

Zur Geschichte der militärischen Radaranwendungen in der Schweiz
Hans H. Jucker, Zielackerstrasse 7, 8603 Schwerzenbach

Erfahrungen mit den Radars der zweiten Generation und Evaluation der dritten Generation Frühwarn-Radars

Mit der Inbetriebnahme der Radaranlagen **AN/FPS-20A** und des Höhenfinders **9ZW/10ZW** auf dem definitiven Hochgebirgsstandort, in einer Höhe von 3200 m/M (siehe Foto), im Jahre 1965 wurden damals neue Massstäbe für die Luftraumüberwachung in der Schweiz gesetzt.



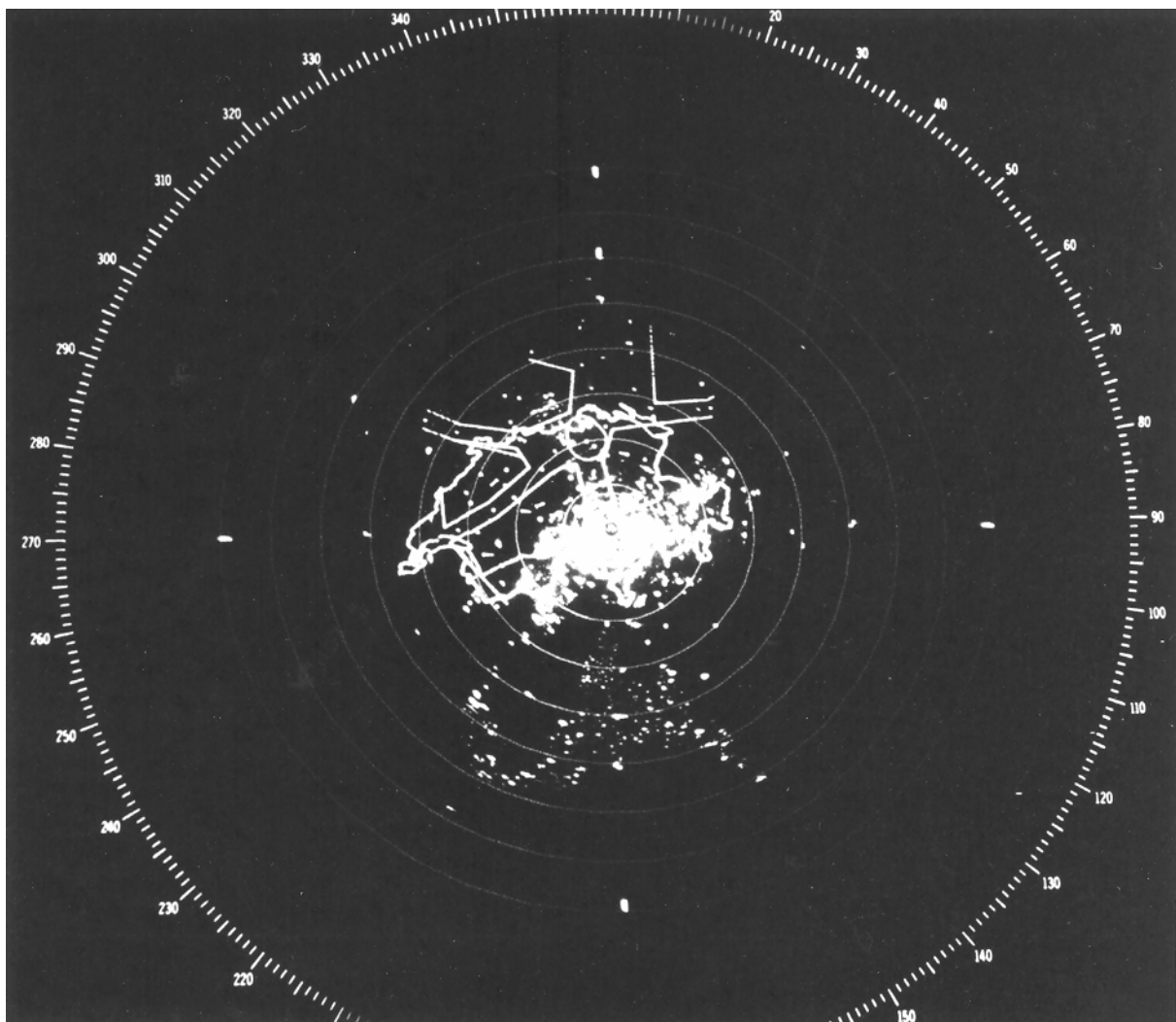
Die verhältnismässig hohe Energie von 12 Wattsekunden der Sendeimpulse des AN/FPS-20A (2 Megawatt, 6 μ s) gepaart mit einem Antennengewinn vom 35 dB ergab trotz der noch relativ geringen Empfindlichkeit der Radarempfänger eine für die damalige Zeit sehr gute Radarerfassungs-Wahrscheinlichkeit. So konnten damit auch Ziele mit relativ kleineren Radarquerschnitten noch mit einer hohen Wahrscheinlichkeit bis zur instrumentierten Entfernung von 425 km vermessen werden. Die Aufstellungshöhe des Radars auf 3200 m/M ermöglichte es Ziele bereits in Entfernungen von über 400 km zu erfassen und zu verfolgen, sofern sie sich auf Flughöhen von 7000 Meter oder höher befanden.

