
30. Juni 1941	201 Würzburg-Geräte im Einsatz
1941	Einführung des D-Zusatzes EAG 62 "Emil" zur e-Messung
19. Januar 1942	Professorenkonferenz über Entstörmittel
27./28. Februar 1942	Kommandounternehmen Bruneval
April 1942	Versuche mit Stendal A und B
April/Mai 1942	Versuche mit dem sog. Michael-Überlagerer
September 1942	Einführung der (Breitband-)Inseln A und B
28. Oktober 1942	Nachdrückliche Weisung an GL/C-E 4 im RLM, mit der Entwicklung von Anti-Düppel-Maßnahmen zu beginnen
24. Juli 1943	Luftangriff auf Hamburg, erster Einsatz von Window
10. August 1943	Versuche der E-Stelle Werneuchen mit Steinhäger-Würzlaus
August 1943	Versuche der FAS III mit Nürnberg
September 1943	Beginn des Einsatzes von Michael-Überlagerern in großem Stil
26. Oktober 1943	Versuche mit der Kehr Bild-Schaltung von Hinzpeter
Ende 1943/Anfang 1944	Einführung Urechse
Frühjahr 1944	Einführung Tastlaus
Sommer 1944	Erprobung K-Laus
Sommer 1944	Versuche mit der Kombination Wind-/K-Laus
Ende 1944/Anfang 1945	Einführung der Kombination Wind-/K-Laus

⁵ Die hier wiedergegebenen Daten sind aus verschiedenen Quellen zusammengestellt; etwaige Überschneidungen/Unstimmigkeiten, auch im Vergleich zum Text, können deswegen nicht ausgeschlossen werden.

Erklärung von Begriffen und Abkürzungen

AN-Zusatz	Verfahren mit zwei (links/rechts) periodisch umgetasteten Antennendiagrammen, eine Art Minimumpeilung
ANG 62	Anzeigegerät 62 "Saturn"
Chaff	Window = Düppel
DA 62	(umlaufende) Dipolantenne 62 "Grille"
Düppel	Chaff = Window
e	Schrägentfernung vom Radargerät zum Luftziel, beim ANG 62 auf der Kathodenstrahlröhre LB 13/40 in 100-m-, beim EAG 62 in 10-m-Schritten angezeigt
EAG 62	(Fein-)Entfernungsanzeigegerät 62 "Emil"
ECM	electronic counter-measures, elektronische Gegenmaßnahmen
ECCM	electronic counter counter-measures, elektronische Schutzmaßnahmen
EFB 62	Entfernungsblende 62 "Goldammer" (Polarisationsblende)
Ferraris-Motor	eine Art Drehfeldmotor
Flak	Flugzeugabwehrkanone, Flugabwehrartillerie, anti-aircraft artillery, AAA, AA gun
FT 65	Frequenzteiler 65 "Jupiter"
FuG 25, 25a	Funkgerät 25.. "Zwilling" bzw. 25a "Erstling" zur Freund/Feind-(IFF-)Abfrage
Hinzpeter	Urheber der Kehrbild-Schaltung mit RV 12 P 2000
HS 62/65	Hilfssender 62/65, Reguliersender, phaselock oscillator/transmitter, erzeugt das Laus-Reguliersignal
IFF	identification friend/foe, Freund/Feind-Kennung
IG 62, 62a	Impulsgenerator 62 bzw. 62a "Igel"
Inseln	Insel A ± 560 , B ± 530 , C ± 490 MHz, vgl. Wismar
IS	Impuls-Leistungssender
MTI	moving target indication, Anzeige allein von bewegten Zielen wie beim Laus-Verfahren
NA I 62	Netzanschlußgerät I 62 "Dachs", 8,3 kV und 8 V
NA II 62	Netzanschlußgerät II 62 "Katze", -2,3 kV und +350 V

NA III 62	Netzanschlußgerät III 62 "Hund", -120/-140 V, -100/-120 V, -12V
NEG 62	Nulleichgerät 62 "Nashorn"
Nullode	mit Wasserdampf gefülltes Glasrohr als automatischer S/E-(T/R-)Umschalter (LG 70 - LG 76)
OSZ 62	Oszillograph 62 "Orion", Vorläufer des ANG 62
PRF	puls repetition frequency, Impulswiederholungsfrequenz, Tastfrequenz
RS	Reguliersender, vgl. HS 62/65
S 62	Sender 62 "Lokomotive"
SAM	Siemens-Apparate-Maschinenbau
SÜ 62, 62d	Sender-Überlagerer 62 "Eidechse" bzw. 62d "Urechse"
TR	transmit/receive (S/E), Umschaltung einer gemeinsamen Antenne zwischen Sende- und Empfangsbetrieb
ÜG 37	Übertragungsgerät 37, ein Drehfeld-(Servo-)System (selsyn) zur Übertragung der Meßwerte Schrägentfernung (e), Höhe und Seite u.a. an die Flak-Kommandozentrale und die Jägerleitzentrale
Verdüppelungsgrad	$= \frac{\text{Düppelamplitude}}{\text{Nutzsignalamplitude}}$
Window	Chaff = Düppel
Wismar	Vorrichtung zur Frequenzverschiebung innerhalb sogenannter Inseln (bei der Urechse in einem 70 MHz breiten Band)
ZFV 62	Zwischenfrequenz-Verstärker ZFV 62 "Zobel"

Anhang A

Zur Erklärung des Laus-Verfahrens

Der auf 560,2 MHz im Dauerstrich schwingende RS ist unmittelbar mit dem IS gekoppelt und bestimmt dessen Anschwingphase. Durch die gleichzeitige Einkopplung in den Empfangskanal wird dafür gesorgt, daß die Regulierfrequenz mit den Empfangssignalen die Schwebungsfrequenz von 200 kHz bilden kann. Die Bandbreite des Empfangskanals reicht aus, um auch diese Frequenz mitzuverstärken und im Anzeigeteil sichtbar werden zu lassen.

Quelle: [2, S.183]

Anhang B

Überhaupt kann man ganz allgemein sagen, daß alle die unglücklichen Kriegsunternehmungen, die durch eine Reihe von Fehlern hervorgebracht sind, niemals in ihrem innern Zusammenhang so beschaffen sind wie das Publikum glaubt. Die Leute welche handeln, wenn sie auch zu den schlechtesten Feldherren gehören, sind doch nicht ohne gesunden Menschenverstand und würden nimmermehr solche Absurditäten begehen, wie das Publikum und die historischen Kritiker ihnen in Pausch und Bogen anrechnen. Die meisten dieser letztern würden erstaunen wenn sie alle die näheren Motive des Handelns kennen lernten, und höchst wahrscheinlich dadurch eben so gut verleitet worden sein wie der Feldherr, der jetzt wie ein halber Imbecille vor ihnen steht. Fehler müssen allerdings vorhanden sein, aber sie liegen nur gewöhnlich tiefer, in Fehlern der Ansicht und Schwächen des Charakters, die nicht auf den ersten Blick als solche erscheinen, sondern die man erst auffindet und deutlich erkennt wenn man alle Gründe, welche den Besiegten zu seinem Handeln bestimmten, mit dem Erfolg vergleicht. Dieses Finden des Wahren hinterher ist der Kritik gestattet, kann ihr nicht höhnend vorgeworfen werden, sondern ist ihr eigentliches Geschäft, ist aber allerdings viel leichter als das Treffen des Rechten im Augenblick des Handelns.

Es ist darum in der That eine Thorheit, wenn wir fast sämtliche Armeen den Grundsatz befolgen sehen, über die unglücklichen Kriegsereignisse so wenig als möglich bekannt zu machen; die Sachen werden sich, wenn sie genau bekannt sind, immer viel besser als in Pausch und Bogen ausnehmen.

Quelle: [17, S.46]

Anhang C

Fug 62 A

Fig.33 zeigt das Blockschaltbild des Geräts. Der linke Teil ist der OSZ 62; im mittleren Teil, zwischen den gestrichelten Linien, sind übereinander angeordnet der ZFV 62 (unten) und der Impulsgenerator IG 62, auch Impulsenergieverstärker oder Impulszentrale genannt (oben); rechts davon befindet sich die Sende- und Empfängereingangsstufe SÜ 62.

Der OSZ 62 ist ein sogenanntes Sichtgerät, das mit einer Zeitbasis kombiniert ist, von der alle Impulssignale abgeleitet werden. Der Zeitbasisgenerator besteht aus einem Tongenerator in Wien-Brücken-Schaltung mit einer Arbeitsfrequenz von 3.750 Hz. Um Störungen durch nahegelegene Radarstellungen zu vermeiden, konnten zwei Ausweichfrequenzen gewählt werden, die um $\pm 0,1\%$ verschoben waren. Dieser Generator erzeugte auch die Ablenkspannung, die, nach Verstärkung, zwei um 90° gegeneinander phasenverschobene Ströme für die magnetische Ablenkung der LB 13/40 lieferte. Eine pulsformige Spannung von ebenfalls 3.750 Hz (PRF) wurde im IG 62 gebraucht. Hier entstanden die verschiedenen Steuerimpulse für den Sender S 62 und für den Mischkopf, der sich am Empfängereingang befand, sowie der Sperrimpuls für den ZF-Verstärker.

Betrachten wir den Zustand, in dem der Sender noch nicht arbeitet (gesperrt ist). Fig.34 zeigt das Blockschaltbild des SÜ 62. Das Steuergitter g1 der LS 180 wird durch -2,3 kV gesperrt. In dem Moment, wo der Sender zum Schwingen gebracht werden soll, wird die Gitterspannung auf 0 Volt zurückgenommen. Da an der Anode ständig +8 kV anliegen, wird der Sender binnen Nanosekunden schwingen. Der Arbeitszustand dauert 2 μsek (± 280 Schwingungen). Innerhalb dieser kurzen Zeitspanne erreicht die an das Antennenkoaxialkabel abgegebene Spannung bei 10 kW Ausgangsleistung bis zu 836 V_{eff} . Es ist leicht einzusehen, daß eine derart hohe Spannung nicht in den Empfänger gelangen darf. Aus diesem Grund wird der Mischkopf etwas länger als 2 μsek mit -2,3 kV gesperrt. Dennoch reichte das nicht aus, um den ZF-Verstärker vollkommen unempfindlich gegen das Sendersignal zu machen. Dazu war es erforderlich, diesen gleichzeitig mit -100 V zu sperren, um ernste Zustopf-Effekte zu vermeiden. Problematisch war dann nur, daß der Empfänger einige μsek nach der Freigabe, d.h. nach dem Wegfall der -100 V, die aufgebaute Ladung noch nicht völlig abgebaut hatte. Dadurch konnten auf kurze Entfernungen keine Messungen durchgeführt werden, weil dann die Laufzeit des Radarimpulses so kurz wurde, daß seine Reflexion wegen der andauernden Sperrung des Empfängers nicht wahrgenommen werden konnte.

Die Umschaltung der Antenne zwischen Sender und Empfänger (T/R) erfolgte durch zwei in der Länge verstellbare Koaxialleitungen (Rohre), Posaune genannt.

