

Zur Geschichte der militärischen Radaranwendungen in der Schweiz Zweite Generation Frühwarnradars und Landeradar AN/MPN-5 Hans H. Jucker, Zielackerstrasse 7, 8603 Schwerzenbach

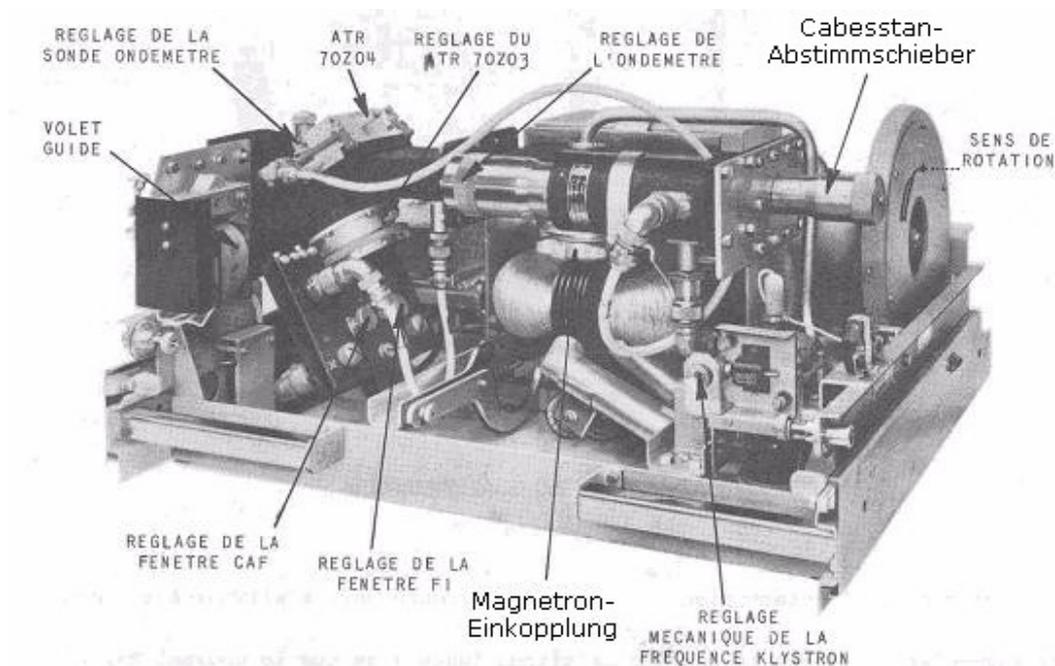
Bereits die ersten Erfahrungen auf den Versuchs- und Ausbildungsstandorten Bütschelegg und Dübendorf - Dürrbach zeigten, dass mit dem ER-220 Radarsystem die seinerzeit bei der Planung der Frühwarnradar - Organisation anvisierten Ziele bei weitem nicht erreicht werden konnten.

Die technischen Parameter die zu Beginn der frühen fünfziger Jahre der Entwicklung zu Grunde gelegt wurden, genügten nicht um die geforderte Systemleistung zu erbringen.

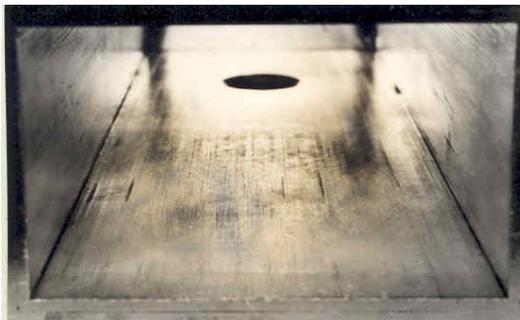
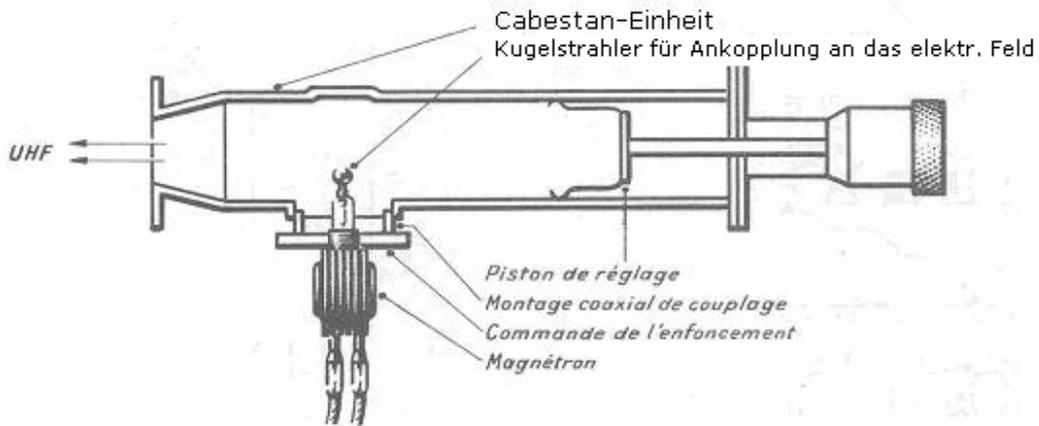
Zudem gab es anfänglich mit den Ausrüstungen beträchtliche funktionelle Schwierigkeiten welche erst nach und nach mit kostspieligen und zeitraubenden Modifikationsprogrammen behoben werden konnten.

Zu erwähnen sind in diesem Zusammenhange u.a. die Schwierigkeiten mit der Drehplattenlagerung der Antennensysteme sowie den noch vollkommen mechanischen Wippantrieben der Höhenfinder. Die Probleme konnten erst nach Jahren unter Beizug von in- und ausländischen Spezialfirmen unter Anwendung neuer und kostspieliger Technologien gelöst werden.

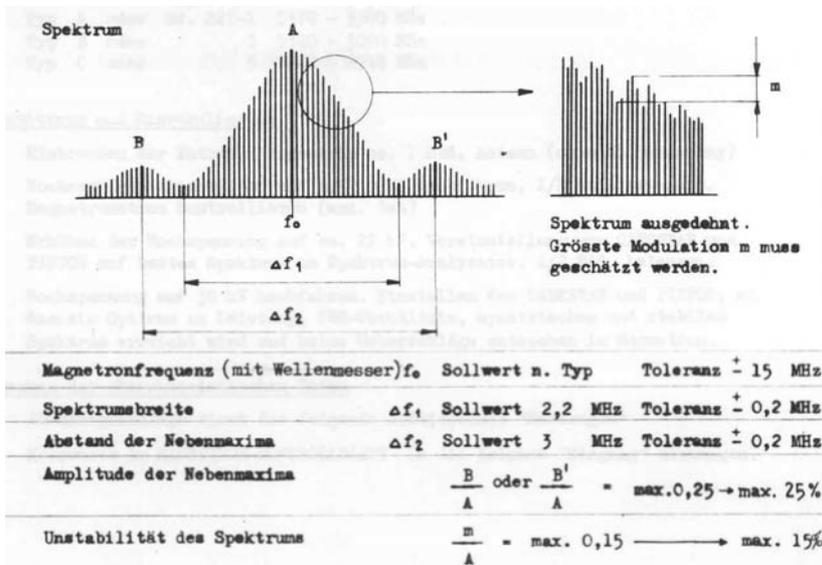
Weitere Schwachstellen welche sich zum Teil gravierend auf den Betrieb des SFR-Radarsystems auswirkten wies auch der Radarsender auf (siehe nachfolgende Figur).



Die mangelhaft gelöste Ankopplung der Magnetronröhre des Senders an die Wellenleiterübertragung die zur Antenne führte, verursachte immer wieder Ueberschläge an den Kontaktstellen der sog. Cabestan-Baugruppe (siehe Abbildung).



Die Ueberschläge verursachten Unstabilitäten im Senderspektrum, welche sich nachteilig auf die Standzeichenunterdrückung der MIT - Ausrüstung auswirkten. Zudem entstanden durch die Ueberschläge immer wieder Brandstellen im Cabestan-Teil (siehe Foto) welche aufwendigen Oberflächen-Behandlungen erforderten.



Die nebenstehende Figur zeigt das idealisierte Senderspektrum mit dem für einen einwandfreien MTI-Betrieb wesentlichen Parameter. Die geforderten Werte konnten oftmals nur durch sehr zeitaufwendige Abstimmarbeiten erreicht werden. Da diese Arbeiten nicht von der Truppe ausgeführt werden konnten, mussten hierzu erfahrene Spezialisten der Fachstelle zugezogen werden.

Das Original SFR Magnetron entsprach bezüglich Aufbau und Funktion noch ungefähr dem zu Beginn des Zweiten Weltkrieges von der Universität Birmingham entwickelten ersten Hochtast-Magnetrons, das während dem Zweiten Weltkrieg von der englischen GEC unter der Bezeich-

nung CV76 in grosser Anzahl fabriziert worden war. Relativ schnell zeichneten sich Engpässe bei der Nachbeschaffung der Magnetron-Röhren von SFR ab, so dass eine Ersatzlösung mit einem Alternativtyp der holländischen Philips gesucht werden musste. Trotz erheblichem Aufwand gelang es während der Nutzungsdauer der Systeme nicht, eine in allen Teilen zufriedenstellende Lösung für den SFR-Radarsender zu finden

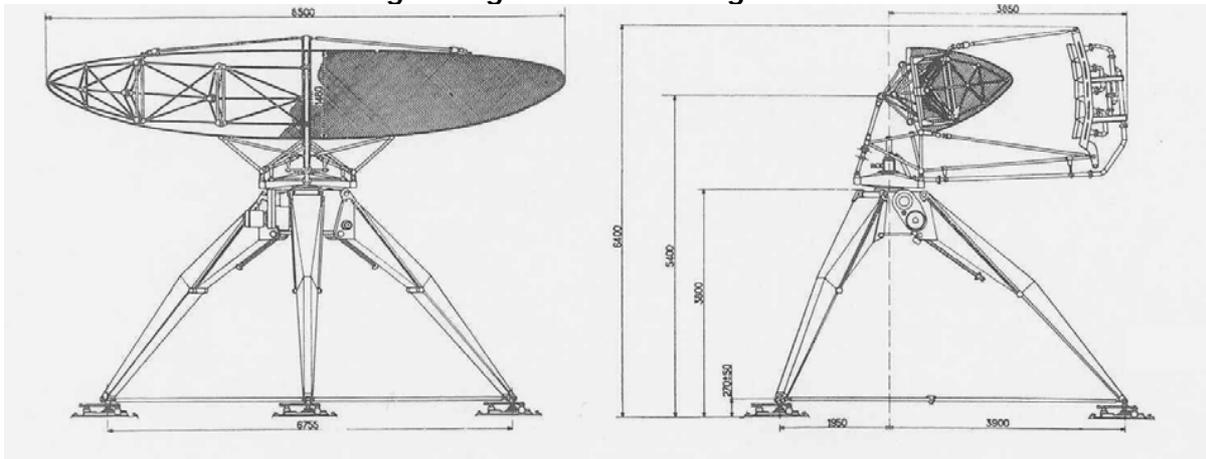
Ursprünglich war im Hinblick auf die Schwierigkeiten zum Erreichen der geforderten Radar - Ueberdeckung ab den Höhenstandorten die Einbindung zusätzlicher mobiler militärischer Radarsysteme als sog. „**radar coverage gapfiller**“ geplant. Die KTA beauftragte die Eidg. Konstruktions - Werkstätten in Thun mit dem Einbau einer ER-220 Radaranlage samt MTI - Ausrüstung in einen fahrbaren Schelker. Für diesen Prototyp wurde eigens eine mobile, motorisch zusammenfaltbare, TH.D. 213 Antenne von der Firma Thomson-Houston beschafft.

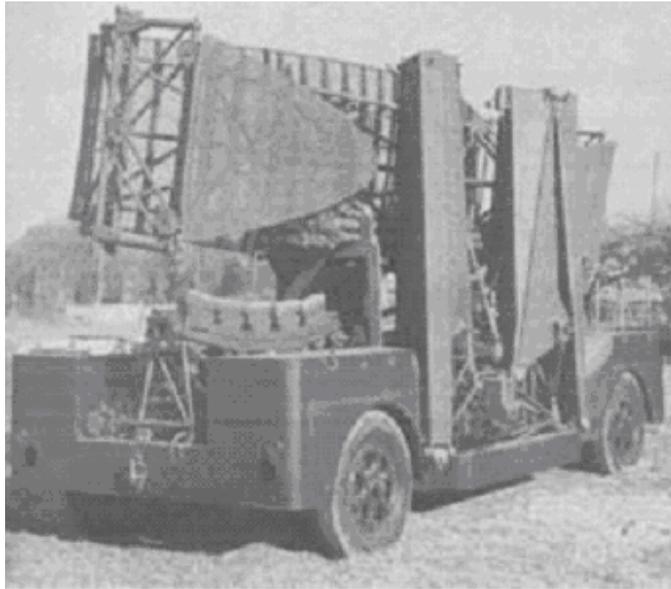


Die für den Frequenzbereich von 3300 ± 100 MHz ausgelegte TH.D. 213 Antenne wies eine azimutale Halbwertsbreite von 0.8° auf und der vertikale Strahlungsfächer entsprach bereits einer Coscant² Charakteristik mit über 30° Öffnungswinkel. Der Antennengewinn betrug 36 dB wobei die ersten Seitenkeulen allerdings nur ca. 22 dB unter dem Niveau der Hauptkeule lagen. Zu bemerken ist allerdings, dass die Leistung der ER-220 Radarsender bei weitem nicht ausreichte, um die im stark erweiterten Strahlungsfächer erforderliche Leistungsdichte für eine vernünftige Radarerfassung zu erzeugen.

Die Antennenrotation erfolgte durch einen polumschaltbaren Drehstrommotor wahlweise mit 2.5 oder 5 U/min. Die Antenne konnte durch eine für die damaligen Verhältnisse beinahe geniale Konstruktion motorisch abgesenkt und für den Transport zusammengefaltet werden.

Die nachstehende Figur zeigt die Abmessungen der TH.D. 213 Antenne





Das nebenstehende Foto zeigt die TH.D. 213 Radarantenne (**oder La Sauterelle - die Heuschrecke wie die Franzosen diese auch nannten**) in zusammengelegtem Zustand, transportbereit auf dem Spezialanhängerverladen. Die Konstrukteure der Compagnie Française Thomson- Houston waren nicht wenig stolz auf die gelungene zusammenklappbare Antenne mit dem Spezialanhänger

Im Jahre 1958 wurden mit diesem Prototyp-Mobilsystem und einem für die Beschaffung vorgesehenen AN/TPS-1 Radar (dem späteren Ziel – Zuweisungsradar ZZW der Flab) Feldversuche in Dübendorf durchgeführt. Von einem temporären Standort auf dem Wangenerberg wurden mit den beiden Systemen Messflugreihen mit verschiedenen Flugzeugtypen zum Vergleich der Radarerfassung durchgeführt. Die Flugzeuge hatten dabei in verschiedenen Höhen auf einer in Ost - West Richtung verlaufenden Messpiste zwischen Dübendorf - Delsberg weg- und wieder anzufliegen.

Die Resultate zeigten eine gewisse Ueberlegenheit des aus den USA beschafften AN/TPS-1 Radars, sie verliefen jedoch gesamthaft unbefriedigend. Namentlich beim Erfassen und Verfolgen von Flugzielen über den Standzeilen Gebieten des aargauischen Heitersberg sowie über den Höhenzügen des Juras ergaben sich grosse Lücken in der Radarerfassung, obwohl sich das Messflugzeug im Bereich der optischen Ueberdeckung befand.¹⁾

Infolge der noch ungenügenden Technik musste daher zum damaligen Zeitpunkt von der Realisierung des geplanten Vorhabens zur Verbesserung der Radarüberdeckung und Tiefflieger - Erfassung abgesehen werden. Der Wunsch nach einem funktionierenden Tiefflieger - Radarsystem konnte erst in den späten achtziger Jahren mit der Einführung des TAFLIR - Radarsystems erfüllt werden. Auf Grund der inzwischen gesammelten praktischen Erfahrungen liessen sich nun die einsatztechnischen Grenzen der Ausrüstung der ersten Generation Frühwarn - Radars klar erkennen. Im Hinblick auf die ursprünglich geforderten, jedoch nicht erreichten Zielsetzungen, begann man sich bereits in der zweiten Hälfte der fünfziger Jahre Gedanken über den weiteren Ausbau der Luftüberwachung mit technisch leistungsfähigeren Systemen zu machen.

Auf Grund der sich anbahnenden Wiederbewaffnung in der Bundesrepublik Deutschland hatte sich die restriktive Haltung der amerikanischen Regierung bezüglich dem Exporten von Radarausrüstungen nach Europa etwas gelockert.

Beschaffung der AN/MPN-5 Landeradaranlagen

Bereits im Jahre 1954 gelang es daher der Schweiz über Verbindungen zur US Air Force, drei Landeradar - Anlagen vom Typ AN/MPN-5 für die schweizerische Flugwaffe zu beschaffen. Die AN/MPN-5 Anlagen befanden sich damals bei der US Navy gerade in Erprobung. Da der Kauf unter hohem Zeitdruck weitgehend auf Grund persönlicher Kontakte, ohne die sonst bei militärischen Beschaffungen üblichen Vorabklärungen erfolgte, fehlten die für den Einsatz erforderlichen Hilfsausrüstungen und logistischen Voraussetzungen.

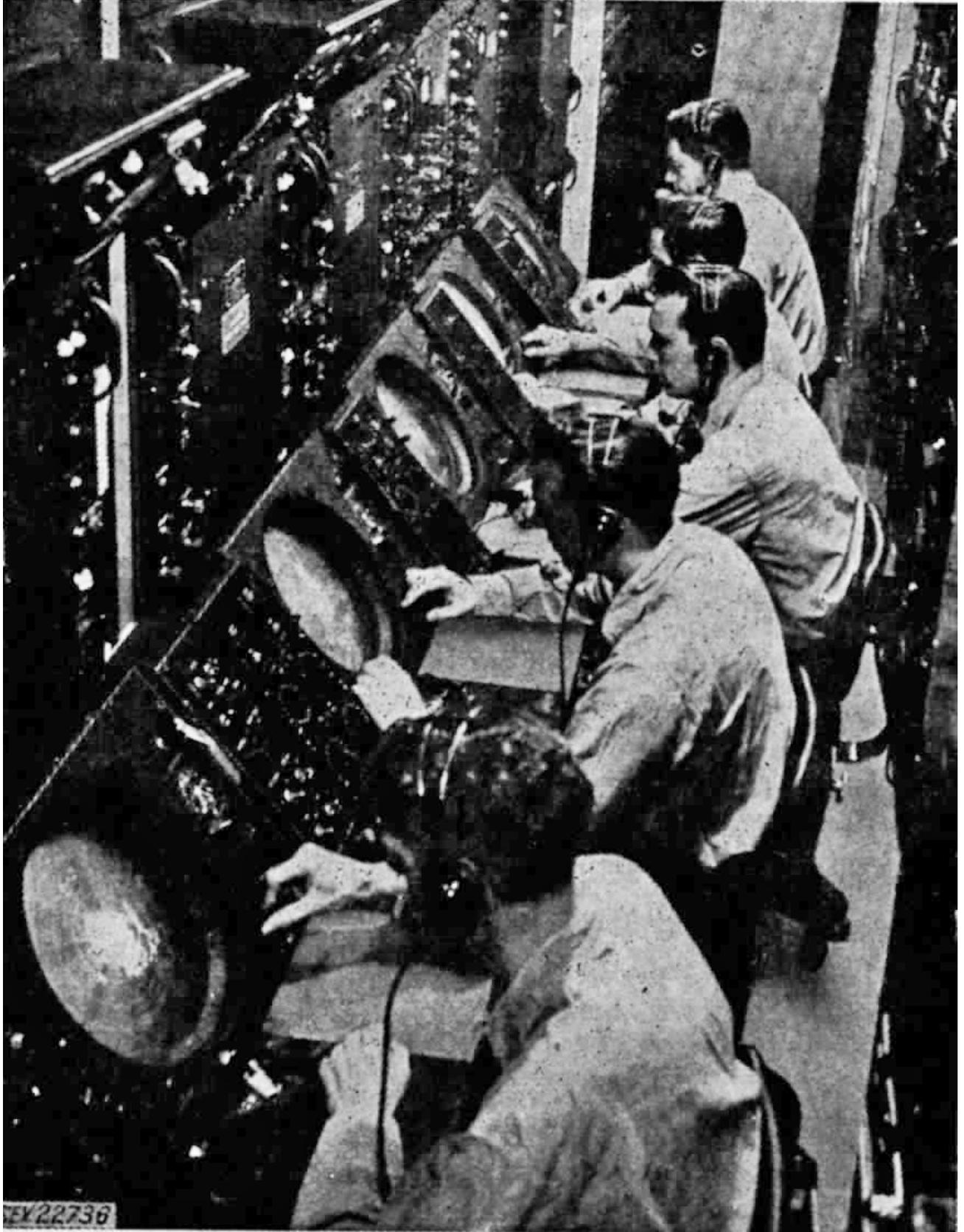
Die drei Anlagen mussten daher zuerst nachgerüstet und die für den Betrieb notwendigen baulichen Infrastrukturen erstellt werden. Zudem war es erforderlich, dass die schweizerische Unterhaltinstanz durch Spezialisten der Herstellerfirma in die gegenüber den ersten Frühwarnradars wesentlich komplexere Technologie eingeführt wurde.



Das Foto zeigt eine der drei im Januar 1955 aus den USA angelieferten Radaranlagen AN/MPN-5 in ihrer ursprünglichen Form. Die AN/MPN-5 Anlagen ermöglichten die Radarüberwachung des Luftverkehrs im Flugplatzkontrollbereich und die Radarführung der Flugzeuge im Landeanflug, den sog. „Ground Controlled Approach“ (GCA) bei ungenügender Bodensicht. Die Anlage beinhaltete für diese Aufgaben ein Rundsicht radar „Surveillance Radar Equipment“ (SRE) sowie zwei Präzisionsradars „Precision Approach Radars“ (PAR) für die dreidimensionale Positionsvermessung von Flugzeugen auf dem Gleitpfad während dem Landeanflug. Die Anweisungen an die Piloten wurden per Funk übermittelt, zu diesem Zweck beinhaltete die AN/MPN-5 Anlage auch die erforderlichen Funkeinrichtungen für den direkten Kontakt mit den Flugzeugen. Bei schlechter Sicht wurde der Pilot durch Korrekturanweisungen des Flugwegkontrolleurs auf dem Gleitpfad bis zum Aufsetzen auf der Landebahn **„heruntergesprochen“**.