Die nachfolgende Berechnung der **Detektions - Entfernung** mit einer vereinfachten Radargleichung ⁴⁾ unter Annahme der oben aufgeführten Parameter bestätigt, dass die Reichweite **für ein 1m² Ziel** bei über 425 km lag:

$$R^4 = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \phi t}{(4\pi)^3 MDS} = \frac{93 \text{ dBm} + 70 \text{ db} + (-12.76) \text{ dB} + 0 \text{ dB}}{33 \text{ dB} + (-110 \text{ dBm})} \quad R = \sqrt[4]{R^4} > 450 \text{ km}$$

R	Detektionse Entfernung
Pt	Sendeleistung
G	Antennengewinn
λ	Wellenlänge
ϕt	Zielquerschnitt
$(4\pi)^3$	Kugeloberfläche (zweifache)
kTs	eff. Empfänger - Rauschtemperatur bei einer
Bn	Systemsbandbreite (350 kHz)
MDS	Minimum Discernible Signal (MDS) (kTs Bn)

Das Foto zeigt das in die FLORIDA Einsatzzentralen übertragene Radarbild der auf dem Hochgebirgsstandort installierten AN/FPS – 20A Radaranlage. Der äusserte der 50 km Distanzringe entspricht einer Entfernung von 400 km. Die eingeblendeten Winkelmarken bei Azimut 0°, 90°, 180° und 270° dienen zur Ueberwachung der Fernübertragung in die EZ. Auf dem Radarbild ist im Süden in einer Entfernung von ca. 250 - 300 km die Küstenlinie der Bucht von Genua zu erkennen.



Erste Versuche mit dem Philips Höhenfinder auf dem Gebirgsstandort (siehe Foto) bestätigten, dass die Detektionsleistung des mit nur gerade 3.5 Wattsekunden Sendeenergie im S-Band arbeitenden Radarteiles, um einiges hinter dem Rundsuchradar zurücklag. Die Erfassungsreichweiten des ursprünglich für diesen Zweck vorgesehenen AN/FPS-6 Höhenfinders konnten damit nicht erreicht werden.³⁾

Allerdings stellte die Herstellerfirma HSA eine Leistungserhöhung der Sender als „growth potential option“ in Aussicht. Vorgesehen waren zusätzliche Amplitron - Verstärkerstufen für die beiden Sender. Infolge der Florida Beschaffung wurde diese Option jedoch nie eingelöst.



Die Versuche ergaben jedoch, dass beim Vermessen von Zielen auf mittleren Entfernungen, wie dies speziell bei der Führung von Abfangjägern der Fall war, der Mangel an Detektionsleistung durch die Verwendung der automatischen Zielverfolgung teilweise wettgemacht werden konnte. Ein einmal erfasstes (**lock on**) Ziel wurde auch beim Flug durch Niederschlagszonen mit grosser Kontinuität weiterverfolgt.

