

Geschichte der militärischen Radaranwendungen in der Schweiz

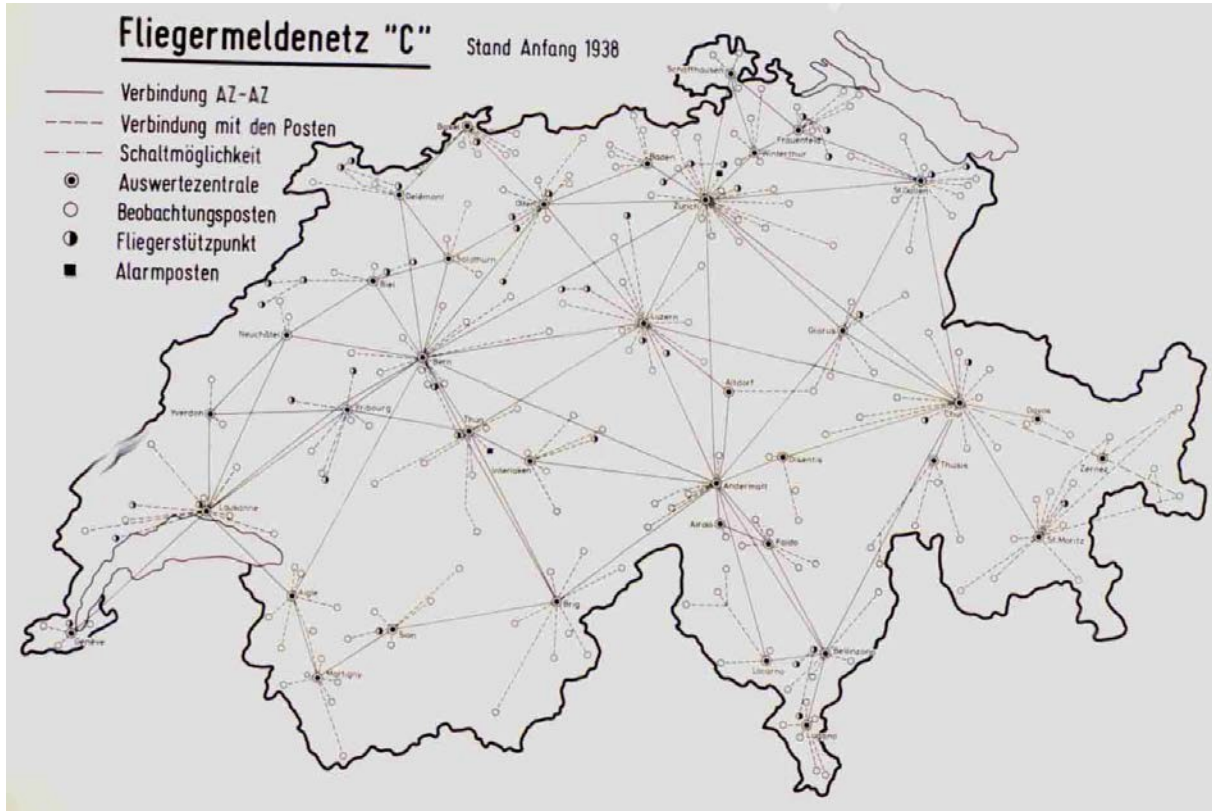
Vorgeschichte und erste Generation Frühwarn - Radar bis 1960

Hans H. Jucker, Zielackerstrasse 7, 8603 Schwerzenbach

Die Schweiz verfügte während und in den ersten Jahren nach dem Zweiten Weltkrieg noch über keine radartechnischen Ortungsmittel für die Ueberwachung und Verteidigung des Luftraumes.

In Deutschland, England, den USA und Japan wurde bereits ab Mitte der dreissiger Jahre erkannt, dass sich mit den modernen Flugzeugentwicklungen Zielflüge und Bombenabwürfe bei Nacht und bei jeder Wetterlage durchführen liessen. Zu deren Ortung und Führung wurden von den militärischen Stellen in diesen Ländern die Entwicklung der Radio - Location oder Funkmessortung wie diese in Deutschland bezeichnet wurde (ab 1940 in den USA als Radar bekannt geworden) gefordert und stürmisch vorangetrieben, so dass diese Streitkräfte bereits zu Beginn des Zweiten Weltkrieges über einigermassen ausgereifte und truppentaugliche Systeme für den militärischen Einsatz verfügten. Allerdings unterlag ab Mitte der dreissiger Jahre alles was damit in Zusammenhang stand strengster Geheimhaltung.

Auch in der Schweiz wurde in den dreissiger Jahren von den verantwortlichen politischen und militärischen Stellen die Notwendigkeit des Ausbaues der Luftraumverteidigung erkannt und in der Folge ab 1933 in mehreren Schritten neue Flugzeuge und Fliegerabwehrausrüstungen beschafft. Ab 1936 wurde auch ein Fliegerbeobachtungs und Meldedienst aufgebaut und der Generalstabsabteilung unterstellt, er hatte die Aufgabe die unseren Luftraum anfliegenden oder in diesen eingedrungenen Flugzeuge zu beobachten und deren Flughöhe und Richtung und Anzahl und Art der Flugzeuge festzustellen und an die zuständigen Stellen zu melden, zwecks rechtzeitiger Auslösung der aktiven und passiven Luftabwehr. Er bestand aus Beobachtungs- Horch- und Alarmposten sowie aus Meldesammelstellen und Auswertezentralen.



Anfangs September 1939 bei Ausbruch des Zweiten Weltkrieges wurden 221 Posten bezogen, die für den Betrieb des Fliegermeldenetzes C erforderlichen Drahtverbindungen geschaltet sowie 36 Auswertezentralen in Betrieb genommen.

Das Beobachten des Luftraumes erfolgte durch visuelles Absuchen und Abhören der näheren Umgebung. Als technisches Hilfsmittel standen den Beobachtern Feldstecher zur Verfügung die z.T. auf fixen Stativen montiert waren. Die von guten Sichtverhältnissen abhängige visuelle Beobachtung, die im günstigsten Fall nur wenige Kilometer über die Landesgrenzen hinausreichte, das Auswerteverfahren und Uebermittlungssystem das stärkeren Belastungen nicht gewachsen war und die kurzen Distanzen zwischen der Grenze des überwachten Raumes und den zu alarmierenden Kommandoposten beeinträchtigten jedoch die ursprünglich noch zu Beginn der dreissiger Jahre dem Fliegerbeobachtungs und Meldedienst zugedachte Wirkung.

Auch bei der Fliegerabwehr erfolgte die Zielortung mit bereits seit der Einführung anforderungsmässig kaum allwettertauglichen Verfahren welche auf optischen und akustischen Ausrüstungen basierten, wie optische Telemeter für die Entfernungsmessung deren Einsatz gute Sichtverhältnisse voraussetzten sowie akustische Horchgeräte zum Entdecken und der Richtungsbestimmung anfliegender Flugzeuge welche bei den zunehmenden Fluggeschwindigkeiten kaum noch brauchbare Schiesselemente zu liefern vermochten.

Telemeter mit 3.0 m Basis der Schweizer Fliegerabwehr im Zweiten Weltkrieg



Die Entfernungsmessung mittels des optischen Basisverfahrens besass trotz höchster Präzision der Telemeter den prinzipiellen Nachteil, dass die metermässigen Fehlbeträge mit zunehmender Entfernung proportional grösser wurden. Um die im Zweiten Weltkrieg bei der Schweizer Fliegerabwehr noch nicht mit Zielsucheinrichtungen oder Annäherungszündern versehenen Geschosse am Zielort detonieren zu lassen, hätten diese zufolge ihrer eigenen Flugdauer mit einer Genauigkeit von ca. ± 10 m auf einen vom Flugzeug noch nicht erreichten Punkt im Raum abgefeuert werden müssen. Dabei ging auch die Genauigkeit der Ablaufzeit der Uhrwerkzünder die vor jedem Schuss exakt eingestellt und gestartet werden mussten in die Berechnung ein. Da die Fliegerabwehr ihre Aufgabe unabhängig vom Wetter bei Tag und Nacht erfüllen musste, galt es das Ziel auch bei Dunkelheit für die optischen Richt- und Messmittel sichtbar zu machen. Hierzu wurden Scheinwerfer eingesetzt die bei klarem Wetter eine ausreichend helle Zielbeleuchtung bis zu Entfernungen von ca. 10 km sicherstellten. Für die Zielfindung wurden die Scheinwerfer mit akustischen Horchgeräten eingesteuert. Um die Schall - Laufzeit zu berücksichtigen, waren die Horchgeräte mit Verzugsrechnern ausgerüstet, die ähnlich den Kommandogeräten den Zielkurs aus den sich ändernden Werten des Seiten- und Höhenwinkels bestimmten. Unter Zugrundelegung einer geschätzten Ziel- und Schallausbreitungs - Geschwindigkeit wurde versucht die winkelmässigen Vorhalte im Verzugsrechner zu den erhörten Werten zu addieren und als Einstellwerte an die Scheinwerfer weiterzuleiten (siehe dazu den Brief unten von Oberst Curti vom Armeekommando an Professor Tank der ETHZ vom 8.6.1942).

Siemens Scheinwerfer der Schweizer Fliegerabwehr im Zweiten Weltkrieg



Horchgerät Elaskop mit Richtgerät der Schweizer Fliegerabwehr im Zweiten Weltkrieg



Bereits als Folge zunehmender Luftraumverletzungen ab 1940 durch Flugzeuge der Royal Airforce welche unbehelligt vom schlechten Wetter auch während der Nacht erfolgten, liess sich erkennen, dass bei Nacht und unsichtigem Wetter mit den vorhandenen technischen Mitteln der Fliegerabwehr höchsten Zufallserfolge erzielt werden konnten.

Nach Bombenangriffen der Royal Airforce auf Ziele in Oberitalien und Süddeutschland deren Anflüge über die Schweiz erfolgten, forderten die Achsenmächte den Bundesrat mit diplomatischen Demarchen auf dagegen etwas zu unternehmen. Der Bundespräsident versuchte in der Folge technische Unterstützung und moderne Ortungsmittel für die Fliegerabwehr aus Deutschland zu beschaffen. Dies gelang trotz verschiedenen Bemühungen bis zum Kriegsende nicht mehr, ausser bei einer eher zufällig erfolgten Aktion mit den beiden deutschen Würzburg Funkmessgeräten die im Herbst 1944 noch aus Deutschland beschafft werden konnten (siehe S. 23).

Auch das Armeekommando suchte nach Möglichkeiten die Flugzeug Ortung der Fliegerabwehr bei Nacht und schlechtem Wetter zu verbessern. Am 8.6.1942 richtete Oberst Curti, Chef der Sektion für materielle und technische Angelegenheiten des Armeekommandos nachfolgende Anfrage an Professor Tank, Vorsteher des Institutes für Hochfrequenztechnik der ETH Zürich:

Die genaue Feststellung des Ortes eines Flugzeuges von einer Bodenstation aus macht z.Z. noch grosse Schwierigkeiten.

1. Bei den Richtungshörern ist die Schallgeschwindigkeit im Verhältnis zur Flugzeuggeschwindigkeit für eine genaue Ortung viel zu gering, die Schallverzugsrechnung setzt vereinfachende Annahmen voraus.
2. Es fragt sich daher, ob nicht andere Methoden, z.B. mit Kurzwellen oder infrarotem Licht, bessere Aussichten haben. Wir legen Ihnen Nr. 1 (Januar) von "La science et la vie" bei, wo die "detection électromagnétique" behandelt wird.
3. Wir erlauben uns Ihnen folgende Fragen vorzulegen:
 - a) Was halten Sie von der Anwendung unsichtbaren Lichtes (Infrarot)? Welche Vorteile ergeben sich damit? Wäre es aussichtsreicher die Methode weiter zu entwickeln?
 - b) Was halten Sie von der Anwendung elektrischer Kurzwellen?
 - c) Sind noch weitere Methoden bekannt und welche?
 - d) Welcher Methode geben Sie den Vorzug u. wird es sich lohnen, sie zu entwickeln?
 - e) Sind Ihnen Schweizer Firmen bekannt. Welche sich mit diesen Problemen bereits beschäftigen?

Im Antwortschreiben wies Professor Tank darauf hin, dass die ETH Zürich z.Z. leider über keine speziellen Kenntnisse auf diesem Gebiet verfüge. Er empfahl dem Armeekommando über die Kriegstechnischen Abteilung (KTA) welche mit Brown Boveri in Baden und dem Albiswerk in Zürich in geschäftlicher Verbindung stand zu dieser Fragestellung eine Studie ausarbeiten zu lassen. Das Albiswerk unterbreitete der KTA tatsächlich in der Folge ein Exposé zur Frage der «Dunkelortung» von Flugzeugen wobei im Inhalt Vor- und Nachteile der nachfolgenden Ortungsmöglichkeiten beschrieben wurden:

1. Akustische Ortung
2. Optische Ortung mit unsichtbarem Licht
3. Funkortung mit Kurzwelle

Eine Anfrage des Armeekommandos an die Firma Brown Boveri betreffend einer Studie über die Ortung von Flugzeugen bei Nacht und schlechtem Wetter beantwortete anstelle von Brown Boveri die KTA mit einem vertraulich klassifizierten Schreiben vom 2.11.1942. Die KTA wies darin daraufhin, dass sie bereits seit längerer Zeit mit Brown Boveri betreffend der Entwicklung von Kurzwellengeräten für die Ortung und Entfernungsmessung von Flugzeugen in Verbindung stehe. Aus naheliegenden Gründen erfolge jedoch alles was damit in Zusammenhang stehe streng vertraulich.

Die Idee entfernte Objekte mittels elektromagnetischen Wellen festzustellen und zu vermessen, entstand eigentlich kurz nach deren experimentellen Nachweis durch den Physiker Heinrich Hertz gegen Ende des 19. Jahrhunderts. Der Grund, dass auch in den wissenschaftlich erfolgreichsten Ländern erst zu Beginn der dreissiger Jahre die Entwicklung einsetzte, lag an den bis dahin noch fehlenden Technologien. Erst Dank der stürmisch vorangetriebenen Entwicklung der Radiotechnik im und nach dem ersten Weltkrieg und durch die Entwicklung der Fernsichttechnik ab Mitte der 20er Jahre waren die technologischen Voraussetzungen einigermaßen erfüllt welche für die Entwicklung von Funkmessverfahren erforderlich waren.

In der einschlägigen und damals noch offen zugänglichen Fachliteratur erschienen bereits in den frühen 30er Jahren zahlreiche Hinweise auf Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der "Radio Location" oder Funkmessortung:

So in den berühmten US-Fachzeitschriften Electronics u. den IRE- heutigen IEEE- Proceedings, in der deutschen Zeitschrift Hochfrequenztechnik und Elektroakustik sowie den Mitteilungen der deutschen Akademie für Luftfahrtforschung ebenso in den beiden 1934 erschienen Büchern von Dr. Hans Hollmann über "Physik und Technik der ultrakurzen Wellen".

Die Schweiz verfügte bereits in den dreissiger Jahren an der ETH Zürich über ein Institut, das sich auch mit Fragen der Hoch- und Höchstfrequenztechnik befasste, zudem über innovative Firmen wie Brown Boveri welche in den ersten Kriegsjahren im Einvernehmen mit der KTA Radarversuche durchführte (siehe auch S. 9).

Mit Beginn des Aktivdienstes wurde vom Kdo. der Fk. Kp. 7 ein Funkabhorchdienst aufgebaut der vom Sphinx-Observatorium auf dem Jungfrauoch, Funkaufklärung im UKW-Gebiet betrieb. Dabei wurden sehr früh Signale ausländischer Streitkräfte aufgefangen, welche aufgrund ihrer Eigenschaften Hinweise auf neuartige militärische Funkortungssysteme gaben.



Photo vom Sphinx-Observatorium Jungfrauoch in den Schweizer Alpen auf 3450 m/M (Geographische Position $46^{\circ} 32' 02''$ N/ $07^{\circ} 59' 02''$ E)



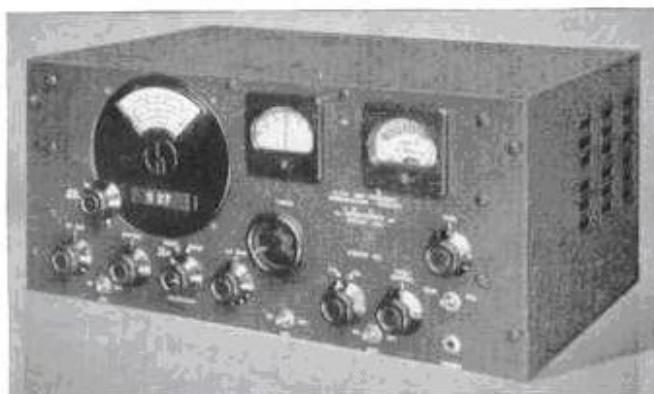
Der Arbeitsplatz der UKW-Abhorchstation im Sphinx-Observatorium auf dem Jungfrauoch (siehe nachstehende Foto) war anfänglich mit einem Hallicrafters S27 Empfänger für den Frequenzbereich von 27 – 143 MHz ausgerüstet.

Der von der amerikanischen Firma „The Hallicrafters Co.“ Chicago in der zweiten Hälfte der dreissiger Jahre ursprünglich für Radioamateure entwickelte Empfänger S27 fand wegen seinem damals einzigartigen bis ins UKW Gebiet reichenden Frequenzbereich auch in Behörden- und Militärkreisen anderer Länder rasch Verbreitung.

WORLD'S LARGEST BUILDERS OF AMATEUR COMMUNICATIONS EQUIPMENT



**FREQUENCY MODULATION
AMPLITUDE MODULATION
145MC — 27MC (S-27)**

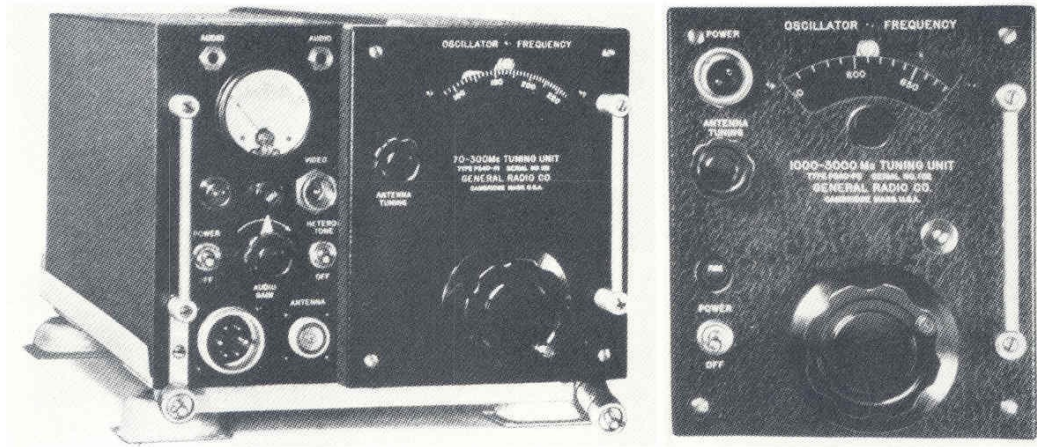


THIS Frequency Modulation communications receiver covers 3 bands: 27 to 46mc; 45 to 84mc; 81 to 145mc. Switch changing from FM to AM reception. Acorn tubes in R.F. and converter system. High gain 1852 tubes in Iron Core L.F. stages. Beam power tubes in A.F. amplifier. Controls are: R.F. gain control. Band switch. Antenna trimmer. L.F. selectivity control and

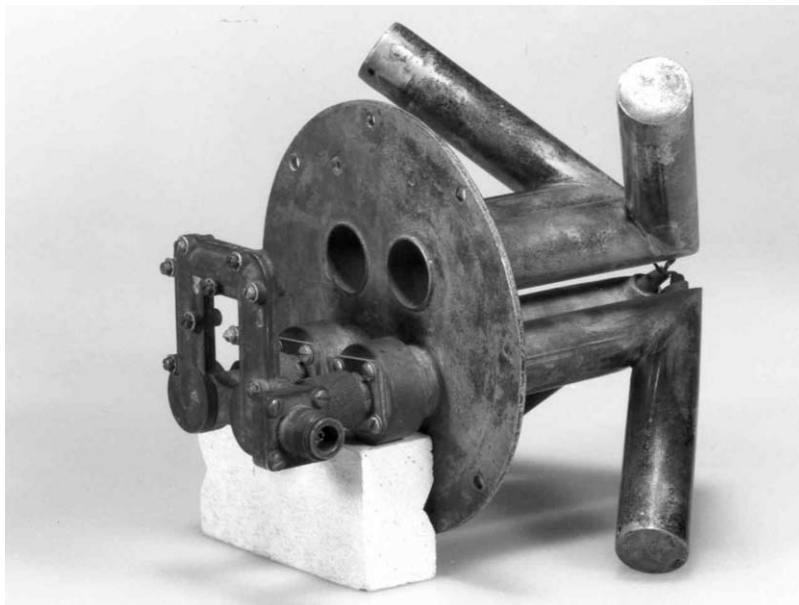
power switch. Volume control. Pitch control. Tone control. S-meter adjustment. AVC on-off switch. Send-receive switch. Phone jack. Amplitude or Frequency Modulation switch. 15 tubes. 110 volt 50-60 cycle AC. Dimensions: 19" long, 9" high, 14" deep. Model S-27. Complete with tubes. Shipping weight 75 lbs. (FREMO) **\$17500**

Wie aus dem Firmenprospekt hervorgeht ist das bereits nach dem Superheterodyne - Prinzip arbeitende Gerät sowohl für den Empfang von amplituden- und frequenzmodulierten Emissionen ausgelegt worden. Der S27 Empfänger wurde zu Beginn des Zweiten Weltkrieges auch in England für die militärische Funkaufklärung eingesetzt. Bereits zu Beginn des Zweiten Weltkrieges war es dem militärischen Nachrichtendienst in England durch den aus Deutschland über Norwegen zugespielten "Oslo-Report" bekannt geworden, dass Deutschland über Fernführungssysteme und Radargeräte verfügte welche auf VHF und UHF Frequenzen arbeiteten. Mit den anfänglich in Flugzeugen der Royal Airforce für die Funkaufklärung eingesetzten Hallicrafter S27 Empfängern konnte 1940 die Lage der für die Fernführung von deutschen Flugzeugen eingerichteten Strahlungsfächer der Knickebein- und X- Systeme ermittelt und dadurch erfolgreich gestört werden. Für den Empfang der impulsmodulierten Emissionen welche die auf VHF und UHF Frequenzen arbeitenden deutschen Radargeräte ausstrahlten, war der S27 Empfänger infolge der zu geringen Zwischenfrequenz- (ZF) Bandbreite weniger geeignet. Dieser Mangel wurde rasch erkannt, bereits 1940 entwickelte die amerikanische General Radio Company in Cambridge MA in Zusammenarbeit mit dem Radio Research Laboratory der Harvard University aus einem vorhandenen Messempfänger, einen speziellen für die gegen Deutschland gerichtete Funkaufklärung geeigneten breitbandigen Aufklärungsempfänger. Der unter der Bezeichnung AN/APR-4 eingeführte Empfänger überstrich mit zwei Einschüben den Frequenzbereich von 38 – 1000 MHz und verfügte über eine ZF - Bandbreite von 2 MHz bei einer Verstärkung von 90 dB. Damit war ein Empfang impulsmodulierter Signale bis hinunter auf 1 µs Dauer möglich. Der Empfänger wurde in der Folge von Philco- und Crosley- Radio in grosser Stückzahl gefertigt und damit die über Deutschland operierenden Aufklärungs- und Pfadfinderflugzeuge der Alliierten ausgerüstet.

Etwas später wurden auch AN/APR-4 Empfänger samt den hierfür erforderlichen Spezialantennen (siehe nachstehenden Abbildungen) sowie die gegen die deutschen Würzburg - Funkmessgeräte eingesetzten AN/APQ-2 Störsender in den in der Schweiz gelandeten B-17 Flying Fortress und B-24 Liberator Flugzeugen aufgefunden.



AN/APR-4 Funkaufklärungsempfänger



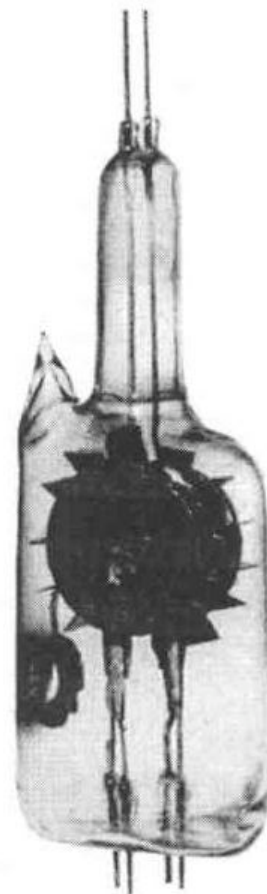
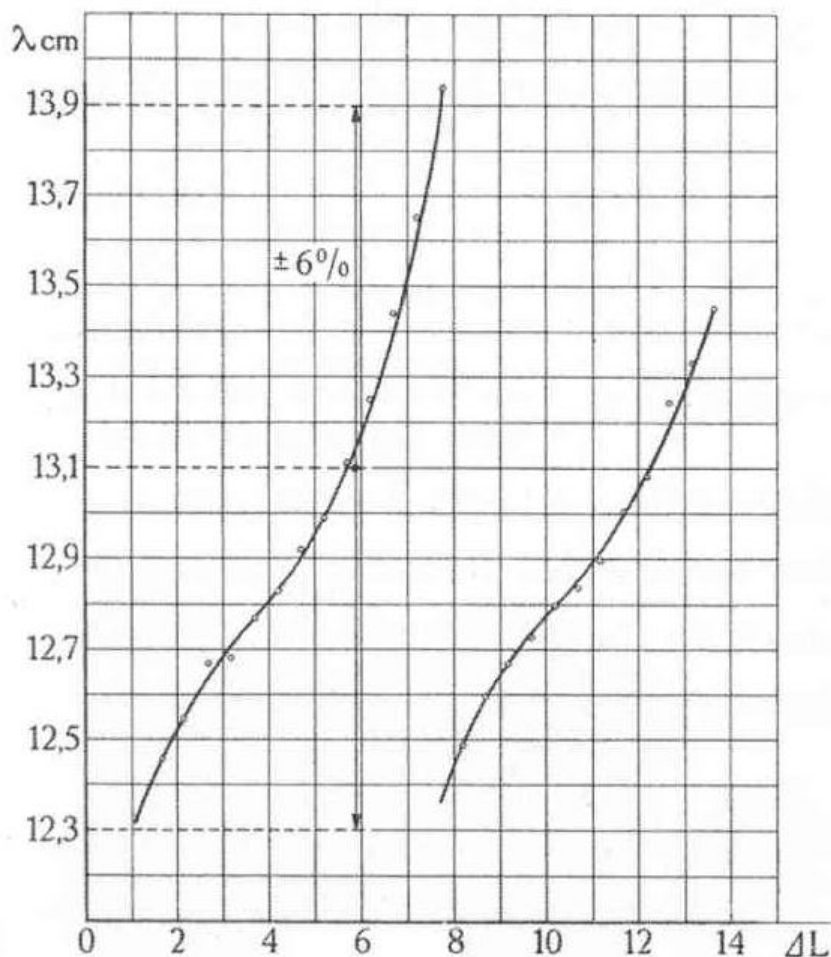
In den amerikanischen B-17 und B-24 Bombern wurde für die Aufklärung der deutschen VHF und UHF Radaremissionen u.a. die AS-251/AP „Fish-Hook“ Antenne (siehe Photo) verwendet. Sowohl ein AN/APR-4 Empfänger und eine AS-251/AP Antenne befanden sich in der Folge bis Ende des Zweiten Weltkrieges in der Funkabhorchstation des Sphinx-observatoriums auf dem Jungfraujoch für die militärische Funkaufklärung im Einsatz.

Die Firma Brown Boveri in Baden befasste sich seit Mitte der dreissiger Jahre mit einer vom Ausland unabhängigen Entwicklung von Mikrowellen Generatoren.

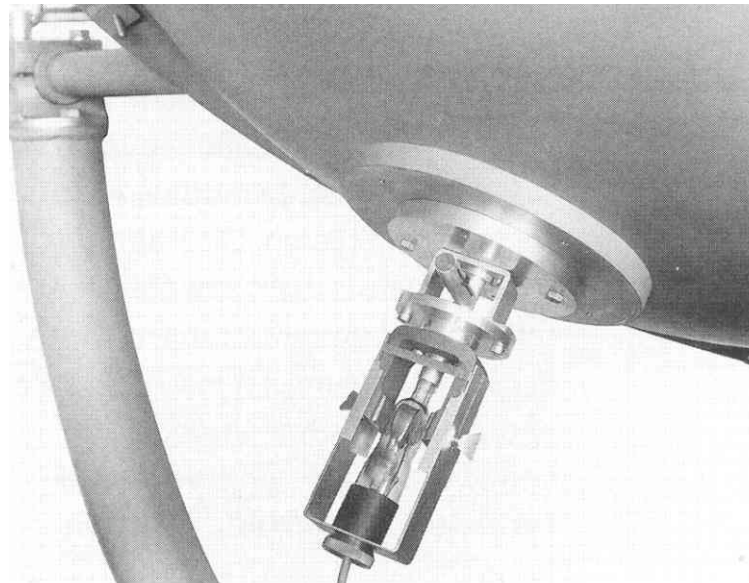


Dr. Fritz Lüdi der sich bereits als Assistent an der ETH-Zürich mit Fragen der Erzeugung ultrakurzer Wellen befasst hatte, wechselte 1936 zur Brown Boveri und begann dort mit der Entwicklung von Oszillatorröhren für Höchstfrequenzen. Nach vorgängigen Abklärungen und Versuchen mit verschiedenen Mikrowellen - Laufzeitröhren entstand in den späten dreissiger Jahren die Eigenentwicklung des Turbators, einer Einresonator-Magnetronröhre für Mikrowellen für den Frequenzbereich um 2000 MHz. Das Foto links zeigt eine der frühen Versuchsausführungen der Turbator Röhre für die der Firma Brown Boveri am 12.8.1938 das Schweizer Patent Nr. 215'600 erteilt wurde.

Die nachstehende Figur zeigt eine frühe frequenzvariable Ausführung des Turbators mit der zugehörigen Abstimmkurve. Die erzeugte Frequenz kann durch Abstimmung des äusseren Lechersystems beeinflusst werden. (Abzisse: Abstimmlänge, Ordinate; Wellenlänge)



Das nachfolgende Foto zeigt die Anwendung des Turbators bei Rückstrahlversuchen welche bei Brown Boveri gemäss der Mitteilung von Dr. Gustav Guanella bereits in den ersten Kriegsjahren durchgeführt wurden. Der Turbator wurde bei diesen Versuchen auf Impulsleistung von 10 kW hochgetastet und direkt im Rücken der Parabolantenne angeordnet. Brown Boveri konnte dabei auch nachweisen, dass der Turbator neben den für Rückstrahlversuche angewendeten Impulsverfahren auch für Rückstrahlanwendungen im Dauerstrichverfahren gut geeignet ist, wobei mit der empfangsseitigen Schwegungsmethode der Vorteil besteht, dass bewegte Objekte infolge des Dopplereffektes besonders leicht zu erkennen sind.



Während dem Zweiten Weltkrieg landeten in der Schweiz zahlreiche ausländische Kriegsflugzeuge die zum Teil mit modernsten Navigations- und Zielsuchgeräten ausgerüstet waren. Da man ihre wichtige Bedeutung für den modernen Luftkrieg erkannte, wurden die Ausrüstungen auch eingehend untersucht und die militärische Führung über deren Funktion und Wirkung orientiert.



Mit der Häufung von Landungen ausländischer Kriegsflugzeugen im Herbst 1943, hatte der technische Chef des Armeeflugparkes Oberst Carl Högger (siehe Photo) den Aufbau einer kleinen Gruppe von Spezialisten für das Untersuchen der Hochfrequenzausrüstungen veranlasst. Die Aufgabe der Arbeitsgruppe bestand darin, die in den Flugzeugen vorgefundenen Peil- und Funkanlagen genauestens zu untersuchen und über deren Funktion schriftlich zu berichten. Da es sich anfänglich bei den Ausrüstungen grösstenteils um konventionelle Funk- und Peilgeräte handelte, bereiteten das Analysieren und das Verständnis der Funktionen keine wesentlichen Probleme.