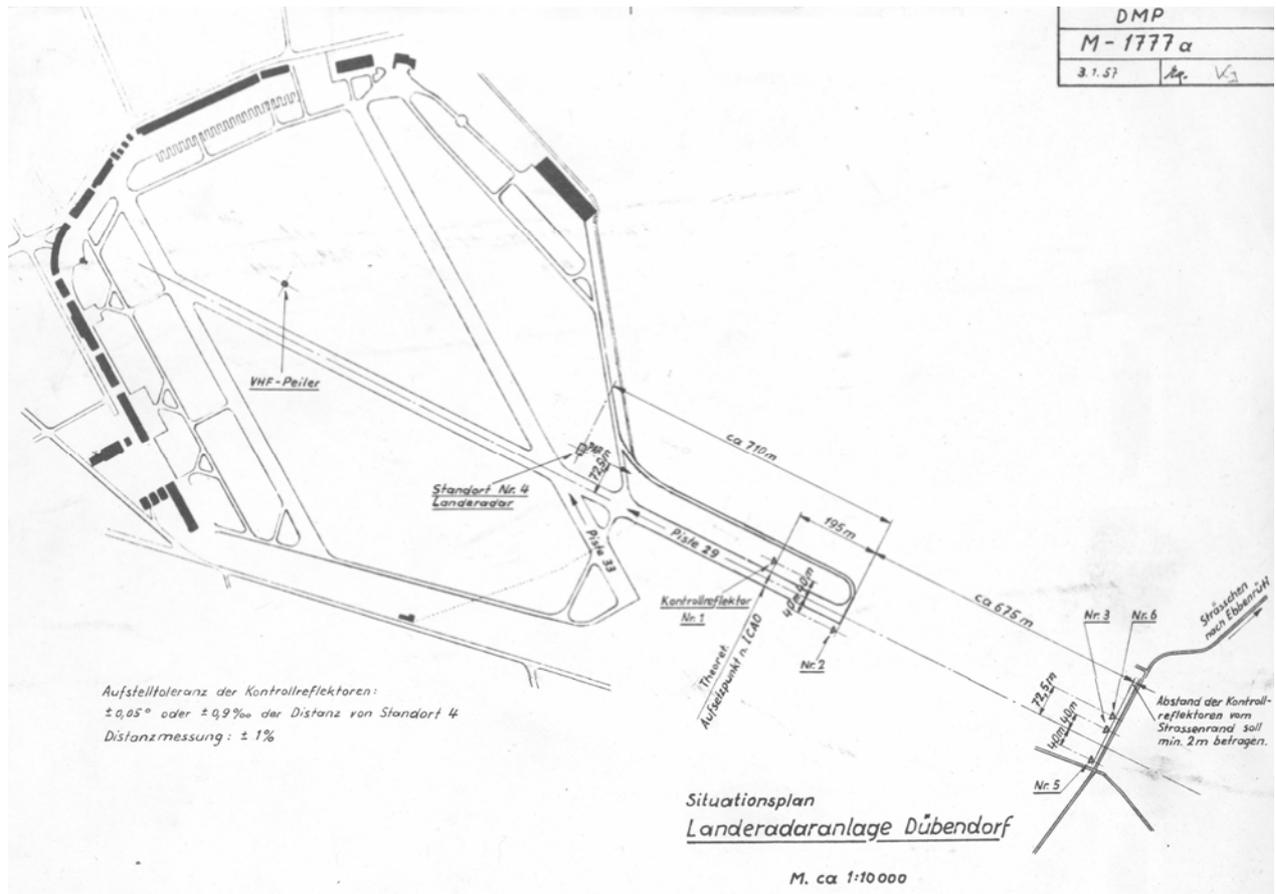
AN/MPN-5 Radarshelter in betriebsmässiger Konfiguration

Die beiden vorderen sind SRE die beiden hinteren PAR Arbeitsplätze, der mittlere normalerweise leer kann sowohl als SRE oder PAR Arbeitsplatz ausgerüstet werden.



Erst nach erheblichen Anfangsschwierigkeiten konnten diese AN/MPN-5 Landeradaranlage ab Mitte 1957 auf dem Militärflugplatz Dübendorf und etwas später auf den Flugplätzen Payerne und Emmen für den militärischen Flugsicherungs-Dienst eingesetzt werden.²⁾

Der nachstehende Situationsplan zeigt die seinerzeitige Installation der AN/MPN-5 Anlage auf dem Militärflugplatz Dübendorf. Die Aufstellung der Anlage ermöglichte ein vom Boden kontrollierter Anflug aus südöstlicher Richtung für die Landung auf der Landebahn 11/29. Der geführte Anflug begann in einer Entfernung von 18.5 km vor dem Aufsetzpunkt in einer Flughöhe von 1750 Meter über Meer.

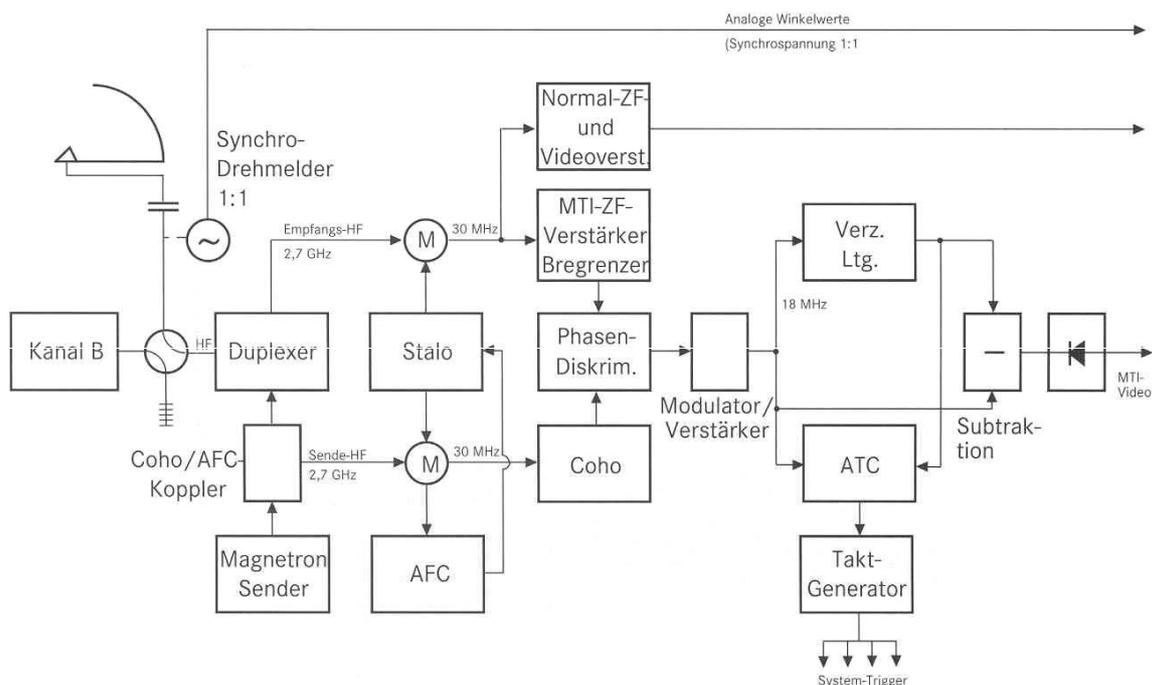


Obwohl es sich bei diesen AN/MPN-5 Anlagen eher um ein ziviles Flugsicherungssystem handelte, kamen hierbei im Vergleich zu der als erste Generation der militärischer Frühwarn-Radarsystem eingeführten französischen ER-220 Anlage, bereits wesentlich fortgeschrittene Technologien zur Anwendung. Die AN/MPN-5 Anlage enthielt ca. 5000 der damals modernsten Miniaturröhren und verfügte bereits über analoge Rechenfunktionen. Das GCA - Landeverfahren war während des zweiten Weltkrieges durch die von Dr. Alvarez geleiteten Gruppe, im Radiation Laboratory an der MIT- University Boston, entwickelt worden. Allgemein bekannt wurde das Verfahren allerdings erst in den Nachkriegsjahren durch die Einsätze für die Luftbrücke der Alliierten, während der russischen Blockade von Berlin.

Das AN/MPN-5 System war eine von der Firma Bendix in Baltimore in Zusammenarbeit mit dem Laboratory for Electronics (LFE) in Boston mehrfach weiterentwickelte Version der im Zweiten Weltkrieg eingesetzten AN/MPN-1 Landeradaranlage.

Das Rundsichtradar oder „Surveillance Radar Equipment“ (SRE) in Englisch, war für einen Anzeigebereich von 50 Nautical Miles ausgelegt. Die Reichweite sollte gegen ein 10 m^2 Ziel theoretisch etwa 100 km betragen. Das Cossec² Erfassungsdiagramm der Antenne lieferte eine konstante Höherfassung von 5 km zwischen Horizont und etwa 20° Elevation.

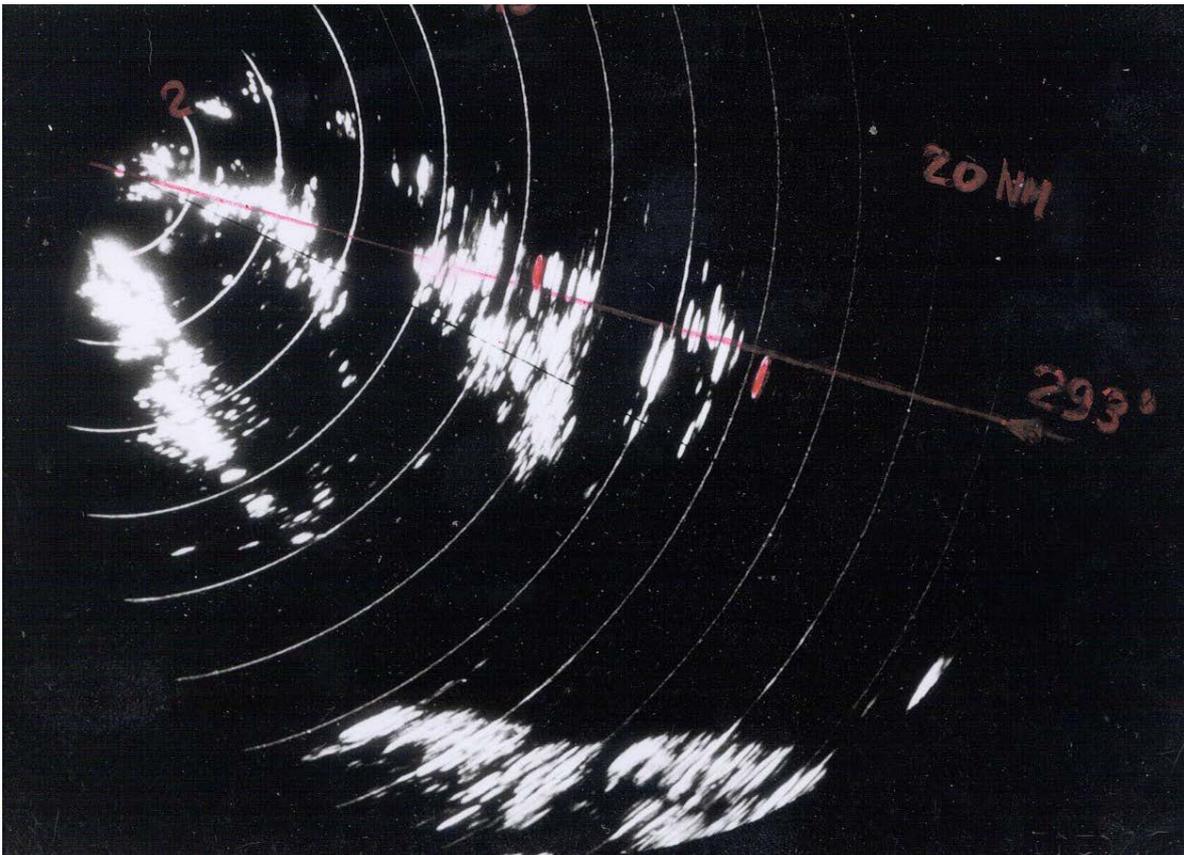
Die Antennendrehzahl von 15 U/min entsprechend einer Antennenumlaufzeit von 4 s war recht hoch gewählt dementsprechend war die azimutale Bündelung und Auflösung mit 2.5° nicht sonderlich hoch, der Antennengewinn betrug 36 dB. Das Rundsichtradar war abgesehen von Antenne, Drehkupplung, Antrieb zweikanalig ausgelegt, d.h. Sender, Empfänger, Netzgeräte waren doppelt vorhanden. Beim Ausfall eines Sende- oder Empfangs-Kanals konnte binnen 10 Sekunden auf den „vorgeheizten“ Reservekanal umgeschaltet werden. Vom Grundkonzept her war die SRE Anlage ein empfangskohärentes Radar mit MTI - Verarbeitung zur Standzeichenlöschung. Die SRE Anlage siehe das nachstehende Blockscheema war vollständig in Röhrentechnik aufgebaut:



Der Laufzeitkettenmodulator steuerte mit einem 5C22 Wasserstoff-Thyratron den Sender an, welcher mit einem im Frequenzbereich von 2700 – 2900 MHz abstimmbaren 5586 Magnetron bestückt war. Die Spitzenleistung betrug ca. 350 kW bei einer Impulsdauer von 0.8 μs , was bei einer Folgefrequenz von 1200 Hz einer mittlere Leistung von etwa 400 Watt entsprach. Als Ueberlagerungssoszillator für die Abmischung auf die Zwischenfrequenz von 30 MHz diente ein stabiler Lokoszillator (STALO), bestehend aus einem Topfkreis hoher Güte mit einem 2K42 Reflexklystron als Oszillator. Das Frontende des Empfängers bestand aus einem einfachen Diodenmischer, ohne UHF Vorverstärker, die Rauschzahl betrug dementsprechend noch ca. 12 – 14 dB.

Die SRE Anlage verfügte bereits über eine Festzielunterdrückung (MTI), deren relativ bescheidene Subclutter – Visibilität für eine lückenlose Zieldetektion über den von starken Standzeichen belasteten Anflugsektoren der Flugplätze Düben-
dorf und Emmen eher schlecht als recht ausreichte.

Mit dem Rundsuchradar wurden die Flugzeuge an den Ausgangspunkt des Landeanfluges geführt. Das nachstehende Foto zeigt das „dezentrierte“ Radarbild des Rundsuchradars mit dem südöstlich des Flugplatz Düben-
dorf gelegenen Anflugsektor. Die rote „Centerline“ entspricht der verlängerten Achse von Landepiste 11/29. Neben der „Centerline“ erscheint in einer Distanz von ca. 16 NM das rot markierte Radarecho der oberhalb dem Rickenpass gelegenen Tweralp-
spitze welche eine Höhe von 1'340 Meter aufweist.

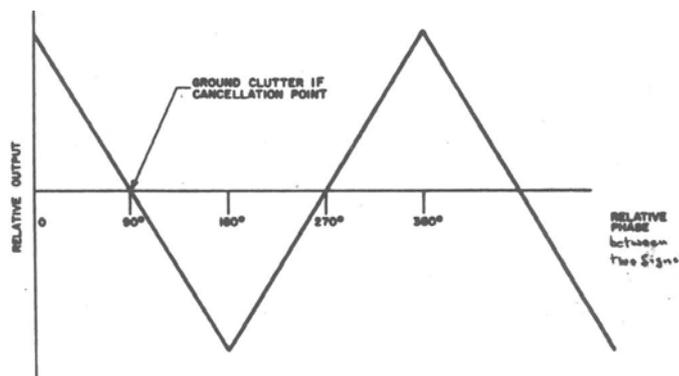


Da auch die Erfassungswahrscheinlichkeit für kleine Radarziele wie zB die Düsen - Jäger De Havilland **DH 100 Vampire** und **DH112 Venom** bei den gängigen Anflugverfahren bei welchen eine Radarführung aus Entfernungen bis ca. 30 NM notwendig war, sich eher als problematisch erwies, wurde zu Beginn der 60er Jahre die Verbesserung der SRE Anlage unumgänglich. Im Jahre 1964 konnte vom Hersteller Bendix Radio Corporation in Baltimore MD, ein „Modification - Kit“ für den SRE Teil der AN/MPN-5 Anlagen beschafft werden, das nachfolgende Verbesserungen versprach:

- Parametrischer Empfänger - Vorverstärker zur Verbesserung der Empfängerempfindlichkeit, was eine Erhöhung der Reichweite bei der Zielerfassung versprach.
- Neuer STALO mit erhöhter Phasenstabilität zur Schaffung der Voraussetzungen für die Verbesserung der Festzielunterdrückung mit einem neuen ZF - MTI.
- ZF - MTI des Unterlieferanten Hazeltine zur Verbesserung der Festzielunterdrückung.

Basierend auf den Erfahrungen mit dem AN/APS-95 Radar des Frühwarnflugzeuges Lockheed EC-121H (ein Vorläufer der späteren AWACS Flugzeuge) hatte die Firma Hazeltine ein neuartiges MTI - System entwickelt bei dem die Festzielunterdrückung bereits im Zwischenfrequenzteil (ZF) des Radarempfängers erfolgte, anstelle wie bei den konventionellen MTI Systemen erst im Videoteil. Der Vorteil des ZF MTI's lag darin, dass sich durch ein sinnreiches Servosystem die relative Phase der Festzielsignale in ein Gebiet der Phasendetektor Charakteristik gesteuert wurde in dem kein Ausgangssignal resultierte und demzufolge eine Auslöschung erfolgte.

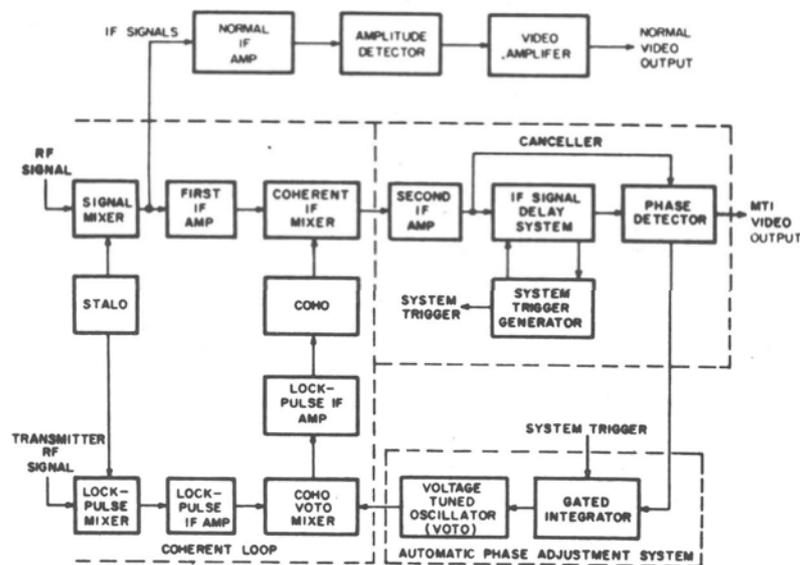
Die Steuerung der Phase erfolgte durch ein Korrektursignal das durch die zeitliche Integration von den Festzielen abgeleitet wurde. Mit dem Korrektursignal wurde ein „Voltage Tuned Oscillator“ (VOTO) in der Frequenz verändert. Das in den ZF Kreis zurückgeführte VOTO Signal bewirkte, dass die aus Festzielgebieten stammenden ZF-Signale im Phasendetektor ausgelöscht wurden. Die Echosignale von Flugzeugen hingegen weisen bedingt durch die Dopplermodulation eine ständig wechselnde relative Phase auf und durchlaufen den Phasendetektor ohne Auslöschung. Die nachstehende Figur zeigt die idealisierte Charakteristik eines Phasendetektors, beim ZF-MTI werden die Festzielsignale durch den VOTO Servokreis in das Gebiet von 90° relativer Phase gesteuert, bei dem kein Ausgangssignal resultiert und damit eine Auslöschung erfolgt.



Beim "Voltage Tunable Oscillator" (VOTO) handelte es sich um einen 11 MHz Quarzoszillator dessen Frequenz durch die Korrekturspannung des Servokreises um ± 7.5 kHz variiert werden kann. Das in der Frequenz variable Signal des VOTO's bewirkt durch die Rückführung auf den kohärenten Oszillator (COHO) eine automatische Nachsteuerung der relativen Phase des ZF - Signals. Die Phasensteuerung erfolgt mit einer Genauigkeit von $\pm 1.8^\circ$, die daraus resultierende Festzielunterdrückung liegt theoretisch in der Größenordnung von 40 dB.

Wie bereits erwähnt wurde im Rahmen des Modifikationsprogramms auch der Ueberlagerungoszillator für die Abmischung auf die Zwischenfrequenz von 30 MHz ersetzt. Der ursprüngliche Klystron - Stalo welcher sich als sehr temperaturabhängige kritische Schwachstelle beim Einsatz der SRE Anlage im täglichen Flugsicherungsbetrieb erwiesen hatte, wurde durch einen stabileren STALO bestehend aus einem Topfkreis und einer 2C40 Scheibentriode als Oszillatorröhre ersetzt.