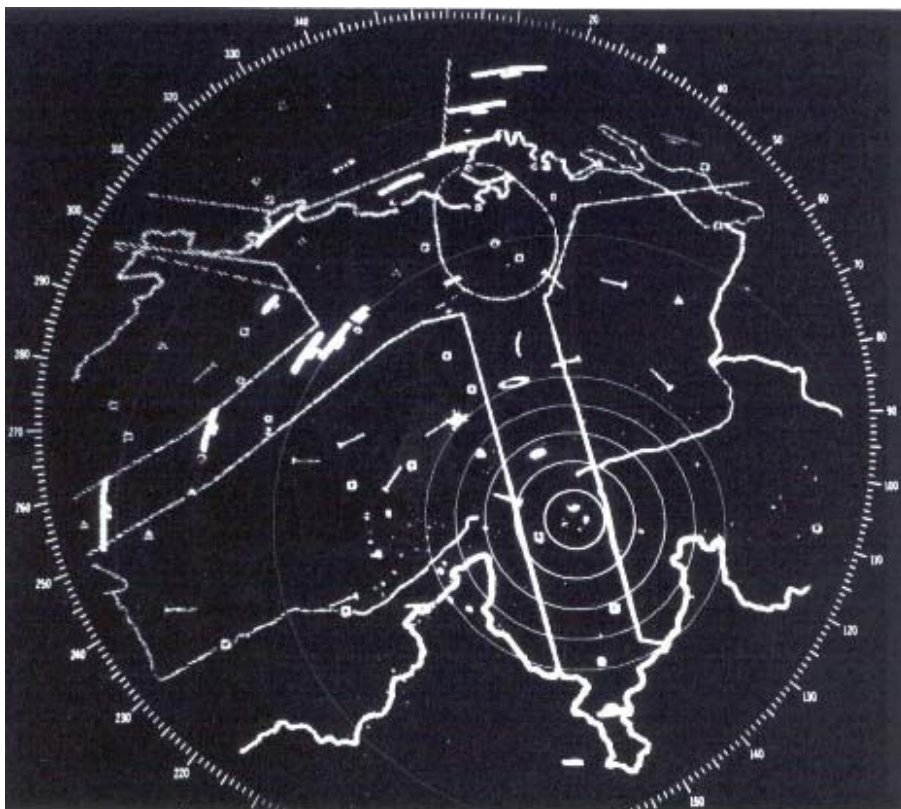
Infolge der baulichen Vorbereitungen für die Installation der Florida - Radarsystems auf den übrigen Radarstandorten im Hochgebirge fielen für die AN/FPS-20A Radaranlage ab Mitte der sechziger Jahre eine Reihe von zusätzlichen Aufgaben an.

Neben dem Einsatz als Sensor für den Aufbau einer beschränkten Luftlage Schweiz wurde versucht Einsatzverfahren für die Führung von Abfangjägern zu entwickeln. Bis zur Inbetriebnahme des Florida Luftverteidigungssystems wurde die AN/FPS-20A Radaranlage auch für die Zielzuweisung des Bloodhound II Lenkwaffensystems eingesetzt.

Bei der Beschaffung des 1964 in der Schweiz eingeführten BL64 Systems (Bloodhound II - Lenkwaffensystem der Fliegerabwehr) wurde im Hinblick auf das künftige Florida Luftverteidigungssystems bewusst und wie es sich später herausstellte folgerichtig, auf ein eigenes Zielzuweisradarsystem verzichtet.

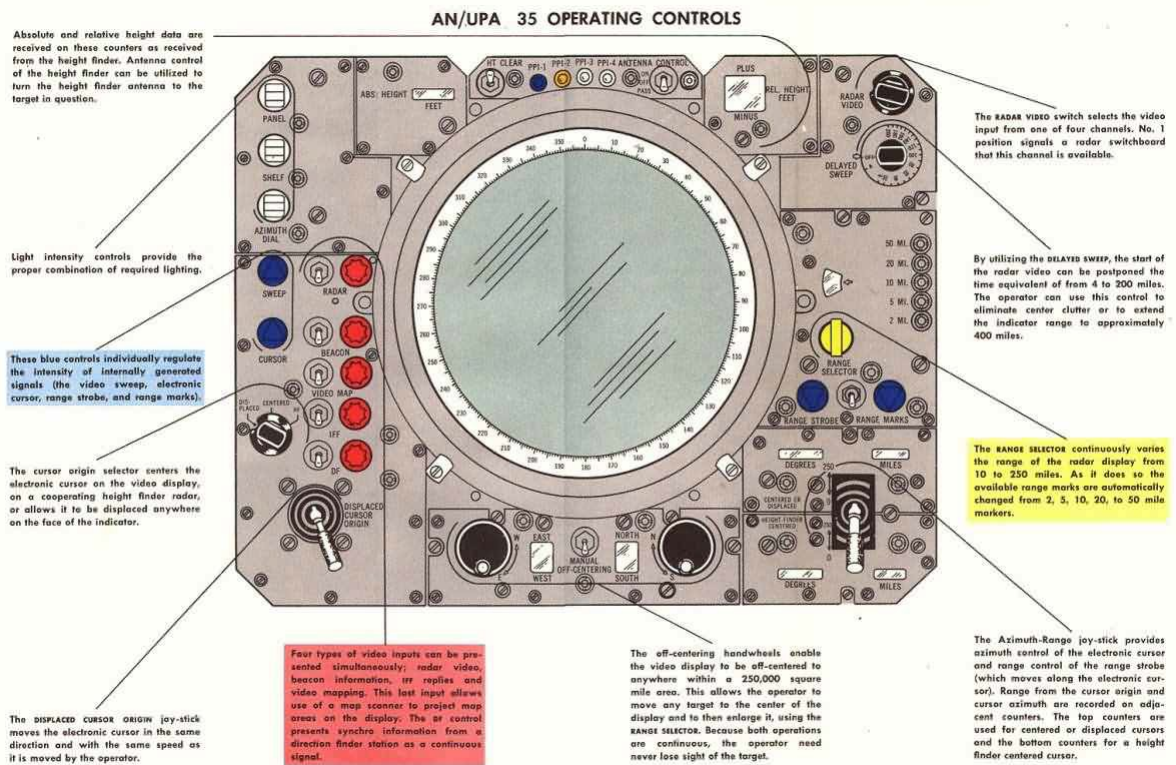
Die Weitergabe der Position der in analoger Plot - Darstellung auf den Bildschirmen erscheinenden Videos, wurden von den Beobachtern telephonisch in kartesischen Planquadraten an die hinter der transparenten Lagekarte befindlichen Zeichner weitergemeldet.