Solange der Sender noch nicht schwingt, ist die Impedanz am Antennenanschluß Richtung Sender unendlich (∞), während der Antennenanschluß Richtung Empfänger mit 70 Ω optimal angepaßt ist (= optimale Anpassung des Empfängereingangs an die Antenne). Das gilt umgekehrt auch, wenn der Sender arbeitet und der Empfängereingang gesperrt ist. Die dann anliegenden -2,3 kV verursachen eine Verstimmung des Mischer-Eingangskreises. Dadurch nimmt, vom Sender in Richtung Antenne gesehen, die Abzweigung nach dem

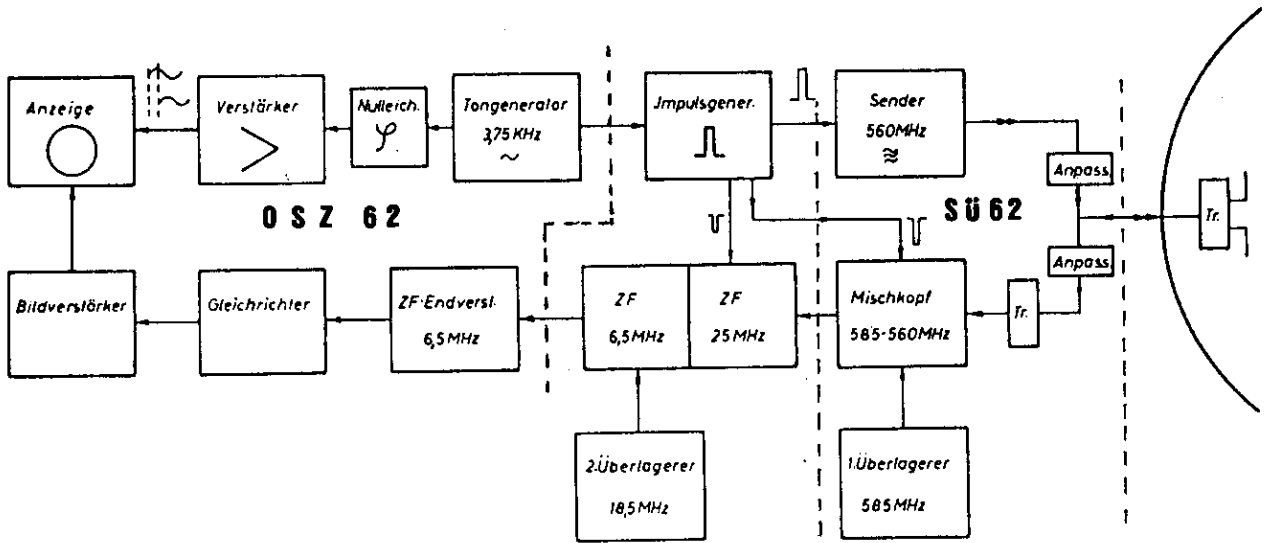


Fig.33 FuG 62 A, Blockschaltbild - Links von der linken gestrichelten Linie sind die verschiedenen Baugruppen des Oszillographen OSZ 62 Orion zu finden, zwischen den gestrichelten Linien in der Mitte übereinander der ZF-Verstärker ZFV 62 und der Impuls-generator IG 62 und rechts davon der Sender-Überlagerer SÜ 62 mit 565-MHz-Sender und Empfängereingang. Vgl. Anhang C.

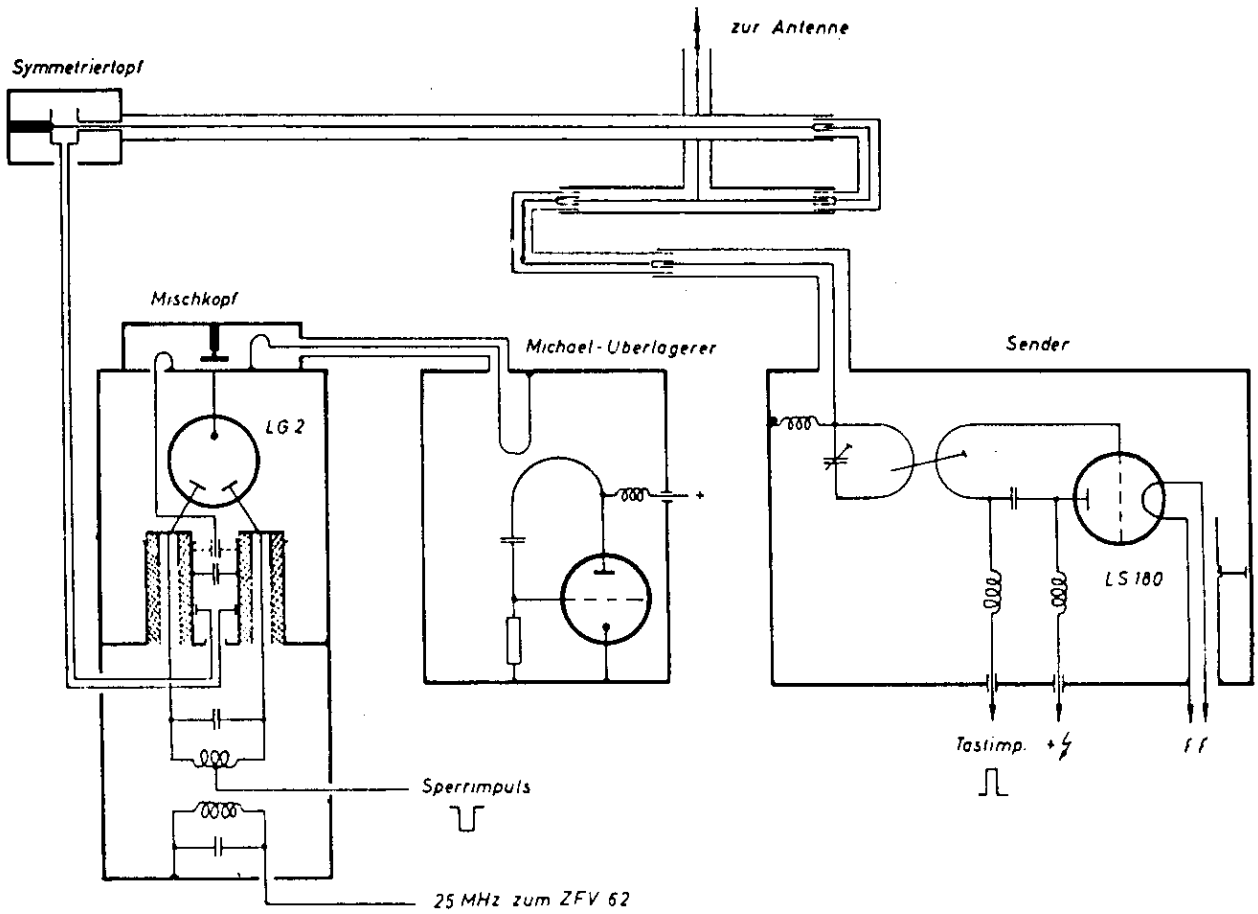


Fig.34 Sender-Überlagerer SÜ 62a Eidechse - Rechts der Sender S 62, die "Lokomotive", in der Mitte der 1. Überlagerer (hier vom Typ Michael), links der Mischkopf/Empfänger-eingang. Die ausziehbaren Koaxialleitungen bilden zusammen die "Posaune". Vgl. Anhang C.

Empfänger eine unendliche Impedanz (∞) an, und die Sendeenergie kann ohne Verluste an die Antenne gelangen. Es ist dabei wichtig, daß die Länge der Koaxialleitungen zur Sende- und Empfangsfrequenz im richtigen Verhältnis steht. Das wurde unmittelbar deutlich, als nach der Einführung von Wismar (d.h. der Möglichkeit, die Frequenz zu verschieben) auch die Posaune neu abgeglichen werden mußte.

Das im Mischkopf erzeugte 25-MHz-ZF-Signal wurde über ein Koaxialkabel dem ZFV 62 zugeführt, wo es auf 6,5 MHz umgesetzt wurde. Zu diesem Zweck war im ZFV 62 ein 18,5-MHz-Oszillator vorgesehen ($25 - 18,5 = 6,5$). Dieses ZF-Signal ging nach Verstärkung zum Eingang des OSZ 62, wo daraus nach Gleichrichtung ein Videosignal entstand. Dieses Videosignal, auf das gewünschte Niveau gebracht, bewirkte seinerseits über den Ablenkzylinder der LB 13/40 eine zackenförmige Ausbuchtung auf dem Leuchtkreis der Elektronenstrahlröhre. Vgl. zur Illustration die zeichnerische Darstellung eines Radar-Übersichtsschirms in Fig.4A.

Anhang D

Fug 62 D

Die Einzelgeräte, die von den früheren Versionen unverändert übernommen wurden, lassen wir hier außer Betracht.

Betrachten wir zunächst das Sichtgerät ANG 62 in Fig.35 und 36. Mit dem Signal A wird die Kreisablenkung der LB 13/40 gesteuert, vgl. Fig.4A und Abb.4. Oben auf der Kreisskala befindet sich der Startpunkt bei 0 km. Der Kreis wird 3.750 mal pro Sekunde (3,75 kHz) durch den Elektronenstrahl abgetastet und "geschrieben". Wenn alles wie vorgesehen funktioniert, befindet sich der schnell umlaufende Leuchtfleck genau bei 0 km, wenn der Sender gesperrt und der Empfänger freigegeben wird. Bei jedem neuen Sendeimpuls beginnt der Strahl einen neuen Umlauf.

Das Signal B wird dem ANG 62 aus dem EAG 62 zugeführt (C in Fig.36); es ist mit dem e-Peilschirm im EAG 62 gekoppelt. Wie später noch zu zeigen sein wird, ist der sichtbare Bereich auf den beiden Peilschirmen identisch mit dem des e-Meß-Schirms, nämlich der achte Teil des Gesamtbereichs von 40 km, also 5 km. Der Impuls E kommt ebenfalls aus dem EAG 62 (E in Fig.36, vgl. auch Fig.4D,E), es ist der e-Meß-Ausblendimpuls oder Dunkelpunkt, der sich stets in der Mitte des e-Meß-Schirms befindet und gleichzeitig auf dem Übersichtsschirm (einer LB 13/40) das angemessene Ziel an einer bestimmten Stelle im Bereich von 0 bis 40 km anzeigt. Das 6,5-MHz-ZF-Signal wurde schon bei der A-Ausführung des Würzburg behandelt (vgl. Fig.35). D schließlich ist mit dem Antennensektorschalter in der DA 62 verbunden (Fig.2B). Damit werden, wie schon beschrieben, die links/rechts- und oben/unten-Meßwerte synchron mit dem Antennenstand an die betreffenden Peilschirme geführt. - Fig.36 gibt den Aufbau des EAG 62 wieder.

Als Zeitbasis diente im FuG 62 ein 60-kHz-Quarz, von dem die Impulssignale für die verschiedenen Teile des Würzburg abgeleitet wurden; dazu waren insgesamt 12 Röhren nötig.

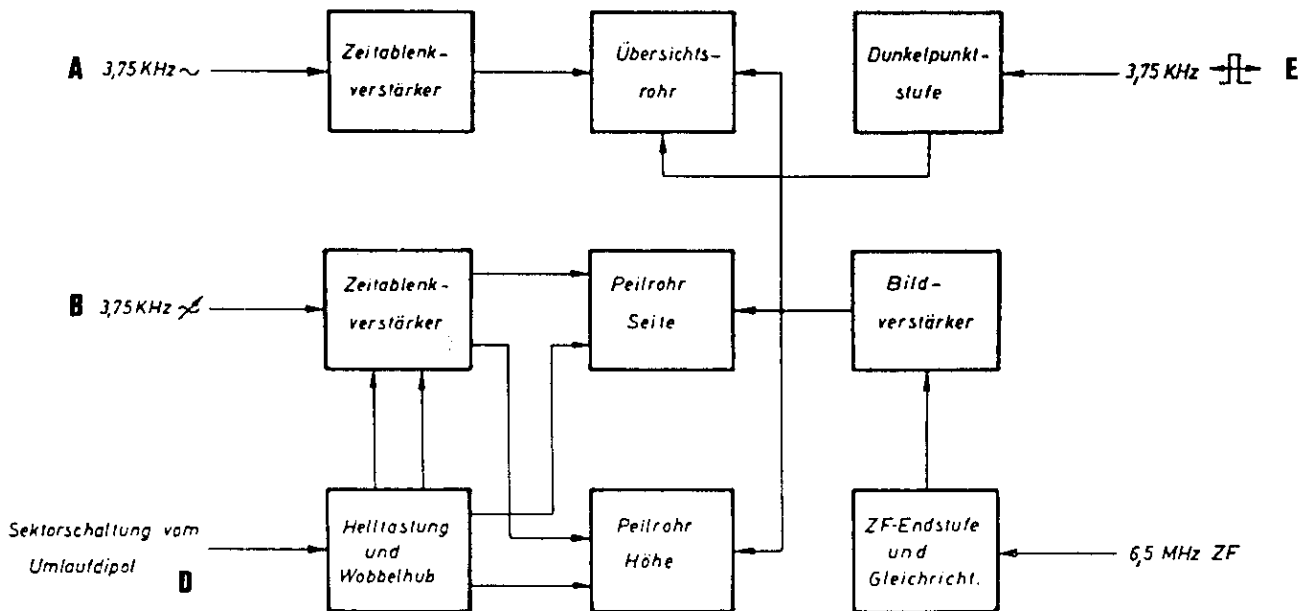


Fig.35 Anzeigegerät ANG 62 Saturn - Nachfolger des OSZ 62; sein Einbau machte aus dem Würzburg die Version C oder D. Was die Herkunft der verarbeiteten Signale anbelangt, so kamen aus dem EAG 62 das Signal A (= B in Fig.36), das Signal B (= C in Fig.36) und der e-Meß-Ausblendimpuls E (= E in Fig.36), D war mit dem Antennensektorschalter verbunden, vgl. Fig.2B. Siehe auch Anhang D.