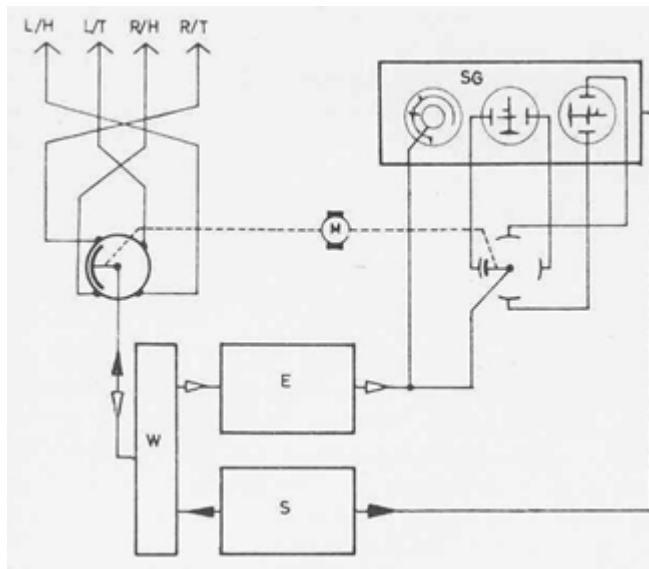
Schwieriger wurde die Situation als im Februar 1944 erstmals deutsche Nachtjäger mit aktiven Funkmessgeräten in der Schweiz landeten.

Es handelte sich dabei um eine noch wenig bekannte Technologie, zudem fehlten im Armeeflugpark geeignete Spezialisten und Messgeräte um erfolgreich Analysen an Ultrakurzwellen- und Impulsgeräten durchzuführen. Bereits ab diesem Zeitpunkt wurde trotz der striktem Geheimhaltung das Institut für Hochfrequenztechnik der ETH in Zürich für die Untersuchungen beigezogen. Das Institut für Hochfrequenztechnik hatte sich im Hinblick auf die sich für die Zukunft abzeichnende Richtfunk- und Fernsehetechnik, bereits seit Mitte der dreissiger Jahre mit der Physik und Technik der Ultrakurzwellen befasst. Unter der Leitung von Professor Franz Tank entstanden zu Beginn der vierziger Jahre zahlreiche Doktorarbeiten über dieses zukunftssträchtige Gebiet und das Institut verfügte über die erforderlichen Spezialisten und Ausrüstungen.

Unter Mithilfe des Institutes für Hochfrequenztechnik wurde die Funktion der aus den deutschen Nachtjägern stammenden Bordfunkmessgeräten nun genauer analysiert.⁴⁾

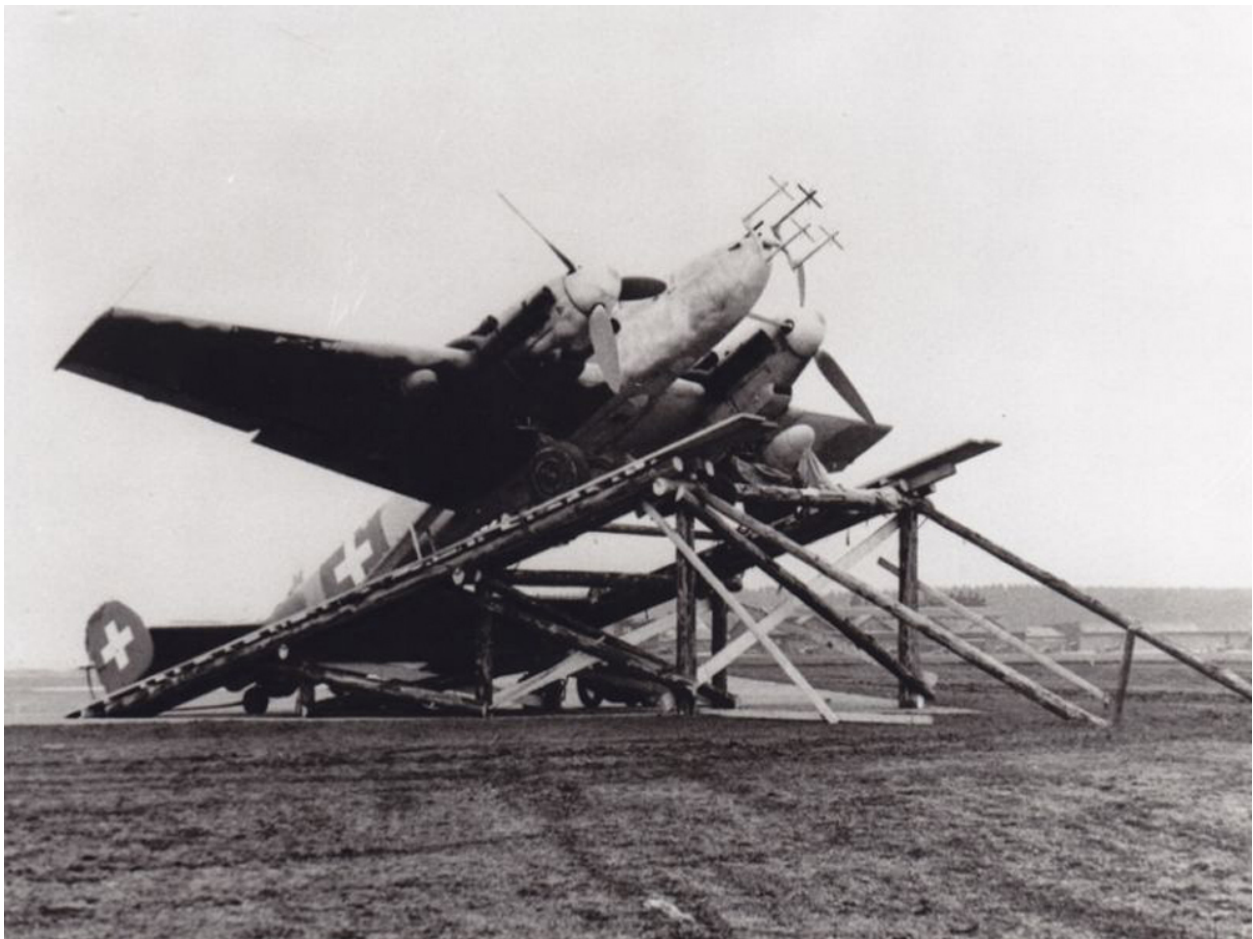
Das nachstehende Foto zeigt den am 15. März 1944 auf dem Militärflugplatz Dübendorf gelandeten **deutschen Nachtjäger Bf 110, 2Z + OP 6**. Die am Bug des Nachtjägers sichtbare Antenne gehörte zum **Lichtenstein B/C FuG 202** Funkmessgerät. Das Lichtenstein - Gerät, eine Entwicklung von Telefunken, war das erste Bordradargerät, das der deutschen Luftwaffe im Zweiten Weltkrieg zur Verfügung stand. Das Gerät arbeitete auf einer **Wellenlänge von 61 cm (490 MHz) und suchte mit einem mit 25 Hz rotierenden Peilsystem einen Vorsektor von $\pm 20^\circ$ in Seite und Höhe ab**. Das Lichtenstein FuG 202 Gerät ermöglichte es dem Nachtjäger feindliche Bomber bis zu einer Entfernung von ca. 2 - 3 km aufzuspüren und anzugreifen. Das Lichtenstein Gerät verfügte über eine für die damalige Zeit ausgezeichnete Nahauflösung von nur ca. 150 Meter.





Das Lichtenstein FuG202 Gerät besteht aus dem Sender S, dem Empfänger E und der S/E Umschaltung W. Die Peilantenne wird aus 16 Dipolen gebildet welche in 4 Gruppen angeordnet sind. Der durch einen Elektromotor angetriebene Drehverteiler speist die vier Antennengruppen phasenverschoben, so dass das Strahlungsdiagramm nicht senkrecht auf der Antennenebene steht sondern mit der Umlaufgeschwindigkeit des Drehvertellers in der Reihenfolge oben, rechts, unten, links den Raum mit ca. 25 Hz abtastet. Synchron dazu erfolgt die Auslenkung auf den Seiten- u. Höhenanzeigeröhren des Sichtgerätes SG. Die linke Anzeigeröhre arbeitet mit polarer Auslenkung und zeigt die Entfernung des Zieles an.

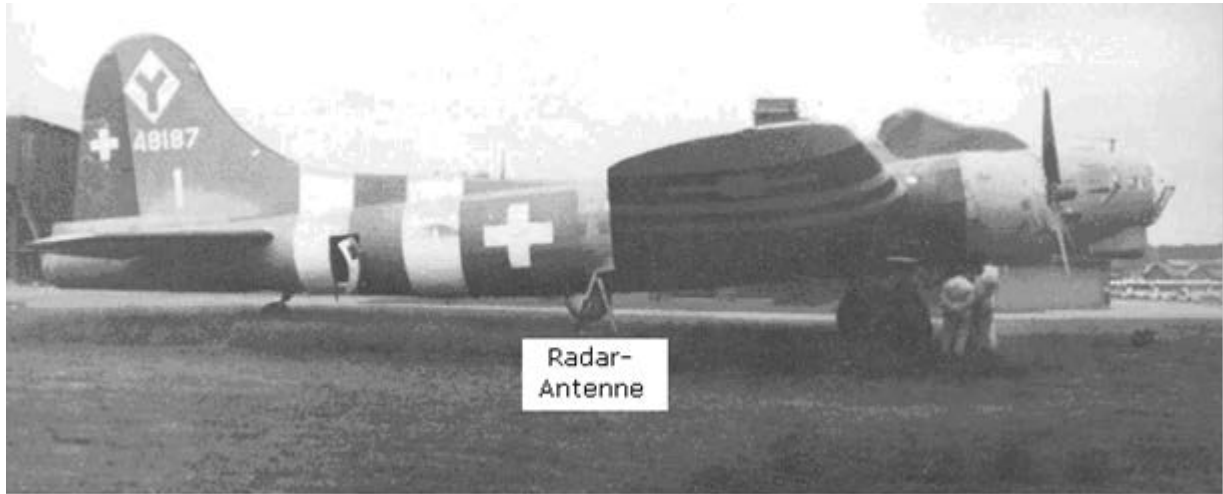
Im Rahmen der Untersuchungen durch die ETH Spezialisten erfolgten auch einige Feldversuche auf dem Militärflugplatz Dübendorf mit dem Gerät. Der Nachjäger wurde für die Versuche wie auf dem nachstehenden Foto ersichtlich auf eine schräge Rampe gezogen, so dass der Bug und damit der Suchsektor des Gerätes schräg nach oben gerichtet waren. Mit eigenen Flugzeugen wurde der Suchsektor in einiger Entfernung durchgeflogen und die auf den Anzeigeröhren erscheinenden Zielechos fotografiert und dokumentiert.



Ein Höhepunkt bei den Untersuchungen ergab sich, beim erstmaligen Auffinden einer **Mikrowellen-Radarausrüstung** in der am 27. Februar 1945 in Dübendorf gelandeten **Boeing B-17 G-50-VE 44-8187**. Das zur amerikanischen „Bomb Group 99“ gehörende „Pathfinder“- Flugzeug war während eines Bombenangriffes über Augsburg leicht beschädigt worden und der Pilot entschloss sich in der Schweiz notzulanden.

Das in der Schweiz bisher noch unbekannte Radargerät wurden aus dem Flugzeug ausgebaut und am Institut für Hochfrequenztechnik der ETH in Zürich, unter der Leitung von Professor Franz Tank untersucht.

Flugzeug Boeing B-17 G-50-VE 44-8187 mit dem AN/APS-15 Radar



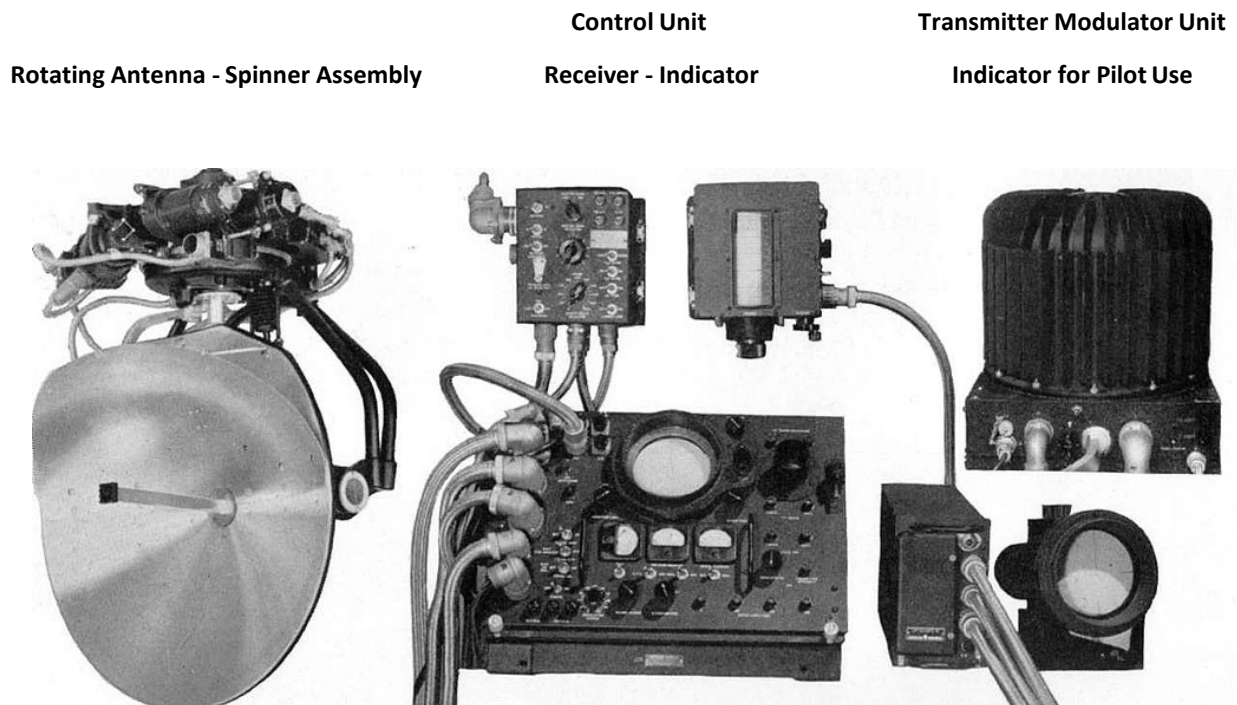
Es handelte sich um ein von der Firma Western Electric in Zusammenarbeit mit dem MIT Radiation Laboratory entwickeltes und von der Firma Philco Ford gefertigtes **AN/APS-15 Rundsuchradar** das auf einer **Wellenlänge von 3.2 cm** arbeitete.

R-78A Receiver - Indicator des AN/APS-15 Radars im Flugzeug B-17



Das Bedienungs- und Sichtgerät war in einem umfangreichen Kasten untergebracht. Die einzelnen Entfernungsbereiche der CRT betragen 5, 20, 50, und 100 Nautical Miles. Die CRT die das Rundsuch Radarbild zur Darstellung bringt besitzt eine ca. 5-fache Nachleuchtdauer. Die drei Instrumente unterhalb der CRT zeigen den Senderstrom, den Mischstrom der Empfänger - Diodenmischstufe und den Neigungswinkel des Antennendiagrammes an. Der vormontierte grosse Arbeitstisch diente dem Radaroperator und Navigator als Arbeitsplatz.

Für die Untersuchung an der ETH wurden die nachstehend abgebildeten Einheiten der Radarausrüstung AN/APS-15 aus dem Flugzeug B-17 ausgebaut:



Bereits die Voruntersuchung im B-17 Flugzeug hatte ergeben, dass die gesamte Antennenanlage mit einem Fahrstuhl in einem runden ca. 2.5 m langen Schacht ausgefahren werden kann. Das gesamte Antennenaggregat ist etwa 1 m hoch und besteht aus dem runden Parabolspiegel von 60 cm Durchmesser und dem motorischen Antrieb für die Antenne die im Betrieb mit einer Drehzahl von ca. 60 U/min. rotiert.

Ausser dieser Drehbewegung besteht die Möglichkeit, die gesamte Parabolantenne gegenüber ihrer Normlage um ca. ± 20 Grad zu schwenken. Dies erfolgt mittels eines vom Bedienungsplatz aus ferngesteuerten Motors. Hierdurch kann eine Schwenkung des vertikalen Strahlungsdiagrammes um ± 20 Grad erreicht werden.

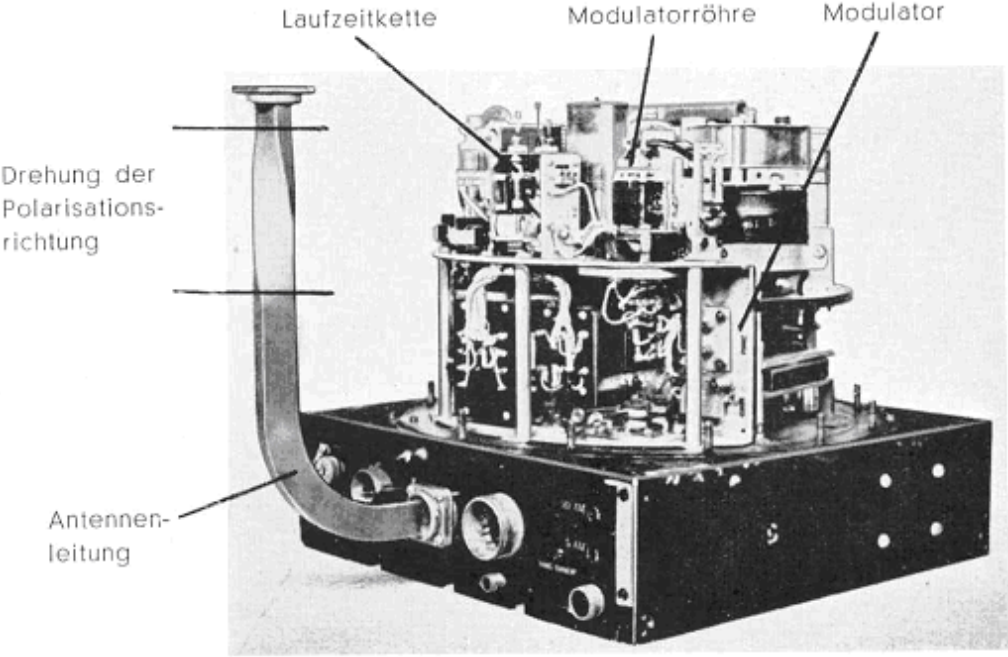
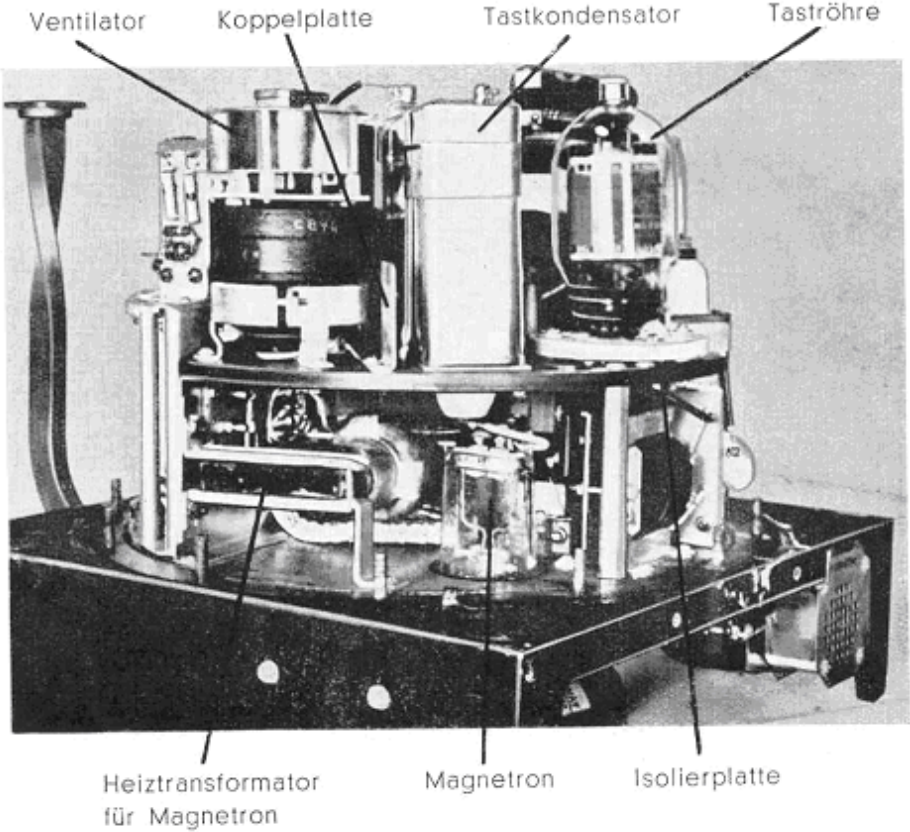
An den beiden Enden der nach oben verlaufenden Stangen ist der Parabolspiegel schwenkbar gelagert. Die Ablenkspannung für das Sichtgerät wird aus einem Goniometer am Antennenantrieb abgeleitet.

Die Mikrowellen - Zuleitungen zum eigentlichen Antennenstrahler sind infolge der Dreh- und Schwenkbewegung der Antenne recht kompliziert gestaltet. Die Fortleitung der Hochfrequenz erfolgt durch Hohlrohrleitungen mit Rechteckquerschnitt. Die Hohlrohrleitung ist mit einem Luftüberdruck von 1 atü gefüllt, um im Sendefall eine Koronabildung zu vermeiden.

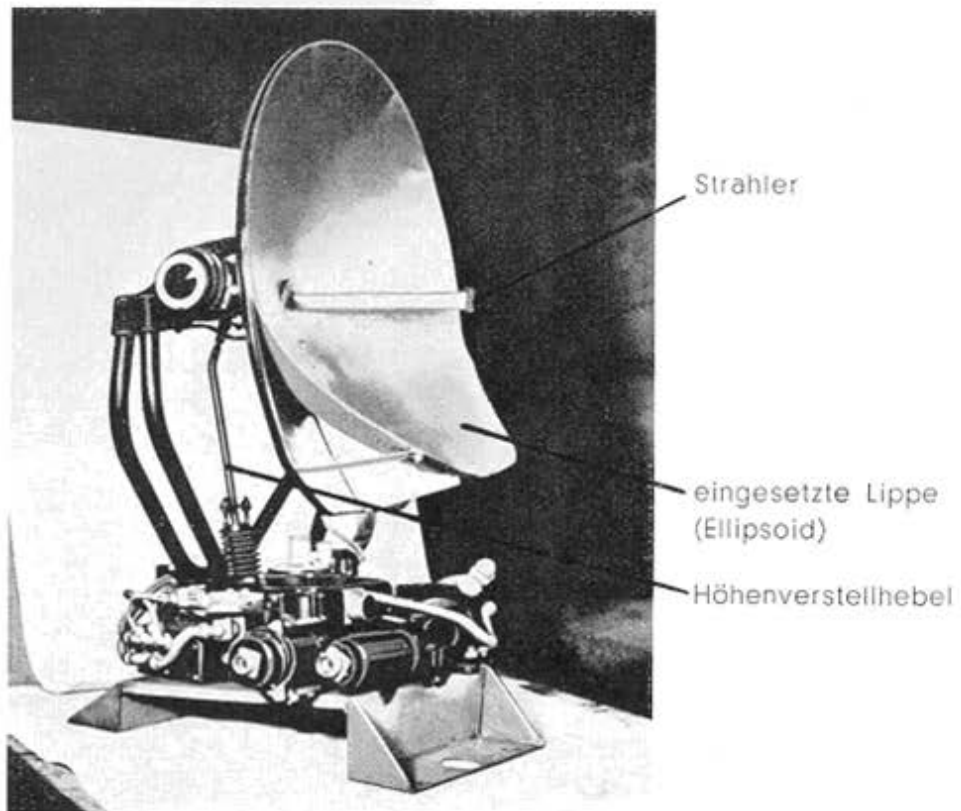
Der Antennenstrahler besitzt für die Abstrahlung der Energie am vorderen Ende zwei Schlitze nach dem Prinzip des Hornstrahlers. Die hochfrequente Energie wird in den Antennenspiegel hineingestrahlt und von Reflektor wieder gebündelt abgestrahlt.

Die Schlitzstrahler sind von einem Ball aus Kunststoff umgeben um das Austreten der komprimierten Luft aus der Hohlrohrleitung zu verhindern.

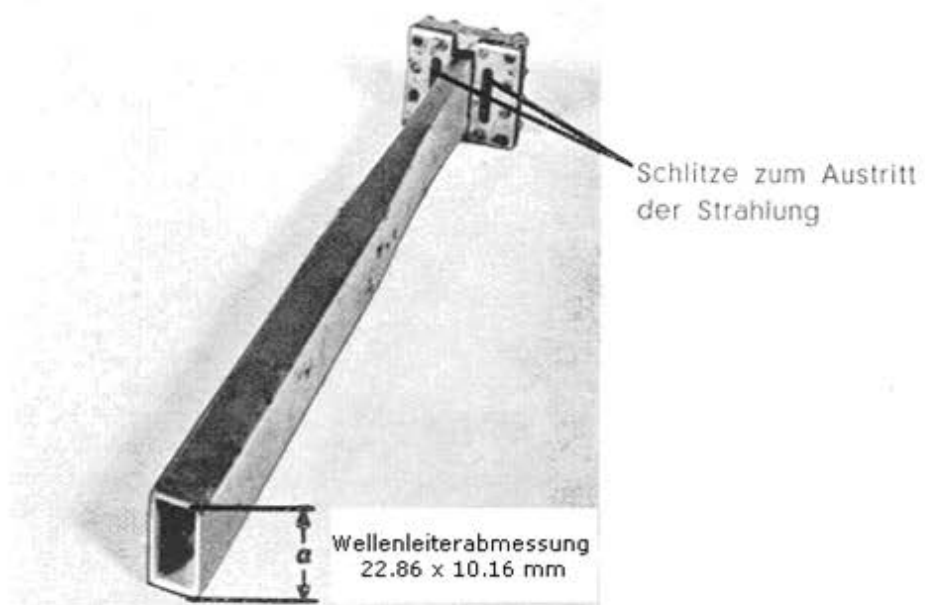
Sender und Modulator des Mikrowellen Bordradars AN/APS-15



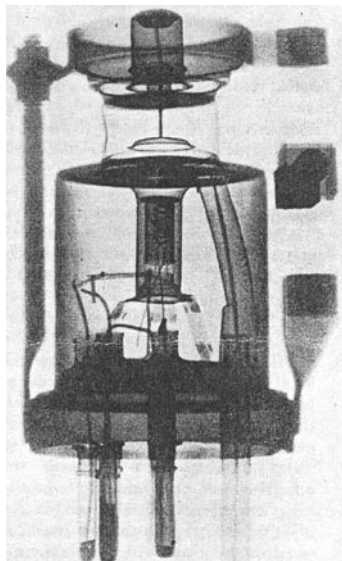
AN/APS-15 Antenne



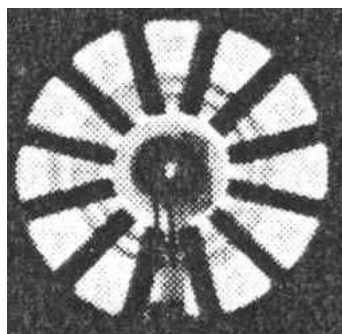
AN/APS-15 Strahler (sog. Cuttler-Feed)



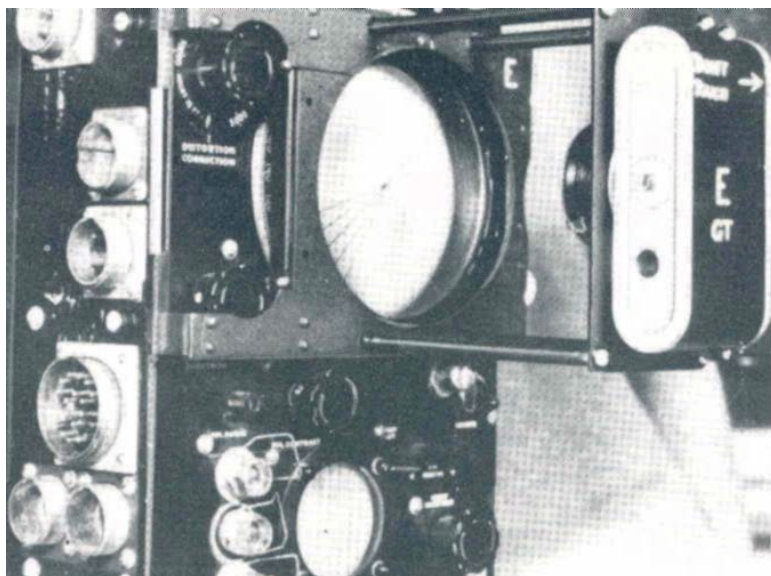
Es handelte sich offensichtlich um ein Mikrowellen-Rundsuchradar das gemäss Aussage der nach der Landung einvernommenen Besatzung für das Auffinden von Küstenlinien, grossen Städten, Flussläufen und Seen verwendet wurde. Beim Studium der komplizierten Anlage zeigte es sich, dass das Gerät neuartige Komponenten enthielt über deren Funktion die ETH Zürich noch keine Kenntnisse besass. Erst anhand von Röntgenaufnahmen stellte man fest, dass es sich dabei um Magnetron- und Klystronröhren handelte deren Existenz, bisher in der Schweiz wegen der strikten Geheimhaltung der Alliierten nicht bekannt war.



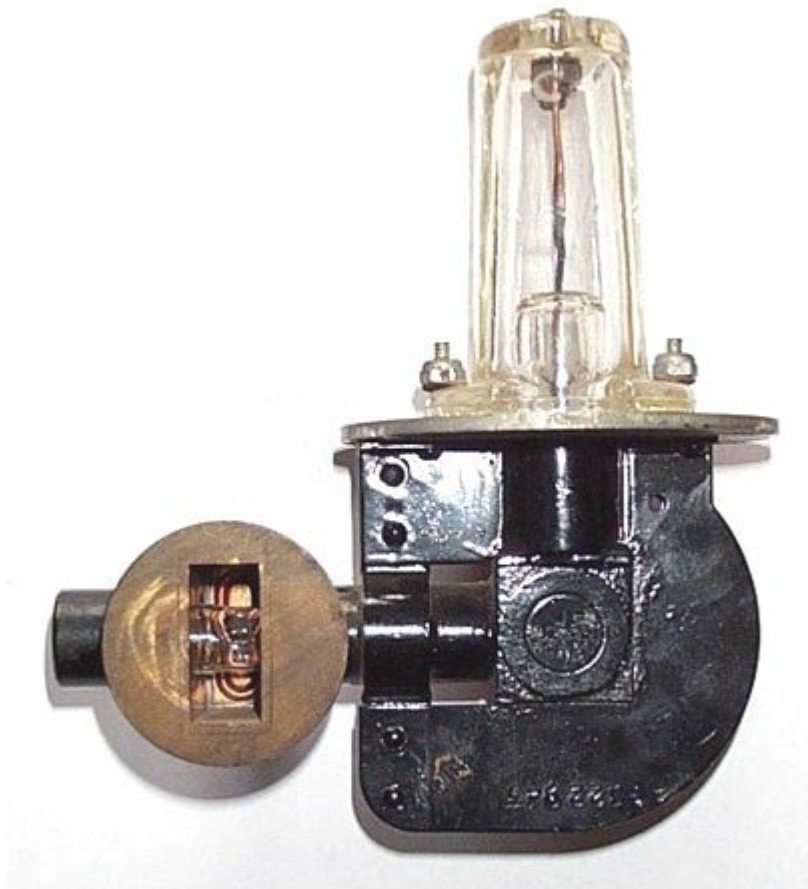
Erst eine Röntgenaufnahme (siehe Foto) die den innern Aufbau der mit Western Electric 723 A/B beschrifteten Röhre erkennen liess, gab Aufschluss über die Art und Wirkungsweise dieser Röhre. Es handelte sich dabei um ein Reflex-Klystron das als Ueberlagerungs-Oszillator für den Radarempfänger arbeitete. Die nachfolgende Untersuchung im Betrieb ergab, dass die mit einer Abstimm-schraube mechanisch abstimmbare Röhre eine Frequenz zwischen 8700 MHz und 9550 MHz erzeugen konnte.



Bei dem mit Western Electric 725A beschrifteten Bauteil liess der sehr starke Permanentmagnet vermuten, dass es sich um eine Magnetron-Röhre handelte, deren physikalische Wirkungsweise seit längerer Zeit bekannt war. Absolut neu für die Untersucher war jedoch die Tatsache, dass sich mit dem aus der Röntgenaufnahme (siehe Foto) hervorgehenden Aufbau, bei einer Frequenz von 9375 MHz, die für die damalige Zeit ausserordentlich hohe Leistung von 50 kW erzeugen liess.



Für die nachträgliche Auswertung der Angriffstaktik bei den Bombardierungs-Flügen sowie der Schulung neuer Besatzungen wurden während den Einsätzen häufig Photos der Bordradarbilder aufgenommen. Das Bild zeigt die vor dem Radaranzeigegerät installierte 35mm Kamera aus dem zur amerikanischen „Bomb Group 99“ gehörenden „Pathfinder“ - Flugzeug Boeing B-17G.