Das nachstehende Foto zeigt das Radarbild der AN/FPS-20A Anlage dargestellt auf einer Displaykonsole des FLORIDA Systems in einer Einsatzzentrale. Neben den Rohvideo Plots sind auch die Flugzeug Symbole der synthetischen FLORIDA Luflage mit den Geschwindigkeitsvektoren sichtbar. Bei den Rohvideo Plots stammt der schmale Plot vom Primär- und der breite vom Sekundärradar.



Die manuelle Auswertung der Radardaten für die Frühwarnung entsprach im wesentlichen noch dem in England während des Zweiten Weltkrieges praktizierten Verfahrens. Die Plot – Daten wurden telefonisch an die Lagekarte übermittelt. Ab der Lagekarte wurden die Flugwege anschliessend ebenfalls manuell in ein Datenerfassungssystem eingegeben und auf einer Status – Board dargestellt.

In der Schweiz kamen für das AN/FPS-20A Radar Displaykonsolen vom Typ AN/UPA 35 zur Anwendung. Das AN/UPA 35 Gerät war Mitte der 50er Jahre von der Firma Hazeltine in Greenlawn (Long Island) als universelle PPI Anzeigekonsole für den Einsatz mit den verschiedensten Radarsystemen entwickelt worden. Das Gerät verfügte bereits über eine Joystick Cursor – Steuerung, zusätzliche numerische Distanz- und Azimutanzeigen und eine Einweiseinrichtung für ein Höhenfinderradar. Das Gerät arbeitete noch vollständig mit einer Vielzahl von Elektronenröhren und benötigte eine dauernde forcierte Kühlluftzufuhr zum Abführen der Verlustwärme. Die nachstehende Figur zeigt die schematische Darstellung des Anzeige- und Bedienungsteiles der AN/UPA 35 Displaykonsole.



Dem Ablauf des manuellen Auswerteverfahrens haftete grundsätzlich das Problem des zu grossen Zeitverzuges an. Bei den zur Zeit des Zweiten Weltkrieges relativ langsam fliegenden Flugzeugen war dies noch einigermaßen tragbar, es war jedoch im Zeitalter der Jet - Flugzeuge nicht mehr möglich, damit eine aktuelle Luftlage aufzubauen.

Beim Verfahren für die geführte Abfangjagd musste Neuland betreten werden, da mit der ungenügenden Detektions - Leistung der ersten Radargeneration sowie deren unzuverlässigen Höhenvermessung noch keine Erkenntnisse bezüglich der Jägerführung gesammelt werden konnten.

Auf Grund der ersten Resultate bei der Frühwarnung konnte davon ausgegangen werden, dass die Detektions - Leistung und die Vermessungsgenauigkeit der neuen Anlage auch den Anforderungen einer geführten Abfangjagd genügen würde.

Man war sich hingegen von Beginn an der Problematik bewusst, die eine Führung der Abfangjäger ohne Unterstützung durch ein Rechnersystem bei den inzwischen hohen Fluggeschwindigkeiten verursachen würde. Um diese Schwierigkeiten zu verstehen, muss die der damaligen Abfangtaktik zugrunde liegende Philosophie etwas näher betrachtet werden.