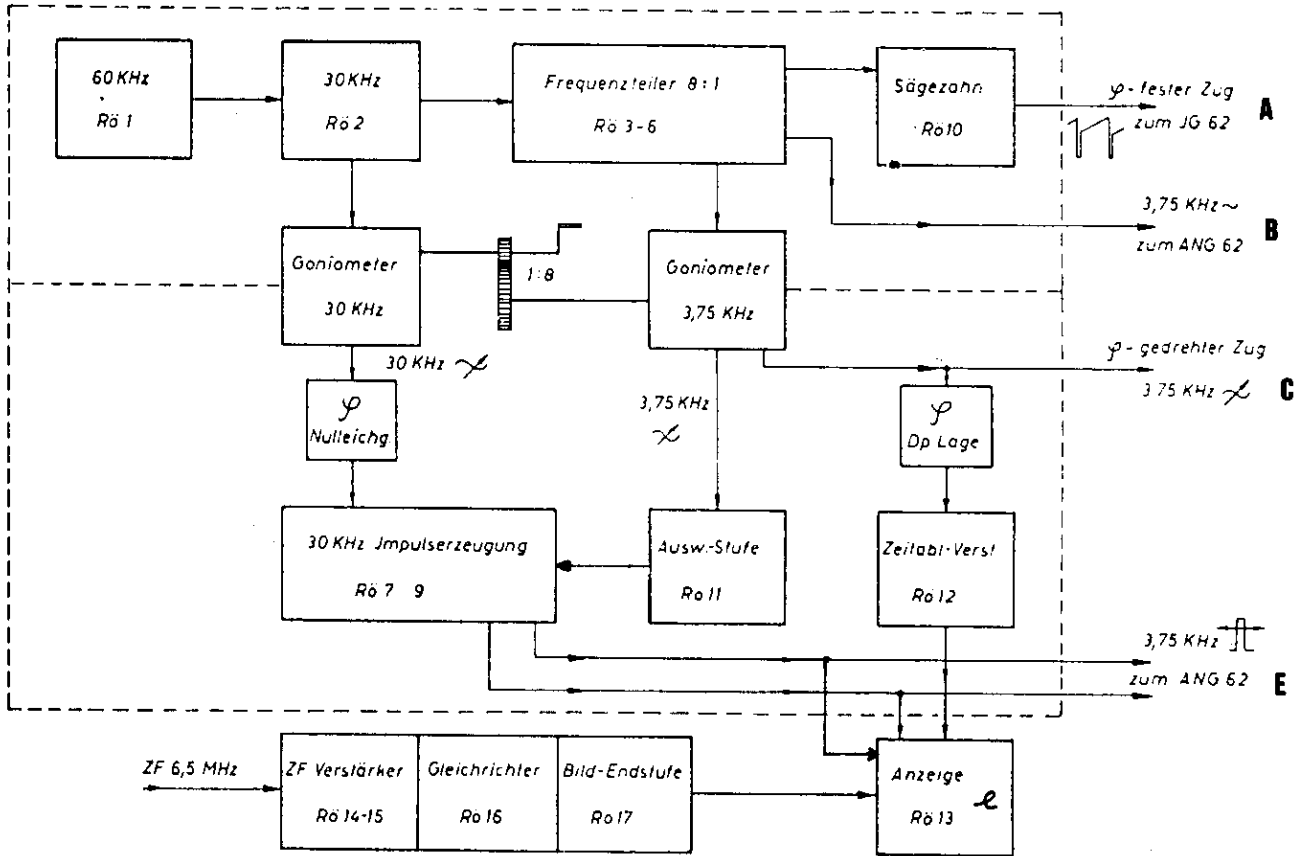


Fig.36 Entfernung-Anzeigegerät EAG 62 Emil - Beim FuG 62 D entstanden hier alle Impulssignale. Signal A steuerte über das IG 62 den Sender, Signal B die Ablenschaltung im ANG 62 (= A in Fig.35), Signal C besorgte die Ablenkung bei den im ANG 62 eingebauten Peilschirmen (= B in Fig.35), Signal E war der vielfältig eingesetzte Dunkelpunkt. Rö 13 = Elektronenstrahlröhre des e-Meßschirms. Vgl. auch Anhang D.

Bei der Einführung des EAG 62 mußte ein anderer Weg beschritten werden. Man entschied sich für eine variable Phasenverschiebung mittels symmetrischer Drehgoniometer. Der eingestellte Drehwinkel (= Stand der Goniometerachse) stand in einem linearen Verhältnis zur Phasenverschiebung und somit zur Entfernung. Dadurch konnte die Entfernungsskala (vgl. Fig.4E) linear ausgeführt und mithin einfach realisiert werden. Solche Goniometer konnten indessen nur mit einer Genauigkeit von maximal 1% hergestellt werden.

Die Formel für die Laufzeitabweichung als Funktion des Drehwinkels in Relation zur Arbeitsfrequenz lautet für ein um 360° drehbares Goniometer:

$$\Delta t = \frac{p}{360} \cdot \frac{1}{f} \quad (3)$$

wobei t der Laufzeitfehler, p der Phasenfehler und f die Frequenz ist. Wie man sieht, nimmt der Phasenfehler (Laufzeitfehler) mit steigender Frequenz ab (1/f). Mit aus diesem Grund wurde das Feingoniometer auf einer höheren Frequenz betrieben als das Grobgoniometer, und zwar auf 30 kHz, die ein Frequenzteiler mit R_ö 2 aus dem ursprünglichen 60-kHz-Signal erzeugte. Die Phasengenauigkeit, mit der ein eingestellter Drehwinkel reproduziert werden konnte, stieg damit auf 7,5 Bogenminuten. Mit Hilfe der Goniometer konnte die Verzögerung einer Wechselspannung sehr genau eingestellt und dabei die beiderseitige Nicht-Linearität so gering wie möglich gehalten werden. In R_ö 3 bis R_ö 6 wurde das Signal noch einmal durch 8 geteilt, so daß insgesamt eine Teilung durch den Faktor 16 erreicht wurde (60 : 16 = 3,75 kHz). Wie das Schaltbild zeigt, wurde mit den beiden Signalen aus dem Frequenzteiler 8 : 1 das IG 62 und somit indirekt der Sender angesteuert (A in Fig.36). Unmittelbar damit gekoppelt war das Ablenssignal (B in Fig.36) für den Übersichtsschirm des ANG 62 (Fig.4A).

Die Richt- und e-Schirme wurden aus dem sogenannten gedrehten Zug versorgt (vgl. Fig.36). Die beiden Goniometer/Phasenschieber (die mit der e-Meß-Anzeige gekoppelt waren, vgl. Fig.4E) waren mechanisch fest über Zahnräder mit einer Übersetzung von 1 : 8 miteinander verbunden. Das zweite, das Grobgoniometer, hatte 8 mal mehr Zähne als das 30-kHz-Feingoniometer, versorgt wurde es mit einer Frequenz von 3,75 kHz (PRF), die aus der Teilung der 30-kHz-Frequenz durch 8 entstanden war. Dadurch wurden bei jeder Umdrehung des 30-kHz-Feingoniometers der achte Teil des Bereichs von 40 km wiedergeben. Diese 5 km sind der auf dem e-Meß-Schirm sichtbare Bereich.

Der Ausblendimpuls oder Dunkelpunkt entstand im EAG 62 durch eine Koinzidenzschaltung in R_ö 9 aus dem 30-kHz- und dem 3,75-kHz-Signal, das über R_ö 11 eingespeist wurde. Eine derartige Anordnung war dadurch möglich, daß die beiden Goniometer, wie wir gesehen haben, mechanisch starr miteinander verbunden waren. R_ö 9 steuerte sowohl den ~~Wärmel~~zylinder des e-Schirms im EAG 62 als auch den Übersichtsschirm im ANG 62 über den Impuls E (Fig.4A und 36). Derselbe Impuls wurde auch für Tastlaus, Nürnberg, K-Laus, Windlaus usw. verwendet. - In diesem Rahmen begnügen wir uns notgedrungen mit dieser kurzen Beschreibung. Für nähere Einzelheiten sei auf [2,15] verwiesen.

Zum Abschluß noch ein Blick auf die Urechse SÜ 62d, den Nachfolger der Eidechse SÜ 62a. Fig.37 zeigt das Blockschaltbild der Urechse.

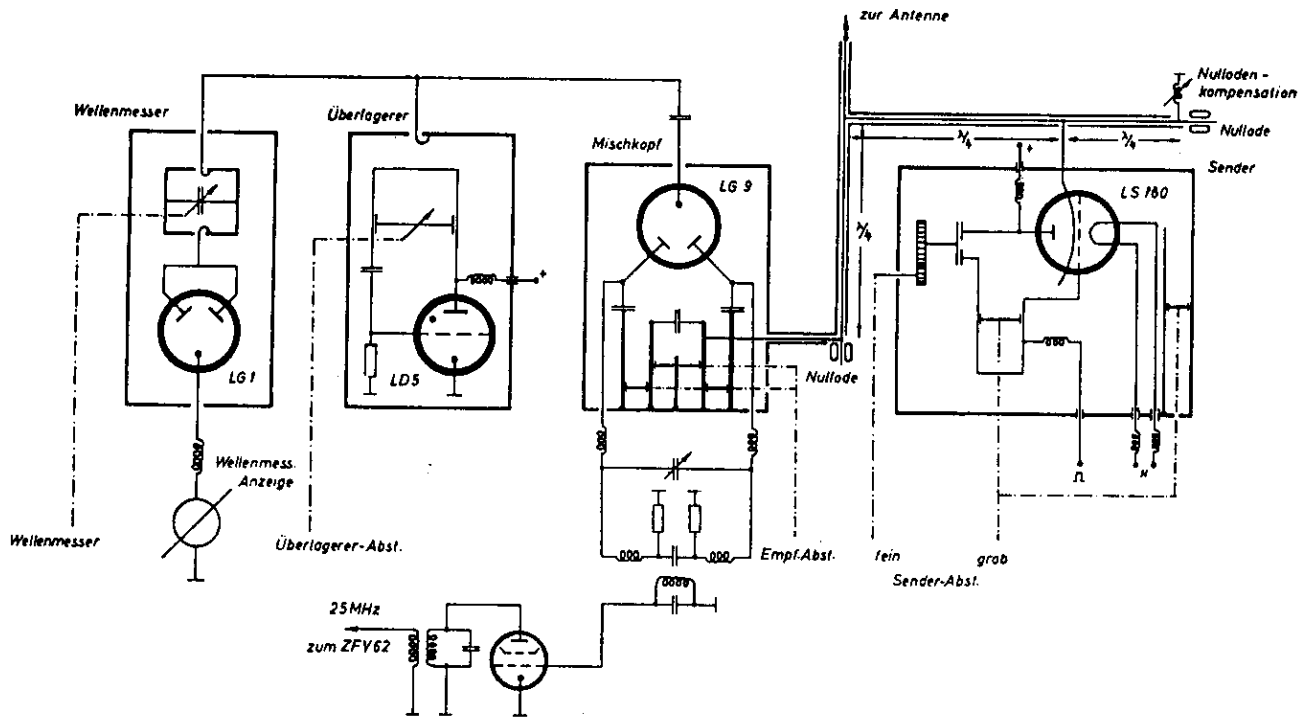


Fig.37 Sender-Überlagerer SÜ 62d Urechse - Die Antwort auf die Forderung nach schnellem Frequenzwechsel in Verbindung mit Wismar. Links der Wellenmesser, mit dem Sender und Empfänger leicht aufeinander abgestimmt werden konnten. Der Überlagerer mit der LD 5 und der Mischkopf mit der LG 9 wurden für dieses Gerät neu entwickelt. Der Senderteil (rechts) wurde in Einknopfbedienung im gesamten Bereich von 490 - 560 MHz abgestimmt. Siehe auch Anhang D.