Das von der Firma Western Electric in grosser Stückzahl gefertigte 725A Magnetron arbeitete auf der festen Frequenz von 9375 MHz innerhalb der Herstellungstoleranz von +/- 30MHz. Die Heizspannung betrug 6.3 Volt. Bei der Anwendung im AN/APS-15 Radar wurde das Magnetron auf 16kV/16A hochgetastet, die dabei erzeugte Hochfrequenz-Impulsleistung betrug ca. 50 – 60 kW. Das extrem starke für den Betrieb des Magnetrons erforderliche Magnetfeld von 5400 Gauss wurde mit einem externen Kobaltstahl – Magneten erzeugt.



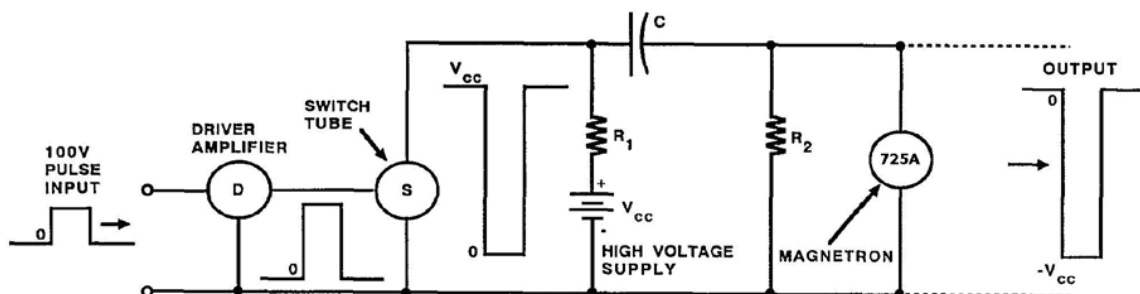
Western Electric 723 A/B Reflexklystron das als Ueberlagerungsoszillator im Empfänger des AN/APS-15 Radars verwendet wurde. Die manuelle Frequenzeinstellung erfolgte mit dem auf der linken Seite der Abbildung sichtbaren Vierkant.

715B Taströhre aus dem Impulsmodulator des AN/APS-15 Radars



Bei der Entwicklung der ersten Mikrowellenradars mussten für die Tastung der Magnetron-Sender neue Wege beschritten werden, da ja die für die Hochastung der dieser Sender erforderliche Impulsleistung bereits in einer Grössenordnung von einigen hundert Kilowatt lag. Zudem wurde wegen der starken Abhängigkeit der angeregten Schwingungsmodi von der Anodenspannung hohe Anforderungen bezüglich Form und Spannungs-konstanz an den Tastimpuls gestellt.

Die nachstehende Figur zeigt das vereinfachte Funktionsschema des AN/APS-15 Tastgerätes für das 725A Magnetron. Der Tastkondensator C wird durch die Hochspannungsversorgung in den Impulspausen auf ca. 16 kV aufgeladen. Mit den aus einer Laufzeitkette abgeleiteten Triggerimpulsen wird die 715B Taströhre kurzzeitig entsperrt, dies hat zur Folge, dass sich der Kondensator über das 725A Magnetron entlädt. Die als Taströhre arbeitende Impulstetrode 715B ist mit einer Oxydkathode für kurzzeitige Strombelastungen bis zu 16 Ampère ausgerüstet. Absolut neu für die Untersucher an der ETH war der Umstand, dass eine derart kleine zudem mit einer Oxydkathode arbeitende Röhre im Dauerbetrieb zuverlässig mit einer Anodenspannung von 16 kV betrieben werden konnte. Erst beim genaueren Untersuchen einer etwas später aufgefundenen Röhre, zeigte es sich, dass das Steuergitter, der vom Bell Laboratory entwickelten Spezialröhre, zur Vermeidung der gefürchteten Gitter-Sekundäremission mit Gold belegt war. Zum Vorbeugen gegen elektrische Ueberschläge bei grösseren Flughöhen befand sich zudem die gesamte Hochspannungsversorgung inklusiv Tastgerät und Magnetron in einem druckdichten mit Pressluft gefüllten Gehäuse. Der Bombenschütze musste jeweils vor dem Flug den Druck kontrollieren und wenn erforderlich mit einer Handpumpe auf den Sollwert nachpumpen.



Nach dem vorangegangenen gründlichem Studium des AN/APS-15 Radargerätes am Institut für Hochfrequenztechnik der ETH Zürich wurde dieses wiederum in die am 27. Februar 1945 auf dem Flugplatz in Dübendorf notgelandete Boeing B-17G-50-VE 44-8187 eingebaut und anlässlich von Flügen ausgetestet.

Es wurden mit der Fliegenden Festung der 99th Bomb Group sechs Flüge durchgeführt, allein um die Wirkungsweise des AN/APS-15 Radars zu erproben.

Anlässlich eines Testfluges vom 5. Juni 1945 wurde einem erweiterten Kreis von Teilnehmern des Kommandos der Flieger- und Flabtruppen, der Kriegstechnischen Abteilung und der ETH Zürich die Funktion der gesamten elektronischen Ausrüstung der Boeing B-17G-50-VE 44-8187 demonstriert. Der Flug stand unter dem Kommando des technischen Chefs Oberst Carl Högger und dem Chef des Armeeflugparks Oberst Walter Burkhard welche die inzwischen mit einem Neutralitätsanstrich versehene B-17G pilotierten. Als Bordmechaniker und Verantwortlicher für die Ueberwachung der Motoren begleitete wie schon bei den vorangegangenen Flugproben mit den Fliegenden Festungen B-17 und den Liberators B-24, der bereits mit JU-52 Flugzeugen erfahrene Chefmechaniker des Armeeflugparks Franz Schraner den Flug. Ebenfalls anwesend auf dem Flug waren Professor Franz Tank und die drei Elektroingenieure und Assistenten Jenny, Weber und Heierle welche am Institut für Hochfrequenztechnik der ETH Zürich das AN/APS-15 Radargerät untersucht hatten. Auf den nächsten beiden Seiten ist der Tagesbefehl des Fluges vom 5. Juni 1945 und die Foto des Radarbildes mit dem Echo des Greifensees ersichtlich.

Durch Informationen der Nachrichtendienste war auch im Kommando der Flieger- und Flabtruppen bekanntgeworden, dass die AN/APS-15 Radargeräte für das Auffinden von Zielen bei Präzisionsbombardierungen in den weiter entfernten Gebieten von Mittel- und Ostdeutschland von grosser Bedeutung waren. Die Reichweite der in England installierten im VHF und UHF Frequenzgebiet arbeitenden Funknavigationssysteme GEE und OBOE welche für die Führung von Bomberverbänden beim Einsatz über Westdeutschland benützt wurden, genügte nicht für Einsätze in Mittel- und Ostdeutschland.

Der Kommandant der Flieger- und Flabtruppen Oberstdivisionär Rihner, liess es sich daher nicht nehmen sich anlässlich eines Fluges das AN/APS-15 (unter dem Decknamen H2X-Gerät figurierende) Radargerät demonstrieren zu lassen. Er wurde dabei von Oberstbrigadier Magron begleitet.

Zum Studium der Angriffsmöglichkeiten gegen die Fliegende Festung und den Liberator war bereits vom 26. Juni bis zum 1. Juli 1944 ein Einführungskurs durch Bomberbesatzungen und vom 3. Juli bis zum 8. Juli 1944 eine theoretische sowie praktische Trainingswoche für Jägerbesatzungen des Überwachungsgeschwaders in Dübendorf durchgeführt worden.

Oberst Högger selbst beurteilte die Instrumentierung des Flugzeuges als hervorragend, empfand aber das Fliegen mit der B-17 aufgrund der nicht gerade üppigen Pistenlängen in der Schweiz als angewöhnungsbedürftig. Aufgrund eines Abkommens mit den Siegermächten über die Rückschaffung von interniertem Flugmaterial musste auch die mit Radar ausgerüstete B-17G-50-VE am 19. September 1945 dem rechtmässigen Eigentümer zurückgegeben werden.

Programm für die Erprobung des Bordradars im B-17G Flugzeug

Milbendorf, 4. 6. 45.

Flug mit B-17 am 5.6.45, 0700.

Zweck des Fluges : Vorführung verschiedener Ausgeräte im Flug
an K F A, Prof. Spitt und Edc. Fl., u. Flab. Trp.

- 1) Sicht-Gerät; Demonstration des Geräts im praktischen Betrieb.
- 2) Geo-Anlage; Standort-Bestimmung ausländischer Stationen, die in Betrieb sind.
- 3) HNW-Entmessung; Anzeigefähigkeit bei Start und Landung.
- 4) Radiokompass; Standort-Bestimmung mit Hilfe von Funkstationen.
- 5) L R - und G R - Anlage in Betrieb setzen. Freq. 5190 5250 4432.

Flieger :

Rapperswil - St. Gallen - Weinfelden - Baden - Insarn - Milbendorf.

Flughöhe :

5 - 4000 m über Meer.

Dauer des Fluges :

1 - 1½ Stunden.

Besatzungen :

Bedienung des Sichtgeräts :	Ing. Weber Oberst Wüchmann
Bedienung des Abtastgeräts bei Start und Landung, Protokollführer	Ing. Heiserli
Bedienung der Geo-Anlage und Radio-Kompass	Ing. Jenny Oberst Wüchmann
Bedienung der L R - und G R - Anlage	Hptm. Sttinger Ing. Heiserli
Passagiere	Prof. Tank Oberst Leutwyler
Piloten	Oberst Egger Oberst Burckhard
Technische Kontrollen	Wa. Schwager

Aufenthaltsraum bei Start und Landung :

Navigationsteam :	Ing. Jenny
Pilotenraum :	Oberst Burckhard, Oberst Egger, Wa. Schwager
Funkraum :	Prof. Tank, Oberst Wüchmann, Ing. Weber, Hptm. Sttinger
Hg.-Raum :	Oberst Leutwyler, Ing. Heiserli.

Aufenthaltsraum im Flug : Der Aufenthaltsraum im Flug kann geändert werden bei vorheriger Meldung beim I. Piloten.

Fallschirme : Solche sind stationiert :

in Navigationsteam :	3
in Pilotenraum :	3
in Hg.-Raum :	6

Die Fallschirmgurten sind vor dem Start gut anzupassen und während des Fluges zu tragen.

Bordverantwortung : Die BV ist vor jedem Start von jedem Besatzungsmitglied auf richtiges Funktionieren zu prüfen. Während Start und Landung bleibt die BV-Anlage für die Piloten reserviert. Bei Standortwechsel hat sich der Betreffende wieder in die Bordverantwortung einzuschalten.

DIREKTION DER MILITÄRFLIEGERLEHRE

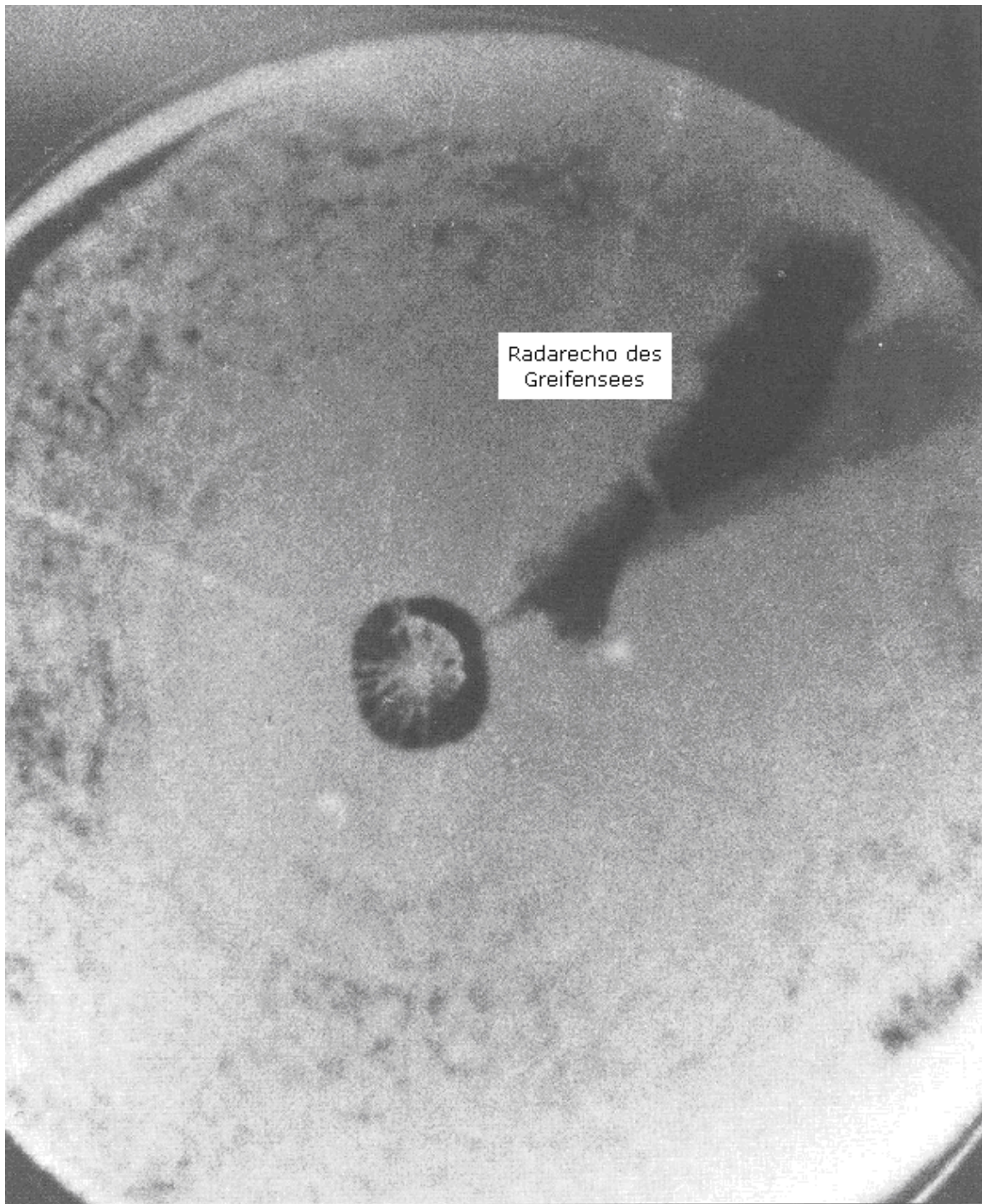
Techn. Chef :

H. H. H. H.

Geht an :

Befehl. Besatzungsmitglieder.

Bei der Erprobung des AN/APS-15 Radars im Fluge bestätigte es sich, dass Wasserflächen wie hier auf dem Bild der Greifensee, auf dem PPI als sehr leicht zu interpretierende Objekte abgebildet wurden. Diese Eigenschaft hatte den Mikrowellen-Bordradars zu ihrer grossen Bedeutung als Navigationsmittel im Bombenkrieg über Deutschland verholfen. Das vorliegende AN/APS-15 Gerät das auf 3 cm Wellenlänge arbeitete ermöglichte neben dem Auffinden der Zielgebiete bereits auch die Anzeige von Wetterphänomenen und stellte somit ein früher Vorläufer der späteren in der Zivilfliegerei verwendeten Wetterradars dar. Die in der notgelandeten B-17G vorgefundenen Filme zeigten, dass das Radarbild von den Besatzungen jeweils auch während den Feindflügen fotografiert wurde.



Bereits im Sommer 1940 wurde der schweizerische Luftraum fortgesetzt von Flugzeugen der Kriegsgegner verletzt. Nach der Kriegerklärung Italiens an Grossbritannien am 10. Juni 1940 flog die RAF von England aus Aufklärungs- und Bombardierungseinsätze gegen Industrieziele in Oberitalien. Der kürzeste Flugweg führte westlich der Linie Ajoie – Simplon über die Schweiz. Die rücksichtslosen nächtlichen Verletzungen des schweizerischen Luftraumes durch die RAF, solche wiederholten sich auch in der Nord- und Ostschweiz anlässlich von Angriffen des britischen Bomber Command auf Ziele in Süddeutschland, lösten Aktivitäten im Schweizerischen Politischen Departement und im Armeekommandos aus. Die Hoheit des schweizerischen Luftraumes musste gewahrt werden und gegenüber Italien und Deutschland war der Beweis zu erbringen, dass nichts unterlassen wurde, diese Aufgabe nach Kräften und mit allen verfügbaren Mitteln zu lösen. Bereits im Juli 1940 hatte der deutsche Gesandte in der Schweiz im Auftrag der Reichsregierung beim Bundespräsidenten vorgesprochen und Massnahmen der Schweiz gegen das fortgesetzte nächtliche Ueberfliegen von britischen RAF Verbänden gefordert. Die politischen Demarchen der Schweiz in London, hatten jedoch zu keinem Erfolg geführt, Grossbritannien kämpfte, bis im Dezember 1941 auf sich allein gestellt, um sein Ueberleben.

Der Bundespräsident bemerkte dazu, die Schweiz habe gegenwärtig kein Mittel, die britischen Ueberflüge wirksam zu bekämpfen. Obwohl seit dem Frühjahr 1940 Detachemente der 7.5 cm, 34 mm und 20 mm Fliegerabwehr von 20 Uhr bis 7 Uhr, sofern die Witterung ein Schiessen bzw Leuchten mit Scheinwerfer gegen Luftziele gestatte, einsatzbereit gehalten werden, habe sich im Einsatz gegen die britischen Neutralitätsbrecher noch kein Abschusserfolg eingestellt. Wenn man der Schweiz vorwerfe, dass an bestimmten Punkten nicht das Feuer eröffnet werde, so könne er nur sagen, dass bei dem gegenwärtigen Wetterstand die Nebelbildung die wirksame Bekämpfung der britischen Flugzeuge unmöglich mache.

Im August 1940 versuchte das Politische Departement den Kommandanten der Flieger und Flabtruppen in direkten Gesprächen zu bewegen, die Luftraumverletzungen der RAF auch mittels Nachtjäger zu unterbinden.

Der Kommandanten der Flieger und Flabtruppen Oberstdivisionär Bandi wollte aber dazu nicht Hand bieten und begründete seine ablehnende Haltung wie folgt:

Die Flugabwehr in der Nacht durch Jagdflugzeuge kann nur durchgeführt werden, wenn die zu bekämpfenden Flugzeuge von den Jägern gesehen werden. Das Auffinden der Flugzeuge bei Nacht ist aber auch bei Mondhelle unmöglich. Es könnten heute grundsätzlich zwei Methoden für die Standortbestimmung des fliegenden Gegners angewendet werden:

- o **Mittels Scheinwerfer wobei das Aufsuchen von Bomberflugzeugen mit Scheinwerfern nur unter bestimmten meteorologischen Verhältnissen möglich ist. Jagdflieger können zudem nur dort eingesetzt werden wo eine genügende Anzahl von Scheinwerfer tätig sind und dort, wo die feindlichen Bomber eine gewisse Zeit im Aktionsradius dieser Scheinwerfer fliegen müssen, um ihre Aufgabe zu lösen. Beim reinen Durchflug, wo die Bomber höchstens 2 Minuten im Bereich einer Gruppe von Scheinwerfern fliegen, wäre es einem Jagdflieger unmöglich sich dem Bomber so zu nähern, dass er ihn angreifen und noch im Auge behalten können, nachdem er aus dem Scheinwerferlicht ausgeflogen ist.**

- o **Oder aber mittels spezieller Funkapparaturen, deren ausgestrahlte Wellen auf die Flugzeuge, deren Standort bestimmt werden soll, gerichtet werden. Die Flugzeuge reflektieren dann diese Strahlen, welche nachher am Boden aufgefangen werden. Diese Radiolokations - Apparate werden am Boden und in Flugzeugen verwendet, die Schweizer Armee verfüge jedoch gegenwärtig über keine derartigen Ausrüstungen, zudem seien die Abmessungen wahrscheinlich so gross, dass sie nur in mehrmotorigen Flugzeuge eingebaut werden können.**

Im September 1940 bat der Bundespräsident anlässlich einer weiteren Unterredung mit dem deutschen Gesandten, in Berlin abklären zu lassen, ob nicht Deutschland der Schweiz Ratschläge geben könne, was nötig wäre, um britische Flieger wirksam zu bekämpfen. Zunächst einmal fehle es an Material und Ausrüstungen die in Deutschland bestellt aber noch nicht geliefert seien. Dann aber könne die deutsche Luftwaffe wahrscheinlich taktische Ratschläge geben. Er habe sich daher entschlossen, inoffiziell anzufragen, ob sich **drei sachverständige Schweizer Offiziere, die Piloten Oberst Isler und Oberst Magron sowie der Kommandant der FF Nachrichtenschule Dübendorf Oberstleutnant Wuhrmann** nach Deutschland fahren könnten, um mit zuständigen deutschen Stellen in Fliegerabwehrfragen Fühlung zu nehmen. Er bitte die deutsche Regierung, aus dieser Anregung zu entnehmen, dass die Schweiz alles tun wolle, um den Neutralitätspflichten nachzukommen.

Die Abschüsse deutscher Flugzeuge im Mai und Juni 1940 sowie der Rapport von General Guisan für die höheren Offiziere auf dem Rütli vom 25. Juli 1940 hatte bei der Reichsregierung und der Wehrmachtsführung eine heftige Verstimmung ausgelöst, so dass auf die Anfrage des Bundespräsidenten betreffend des Besuches einer Schweizer Delegation eine Absage erfolgte.

Quelle: Bundesarchiv E5155, 1971/202, Bd. 102

In der Schweiz wurde die Sache jedoch nicht ad acta gelegt sondern nach einiger Zeit von der Kriegstechnischen Abteilung (KTA) über den schweizerischen Militärattaché in Berlin eine weitere Anfrage betreffend einer Fühlungsnahme mit den zuständigen deutschen Stellen in die Wege geleitet. Nach über einjähriger Anstrengung durch den schweizerischen Militärattaché in Berlin und mit Unterstützung durch Stabsingenieur Mack von der deutschen Gesandtschaft in Bern, erfolgte eine Einladung aus dem Reichsluftfahrtministerium (RLM) zu einer Orientierung und Vorführung über Funkmessgeräte in Berlin.

Eine Delegation bestehend aus den Herren Hans Hess von der KTA Bern, Oberst J.H. Leutwyler, Chef des Dienstkreises II der KTA Bern und Dr. Ing. Gustav Guanella von der Brown Boveri in Baden besuchten in der Zeit vom 21. – 27.11.1943 das RLM in Berlin.

Anmerkung zu Dr. Ing. Gustav Guanella von der Brown Boveri AG in Baden

Dr. Ing. Gustav Guanella war von 1942 bis 1969 Vorstand der Abteilung Hochfrequenz (HF) bei Brown Boveri in Baden. Er war ein ungeheuer ideenreicher Mann, ein hervorragender Chef und sein eigener "Hofwissenschaftler". Dr. Guanella hatte sich auch schon früh mit der Radartechnik und der Kryptologie befasst:

- o Bereits am 26. September 1938 hatte Dipl. Ing. Gustav Guanella der damals noch als Assistent an der Abteilung für industrielle Forschung (AFIF) der ETH Zürich tätig war, beim EIDG. AMT FUER GEISTIGES EIGENTUM einen Patentantrag für eine Einrichtung zur Messung der Entfernung mit einem rauschmodulierten Reflexionsverfahren eingereicht. Am 26. August 1941 wurde ihm dafür vom U.S.A. Patent Office das Patent 2'253'975 für ein „Distance Determining System“ erteilt. Das EIDG. AMT FUER GEISTIGES EIGENTUM erteilte ihm dafür am 30. April 1942 das Schweizer Patent 220'877.
- o Neben vielen weiteren Patenten so z.B. auch für den sog. Strombalun zur Erzeugung von symmetrischen elektrischen Anpassungen, hat Gustav Guanella bereits im Jahre 1938 beim U.S.A. Patent Office einen Patentantrag für „Means for and method of Secret Signalling“ eingereicht. Es handelte sich dabei um ein Verfahren, das später als „Direct Sequence Spread Spectrum Technique“ grosse Bedeutung erlangte, bei dem die Information mit einem „Pseudorandom Signal“ mit viel höherer Frequenz multipliziert wird und dadurch über eine weite Bandbreite gestreut wird. Das U.S.A. Patent Office erteilte ihm dafür am 6. August 1946 das Patent 2'405'500.



Gustav Guanella

geb. 21. Juni 1909 in Chur; † 12. Januar 1982 in Zürich
war ein Schweizer Elektroingenieur und Erfinder.

Die KTA stand während des Zweiten Weltkrieges mit der Hochfrequenz Abteilung von Brown Boveri im Rahmen einer Reihe von Entwicklungsaufträgen in engem Kontakt. Es ist daher nicht verwunderlich, dass Dr. Ing. Gustav Guanella als international anerkannter Fachmann von der KTA für diese heikle Mission beim deutschen Reichsluftfahrtministerium in Berlin zugezogen wurde.

Die Teilnehmer wurden anlässlich des Besuches über die bodengestützten Suchgeräte Freya, Würzburg und Würzburg – Riese, das Flugzeugbord-suchgerät Lichtenstein B/C und den Flugzeug - Funkhöhenmesser FuG101 orientiert, hatten dabei auch Gelegenheit einige dieser Geräte im Betrieb zu besichtigen. Den Teilnehmern wurden überdies technische Unterlagen über diese Geräte ausgehändigt. Im damaligen Reisebericht ist vermerkt: Es ist dem RLM ausserordentlich hoch anzurechnen, dass uns die streng geheimen Geräte, die selbst den Verbündeten nicht zugänglich sind, vorgeführt und erklärt wurden.

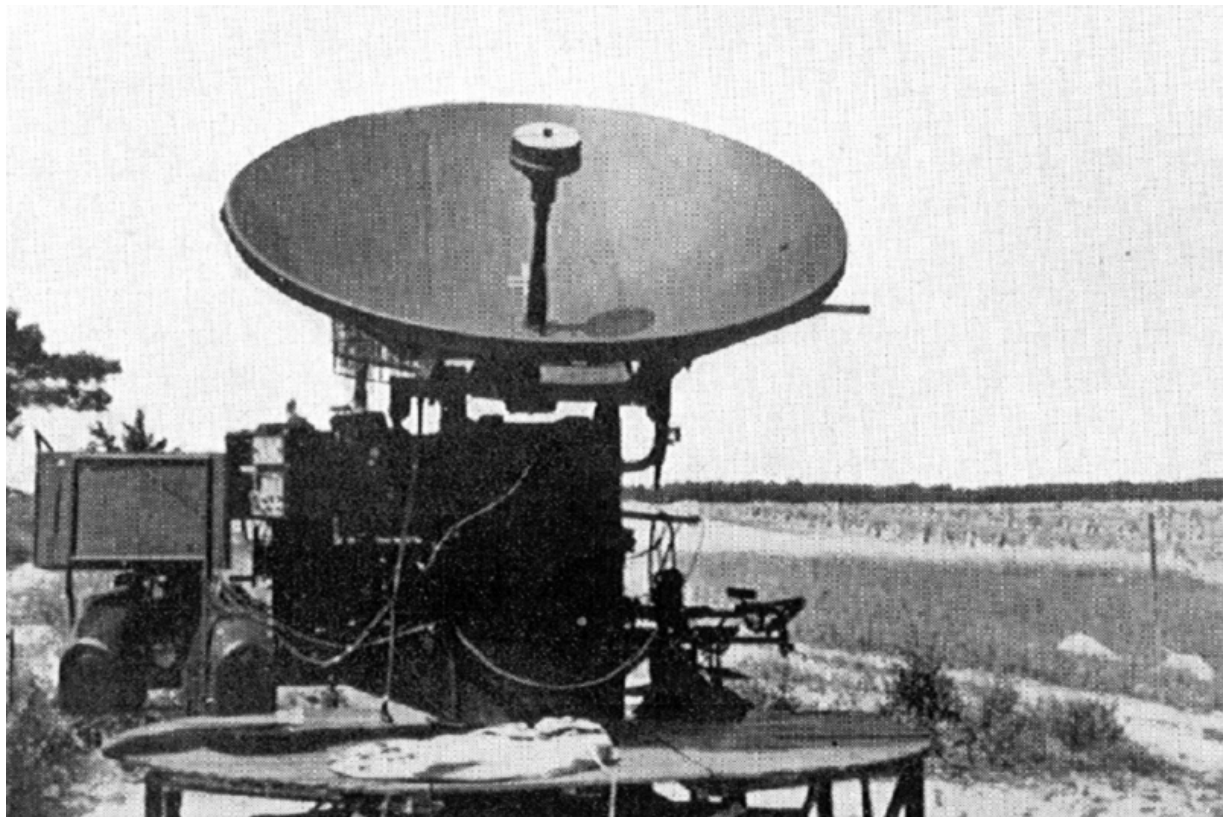
Die KTA versuchte in der Folge zwei Funkmessgeräte Würzburg, für das Vermessen von Flugzeugen ab Bodenstationen, aus Deutschland zu beschaffen.

Der Erwerb dieser beiden Muster sollte es ermöglichen Versuche durchzuführen, um festzustellen, ob sich die Geräte für die Fliegerabwehr eignen. Für den Fall, dass die Versuche positiv ausfallen, würde der Wunsch bestehen, entweder eine grössere Serie von Geräten anzukaufen oder eine Nachbaulizenz zu erwerben.

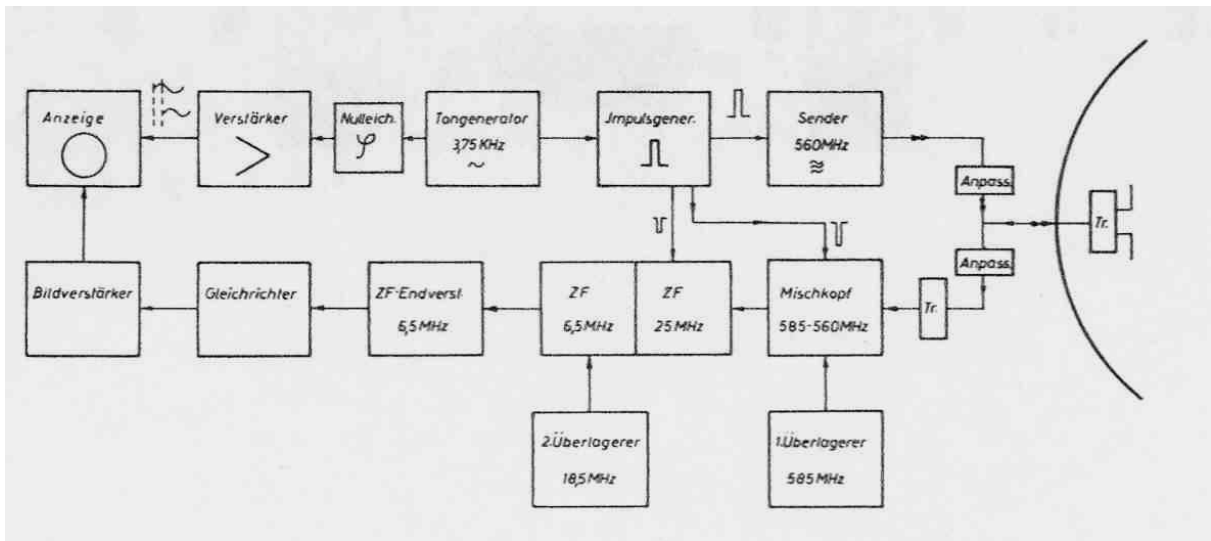
Im Frühjahr 1944 konnten neben einer Anzahl ME-109G Jagdflugzeugen, zwei dieser Ausrüstungen, als Gegenleistung für die dem deutschen Nachrichtendienst erlaubte Zerstörung **eines in Dübendorf am 28. April 1944 notgelandeten geheimen Messerschmitt - Nachtjägers ME110 C9EN**, für Versuchszwecke beschafft werden.⁽⁵⁾

Das Würzburg Gerät Fu.M.G.62 war auf Grund eines vom Luftfahrtsministerium im Jahre 1937 an die Firma Telefunken erteilten Entwicklungsauftrages für ein Zielsuchgerät für die Fliegerabwehr entstanden. Im Sommer 1939 konnte der Prototyp der transportablen Zielsuchausrüstung, die im Dezimeterwellen - Gebiet im Frequenzbereich um 560 MHz arbeitete, noch vor Ausbruch des Zweiten Weltkrieges auf dem Flugplatz Rechlin erstmalig den Spitzen der Luftwaffe, Wehrmacht und der Partei vorgeführt werden.