Die nachstehende Figur zeigt das Blockschema des Hazeltine ZF - MTI



Mit dem „Modification - Kit“ für den SRE - Teil konnten die AN/MPN-5 GCA Anlagen soweit verbessert werden, dass diese bis Ende der 1980er Jahre den Anforderungen für die Schlechtwetterlandungen im Flugsicherungsbetrieb genügten. Mit Messflügen wurden nachfolgende Reichweiten und Höhererfassungen für eine 80% Erfassungswahrscheinlichkeit ermittelt:

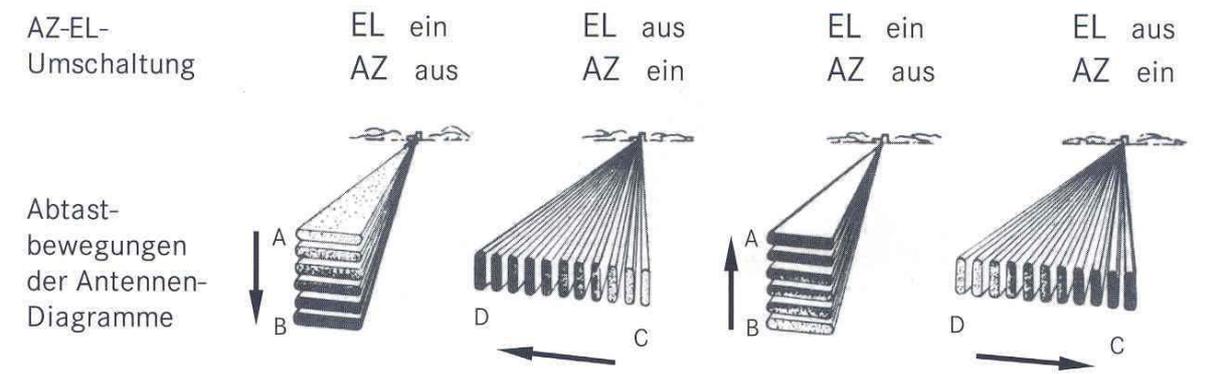
gegen 1 m² Ziel: 30 NM/18'000 ft bzw 55 km/5'500 m

gegen 10 m² Ziel: 50 NM/32'000 ft bzw 98 km/9'800 m

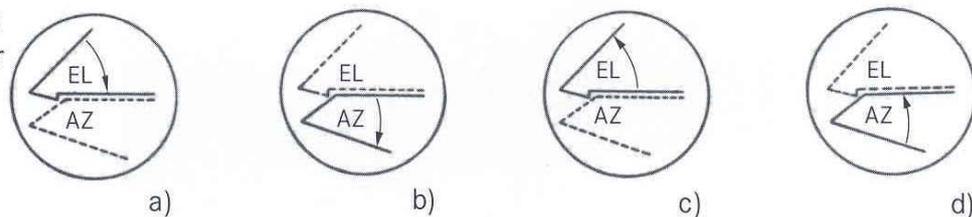
Die AN/MPN-5 Anlage war das erste Radarsystem das im militärischen Flugsicherungsbetrieb der schweizerischen Fliegertruppe zur Anwendung kam. Das operationelle Personal musste in der Folge von Grund auf neu ausgebildet und das Einsatzkonzept für die Anlagen erst stufenweise erarbeitet werden. Zudem mussten die Piloten für die neuen vom Boden aus geführten Anflugverfahren erst ausgebildet und anschliessend periodisch trainiert werden. Hierzu mussten die minimalen Anforderungen bezüglich des Ausbildungsstandes der Piloten sowie die wettermässigen Voraussetzungen für die Benützung des radarunterstützten Landeverfahren erst ermittelt und anschliessend reglementarisch festgelegt werden.

Eine Protokollierung der Signale auf den Anzeigegeräten nach Distanz, Abweichung vom Sollflugweg und Signalstärke wäre speziell im Hinblick auf spätere Untersuchungen bei speziellen Vorkommnissen oder Unfällen sehr wünschenswert gewesen. Da diese Mittel für eine elektronische Aufzeichnung in den 50er Jahren noch nicht vorhanden waren, wurden Versuche mit der photographischen Erfassen der Signale von den Bildschirmen durchgeführt. Die Resultate waren einigermassen befriedigend. Durch eine Belichtung des Filmes während der gesamten Zeit der Flugmission oder des Anfluges konnte der Flugweg kontinuierlich aufgezeichnet werden, Voraussetzung war allerdings, dass die Aufnahme im abgedunkelten Raum erfolgte. Auf diese Weise war es möglich die Aufnahme des Fluges später auszuwerten und Aufschluss bezüglich Abweichungen vom Sollflugweg sowie der Signalstärke zu erhalten.

Das Präzisionsanflugradar „Precision Approach Radar“ (PAR) arbeitete im X-Band bei etwa 3.3 cm Wellenlänge und diente dazu, ein auf dem Gleitpfad im Landeanflug befindliches Flugzeug sehr genau nach Entfernung, Seite und Höhe zu vermessen. Hierzu wurden zwei senkrecht zueinander angeordnete Antennen (Azimut- und Elevationsantenne) verwendet. Die Azimut - Antenne vollführt mit ihrem in der Azimut Ebene scharf gebündelten Diagramm eine links – rechts, die Elevations - Antenne mit einem in der Elevations Ebene scharf gebündelten Diagramm eine Nickbewegung. Das Abtastschema geht aus nachfolgender Figur hervor. Ein voller Abtastzyklus dauerte ca. 1 Sekunde.



Schreibstrahlbewegungen auf Sichtrohr



Die Darstellung des 10 NM (18.52 km) Bereiches erfolgte auf einer 12 Zoll Bildröhre. Zwecks Erhöhung der Darstellungs - Genauigkeit im Nahbereich wurde eine logarithmische Zeitachse gewählt.

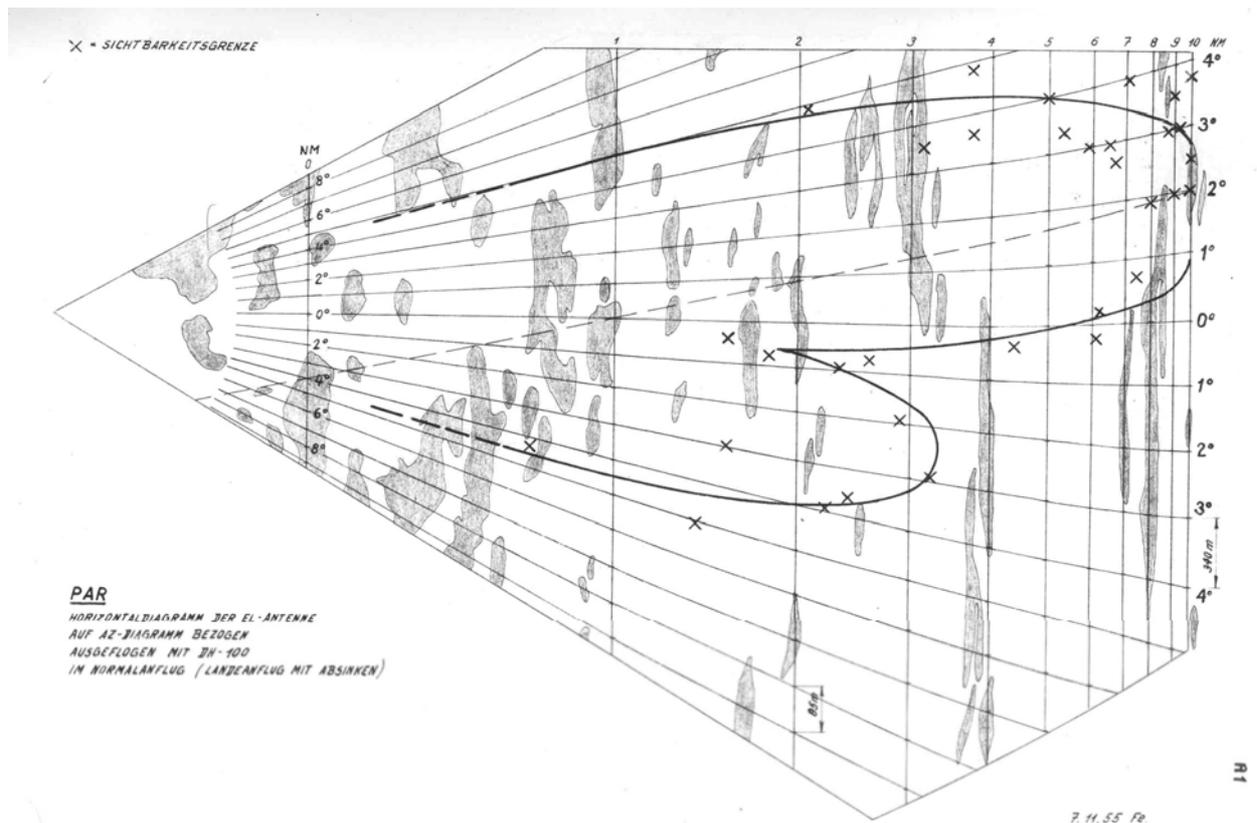
Da bei logarithmischer Entfernungs- und lineare Höhendarstellung die eingeblendeten Winkellinien und insbesondere der Gleitpfad stark gekrümmt erscheinen, wurde eine doppelt logarithmische Darstellung sowohl für Azimut wie Elevation gewählt. Dies ermöglichte eine lineare Abbildung von ursprungsbezogenen Winkeln und eine beinahe lineare Darstellung des Gleitpfades.

Die Azimut Antenne tastete den Raum im Bereich von $\pm 10^\circ$ ab, die max. Breite des Sichtbereiches von 20° reichte allerdings nur bis ca. 1 NM vor dem Aufsetzpunkt. Bei 10 NM betrug der Sichtbereich nur noch ca. 9° entsprechend einer Breite von ca. 3000 Meter.

Die horizontale Ausdehnung des Sichtbereiches der Elevationsantenne überdeckte zudem nur einen kleinen Teil des Sichtbereiches der Azimut Antenne, sie erfasste nur eine maximale Breite von ca. 800 Meter. Die Betriebserfahrungen zeigten, dass dieser schmale Bereich gewisse Probleme im Betrieb verursachte.

Selbst wenn ein Flugzeug relativ wenig von der Mittelachse abwich, erschien es nicht mehr auf der Elevationsdarstellung. Durch eine Modifikation mit der die seitliche Blickrichtung der Elevationsantenne von den PAR – Beobachterplätzen aus verändert werden konnte, wurde dieser Schwachpunkt für den Betriebseinsatz verträglich gelöst.

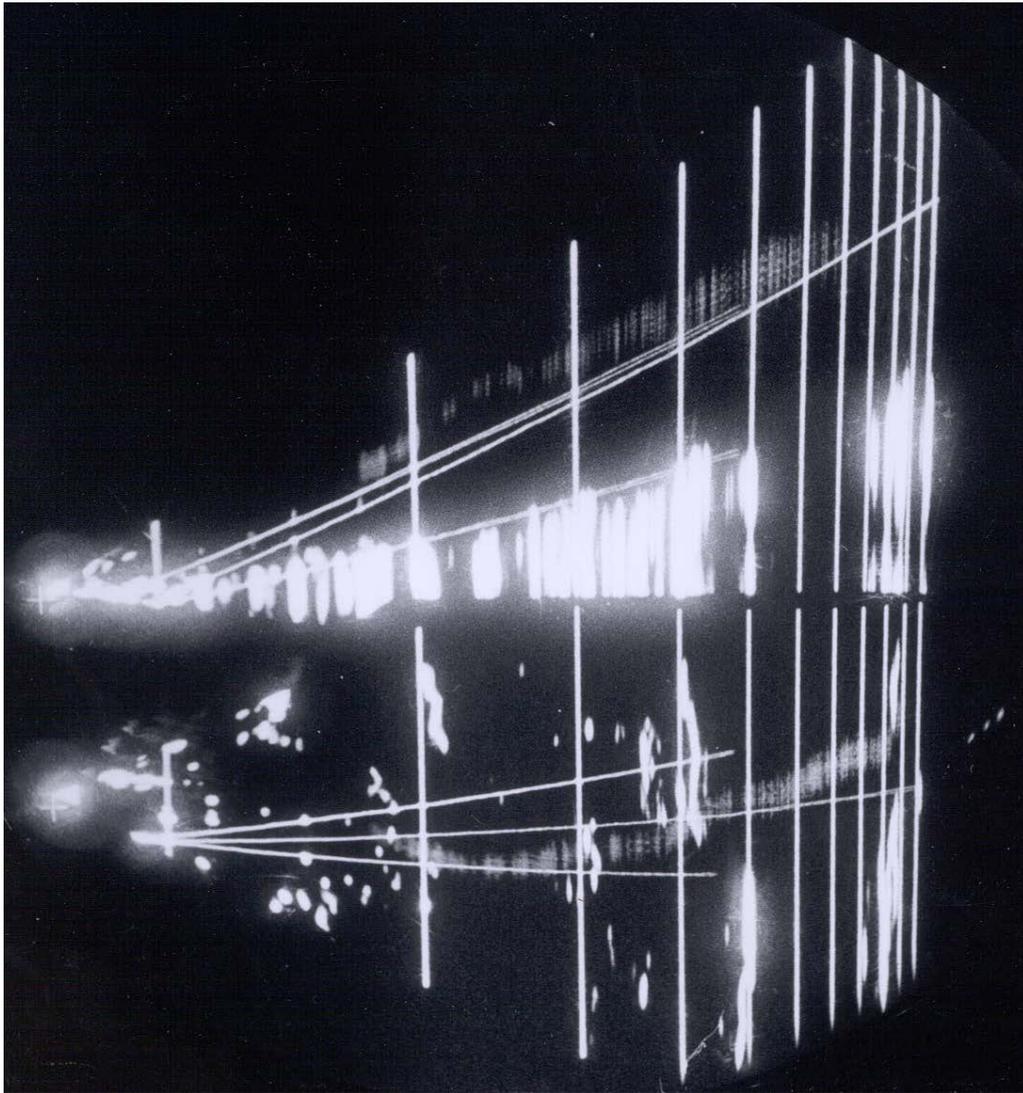
Die nachstehende Figur zeigt den seitlichen Erfassungsbereich der Azimut- und der Elevationsantenne.



Zur Erzielung einer guten Darstellung – Genauigkeit wurden auf dem Bildschirm die beiden Abtastsektoren von 20° im Azimut und 7° in der Elevation gespreizt abgebildet.

Das Foto auf der nächsten Seite zeigt das PAR – Radarbild während dem Landeanflug eines Flugzeuges, wie bereits vorgängig erwähnt musste der Film dabei während der gesamten Anflugzeit belichtet werden, dies erklärt die Ueberbelichtung der bei jeder Abtastung an der gleichen Stelle erscheinenden Bodenechos.

In der oberen Bildhälfte ist der Abtastsektor des Elevation - Radars und in der unteren Bildhälfte derjenige des Azimut - Radars sichtbar. Der logarithmisch dargestellte Entfernungsbereich beträgt 10 NM (18.52 km). Die mittlere der drei in der Elevationsdarstellung eingblendeten Linien entspricht dem **Soll - Gleitpfad von 4 Grad**. In der Azimut Darstellung entspricht die mittlere Linie der verlängerten Achse der Landepiste. Sowohl in der Elevations- wie auch in der Azimut- Darstellung ist das Radarecho des anfliegenden Flugzeuges gut zu erkennen.



Die Genauigkeit der Abtastwinkel - Uebertragung zwischen den Antennen und dem Anzeigergerät (mechanisch und elektrisch) lag bei 0.02° für den Azimut und 0.01° für die Elevation. Für die Winkelwertübertragung von den Antennen auf die vertikalen Ablenkstufen der Sichtgeräte wurden Präzisionspotentiometer verwendet, die über spielfreie Zahnradübersetzungen mit den Antennendrehachsen gekoppelt waren.

Das nebenstehende Foto zeigt eines dieser Präzisionspotentiometer in geöffnetem Zustand wie sie für die Winkelübertragung von den Azimut- und Elevations- Antennen der PAR Anlage auf die Ablenkstufe der Anzeigeräte verwendet wurden.

Der Genauigkeitsverlust durch das vorgeschaltete Getriebe wurde mit gegeneinander verspannten Zahnrädern auf max. 0.005° begrenzt. Die Lebensdauer der Potentiometer war erstaunlich hoch, diese wurden normalerweise nur im Rahmen der grossen jährlichen Wartungsarbeiten ersetzt. Es handelte sich um ein damaliges High Tech Produkt der Firma Technology Instrument Corporation aus Acton MA U.S.A.



Das „Laboratory for Electronics“ (LFE) in Boston, wurde nach dem Zweiten Weltkrieg von ehemaligen Mitarbeitern der Alvarez-Gruppe des MIT Radiation Laboratory gegründet. Bei der Weiterentwicklung des Verfahrens zum AN/MPN-5 System, zu Beginn der fünfziger Jahre, lag die Verantwortung für den Präzisionsradarteil beim LFE. Für das im X - Band bei etwa 3.3 cm Wellenlänge arbeitende Azimut- und Elevationsradar wurden die damals modernsten erhältlichen Baugruppen verwendet.



Sylvania 5C22 Wasserstoff-Thyratron

Heizung 6.3 Volt, 5.9 - 6.7 Ampère

Max. Anodenspannung während Impuls 16 kV

Max. Anodenstrom während Impuls 325 Ampère

Max. Impulsleistung in Last ca. 2500 kW

Max. PRF > 10 kHz

Entwicklung in den 40er Jahren in den USA

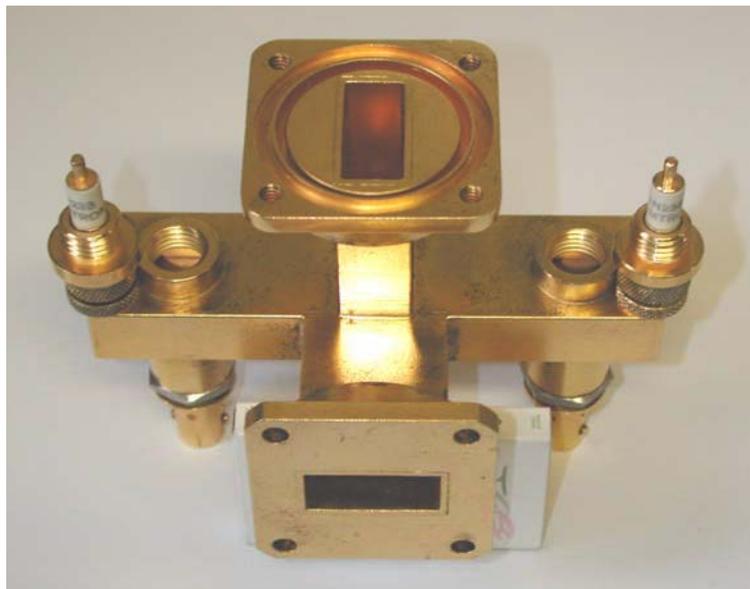
Die beiden Sender für die Azimut- und Elevation - Vermessung wurden wiederum wie schon bei der SRE Anlage durch Laufzeitkettenmodulatoren mit einem 5C22 Wasserstoff - Thyatron getastet. Das erste 5C22 Wasserstoff - Thyatron wurde seit 1948 vom Evans Signal Laboratory in Belmar N.J. hergestellt.

Die Sender waren mit 2J51 Magnetron der Firma Raytheon bestückt und arbeiteten im Frequenzbereich von 9000 – 9250 MHz.



Das 2J51 Magnetron mit dem integralen Magnet ist für eine max. Impulsleistung von 50 kW ausgelegt. Auf dem Foto ist das Schneckengetriebe für die Frequenzeinstellung im Bereich 8500 – 9500 MHz ersichtlich. Beim Einsatz in den beiden AN/MPN-5 PAR Sendern wurde das 2J51 Magnetron mit einer PRF von 2400 Hz bei einer Impulsdauer von 0.25 μ s betrieben. Die dabei erzeugte Spitzenleistung betrug ca. 35 kW. Im Betrieb wurde die Heizspannung automatisch abgeschaltet und das Magnetron nur mit der HF – Rückheizung betrieben.

Für den Empfängereingänge kam bereits ein auf einem sogenannten „**Magic Tee**“ basierenden Gegentaktmischer (siehe nachstehende Foto) mit 1N23B Mischdioden zur Anwendung, die damit erzielte Rauschzahl lag bei 12 dB, sie stellte für X - Band Radarempfänger zu Beginn der fünfziger Jahre eine technische Spitzenleistung dar.



Für den Überlagerungs-Oszillator (STALO) zur Abmischung der reflektierten Empfangssignale auf die Zwischenfrequenz griff LFE zu einem kurz vorher bei der Firma Varian in Palo Alto für Laborzwecke entwickelten Prototyps eines neuartigen Reflexklystrons (siehe nachstehende Foto).

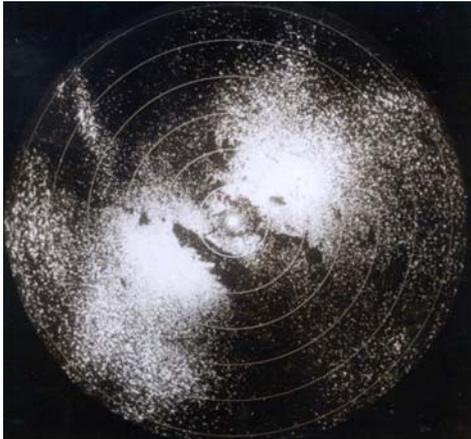


Die unter der Bezeichnung X-13 figurierende Prototyp - Röhre wies gegenüber ihren Vorgängern aus der Zeit des zweiten Weltkrieges eine wesentlich erhöhte Leistung und eine verbesserte Linearität des elektronischen Abstimmbereiches auf und ermöglichte dadurch eine einwandfrei arbeitende Mischung und eine hervorragende automatische Frequenzstabilisierung.

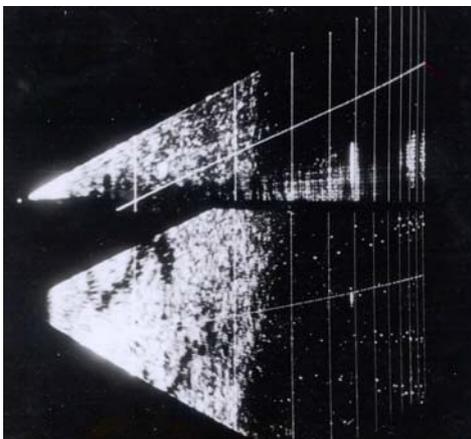
Da das Präzisionsradar bereits über ein MTI - System zur Standzeichenunterdrückung verfügte, war die Frequenzstabilisierung des Lokaloszillators eine unbedingte Voraussetzung für dessen Funktion. In den frühen fünfziger Jahren wurden ähnliche Systeme als Landehilfen auch auf vielen zivilen Flughäfen installiert, so ab 1951 auch auf dem damals neu errichteten Flughafen Zürich - Kloten. Die Einführung der AN/MPN-5 Landeradaranlage brachte für die schweizerische Militärfliegerei einen wesentlichen Fortschritt im Hinblick auf die Allwetter - Einsätze. Allerdings wies das AN/MPN-5 System anfänglich noch eine Reihe von technisch bedingten Schwächen auf, die erst schrittweise durch verschiedene Modifikationen behoben oder gemildert werden mussten.