Wie schon ausgeführt, war die Möglichkeit eines schnellen Frequenzwechsels für die Deutschen äußerst wichtig. Dafür war die Eidechse, auch nach Modifikationen, nur sehr beschränkt geeignet. Es lag damit auf der Hand, ein Nachfolgegerät zu entwickeln. Das Ergebnis dieser Arbeiten war die Urechse SÜ 62d.

Als Senderöhre wurde wiederum eine LS 180 verwendet. Um einen schnellen Frequenzwechsel vornehmen zu können, konnten Kathoden- und Anodenkreis gemeinsam über einen Bedienungsriff abgestimmt werden. Auf den Abb.9 und 9a sind Details sichtbar. Die in Abb.9a sichtbaren Zahnräder gehören zur Abstimmung des Kathodenkreises.

Der Mischkopf wurde mit einer verbesserten Mischröhre, der LG 9, ausgerüstet. Nachdem durch eine andere Form der Antennenumschaltung zwischen Senden und Empfangen die HF-Energie in der Mischstufe gering blieb, konnte auch die Sperrspannung, die bei der Eidechse -2,3 kV betragen hatte, wegfallen. Der erste Überlagerer bestand aus einem Modul, das alle Frequenzinseln (A, B, C) überstreichen konnte. Neu war ein eingebauter Wellenmesser, mit dessen Hilfe sowohl die Sendefrequenz eingestellt wie der Empfänger auf diese abgestimmt werden konnte. Um die Empfindlichkeit zu erhöhen, wurde noch ein zusätzlicher 25-MHz-ZF-Verstärker eingebaut.

Die Umschaltung der Antenne zwischen Sender und Empfänger (T/R) wurde völlig neu entwickelt, so daß die Posaune wegfiel, vgl. Fig.38. Als Schaltelement wurde eine sogenannte Nullode vom Typ LG 71 eingesetzt, ein hohles Glasrohr, das mit Niederdruck-Wasserdampf gefüllt ist. Wenn die volle HF-Energie auf die Nullode einwirkt, ionisiert bzw. zündet die Gasfüllung, was zu einer hellblauen Verfärbung führt. (Wie schon gesagt, konnte die Spannung an der Koaxialleitung bis auf mehr als 800 V_{eff} ansteigen, sie ist jedoch am Ende einer offenen ¼-Wellen-Stichleitung noch viel höher.)

Die innen hohle Nullode war über eine ¼-Wellen-Stichleitung geschoben. Umgeben war sie von einem Mantel bzw. einer Hülse aus Metall, nämlich der Abschirmung der Koaxialleitung. Die Nullode befand sich demnach zwischen Leiter und Abschirmung der Koaxialleitung. Mit etwas Phantasie ist der Aufbau in Fig.38 zu erkennen. Der endgültige Effekt der neuen Umschaltung unterscheidet sich am Anschlußpunkt der beiden Koaxialleitungen in Richtung Sender und Empfänger - C in Fig.38 - nicht von der SÜ 62a Eidechse, doch die Arbeitsweise des bei der Urechse gewählten Verfahrens ist deutlich anders.

Im oberen Teil von Fig.38 ist der Sendefall dargestellt. Beide Nulloden (A und B) sind gezündet. An der Empfängerseite von C herrscht ein hochohmiger Zustand ($Z = \infty$), weil die Nullode B gezündet ist und die ¼-Wellen-Stichleitung dadurch kurzgeschlossen ist. In dem Zustand $Z = \infty$ wird der Empfänger am gemeinsamen Antennenanschluß nicht wahrgenommen, und das Sendersignal kann ungehindert an die Antenne gelangen. Bei Empfang, im unteren Teil von Fig.38, ist die Situation genau umgekehrt. Der Zustand $Z = \infty$ herrscht jetzt in Richtung Sender. Das Antennensignal nimmt in Punkt C den Sender nicht wahr und kann seine ganze Energie an den Empfänger abgeben.

Zur Erklärung der Schaltung müssen wir kurz auf die Theorie der offenen und kurzgeschlossenen Leitungen eingehen. Ist eine ¼-Wellen-Koaxialleitung an einem Ende offen, wird sie am anderen Ende eine niedrige Impedanz annehmen. Schließt man nun das bisher offene Ende kurz, dann verändert sich die Impedanz am anderen Ende und wird $Z = \infty$. Das

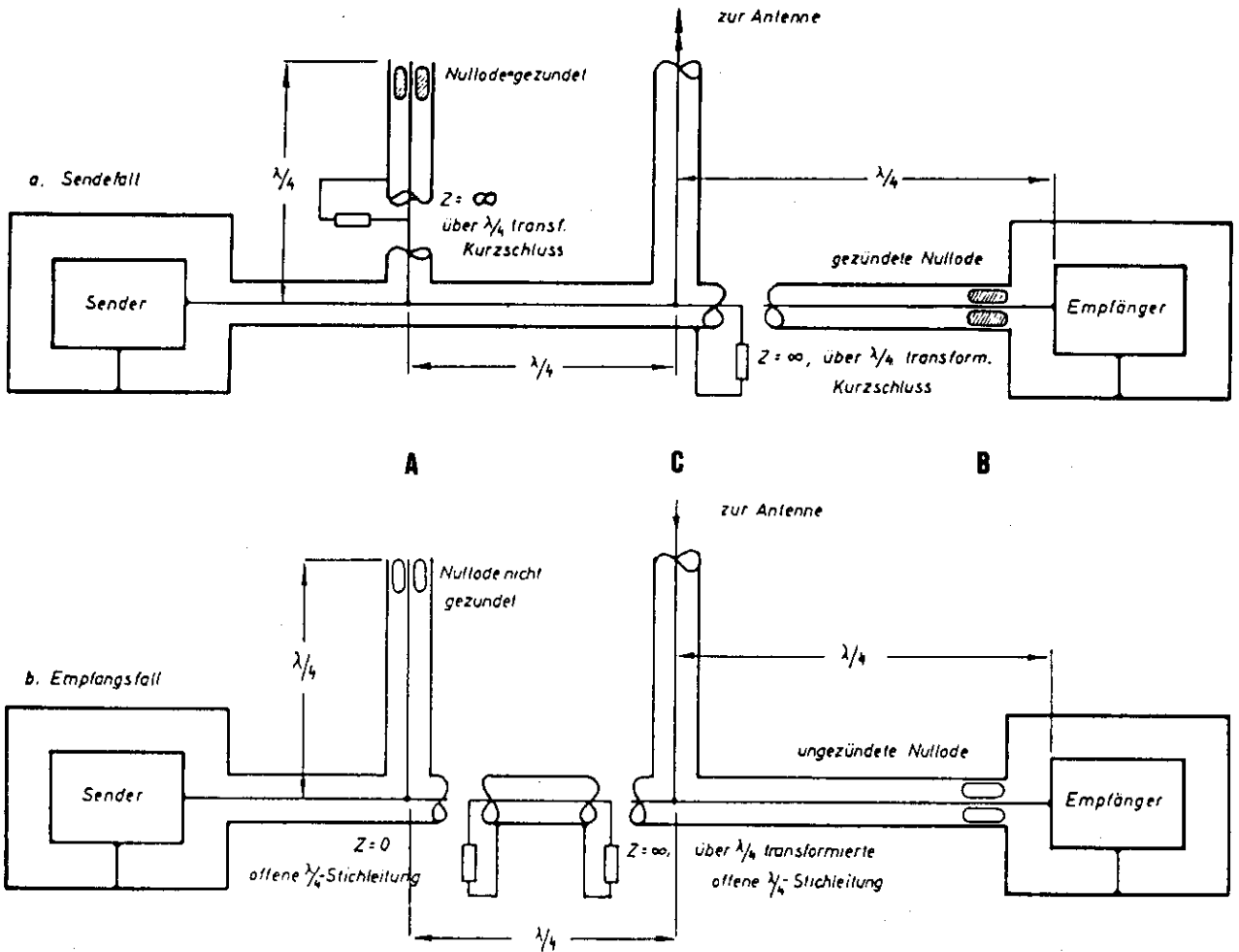


Fig.38 Antennenumschaltung (T/R) bei der Urechse SÜ 62d - Die Antenne ist oben auf Sendung, unten auf Empfang geschaltet. Die $\frac{1}{4}$ -Wellen-Leitung hat die Eigenschaft, daß an deren einem Ende stets die umgekehrte Situation herrscht wie an dem anderen, d.h. wenn die Leitung an einem der beiden Enden offen ist, ist das andere kurzgeschlossen und umgekehrt (natürlich nur im offenen bzw. kurzgeschlossenen Zustand). Wird die Nullode durch die Sendeenergie gezündet, bewirkt das am Stichleitungsende einen Kurzschluß, während das andere Ende dann hochohmig ($Z = \infty$) wird. Vgl. Anhang D.

ist genau, was beim Senden an der Empfängerseite eintritt (Fig.38 oben). Die Nullode B zündet und verursacht durch das ionisierte Gas einen Kurzschluß, denn das Gas nimmt eine hohe Kapazität an, was hf-mäßig wie eine KurzschlieÙung wirkt. Dasselbe geschieht auch mit der linken Nullode A. Wenn gesendet wird, zündet diese natürlich auch und schließt das Ende kurz., d.h. auf dem Weg, den das Signal zurücklegt, wird die Stelle, wo die Stichleitung A an das Senderkoax angeschlossen ist, als $Z = \infty$ "gesehen" und somit nicht wahrgenommen.

Der untere Teil von Fig.38 zeigt die Situation bei Empfang. Beide Nulloden zünden nicht und beide $\frac{1}{4}$ -Wellen-Leitungen sind daher offen. Die Impedanz senderseitig in A beträgt jetzt $Z = 0$. Von A bis zum Antennenanschluß C haben wir eine $\frac{1}{4}$ -Wellen-Leitung. Wie erwähnt, ist die Impedanz an deren linkem Ende $Z = 0$, also Kurzschluß in A, wodurch am anderen Ende, am Antennenanschluß in Richtung Sender, $Z = \infty$ entsteht. Damit kann die Empfangsenergie ungehindert an den Empfänger gelangen. Die Nullode B unmittelbar vor dem Empfängereingang wird nicht wahrgenommen, weil das Glasrohr bei einer unverminderten Impedanz von 70Ω nahezu keinen Einfluß ausübt.

Der linke Teil der Anordnung (A) tritt nur in Funktion, wenn der Sender nicht arbeitet; seine einzige Aufgabe besteht darin, in der Empfangsperiode den Anschluß des Senders in C zu sperren.