Das Gerät erzeugte mit einem im Brennpunkt des Antennenspiegels defokussiert rotierenden Dipols einen Strahl (später als „conical scanner principle“ bekannt geworden) der den Luftraum im Bereich von ca. $\pm 12^\circ$ zur Spiegelachse abtastete. Das Zielecho erschien dabei auf den Seiten- und Höhen- Anzeigeröhren in Form von je zwei gewobbelten Videosignalen. Durch Ausrichten des im Durchmesser ca. 3 m messenden Antennen-Spiegels über Richtantriebe konnten damit Flugziele nach Seite und Höhe bis zu einer instrumentierten Entfernung von max. 40 km vermessen und mit einigem Geschick des Bedienungspersonales auch verfolgt werden.

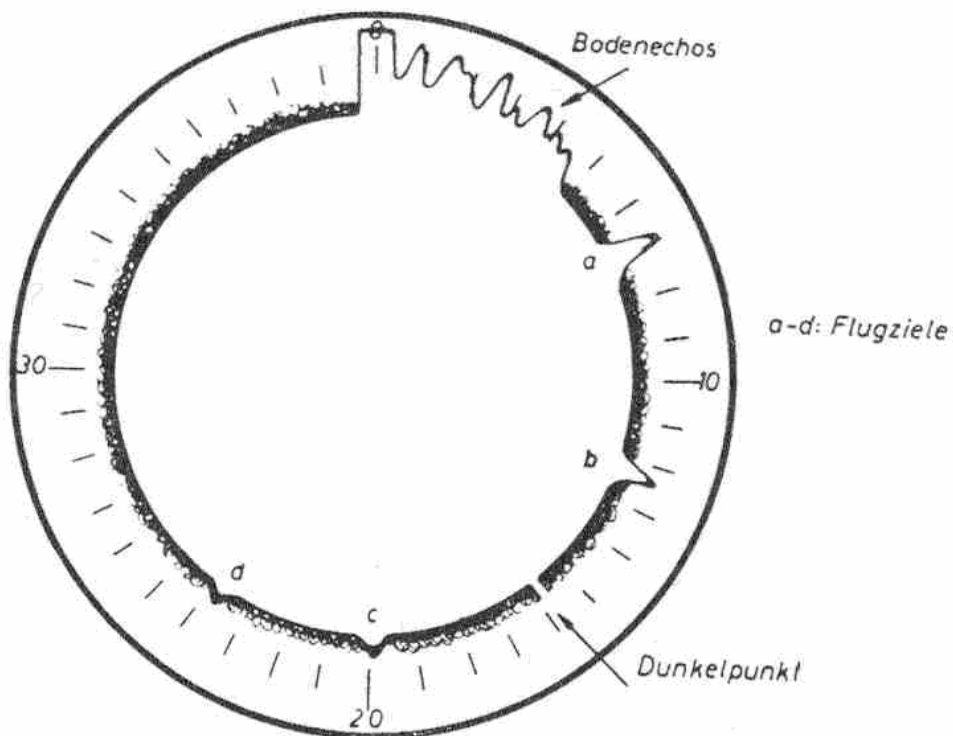


Auf Grund seiner Leistungen und der verhältnismässig einfachen und modularen Bauweise wurde daraufhin die Fertigung in Grossserie verfügt. Mit den Würzburg Zielsuchgeräten erzielte die deutsche Flakartillerie bei den nächtlichen Grossangriffen der Royal Air Force anfänglich beachtliche Abschusserfolge. Die Figur auf der nächsten Seite zeigt den Wirkplan des Fu.M.G.62 Zielsuchgerätes.

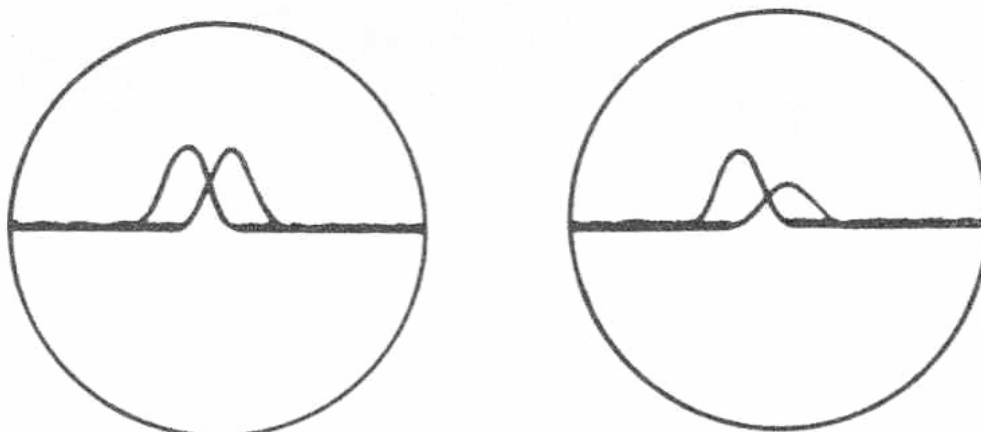


Die Tastfrequenz des Senders von 3.75 kHz wird aus der Sinusspannung eines Tongenerators abgeleitet und legt den Entfernungsmessbereich des Fu.M.G.62 auf 40 km fest. Aus der gleichen Sinusspannung wird über einen Phasenschieber zur Nullpunktverstellung die Zeitkreisablenkung der Entfernungsanzeigeröhre abgeleitet.

Die Entfernungsanzeige der Ziele erfolgte beim Würzburg - Zielsuchgerät auf der Kreisskala einer Kathodenstrahlröhre. Ein Kreis als Zeitbasis hat den Vorteil, dass bei gegebenem Durchmesser die Zeitachse um das pi-fache länger wird, dadurch erhöht sich die Ablesegenauigkeit. Für eine zeitproportionale Ablenkung genügen zudem Sinussignale, hochlineare Sägezahnsignale deren Entwicklung erst im Laufe des Zweiten Weltkrieges in England gelöst werden konnte, waren hierfür nicht erforderlich.

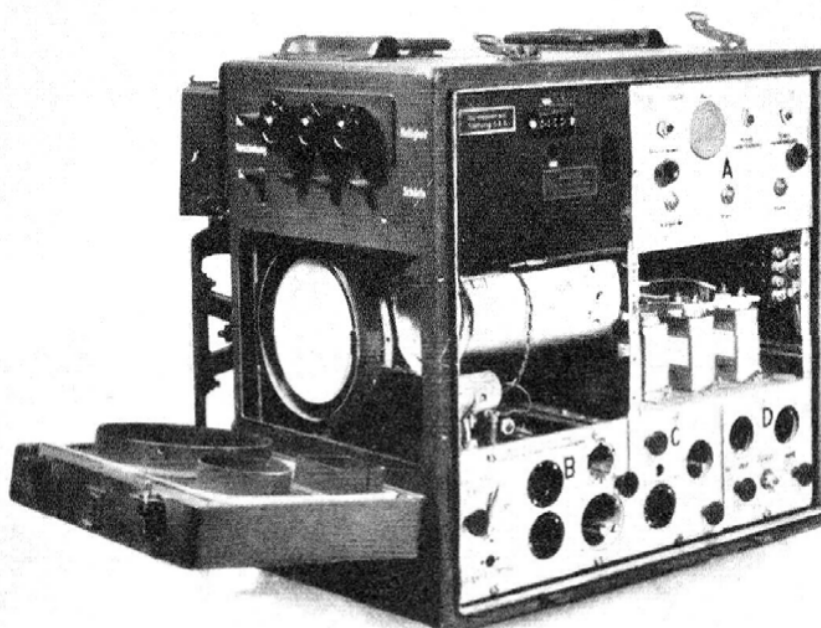


Die Höhen- und Seitenpeilung erfolgte auf zwei zusätzlichen Kathodenstrahlröhren auf denen nur ein kleiner Entfernungsausschnitt dargestellt war. Mit den Richtantrieben des Antennenspiegels musste lediglich die Amplitudengleichheit der gewobbelten Videosignale der Zielechos hergestellt werden.

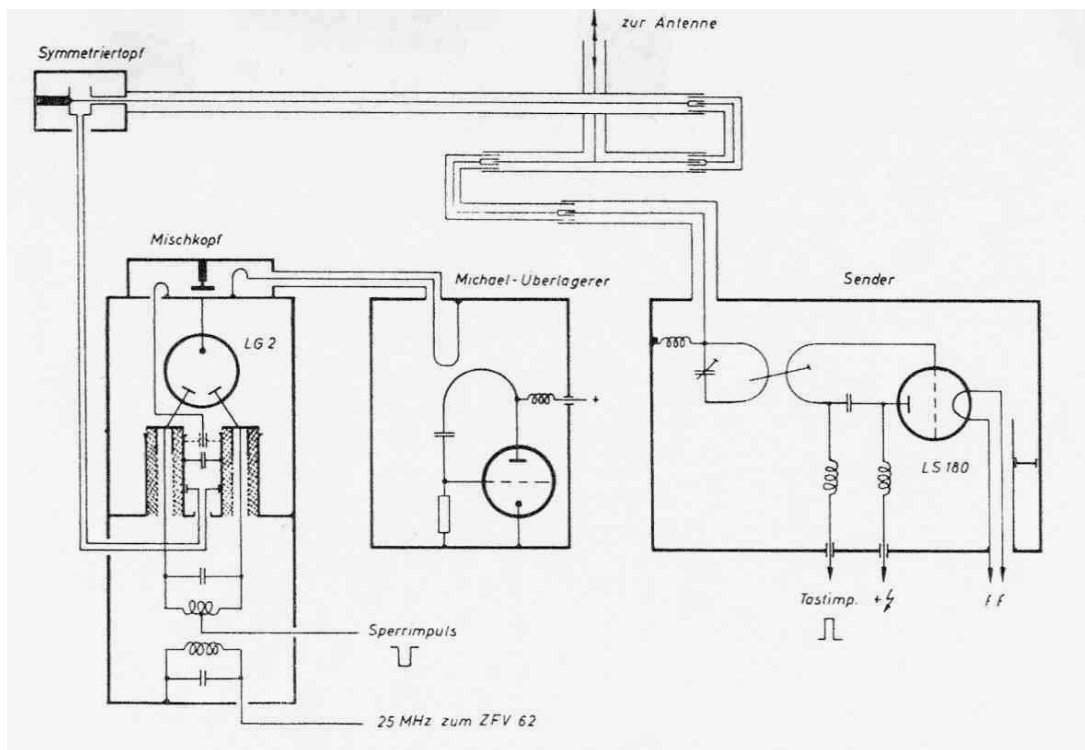


Die Entfernungsanzeigeröhre LB 13/40 in der Mitte, die einen Durchmesser von 13 cm aufwies, war auf dem Bildschirm mit einer in 100 m unterteilten Entfernungsskala von 0 – 40 km versehen. Für die rechts davon angeordnete Seiten - Peilanzeigeröhre LB 8, musste mit einem handbedienten Phasenschieber der Dunkelpunkt auf der Entfernungsanzeige auf das zu vermessende Zielecho gebracht werden. Die Höhen - Peilanzeigeröhre befand sich in einem separaten Gehäuse beim Höhen - Richtantrieb.

Würzburg Anzeigegerät ANG 62



Der Sender S62 war zusammen mit dem Empfängereingangs- und Mischerteil sowie dem Empfangsüberlagerer in einem Baustein untergebracht.

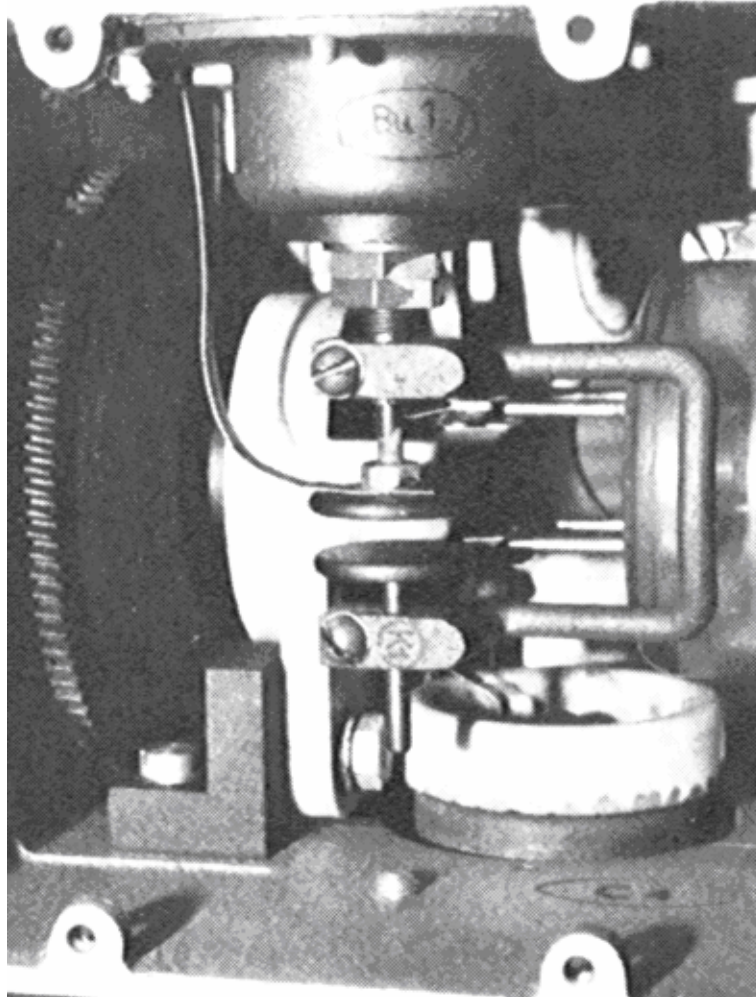


Die UHF-Impulsleistung gelangte über die Anpassleitung des Simultanteiles und über eine konzentrische 70 Ohm Leitung zu dem im Brennpunkt des Antennenspiegels angeordneten, rotierenden $\lambda/2$ Dipol. Die Ankopplung des Empfangsteiles erfolgte über dessen Anpassungsleitung und einen $\lambda/4$ Transformator auf den Mischkopf. Der als Empfängereingang arbeitende Mischer war mit der spannungsfesten LG 2 Spezialdiode ausgerüstet und erzeugte in additiver Mischung der Trägerfrequenz mit dem Empfangsüberlagerer die Zwischenfrequenz von 25 MHz.

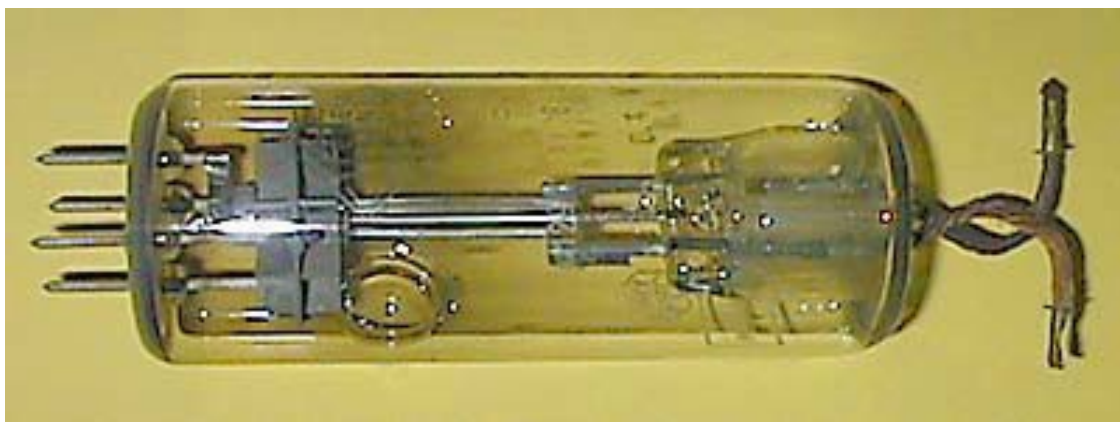


Das nebenstehende Foto zeigt die LG 2 eine spannungsfeste Dezimeterwellen-Diode für Empfänger - Mischstufen in Funkmessgeräten wo während den Sendepulsen infolge der nicht vollständigen Trennung des Sendepfad/Empfangspfad hohe Gleichspannungsimpulse auftreten. Im rechten Anbau der Röhre ist die Abschirmung für die Heiz- und Kathoden-zuleitung ersichtlich welche verhindern soll, dass Transienten sich über diese Stromkreise in weitere Geräteteile ausbreiten. Auf der linken Seite sieht man auf eine der beiden Anoden, die über ein Kupferblech an zwei Sockelstifte angeschweisst ist. Die zweite Anode befindet sich symmetrisch auf der anderen Seite.

In nachstehender Figur ist der geöffnete Sender des Würzburg - Gerätes ersichtlich. Die Senderöhre LS180 wurde mit einer Anodenspannung von 8 kV betrieben und gab bei der Tastung am Gitter, eine HF-Leistung von 8 - 10 kW ab. Die Impulsdauer betrug ca. 2 μ s bei einer Wiederholerfrequenz von 3750 Hz. Die Sendefrequenz von 560 MHz entsprechend einer Wellenlänge von 53.6 cm wurde durch die im Bild sichtbare Induktivität (Bügel) und den einstellbaren Plattenkondensator bestimmt, dieser konnte mittels eines mechanischen Abstimmtriebendes betätigt werden, so dass die Sendefrequenz um ca. \pm 6 MHz variiert werden konnte.



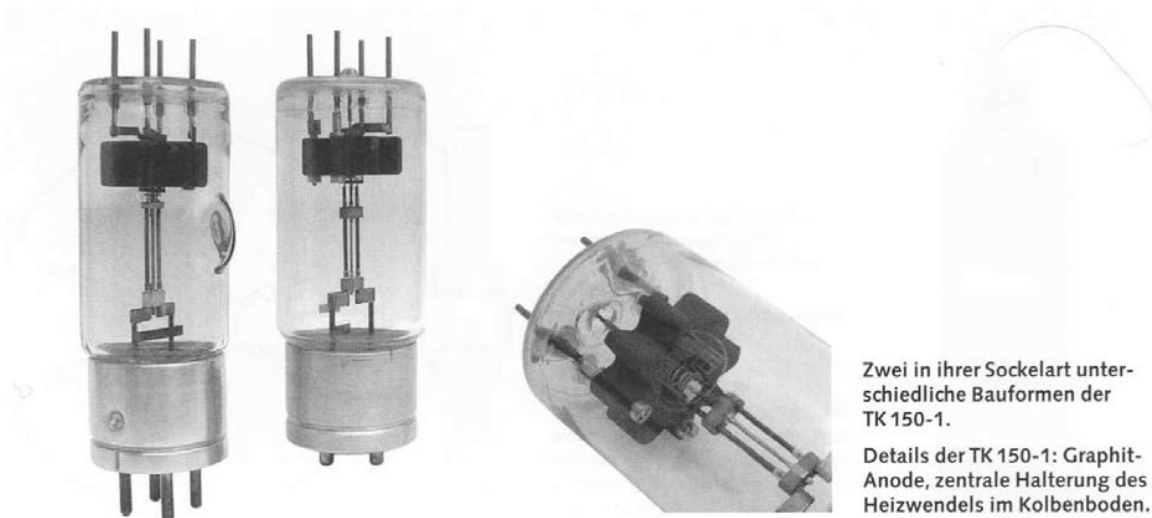
Das Foto zeigt die Telefunken LS 180 Impulssendetriode, die Heizungsanpannung beträgt ca. 6 Volt sie wurde für jede Röhre individuell bestimmt und in den Glaskörper der Röhre eingeätzt. Der Heizstrom der thorierten Wolframkathode war noch sehr hoch und lag bei ca. 15 Ampère. Im Würzburgergerät wurde die Röhre mit einer Anodenspannung von 8 kV betrieben. Die Sendertastung erfolgte am Gitter. Bei einer Anodenverlustleistung von max. 165 Watt lag die UHF Impulsleistung abhängig von der Frequenz bei 8 - 10 kW.



Bei der im Würzburg Gerät verwendeten LS 180 Impulssenderöhre handelte es sich um die erste von Telefunken entwickelte Hochtast - Triode. Die Röhre war mit einer direkt geheizten thorierten Wolfram - Kathode und einer gefächerten Blechanode ausgestattet. Als die LS180 entwickelt wurde, war der Pressteller noch neuartig, er war unbedingt notwendig, weil die Röhre ja bis 50 cm Wellenlänge arbeiten sollte und daher kurze Verbindungen zu Gitter und Anode benötigte. Andererseits war die Presstellertechnologie noch nicht so weit entwickelt, das die Durchführungen starke Ströme vertrugen. Daher der Quetschfuss auf der anderen Seite der Röhre mit den Heizerzuleitungen in Form von Kupferbändern.

Gegen Ende des Krieges wurde noch eine LS 180 mit Graphitanode entwickelt. Die Form der Anode war so kompliziert, dass es unwirtschaftlich wurde sie aus Blech herzustellen. Aus einem Graphitblock ließ sie sich relativ leicht ausschneiden. Ein weiterer Vorteil war die höhere Überlastbarkeit, was zu einer längeren Lebensdauer führte.

Da in der Schweiz gegen Ende des Krieges Probleme mit der Nachbeschaffung von Ersatzröhren aus Deutschland auftraten, erhielt Brown Boveri im Herbst 1944 vom Armeekommando den Auftrag in Dübendorf eine LS 180 Röhre aus einem Würzburg - Sender auszubauen und die Möglichkeit eines Nachbaues zu prüfen. Im Physiklabor von Brown Boveri wurde versucht die defekten LS 180 zu reparieren. Da die ursprüngliche Ausführung der Telefunken LS 180 Röhre noch über den veralteten Quetschfuss verfügte und die Montage des Systems komplizierte Hilfseinrichtungen benötigte, entschloss sich Brown Boveri für den Nachbau einer eigens durchkonstruierten Ausführung bei der anstelle des Quetschfusses ebenfalls ein Pressglasteller verwendet wurde. Es entstanden in der Folge verschiedene Musterröhren unter den Bezeichnungen TK 150-1, TK 150-2 und TK 150-3 die zum Teil für die sich abzeichnenden weiteren Einsatzmöglichkeiten mit einem Jumbo 4-pol Sockel ausgerüstet wurden.

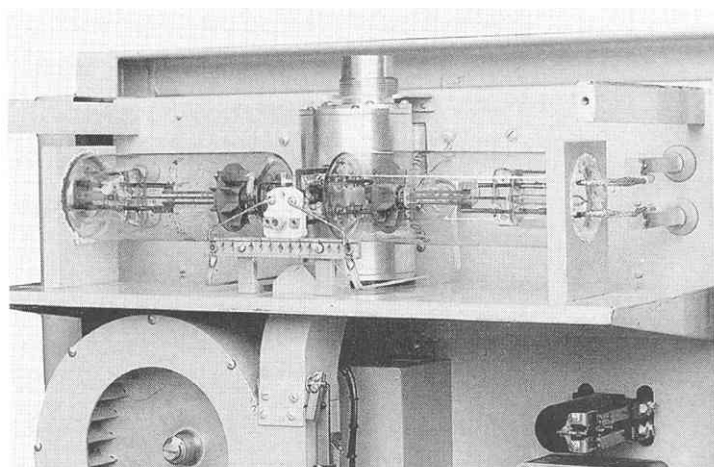


Zwei in ihrer Sockelart unterschiedliche Bauformen der TK 150-1.

Details der TK 150-1: Graphit-Anode, zentrale Halterung des Heizwendels im Kolbenboden.

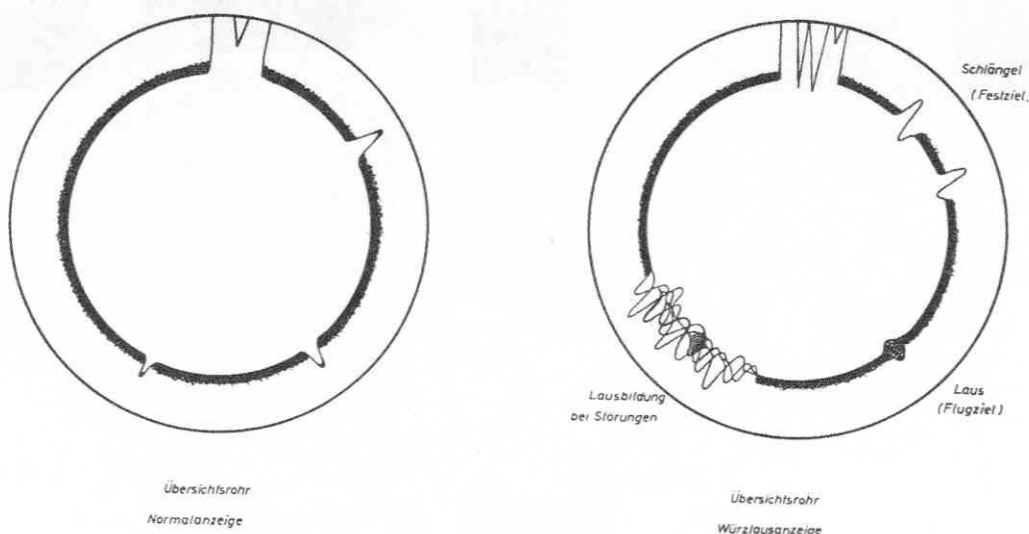
Brown Boveri hatte inzwischen von der Versuchssektion der PTT den Auftrag für die Entwicklung und den Bau eines 50 Watt Dezimeterwellensenders erhalten. In Zusammenarbeit mit der ETH - Zürich sollten mit diesem Sender, im Hinblick auf ein künftiges Richtstrahl- UKW- und Fernseh- Sendernetz, Ausbreitungsversuche durchgeführt werden.

Die nachstehende Figur zeigt den mit zwei LS 180 ausgerüsteten Sender



Als im März 1942 an der Atlantikküste bei Dieppe durch einen britischen Handstreich (Bruneval - Raid) die frequenzbestimmenden Teile (Dipol, Sender- Ueberlagerer, ZF-Teil) eines Würzburg Gerätes in englische Hand fielen, wurden in englischen und auch in amerikanischen Laboratorien mit Hochdruck aktive und passive elektronische Störverfahren entwickelt.

Im Sommer 1943 wurden von den Engländern bei einem Angriff auf Hamburg, erstmals in grossen Mengen Aluminiumstreifen sog. "Chaff" als passive Störmassnahme abgeworfen welche auf die Würzburg - Wellenlänge abgestimmt waren. Die nachstehende Figur zeigt links die ungestörte und rechts die mit „Chaff“ gestörte Darstellung der Entfernungsanzeigeröhre.

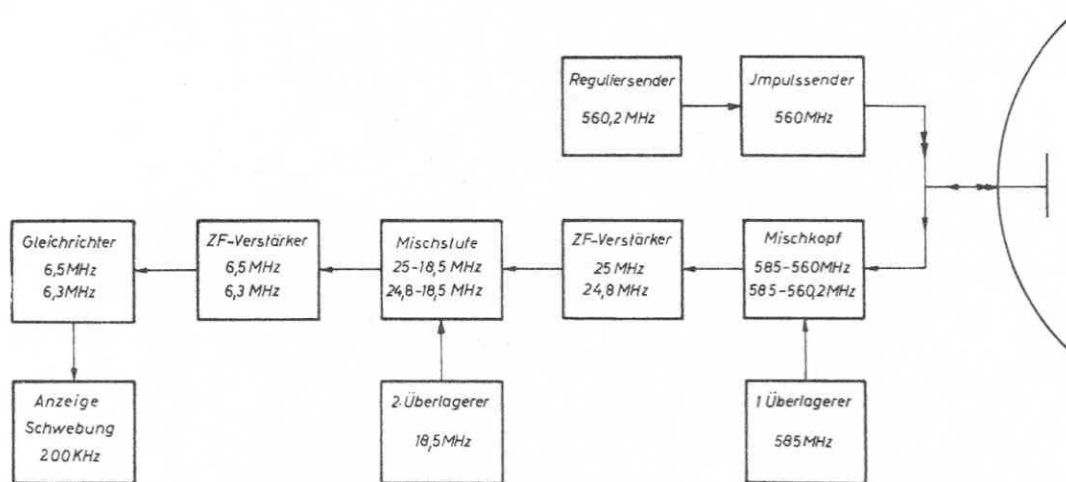


Infolge der relativ grossen Strahlbreite der Würzburggeräte verursachten diese künstlichen Reflektoren enorme passive Störung des Funkmessverfahrens was für die deutsche Flab und Luftwaffe einen nahezu unüberwindbaren Schlag bedeutete.

Die deutsche Führung sah sich gezwungen in Windeseile praktisch sämtliche verfügbare Forschungskapazität der Industrie und der Laboratorien der Universitäten für die Entwicklung geeigneter Gegenmassnahmen einzusetzen.⁽⁶⁾ Von der Luftwaffenführung wurden für geeignete Lösungen Belohnungen in der Höhe von bis zu 1 Million Reichsmark in Aussicht gestellt. Obwohl die Würzburggeräte in der Folge mit diversen technischen Zusätzen zur Minderung dieser Störungen nachgerüstet wurden, konnten die ursprünglichen Einsatzerfolge jedoch nie mehr erreicht werden.

Bei den zwei Würzburg - Ausrüstungen die von der Schweiz im Sommer 1944 aus Deutschland beschafft werden konnten, handelte es ebenfalls um technisch bereits mehrfach modifizierte Exemplare. Diese verfügten mit der sog. Phasenregulierung (siehe Figur mit dem Blockschema auf der nächsten Seite) über eine interessante Nachentwicklung, in Form einer kohärenten Doppler - Auswertung, welche bei passiven Störungen **eine Verbesserung der Zielanzeige um ca. 13 dB zu erbringen vermochte**. Das grundlegende Verfahren zur Sichtbarmachung des hochfrequenten Dopplereffektes war von Dr. H. Fack am physikalischen Institut der Universität Hamburg entwickelt worden.

Er besteht in seiner Grundanordnung darin, dass der Impulssender (IS) durch den im Dauerstrich schwingenden Reguliersender (RS), bei der Tastung zum Anschwingen in der vom RS bestimmten Phasenlage gezwungen wird.



Weicht die Frequenz des RS um einen gewissen Betrag von der des IS ab, so ergibt sich beim Empfang des reflektierten Signals eine Schwebung zwischen der Trägerfrequenz der RS – Frequenz. Da jede Tastung des Impulssenders vom RS phasenreguliert wird, bleibt die Schwebung beim Ausmessen eines entfernungs-mässig unbewegten Reflektors impulssynchron. Liegt die Schwebungsfrequenz innerhalb der Bandbreite des Empfängers, so zeigt sich eine sehr charakteristische Verformung des Echoimpulses zu einem „Schlängel“, der das stehende Bild der Schwebung wiedergibt. Wird jedoch ein entfernungs-mässig bewegtes Ziel an-gemessen, so ändert sich die Schwebungsfrequenz infolge des Dopplereffektes, und es tritt eine periodische Phasenänderung des Schwebungsbildes entsprechend der Radialgeschwindigkeit ein. Die Periodizität gleicher Phasenlagen zeigt eine Frequenz:

$$f_{ph} = \frac{2 v_e}{\lambda}$$

worin f_{ph} in Hz, v_e in m/s und λ in m einzusetzen sind. Für eine Radialge-schwindigkeit $v_e = 100$ m/s, wie sie beim Anmessen eines Flugzeuges auftreten kann, ergibt sich bei einer Wellenlänge von 50 cm die Frequenz von 400 Hz.

Das Auge des Beobachters vermag der Phasenänderung nur bis zu einer Frequenz von ca. 10 Hz zu folgen. Bei höheren Frequenzen wird das Schwebungsbild als „**Laus**“ wahrgenommen, die infolge ihrer eigenartigen Erscheinungsform ein ausserordentlich prägnantes Unterscheidungsmerkmal darstellt.

Dieses Verfahren ermöglichte in begrenztem Umfange, dass das Zielecho eines Flugzeuges von einer Chaff - Wolke unterschieden werden konnte !

Für die Jägerführung mit der hierfür erforderlichen grösseren Reichweite existierte eine von Telefunken weiterentwickelte Version das **Fu.M.G. 65 Würzburg – Riese**.

Das Foto zeigt eine Fu.M.G. 65 Würzburg - Riese Ausrüstung auf dem Gelände des Luftwaffenstützpunktes Gatow bei Berlin – Spandau, aufgenommen am 27.4.2007 vom Verfasser.



Die Fu.M.G. 65 Würzburg - Riese Ausrüstung stellte unter Verwendung des elektrischen Messteiles des Fu.M.G. 62 eine Sonderentwicklung dar, um für die Zwecke der Luftnachrichtentruppe und der Jägerführung ein weitreichendes Gerät mit hoher Peilgenauigkeit zu schaffen. Um die Forderung nach grosser Reichweite von ca. 50 – 70 km, hoher Peilgenauigkeit für Seiten- und Höhenwinkel ($< 14^\circ$) sowie dem Freikommen von Bodenechos bei kleinen Höhenwinkeln entsprechen zu können, war das Fu.M.G. 65 mit einem Parabolspiegel von 7.5 m Durchmesser ausgerüstet. Entsprechend der grösseren Reichweite musste die Träsfrequenz des elektrischen Fu.M.G. 62 Messteiles von 3.75 kHz auf 1.875 kHz halbiert werden. Für die Antenne wurde beim Fu.M.G. 65 der gleiche Dipol wie beim Fu.M.G. 62 verwendet, der mit seinem Abstand von 1.72 m vom Spiegelgrund und seiner Defokussierung von 75 mm die Verlagerung des Antennendiagrammes um $\pm 1.5^\circ$ für den Peilschnitt bei 80 % erzeugte.