Sowohl das im S-Band arbeitende Rundsuchradar wie auch die im X - Band arbeitenden Präzisionsradars wurden durch Wetterechos in ihrer Funktion stark beeinträchtigt. Da ein erheblicher Teil des Einsatzes der Landeradaranlagen während Schlechtwetterperioden stattfindet, ergab sich die Notwendigkeit, das Mass der Erschwerung der Arbeit des Radarbeobachters bei Niederschlag zu untersuchen.

Quantitative Messungen über die Dämpfung eines Flugzeugechos durch Niederschläge waren zur damaligen Zeit mit den vorhandenen Mitteln schwierig durchzuführen und ergaben daher keine zuverlässigen Resultate. Im Gegensatz dazu traten die durch Niederschläge verursachten Radarechos auf den Anzeigeräten ausserordentlich ausgeprägt in Erscheinung und erschwerten oder verhinderten das Erkennen der Flugzeugechos.



Das nebenstehende Foto zeigt das Rundsuchradarbild der Landeradaranlage Dübendorf in der Betriebsart MTI bei starken Niederschlägen. Obwohl das MTI-System durch die Dopplerfilterung die Standzeichen einigermaßen auszulöschen vermochte, erscheinen die Wetterechos (in diesem Falle durch starken Schneefall verursacht) mit grosser Intensität und erschweren das Entdecken und Verfolgen von Flugzeugechos.



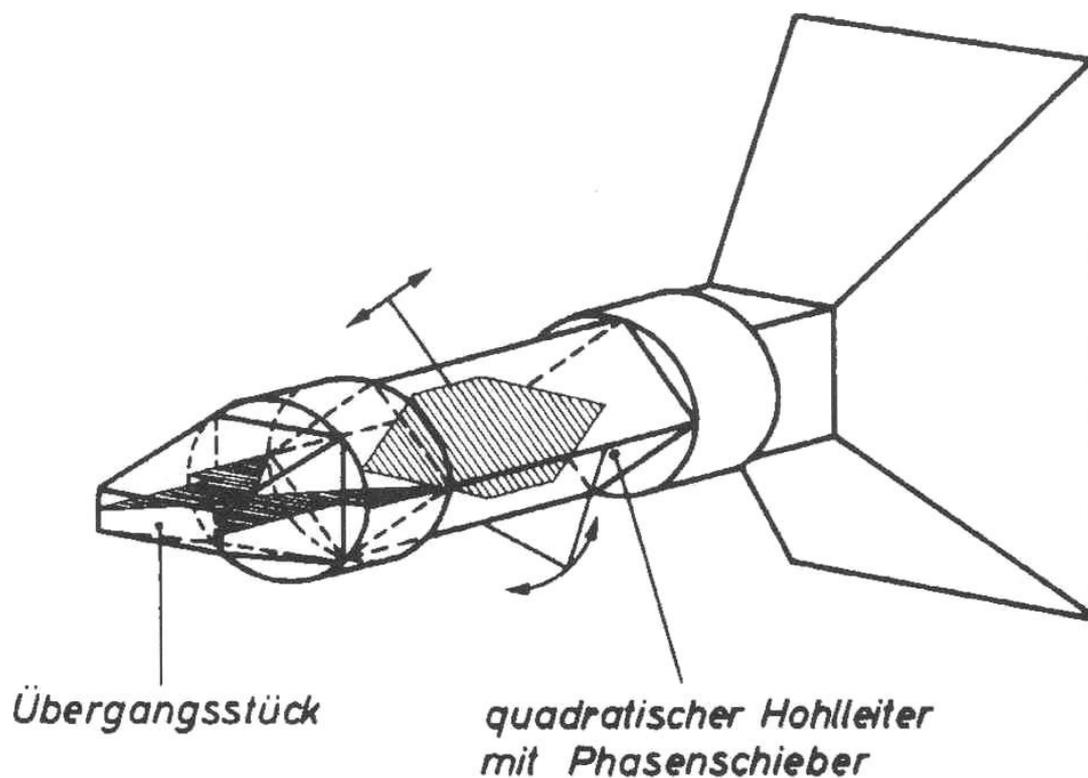
Das nebenstehende Foto zeigt das Präzisionsradarbild der Landeradaranlage Dübendorf mit den Elevations- und Azimutdarstellungen bei starken Niederschlägen. Auch in der hier dargestellten Situation wird das Verfolgen eines Flugzeugechos erheblich erschwert bis verunmöglicht.

Die Herstellerfirma hatte auf Grund ihrer regen Kontakte zu den verschiedenen Systembenützern Kenntnis von diesen Problemen erhalten und in der Folge nach Lösungen zu deren Behebung gesucht. Eine relativ wirksame Massnahme zur Reduktion von Niederschlagsechos konnte durch die Einführung zirkular polarisierter Radarantennen gefunden werden.

Die Unterdrückung von Regenechos durch zirkular polarisierte Wellen beruht darauf, dass ein Regentropfen ein nahezu kugelförmiges, symmetrisches Ziel darstellt. An diesem wird bei der Reflexion die Drehrichtung einer zirkular polarisierten Welle geändert, d.h. aus RHCP wird LHCP und umgekehrt. Auf dem Empfangsweg wird die Welle mit entgegen gesetzter Drehrichtung beim Rückwärtslauf durch den Zirkularpolarisator in eine solche mit horizontaler Polarisation gewandelt und mit einer Dämpfungsplatte im Hohlleiterzug eliminiert, die Welle mit gleicher Drehrichtung wird hingegen zurück polarisiert und vom Empfänger verarbeitet. Mit Modifikationsprogrammen wurden die beiden Präzisionsradars und etwas später auch das Rundsuchradar mit zirkular polarisierten Antennen nachgerüstet.

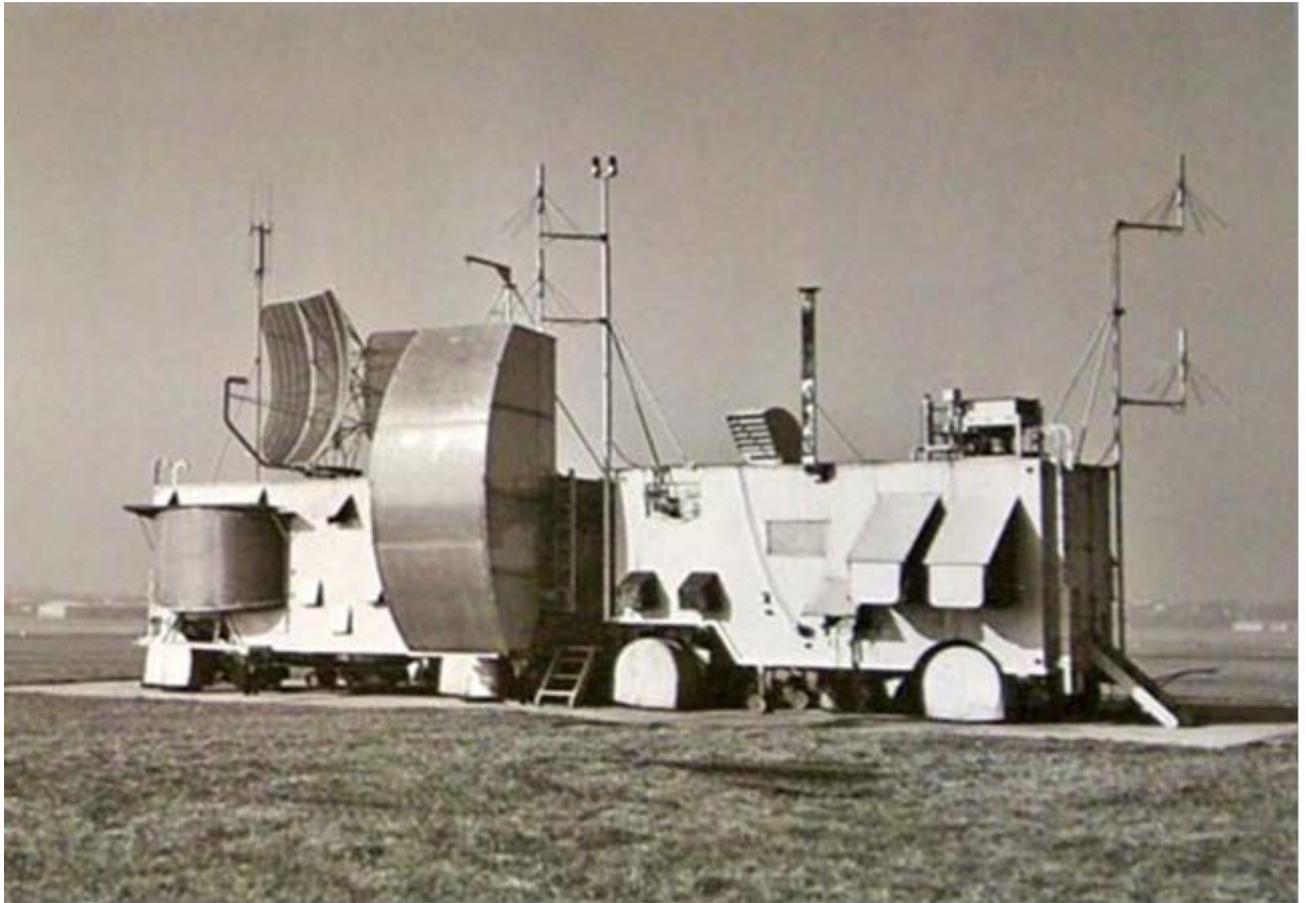
Die damit erreichte Reduktion der Niederschlagsechos lag in einer Größenordnung von 15 – 20 dB und genügte bei den meisten Niederschlags Situationen den Anforderungen des Flugsicherungsbetriebes. Die im SRE und PAR Teil der AN/MPN-5 Anlage verwendeten Zirkularpolarisatoren lagen im Hohlleiterzug vor dem Hornstrahler.

Prinzipdarstellung des Zirkularpolarisators

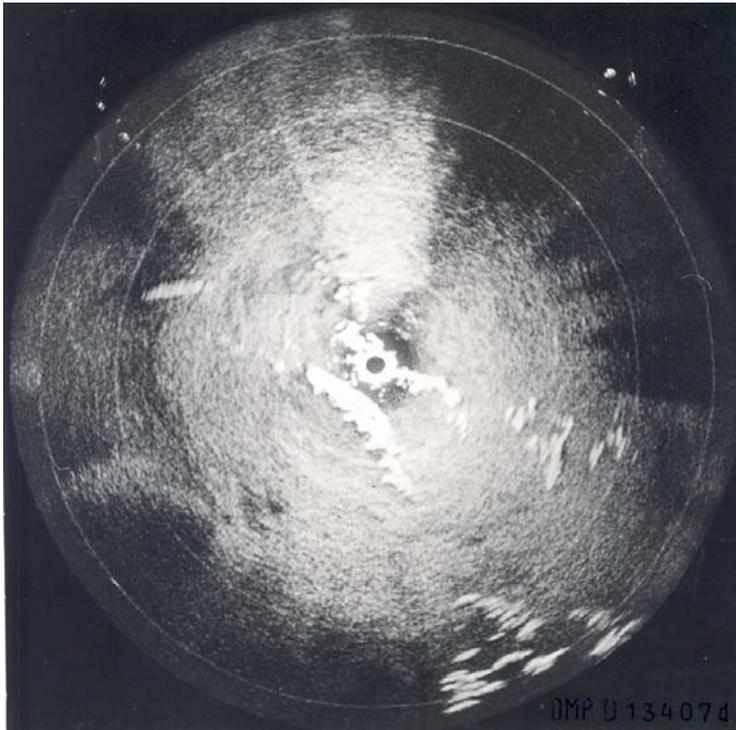


Die Antenne des SRE Radars der AN/MPN-5 GCA - Anlage war im Rahmen der im Jahre 1964 erfolgten Radarempfänger Modifikation ebenfalls mit Zirkularpolarisation erweitert worden. Die nachstehenden zwei Bildschirm Aufnahmen zeigen die Wirkung der Zirkularpolarisation bei Niederschlägen bei dem im S-Band arbeitenden SRE Radar.

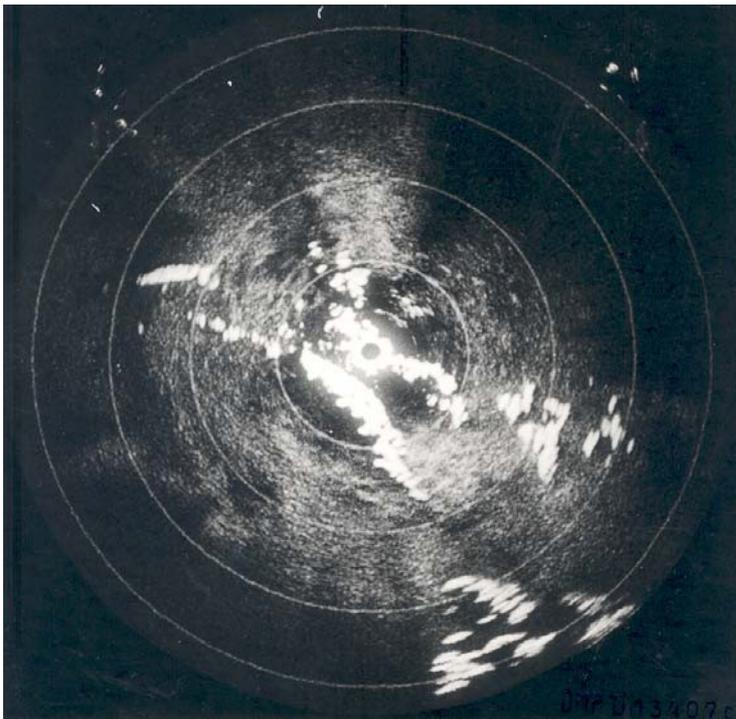
Foto der GCA MPN-5 Landeradaranlage nach erfolgter Modifikation mit den zirkularpolarisierten Azimut- u. Elevations- Antennen im Jahre 1960



Im Rahmen dieser Modifikation wurden die ursprünglich linearpolarisierten Azimut- und Elevationsantennen durch zirkularpolarisierte ersetzt. Gleichzeitig wurden die ursprünglichen im feuchten Zustand mit hohen Verlusten behafteten Neopren - Stoffabdeckungen der Antennenbuchten durch einen Fiberglas - Radom mit Honigwabenstruktur ersetzt welcher bedeutend geringere Absorptionsdämpfungen aufwies. Die neuen Hornstrahler die zur Ausleuchtung der parabolischen Antennenreflektoren dienen, konnten wahlweise manuell von zirkularer auf lineare Polarisation umgestellt werden. Dadurch konnte bei niederschlagsfreier Witterung zur Vermeidung der Konversionsverluste der Zirkularpolarisation mit linearer Polarisation gearbeitet werden. Da es sich bei dieser Modifikation um einen grösseren Eingriff in das Präzisionsradar System handelte welcher auch Strukturänderungen am Radarschalter bedingte, musste nach Abschluss der Arbeiten die Lage und Ausdehnung der Strahlungsdiagramme der Azimut- und Elevationsantennen neu vermessen und einjustiert werden. Dies erfolgte für die Anlagestandorte Dübendorf, Payerne und Emmen individuell mit umfangreichen Messflugprogrammen. Die Vermessungsflüge wurden mit den Flugzeugtypen C-36 und AT-16 durchgeführt. Das Messflugzeug hatte dabei in einer Entfernung von ca. 15 km vom Anlagestandort eine Reihe in der Flughöhe gestaffelte Programme von Querflügen zur Anflugsachse zu fliegen.



Bildschirm Aufnahme des SRE Radarbildes, mit Normal Video ohne MTI, mit linearer Polarisation der Antenne. Die Aufnahme erfolgte am 8.2.1965 in der GCA - Anlage Dübendorf während eines intensiven Schneesturmes.



Bildschirm Aufnahme des SRE Radarbildes, mit Normal Video ohne MTI, mit zirkularer Polarisation der Antenne. Die Aufnahme erfolgte am 8.2.1965 in der GCA - Anlage Dübendorf während eines intensiven Schneesturmes.

Bei der Reflexion an einem komplexen Ziel wie dies das Echo eines Flugzeuges darstellt, wird der reflektierte Wellenzug de - polarisiert, d.h. er zerlegt sich in eine rechts- und eine linksdrehende Komponente. Das Empfangssystem kann jedoch nur die Anteile mit der gleicher Drehrichtung verwerten, so dass bei Anwendung der Zirkularpolarisation das Nutzsinal einen Energieverlust erleidet. Dieser beträgt für Flugziele im Mittel 3 dB.

Die GCA - Radaranlagen MPN-5 wurden von der Schweizer Luftwaffe für das vom Boden kontrollierte Landeverfahren der Militärflugzeuge während Jahrzehnten intensiv benützt. Erst in den 1990er Jahren wurden einige Militärflugplätze, sofern dies die Topographie der Umgebung ermöglichte, zusätzlich mit **Instrument Landing Systems (ILS)** ausgerüstet.

Beschaffung der AN/FPS-20A und der Philips Höhenfinder Radars.

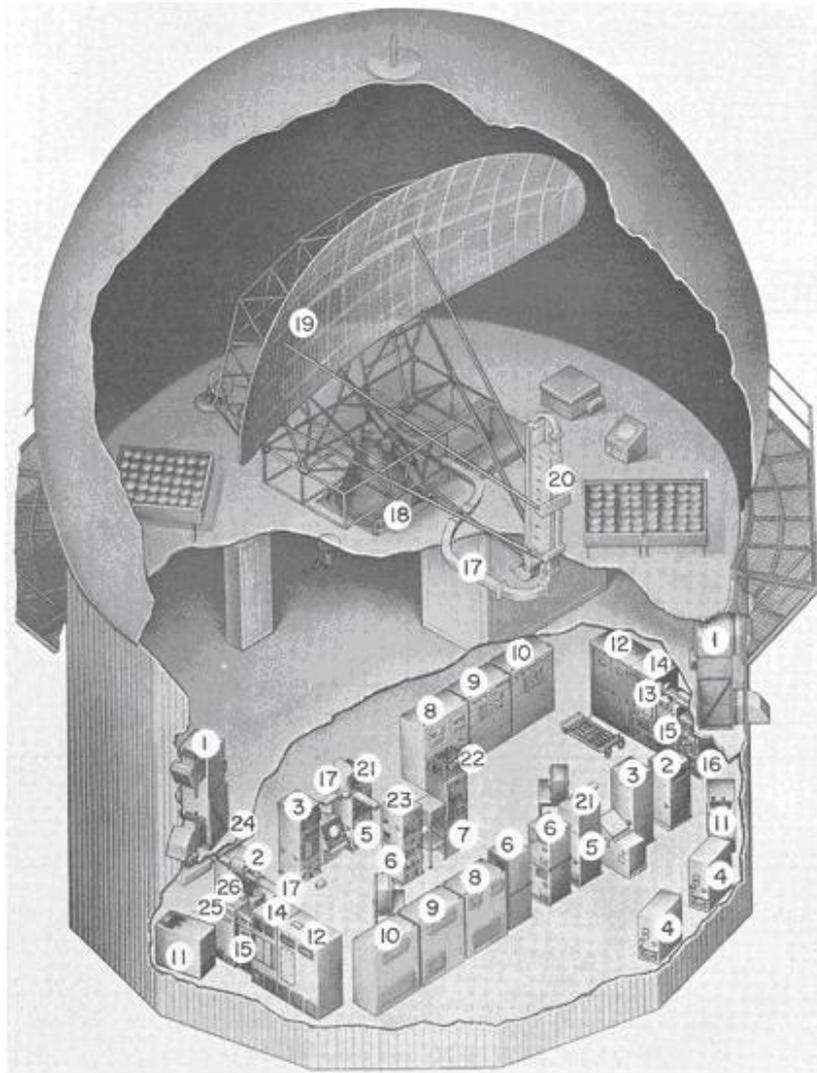
Die politischen Veränderungen welcher der beginnende Kalte Krieg zwischen den westlichen und östlichen Mächteblöcken zur Folge hatte, führten in den frühen 1950er Jahren zu einem eigentlichen militärischen Wettrüsten beider Seiten. In speziellem Masse wurde dabei auch die Entwicklung neuer militärischer Radarsysteme vorangetrieben.

Die Herstellerfirma der AN/MPN-5 GCA – Anlagen, die Bendix Radio Division der Firma Bendix Aviation Corporation in Baltimore MD, entwickelte sich zu Beginn der fünfziger Jahre zum führenden US - Radarhersteller. Speziell bekannt wurde die Firma durch die Entwicklung und Lieferung von Radarsystemen grosser Reichweite. Bendix war massgebend am Aufbau der entlang der Grenze der USA und Kanada installierten Frühwarn - Radarketten **Pinetree** und **Distant Early Warning** beteiligt. Bendix hatte hierfür eine grössere Anzahl im L - Band arbeitender Radarausrüstungen der Typenreihen AN/FPS-3, AN/FPS-20 sowie das im S-Band arbeitende Radar AN/FPS-14 entwickelt und geliefert.³⁾

Dank der persönlichen Initiative eines Mitarbeiters des Kommandos der Flieger- und Fliegerabwehrtruppen in Bern über Verbindungen zur US Air Force gelang es der KTA im Jahre 1958 die Exportbewilligung für ein modernes AN/FPS-20A L- Band Frühwarnradars zu erhalten. Im Rahmen von Rüstungsprogramm 1958 erfolgte neben der Beschaffung von 100 Hunter Flugzeugen und Material für die schwere Fliegerabwehr auch die Beschaffung einer Frühwarnradaranlage **AN/FPS-20A** inklusiv einem **Arctic - Tower** für deren Unterbringung.