Während des Zweiten Weltkrieges waren unsere Piloten bei Luftkämpfen zu denen es wegen Grenzverletzungen durch fremde Flugzeuge kam, sehr erfolgreich. Da die Schweiz damals noch über kein Führungssystem mit modernen Ortungsmitteln verfügte, erfolgten diese Luftkämpfe bei Tageslicht unter guten Sichtbedingungen meist im Kurvenkampf (**dogfight**).

An Waffen verfügten die Jäger über starr in die Tragflächen und im Rumpfbug eingebaute 20mm Maschinenkanonen und 7.45mm Maschinengewehre, die nur auf kurze Distanzen bis ca. 500 m eingesetzt werden konnten.

Den zu bekämpfenden Flugzeugen, meist zweimotorige Zerstörer, später auch viermotorige Bomber waren unsere damaligen Messerschmitt und Morane Jäger bezüglich Geschwindigkeit und Wendigkeit überlegen.

Diese Kampfart führt wegen den dabei entstehenden grossen Beschleunigungen zu einer starken Beanspruchung der Piloten und des Flugmaterials. Mit dem Beginn der Einführung von Düsenflugzeugen nach dem Zweiten Weltkrieg steigerten sich die Fluggeschwindigkeiten, dadurch verschärfte sich das Problem mit der Beschleunigung. Dies hatte zur Folge, dass bei ausländischen Flugwaffen nach neuen Waffensystemen gesucht wurde, welche eine Abfangjagd aus grösserer Distanz ermöglichte. Zu Beginn der fünfziger Jahre konnte im Koreakrieg erstmals unter realistischen Bedingungen eine neue Luftkampfart mit den inzwischen entwickelten zielsuchenden **Infrarot - Sidewinder - Bordlenkwaffen** ausgetestet werden. Die erzielten Resultate erbrachten den Beweis, dass die Abfangjagd auch aus grösserer Angriffsdistanz möglich war. Man erkannte allerdings, dass für einen Allwettereinsatz künftig Bordradarausrüstungen unerlässlich waren.

Es begann damit eine sowohl in taktischer wie technischer Hinsicht neue Epoche der Luftkriegsführung. Die aus der Zeit des ersten Weltkrieges stammende und bis zum Ende des zweiten Weltkrieges glorreiche „dogfight“ - Kampfart verlor in der Folge bei den meisten Flugwaffen an Bedeutung. Die Idee welche im Jahre 1966 dem Verfahren für die geführte Abfangjagd zu Grunde lag, war noch stark von den Erfolgen der Flugwaffe im Zweiten Weltkrieg geprägt. Es bestand die Absicht den Abfangjäger mit durch Funk übermittelte Anweisungen bis auf Sichtkontakt an das feindliche Flugzeug heranzuführen und ihm damit eine gute Ausgangsposition für den selbständigen Abwehrkampf mit Bordkanonen zu geben. Bei dieser manuellen Radarführung (**siehe die sog. Jägerführungskabine mit dem PPI und dem Höhenanzeigegerät**) versuchte man anhand der Radar - Plots die Geschwindigkeitsvektoren der beiden Flugwege manuell vorauszubestimmen und sie an einem gemeinsamen Treffpunkt zusammenzuführen.

Dies erfolgte mit Hilfe von transparenten Kurvenschablonen die auf den Bildschirm des Anzeigegerätes gelegt wurden. Um eine möglichst gute Ausgangsposition für den „dogfight“ zu erhalten verwendete man dabei, je nach geschätzter Fluggeschwindigkeiten Schablonen mit unterschiedlichen Radien.

Das Vermessen der Flughöhe erfolgte mit dem Höhenfinder, für das Bestimmen der Differenzhöhe zwischen dem Abfangjäger und dem feindlichen Aggressor verfügte der Philips Höhenfinder allerdings bereits über ein digitales Rechenwerk.

Das Foto zeigt die Jägerführungskabine mit den drei Arbeitsplätzen für die noch vollkommen manuelle Jägerführung. Zuhinterst sitzt der verantwortliche Jägerleitoffizier vor der Lagekarte. In der Mitte befindet sich der Arbeitsplatz vor der PPI Anzeigekonzole und im Vordergrund der Arbeitsplatz vor dem Anzeigergerät für die Höhenvermessung der Flugzeuge.



Ende der fünfziger Jahre kamen mit der Beschaffung der Hunter Flugzeuge, die ersten Bordradargeräte in der Schweiz zum Einsatz.

Dieses Bordradar war ein einfaches von der englischen Firma Plessey entwickeltes Distanzmessgerät. Es suchte den Luftraum dauernd in Frontrichtung in einem Kegel von etwa 10 Grad Öffnungswinkel in einer Distanz von 200 bis 900 Meter ab.