Anhang E

Nicht allein die Flak-Kommandozentrale, auch die **Jägerführung** machte von den Meßwerten der Radargeräte Gebrauch.

Die Richtwerte für Höhe und Seite sowie der e-Meßwert (Schrägentfernung) lassen sich nicht ohne Umrechnung in einen bestimmten Punkt auf der Landkarte umsetzen. Um die **Luftlage** und die **Jägerführung** auf einfache und übersichtliche Weise mit Angaben zu versorgen, wurde an das Würzburg ein analoges Rechengerät, der Rechner II, angeschlossen und die e_K und h-Werte automatisch an den sogenannten **Beobachtungstisch** übertragen. Fig.5 zeigt den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Meßgrößen. Um die Entfernung zwischen dem Radargerät und dem Ort auf der Landkarte, über dem sich das Ziel befindet, zu ermitteln, braucht man nur zwei Werte, nämlich die Entfernung e zwischen Radargerät und Ziel (Schrägentfernung) und den Höhenwinkel γ . Die Formeln, mit denen man daraus die kartografische Entfernung e_K und die Höhe h über diesem Punkt berechnen kann, lauten:

$$e_K = e \cdot \cos \gamma ; \quad h = e \cdot \sin \gamma . \quad (4)$$

Damit lassen sich durch einfache Multiplikation die gewünschten Werte ermitteln.

Betrachten wir nun Fig.39. P I ist ein $10\text{-}\Omega$ -Potentiometer, das sich im Gehäuse des SAM-Gebers innerhalb des EAG 62 befand und mit der e-Meß-Skala gekoppelt war (Fig.4E). Die dort angezeigte Entfernung wurde über den Drehfeldgeber Ü 37, Teil des Übertragungsgeräts 37, an das Kommandogerät übermittelt.

Übtr. Ger. 37

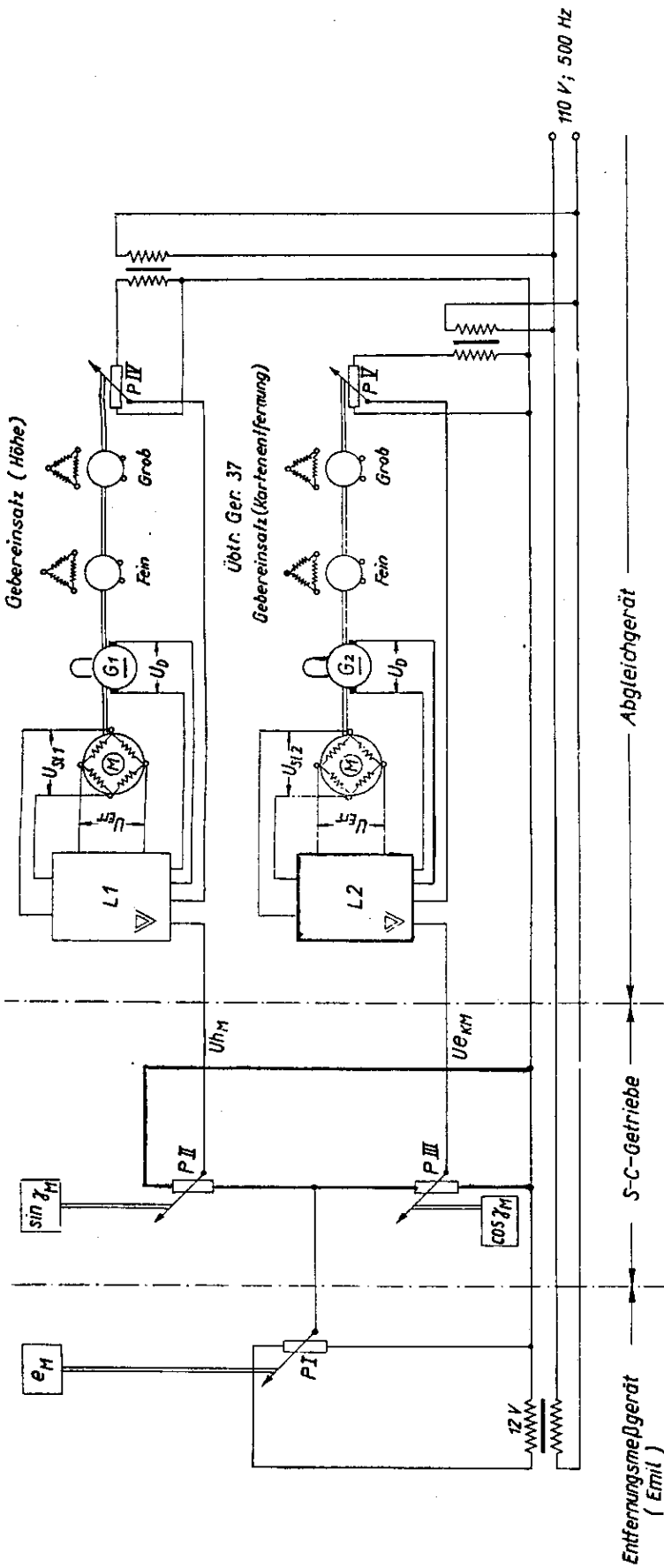


Fig.39 Blockschaltbild des Rechners II - L 1 und L 2 sind die Servoverstärker. Da alle Spannungen von einem Generator 100 V 500 Hz (U 97) geliefert werden, treten zwischen den einzelnen Stufen keine nachteiligen Phasenverschiebungen auf. P IV und P V sind sog. Rückmeldepotentiometer, G1 und G2 sog. Gleichstrom-Tachogeneratoren, die gegenüber den durch die Motor. U_{S11} und U_{S12} bezeichnen Versorgungsspannungen, die gegenüber den durch die verschiedenen Potentiometer gelieferten Signalen um 90° in der Phase verschoben sind. U_{Err} (= $U_{Erreger}$) schließlich ist die verstärkte Servo-Steuerspannung für den Motor M.

P II und P III befanden sich in einem gemeinsamen Gehäuse und waren mit dem Höhenrichtsystem verbunden. Der Widerstandsverlauf von P II und P III (mit jeweils 200 Ω) wurde durch das sogenannte Sinus-Cosinus-Getriebe über eine Sektor-/Kurvenscheibe (also mechanisch) für jeden Höhenwinkel γ so verändert, daß die gewünschte Sinus-Cosinus-Relation von γ stets genau eingehalten wurde.

P II ($\sin \gamma_M$) war das Potentiometer für die Höhenberechnung, P III ($\cos \gamma_M$) das Potentiometer für die Berechnung der kartografischen Entfernung. Nachdem die Schaltung hinter den beiden Potentiometern nahezu identisch war, können wir uns hier mit der Beschreibung von L 1 begnügen.

P I liefert die gemeinsame Wechselspannung, deren Amplitude im linearen Verhältnis zum gemessenen e-Wert steht, d.h. direkt proportional zu diesem ist. Die Potentiometer P II und P III bilden zusammen einen Widerstand von $200 : 2 = 100 \Omega$. Dieser ist um den Faktor 10 höher als der Widerstand von P I (10 Ω). Der jeweilige Stand der Sinus-Cosinus-Potentiometer beeinflusst die Linearität nicht in nennenswerter Weise. - Sowohl L 1 wie L 2 sind typische Servoverstärker, d.h. sie verstärken nur die Servowechselspannung von 500 Hz.

P IV ist mit der Achse gekoppelt, die den Motor M mit dem Übertragungsgerät ÜG 37 verbindet. Der Stand seines Schleifers steht in direkter Relation zum Stand der Achse des Motors M. Die Spannung, die am Schleifer von P II anliegt, ist mit dem einen Ende der Eingangswicklung verbunden, der Schleifer von P IV (dem Rückmelder) mit deren anderem Ende. Solange Spannung und Polarität nicht genau miteinander übereinstimmen, kann Wechselstrom durch die Eingangswicklung fließen, wobei die Stromrichtung zugleich eine Indikation für die Ansteuerphase des Wechselstromverstärkers L 1 ist. Es entsteht nämlich ein Strom von Schleifer P II über die Primärwicklung nach P IV oder umgekehrt. Nur wenn beide Schleifer stromlos sind, liegt an der Sekundärwicklung keine Wechselspannung an, und es entsteht damit auch keine Stromabgabe vom Ausgangsrafo des Verstärkers L 1 an den Motor M.

M ist ein sogenannter **Ferraris-Motor**. Seine Drehrichtung wird durch die Richtung der Phase in der einen gegenüber der anderen Motorwicklung vorgegeben, und es muß auch noch eine Phasenverschiebung von 90° zwischen den beiden Wicklungen bestehen. Mit Hilfe eines Kondensators ist das einfach zu bewerkstelligen. Die Phase der Ausgangsspannung von L 1/L 2 bestimmt dadurch direkt die Drehrichtung des Ferraris-Motors M, womit die Skalen des ÜG 37 sich nach links oder nach rechts drehen (niedrigere oder höhere Werte). Die Schaltung war so ausgelegt, daß allzeit nach einem Ruhezustand hin tendiert wurde.

G1 und G 2 sind eine Art Tacho-Generatoren/Motoren, die auf besondere Weise geschaltet sind. Es handelt sich um Gleichstrommotoren. Es kann jedoch nur Wechselstrom fließen. Die eine Seite des Generators ist über einen Kondensator mit der Eingangsstufe rückgekoppelt. Nur während einer Veränderung der Drehzahl konnte Strom durch den Kondensator fließen. Dadurch wurde die Verstärkung von L 1 während solcher Veränderungen beeinflusst. Obwohl das in der Beschreibung [18] nicht vermerkt ist, vermute ich, daß das eine Erhöhung des Anlaufmoments des Ferraris-Motors bewirkte.

Beide Gebersysteme des ÜG 37 lieferten eine Entfernungsablesung zwischen 5 und 195 hm (0,5 - 19,5 km). Obwohl der e-Wert bis zu 400 hm (40 km) betragen konnte, wurde hier

nur bis 195 hm gemessen. Zwischen den beiden Stufen bestand schaltungstechnisch kaum ein Unterschied.

Ein Beispiel macht die Funktionsweise deutlich: Angenommen, die Entfernungsskala in Fig.4E steht auf 170 hm (17 km); $e = 17.000$ m, $\gamma = 0^\circ$, das Gerät ist also genau horizontal gerichtet. Der auf dem ÜG 37 angezeigte Wert für e_K beträgt dann ebenfalls 17.000 m, die Höhenanzeige 0 m. Wird nun der Antennenspiegel auf 90° nach oben gedreht, dann wird aus den angezeigten Werten für e_K 0 m bzw. für h 17.000 m, mithin $e = h$, in diesem Fall befindet sich das Ziel nämlich genau über dem Radargerät, und auf der Landkarte beträgt der Abstand zwischen Radargerät und Ziel 0 m.

Nach dem Handbuch konnte mit einem gut geregelten Gerät eine Genauigkeit von 0,4% am oberen Ende des Meßbereichs erreicht werden, was einer Abweichung von 4 m/km entspricht.

Fig.40 gibt eine Vorstellung vom Aussehen dieser Ausführung des Fu.M.G. 39 TD (Flak) = FuG 62 D, wobei der Antennenspiegel durchsichtig dargestellt ist.

Vgl. dazu auch [15a,18].