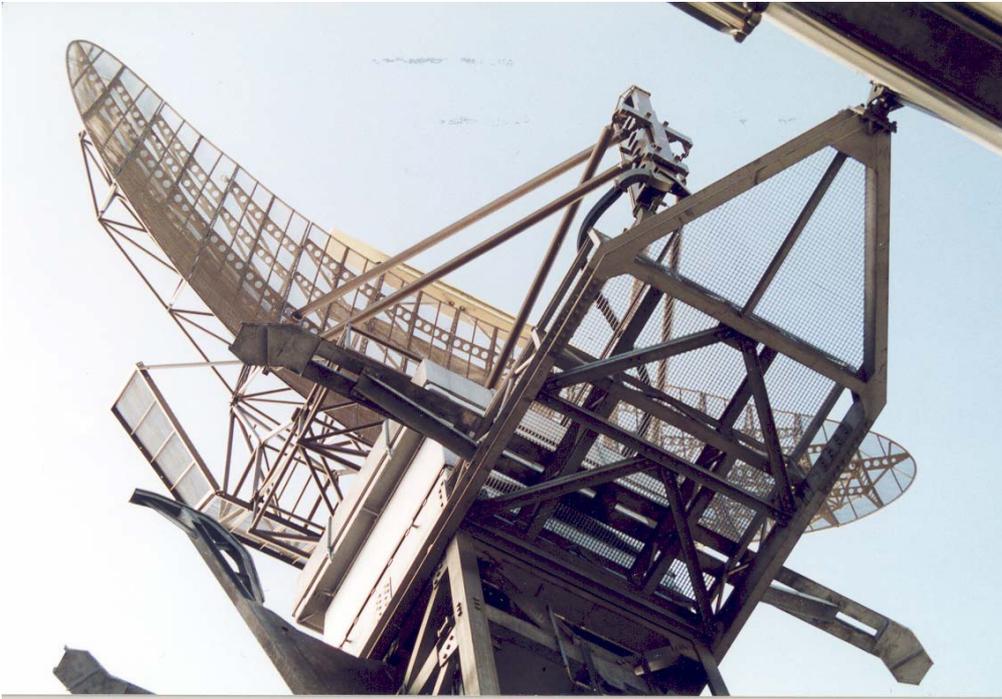
Bei einem im Bau befindlichen Radarstandort im Hochgebirge ergaben sich gegen Ende der fünfziger Jahre infolge der ausserordentlichen baulichen Schwierigkeiten und eines auf der Baustelle aufgetretenen Brandes längere Verzögerung in der Fertigstellung. Dank diesem Umstand konnten die für die AN/FPS-20A Radarausrüstung geänderten bauseitigen Anforderungen bei der Fertigstellung berücksichtigt werden. Anstelle, der drei für die französischen ER-220 Radars erforderlichen Antennen - Gruben wurden für das AN/FPS-20A System und den dazu gehörenden Höhenfinder AN/FPS-6 nur noch zwei Antennengruben benötigt. Die AN/FPS-20A Antenne erforderte jedoch eine Antennengrube mit wesentlich grösserer Abmessung. Das AN/FPS-20A System verfügte über eine Antenne mit Cos^2 Strahlungscharakteristik. Damit war es möglich mit nur einer Antenne die gesamte vertikale Radarüberdeckung sicherzustellen. In der Vertikalen konnte damit bis auf eine Entfernung von 400 km ein Suchbereich von 5° überdeckt werden.

Radaranlage AN/FPS-20A in Arctic Tower



- | | |
|--|---|
| 1. Liquid Electron Tube Cooler HD-230/FPS-20 (coolant radiator) | 12. Radio Frequency Amplifier AM-1348/FPS-20 (power amplifier) |
| 2. Radar Set Control C-1934/FPS-20A (radar control cabinet [single]) | 13. Frequency Mixer Stage CV-592/FPS-20 (high level mixer) |
| 3. Receiver Group OA-890/FPS-20 (receiver cabinet) | 14. Radio Frequency Amplifier AM-1402/FPS-20 (intermediate power amplifier) |
| 4. Power Driven Rotary Compressor HD-246/FPS-20 (air compressor) | 15. Amplifier-Mixer AM-1347/FPS-20 (buffer-mixer cabinet) |
| 5. Receiver Group OA-1077/FPS-20 (antichaff group) | 16. Monitor-Oscillator Group OA-955/FPS-20 (RF group) |
| 6. Power Supply Group OA-954/GPS (receiver rectifier group) | 17. Waveguide system |
| 7. Interconnecting Box J-754/FPS-20 (standby junction box) | 18. Antenna Pedestal AB-414/FPS-20 (pedestal) |
| 8. Power Distribution Panel SB-492/FPS-20A (power switch cabinet [single]) | 19. Antenna Reflector AT-572/FPS-20 (reflector) |
| 9. Power Supply PP-1409/FPS-20A (HV power supply [single]) | 20. Waveguide Horn AT-567/GPS (antenna feed) |
| 10. Radar Modulator MD-268/FPS-20A (single modulator) | 21. Electrical Equipment Cabinet CY-2180/FPS-20 (quick fix cabinet) |
| 11. Power Driven Rotary Pump HD-231/FPS-20 (coolant pump) | 22. Distribution Box J-855/FPS-20 (quick fix junction box) |
| | 23. Radio Frequency Monitor ID-636/GPS (noise figure indicator) |
| | 24. Directional Coupler CU-606/GPS (noise coupler) |
| | 25. Modulator-Power Supply MD-305/GPS (noise modulator) |
| | 26. Remote Noise Indicator |

Auf dem Standort im Hochgebirge konnten infolge der schwierigen Witterungsbedingungen die Unterhaltsarbeiten an der AN/FPS-20 Antenne nicht im Freien erfolgen. Aus diesem Grunde musste die Radarantenne auf einer Elevator - Plattform angeordnet werden, welche das Absenken in eine Kaverne ermöglichte. Das Foto zeigt die Antenne in ausgefahrenem Zustand, bei geöffnetem Antennengrubendach, aus der ca. 20 Meter tiefen Kaverne.



Da der gewaltige L-Band Antennen-Reflektor des AN/FPS-20A einen Drehkreis von ca. 17 Meter im Durchmesser beanspruchte, wurden die baulichen Anforderungen an die Antennengrube und die Elevator-Ausrüstung wesentlich erhöht. Das Foto zeigt die AN/FPS-20A Antenne in eingefahrenem Zustand in der Grube.



Die Fertigstellung der Anlage verzögerte sich noch über mehrere Jahre, so dass mit der Installation der Radarausrüstungen am definitiven Standort, im Hochgebirge erst im Frühjahr 1965 begonnen werden konnte.

Die Materiallieferungen der in Baukastenform angelieferten AN/FPS-20A Radaranlage samt dem für die Unterbringung in arktischem Klima ausgelegten Arctic- Tower erfolgten während des Winters 1958/59.

Der Arctic - Tower vom Typ AB - 199A war im Gegensatz zu dem ursprünglich für das Radarsystem AN/FPS-3 entwickelten aufblasbaren Neoprenstoff Radom bereits mit einem wesentlich stabileren und elektrisch dämpfungsärmeren 55 feet (Ø16.8 m) Radom aus Fiberglas - Elementen mit Honigwabenstruktur ausgerüstet.

Im Laufe der Jahre 1958/59 erfolgten die baulichen Vorarbeiten für einen temporären Ausbildungs- und Versuchsstandortes auf dem Wangenerberg oberhalb des Militärflugplatzes Dübendorf.

Neben der Montage des Arctic - Towers, der für die temporäre Unterbringung des Radarsystems wertvolle Dienste leistete, wurden ein Baukomplex aus mehreren Baracken für die Installation der Frequenz - Umformergruppe und der AN/UPA- 35 Anzeige - Ausrüstungen errichtet. Wie damals üblich war die AN/FPS-20A Radaranlage für eine Versorgung aus dem amerikanischen 117/208 Volt 60Hz Normalstromnetz ausgelegt. Dies bedingte eine elektromechanische Umformergruppe mit Zwischengetriebe für die Stromversorgung aus dem schweizerischen 230/400 Volt 50Hz Stromnetz.

Die Installation, Verkabelung und Inbetriebsetzung des AN/FPS-20A Radarsystems erfolgte während des Winters 1959/60.



In den Jahren 1959-1965 befand sich auf dem Wangenerberg oberhalb dem Militärflugplatz Dübendorf ein AB-199A Arctic Tower mit dem markanten weithin sichtbaren Fiberglas - Radom. Bis zur Fertigstellung der definitiven Anlage im Hochgebirge war darin die Radaranlage AN/FPS-20A untergebracht.

Im Frühjahr 1960 erfolgte in der neuen Radaranlage ein erster Ausbildungskurs für das Instruktionspersonal der Flieger Radarrekrutenschule und die Spezialisten der Direktion der Militärflugplätze. Das AN/FPS-20A L-Band Radar wie auch das Vorgängersystem AN/FPS-3 und AN/FPS-20 sowie das S-Band Radar AN/FPS-14 waren für das US Ground Controlled Intercept (GCI) Network entwickelt worden, welches sich über weite Gebiete entlang den Grenzen der USA erstreckte.

Die Frühwarn-Radarketten die für das Entdecken und Abfangen der sowjetischen strategischen Bomberverbände errichtet wurden, waren durch das US Air Defense Command als Reaktion auf die in den fünfziger Jahren zunehmende Bedrohung durch die Sowjetunion konzipiert worden.

Die im L- Band arbeitenden zweidimensionalen Rundsuchradars wurden durch ein oder zwei AN/FPS-6 S-Band Höhenfinder von General Electric ergänzt, um damit die zur Führung der Abfangjäger erforderliche Flughöhen zu vermessen.

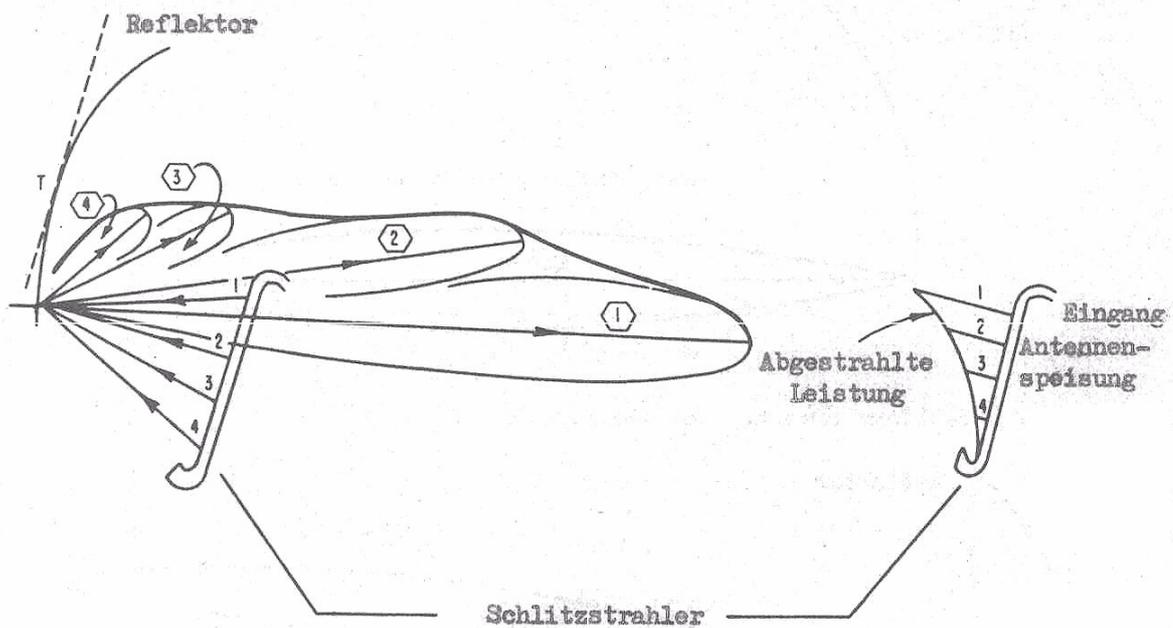
Die Radarinformation der einzelnen Standorte wurde anfänglich in analoger Form an die Einsatzzentrale weitergeleitet und diente dort neben der Frühwarnung zur Führung der Abfangjäger und der Zielzuweisung der Boden-Luft Lenkwaffe BOMARC. Die sprunghafte Entwicklung der fliegerischen Leistungen verlangte zwangsläufig auch eine Steigerung der Reichweiten und eine Reduktion der Reaktionszeit der Radaranlagen für die Frühwarnung und die Abfangjagd.

So wurden die Sendeleistungen von anfänglich 750 kW beim AN/FPS-3 auf 1000 kW beim AN/FPS-14 und auf 2000 kW beim AN/FPS-20 erhöht. Zudem wurden die Systeme mit Zusatzeinrichtungen zur Bekämpfung aktiver und passiver elektronischer Störmassnahmen ausgerüstet ⁴⁾

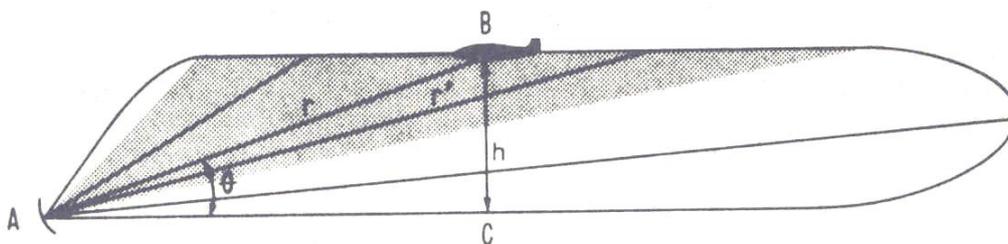
Die Systemarchitektur der Frühwarnradaranlage AN/FPS-20A wies gegenüber der Radaranlage ER-220 grundsätzliche Unterschiede auf. Dank der wesentlich verbesserten Konstruktion der Radarantenne konnte der für die Radarüberwachung erforderliche Strahlungsfächer statt mit drei statt mit einer einzigen Antenne erzeugt werden.



Diese Verbesserung wurde durch Ausleuchten des parabolischen Reflektors mit einer neuartigen mehrfachen Schlitzstrahler - Anordnung des Typs AT-567GPS (siehe Figur auf nächster Seite) anstelle der bisher üblichen Hornstrahler erreicht. Die Strahleranordnung besteht aus einem Stück L- Band Hohlleiter in dessen Breitseite 25 Schlitze ausgefräst sind. Diese sind abwechselungsweise links und rechts der Hohlleitermitte angeordnet und weisen einen Längs - Abstand von je einer halben Wellenlänge auf.



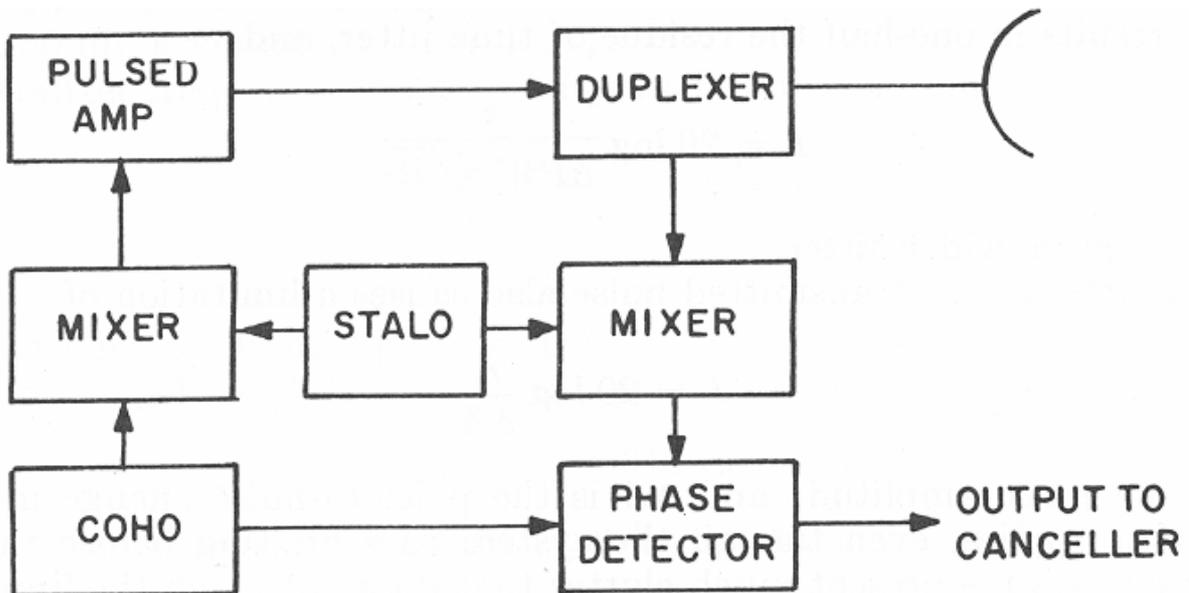
Das vertikale Antennenstrahlungs-Diagramm mit der sog. Cosec^2 Charakteristik in der nachstehenden Figur entsprach damit dem Bedürfnis, dass ein auf konstanter Höhe anfliegendes Flugzeug dauernd mit gleicher Energie angestrahlt wird. Das bedeutet, dass ein Ziel in der Distanz r und der Höhe B mit derselben Echostärke erscheint wie ein Ziel in Distanz r' und der Höhe B . Dies resultiert aus dem Umstand, dass die Änderung der Distanz r bei konstanter Höhe proportional zu einer Cosecant^2 - Funktion verläuft.



Eine wesentliche Neuerung beinhaltete auch das Send- und Empfangssystem welches nach dem **Master Oscillator Power Amplifier (MOPA)** Prinzip ausgelegt war. Die damit erzielte höhere Phasenstabilität im Mikrowellensystem des Radars ermöglichte eine wesentlich verbesserte Standzeichenlöschung des MTI-Verfahrens.

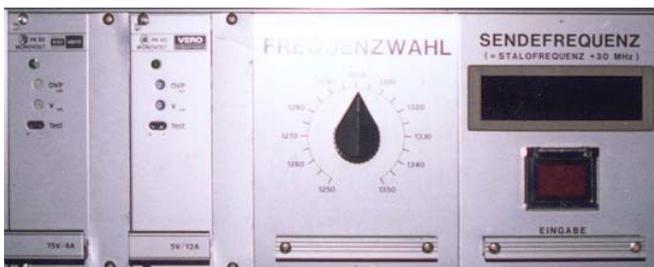
Die ersten Mikrowellen Radars arbeiteten mit Magnetron – Sendern die eine geringe Phasenstabilität aufwiesen und dadurch nur eine beschränkte Standzeichenlöschung ermöglichten. Durch die inzwischen entwickelten Mikrowellen Leistungsverstärker konnte ab den 50er Jahre bei den neuen Radarentwicklungen das MOPA Prinzip angewendet und dadurch eine wesentliche Verbesserung des MTI Verfahrens erreicht werden.

MOPA Prinzip für die Frequenzerzeugung in verbesserten MTI - Radarsystemen



Für die Frequenzerzeugung des Senders und die Abmischung der Empfangsfrequenz in die Zwischenfrequenz wird ein gemeinsamer Lokal - Oszillator (STALO) von hoher Phasenstabilität verwendet. Die endgültige Senderfrequenz welche gegenüber der STALO Frequenz um die Zwischenfrequenz verschoben ist, wird durch Mischung mit der COHO – Frequenz erzeugt welche für die Dopplerverarbeitung im MTI Prozess erforderlich ist.

Anschliessend erfolgt die Impulsmodulation der Senderfrequenz und eine Leistungsverstärkung in einer mehrstufigen Verstärkerkette welche für die Ansteuerung des Klystron – Endverstärkers erforderlich ist.

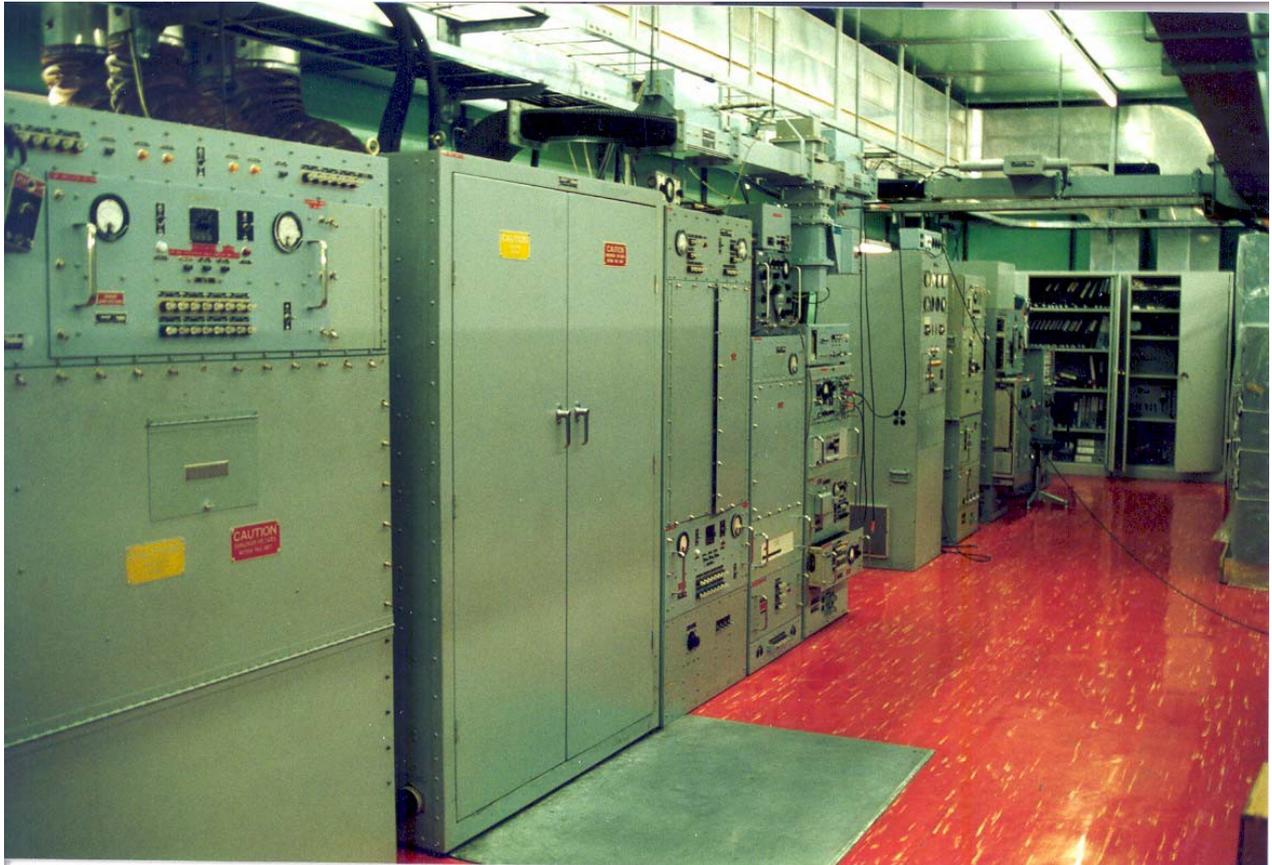


Der ursprüngliche STALO wurde später durch einen Frequenz-Synthesizer mit tieferem Phasenrauschen ersetzt. Damit konnte die sog. Subclutter - Visibility (SCV) der Standzeichenlöschung im MTI nochmals um weitere 6 dB verbessert werden.