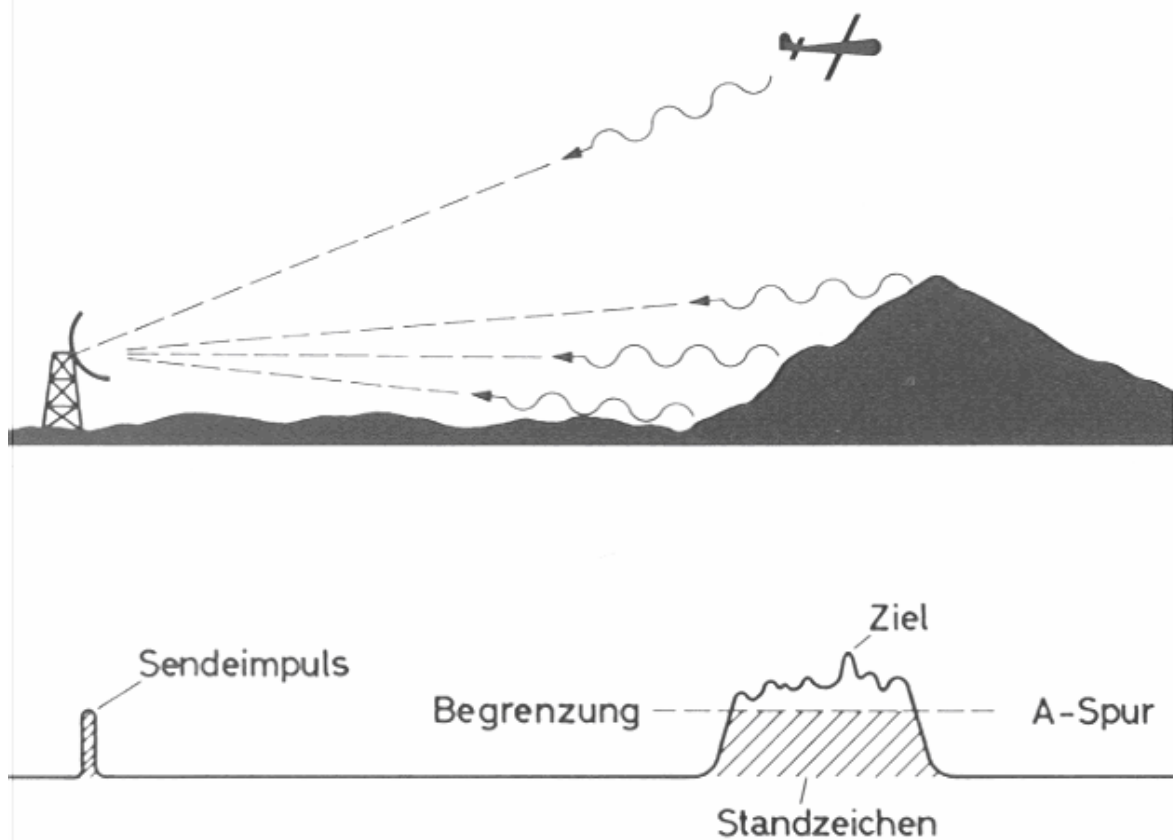
Beim Erfassen eines Echos verfolgte es dieses automatisch (lock on) in der Entfernung und lieferte die ermittelte Distanz an das Kreiselvisier zur Vorhaltbestimmung der Bordkanonen. Da im „dogfight“ ein Bordradargerät dieser Art keinen Nutzen bringen kann, wurde dieser Ausrüstung von den Piloten auch keine grosse Bedeutung beigemessen.¹⁴⁾

Die Erfahrungen bei den Luftverteidigungsübungen mit den Radaranlagen AN/FPS-20A und Philips Höhenfinder zeigte sehr klar, dass bei den gesteigerten Fluggeschwindigkeiten der Düsenflugzeugen, ohne Rechnerunterstützung keine manuelle Führung von Abfangjägern möglich war. Die sehr beschränkte menschliche Fähigkeit zum Vorausbestimmen von Abfangvektoren genügte den Anforderungen nicht mehr.

Man erkannte auch rasch, dass die Kapazität einzelner Höhenfinder, welche für jede Höhenvermessung zuerst manuell auf das Ziel eingewiesen werden mussten, nicht mehr genügten. Daraus abgeleitet ergab sich für das in der Planung befindliche neue FLORIDA Luftverteidigungssystem, die Forderung nach Radarsensoren die den Raum gleichzeitig dreidimensional abtasten konnten.