Anhang F

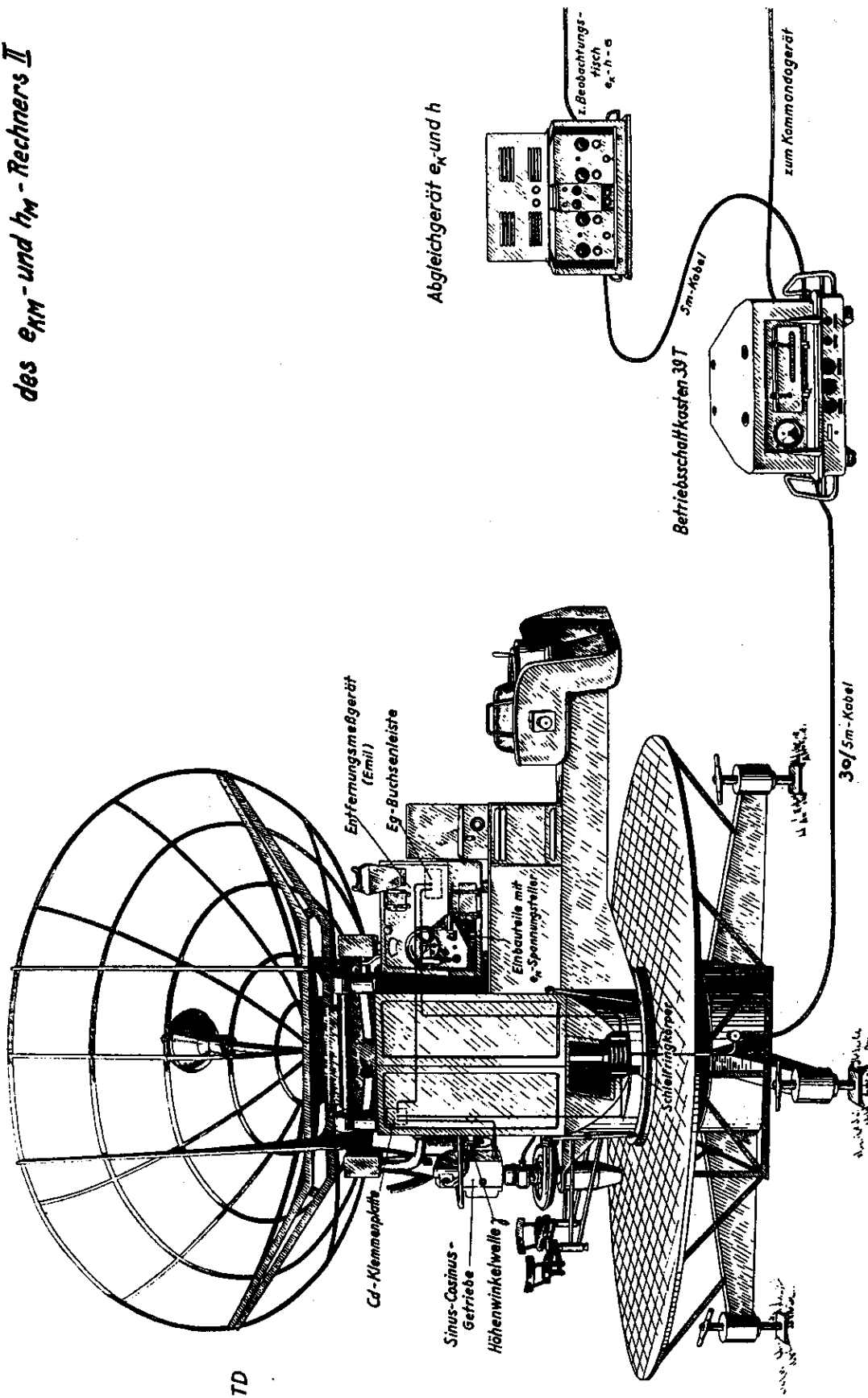
Der taktische Einsatz des Würzburg-Geräts

Die folgenden Angaben stammen vorwiegend aus [10]. Betrachtet wird in erster Linie die Zeit von 1942 bis 1945, da die Luftverteidigung in diesen Jahren ihre größte Wirksamkeit erreichte.

Die seetaktischen Radareinrichtungen (Kriegsmarine) lassen wir außer Betracht, da sie bei der Luftverteidigung keine wichtige Rolle spielten. Es wird kein Unterschied zwischen den verschiedenen Freya-Ausführungen gemacht.

Fig.41 spiegelt die Situation am 1.März 1942 wider. Allein in dem dargestellten Teil des Atlantikwalls, einem Bunker- und Verteidigungsgürtel, der von Norwegen bis an die französisch-spanische Grenze reichte, waren nahezu 50 Würzburg-Geräte in Stellung. Von Nachteil war, daß das kleine Würzburg (FuG 62...) mit maximal 30 km nur einen sehr beschränkten Meßbereich hatte, was vom strategischen Standpunkt aus unbefriedigend war. Wiewohl die Freya-Geräte (Fu.SE 80, FuMO...) maximal bis 150 km messen konnten, waren es in der Praxis nicht mehr als 80 km. Auch das war für eine Frühwarnung nicht weit genug. Es gab daneben riesige Radargeräte wie Mammut (FuMO 51, Fu.M.G. 402...) und Wassermann (Fu.M.G. 404...) mit einem Gewicht von 25 bzw. 30 - 60 t, abhängig von der Ausführung (L,M..S). Der Mammut besaß eine Reichweite von 300 km (manchmal noch mehr) und konnte Flugzeuge bis zu 8.000 m Höhe erfassen. Der viel schwerere Wassermann hatte unter vergleichbaren Umständen zwar "nur" 220 km Reichweite, konnte aber zum Unterschied vom Mammut die Höhe von Flugzielen mit einer Genauigkeit von $\frac{1}{4}^\circ$ (Seitenwinkel) ermitteln [1,10]. Dadurch war es möglich, Flugzeuge schon im Luftraum über England zu orten.

**Übersichtsbild
des e_{NM} - und h_M - Rechners II**



Funk-Meßgerät 39 TD

Fig.40 Funkmeßgerät 39 TD (= FuG 62 D) - Im Betriebschaltkasten 39 T werden Zu- und Ableitungen verbunden; er beherrscht gleichzeitig den Generator U 97, der die Betriebsspannung für den Servomechanismus liefert. Im Abgleichgerät befindet sich links L 2 für den e_k -Wert, rechts davon erkennt man die Röhren des Verstärkers L 1 für den h-Wert. Die Kontrollanzeigen des Übertr.Ger.37 befinden sich im oberen Teil des Abgleichgeräts und sind hier nicht sichtbar. Der Antennenspiegel ist andeutungsweise wiedergegeben. Links neben der Schranktür das Gehäuse des Sinus-Cosinus-Getriebes.

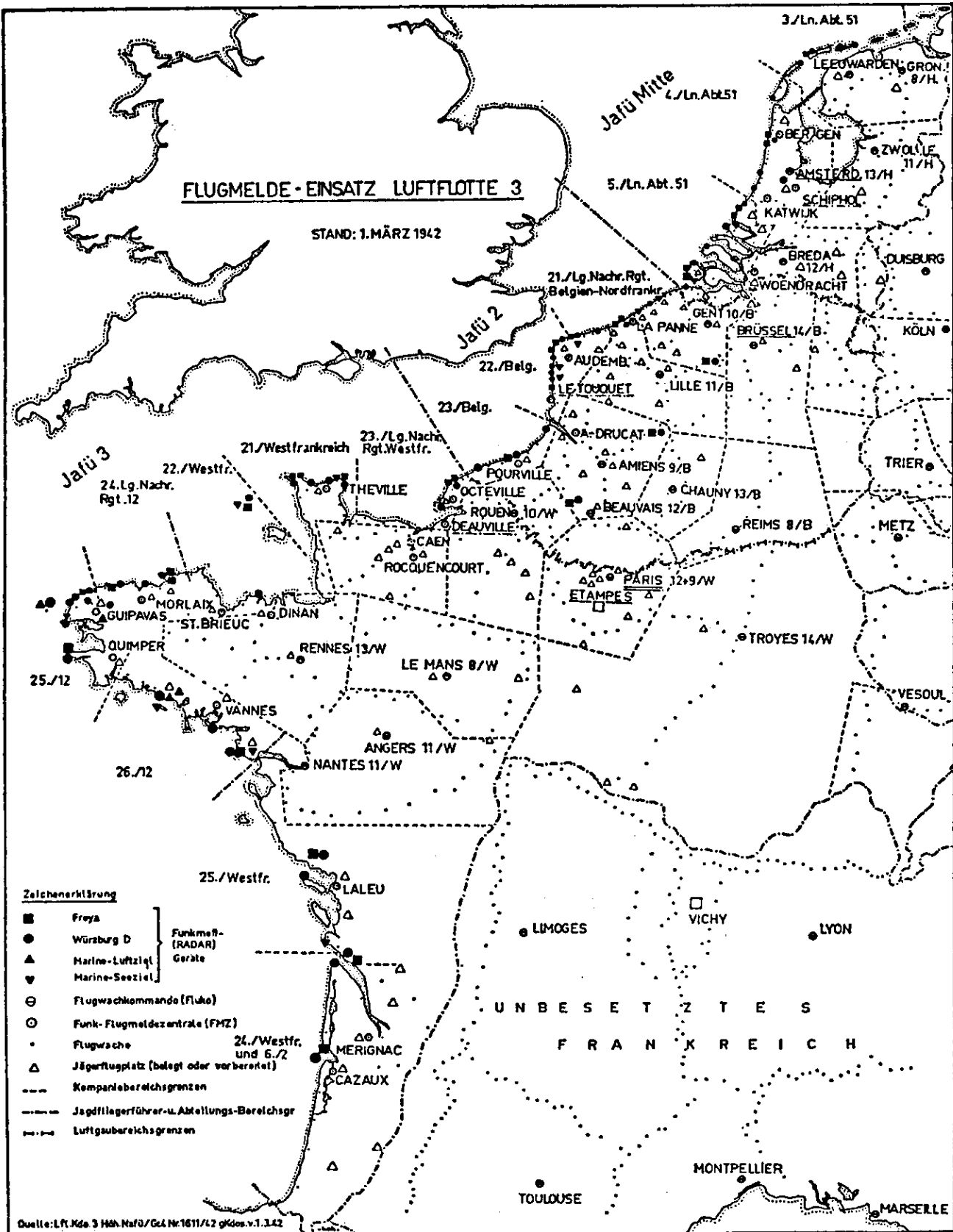


Fig. 41 Radaranlagen am Atlantikwall - Vermerkt sind die Radaranlagen, die sich am 1.3.1942 am und um den Atlantikwall befanden. Vermutlich waren noch nicht alle Würzburg-Anlagen solche der D-Ausführung. Es sei daran erinnert, daß das bei dem Bruneval-Kommandounternehmen erbeutete Würzburg, ein FuG 62 A, noch nicht modifiziert war, und es ist kaum anzunehmen, daß dies ein Einzelfall war. Die Angabe "Würzburg D" in der Zeichenerklärung ist darum mit einem Fragezeichen zu versehen.

Abgesehen von den Meldungen der Radargeräte gingen in die sogenannte **Luftlage** auch Sichtmeldungen und Meldungen von Horchgeräten ein. Fig.42 ist ein Beispiel - eins von vielen - der Organisationsstruktur, die erforderlich war, um sowohl die Meßwerte der Radarstellungen als auch die visuellen und akustischen Beobachtungsergebnisse in Richtwerte für die Flak und Angaben für die **Jägerführung** umzusetzen, was die Aufgabe der **Auswertung** war. Bevor die Flak in Aktion treten konnte, mußte man erst über genaue Informationen darüber verfügen, wo und auf welcher Höhe die eigenen Jäger operierten, um eigene Flugzeuge und Besatzungen so wenig wie möglich in Gefahr zu bringen (was manchmal dann doch nicht glückte).

Im Verlauf des Zweiten Weltkriegs veränderten sich die Taktiken und Techniken der deutschen Luftverteidigung grundlegend.