Das Radarsystem bestand mit Ausnahme der Antenne aus zwei vollständigen Teilsystemen wobei das eine operationell auf die Antenne arbeitete und das andere auf eine Kunstlast betrieben wurde. Im Bedarfsfalle stand dadurch kurzfristig ein Reservekanal zur Verfügung, was die Zuverlässigkeit erheblich verbesserte. Da jeder der beiden Kanäle für sich in der Frequenz abstimbar war, konnte durch Umschalten der Kanäle aktiven Störungen ausgewichen werden. Der jeweilige Reservekanal konnte bis zu fünfmal pro Stunde auf eine neue Frequenz abgestimmt und als Betriebskanal eingesetzt werden um Störsendern auszuweichen. Vor dem Auftreten breitbandiger Bordstörsysteme war dies eine sehr wirksame elektronische Gegenmassnahme.

Das Foto zeigt den Kontrollraum auf dem definitiven Standort im Hochgebirge in dem die AN/FPS-20A Radaranlage untergebracht war. Ersichtlich auf dem Bild ist ein Teilsystem der Doppelausrüstung.

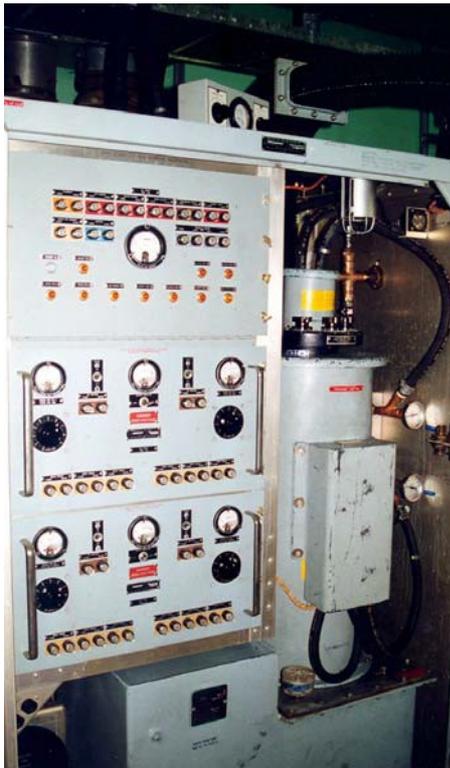
Die Geräteschränke enthalten von l. nach r. die 15 kV Gleichstromversorgung der Senderendstufe, gefolgt vom Sendermodulator und der Klystron - Senderendstufe. Die Geräteschränke des zweiten Teilsystems waren auf der gegenüberliegenden Raumseite in identischer Reihenfolge angeordnet.



Die Pulse Repetition Frequenz (PRF) von 360 Hz legte die instrumentierte Reichweite des AN/FPS-20A Systems auf 425 Kilometer fest. Die Dauer des Sendepulses von 6 μ s ermöglichte das Unterscheiden von zwei Zielen welche eine Entfernungsdifferenz von mindestens 900 Meter aufwiesen. Infolge der kleinen horizontalen Ausdehnung des Strahlungsfächers konnten nebeneinander fliegende Ziele unterschieden werden, deren Winkeldifferenz mindestens 1.3° betrug. Die Genauigkeit der Entfernungsmessung lag bei ± 1.85 km und im Azimut bei $\pm 1^\circ$.

Das Empfangssystem des AN/FPS-20A Systems war für den normalen und den MTI Betrieb ausgelegt. Die Rauschzahl des Empfängers (Noise Figure) lag bei ca. 9 dB, das kleinste im Rauschen erkennbare Zielsignal (MDS) bei ca. -110 dBm. Die Subclutter – Visibilität (SCV) lag bei einer mit 5 U/min rotierenden Antenne bei 35 dB.

Der Begriff Subclutter Visibility (SCV) beschreibt die Fähigkeit eines Radarsystems, mit einer annehmbaren Entdeckungswahrscheinlichkeit bewegliche Ziele in der Umgebung mit Festzielechos zu erkennen, die durch das Verhältnis der Amplitude des Echsignals zum Durchschnitt der Amplituden der Festzielechos (Clutter) beschrieben wird.



Der mehrstufige Sender verwendete in der Endstufe siehe Abbildung ein in den frühen fünfziger Jahren von der Firma Litton in San Carlos CA. entwickeltes und später in Radarsystemen häufig verwendetes Flüssigkeit gekühltes L-3035 Verstärker - Klystron. Für die Fokussierung des Elektronenstrahls steckt die Klystron - Röhre in einem elektromagnetischen Linsensystem. Der Sender lieferte Mikrowellenimpulse von $6 \mu\text{s}$ Dauer bei einer Wiederholungsfrequenz von 360 Hz. Die Impulsspitzenleistung beträgt ca. 2.5 Megawatt bei einer Durchschnittsleistung von bis zu 5 Kilowatt. Die Frequenz des Radars konnte manuell im Bereich von 1250 – 1350 MHz abgestimmt werden.



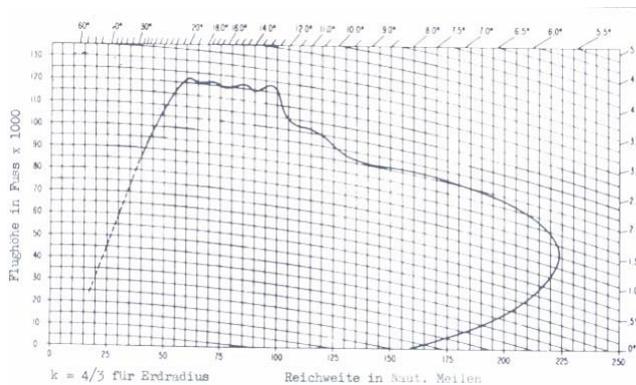
Das nebenstehende Foto zeigt das flüssigkeitsgekühlte L - 3035 Verstärkerklystron der Firma Litton, San Carlos CA. Die Entwicklung erfolgte zu Beginn der fünfziger Jahre in Zusammenarbeit mit dem Lincoln Laboratory in Lexington MA für die damals in Planung befindlichen Weitbereichs - Radarsysteme. Bei der Entwicklung der am Anfang einer langen Reihe von hochleistungsfähigen Leistungs - Klystrons stehenden L-3035 Röhre mussten neue Lösungswege gesucht werden, die Kathodenkonstruktion wurde später während Jahrzehnten auch bei vielen anderen von Litton fabrizierten Hochleistungsröhren verwendet.

Das im Frequenzbereich von 1240 – 1360 MHz durchstimmbare Klystron lieferte bei einer Collectorspannung von 125 kV und einem Collectorstrom von 87 Ampere eine max. Durchschnittsleistung von 6.6 kW bei einer Impulsleistungen von 2.5 Megawatt. In der Mitte rechts ist das Auskopplungsfenster für den UHF - Leistung sichtbar, unten befinden sich die konzentrischen Anschlussringe für die Heizspannung und den Tastimpuls.



Die Hochastung der AN/FPS-20A Senderendstufe erfolgte durch das Entladen einer Laufzeitkette von 25 Ohm Impedanz über einen Impulstransformator in die Kathode der L-3035 Klystron - Röhre. Die dabei aufzubringende Impulsleistung betrug 10 MW bei ca. 7.7µs Dauer. Als Schalter im Entladungsweg wurde das wasserstoffgefüllte VC1257 Thyatron der Fa. Chatham in der nebenstehenden Figur verwendet. Das Thyatron vermochte bei Anodenspannungen von 33kV Impulsströme bis 2000 Ampere zu schalten. Das VC1257 ist eines der grössten je in Glastechnik hergestellten Thyatrons, es wurde in Puls Modulatoren von bis zu 50 Megawatt Leistung verwendet. Der erforderliche Wasserstoff - Druck in der Röhre wurde durch eine geheizte Vorratskapsel konstant gehalten.

Der Antennenantrieb erfolgte mit einem polumschaltbaren Dreiphasen- Asynchronmotor, wahlweise mit 3.3, 5, 6.6 oder 10 Umdrehungen pro Minute.

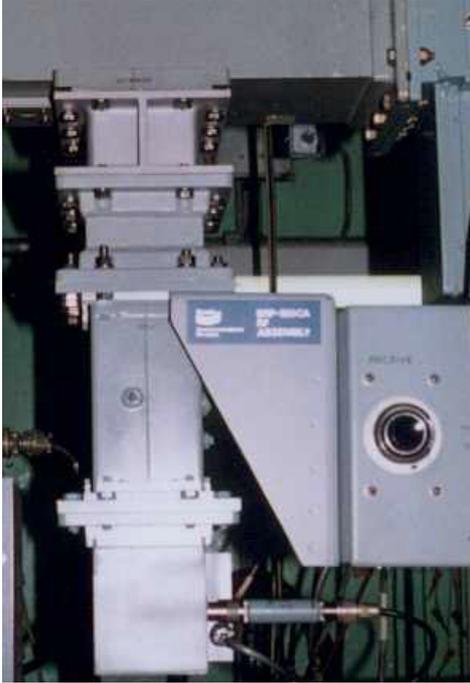


Der vertikale Strahlungsfächer entsprach einer Cosec^2 Charakteristik dadurch konnte im Gegensatz zum ER-220 Radar der gesamte vertikale Raum mit einer einzigen Antenne überdeckt werden. Die hohe Sendeleistung erzeugte dabei eine genügend hohe Leistungsdichte im angestrahnten Raum.

Die -3dB Strahlbreite im Azimut Bereich betrug 1.3°. In der vertikalen Ebene erreichte die Strahlausdehnung ausserhalb der speziell im Nahbereich wirksamen Cosec^2 Charakteristik einen Wert von mindestens 6°. Bei einer Betriebsfrequenz von 1300 MHz wies die Antenne einen Gewinn von 35 dB auf.

Das Empfängersystem war für Normal- und MTI - Betrieb ausgelegt. Für die Eliminierung von passiven Chaff - Störungen verfügte das System über einen nach dem **Non - Coherent MTI Prinzip** arbeitenden Anti - Chaff Empfänger. Die Rauschzahl des Empfängers betrug anfänglich 9dB was einer MDS Empfindlichkeit von -110 dBm entspricht.

In den 80er Jahren wurde die Rauschzahl des Empfängers noch durch das Nachrüsten mit einem Solidstate - Vorverstärker auf 3dB reduziert.



Die Radarempfänger wurden später mit einem Solidstate - Vorverstärker nachgerüstet. Das nebenstehende Foto zeigt den von Bendix zu Beginn der 80er Jahre neu entwickelten Vorverstärker. Dieser besteht aus einem Wellenleiter Koaxial-Adapter, einem Pin - Dioden Abschwächer, einem Solid State Low Noise Amplifier (LNA), einem abstimmbarem Filter und einem neuartigen Signal – Mischer. Mit dieser Modifikation konnte die Empfindlichkeit des Radarempfängers um weitere 6 dB gesteigert werden, was einen Reichweite - Gewinn von ca. 40% entspricht.

Auf Grund des beginnenden kalten Krieges hatte das US Air Defense Command in den frühen fünfziger Jahren für die eigenen militärischen Radarsystemen ein Programm zur Reduktion der Bedrohung durch elektronische Störungen gestartet. Die AN/FPS-3 Radarsysteme von Bendix waren inzwischen durch den moderneren AN/FPS-20 Nachfolger abgelöst worden. Obwohl das AN/FPS-20 System leistungsstärker war, arbeiteten es jedoch im gleichen Frequenzbereich wie die Vorgänger und verfügten weder über Frequency – Diversity noch über Frequency - Agility. Unter dem neuen Programm sollte daher zur Ablösung der AN/FPS-20 durch eine neue Familie von Radars erfolgen, welche noch leistungsstärker waren und bei denen grundlegend neue physikalische Methoden zur Verbesserungen der Störfestigkeit angewendet wurden ¹⁶⁾.

Dies mag auch ein Grund für das Entgegenkommen von Seite der US - Regierung gewesen sein, um im Jahre 1958 den Verkauf der Radaranlage AN/FPS-20A an die Schweiz zu bewilligen. In den USA war zu diesem Zeitpunkt bereits die Umrüstung der Frühwarn - Radarketten auf die neuen und störfesteren Systeme im Gange.

Nachdem das Lincoln Laboratory¹⁵⁾ **die bestechenden Vorteile der Meter- und Dezimeterwellen für Radarsysteme hoher Reichweite** erkannt hatte, wurde mit der Entwicklung der nachfolgenden neuen Systemgenerationen begonnen:

- AN/FPS-24 Rundsuch-Radar von General Electric, Frequenz-Diversity im Bereich von 214 – 236 MHz mit einer Pulsleistung von 5000 kW

- AN/FPS-35 Rundsuch-Radar von Sperry, Pulse to Pulse Frequency Agility um 420 MHz mit einer Pulsleistung von ebenfalls 5000 kW

Der mit den Rundsuch-Radarsystemen zusammen verwendete General Electric Höhenfinder AN/FPS-6 arbeitete im S-Band im Frequenzbereich von 2700 – 2900 MHz mit der für die damalige Zeit für S-Band Systeme extrem hohen Impulsleistung von 5000 kW. Die Antenne tastete mit wahlweise 10 oder 20 vertikalen Nickbewegungen den Raum ab. Durch diese Nickbewegung wurde ein Ziel weit häufiger und länger beleuchtet als dies mit den langsam rotierenden Antennen der Rundsuchsysteme der Fall war.

In Kombination mit der höheren Sendeleistung gab dies dem Höhenfinder-Radar eine sog. „**burnthrough capability**“ dh die Fähigkeit sich durch aktive und passive elektronische Störungen hindurch zu brennen.

Das AN/FPS-6 System verfügte zudem bereits über eine Reihe von Antistör-Massnahmen wie Filterempfänger mit veränderlicher Bandbreite und automatische Verstärkungsregelung.

Der AN/FPS-6 Höhenfinder figurierte daher bei den US Streitkräften und bei der NATO lange Zeit als „**ECCM in its own right**“ und unterlag einer strengen Geheimhaltung und einem strikten Exportverbot in nicht NATO Länder. ⁶⁾

Ein Verkauf an die Schweiz zur Ergänzung des AN/FPS-20A Radars fiel daher zu diesem Zeitpunkt für die amerikanische Regierung nicht in Betracht.

Da das AN/FPS-20A Rundsuchradars neben dem Einsatz für die Frühwarnung auch für die Führung von Abfangjägern vorgesehen war, konnte auf einen Höhenfinder zum Vermessen der Differenzhöhe zwischen Abfangjäger und dem feindlichen Flugzeug nicht verzichtet werden.

Es musste deshalb nach einer Alternative für den nicht beschaffbaren AN/FPS-6 Höhenfinder gesucht werden. Eine Verwendung der für das ER-220 SFR Radar beschafften Höhenfinder anstelle des AN/FPS-6 kam infolge ungenügender Leistung nicht mehr in Frage.

Eine Marktanalyse der KTA zeigte jedoch, dass zum damaligen Zeitpunkt das Angebot an geeigneten Höhenfindern sehr bescheiden war.

Ein von der SFR - Nachfolgefirma Thomson-CSF entwickeltes Höhenfinder-System mit hydraulischem Nickantrieb befand sich im Prototyp - Stadium.

Die Demonstration seiner Funktion anlässlich einer Besichtigung der Firma durch eine Schweizer Delegation, musste jedoch infolge Problemen mit dem hydraulischen Nickantrieb, abgebrochen werden.

Die Entwicklung wurde später von Thomson-CSF zugunsten eines mit elektrischer Strahlschwenkung (Robinson Scanner) arbeitenden Radars aufgegeben.

Ein von der englischen Firma Marconi entwickelter, im C-Band arbeitender mobiler, Höhenfinder wich in den Daten stark von den verlangten Anforderungen ab.

Marconi zeigte auch im Hinblick auf die geringe Anzahl kein Interesse, das für die englischen Streitkräfte bereits in Seriefabrikation befindliche S613 System, an die schweizerischen Bedürfnisse anzupassen.

Günstiger verliefen die Abklärungen bei der damals eng mit dem Philips- Konzern zusammenarbeitenden Hollandse Signaalapparaten (HSA) im niederländischen Hengelo.

Die HSA war auf den Bau von Marine - Systemen spezialisiert und hatte für die holländische Kriegsmarine soeben ein Radarzielfolgesystem entwickelt. Es befanden sich zum Zeitpunkt der Evaluation gerade zwei Ausrüstungen auf dem holländischen Flugzeugträger HMNLS Karel Doorman (siehe Foto) in Erprobung.

HMNLS KAREL DOORMAN (R81)



Obwohl dieses im X - Band auf einer Wellenlänge um 3.3 cm arbeitende System für eine wesentlich kleinere Reichweite ausgelegt war, zeigte sich die Firma spontan bereit, eine an die schweizerischen Bedürfnisse angepasste S - Band Version zu entwickeln welche auf der für Reichweiten um 200 km günstigeren Wellenlänge von ca. 10 cm arbeiteten sollte. Schon bei den ersten Verhandlungen machte die Firma zudem den Vorschlag statt dem im schweizerischen Pflichtenheft geforderten einfachen Höhenfinder ein Fernzielfolgeradar zu liefern das neben dem genauen Vermessen der Höhe von Flugzeugen auch ein automatisches Verfolgen derselben ermöglichte.

Auf Grund des positiven Eindruckes bei der Besichtigung der X – Band Version auf dem im holländischen Kriegshafen Denhelder liegenden Flugzeugträger, wurde die Firma HSA aufgefordert einen verbindlichen Projektvorschlag auszuarbeiten.

HSA unterbreitete der KTA im Frühjahr 1962 einen Systemvorschlag mit der Bezeichnung 9ZW/10ZW. Gemäss dem Vorschlag beabsichtigte HSA die Funktion des Generalunternehmers zu übernehmen und die Entwicklung und Herstellung des Antennensystems sowie von Teilen der digitalen Signalverarbeitung und der Anzeige- und Hilfsausrüstungen auszuführen.

Der eigentliche Radarteil sowie die analoge Signalverarbeitung sollte bei der Firma Philips-Telekommunikation (PTI) in Hilversum und Huizen entwickelt und gebaut werden.⁷⁾

Dieses Projekt stellte insofern ein Markstein in der Entwicklung dar, da erstmals die bisherige Röhren-Technologie durch Halbleiter abgelöst werden sollten. Im weiteren wollte die Firma, wo immer es der damalige Stand der Technik erlaubte, anstelle von analogen bereits digitale Schaltkreise verwenden.

Die ab ca. Mitte der fünfziger Jahre in den USA erfolgte sprunghafte Entwicklung der Radartechnologie fand, durch die zu Beginn der sechziger Jahre in zahlreichen wissenschaftlichen und technischen Veröffentlichungen publizierten Artikeln, auch bei Fachleuten in Europa Beachtung.

Die bei den Radargeräten der ersten Generation noch weitgehend aus der klassischen Radiotechnik übernommenen Methoden und Schaltungen wurden bei den Neuentwicklungen mehr und mehr durch statistische Verfahren aus der Uebertragungs - Theorie abgelöst, welche auf den Arbeiten der Physiker Shannon, Niquist und Marcum basieren.

Zudem hatte auch bereits eine Ablösung, von den herkömmlichen zweidimensionalen Rundsuch-Radarsystemen mit zusätzlichem Höhenfinder durch die wesentlich leistungsfähigeren dreidimensionalen (3D) Radarsysteme begonnen.⁸⁾

^{9) 10)}

Bereits vor diesem Zeitpunkt machte man sich beim Kommando der Flieger und Flabtruppen Gedanken über die zukünftigen Mittel zur Luftverteidigung der Schweiz.

Im Laufe dieser Studien wurde erkannt, dass sich eine effiziente Frühwarnung sowie die Führung von Abfangjägern und die Koordination einer modernen Fliegerabwehr nur durch den Einsatz von digitalen Rechnersystemen und neuartigen Radarsensoren welche den Aufbau einer dreidimensionalen Luftlage erlaubten, verwirklicht werden konnten.

Ein taktisches Pflichtenheft für ein zukünftiges halbautomatisches Luftüberwachungs- und Führungssystem mit der Bezeichnung „FLORIDA“ wurde ausgearbeitet und im Frühling 1962 von der LVK genehmigt.

Ebenfalls im Frühling 1962 bestimmte der Generalstabschef einen Projektleiter für die Realisierung dieses umfangreichen Vorhabens, das noch in der zweiten Hälfte der sechziger Jahre realisiert werden sollte.

Allerdings waren sich die verantwortlichen Stellen des EMD's im Jahre 1962 im Klaren, dass ein derartiger Schritt noch intensiver Vorarbeiten und Definitionen bedurfte. Auch mussten die in der Planungsphase befindliche Beschaffung von modernen Abfangjäger Mirage 3/S und der Flablenkwaffe BL64 miteinbezogen werden. Im Hinblick auf die erst zu Beginn der siebziger Jahre zu erwartende Einsatzbereitschaft des Florida-System, wurde daher entschieden mittelfristig das vorhandenen System AN/FPS-20A weiter auszubauen.

Auf Grund dieses Entscheides erfolgte im Spätherbst 1962 die Auftragserteilung für das Projekt 9ZW/10ZW an die Firma Hollandse Signaalapparaten in Hengelo, die in der Schweiz damals durch die Firma Philips in Zürich vertreten war.