Beim Einsatz für die Jägerführung wurde man auch noch auf eine weitere Schwachstelle der Radaranlage AN/FPS - 20A aufmerksam. Bei der Frühwarnung werden vorwiegend Ziele in grösserer Entfernung geortet, die über Gebieten fliegen deren Topographie für die Radarstation durch Nahhindernisse abgedeckt und dadurch für das Radar nicht sichtbar sind. Die Detektion der Ziele wird unter diesen Voraussetzungen durch deren Radarquerschnitt, die Entfernung sowie Antennengewinn, Sendeleistung und Empfindlichkeit des Radars bestimmt. Bei der Jägerführung lagen die Übungsräume hingegen öfters über Gebieten in denen der Strahlungsfächer des Radars auch Bodenhindernisse (Berge, Hügel) beleuchtet und dadurch deren Standzeichen empfängt. Dadurch sind die Verhältnisse für die Zieldetektion wesentlich komplexer. Sofern sich das Flugzeug bei der Erfassung durch den Radarfächer über einem Standzeichen befindet, vermischte sich dessen Rückstrahlung mit derjenigen des Standzeichens die beiden Signale werden dadurch in einer gemeinsamen Verarbeitungszelle verarbeitet. Die dadurch auftretende Problematik geht aus der nachstehenden Figur hervor.

Das vom Standzeichen hervorgerufene Signal sollte im Gegensatz zu dem vom Flugzeug hervorgerufenen im MTI - Filter ausgeblendet werden. Das vom Flugzeug stammende Signal sollte hingegen infolge der ihm anhaftenden Doppler-Modulation durch den MTI - Filter als mobiles Ziel erkannt werden und zur Anzeige gelangen. Die MTI Filterwirkung der AN/FPS-20A Ausrüstung ist jedoch systembedingt auf ca. 35 dB begrenzt.²⁾



Dies hatte zur Folge, dass über Standzeichengebieten die Detektion der Flugzeuge öfters unzuverlässig wurde und die Radar-Plots vom Bildschirm verschwanden. Bei den Messungen der Signalintensitäten mit stillgelegter und auf die Standzeichen ausgerichteter Antenne ergaben sich **S/N Werte bis zu 60 dB**. Dies übertraf das Dopplerfiltervermögen des AN/FPS - 20A MTI - Systems bei weitem.

Daraus abgeleitet ergab sich die Forderung, dass für eine zuverlässige Ortung von Flugzeugen die über für unsere Topographien typischen Gebieten fliegen technisch fortgeschrittene Radarsysteme erforderlich wurden. **Diese Erkenntnis sollte bei der Evaluation und Beschaffung künftiger Radarsysteme noch über Jahrzehnte von grosser Bedeutung sein.**

Ausgelöst durch Pressemeldungen aus dem Ausland (**Spiegel - Artikel**) wurden ab Mitte der sechziger Jahre in der Schweiz von militärpolitischer Seite Fragen betreffend der Zuverlässigkeit des Frühwarnradars bei der Erfassung feindlicher Tiefflieger aufgeworfen.

In der Folge verlangte die Generalstabsabteilung die Durchführung gezielter Abklärung der Tiefflieger - Erfassung der Höhenradarstationen. In der zweiten Hälfte der sechziger Jahre wurden mit systematisch durchgeführten Messflügen realistische Tiefflieger - Erfassungskarten erstellt.

Offenbar wurde auch an die Herstellerfirma Bendix der Wunsch zur Verbesserung des MTI Systems des AN/FPS-20 Radar herangetragen. In den siebziger Jahren führte Bendix auf der firmeneigenen Radarstation umfangreiche Versuche durch. Es entstand eine Reihe von Verbesserungsvorschlägen, ab Mitte der siebziger Jahre offerierte Bendix ein Modifikationsprogramm, das mit Stabilitätsverbesserungen im Sendeempfangssystem und einem Digital - MTI eine Erhöhung der **Subclutter Visibility** um ca.15 dB versprach. ¹²⁾

Zielzuweisung für Bloodhound II Lenkwaffensystem

Im Jahre 1961 wurde vom Schweizerischen Militärdepartement nach umfangreichen Vorabklärungen ein Fliegerabwehrsystem mit grosser Reichweite für den oberen Luftraum bestellt. Das vom englischen Firmenkonsortium (BAC, Ferranti, A.E.I.) zu Beginn der 60er Jahre entwickelte **Bloodhound II Surface to Air Missile (SAM) System** wurde speziell zur Abwehr von einzelnen hochfliegenden mit nuklearer Bewaffnung ausgerüsteten Jagdbombern, in einem elektronisch stark gestörten Klima, ausgelegt. Die Beschaffung, des später in der Schweiz mit BL - 64 bezeichneten Systems, umfasste insgesamt 9 Feuereinheiten die an 6 über die Schweiz verteilten Standorten aufgebaut wurden. Nach der Ablieferung und Installation erfolgte im Jahre 1964 die Einführung des Systems bei der Flieger- und Flabtruppe. Erstmals war damit eine Allwetterabwehr von hoch und mit Überschall fliegenden Eindringlingen, sowie der Objektschutz gegen Direktangriffe aus der Luft möglich.