Eins der ersten Verfahren, wenn man von den Entwicklungen bei der Flak einmal absieht, war das sogenannte **Himmelbettverfahren**. Dabei wurden Ortungen anfliegender feindlicher Flugzeuge durch Freya-Geräte dazu eingesetzt, Nachtjäger vom Boden aus in eine Warteposition zu lenken. Das Gebiet wurde zu diesem Zweck in Nachtjagdräume eingeteilt, in denen sich jeweils ein **Funkfeuer** befand. Die Nachtjäger kreisten um diese Bake und blieben so innerhalb eines gegebenen Planquadrats. In jedem Nachtjagdraum konnte (durfte) sich nur ein Jäger und ein feindliches Flugzeug aufhalten, da man über keine Möglichkeiten verfügte, mehrere Gefechtssituationen gleichzeitig zu bewältigen. Mit den durch das Freya-Gerät ermittelten Flugdaten wurde ein Würzburg-Gerät auf das anfliegende feindliche Flugzeug gerichtet. Hatte das Würzburg das Ziel aufgefaßt, war es hauptsächlich seine Aufgabe, das Flugzeug weiter zu verfolgen. Ein zweites Würzburg war auf den eigenen Jäger gerichtet, der nun vom Jägerleitoffizier in der Jägerführung durch Funk an das feindliche Flugzeug herangeführt ("herangesprochen") wurde, bis er es selbst optisch ausmachen konnte.

Manchmal mußte diese Aufgabe auch eins der Frühwarn-Freyas übernehmen, wobei sich allerdings das Fehlen von Höhenangaben und die geringere Peilgenauigkeit der älteren Freya-Geräte als nachteilig erwiesen. Nachdem Ende 1941 und Anfang 1942 immer mehr Freyas den sogenannten AN-Zusatz erhielten, wurden zumindest genauere Seitenpeilungen verfügbar.

Die Position über Grund des vom Radargerät erfaßten feindlichen Flugzeugs wurde in der Jägerführung auf der Luftlagekarte durch einen roten Leuchtpunkt kenntlich gemacht, das eigene Flugzeug durch einen blauen (nach manchen Quellen einen weißen). Mit Hilfe der Lagedarstellung auf der Karte war es dann nicht mehr schwer, das Jagdflugzeug in die Nähe seines Ziels zu dirigieren. Das Verfahren war denn auch zu Beginn des Kriegs einigermaßen erfolgreich, von 1942 an konnte es jedoch nicht mehr eingesetzt werden, da sich zumeist mehrere Flugzeuge in einem Nachtjagdraum befanden.

Die bekannte **Kammhuberlinie** war ein Riegel/Gürtel zur Unterstützung der Nachtjagd. Sie bestand aus 6 sogenannten **hellen Nachtjagdräumen**, die ihrerseits dreifach unterteilt waren, sowie 8 - 10 (Ende 1941: 16) **Dunkelnachtjagdstellungen**. Zu jeder dieser Stellungen gehörten mehrere Radargeräte, ein Funkfeuer und Einrichtungen für Jägerführung. Man machte hier noch in großem Maßstab von den Freyas und den kleinen Würzburg-Ausführungen (FuG 62 A-D) Gebrauch, die gewöhnlich im Abstand von 30 - 40 km voneinander aufgestellt waren. Mit Jahresbeginn 1942 kam der Würzburg-Riese in größeren Stückzahlen zum Einsatz.

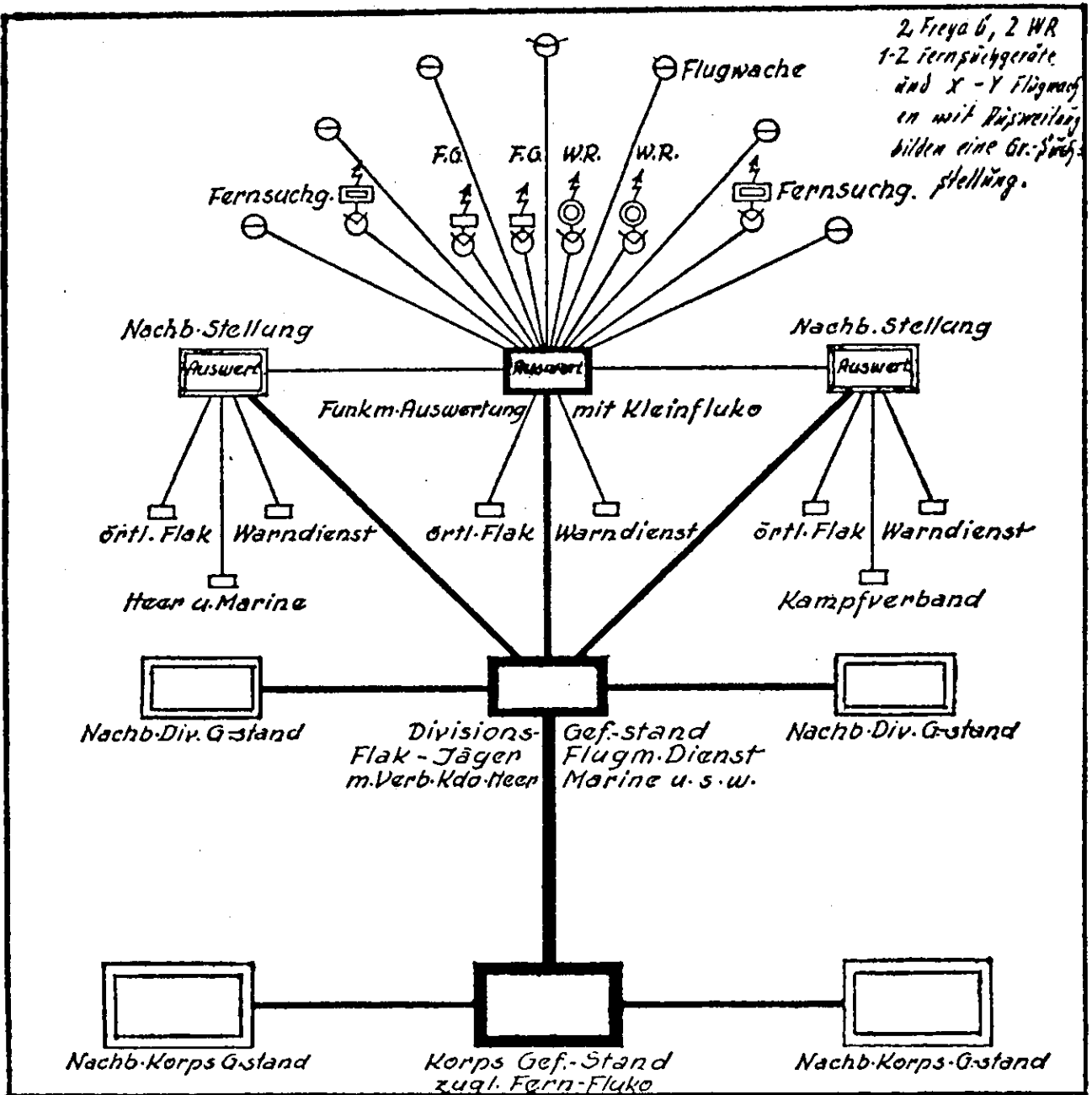


Fig.42 Schematische Darstellung einer deutschen Luftlage- und Jägerführungs-Organisationsform - Mit der Bezeichnung "Fernsuchg." kann sowohl ein Wassermann- wie ein Mammut-Gerät gemeint sein. FG könnte Freya bedeuten, WR entsprechend Würzburg-Riese. Wie zu sehen ist, war die Flugwache, die Sicht- und Horchmeldungen lieferte, ebenfalls mit der Auswertung verbunden. Die Auswertung war vermutlich mit einer Art Rechner gekoppelt, wie in Anhang E beschrieben.

Nachdem sich die Jägerführung eingespielt hatte, verkürzte sich die Zeit zwischen einer Radarortung und ihrer Wiedergabe auf der **Luftlagekarte** bzw. **Hauptlagekarte** ganz wesentlich von anfangs 60 - 80 auf schließlich 6 - 8 sek.

Die **helle Nachtjagd** bestand im wesentlichen aus folgender Taktik: Mit Hilfe von Radarmessungen wurde ein Teilstück des Himmels von Flakscheinwerfern erleuchtet. Gegen den Hintergrund des erleuchteten Himmels bzw. der angeleuchteten Wolkendecke hob sich dann das feindliche Flugzeug deutlich ab, und die Nachtjäger konnten so ohne Führung und ohne Radarunterstützung an den Feind gelangen [10, S.36,37]. Es ist klar, daß diese erleuchteten Riegel nur für wichtige Objekte wie Fabriken oder Städte bereitgestellt werden konnten. Die dazu erforderlichen Radarwerte wurden hauptsächlich durch eine **schwere Funkmeßkompanie** geliefert, die mit zwei Freya-Geräten und zwei Würzburg-Riesen ausgerüstet war.

Die deutschen Abwehrmaßnahmen mußten umgestellt werden, als die Alliierten zu Massenangriffen mit mehr als 1.000 Bombern (wie in der Nacht vom 26./27. Juni 1942 auf die Focke-Wulf-Werke in Bremen) übergingen. Ende 1942 kamen dann die ersten **Bordfunkmeßgeräte** zum Einsatz (FuG 202 "Lichtenstein BC"). Das brachte entscheidende Veränderungen in der Nachtjagd mit sich. Von der geführten Jagd ging man jetzt auf die **Verfolgungsjagd** über.

Wir machen jetzt einen Sprung und betrachten die Lage um 1944/1945. Fig.43 gibt eine Übersicht über die große Anzahl von Flugmelde-Radarstellungen in Mitteleuropa. Jede Stellung umfaßte mehrere Radargeräte. Zu unterscheiden sind Stellungen erster, zweiter und dritter **Ordnung**. Am wichtigsten waren die Stellungen erster Ordnung. Sie und die Stellungen zweiter Ordnung lieferten ihre Angaben an einen **Gefechtsstand**. Die Stellungen dritter Ordnung waren unabhängiger; natürlich standen ihre Messungen auf Anfrage auch einem **Divisions-Gefechtsstand** zur Verfügung. Die Divisions-Gefechtsstände waren vornehmlich mit der Jägerführung befaßt.

Die Flak machte dann auch von eigenen Radarmessungen Gebrauch, wobei die Übermittlungsgeschwindigkeit von größter Bedeutung war. Wie in der Legende zu Fig 31,31a erwähnt, war die Zeit, die verblieb, um ein feindliches Flugzeug (das sich mit einer Geschwindigkeit von 100 bis 200 m/sek bewegte) zu treffen, sehr kurz. Um eine wirkliche Trefferchance zu haben, mußte seine Flugbahn so genau wie möglich berechnet werden. Gezielt wurde beispielsweise auf einen Punkt, an dem sich das Flugzeug in 20 sek befinden würde. Natürlich war es unmöglich, ohne Kenntnis der Luftlage eine Berechnung des Flugbahn vorzunehmen.

Die Flugzeit der Flakgranate war abhängig von verschiedenen Faktoren wie Flughöhe, Entfernung, Schußwinkel und Witterungsbedingungen, und ihre Flugbahn war länger als der gemessene e-Wert. Ihr Zeitzünder wurde vor dem Abschuß eingestellt. Damit war gewährleistet, daß sie in jedem Fall detonieren würde, auch wenn sie ihr Ziel nicht trifft. Man schlug so zwei Fliegen mit einer Klappe: Einmal konnten auch Granatsplitter von einem in der Nähe detonierenden Geschöß ein Flugzeug beschädigen, und zum anderen - und das war wahrscheinlich ebenso wichtig - konnte die Granate nicht auf die Erde zurückfallen und dort Schaden verursachen. Das kam zwar durch technische Defekte immer wieder vor, aber doch verhältnismäßig selten.



Fig.43 Verteilung von Radarstellungen verschiedener Art - Solche erster Ordnung dienten der ersten Erfassung und solche zweiter Ordnung der weiteren Verfolgung von Luftzielen. Stellungen dritter Ordnung waren nach dieser Karte nicht weit verbreitet.

Das Detonieren der Flakgranate war das Ende eines langen Prozesses, der mit der Sammlung und Auswertung von Funkmeßwerten und visuellen und akustischen Beobachtungen begann und über die Übermittlung von Schußwerten, das Richten des Flakgeschützes und die Einstellung des Zeitzünders schließlich zum Abfeuern führte - ein Vorgang, in dem eine Vielzahl von Akteuren mitwirkten und der als Ganzes gesehen werden muß.