In Anbetracht der relativ hohen Kaufkraft des Schweizer Frankens in den Niederlanden, reichte der ursprünglich für einen Kauf in den USA budgetierte Finanzrahmen zur Beschaffung von zwei vollständigen Höhenfinder-Systemen inklusiv des erforderlichen Ersatzmaterials, der Ausbildung und dem Firmen-Support anlässlich der Installation in der Schweiz.

Da für den Einsatz mit dem AN/FPS-20A Rundsuchradar nur die Installation eines Höhenfinders geplant war, wurde das zweite System für die Ablösung des SFR-Höhenfinders auf einem weiteren Radarstandort im Gebirge vorgesehen. Die dabei entstehenden Nahtstellen zu den Systemen AN/FPS-20A und ER-220 mussten daher von der Firma HSA bei der Entwicklung mitberücksichtigt werden.

Die beim Projekt 9ZW/10ZW erstmals zur Anwendung kommende Halbleiter- und Digital-Technologie hatte auch Auswirkungen auf den Unterhalt dieser Systeme zur Folge. So mussten das Unterhaltspersonal in Einführungskursen vorab in die damals neue Halbleiter- und Digitaltechnik eingeführt werden. Diese Vorausbildungen erfolgten durch Instruktoren der Firma Philips in Eindhoven.



Im weiteren bedingten die neuen Technologien die Beschaffung einer Reihe neuartiger Unterhaltsausrüstungen. So mussten z B wegen den hohen Anforderungen an die Genauigkeit der Höhenvermessung, sehr genaue Wasserwaagen für die horizontale Ausrichtung der Antennen, beschafft werden. Siehe in nebenstehender Figur eine sog. Koinzidenzlibelle der Jenaer Firma VEB Zeiss welche eine Neigungsmessung mit einer Genauigkeit von ca. 2 Winkelsekunden ermöglichte.

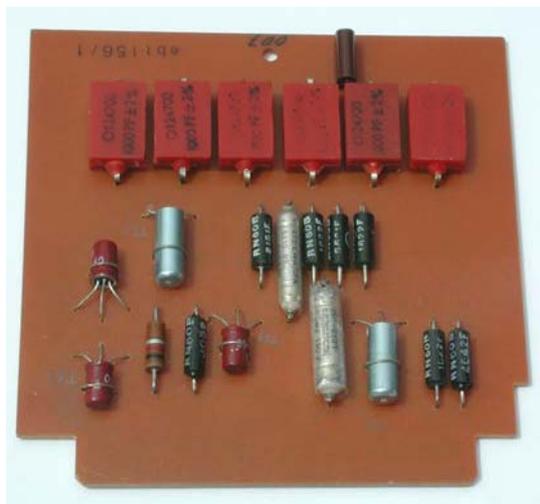
Die systemspezifischen Ausbildungskurse für das schweizerische Unterhalts- und Bedienungspersonal wurden in der Zeit vom Herbst 1963 bis Februar 1964 in den Werken von HSA in Hengelo und PTI in Huizen durchgeführt (siehe Foto auf der nächsten Seite).

Die beiden Fotos zeigen die Teilnehmer und Instruktoren anlässlich der in den Jahren 1963/64 erfolgten Ausbildungen für das 9ZW/10ZW Höhenfinder Radar-system bei der Firma Hollandse Signaalapparaten (HSA) in Hengelo und bei der Firma Philips Telecommunication (PTI) in Huizen.



Der Radarteil bestand aus zwei identischen Sende-Empfangsgeräten die im Frequenz-Diversity Betrieb arbeiteten. Die beiden mit Magnetrons des Typ MIL-5586 ausgerüsteten Sender erzeugten mit einer gestuften PRF von ca. 250Hz zwei kurz aufeinander folgende Hochfrequenzimpulse von je $2.3\mu\text{s}$ Dauer und ca. 750kW Impulsleistung. Die Sendefrequenzen konnten im Bereich von 2700 – 2900 MHz manuell variiert werden, wobei infolge des Diversity-Betriebes ein Frequenzabstand von min. 50 MHz eingehalten werden musste. Neben dem Umstand, dass allfällige Störer gezwungen wurden gleichzeitig zwei Empfangskanäle mit Störenergie zu belegen, konnte durch den Diversity-Betrieb eine Verbesserung des Signal/Rausch Verhältnisses des Zielsignales erreicht werden. Zusätzlich zum Frequenz-Diversity-Betrieb verfügte das System über weitere für die frühen sechziger Jahre typische ECCM- (Antistör-) Massnahmen, wie ein Pulslängen Diskriminator gegen CW-Störer, ein Videointegrator gegen asynchrone Pulsstörer und eine „staggered“- PRF, als Massnahme gegen synchrone Pulsstörer.

Die vertikal polarisierte parabolische Antenne wies bei einem Antennengewinn von ca. 41dB eine horizontale Strahlbreite von 2° und eine vertikale von 1° auf. Die Ausleuchtung des parabolischen Antennenreflektors erfolgte durch ein mit einer Spinfrequenz von ca. 24Hz rotierendes „**conical scanning system**“. Aus dem rotierenden Strahlungsdiagramm wurde die Steuerinformation für das automatische Nachführen der Antenne auf einmal erfasste Ziele (locked on) abgeleitet. Die Radarempfänger waren bereits mit Double-Balance-Mischstufen ausgestattet und wiesen Rauschfaktoren von ca. 9dB auf, erstmals verfügten die für 500kHz Bandbreite ausgelegten ZF-Verstärker sowohl über eine lineare wie auch über eine logarithmische Verstärkercharakteristik.

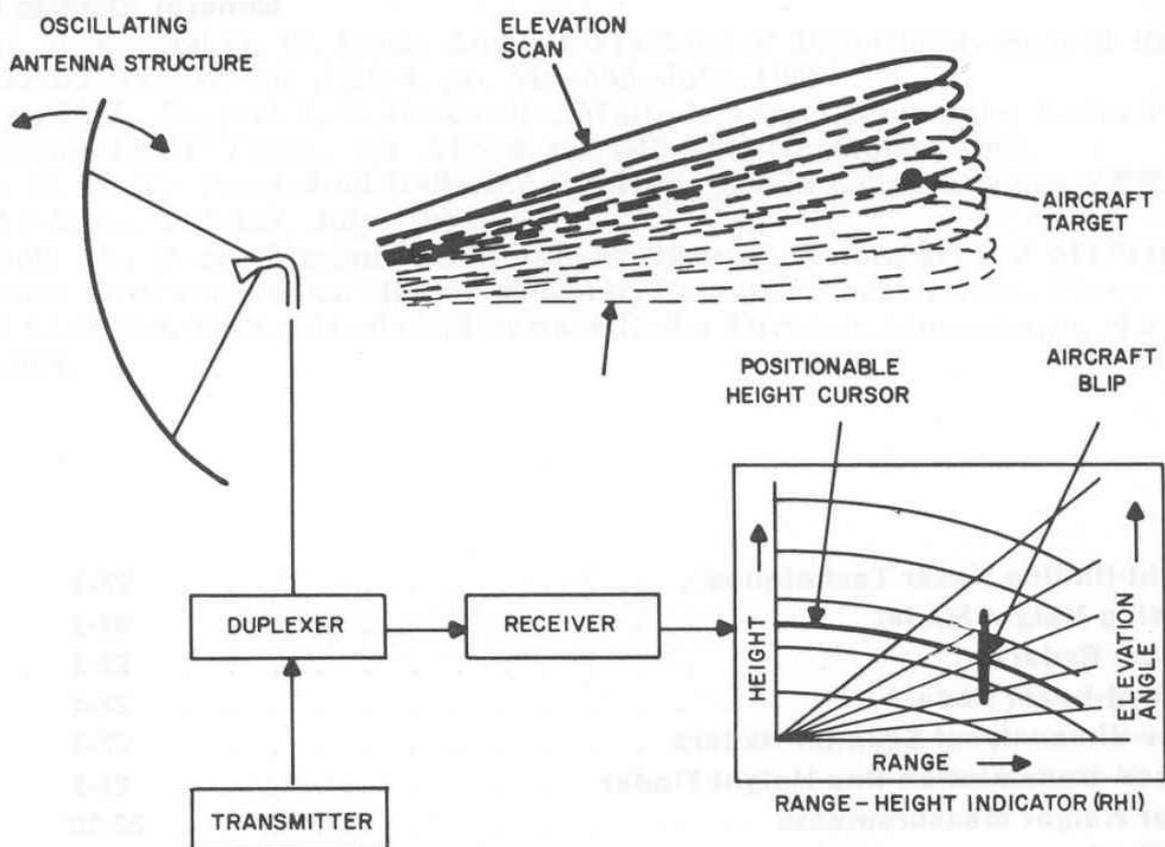


In der nebenstehenden Figur ist eine für den HSA Höhenfinder 9/10ZW typische, noch mit diskreten Bauelementen bestückte digitale Schaltungskarte, ersichtlich. Vorwiegend kamen hierbei noch Germanium-Transistoren von Philips zur Anwendung. Für spezielle Funktionen wie z B für Miller-Integratoren, wo hohe Eingangswiderstände erforderlich sind, wurden vereinzelt auch noch Subminiaturröhren eingesetzt.

Das Bestimmen der Flughöhe des erfassten Zieles erfolgte trigonometrisch aus dem Elevationswinkel der Antenne und der Radarentfernung mit Hilfe einem elektromechanischen Analog - Rechner. Für die Höhenberechnung wurde ein mit der vertikalen Abtastbewegung der Antenne gekoppelter Kurvenkörper abgetastet, auf dessen Oberfläche die mathematischen Funktionen eingearbeitet waren.

Gleichzeitig wurde dabei auch der Refraktionsfehler korrigiert, welche bei der Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen durch die Luftschichten mit unterschiedlicher Dielektrizitätskonstante entsteht.

Die in analoger Form anfallende Höheninformation wurde in einem A/D Wandler digitalisiert und in numerischer Form abgespeichert. Die Anzeige erfolgte sowohl in analoger Form auf dem Höhenbildschirm der Anzeigekonzole in sog. „Range Height Indication“ (RHI). Aus der nachstehenden Figur ist ersichtlich wie eine RHI - Präsentation bei der Höhenmessung mit einem „nickenden“ Höhenfinder zustande kommt.



Zusätzlich erfolgte jedoch die Höhenanzeige des vermessenen Flugzeuges auch noch numerisch mit Zifferanzeige auf sog. Nixi - Röhren. Aus den zwischengespeicherten Höhenwerten von nacheinander folgenden Höhenmessungen konnte auch die Differenzhöhe bestimmt werden. Dies war für die vom Boden geleitete Abfangjagd ein wertvolles Hilfsmittel um laufend die Höhendifferenz zwischen dem Abfangjäger und dem zu bekämpfenden Flugzeug zu bestimmen. Das Höhenmess - Sichtgerät ist mit drei Bildschirmen ausgerüstet. Einem Höhenanzeigeschirm für die in Range Height Indication (RHI) erfolgende Darstellung der Höhe des zu vermessenen Radarzieles. Eine in Plan Position Indication (PPI) erfolgende Darstellung des Rundsuchradar. Sowie einem sogenannten A - Schirm auf dem das Zielecho des zu vermessenen Radarzieles angezeigt wird.



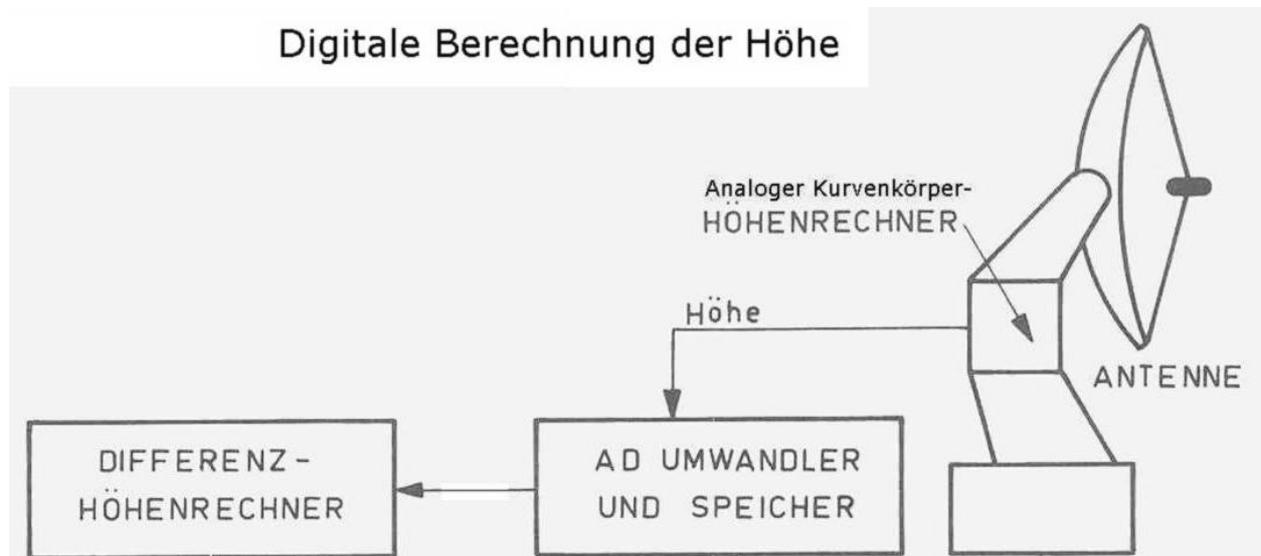
Der links auf dem Anzeigergerät angeordnete Höhenmesser - Bildschirm mit dem quadratischen Ausschnitt zeigt wahlweise einen Höhenbereich von 0 – 15'000 oder 0 - 30'000 Meter in RHI Darstellung.

Der rechts auf dem Höhenmess – Anzeigergerät angeordnete PPI Bildschirm zeigt wahlweise die Entfernungsbereiche 0 – 50, 0 – 100 oder 0 – 200 Seemeilen des Rundsuchradars. Der oberhalb der Mitte zwischen den beiden RHI und PPI Bildschirmen angeordnete A - Bildschirm zeigt das Zielfolgetor mit dem überlagerten Zielechosignal. Die Berechnung der Differenzhöhe erfolgte dabei erstmals mit einem Hardware - programmierten Digitalrechner.

Da wegen der damals noch beschränkten Schaltgeschwindigkeit der Germanium Transistoren die vorgesehene Taktfrequenz von 500 kHz in binärer Zählweise nicht erreicht werden konnte, musste von HSA ein spezieller Zählalgorithmus entwickelt werden welcher weniger Programmschritte benötigte.

Der Digitalrechner diente beim automatischen Verfolgen eines erfassten Zielles gleichzeitig auch für die Nachlaufsteuerung der Elevation der Antenne.

Die nachstehende Figur zeigt die prinzipielle Anordnung der Baugruppen für die Berechnung der digitalen Höheninformation.



Die Höhenfinder-Radaranlage 9Zw verfügte über die nachfolgenden Betriebsarten:

Mode I Rundsuchen mit 10 U/min mit einer spiralförmigen Höhenabtastung

Mode II Manuelle Höhenmessung mit Hand - Zielzuweisung, Hand - Höhenmessung) Vermessung von ca. 6 Zielen pro Minute über 360°

Mode III Halbautomatische (auto - lock) Höhenmessung, manuelle Zielzuweisung, automatischer Messvorgang, 15 erwartete Messergebnisse von 15 verschiedenen Zielen pro Minute innerhalb „lock-on“ Entfernung.

Mit dem Höhenfinder konnten Ziele bis zu einer Flughöhe von max. 30'000 m vermessen werden.

Das System wies im Diversity-Betrieb der beiden Radargeräte nachfolgende Reichweiten bzw. Leistungen der Höhenvermessung auf:

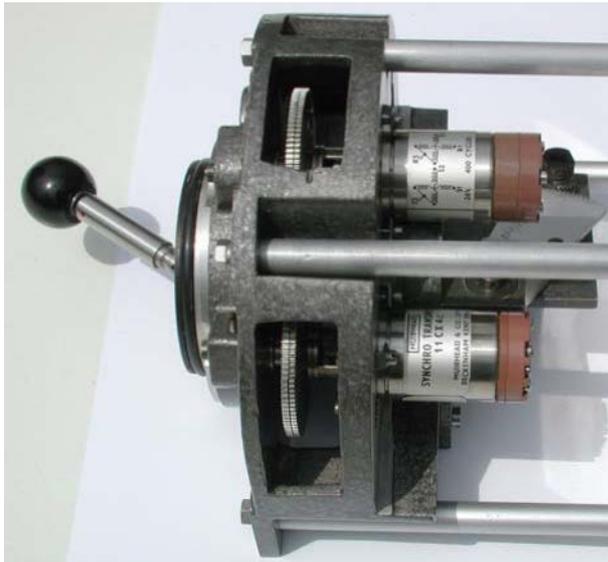
Max. Entfernungen für eine Höhenvermessung gegen ein Zielflugzeug mit 1m² Rückstrahlfläche im:

Mode II etwa 180 Nautische Meilen

Mode III etwa 140 Nautische Meilen

Die systematische Genauigkeit der Höhenmessungen im Mode III lag innerhalb 300 Meter für Entfernungen bis 140 Nautische Meilen.

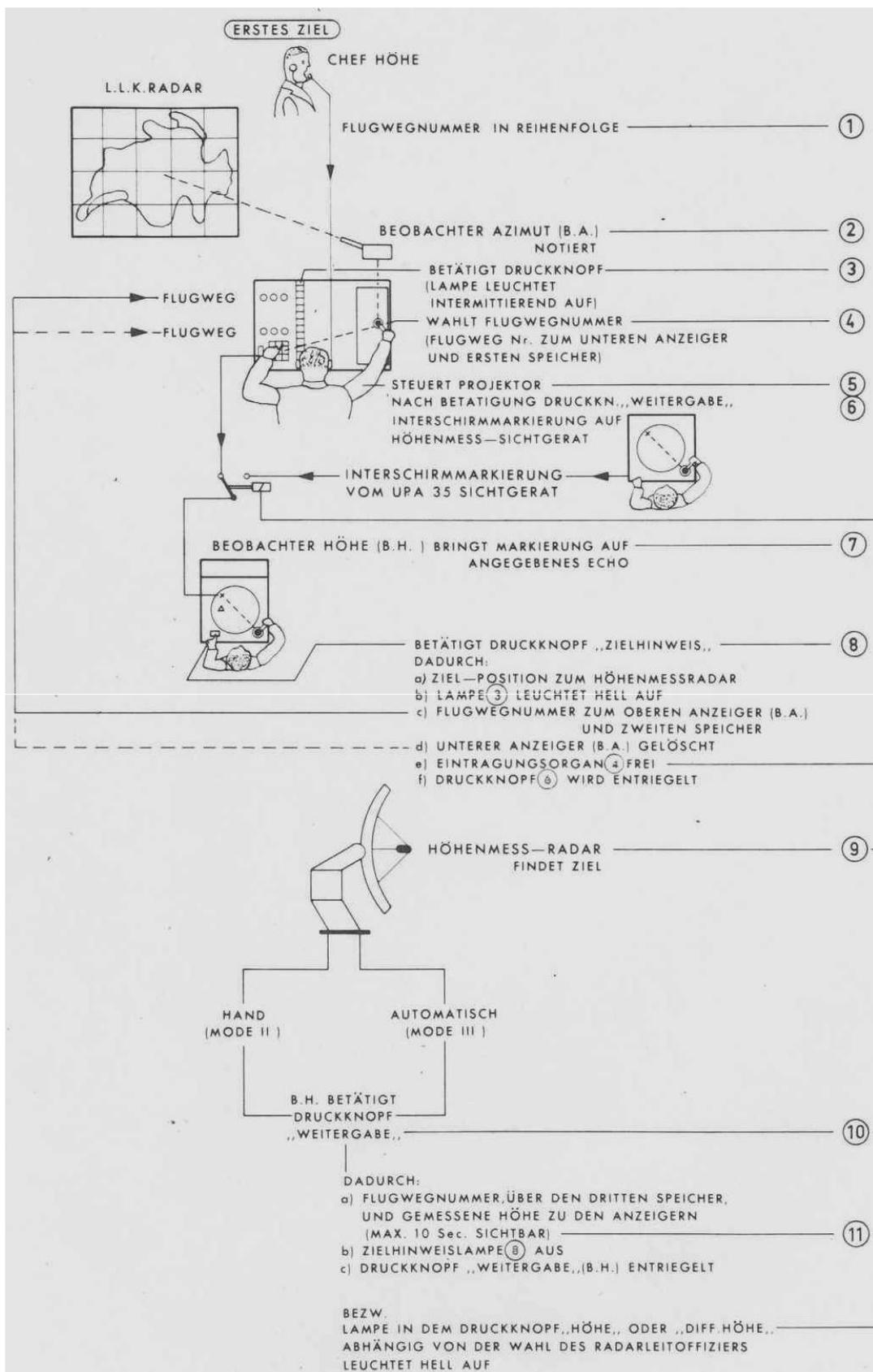
Die Zuweisung der zu vermessenden Ziele erfolgte auf dem PPI Uebersichtsbildschirm, indem mit einem **Joystick** ein Markierungs-Symbol auf den Radarplot gesetzt wurde.



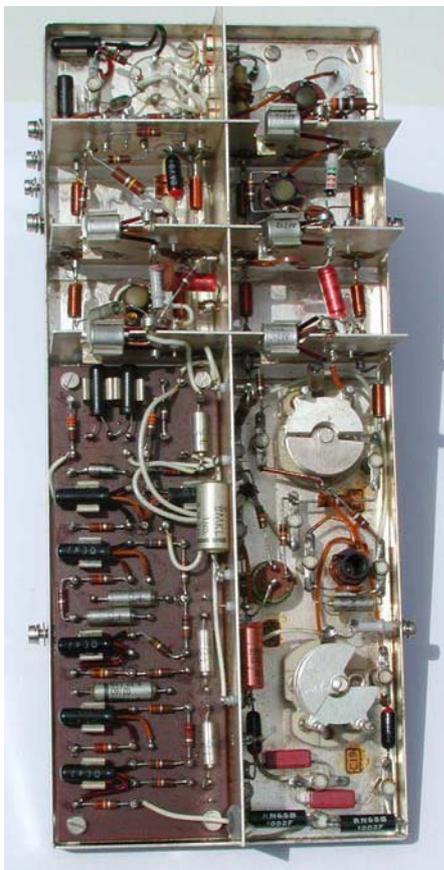
Auf der nebenstehenden Figur ist die **Joystick** - Einheit des Höhenfinder Anzeigegerätes ersichtlich. Die Uebertragung der Winkel- und Distanz Informationen auf die Servosteuerung der Höhenfinder - Antenne erfolgte in analoger Form mit Resolver u. Potentiometer über Rechenverstärker. Die Joystick - Einheiten wie auch alle übrigen elektromechanischen Baugruppen des Höhenfinders wiesen einen hohen Qualität - Standard auf.