Bei stehendem Dipol wies das Strahlungsdiagramm eine Halbwertsbreite von $\pm 3.5^\circ$ auf. Mit einer Senderleistung von 8 kW, Empfängerempfindlichkeit von 250 kT_0 und der Bandbreite von 300 kHz lag die Reichweite gegen kleinere Einzelflugzeuge durchschnittlich bei 70 km. Die Peilgenauigkeit ergab Durchschnittswerte von ca. $\pm 0.15^\circ$

Lieferung und Erprobung der beiden Würzburg - Funkmessgeräte

Nachdem nun in Anbetracht der ersten von der Schweiz gekauften Radarausrüstungen etwas ausführlicher auf deren Technik eingegangen wurde, nun zurück zum weiteren geschichtlichen Verlauf dieser Würzburg Geräte Beschaffung.

Zweifellos war der Kauf der beiden Würzburg Geräte, durch die den deutschen Nachrichtendiensten erlaubte Zerstörung eines am 28. April 1944 in Dübendorf notgelandeten Bf 110 G-4, C9 + EN Messerschmitt – Nachtjägers erleichtert und beschleunigt worden. Aber bereits seit dem Besuch der Schweizer Delegation im Reichsluftfahrtsministerium (RLM) Berlin im November 1943 als eine Orientierung über die deutschen Radargeräte erfolgte, hatte die KTA die Beschaffung von zwei Würzburg - Geräten aus Deutschland beschlossen und in die Wege geleitet.

Die Lieferung der beiden von der Firma Telefunken in Berlin – Zehlendorf, entwickelten und gebauten Funkmessgeräte Fu.M.G. 64D Geräte erfolgte im September 1944 über die Speditionsfirma Laible in Schaffhausen an die Ballonhalle des Eidg. Zeughauses Bern. Die Telefunken Zürich AG welche die Interessen der deutschen Telefunken in der Schweiz wahrnahm wurde nun auch in diese etwas aussergewöhnliche Beschaffung eingeschaltet.

Anmerkung zur Telefunken Zürich AG

Nach dem Ersten Weltkrieg gründete die deutsche Telefunken Gesellschaft im Jahre 1924, im Zuge der damals in der Weimarer Republik im Ausland betriebenen verdeckten Rüstung, das Technische Bureau Zürich. Die Absicht bestand Militärfunkgeräte künftig in der neutralen Schweiz zu entwickeln. Aus dem Technischen Bureau ging die Telefunken Zürich AG hervor, welche von Dr. A. Hänni geleitet wurde. Neben der Entwicklung von Militärfunkgeräten vertrat die Telefunken Zürich AG die Interessen der deutschen Telefunken Gesellschaft in der Schweiz, sie verfügte über einen Stab von Entwicklungs-Ingenieuren, besass jedoch keine eigene Fabrikationsabteilung. Die Seriefertigung der Geräte erfolgte beim Albiwerk in Zürich und der Autophon in Solothurn welche mit der Telefunken Zürich AG eng zusammenarbeiteten. Als in den 30er Jahren Importe vom Stammwerk in Deutschland aus politischen und später kriegsbedingten Gründen immer schwieriger wurden, wurde die Telefunken Zürich AG auch mit der Entwicklung von Funkgeräten für die Schweizer Armee und Flugwaffe beauftragt. Dr. A. Hänni galt als anerkannter Experte auf dem Funkgebiet und wurde verschiedentlich von der ETH Zürich als wissenschaftlicher Berater zugezogen, so u.a. auch von Professor C.F. Baeschlin für die Entwicklung von Verfahren für die Zeitsynchronisierung mit Funksignalen bei den geodätischen Vermessungen für die Schweizerische Landestopographie.

Nach dem Eintreffen der beiden Geräte in Bern erfolgte durch die KTA und Telefunken Zürich eine gemeinsame Materialkontrolle anschliessend wurden die Geräte vor der Ballonhalle aufgebaut und erstmals unter Strom gesetzt. Die Stromversorgung erfolgte dabei aus dem 220 Volt Ortsnetz bei einer Leistungsaufnahme von ca. 6 kVA. Da sich bei der provisorischen Inbetriebsetzung keine augenfälligen Probleme zeigten, veranlasste die Telefunken Zürich den Abruf der beiden Spezialisten von der Telefunken Berlin und dem militärischen Fachexperten vom deutschen Reichsluftfahrts Ministerium (RLM) welche mit der Durchführung eines technischen Instruktionkurses beauftragt waren. Am Instruktionkurs nahmen vier Mitarbeiter der KTA und vier Instruktoren der Flieger- u. Flab Truppen sowie vier Ingenieure der Telefunken Zürich teil. Die Ausbildung beinhaltete den Aufbau und die Bedienung der Geräte sowie die Erläuterung der Schaltungen und Funktionen. Im weiteren wurde der erforderliche Unterhalt und die periodischen Wartungsarbeiten sowie das Feststellen und Beheben von Defekten und die Nacheichung nach Reparaturen instruiert.

Im Rahmen des Einführungskurses trat gravierend in Erscheinung, dass die mitgelieferte Dokumentation und das Ersatzmaterial ungenügend war um einen autonomen Betrieb der Geräte in der Schweiz sicherzustellen.

Anschliessend erfolgte eine Abnahmekontrolle der Funkmessgeräte im Verbund mit dem Flab – Kommandogerät, den optischen Richtgeräten und dem Scheinwerfer. Die Stromversorgung erfolgte dabei aus dem Aggregat der Flab - Batterie. Die KTA (D.K.I) hatte hierzu in Koordination mit dem Kdo. der FF Trpn im Vorfeld die Vorbereitung dieser Geräte und die Bereitstellung der Bedienungsmannschaft bei der Ballonhalle Bern veranlasst. Die Abnahmekontrolle erfolgte durch die KTA und das Kdo. der FF Trpn. unter Mitwirkung der militärischen Experten des deutschen RLM und der Telefunken Zürich.

Bei der Abnahmekontrolle der Geräte wurden die Resultate der elektrischen Richtungs- und Entfernungsmessung beim Vermessen eines metallisierten Fesselballonzieles von ca. 5 m Durchmesser bestimmt das sich in bekannter Richtung und Entfernung befand und mit den Resultaten einer optischem Vermessung verglichen. Dabei wurde ein Augenmerk auf die Reproduzierbarkeit der Messungen und dem Einfluss der Bodenechos auf die Messresultate gelegt. Zusätzlich erfolgten Richtungs- und Entfernungsmessungen gegen Flugzeuge. Das Kdo. der FF Trpn. hatte hierzu das notwendige Messflugzeug mit Besatzung zur Verfügung zu stellen. Bei der Abnahme wurde u.a. auch der Zeitbedarf für die Vermessung sowie die Ablesegenauigkeit der Messwerte bei unterschiedlichen Entfernungen des Messflugzeuges bestimmt.

Die Resultate der technischen Abnahmekontrolle entsprachen im wesentlichen den Anforderungen welche die deutsche Luftwaffe für ihre Abnahmem bei Telefunken definiert hatte. Die KTA erklärte sich damit einverstanden die Geräte zu übernehmen sofern mit Telefunken eine Lösung bezüglich der beanstandeten Dokumentation und dem Ersatzmaterial gefunden werden konnte. Anlässlich einer Absprache zwischen der KTA, Telefunken Berlin und Telefunken Zürich konnte eine Lösung gefunden werden indem Telefunken Zürich die Verantwortung für alle aus dem Geschäft resultierenden Restanzen und Nachforderungen übernahm. **Die KTA hatte in der Folge für den Kauf der beiden Würzburg Funkmessgeräte an Telefunken Zürich den Betrag von CHF 424'000 zu bezahlen.** Ein ausführliches technisches Handbuch wurde im Frühling 1945 vom Telefunken Zürich nachgeliefert. Das fehlenden Ersatzmaterial musste infolge der zunehmend prekären Versorgungslage in Deutschland zum Teil von Firmen in der Schweiz nachgebaut und beschafft werden.

Der Erwerb der beiden Funkmessgeräte und die damit durchzuführenden Versuche sollte ja in erster Linie dazu dienen um festzustellen, ob sich dieser Gerätetyp für unsere Fliegerabwehr eignen würde.

Im Vordergrund stand dabei die Frage ob bei einem taktischen Einsatz der Geräte am Standort einer Flab – Batterie im Verbund mit dem Kommandogerät und den übrigen Richtgeräten die nachfolgende Bedingungen erfüllt werden konnten:

- **Sicherstellung einer Grobortung (Zielsuchen) bis zum 3 - 4 fachen der maximalen Geschützreichweite, um eine rechtzeitige Zielauswahl sicherstellen zukönnen.**
- **Sicherstellen der genauen Zielortung bis zur doppelten Geschützreichweite um das Kommandogerät so zeitgerecht einsteuern zu können, dass der Zielbeschuss mit dem Einflug in den Wirkungsbereich der Flabbatterie beginnen kann.**
- **Sicherstellen der Unabhängigkeit der Ortung von Wetter und Tageszeit.**

Für die Klärung dieser Fragen erfolgte im Anschluss an die Uebernahme eine Erprobung im Rahmen von Truppenversuchen. Die fahrbaren Geräte wurden zu diesem Zweck an Standorte von Flab – Batterien auf den Waffenplätzen Payerne und Dübendorf in Betrieb genommen. Das Kdo. der FF Trpn. stellte für die Versuche wiederum die erforderlichen Messflugzeuge zur Verfügung. Die Flugzeuge hatten für die Versuche in Entfernungen von max. 35 km auf verschiedenen vorbestimmten Messpisten und Flughöhen zu fliegen. Die bei sichtigem Wetter parallel zur Funkmessortung erfolgte optische Vermessung der Flugzeuge diente dabei als Vergleichsbasis für die Messgenauigkeit. Es wurde versucht mit den Funkmessgeräten Flugzeuge aufzufinden und anschliessend kontinuierlich zu verfolgen um in möglichst gleichmässigen Intervallen Messwerte an das Kommandogerät zu liefern. Es wurde auch versucht einzelne Flugzeuge aus einer Flugzeugstaffel zu vermessen. Vom Standort Payerne aus wurden Versuche unternommen Flugzeuge zu erfassen welche sich in geringem Abstand zu den Höhenzügen des Juras befanden. Im weiteren wurde auch der Einfluss einer Düppelwolke auf das Vermessen eines Flugzeuges beim Durchfliegen untersucht wobei die erforderlichen Düppel aus Funden in den notgelandeten alliierten Bombern stammten.

Die Resultate aus all den taktischen Versuchen und Abklärungen mit den beiden Würzburg Geräte verliefen gesamthaft nicht befriedigend!

Zum einen trat das Fehlen eines übergeordneten allwettertauglichen Führungssystems das für eine Zielzuweisung des Würzburg Funkmessgerätes unbedingt erforderlich war sehr klar in Erscheinung. Die Würzburggeräte eigneten sich auf Grund ihres beschränkten Suchsektors nicht für eine grossräumige Zielsuche. Zum anderen zeigte es sich, dass mit den im Dezimeterwellenbereich arbeitenden Geräten die Vermessungsgenauigkeit des optischen Verfahrens bei klarem Wetter nicht erreicht werden konnte. Zudem konnte eine Erfassung oder Vermessung des Flugzeuges mit dem Würzburggerät beim Durchfliegen einer Düppelwolke nicht nachgewiesen werden.

Die Würzburg Funkmessgeräte waren gegen Ende des Zweiten Weltkrieges im Vergleich zu dem inzwischen von den Alliierten eingesetzten SCR - 584 Radar das bereits im Mikrowellengebiet arbeitete hoffnungslos veraltet.

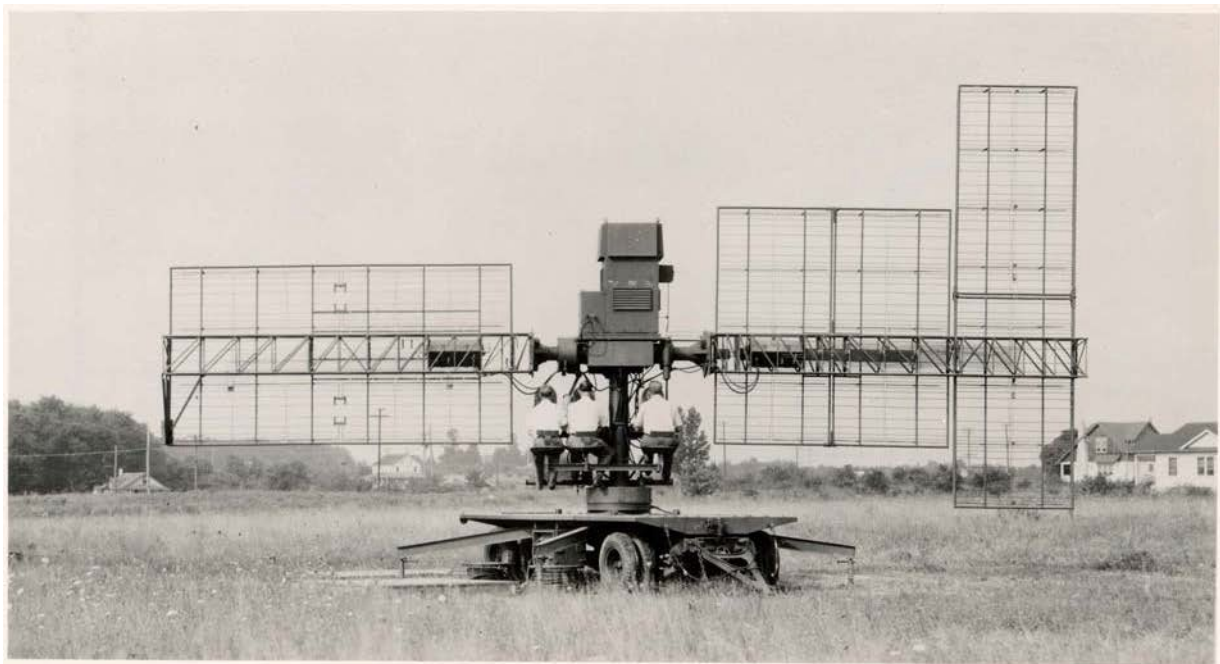
Die Schlussfolgerung aus all den Versuchen und Abklärungen mit den Würzburg Geräten lautete somit, dass diese weil inzwischen technisch überholt für einen militärischen Einsatz in der Nachkriegszeit nicht mehr in Frage kamen!

Erkenntnisse bezüglich der Luftkriegsführung im dem Zweiten Weltkrieg

Der Verlauf der Luftkriegsführung im Zweiten Weltkrieg mit den sich oft überstürzenden Ereignissen und den vielen Luftraumverletzungen hatte sowohl der militärischen Führung der Schweizer Armee wie auch dem Bundesrat aufgezeigt, dass eine Verteidigung des Luftraumes inskünftig nur noch mit Hilfe von modernen elektronischen Führungsmitteln für die Frühwarnung und die verschiedenen Waffensysteme möglich ist. Sowohl bei der Kriegstechnischen Abteilung wie auch beim Kommando der Flieger- und Flabtruppen hatte man auf Grund von Informationen die über den Nachrichtendienst eingegangen waren sowie mit eigenen Versuchen mit Ausrüstungen aus notgelandeten Flugzeugen und den aus Deutschland beschafften Würzburg - Geräten versucht die technische Entwicklung auf dem Radargebiet mitzuverfolgen. Gerne hätte man in der zweiten Hälfte des Krieges Radargeräte für die Unterstützung der Fliegerabwehr und den Aufbau einer witterungsunabhängigen Luftlage zur Verfügung gehabt.

Aber erst nach Ende des Krieges als sich die Geheimhaltungsschleier bei den Siegermächten etwas gelüftet hatten, gelang es der KTA und dem Kommando der Flieger- und Flabtruppen Radarausrüstungen im Ausland zu besichtigen und teilweise sogar leihweise für Versuche in der Schweiz zu erhalten. Am 23.5.1945 also unmittelbar nach Kriegsende hatte der für Radarfragen zuständige Sachbearbeiter der KTA Hans Hess eine Besprechung mit einem US Offizier über amerikanische Radargeräte für Flabanwendungen. Auf Grund dieser Kontaktnahme konnte eine Schweizer Delegation im Oktober 1945 ein SCR-584 Radar bei den amerikanischen Streitkräften in Frankreich besichtigen. Dank der hohen Präzision des für Flabzwecke, in der zweiten Hälfte des Krieges vom Radiation Laboratory des MIT entwickelten SCR-584 Mikrowellen Radars konnten diese zusammen mit einem Vorhalterechner direkt zur Steuerung der Flabgeschütze verwendet werden. Mit der SCR-584 Ausrüstung gelang es den Engländern sogar deutsche V1 Flugkörper mit der Flab abzuschossen. Die Bemühungen der KTA wenigstens einzelne SCR-584 Radarausrüstungen für Versuche zu beschaffen, scheiterten allerdings an der strikten Exportsperrung der amerikanischen Regierung für moderne Radarausrüstungen. Hingegen konnten im Oktober 1945 auf dem Militärflugplatz Payerne Versuche mit einer älteren amerikanischen SCR-268 Radarausrüstung (siehe nachfolgende Foto) durchgeführt werden.

Das SCR-268 wurde in den späten 30er Jahren vom Ft. Monmouth Laboratory N.J. des amerikanischen Signal Corps für das Entdecken und Verfolgen von einzelnen Flugzielen entwickelt.



FIRST AIRCRAFT DETECTION RADAR - The first aircraft detection radar in the United States was this SCR-268, developed and built at Fort Monmouth in 1938. Aircraft detection radars were vital to Allied victory in World War II in both the Pacific and European theaters.

Das Radar arbeitete im VHF Gebiet auf einer Frequenz von ca. 205 MHz. Mit einer Senderleistung von 50 kW und einer von 7 - 15 μ s einstellbaren Impulslänge konnten mühelos Ziele bis zur instrumentierten Messentfernung von ca. 40 km entdeckt und verfolgt werden.

Die Empfangsantennen arbeiteten sowohl im Azimut- und im Elevationsbereich mit „lobe switching“ und ermöglichten eine Richtungsbestimmung mit einer Genauigkeit von $\pm 1^\circ$. Die Abbildungen lässt jedoch deutlich erkennen, dass es sich beim SCR-268 Radar am Ende des Zweiten Weltkrieges um eine veraltete Ausrüstung handelte. Obwohl die Geräte aus amerikanischen Liquidationsbeständen für den Verkauf freigegeben waren, hätte eine Beschaffung für weitere Versuche in der Schweiz keinen Sinn gemacht.

Während sich die KTA nach Kriegsende vorwiegend mit Fragen der Radaranwendungen für Flabzwecke befasste, begann das Kommando der Flieger- und Flabtruppen mit Vorabklärungen für den Aufbau einer Frühwarn – Radarorganisation. Durch die Aufstockung der Flugwaffe mit dem amerikanischen Jagdflugzeug Mustang P51 aus Surplus-Beständen und der geplanten Beschaffung einer grösseren Anzahl von Düsenflugzeugen DH100 Vampire, drängte sich auch die Beschaffung von Radars für die Schlechtwetter Landung sog. GCA Anlagen auf.

In einem Memorandum vom 15. August 1947 nahm der Chef der Kriegstechnischen Abteilung Brigadier René von Wattenwyl zur damaligen Situation wie folgt Stellung:

Wir halten den Augenblick für gekommen, eine Organisation für die permanente Ueberwachung des schweizerischen Luftraumes mittels Radargeräten zu schaffen. Eine grosse Luftstrasse führt von Nordwesten nach Südosten quer über unser Territorium. Zahlreiche Flugzeuge verkehren in diesem Raum und in vielen andern Richtungen und Höhenlagen, bei Tag und Nacht, bei gutem und schlechtem Wetter. Es ist ein unerwünschter, ja unwürdiger Zustand, dass unsere Behörden bis heute nicht in der Lage sind, den im schweizerischen Raum stattfindenden Luftverkehr kontrollieren und registrieren zu können. Luftamt, Zollverwaltung, Militärverwaltung und andere Behörden sollten über den Luftverkehr, seine Intensität und alle auffallenden Erscheinungen, die sich im Luftraum abspielen, orientiert sein. Bisher war es technisch nicht möglich, eine wirksame Luftraumüberwachung durchzuführen. Heute dürfte es möglich sein, Radargeräte zu beschaffen, welche ohne vollkommen zu sein doch erlauben werden, die wichtigsten Anforderungen zu erfüllen.

Aus den Vorabklärungen resultierte ein erster Entwurf vom 27.10.1947 für eine Frühwarn Radar Organisation Schweiz. Die Studie welche von Hpm. Armin Ettinger ausgearbeitet wurde, sah für eine Radarüberdeckung Schweiz ein Netz von 8 Radarstationen vor. Auf Grund von Rekognoszierungen aus der Luft wurden nachfolgende Radarstandorte vorgeschlagen:

Mt. Tendre, Creux du Van, Gäbris – St. Anton, Weissfluh, Mt. Raimeux, Lägern, Scopi, und Weisshorn.

Die Studie beinhaltete auch schon Vorschläge über allfällig für eine Beschaffung in Frage kommende Radargeräte:

- o AMES-21 Wellenlänge 10 cm, Reichweite 150 km
- o AN/TPS-1A Wellenlänge 24 cm, Reichweite 150 km
- o MZPJ Wellenlänge 10 cm, Reichweite 80 km
- o AN/CPS-1 Wellenlänge 10 cm, Reichweite 250 km

Das AN/CPS-1 Gerät war gegen Ende des Zweiten Weltkrieges vom Radiation Laboratory des MIT als „Early Warning Radar“ entwickelt worden und entsprach in den ersten Nachkriegsjahren zweifellos dem „state of the art“ für Frühwarn – Radarsystemen.

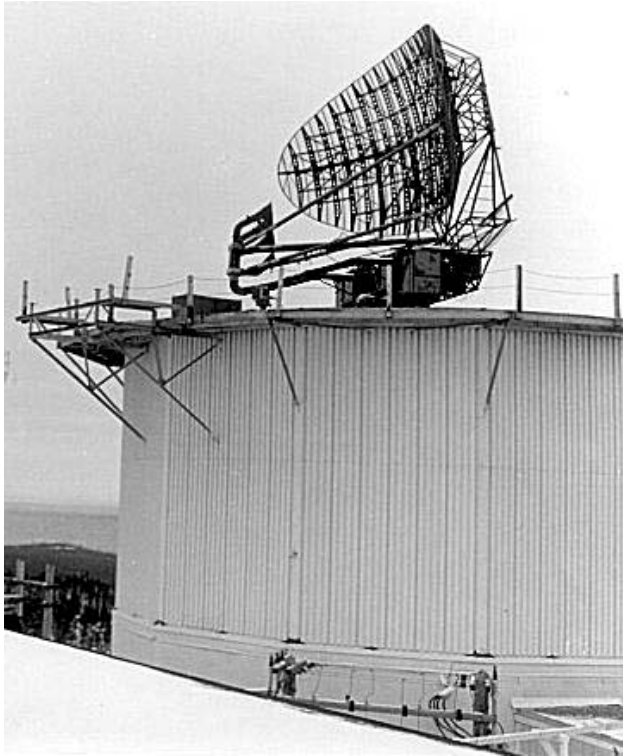
Das Antennensystem verfügte mit der „back to back“ Anordnung über eine „Tiefe“ und eine „Hohe“ Radarüberdeckung und ermöglichte mit dem schmalen Strahlungsfächer von $0,8^\circ$ eine sehr genaue Azimutvermessung der Ziele.

Die Strahlungsdiagramme der beiden Antennen wurden durch lineare aus 108 Elementen bestehende Dipolanordnungen erzeugt. Für die Darstellung der Radarinformation waren fünf 30 cm PPI Anzeigekonsolen vorgesehen.



Das AN/CPS-1 Radargerät wurde vom Kommando der Flieger- und Flabtruppen als Favorit für die Ausrüstung der geplanten Frühwarnstationen ins Auge gefasst, war aber leider nicht lieferbar. Mit Brief vom 6.9.1948 teilte die KTA dem Waffenchef der FF Truppen mit, dass das von der Generalstabsabteilung für die Beschaffung vorgeschlagene AN/CPS-1 Gerät von der amerikanischen Regierung für den Export nicht freigegeben werde.

Anlässlich einer Besprechung vom 12.10.1948 beantragte Oberst Carl Wuhrmann vom Kdo der FF Truppen, die Entsendung einer KTA Mission nach USA zwecks Besichtigung von den neuen in Entwicklung befindlichen Frühwarnradargeräten. Wuhrmann war offenbar von einem ehemaligen Studienkollegen welcher in den USA lebte darüber orientiert worden, dass sich neue technisch weit fortgeschrittenere Frühwarngeräte in Entwicklung befinden. Der etwas später erfolgte USA Besuch ergab, dass es sich dabei um das bei Bendix gebaute Frühwarnradargerät AN/FPS-3 und den bei der General Electric in Entwicklung befindlichen Höhenfinder AN/FPS-6, handelte. Diese Radargeräte sollten in der von den US Streitkräften, für die frühen fünfziger Jahre geplanten „Pinetree Line“ Frühwarnkette, eingesetzt werden. Die anschliessend durchgeführte Vorabklärung der KTA, betreffend einer Beschaffung dieser tatsächlich technisch weit fortgeschrittenen Geräte für die Schweiz, ergab wiederum, dass die amerikanische Regierung nicht gewillt war dafür eine Exportbewilligung zu erteilen.



Das von der Bendix gebaute im Frequenzgebiet von 1250 – 1350 MHz arbeitende AN/FPS-3 Radar hatte eine Reichweite von 200 Nautical Miles (370 km). Mit zwei Magnetron 5J26 erzeugte der Sender eine Impulsleistung von 750 kW. Diese Leistung wurde über eine mit 3.3, 5 oder 10 U/min rotierende Antenne abgestrahlt. Die Antenne erzeugte zwei in der Elevation gestaffelte Strahlungsfächer von 1.3° Oeffnungswinkel. Damit konnte eine Azimutauflösung von ca. $\pm 1^\circ$ erreicht werden. Das AN/FPS-3 System war bereits mit einem über eine Video Map gesteuerten MTI Zusatz für die Standzeichenlöschung ausgerüstet. Die Seriefabrikation für das **Pinetree Line Network** der USA begann im Jahre 1951.



Der von General Electric gebaute im Frequenzgebiet von 2700 - 2900 MHz arbeitende AN/FPS-6 Höhenfinder hatte eine Reichweite von 300 Nautical Miles (550 km). Mit dem stärksten von Raytheon je gebauten Magnetron, dem OK338A, erzeugte der Sender $2\mu\text{s}$ Impulse von 5 Megawatt Leistung, mit einer PRF von 400 Hz. Die Leistung wurde über das Strahlungsdiagramm der Antenne (siehe Abbildung) welche einen horizontalen Oeffnungswinkel von 3.2° aufwies in den Raum abgestrahlt. Die Antenne die im Azimut über 360° auf ein Ziel eingewiesen werden konnte, tastete mit wahlweise 20 oder 30 Nickbewegungen pro Minute die Elevation im Bereich von -2° bis $+36^\circ$ ab.

Die azimutale Einweisung des Höhenfinders AN/FPS-6 auf das zu vermessende Flugziel erfolgte ab den PPI Anzeigekonsolen des Frühwarnradars AN/FPS-3. Mit dem Höhenfinder AN/FPS-6 konnte die Flughöhe von Zielen innerhalb einer Entfernung von 370 km mit einer Genauigkeit von 500 feet (300 Meter) vermessen werden. Die Höhenanzeige erfolgte auf der 30cm Bildröhre einer separaten Anzeigekonsole.

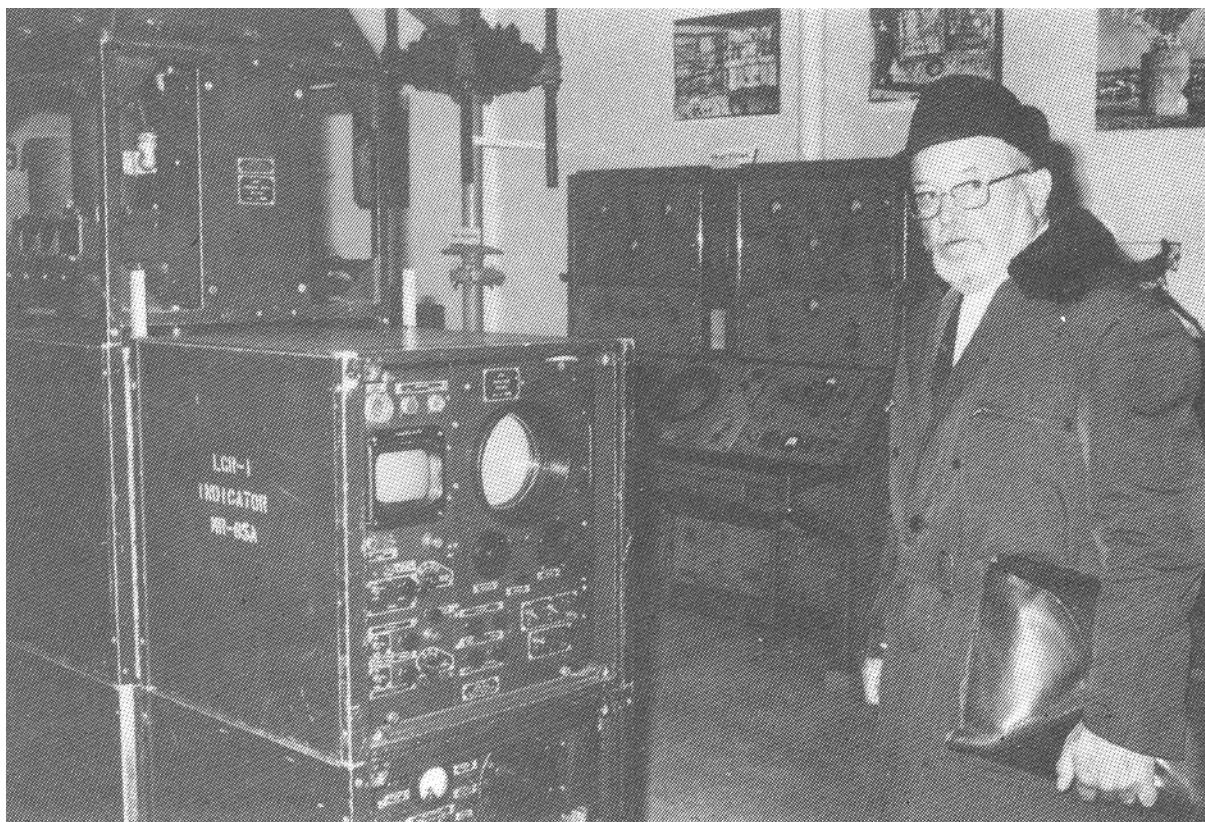
Zu Beginn des Jahres 1949 erteilte der damalige Kommandant und Waffenchef der Flieger und Flab Truppen, Oberstdivisionär Rihner seinem Stab den Auftrag einen definitiven Plan für die Errichtung eines Frühwarnradar- Netzes zu entwerfen.

Dieses Radarnetz sollte ermöglichen, den Luftraum über unserem Lande und ca. 100 - 200 km ausserhalb der Landesgrenzen möglichst lückenlos zu überwachen, um in einem späteren Zeitpunkt für die Jägerführung ausgebaut werden zu können. Dieser Auftrag bedingte das Beschreiten neuer Wege auch im Vergleich zum Ausland.

Die topographischen Verhältnisse in der Schweiz verlangten, dass die Radarstandorte auf hohen Bergen (bis ca. 3000 m ü. M.) errichtet wurden, um eine radartechnisch ausreichende geographische Ueberdeckung zu erzielen. Es wurden hierzu eingehenden Abklärungen, verbunden mit Rekognoszierungen aus der Luft und Versuchen vor Ort durchgeführt. Mit einem aus amerikanischen Ueberschussbeständen beschafften transportablen Radargerät vom Typ LGR-1 wurden im Jahre 1951 durch das Kdo. der FF Truppen auf der Creux du Van und der Weissfluh ob Davos Feldversuche zur Abklärung der Eignung dieser Standorte für Radarstationen durchgeführt.