Deutsche Untersuchungen, die noch zur Zeit des Zweiten Weltkriegs angestellt wurden (u.a. von Gen.d.Inf. Georg Thomas), kamen zu dem Schluß, daß für jedes abgeschossene Feindflugzeug der Verbrauch an Munition etwa 3.000 Granaten betrug [19,19a]. Vermutlich ist in dieser Zahl der Anteil der Tag- und Nachtjäger mit einbegriffen.

Im Frühjahr 1944 standen im Dienst der **Reichsluftverteidigung** etwa 160.000 Personen, darunter 111.000 Ln-Helferinnen. Im November 1942 waren es erst 50.000 und weitere 35.000 im Flugmeldemeß-Jägerleitdienst [10].

Betrachten wir die Ausrüstung einiger Stellungen erster und zweiter Ordnung, wobei wir uns auf [10, S.448] stützen. **Ringelnatter** (10/222) war eine Stellung erster Ordnung, **Lama** (11/222) und **Büffel** (12/222) solche zweiter Ordnung. Alle befanden sich im Nordwesten Dänemarks (vgl. Fig.43). Die Ausrüstung bestand im einzelnen aus folgenden Geräten

- Ringelnatter (10/222): 1 Wassermann S, 1 Wassermann M, 1 Freya Flamme, 1 Freya mit Kennung, 2 Würzburg-Riesen; daneben 1 Y-Ausrüstung und 1 Empfänger Korfu 812 für 9 (und 3) cm zur Peilung von feindlichen Radarsignalen mit einer Reichweite von mehreren hundert km;
- Lama (11/222): 1 Wassermann M, 1 Freya, 1 Freya mit Kennung, 2 Würzburg-Riesen, (1 Y-Ausrüstung);
- Büffel (12/222): 1 Mammut, 1 Wassermann M, 1 Freya mit Kennung, 2 Würzburg-Riesen, (1 Y-Ausrüstung).

Ein Blick auf Fig.43 zeigt, daß Dutzende solcher Radarstellungen im Einsatz waren.

Es gab außerdem bewegliche, auf Eisenbahnwagen montierte Radaranlagen. Diese selbständig operierenden Einheiten, die jeweils mit ein oder zwei Würzburg-Riesen oder Freya-Geräten ausgerüstet waren, wurden hauptsächlich in Osteuropa und auf dem Balkan eingesetzt. In der Luftverteidigung Westeuropas spielten sie keine große Rolle.

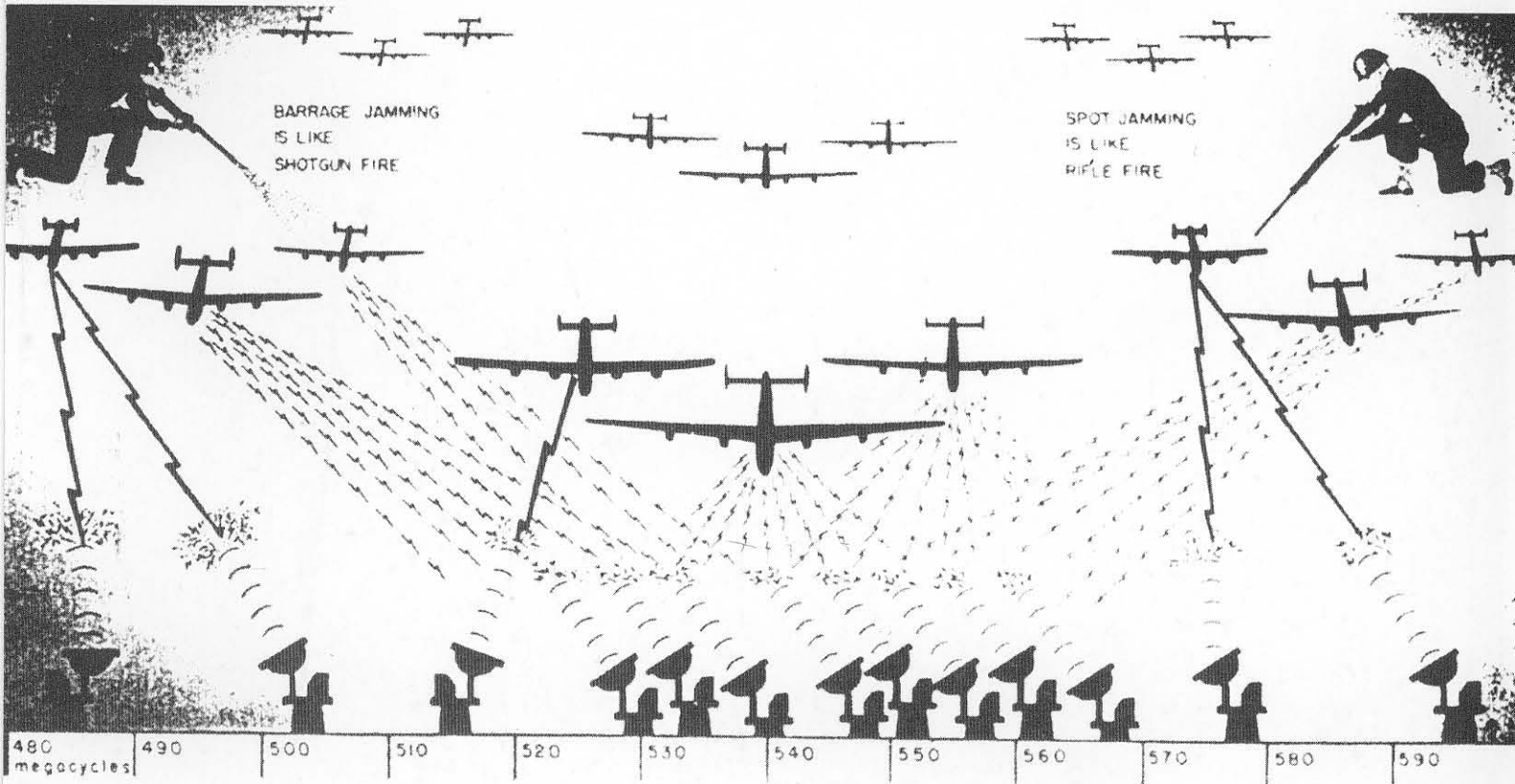
Diese viel zu kurze Beschreibung sollte nur eine ungefähre Vorstellung von den verschiedenen Verwendungen des kleinen (FuG 62 A-D) und des großen (FuG 65) Würzburg vermitteln. Eine ausführliche Beschreibung gibt u.a. [10]. Der Autor Karl Otto Hoffmann hat mir dankenswerterweise gestattet, sein ausgezeichnetes Material zu verwenden.

Literaturverzeichnis

- [1] Trenkle, Fritz: verschiedene Publikationen bei der Deutschen Gesellschaft für Ortung und Navigation e.V., Düsseldorf, dem Motorbuch Verlag, Stuttgart, bei AEG / Dr. Hüthig-Verlag, Heidelberg, sowie anderes Material und Mitteilungen an den Verfasser
- [2] Hoffmann-Heyden, Adolf-E.: Die Funkmeßgeräte der deutschen Flakartillerie (1938-1945), Dortmund o.J. (Bücherei der Funkortung, Band 3)
- [3] Jones, R. V.: Most Secret War, Sevenoaks, Kent 1979
- [4] Price, Alfred: Instruments of Darkness, Los Altos, CA 1987
- [5] Brandt, L.(Herausgeber): Sitzungsprotokolle der Arbeitsgemeinschaft Rotterdam, Ausschuß für Funkortung, Düsseldorf o.J.
- [6] Hoffmann-Heyden, Adolf-E.: Anti-Jamming Techniques at the German AAA Radars in WW II, Supplement to the Record of the IEEE 1985 International Radar Conference, Arlington, May 6-9, 1985
- [7] Johnston, Stephen L.: Radar ECCM History, Quelle unbekannt (Reprinted from NAECON, May 1980)
- [8] Final Technical Report on the German RDF Equipment Captured at Bruneval on 28th February 1942, T.R.E Report No. 6/R/25
- [9] Brandt, L.(Herausgeber): Funkortung in der Luftfahrt, Dortmund o.J. (Bücherei der Funkortung, Band 2)
- [10] Hoffmann, Karl Otto: Ln - Die Geschichte der Luftnachrichtentruppe, Band II, Neckargemünd 1968
- [11] Directory of German Radar Equipment, War Department Technical Manual TM E 11-219, Washington 1945
- [12] Fischer, Hans-Joachim: Radartechnik, Leipzig 1958
- [13] Telefunken-Zeitung, Jahrgänge 1933 bis 1940
- [14] Philips Technisch Tijdschrift, Jahrgänge 1936 bis 1940

- [15] Funk-Meßgeräte FuSE 62 C und D, Gerätehandbuch, D.(Luft)T.g.4506/1, Berlin 1944
- [15a] Oberkommando der Kriegsmarine (Herausgeber): Würzburg-Fibel, Berlin 1943
- [16] Price, Alfred: The History of US Electronic Warfare, published by the Association of Old Crows, o.O. (USA) 1984
- [17] Hinterlassene Werke des Generals Carl von Clausewitz über Krieg und Kriegführung, Vierter Band, Berlin 1833
- [18] e_{KM} - und h_M -Rechner II am Fu.M.G. 39 TD (Flak), Geräte- Handbuch, Firmenschrift Elt 508, o.O. 1944
- [19] Thomas, Georg: Geschichte der deutschen Wehr- und Rüstungswirtschaft, Schriften des Bundesarchivs, Boppard o.J.
- [19a] Speer, Albert: Erinnerungen, Berlin 1969

Hintere Umschlagseite: Wirkung von aktiven Störmaßnahmen - Alliierte Schauzeichnung zur Veranschaulichung der Wirkung von gewöhnlichen Störsendern (Einzelblitze) und breitbandigen Rauschsendern wie Carpet-Sendern (Blitzbündel). Gezeigt ist die Verbreitung über die Wismar-Inseln A bis D. Text in der linken oberen Ecke: Eine Rauschbarriere wirkt wie Schrotfeuer, Text rechts: Störungen einzelner Frequenzen wirkt wie Gewehrfeuer. Aus der Zeichnung geht deutlich hervor, daß Carpet-Sender Ansammlungen von Würzburg-Geräten wirkungsvoller stören und damit ausschalten konnten. Siehe dazu die Modulator Unit 190, Abb.14, und das zugehörige Rauschspektrum, Abb.15.



Man kann den Zweiten Weltkrieg als die Geburtsstunde der elektronischen Kriegführung ansehen. Dabei spielte Radar eine ausschlaggebende Rolle, wenn „Funkmeß“ auch auf deutscher Seite als Staatsgeheimnis eingestuft und mit viel Geheimnistuerei umgeben war.

Zumeist waren es Würzburg-Geräte, welche die Flak mit Schußdaten versorgten. Es ist darum auch nicht verwunderlich, daß die Gegenseite angesichts eines Gesamtverlusts von etwa 40.000 alliierten Flugzeugen das Würzburg-Gerät als das gefährlichste Feuerleitradar betrachtete und alles daran setzte, diese Anlagen auszuschalten.

Die elektronische Kriegführung war für beide Seiten technische Herausforderung. Es stellten sich Probleme, deren Überwindung viel Innovationsgeist erforderte. Problemlösungen mit Decknamen wie Laus, Würzlaus, Tastlaus, Nürnberg, Taunus usw. sind Teil der fesselnden Technikgeschichte jener Tage, die bis heute nichts von ihrer Faszination eingebüßt hat. Anhand vieler Blockschaltbilder wird die Arbeitsweise solcher Verfahren erklärt, wobei Technik und Geschichte auf originelle Weise miteinander verknüpft werden.