Ein zusätzlicher Systemteil mit der Bezeichnung 10Zw diente zur Darstellung der Höhenmessdaten im übergeordneten Luftverteidigungssystem. Mit einem Projektor konnte eine Zielhinweis-Marke auf die geographische Luftlagekarte projiziert werden. Anhand dieser Lichtmarke konnten die Benutzer der Lagekarte die Position des zu vermessenden Zieles erkennen. Die Zielzuweisung konnte jedoch auch von einem AN/UPA-35 Anzeigegerät des AN/FPS-20A Rundsuchradars erfolgen.

Die Darstellung auf der folgenden Seite zeigt die Möglichkeiten und die erforderlichen Arbeitsgänge bei der Höhenvermessung von Flugzielen mit dem Höhenfinder 9Zw und dem Darstellungssystem 10Zw.



Die zu Beginn der sechziger Jahre bei der Entwicklung von Hollandse Signaalapparaten (HSA) des 9Zw Höhenfinders verwendete Technologie entsprach grossenteils dem damaligen Stand der Militärtechnik im westlichen Verteidigungsbündnis NATO. HSA hatte durch die Beteiligung an multinationalen Rüstungsprogrammen wie z. B. dem F-104 Abfangjäger (Starfighter) und dem Surface to Air Missile Programm (Hawk) Zugang zu der modernen amerikanischen Aerospace Electronic erhalten. Zudem bestanden enge Verbindungen zur englischen Rüstungsindustrie dies führte z.B. so weit, dass beim Bau des Höhenfinders ganze Baugruppen hochwertiger Halbleiter-Rechenverstärker aus dem Bloodhound II Programm von Ferranti verwendet wurden.



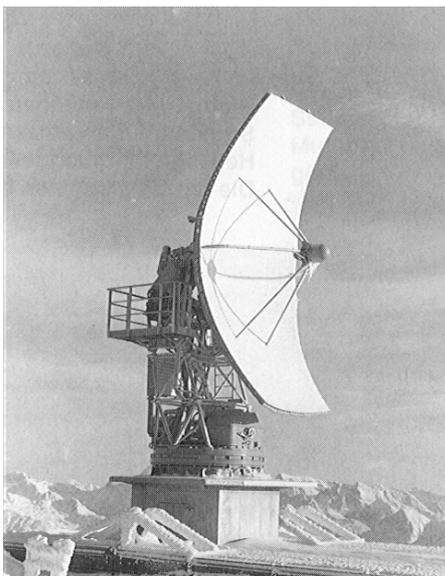
Siehe in der nebenstehenden Figur den bereits vollständig transistorisierten ZF-Vorverstärker des Radarempfängers welcher mit den zu Beginn der sechziger Jahre noch relativ seltenen Silizium-NPN - Transistoren bestückt war. Zum Zeitpunkt der Entwicklung des Höhenfinders stellte der ZF-Verstärker bezüglich Rauschfaktor und Dynamik ein „state of the art“ Produkt dar. Er entsprach dem technischen Stand damaliger amerikanischen Entwicklungen.

Mit der Einführung des Rundsuch-Radars AN/FPS-20A und des Höhenfinders 9ZW/10ZW verfügten die schweizerischen Flieger- und Flabtruppen erstmals über ein leistungsfähiges Radarsystem für die Nachrichtenbeschaffung. Bei der noch sehr bescheidenen Luftraum - Nutzung durch Flugzeuge stellte die begrenzte Vermessungskapazität des Höhenfinders die betriebliche Wirkung des Führungssystems noch nicht gravierend in Frage. Verglichen mit den in der ab den 80er Jahren üblichen Nutzung des europäischen Luftraumes mit dauernd mehreren hundert Flugbewegungen, erscheint die damalige Kapazität des Höhenfinders mit lediglich 15 Messungen pro Minute heute allerdings sehr bescheiden.

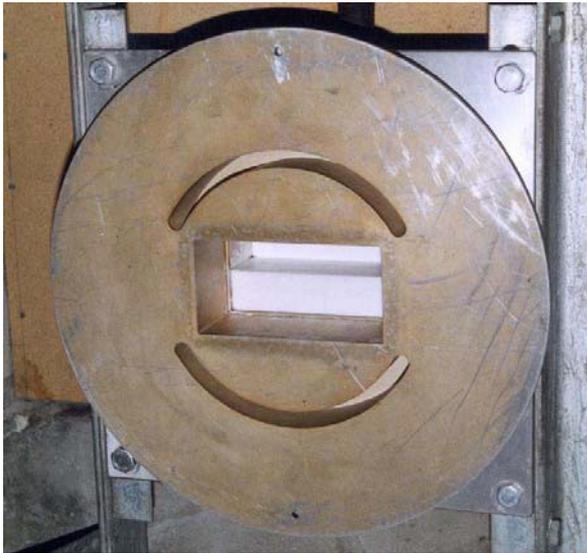


Probleme ergaben sich einzig bei dem mit 24 Hz den Raum abtastenden „conical scanning system“. Die hierfür erforderliche Umdrehungszahl von 2800 U/min. führte zu hohen Zentrifugalkräften welche einen raschen Verschleiss der Wälzlager verursachten. Die Lagerungen des ursprünglich für das X-Band konzipierten „conical scanning system“ hätten eigentlich um den bei der Konvertierung in das S-Band erhöhten Zentrifugalkräften standzuhalten neu konzipiert werden müssen. HSA hatte dies aus zeitlichen Gründen unterlassen was später einen erheblichen Unterhaltsaufwand zur Folge hatte. Siehe in nebenstehendem Bild die auf den max. Elevationswinkel hochgefahrte PHF - Antenne. In der im Brennpunkt des parabolischen Antennenreflektors befindlichen Nozzle - Einheit rotiert das „conical scanning system“.

Im Jahre 1965 erfolgte die Installation der Radaranlage AN/FPS-20A und des Höhenfinders 9ZW/10ZW auf dem definitiven Standort im Hochgebirge.



Siehe auf nebenstehendem Bild die schneebedeckte Antenne des Philips Höhenfinders welche auch bei arktischen Verhältnissen in dem auf 3200 Meter ü. Meer gelegenen Höhenstandort ihre Funktion erfüllen musste.



Für die AN/FPS-20 Wellenleiter - Verbindung zur Antenne wurde infolge der absenkbaren Anordnung eine Wellenleiter - Trennstelle erforderlich. Das Foto zeigt den feststehenden Wellenleiter- (Choke-) Flansch der Trennstelle. Der gegenüberliegende Wellenleiterflansch war in wenigen Millimetern Abstand am beweglichen Hebeturm angeordnet. Für eine einwandfreie elektrische Uebertragung musste der 10 Tonnen wiegende Hebeturm beim Einfahren millimetergenau positioniert werden.

Neben der Ausbildung der Radartruppe wurden auf dem temporären Standort Wangenerberg verschiedene Tests und Versuche durchgeführt.

Einerseits wurde versucht ein realistisches Bild über die Leistungsfähigkeit der beiden Systeme zu gewinnen, andererseits interessierte vor allem auch das Verhalten im elektronisch gestörten Klima.

Die von der US Air Force zum Radar AN/FPS-20A zur Verfügung gestellten Angaben zur Erfassungsreichweiten bezogen sich auf Flugzeugtypen die sich in Europa nicht im Einsatz befanden. Es wurde daher mit eigenen Flugzeugtypen und z.T. auch anhand ziviler Linien- Flüge versucht einem Ueberblick über die Leistungsfähigkeit der Systeme zu erhalten.

Die einschränkende Wirkung der gebirgigen Umgebung auf die Radarerfassung von Flugzielen war bereits von den Versuchen mit dem ER-220 Radarsystem bekannt. Bezüglich dem Verhalten des AN/FPS-20A Radars in einem elektronisch gestörten Klima stellte die US Air Force bei der Ablieferung im Jahre 1958 keinerlei Unterlagen zur Verfügung.

Obwohl bereits bekannt war, dass bei der U.S. Air Force zum AN/FPS - 20A System eine **ECCM - Zusatzausrüstung mit der Bezeichnung „Quick Fix System“** existierte wurde diese Ausrüstung infolge Export – Restriktionen nicht mitgeliefert.

Anfangs der sechziger Jahre wurden in der Schweiz erste Versuche bezüglich dem Verhalten der AN/FPS-20A bei elektronischen Störungen durchgeführt. Die Versuche wurden durch das Kdo. der Flieger- und Flab Truppen organisiert und im Beisein von Vertretern der KTA, der DMP und teilweise auch unter Beteiligung von Industriefirmen durchgeführt. Dies geht z.B. aus dem nachfolgend dokumentierten Versuch in Zusammenarbeit mit den Firmen Contraves und Siemens Albis¹³⁾ hervor:

Versuch vom Mittwoch 16. August 1961 auf AN/FPS-20 Wangenerberg

Betrifft: Demonstration des Video-Korrelators der Firma Temco, USA durch die KTA/Contraves in der Radar-Station FPS 20 in Wangen b/Düßendorf /ZH.			
	Bearbeiter: Klauser		
	Dat. 21.8.1961		
	BA KHA AIE UA	Nr.	

Teilnehmer : Herren der KTA, der KMV, der Contraves und AWZ.

Die Einladung und Durchführung der Demonstration erfolgte durch KTA und Contraves.

1. Video-Korrelator der Firma Temco

Dieses Gerät wurde von der Firma Temco entwickelt als Zusatzgerät für Frühwarn-Radaranlagen für die Elimination von, durch solche Geräte verursachten, gegenseitigen Störungen. Das Gerät kann sowohl mit linearer Videointegration als auch mit nichtlinearer Video-Korrelation arbeiten und gestattet auf diese Art eine optimale Indikator-Darstellung selbst bei Einwirkung von natürlichen und künstlichen Störungen (z.B. Sea-Clutter, ECM). Das Gerät besteht im wesentlichen aus einem Video-Multiplier mit 2 Eingängen und einem Ausgang und einer Quartz-Verzögerungsleitung, welche so zusammengeschaltet sind, dass der Ausgang des Multipliers über die Verzögerungsleitung auf dessen Eingang zurück geführt wird. Impulse, welche diese Verzögerungsleitung passieren, werden genau um eine Impulsperiode verzögert und am Eingang des Multipliers jeweils mit dem nachfolgenden Impuls multipliziert. Dieser Vorgang wiederholt sich fortwährend bis zur Sättigung der Schaltung. Das auf diese Weise korrelierte Signal gelangt dann zur Darstellung auf den Indikator. Signale, deren Wiederholungsfrequenz nicht derjenigen der Radaranlage, mit welcher der Korrelator zusammenarbeitet, entsprechen, ebenso wie Rauschsignale, sind nicht korreliert und werden daher entsprechend unterdrückt. Das Empfängerrauschen allein wird erheblich reduziert. Die Radar-Ausgangssignale werden ^{angeblich} verbessert, vorallem auch bezüglich Fluktuationen.

2. Vorgeschichte

Die Contraves hat sich seinerzeit im Zusammenhang mit dem Projekt ICONORAMA / Fledermaus für die Flugwegvermessung bereits für den Video-Korrelator interessiert, da dieser durch die Herstellerin des ICONORAMA-Gerätes entwickelt wurde, Der Video-Korrelator wird aber streng geheim gehalten, da er in einem Regierungsauftrag für viele in USA eingesetzten Frühwarnanlagen hergestellt wird. Ein Export darf höchstens nach NATO-Länder erfolgen und braucht eine spezielle Bewilligung des State Department.

Andererseits bewirbt sich auch die KTA seit einiger Zeit für dieses Gerät, wobei es nun offenbar gelungen ist, über den diplomatischen Kanal ein solches Gerät in der Schweiz vorführen zu lassen. Da die Contraves der Generalvertreter der Temco in Europa ist, wurde sie von der KTA mit der Durchführung der Demonstration zusammen mit der DMP Dübendorf beauftragt.

Es ist uns ebenso bekannt, dass die Contraves Italiana gegenwärtig versucht, einen Video-Korrelator der Firma Temco zu beschaffen und hiezu auch die Bewilligung erhalten wird. Die Contraves Italiana plant sodann Versuche mit dem AWZ-Radar D VII mit dem Zweck, diesen Video-Korrelator entsprechend modifiziert in die Fledermaus einzubauen.

3. Demonstration

Die Anwesenden wurden durch Herrn Major Lüthi, DK 2 / KTA begrüsst. Die Durchführung selbst besorgte Herr Gerschwiler von Contraves Zürich. Im Indikatorraum der Radaranlage FPS 20 sind 3 PPI der Firma Hazeltine aufgestellt. Diese Indikatoren machten einen ausgezeichneten Eindruck, vorallem bezüglich des geschickten Aufbaus, Skalen und Knopfbeleuchtungen und nicht zuletzt durch eine sehr gute Bildschärfe. Einer dieser Indikatoren arbeitete ohne Korrelator der andere mit Korrelator. Mit einem Störsender (Messender von Hewlett Packard) wurden über ein Horn Störimpulse mit veränderlicher Wiederholungsfrequenz direkt bei der Antenne des Rundsuchradars eingespeist. Durch tiefe Wiederholungsfrequenz wurden sogenannte Running-Rabbits erzeugt, mit sehr hoher Wiederholungsfrequenz entstanden Störsignale ähnlich Störuschen. Vorerst wurde nun die Wirkung von Video-Integration einerseits und Video-Korrelation andererseits bei Einwirkung dieser Störsignale gezeigt. Bereits mit Integration war eine deutliche Unterdrückung der Störsignale erkennbar, wogegen mit Korrelation eine gänzliche Unterdrückung

erzielt wurde. Auffallend war ebenfalls die Verbesserung des Kontrastes auf dem PPI mit eingeschaltetem Korrelator. In einem 2. Versuch wurde ein Düsenflugzeug Hunter im An- und Wegflug, auf ca. 15'000 m Höhe beobachtet. Die Sendeleistung des Radars wurde dabei reduziert, um die Grenzreichweite auf dieses Flugzeug herabzusetzen. Das Signal des in Richtung Lausanne-Genève wegfliegenden Flugzeuges hätte dabei, bei der maximal möglichen Entfernung im Rauschen verschwinden sollen. Auf dem PPI, welches ohne Korrelator arbeitete, war die Erkennung des Echos äusserst schwierig. Auf dem mit Korrelator arbeitenden PPI konnte ein Signal bis zur Grenze der Reichweite festgestellt werden, wobei allerdings das Signal nicht bei jedem Antennendurchgang erschien.

Von Hermpfister, KTA wurden mir noch einige Messwerte mitgeteilt, die sich auf die Versuche am Gerät FPS 20 (L-Band) beziehen. Mit einem Signal-Generator wurde eine Signalleistung von -61 dbm in den Mikrowellenkanal eingespeist. Mit einem zusätzlichen Attenuator konnte dieses Signal bis zur Grenzümpfindlichkeit reduziert werden. Es wurden Messungen auf dem A-Scope und auf dem PPI durchgeführt, wobei für das Grenzsinal folgende Stellungen des Zusatz-Attenuators erforderlich waren (Messung ohne Störungen !)

A-Scope :

mit Korrelator	-7,2 db
mit Integrator	-9 db

PPI :

mit Korrelator	-1,6 db
mit Integrator	-2,7 db

Daraus geht hervor, dass die Grenzümpfindlichkeit bei arbeiten mit Integrator um ca. 1,8 db besser ist als mit Korrelator.

Weitere Messungen werden durch die KTA noch durchgeführt.

Umfang der Schaltung: Der Korrelator hat in der heutigen Bauweise mit Röhren die Grösse einer Geräteschublade des Radargerätes AFR 150, wobei die Speisung nicht miteingerechnet ist.

Da die Störsender aus begrifflichen Gründen im Ausland ebenfalls strikter Geheimhaltung unterlagen und deshalb von der Schweiz nicht ohne weiteres beschafft werden konnten, begann man ab diesem Zeitpunkt mit der eigenen Entwicklung der erforderlichen Trainings - Störsender.

Die dabei gesammelten Erkenntnisse waren von hohem Nutzen da damit z.T. gravierende Schwachstellen im Verhalten der Systeme aufgedeckt werden konnten. Es gelang z.B. mit einem einfachen Pulsstörer aus grosser Entfernung das Abschalten des AN/FPS-20A Radarsenders herbeizuführen. Eine geeignete Abhilfe konnten in der Folge entwickelt und deren Wirkung auch überprüft werden.

Auf Grund inzwischen gelockerter Export - Restriktionen konnte der fragliche **Quick Fix Antistörzusatz** im Jahre 1962 doch noch aus der USA beschafft werden. Die Analyse der damit durchgeführten Versuche zeigte jedoch, dass damit die dem System fehlende **Frequency - Diversity and Agility** mit den nur empfängerseitigen Massnahmen des Quick Fix Antistörzusatz nicht behoben werden konnten.¹⁴⁾

Die Firma Bendix versuchte später diese Schwachstelle des AN/FPS-20A durch Einbinden des „Standby“- Kanals in ein Frequency - Diversity Verfahren zu beheben.

In den späten siebziger Jahren wurde diese Modifikation in Kombination mit einem digitalen MTI unter der Bezeichnung AN/FPS-100 ohne grossen kommerziellen Erfolg den noch verbliebenen Betreibern von AN/FPS-20A Anlagen angeboten. Inzwischen waren die AN/FPS-20A Systeme bei den meisten Benützern von leistungsfähigeren 3D Radarsystemen abgelöst worden.

Ab dem Zeitpunkt der Installation im Hochgebirge bis zur Inbetriebnahme des neuen Florida Systems stellte das AN/FPS-20A Radar mit Philips Höhenfinder die wichtigste Nachrichtenquelle für die Frühwarnung, die Jägerführung und die Zielzuweisung der Flaklenkwaffe BL 64 dar.

Nach der Inbetriebnahme des Florida - Systems zu Beginn der siebziger Jahre verlor das AN/FPS-20A und 9ZW/10ZW System als Nachrichtenmittel an Bedeutung und geriet bald in Vergessenheit.

Im Jahre 1976 tauchte bei der militärischen Flugsicherung der Wunsch auf zusätzlich das analoge Video des AN/FPS-20A Radars in die Florida - Kriegseinsatzzentralen einzuspeisen.

Es ergab sich eine Lösung indem das analoge Videosignal dem Basisband der IMS 23 Mikrowellen - Richtfunkstrecke aufmoduliert und in die entfernten Kriegseinsatzzentralen übertragen wurde.

Durch das unter der Bezeichnung Flora Uno im Jahre 1976 realisierte Vorhaben erlangte das AN/FPS-20A als Backup Nachrichtenlieferant nochmals eine gewisse Bedeutung.¹⁵⁾

Um die AN/FPS-20 Radaranlage an die durch die Einbindung in das Florida-System gesteigerten Anforderungen zu verbessern, erfolgten in den frühen achtziger Jahren auch noch einige Modifikationen.



Die Foto zeigt den Messplatz der zur periodischen Kontrolle der Empfindlichkeit des Radarempfängers und der Leistung des AN/FPS20 Anlage diente. Ein Abfall von 1 dB im Sender oder im Empfänger verursacht ein Verlust von 6% an Radarreichweite.

Die AN/FPS-20 Anlage befand sich bis zu der Ende 1998 erfolgten Demontage in betriebsbereitem Zustand und wurde später im Rahmen des Projektes FLORAKO von einem modernen Radarsystem abgelöst.

Sowohl das AN/FPS-20A wie auch der Höhenfinder 9Zw/10Zw Radar stammten aus der Anfangszeit des „**kalten Krieges**“, beide Anlagen waren noch ausgesprochene Hardware - Systeme ohne eine Unterstützung durch programmierbare Digitalrechner und dadurch nur sehr beschränkt für veränderte Anforderungen anpassungsfähig.

Dies zeigte sich besonders deutlich im Bereich der sich rasch ändernden Bedrohung durch die elektronische Kriegsführung. Obwohl im ungestörten Klima noch durchaus verwendungsfähig, hätte der Einsatz von modernen Stör - Verfahren zweifellos zu einer gravierenden Degradation der Systemleistung geführt.

Referenzen:

- 1) DMP, Techn. Bericht über die Erprobung der mobilen SFR Radaranlage vom 4.7.1959
- 2) DMP, Techn. Bericht Landeradar AN/MPN-5 vom 7.2.1956
- 3) AOC, History of Electronic Warfare Vol.II
- 4) U.S. Strategic Air Command, ECM Program 1958
- 5) U.S. Air Force Supplement Technical Manual, Radar Set AN/FPS-20A
- 6) U.S. Air Combat Command, The Legacy of the U.S. Cold War Defense Radar Program

- 8) Div. Berichte über Höhenfinder-Evaluation für das Radar FPS-20 aus den Jahren 1961/62
- 9) The Double Threshold Method of Detection, Rand Corporation, Santa Monica 1961
- 10) L.V. Blake, A Guide to Basic Pulse Radar Maximum Range Calculation 1962
- 11) M.I. Skolnik, Introduction to Radarsystems, Vol.I,1962
- 12) Projektbeschreibung 9ZW/10ZW, N.V. Hollandse Signaalapparaten, Hengelo
- 13) Div, Berichte, Störversuche in der Radarstation FPS-20 aus den Jahren 1960/61
- 14) AWZ Bericht, Demonstration des TEMCO Video-Korrelators am Radar AN/FPS-20A durch KTA/Contraves, Verfasser: H.U. Klauser, 21.8.1961
- 15) U.S. Air Force Technical Manual, The Quick Fix System 15.12.1959
- 16) AMF/SFE, Systembeschreibung FLORA UNO, 23.8.1977
- 17) MIT, Lincoln Laboratory, Radar Development, A Fifty Year Review, February 2000