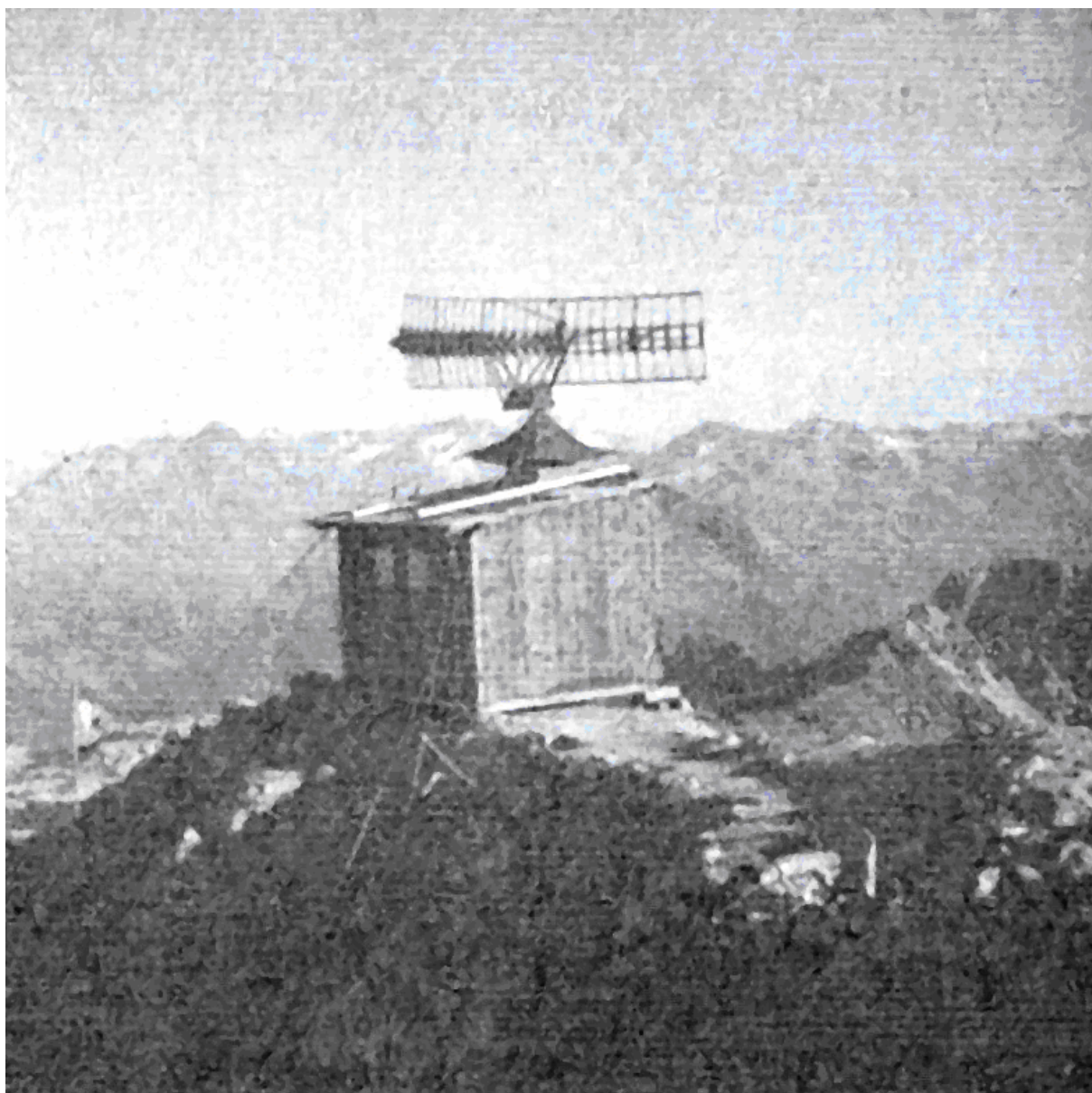
Massgeblich betraut mit diesen Planungsaufgaben und Abklärungen war der damalige Sachbearbeiter im Stab der FF Truppen Major Armin Ettinger. Als erfahrener Militärpilot und begeisterter Alpinist und Skifahrer führte er auch eigenhändig Rekognoszierungen aus der Luft und vor Ort auf den geplanten Radarstandorten im Hochgebirge durch.

Das nachstehende Foto zeigt Oberst Armin Ettinger in späteren Jahren vor den Einheiten des transportablen LGR-1 Radargerätes im Luftwaffenmuseum Dübendorf.



Im Jahre 1951 erfolgte unter der Leitung von Major Ettinger eine Standortabklärung mit dem LGR-1 Radargerät auf dem Weissfluhgipfel oberhalb Davos. Da damals weder die später erbaute Luftseilbahn noch Helikopter für den Materialtransport zur Verfügung standen, mussten das Radargerät samt dem Material für die Wetterschutz - Baracke mühsam mit Saumtieren vom Weissfluhjoch Davos auf den Weissfluh - Gipfel transportiert werden.

Die nachfolgende Aufnahme zeigt das temporär auf dem Weissfluhgipfel installierte LGR-1 Radargerät anlässlich der Standortabklärung für die spätere Frühwarnradarstation.

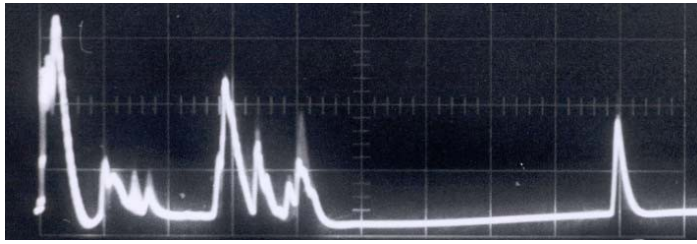


Das Lightweight Ground Radargerät (LGR-1) arbeitete im L-Band im Frequenzbereich von 1220 – 1350 MHz und tastete im Gegensatz zum vorher erwähnten Würzburggerät den Luftraum mit einer rotierenden Antenne unter Ausnützung der Bodenreflexion über 360°, ab. Das Gerät wies schon viele Merkmale der späteren Mikrowellen-Rundsuchradars auf, verfügte jedoch noch über keine „Moving Target Indicator“ (MTI) Ausrüstung für das Ausfiltern der Standzeichen.

Das in 10 Lasten transportierbare Leichtgewichts-Radar LGR-1 wurde während des zweiten Weltkrieges von den Bell Telephone Laboratories entwickelt und von Western Electric und Bendix in grosser Anzahl gebaut. Diese Systeme kamen u.a. bei der Invasion der Alliierten in der Normandie sowie auf den fernöstlichen Kriegsschauplätzen für die Warnung vor feindlichen Bomber-Angriffen zum Einsatz. Bei einer Sendeleistung von ca. 400 kW und einer PRF von 360 – 400 Hz betrug die max. instrumentierte Reichweite ca. 160 Nautical Miles. Die Impulsbreite des Sendepulses betrug 2µs. Der Sender war mit einem im Frequenzbereich von 1220 – 1350 MHz durchstimmbaren 5J26 Magnetron ausgerüstet. Der Laufzeitketten - Modulator arbeitete noch als „Hard Tube Pulser“ mit Hochvakuumröhren als Schalter, da die ersten Wasserstoff – Thyratrons erst nach dem Zweiten Weltkrieg zur Verfügung standen. Die Stromversorgung mit 120 Volt 400 Hz erfolgte aus einem Benzin-Aggregat. Die Anzeige erfolgte auf einem PPI - Bildschirm von ca. 25 cm Durchmesser in den Entfernungsbereichen 20/40/80 oder 160 Nautical Miles. Mit einem zusätzlichen A - Scope konnten bei stillstehender Antenne einzelne Festziele eingepeilt und vermessen werden.

Das nachstehende Foto zeigt die LGR-1 Radaranlage aufgebaut neben der ehemaligen Kurzwellensendestation des Militärflugplatzes Dübendorf anlässlich von Versuchen.





Radarecho vom Antennenturm auf dem Uetliberg bei einer Vermessung mit dem LGR-1 Radar. Das Echo erscheint beim 9. Teilstrich der A - Scope Anzeige.

Der Schwachpunkt des LGR-1 Radars lag in der Antenne. Bedingt durch die relativ grosse Wellenlänge von ca. 20 cm des L – Band Radars und die durch den mobilen Einsatz des Gerätes bedingte geringe Antennenabmessung, betrug die Strahlbündelung im Azimut ca. 4° und in der Elevation ca. 12°. Dadurch erfolgte eine starke Dispersion des Strahlungsfächers.

Ein in der Elevation einigermaßen homogenes Antennendiagramm konnte nur unter Ausnützung der Bodenreflexionen dh bei einer Aufstellung des Radars in einer Bodensenke erreicht werden. Konnte diese Bedingung nicht erfüllt werden, bildeten sich Auszipfelungen im Antennendiagramm, so dass die vertikale Radarüberdeckung aus einer Vielzahl einzelner Strahlungsfinger, mit grösseren Lücken dazwischen, bestand. Eine zuverlässige Radarerfassung von Flugzeugen konnte damit natürlich nicht gewährleistet werden.

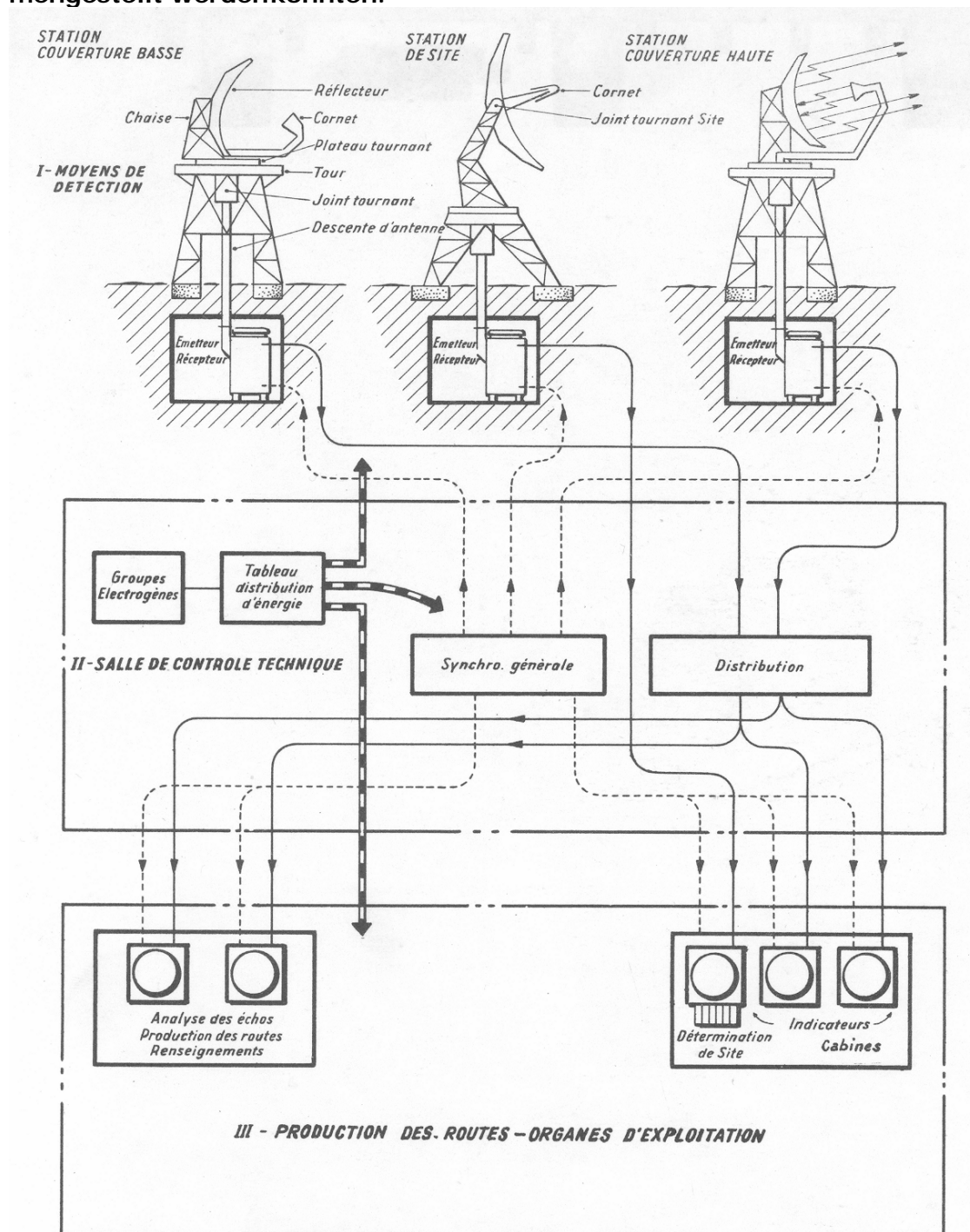
Beim Betrieb des LGR-1 Radars in unseren topographischen Verhältnissen wurde der Bildschirm zum grössten Teil mit Standzeichen überdeckt, die Ausrüstung eignete sich gut, für das Betrachten der umliegenden Geographie, das Auffinden von Flugzeugen war hingegen eher eine Glückssache. Aus diesen Versuchen konnte vor allem die Erkenntnis gewonnen werden, dass für den Einsatz auf den vorgesehenen Radarstandorten, Geräte ohne Standzeichenlöschung nicht in Frage kamen.

Nachdem das vom Kommandant und Waffenchef der Flieger und Flab Truppen und vom Generalstabschef, der Landesverteidigungs-Kommission sowie den parlamentarischen Räten vorgelegte Konzept einer Frühwarnradarorganisation die grundsätzliche Zustimmung erhalten hatte, musste das für die vorgeschlagene Lösung geeignete Ausrüstungen gefunden und beschafft werden. ⁽⁷⁾

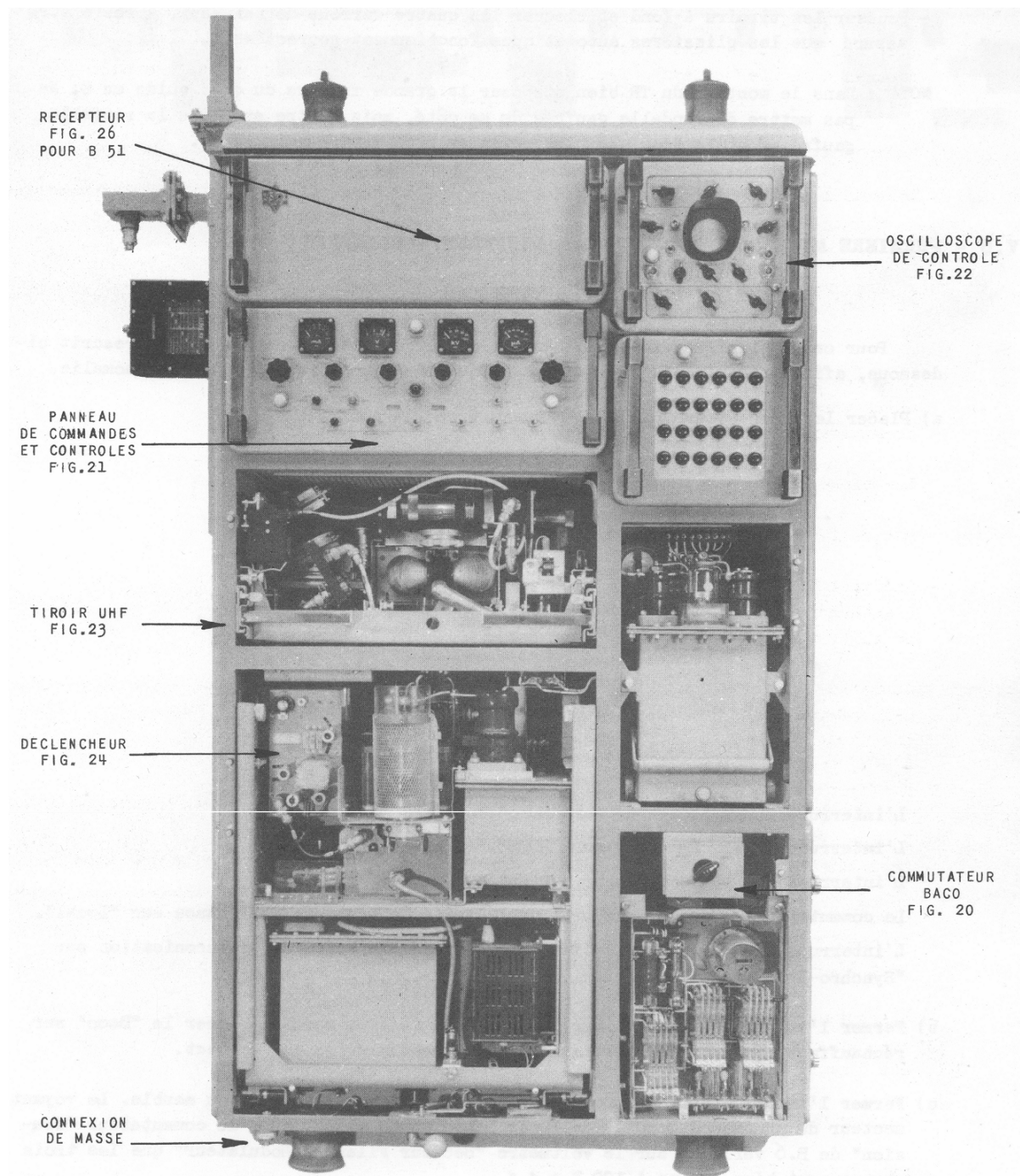
Wegen der sehr restriktiven Haltung der amerikanischen Regierung bezüglich dem Export von Radargeräten ins Ausland kam zum grossen Bedauern des Kdos. der FF Truppen die Beschaffung der Radarausrüstungen AN/FPS-3 und AN/FPS-6 welche zu Beginn der 50er Jahre zweifellos den fortschrittlichsten Entwicklungsstand aufwiesen, leider nicht zustande.

So musste sich die KTA bei der Beschaffung einer französischen Neuentwicklung zuwenden, welche die gestellten Anforderungen einigermaßen zu erfüllen versprach. Es wurden hierzu Kontakte mit der Firma Societe Francaise Radioelectrique (SFR) der Vorgängerin der Thomson - CSF Company aufgenommen. SFR hatte in den frühen 50er Jahren ein 10 cm Radar für die französische Marine entwickelt aus dessen Geräteeinheiten auch ein System zusammengestellt werden konnte, welche für die Installation an Land geeignet war. Es handelte sich hierbei um das Radar ER-220 "Goeland" (zu Deutsch Silbermöve) der Firma Societe Francaise Radioelectrique (SFR).

SFR hatte mit dem ER-220 Projektvorschlag (siehe nachstehende Figur), der KTA einen groben Entwurf eines Systems unterbreitet welcher sich aus bereits bei SFR vorhandenen Baugruppen zusammensetzen liess. Das vorgeschlagene Radarsystem arbeitete im S-Band auf diskreten Frequenzinseln im Bereich von 2910 – 3350 MHz und tastete mit zwei rotierenden Antennen die Höhenschichten des Luftraumes zweidimensional (nach Seite und Entfernung) ab. Ein separater Höhenfinder - Radar diente zum Vermessen der Flughöhe von einzeln ausgewählten Zielen. Nach weiteren Berechnungen zeigte es sich allerdings, dass für die von der KTA gewünschte vertikale Radarüberdeckung eine dritte Radarantenne erforderlich war. SFR schlug als Lösung die Verwendung einer Doppelantenne (Back to Back) für die Höhenüberdeckung „Tief – Mittel“ an Stelle der ursprünglich vorgesehenen „Station Couverture Basse“ vor. Die KTA akzeptierte diesen Vorschlag und bestellte am 31. Januar 1952 eine grössere Anzahl von Radarbaugruppen aus denen Radarsysteme nach eigener Architektur zusammengestellt werden konnten.

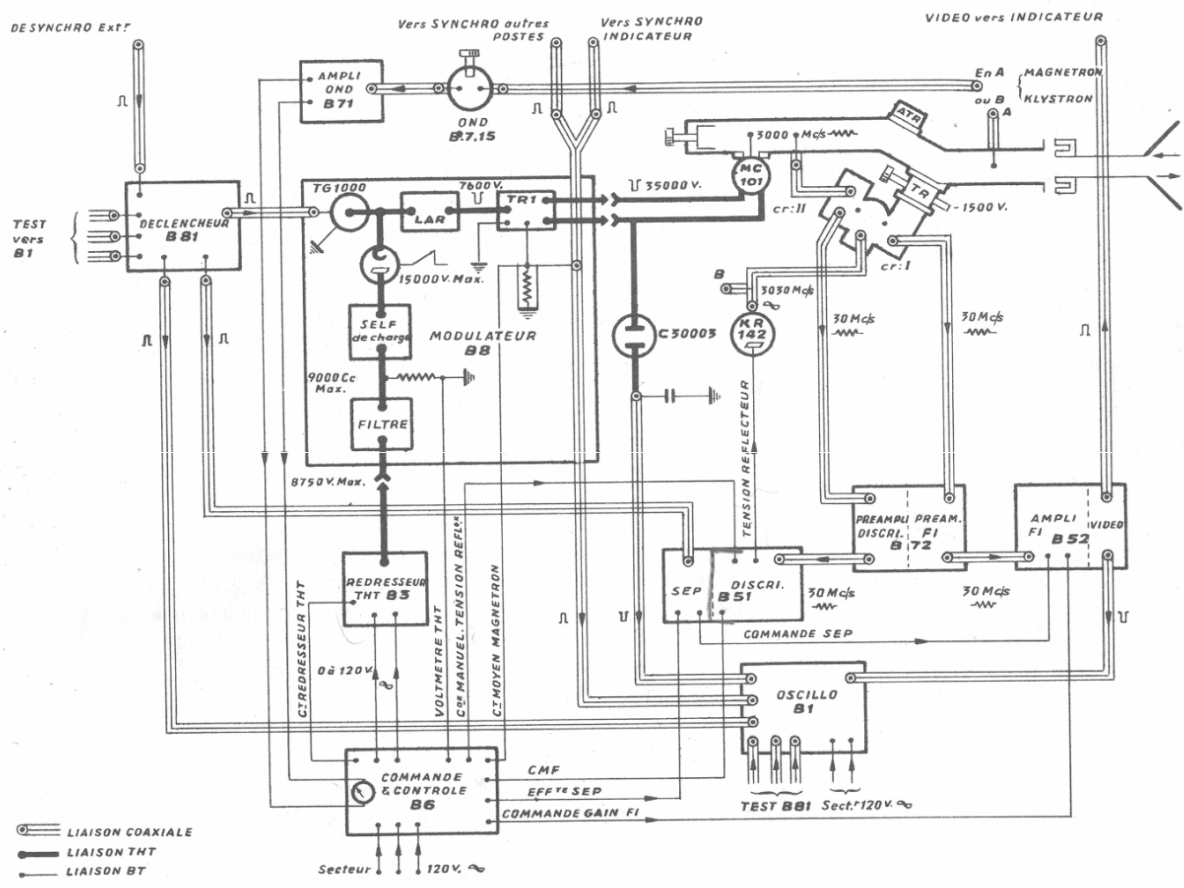


Die nachstehende Figur zeigt das ursprünglich für den Einsatz auf Kriegsschiffen die französische Marine entwickelte SFR Radarsendeempfangsgerät ESV2. Analog zum Radarsendeempfangsgerät waren auch die übrigen von SFR gelieferten Baugruppen, wie Radarantennen, Videoverteilergeräte und Anzeigekonsolen für den rauen Einsatz auf Schiffen sehr robust gebaut.

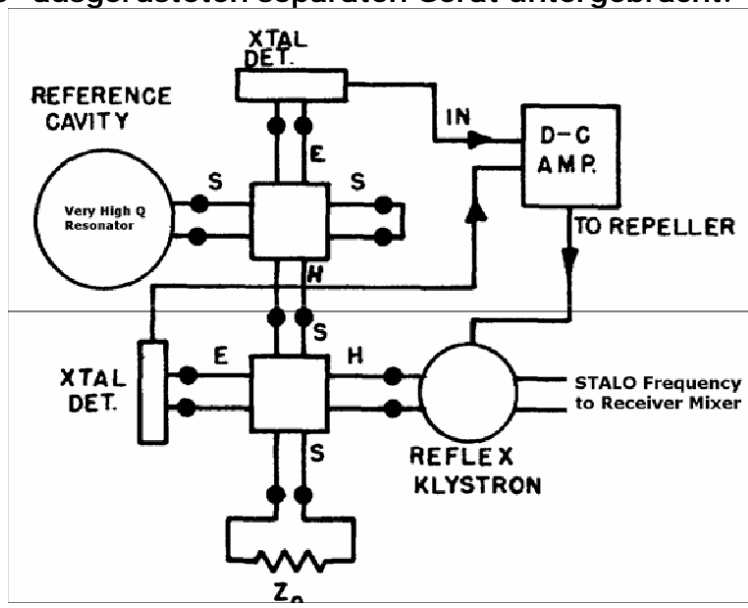


Das Frontende des Radarempfängers bestand noch aus einer einfachen Diodenmischstufe ohne Mikrowellenvorverstärkung. Der Rauschfaktor des Empfangssystems lag entsprechend hoch bei ca. 15 dB. Als Überlagerungssoszillator für die Abmischung des Mikrowellensignals auf die Zwischenfrequenz von 30 MHz verfügte das ESV2 Gerät über ein einfaches Reflex Klystron. Der nachfolgende Zwischenfrequenzverstärker wies bei einer -3 dB Bandbreite von 2 MHz eine Verstärkung von 120 dB bei einem Dynamikbereich von lediglich 30 dB auf. Das minimale im Empfängerrauschen erkennbare Nutzsignal „Minimum Discernible Signal“ (MDS) betrug ca. -98 dBm.

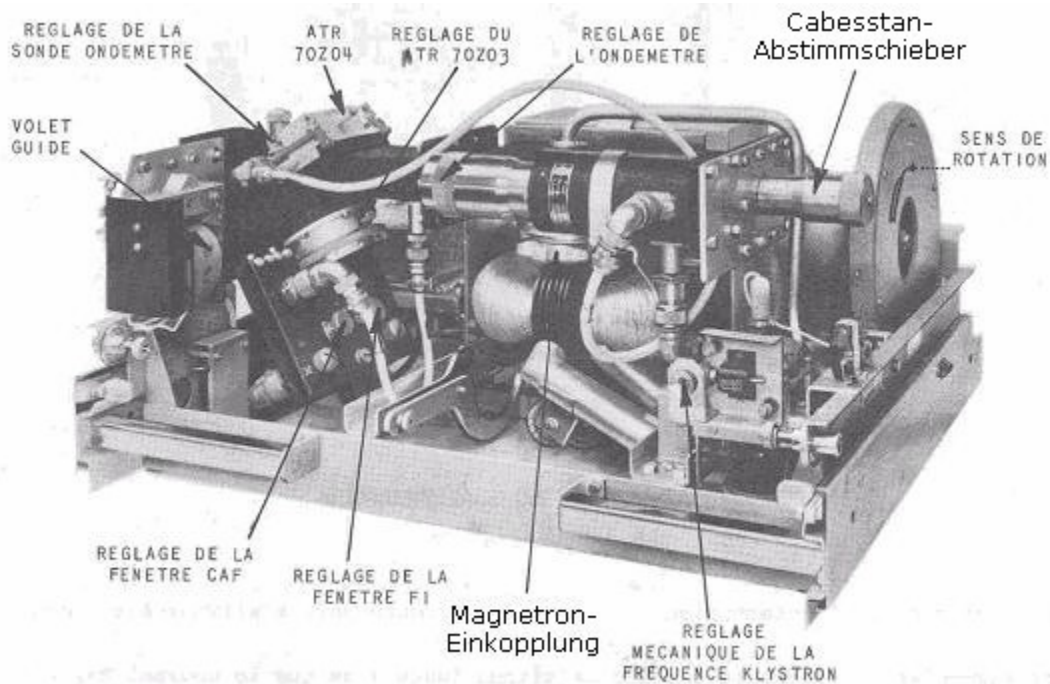
Aus nachstehender Figur ist das Blockscheema des ESV2 Radarsendeempfängsgerätes ersichtlich.



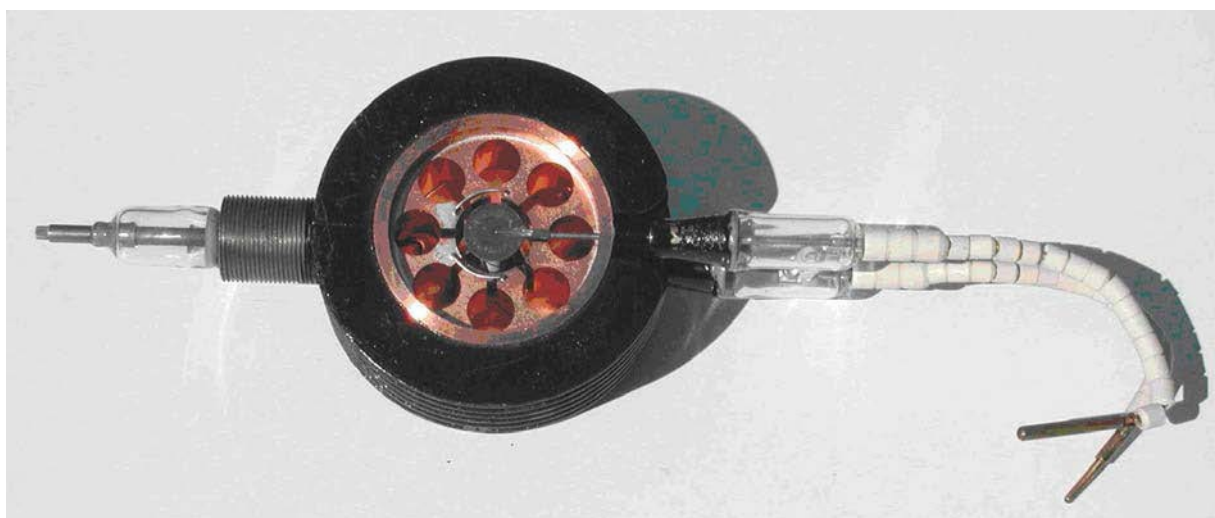
Da die Phasenstabilität des im ESV2 Gerätes vorhandenen Reflexklystrons für die hohen Anforderungen des MTI Betriebes nicht ausreichte, wurde von SFR mit der Einführung der Standzeichenlöschung ein zusätzlicher „Fréquence Stabilisateur“ (FS) für die Erzeugung der Empfänger Ueberlagererfrequenz nachgeliefert. Das Prinzipschema des „Fréquence Stabilisateur“ geht aus der nachfolgenden Figur hervor. Es handelte sich dabei um einen Reflex Klystron – Oszillator dessen Frequenz mit einem Hohlraum - Resonator (Reference Cavity) hoher Güte über einen Servokreis elektronisch stabilisiert wird. Um Unstabilitäten bei Erschütterungen vorzubeugen war der „Fréquence Stabilisateur“ in einem mit „shock - mounts“ ausgerüsteten separaten Gerät untergebracht.



Die Figur zeigt den Mikrowellenteil des ESV2 Senderempfängers. Die Impulsleistung des Senders betrug ca. 350 kW. Ein Multi Cavity Magnetron diente als Senderöhre.



Das Foto zeigt das SFR Multi Cavity Magntron in geöffnetem Zustand. Das Magnetron wurde an der Kathode mit $1\mu\text{s}$ Impulsen von 30 kV bei einem Impulsstrom von ca. 40 Ampere (1200 kW) hochgetastet und erzeugte dabei eine Mikrowellenleistung von ca. 350 kW.

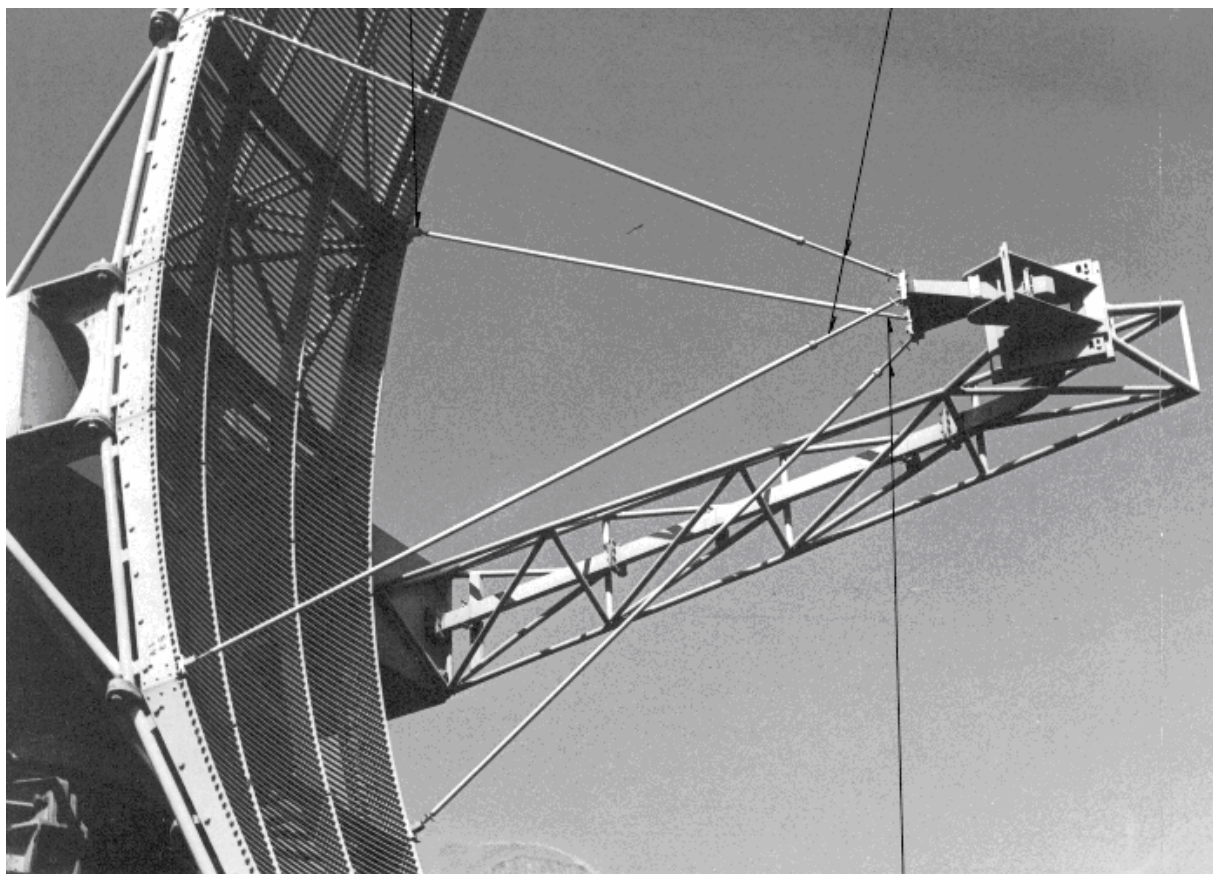


Wie bereits vorher erwähnt waren infolge der bescheidenen Sendeleistung für eine lückenlose Radarüberdeckung des zu überwachenden Raumvolumens noch drei Radarantennen mit den zugeordneten Radarsendeempfangsgeräten erforderlich.

Zur Anwendung kamen dabei die in Rücken an Rücken Position angeordnete Doppelantenne „Espadon“ für die Tiefe- und Mittlere- Radarüberdeckung und die Einfachantenne „Baleine“ für die Hohe- Radarüberdeckung.

Die Systems-Architektur basierte auf einer Impulswiederholungsfrequenz (PRF) von 500Hz was einer instrumentierten Reichweite von 300 km entspricht. Die aus heutiger Sicht sehr bescheidenen Systemparameter ergaben jedoch, gegen die damals mehrheitlich kleinflächigen Militärflugzeuge, **Reichweiten von kaum mehr als 80 km**. Der z.B. noch in Metall/Holz- Mischbauweise konstruierte Düsenjäger **DH100 Vampire** wies im Anflug ja lediglich einen **Rückstrahlquerschnitt von ca. 0.5 m²** auf.

Das nachstehende Foto zeigt einen Ausschnitt der SFR Höhenfinder Antenne mit dem Hornstrahler und dem parabolischen Reflektor. Der Gewinn der sehr einfachen und bezüglich Seitenkeulen noch nicht optimierten Antennen lag bei 35 dB bei einem Seitenkeulenabstand von 20 dB .⁽⁸⁾



Die drei azimutmässig aufeinander synchronisierten Antennendiagramme leuchteten mit gewissen Lücken in der Vertikalen, das abgetastete Raummolumen über 360° aus.

Die Präsentation der Videos erfolgte in Panoramadarstellung auf PPI - Anzeigegeräten wobei die drei Teilüberdeckungen einzeln ausgewählt oder gemischt zur Darstellung gebracht werden konnten. Der Höhenfinderradar verfügte über ein separates jedoch gleichartiges Senderempfängersystem wie die Rundsuchradars. Die Antenne führte eine kontinuierliche vertikale Nickbewegung aus und konnte zur Höhenvermessung manuell über einen elektromechanischen Servoantrieb auf die zu vermessenden Flugziele im Azimut ausgerichtet werden.

Die Präsentation des Höhenfinder-Videos erfolgte in Range Height Indicator (RHI) Darstellung auf einem separaten Anzeigegerät.

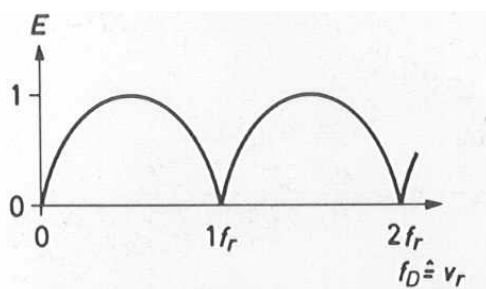
Auf Grund der seinerzeitigen Erkenntnisse bei den LGR-1 Versuchen stand von Anfang an fest, dass für die tiefe und mittlere Radarüberdeckung eine Standzeichenlöschung (MTI) erforderlich war.

Bei der Systemwahl wurde vom Radarlieferanten SFR eine elektrooptische Standzeichenlöschung (die später als „**Area – MTI**“ bekannt wurde) vorgeschlagen. Da sich jedoch dieses Verfahren bei der französischen Compagnie Générale de TSF erst in Entwicklung befand, wurde von der KTA eine auf der Auswertung des Doppler-Effektes mit Verzögerungsleitungen basierende Lösung bevorzugt.

Will man mit einem Pulsradar bewegte Ziele von Standzeichen trennen, so wird ein Vergleich der Radarechos aufeinanderfolgender Impulse gemacht (Moving Target Indikation oder MTI). Im einfachsten Fall entspricht dies einer Subtraktion der Echos zweier aufeinanderfolgender Pulsrepetitions-Intervalle. Durch die Bewegung des Zieles tritt eine Positionsänderung zwischen zwei Pulsen auf. Betrachtet man ein Flugzeug, das mit einer Radialgeschwindigkeit von 900 km/h (250m/s) gegen ein mit 1000 Hz PRF arbeitendes Radar fliegt, so bewirkt dies einen Laufzeitunterschied der Pulse von 1.6 Nanosekunden. Dieser sehr kleine Zeitunterschied kann technisch nicht direkt für die Trennung von bewegten und stehenden Zielen ausgewertet werden.

Auswertbar ist hingegen die durch den Dopplereffekt verursachte Phasenverschiebung zweier aufeinander folgender Echos bewegter Ziele. Die Dopplerfrequenz (f_d) ist eine Funktion der relativen Radialgeschwindigkeit (v_r) des Zieles und der Wellenlänge (λ).

$$f_d = \frac{2 v_r}{\lambda}$$



Die daraus resultierende Phasenverschiebung ($\Delta\phi$) zwischen zwei Echos ist noch vom zeitlichen Abstand $T_p = 1/\text{PRF}$) zweier Sendepulse abhängig. In nebenstehender Figur ist die Geschwindigkeits-Charakteristik eines MTI ersichtlich. E ist das Maß für die Empfindlichkeit in Abhängigkeit der Dopplerfrequenz.

$$\Delta\phi = \frac{4 \pi}{\lambda} v_r T_p$$

Ein stehendes Ziel ($v_r = 0$) verursacht keine Phasendrehung und kann somit von einem bewegten unterschieden werden.

Wird der Phasenunterschied gleich 2π oder ein mehrfaches davon, so kann man diese bewegten Ziele nicht mehr von stehenden unterscheiden, dh die Echos solcher Ziele werden durch die MTI Filterung ebenfalls wie Standzeichen unterdrückt.

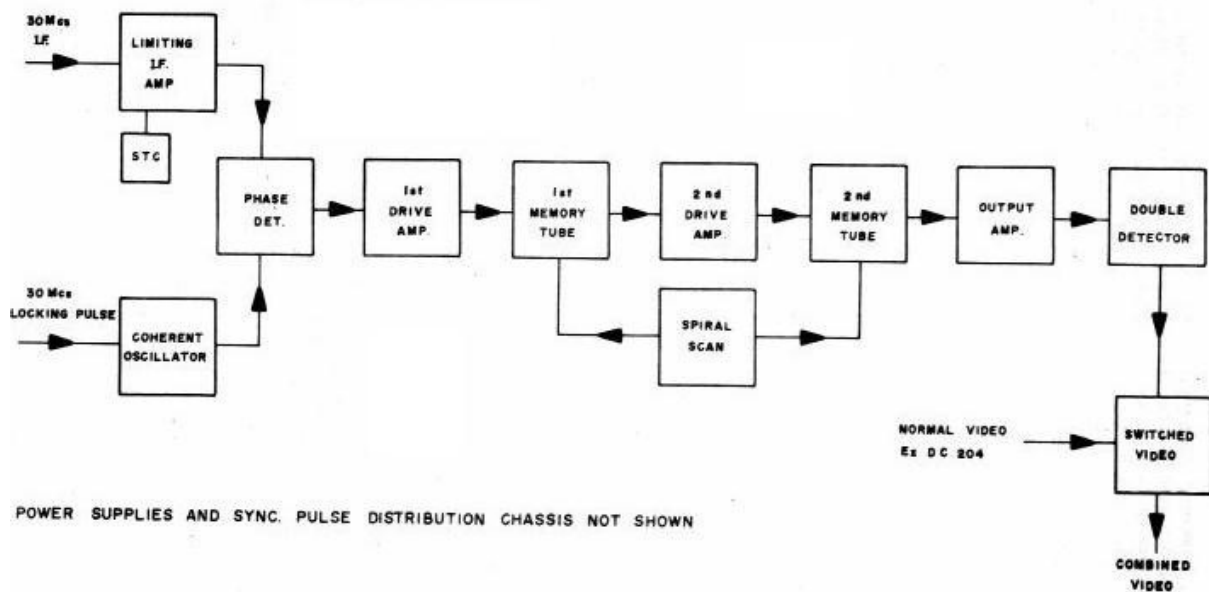
Die Radialgeschwindigkeiten, bei denen dieser Effekt auftritt, nennt man Blindgeschwindigkeiten (v_b). Je nach Wahl der Sendefrequenz und der PRF können mehrere Blindgeschwindigkeiten im gewünschten Geschwindigkeitsbereich auftreten.

$$v_b = n \frac{\text{PRF} \cdot \lambda}{2} \quad n = \pm 1, 2, 3, \dots$$

Bei einem Radar mit einer PRF von 1000 Hz und einer Wellenlänge von 10 cm ergeben sich im Geschwindigkeitsbereich von 1400 km/h 7 Blindgeschwindigkeiten. Die erste tritt bei 180 km/h auf.

Für die Standzeichenlöschung hatte SFR wie bereits erwähnt, das von der französischen Firma Compagnie Générale de TSF entwickelte System mit der optischen Speicherröhre (siehe nachstehendes Blockschema) vorgeschlagen. Die kohärenten Signale z.B. des (n-ten) Impulszuges werden in einer Speicherröhre (Memory Tube) in Form von Teilladungen eingetragen und aufgespeichert. Beim Eintragen des nächsten n+1 - ten Impulszuges wird an jenen Stellen wo Standzeichen eingetragen worden sind, keine zusätzliche Ladung notwendig sein, während an Stellen, welche dem Standort mobiler Echos mit veränderlicher Amplitude entsprechen, zusätzliche positive oder negative Ladungen nötig sind, um die neuen Amplituden wieder a jour zu bringen.

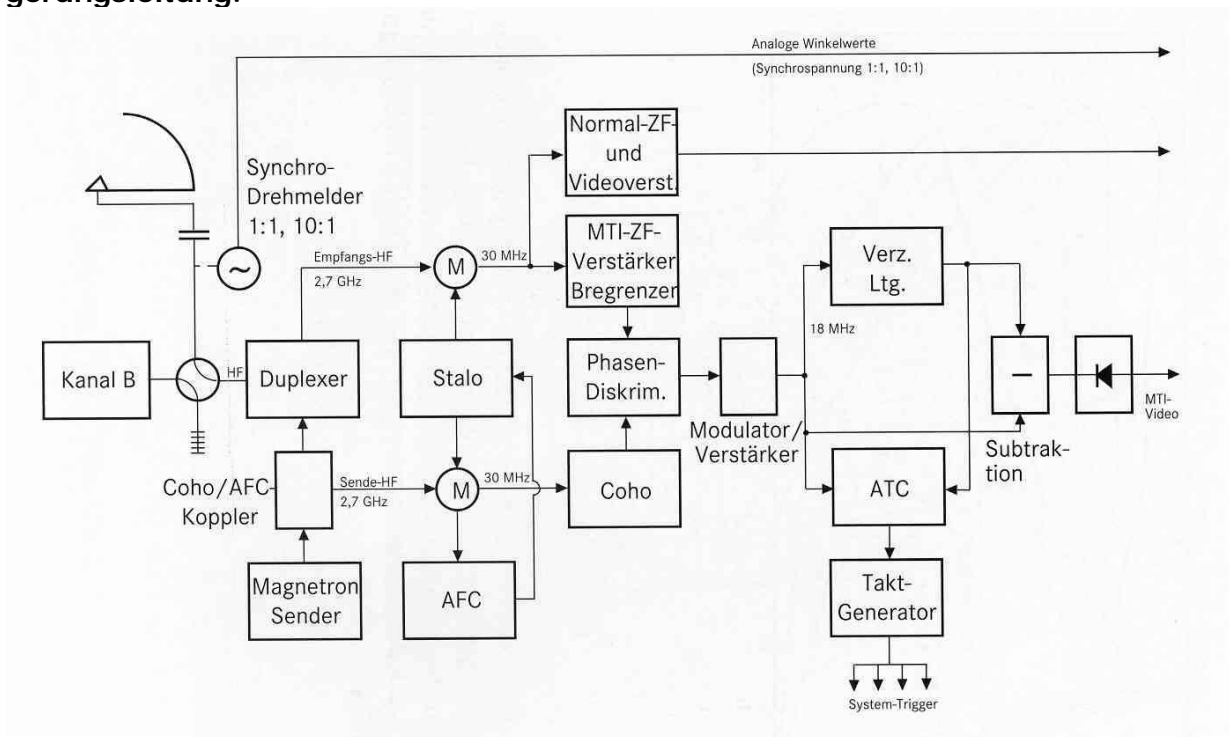
Mit einer sog. Kollektoranode in der Speicherröhre werden diese zusätzlichen Ladungen registriert, nach aussen geführt und nach zweckmässiger Verstärkung wiederum auf den PPI Röhren zur Anzeige gebracht.



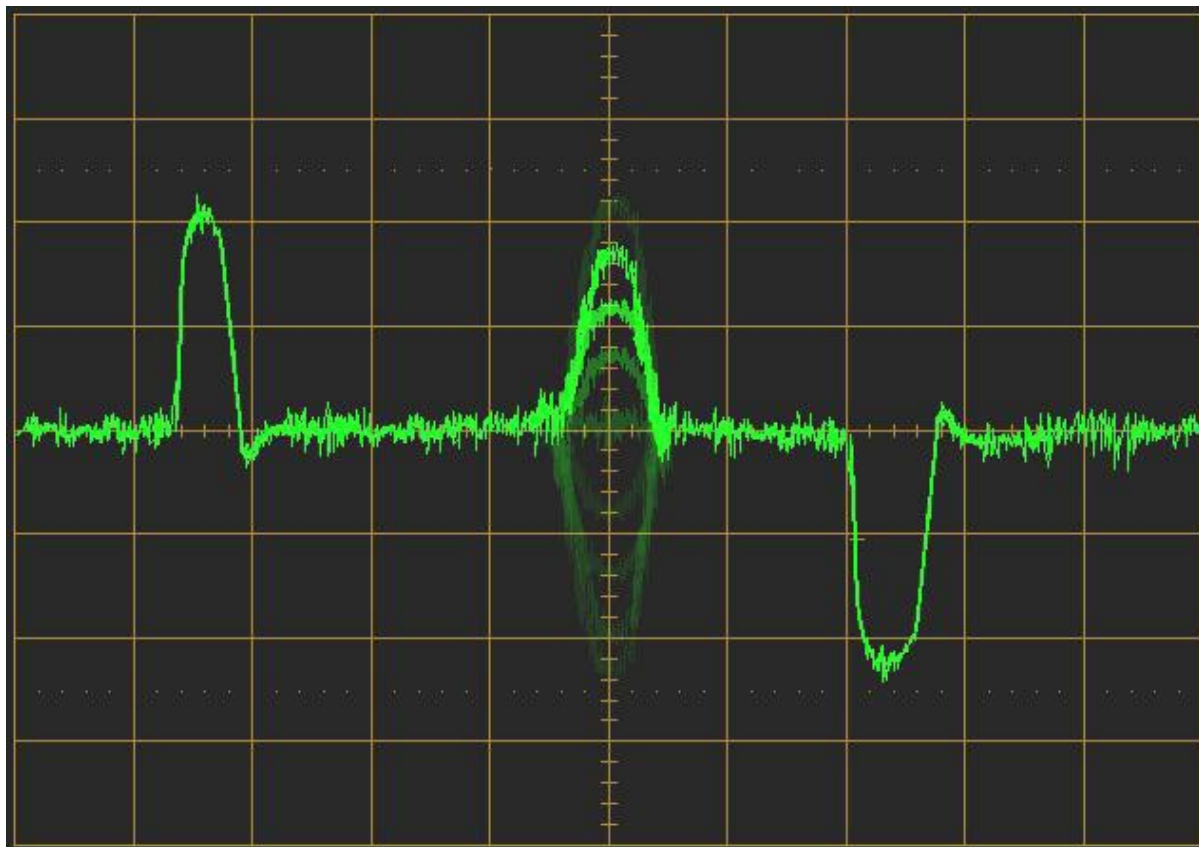
BLOCK DIAGRAM OF M.T.I. UNIT

Als Standzeichenlösch Ausrüstung wurde jedoch von der KTA eine von der Firma Laboratoire Central de Telecommunication (LCT) in Paris entwickelte Ausrüstung gewählt welche dem klassischen ursprünglich während des Zweiten Weltkrieges in den USA entwickelten Prinzipis mit Ultraschall - Verzögerungsleitung entsprach. Das Gerät wurden in der Folge in der Schweiz durch die Firma Standard Telefon und Radio A.-G. in Zürich in Lizenz gebaut.

Die nachstehende Figur zeigt das Funktionsschema eines Radarsystems mit Magnetronsender und der klassischen MTI Ausrüstung mit Ultraschall - Verzögerungsleitung.



Die nachfolgende Abbildung zeigt das kohärente Video des MTI Systems am Ausgang des Phasen – Detektors. Das Signal in der Mitte der Abbildung weist eine Phasenmodulation auf welche durch den Doppler – Effekt eines bewegten Zieles hervorgerufen wird, die Signale links und rechts davon sind Echosignale von fixen Standzeichen.



Dreifach MTI für ER-220 Radar von Standard ITT in Zürich-Wollishofen

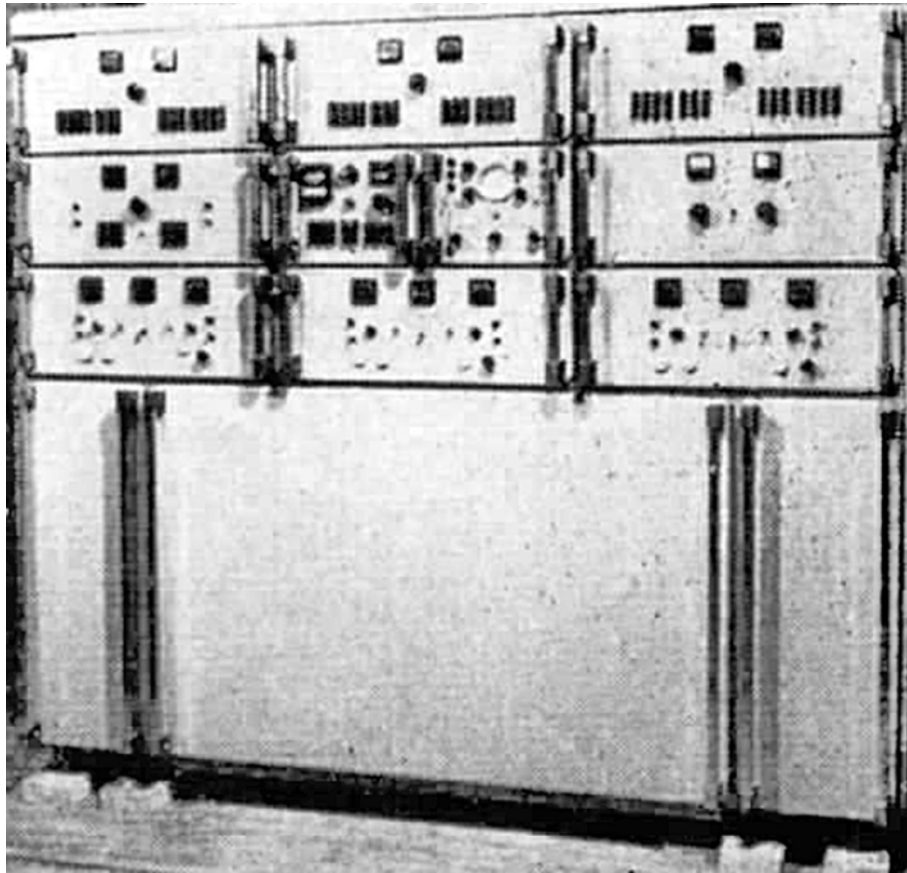
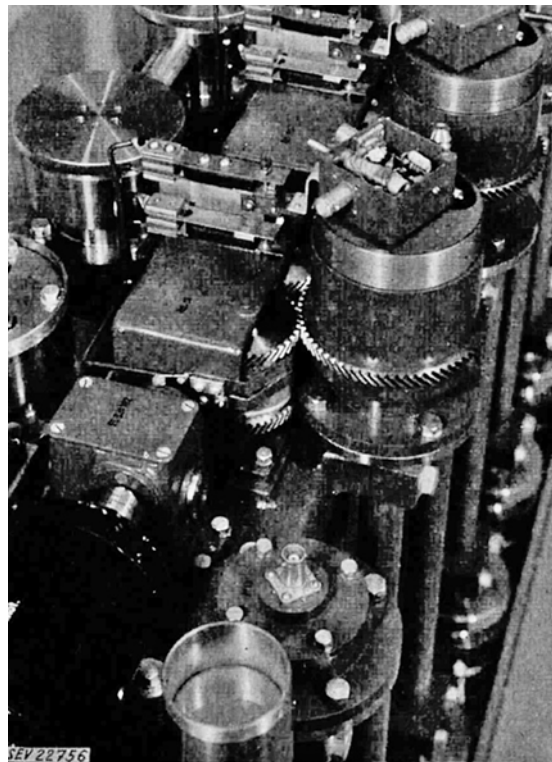
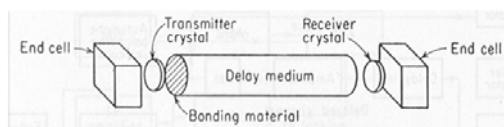


Foto der mit Quecksilber gefüllten verstellbaren Verzögerungsleitung



Um eine einwandfreie Standzeichenlöschung zu erreichen musste die Frequenzstabilität der Magnetron - Sender von Impuls zu Impuls innerhalb 10 - 20 kHz liegen.

Der stabilisierte Lokalszillator (STALO) des Empfängers erforderte noch eine wesentlich höhere Frequenzstabilität als das Magnetron, weil er bis an die Grenze des MTI Bereiches stabil bleiben muss. Vom STALO musste eine Stabilität von 30 Hz von Impuls zu Impuls, d.h. das 10^{-8} fache seiner Frequenz verlangt werden.



Zur Speicherung des kohärenten Videos über eine Impulsperiode ($1/P_{RF}$) standen damals nur mit Quecksilber gefüllte Ultraschall Verzögerungsleitungen zur Verfügung.

Die Verzögerungsleitung musste aus denselben Gründen, auf $\pm 0,02 \mu s$ bezüglich der Verzögerungszeit konstant gehalten werden, eine Forderung, welche bei der zur Anwendung kommenden Quecksilberverzögerungsleitung nur durch deren Einbau in einen thermisch stabilisierten Schranke erreicht werden konnte.

Im Betrieb stellte es sich rasch heraus, dass das Quecksilber durch die Berührung mit den vielen feinmechanischen Komponenten der einstellbaren Verzögerungsleitung verunreinigt wurde.

Dadurch erhöhte sich die elektrische Dämpfung der Verzögerungsleitung über die zulässigen Grenzwerte, dies bedingte ein periodisches Auswechseln des Quecksilbers und eine peinlich genaue Reinigung der Quarzschwinger.

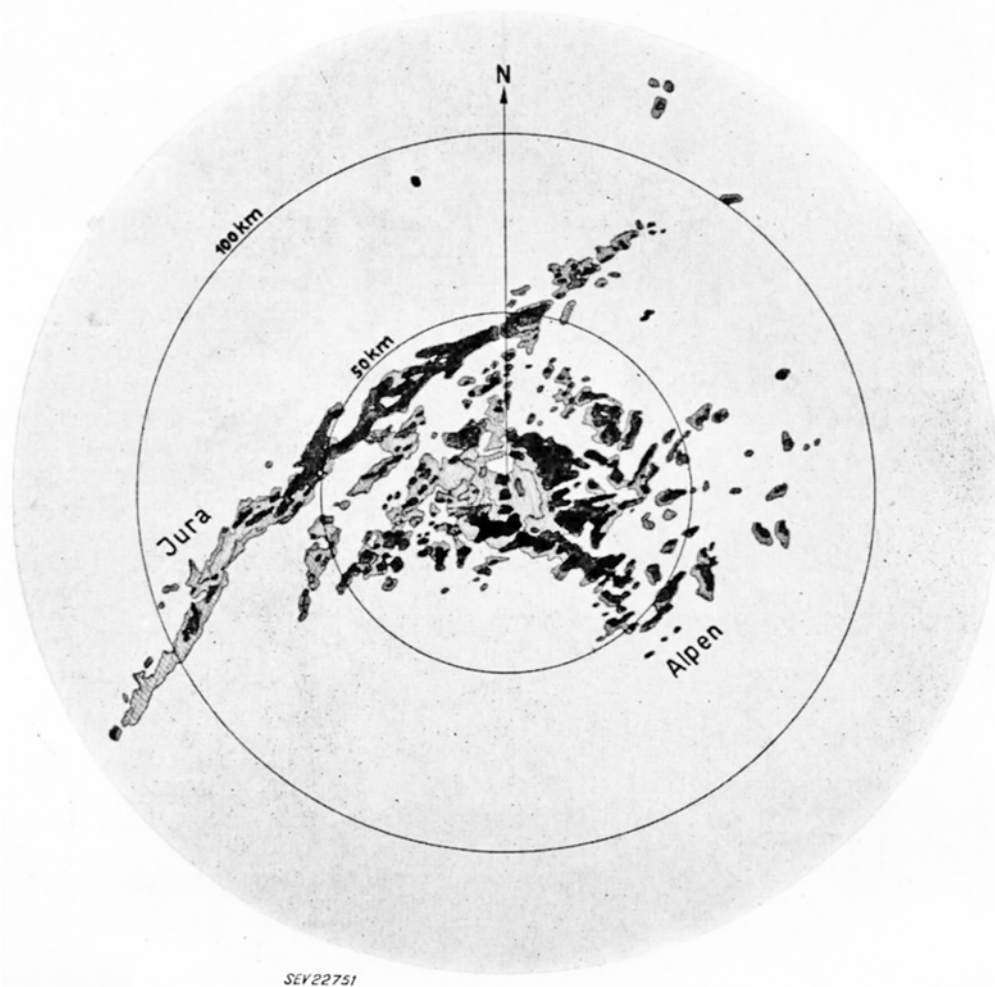
Der Aufbau eines ersten ER-220 Radars erfolgte in den Jahren 1953/54 auf dem Versuchsstandort Bütschelegg oberhalb Rüeggisberg durch die Kriegstechnische Abteilung (KTA), die Anlage diente anfänglich der eingehenden Erprobung und Abnahme der noch weitgehend unbekannt neuen Technik, wurde jedoch später auch für die Ausbildung der neuen Radartruppen benützt.

Radaranlage Bütschelegg, Aufnahme der Schweizer Luftwaffe vom 23.5.1958

Die Luftaufnahme zeigt auf der linken Seite die Höhenfinderantenne in der Mitte die Rundsuch - Doppelantenne für die Tiefe und Mittlere Radarüberdeckung und rechts die Rundsuch - Antenne für die Hohe Radarüberdeckung.







Bütschelegg Radarstandzeichen



SEV22751

**PPI-Aufnahme ab Bütschelegg
mit Standzeichen-Intensitäten
in db über dem Rauschpegel
des Radarempfängers**

PPI = Plan Position Indicator

	> 65 db
	45...65 db
	25...45 db
	0...25 db

Dabei konnten erste grundlegende Erkenntnisse über die tatsächliche Intensität der Standzeichen in unserem Gelände und die damaligen technischen Grenzen der Moving Target Indicator (MTI) - Ausrüstungen gewonnen werden.

Standzeichenbild der Tiefen Ueberdeckung der Radaranlage Bütschelegg^(9a)

1. Die Unterdrückung soll in der Grössenordnung von 60 db liegen. Gemäss Fig. 1 verschwinden damit praktisch alle Standzeichen.

2. Die Abschwächung von Luftzielen darf in den von Standzeichen freien PPI-Partien wenige db nicht überschreiten. Im gegenteiligen Fall würde das Radargerät an Empfindlichkeit verlieren, d. h. die Reichweite für Flugzeuge würde herabgesetzt. Diese Bedingung kann, wie später gezeigt wird, nicht in allen Fällen eingehalten werden. Man bedient sich deshalb in der Praxis eines kleinen Kunstgriffes, indem die Standzeichenlöschung — oder wie wir aus dem Englischen ableitend kurz sagen: die MTI-Wirkung (MTI = Moving

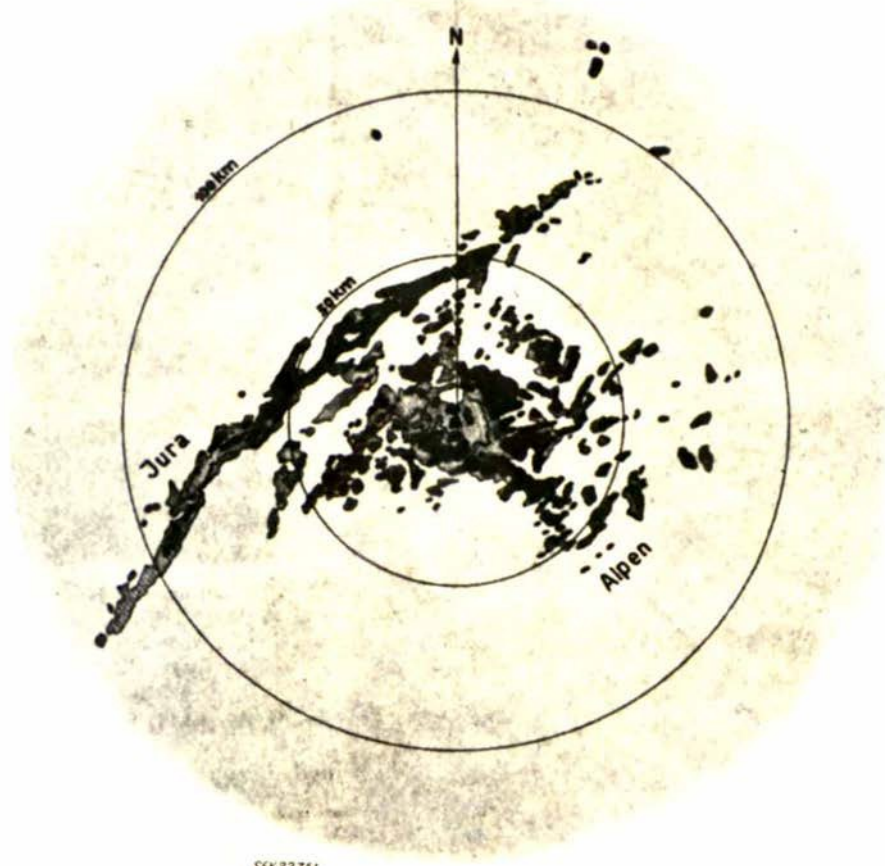


Fig. 1
PPI-Aufnahme ab Bütschelegg
mit Standzeichen-Intensitäten
in db über dem Rauschpegel
des Radarempfängers

PPI = Plan Position Indicator

■	> 65 db
■	45..65 db
■	25..45 db
■	0..25 db

Auf der tiefen Radarüberdeckung der Radaranlage Bütschelegg wurden Standzeichen gemessen welche bis 65 dB über dem Empfängerrauschpegel lagen. Die mit der MTI Ausrüstung der Firma Laboratoire Central de Telecommunication (LCT) erzielbare Subclutter Visibilität (SCV) lag jedoch im günstigsten Fall bei ca. 25 dB. Das hatte zur Folge, dass kleinere Flugzeuge mit nur ca. 0.5m² Rückstrahlfläche welche in einer Entfernung von 50 km ein Echosignal von ca. 10 dB über dem Rauschpegel lieferten, beim Ueberfliegen von Standzeichengebieten mit Intensitäten von über 35 dB S/N vom Radarbildschirm verschwanden.

In einem von der Fachwelt mit Interesse verfolgten und später auch in der internationalen Radarliteratur häufig referenziertem Vortrag, schilderte der KTA Ingenieur Markus Wildi an der Hochfrequenztagung des Schweizerischen elektrotechnischen Vereins (SEV) im Herbst 1954 die Problematik bei der Radarerkennung von Flugzielen über Standzeichengebieten.⁽⁹⁾

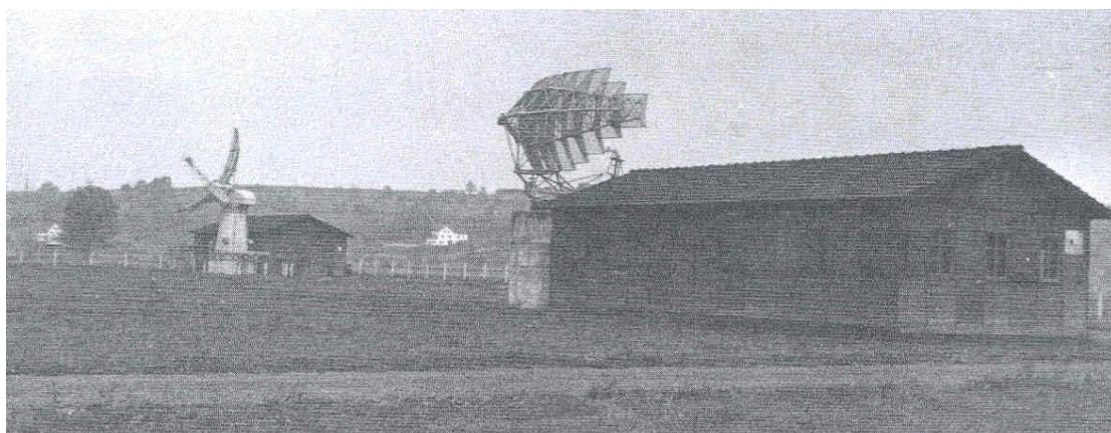
Parallel zu den Versuchen auf der Bütschelegg wurden Vorbereitungen für die Ausbildung einer Flieger Radartruppe getroffen. Der damalige Instruktor der Flieger Nachrichtenschulen in Dübendorf Leutnant Walter Dürig späterer Kommandant der FF Truppen war massgeblich an der Ausarbeitung der erforderlichen Ausbildungsunterlagen beteiligt.

Das von ihm geschaffenen militärische Regiment 56.251-d Radar Technische Grundlagen ist zweifellos den Absolventen der Radarmechaniker – Rekrutenschulen in bleibender Erinnerung geblieben.

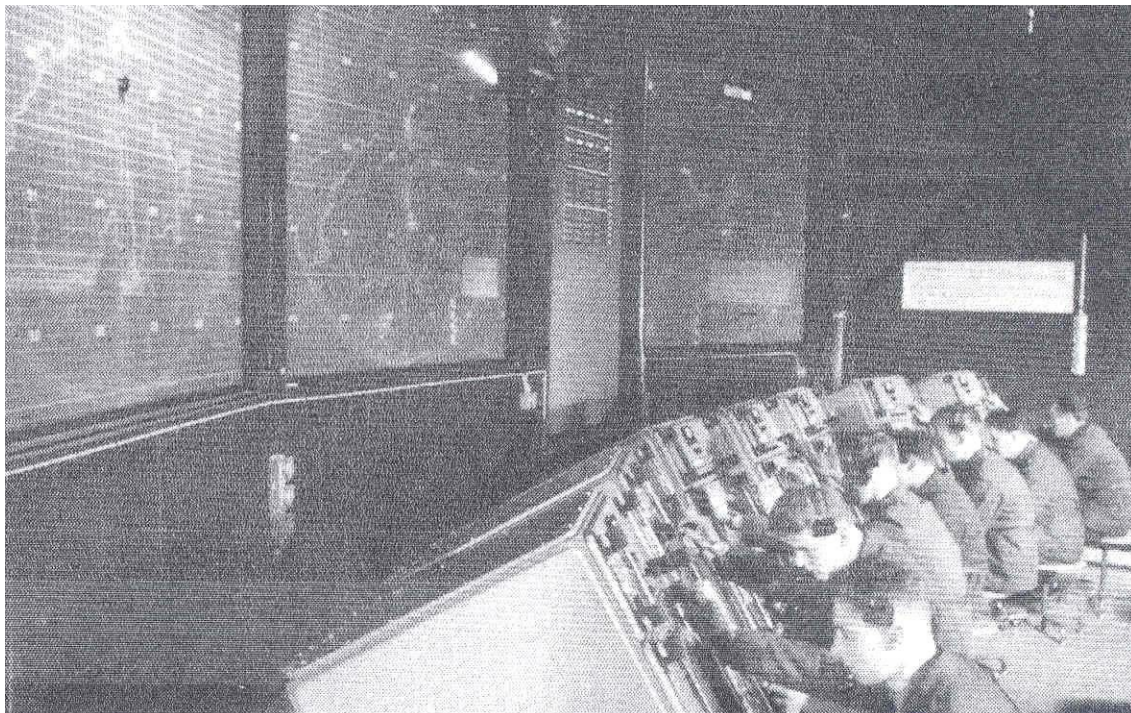
Das Foto zeigt Leutnant Walter Dürig stellvertretender Kdt. der ersten Radar - Rekrutenschule im Sommer 1954 bei der Instruktion von angehenden Radarmechnikern über die Anwendung des damals noch neuartigen Tektronix Oszilloskopes.



Nachdem die ersten Einführungen noch am LGR-1 Radar und am Würzburg Funkmessgerät erfolgten, wurde in Dübendorf das „Radardörfli“ auf dem Ausbildungsstandort Dürrbach, siehe nachstehendes Foto, mit der Radaranlage ER-220 hergerichtet.



Auf diesem Standort konnten erstmals auch die Aspekte der Radarauswertung etwas studiert werden, siehe den Auswerteraum der Radaranlage Dürrbach.



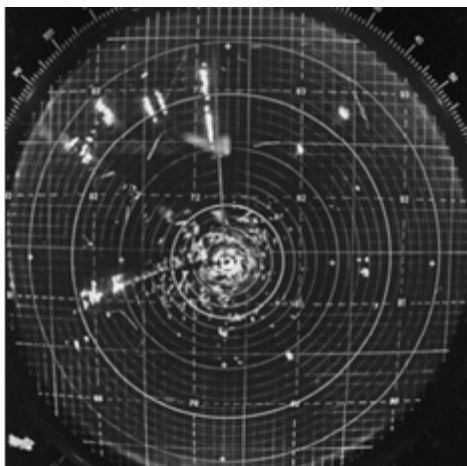
Die physikalischen und technischen Grundlagen des Radars wurden erstaunlicherweise auf Beschluss der amerikanischen Regierung schon kurz nach Ende des Zweiten Weltkrieges, durch die Veröffentlichung des 28 Bände umfassendes Standardwerkes der MIT Radiation Laboratory Serie der internationalen Fachwelt zugänglich gemacht. ⁽¹⁰⁾

Im Gegensatz dazu blieben, die Verfahren über die Auswertung und Weiterverarbeitung der Radarinformationen in den am Weltkrieg beteiligten Ländern noch bis Ende der fünfziger Jahre sorgsam unter Verschluss. Dies hatte zur Folge das die Verfahren der Auswertung sowie die dazu erforderlichen Ausrüstungen in der Schweiz von Grund auf studiert und unabhängig vom Ausland entwickelt werden mussten.

Die Beobachter an den Bildschirmen der tiefen, mittleren und hohen Radarüberdeckung waren telefonisch mit einem Zeichner hinter der Radarluftlagekarte verbunden. Sie meldeten die Position von erkannten Flugwegen, die auf dem Bildschirm während mehr als drei Minuten oder etwa 20 Antennenumdrehungen nachleuchteten mit der Angabe von Azimut und Distanz der Flugwegspitze an den Zeichner. Dieser zeichnete die Position mit einem Fettstift hinten auf die Karte und schrieb die Flugwegnummer in Spiegelschrift daneben.

Aufgrund der Positionsmeldung wurde mit dem Höhenfinderradargerät die Flughöhe vermessen und als Zusatzmeldung von Hand auf einem drehbar montierten Totalisator neben der Radarluftlagekarte geschrieben. Diese umfasste die Flugwegnummer, die Flughöhe, die Verbandsgrösse und die Geschwindigkeit.

Der Flaschenhals der Positionsmeldungen mit Azimut und Distanz wurde versuchsweise durch eine randbeleuchtete Vorsatzscheibe der Radaranzeigegegeräte mit Planquadraten nach Landeskarte beseitigt. Der Erfolg des Versuchs führte dann zur Ausrüstung aller Positionsanzeigergeräte mit solchen Scheiben durch die Direktion der Militärflugplätze. Die Kapazität der Positionsmeldungen konnte durch die Sektorzuteilung an die Auswerter-Zeichnerpaare vervielfacht werden.



Die Positionsmeldung umfasste die Flugwegnummer, Azimut und Distanz von der Radaranlage aus gesehen, die Flugwegrichtung und die Identifikation. Aufgrund der Positionsmeldung wurde mit dem Höhenfinderradargerät die Flughöhe vermessen und als Zusatzmeldung von Hand auf einen drehbaren Totalisator neben der Radarluftlagekarte geschrieben. Diese umfasste die Flugwegnummer, die Flughöhe, die Verbandsgrösse und die Geschwindigkeit.

Die Gesamtleistung dieser Auswertemethode war sehr bescheiden und insbesondere durch die Leistungsfähigkeit der Zeichner begrenzt. Ausserdem existierte damals keine elektronische Identifikationsmöglichkeit. Das Ungenügen der Radarauswertung machte eine ganze Reihe von Innovationen notwendig, von denen nachfolgend einige beschrieben sind. Ein Offizier des Fliegerbeobachtungs- und Meldedienstes war von Beruf Apotheker. Er stellte einen Fettstift her, welcher bei der Anstrahlung mit Ultravioletlicht leuchtete. Leutnant Walter Dürig beschaffte für den Versuch eine Ultraviolett - Leuchtstoffröhre. Die Direktion der Militärflugplätze rüstete daraufhin sämtliche Radarluftlagekarten mit solchen Lichtquellen aus. Die Aufzeichnungen waren dadurch viel besser sichtbar.

Ursprünglich war die Luftlagedarstellung der drei Azimutradarantennen auf separate Bildschirme verteilt, was die Auswertung und Darstellung stark erschwerte. Leutnant Walter Dürig mischte mit einem technischen Trick die Videosignale der mittleren und hohen Antenne. Mit einer Modifikation eines Radaranzeigegegerätes konnten später die Videosignale und damit die Luftlage aller drei Antennen auf einem einzigen Bildschirm dargestellt werden. Der hierdurch entstehende Signalverlust wurde durch die Vorteile bei Weitem aufgehoben. Die Direktion der Militärflugplätze setzte diese Innovation auf sämtliche Radarstationen um und beschaffte ein Zusatzgerät, welches die Signalverluste verringerte.

Adjutant Alfons Haltmeier hatte die Idee, die Fettstiftaufzeichnung der Luftlage durch ein Stempelsystem zu ersetzen. Zusammen mit der Firma Speckert und Klein setzte er die Idee in die Praxis um. Die Positionsmeldungen wurden nun sektoriell hinten auf die Radarluftlagekarte gestempelt. Für die Flugwegnummern standen dreistellige Ziffernstempel in Spiegelschrift und für den Ort der Flugwege rechteckige Stempel mit Ultraviolettstempelfarbe zur Verfügung. Mit drei Farben der Rechteckstempel wurde im Dreiminutentakt das Alter der Flugwege dargestellt.

Dieses neue System der Luftlagedarstellung hatte sich herumgesprochen. Die amerikanische Luftwaffe entsandte eine Zweierdelegation zum Studium der Methode nach Dübendorf. Walter Dürig hatte in der Folge mit dem Delegationsleiter einen jahrelangen Kontakt und konnte dank dieser persönlichen Bekanntschaft im Jahr 1958 die Einsatzzentrale des Kommandos der nordamerikanischen Luftverteidigung in Colorado Springs besuchen.

Zum Teil wurden auch Entwicklungsaufträge an die Industrie vergeben, so z B für einen damals noch in Relais-Technologie gebauten Flugweg Totalisator an die Fa. Siemens - Albis in Zürich und eine Zielmarkierungs-Einrichtung für die Anzeigergeräte an die Firma Güttinger in Niederteufen. Zu erwähnen ist das speziell beim Instruktionspersonal der Flieger-nachrichtenschulen in Dübendorf durch den engen Kontakt mit der Materie sich rasch eine gewisse Fachkompetenz bildete. Dadurch wurden die noch sehr beschränkten technischen Möglichkeiten und Mängel des ER-220 Radarsystems erkannt und man versuchte deren Ursachen zu analysieren. Mit zahlreichen von der Radartruppe initialisierten Verbesserungsvorschlägen wurde in den Jahren nach der Einführung versucht Unzulänglichkeiten zu beheben mit dem Ziel die Systemsleistung zu verbessern.

Zum Teil wurden unter Beizug schweizerischer Industriefirmen Zusatzausrüstungen entwickelt und später in Form von Modifikationen eingeführt. Neben Verbesserungen an den elektromechanischen Antrieben und den Drehplattenlagerungen der Antennen ist die Einführung einer zentralen Ueberwachung und Regelung der noch sehr unstabilen Zwischenfrequenz- und Videokanäle sowie das Ausrüsten der Radarempfänger mit Mikrowellenvorverstärkern zur Verbesserung der Erfassungswahrscheinlichkeit und damit auch zur Vergrösserung der Reichweite zu erwähnen.

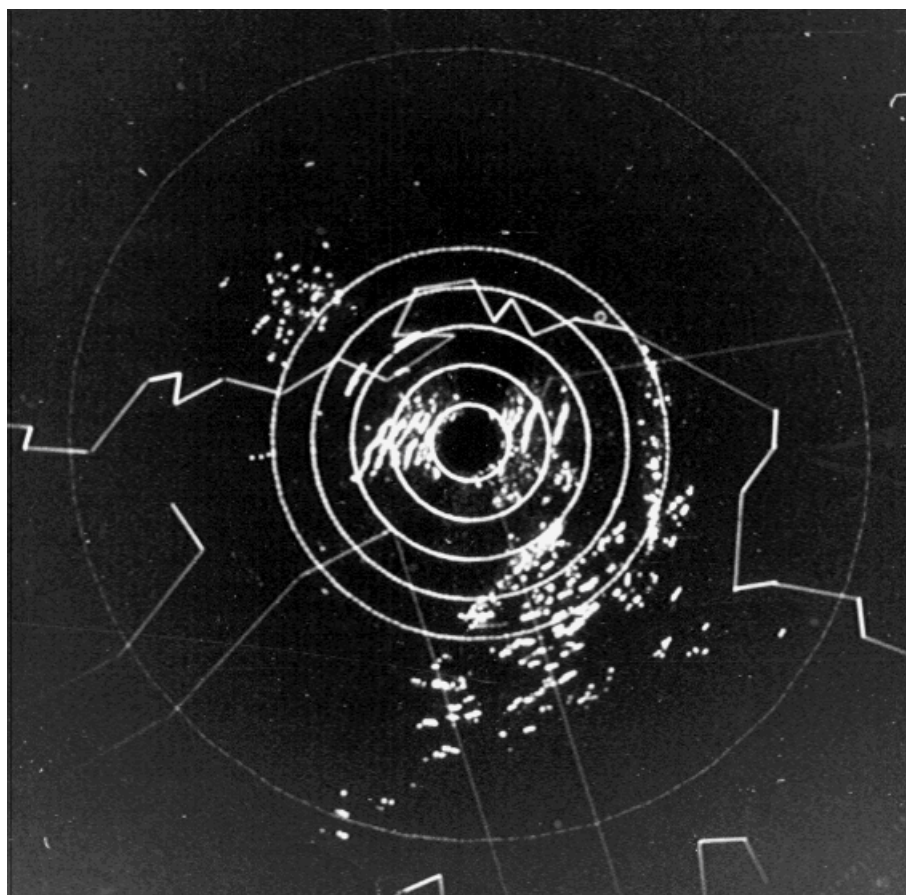
Obwohl es sich beim ER-220 Radarsystem um eine Nachkriegsentwicklung handelte und die französischen Systemsarchitekten zweifellos über Zugang verfügten zu den zahlreichen Erfahrungsberichten der Alliierten über die elektronische Störmassnahmen im Zweiten Weltkrieg, existierten erstaunlicherweise beim militärische ER-220 System noch keine Massnahmen gegen elektronische Störverfahren.⁽¹¹⁾

Die verwendeten Magnetronsender arbeiteten auf vorgegebenen fixen Frequenzinseln welche lediglich durch zeitraubende und heikle Abstimmprozeduren um $\pm 10\text{MHz}$ verändert werden konnten. Die linearen Empfänger verfügten über einen sehr bescheidenen Dynamikbereich von lediglich 30dB. Da der Haupt-/Seitenkeulenabstand der Antennen zudem nur ca. 20 dB betrug, konnte das System mit einem einfachen Störsendern aus grösserer Entfernung und über 360° im Azimut in die Sättigung getrieben werden. Im Zeichen des fortschreitenden kalten Krieges, angeregt auch durch Veröffentlichungen in ausländischer Fachliteratur in der zweiten Hälfte der fünfziger Jahre, wurden in der Schweiz erste Störversuche gegen das ER-220 Radarsystem durchgeführt. Die Versuche mussten anfänglich mit einfachen oft improvisierten Störsendern durchgeführt werden.

Als Folge der dabei gesammelten Erkenntnisse wurden einzelne Radarüberdeckungen noch auf Frequenz - Diversity Betrieb erweitert.

Durch die mit aufwendigen Röhrenschaltungen erreichte multiplikative Mischung der Empfangkanäle wurde der Störer gezwungen die Störenergie auf ein breiteres Frequenzspektrum aufzuteilen. Zudem brachte die Einführung des Frequenz - Diversity - Verfahrens auch eine willkommene Verbesserung der Reichweite im ungestörten Betrieb des Radars. Die Verbesserung durch die Einführung des Diversity – Verfahrens wurde dann allerdings durch das Erscheinen der breitbandigen Carcinotron Störsender, gegen Ende der 1950er Jahre zunichte gemacht. Erstmals konnten in diesen Jahren auch die Auswirkung der im benachbarten Ausland durchgeführten passiven Chaff Einsätze auf das ER-220 Radarsystem beobachtet und studiert werden.

Siehe in der nachstehenden Figur die durch Chaff - Abwurf verursachten streifenartigen Störungen.



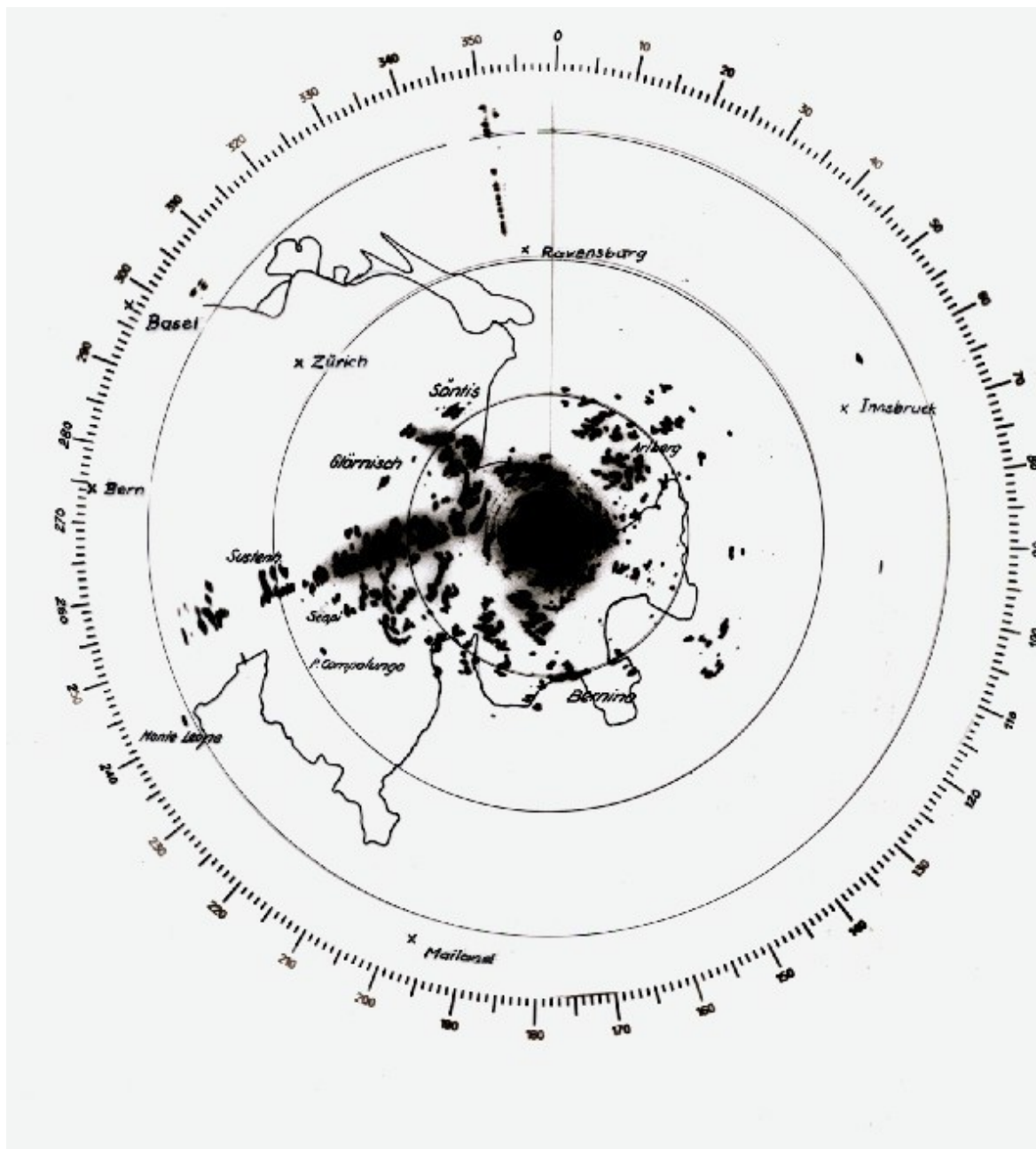
Begünstigt durch Windeinflüsse konnten die Auswirkungen der Chaff-Abwürfe auf die Zieldetektion mit dem noch unvollkommen geschützten Radarsystem zum Teil über mehrere Stunden verfolgt werden.

Obwohl damals die Einführung wirksamer Gegenmassnahmen gegen passive Störmittel ausserhalb der technischen Möglichkeiten lagen, konnte mit der Beobachtung die wachsende Bedrohung der elektronischen Kriegsführung mitverfolgt werden.

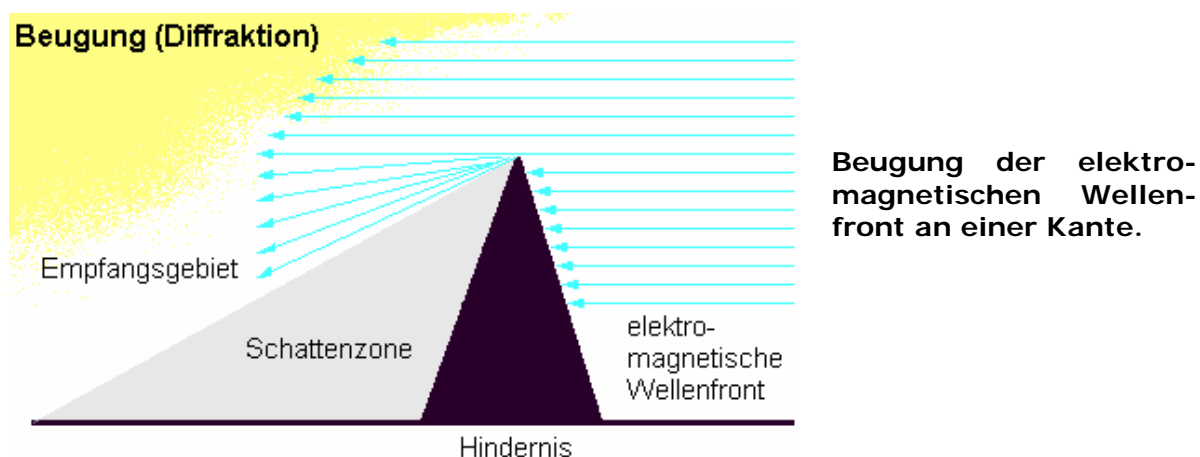
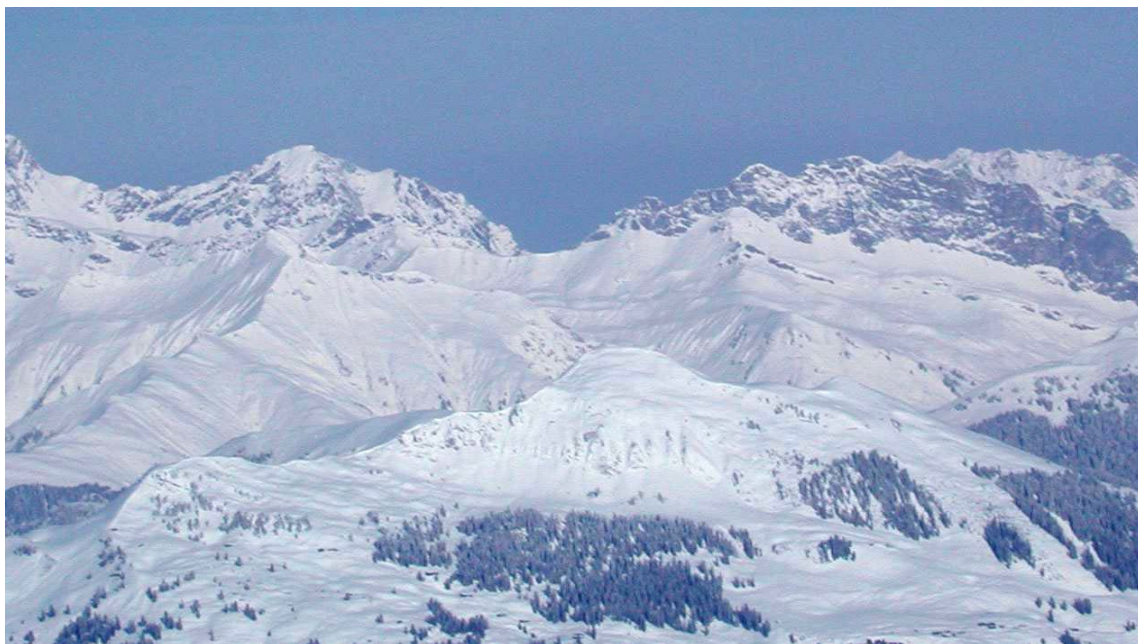
Der Ausbau der definitiven Radarstandorte im Gebirge begann im Jahre 1952 und dauerte infolge der zum Teil ausserordentlichen Schwierigkeiten bei den Bauvorhaben im Hochgebirge über 10 Jahre.

Auf einem Gebirgsstandort konnte im Jahre 1958 erstmals eine Radaranlage ER-220 installiert werden. Mit den auf dieser Anlage durchgeführten Versuchen konnten erste praktische Erfahrungen bezüglich der Radarüberdeckung ab Standorten im Hochgebirge gesammelt werden.

Die nachstehende Figur zeigt das Standzeichenbild mit der eingeblendeten Geographie. Die in einer Entfernung von 100 - 150 km im Azimut 350° radial verlaufenden Echos entstehen durch die Bodenberührung der Radarkeule im süddeutschen Raum nördlich Ravensburg.



Durch die Blendenwirkung des im Schesaplana - Gebiet gelegenen Schweizertors (siehe auf dem nachstehenden Foto das in der Bildmitte befindliche Schweizertor) wird die Strahlungskeule im Azimut scharf eingegrenzt und durch Diffraction nach unten gebogen. Dies hat zur Folge, dass die Strahlungskeule nördlich vom Bodensee das Gelände anschneidet und damit das dargestellten Radarechos verursacht.



Mit der verspäteten Fertigstellung der drei Bergradarstationen zu Beginn der 60er Jahre konnte die Verlegung der vorher auf den Ausbildungsanlagen Dürrbach und Bütschelegg stattgefundenen Truppeneinsätze auf die Bergstandorte erfolgen.

Im Vergleich zu der während der Zeit des kalten Krieges erfolgten rasanten Weiterentwicklung der Radartechnik war das ER-220 Radarsystem bereits bei der Installation auf den Bergstandorten technisch von der Entwicklung überholt worden. Desto trotz konnte damit die für die Technik zuständige Direktion der Militärflugplätze mit dem inzwischen veralteten ER-220 Radarsystem wertvolle Erfahrungen sammeln und Erkenntnisse daraus ableiten, welche später bei der Evaluation und Beschaffung der neuen und mehr komplexen Systeme eine sehr wichtige Basis bildete.

Das Foto zeigt das auf einer Höhenanlage installierte ER-220 Radar



Quellenangaben

- 1) E. Bonjour, Geschichte der schweizerischen Neutralität, Bd. VII

W. Rutschmann, Die Schweizer Flieger- und Fliegerabwehrtruppen 1939 – 1945

F.H. Hinsley, British Intelligence in the Second World War, Vol. 1 – 3
- 2) Helvetica Physica Acta, Vol. XIX, F. Lüdi, BBC Baden, Zur Theorie des Magnetfeldgenerators für Mikrowellen.

SEV, 10. Hochfrequenztagung, G. Guanella, Diskussionsbeitrag über Mikrowellen-Röhrenprobleme.
- 3) Kdo. Fk. Kp. 7, Hptm. Stuber, Zusammenfassender Bericht über UKW-Empfang auf dem Sphinxgipfel (Jungfraujoch)
- 4) ETHZ, Institut für Hochfrequenztechnik, Prof. F. Tank, H.K. Jenny, Untersuchungsberichte über Navigations- und Radarausrüstungen aus Kriegsflugzeugen.
- 5) Zusammenfassender Bericht der KTA über die Erprobung des Flab – Funkmessmessrates Würzburg, April 1945.

6) Combined Intelligence Objectives, SHAEF London, Institutes of the „Bevollmächtigter für Hochfrequenz-Forschung“ in Germany.

Flugfunk-Forschungsinstitut Oberpfaffenhofen, Prof. Dr. Max Dieckmann, Aus Hochfrequenztechnik und Flugfunk-Forschung.

IEE, London, Prof. Russel Burns, Radar Development to 1945

IEEE, Blumtritt, Petzold, Aspray, Tracking the History of Radar.

7) AFLF, A. Ettinger, Die Radartechnik hält Einzug bei den Fliegertruppen.

8) Eine Berechnung der Detektionsentfernung unter Annahme der oben aufgeführten Parameter gemäss der nachfolgenden (vereinfachten) Radargleichung ergibt tatsächlich eine Detektionsentfernung von nur ca. 86km.

$$R^4 = \frac{P_t G^2 \lambda^2 t}{(4\pi)^3 kT_s B_n}$$

R Entfernung

P_t Sendeleistung

G Antennengewinn

λ Wellenlänge

t Zielquerschnitt

(4π)³ Kugeloberfläche (zweimal)

kT_s eff. Empfänger - Rauschtemperatur

B_n Systems - Rauschbandbreite

9) SEV, 18. Hochfrequenztagung, M. Wildi, Die Unterdrückung der Standzeichen bei Radar, Anwendung des Dopplereffektes.

9a) Flugaufnahme der Radaranlage Bütschelegg vom 23.5.1958 der Schweizer Luftwaffe.

10) National Defense Research Committee, Massachusetts Institute of Technology, Board of Editors, Radiation Laboratory Series, Vol. 1 - 28

11) NDRC, Summary Technical Report of Division 15, Radio Countermeasurements during WWII.

12) Es wurden auch auszugsweise Informationen aus der Frühzeit der schweizerischen Radaraktivitäten aus dem im Bundesarchiv Bernein- gelagerten Dossier E5155 der KTA und Dossier E5460 des Kdo. der FF Truppen verwendet.