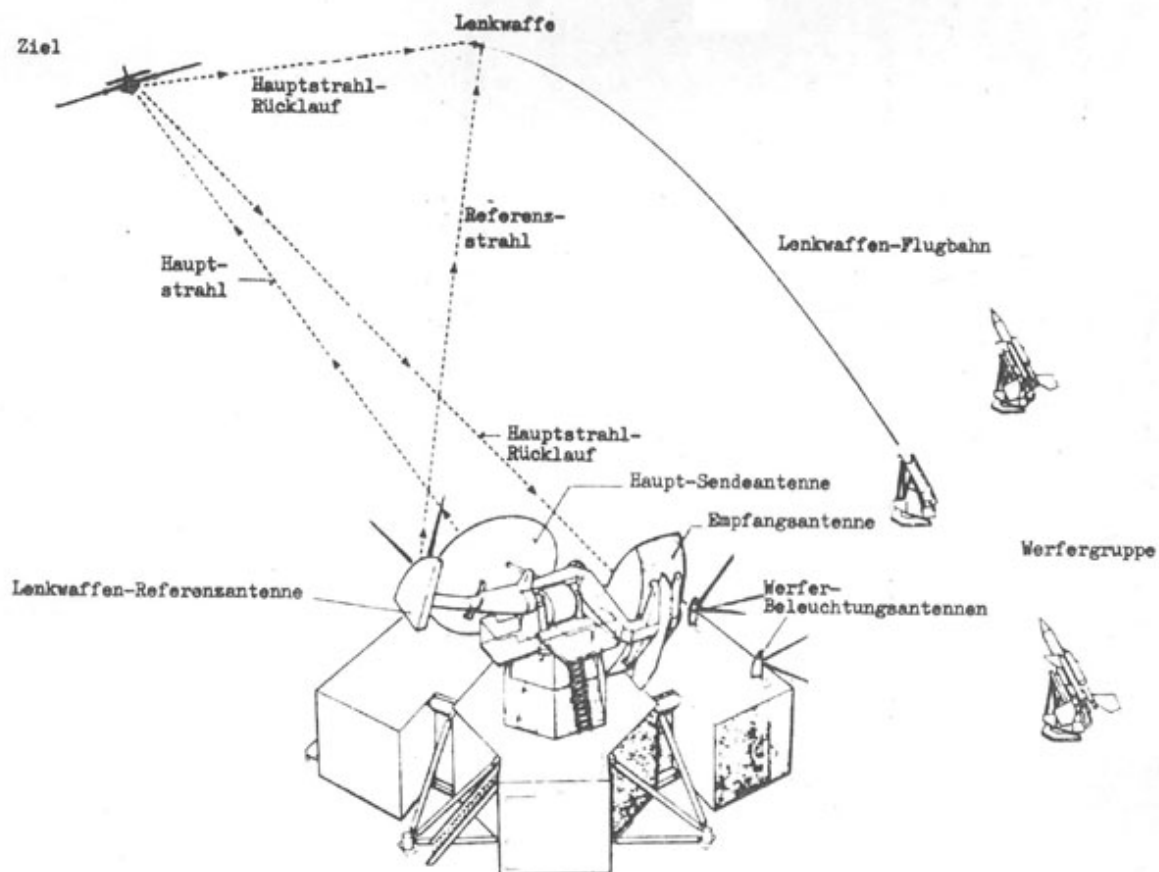
Da das Radar nur einen beschränkten Raumsektor beleuchtete, musste die Zielzuweisung des Radars aus einem übergeordneten Rundsuchradarsystem erfolgen. Nach anfänglichen Diskussionen über ein Flab- eigenes System einigte man sich darauf, dass die Zielzuweisung aus dem damals in Projektierung befindlichen Florida System erfolgen sollte. Bis zu dessen Einsatzbereitschaft in den frühen siebziger Jahren erfolgte eine provisorische Zielzuweisung mit dem AN/FPS-20A Radar.

In der Annahme, dass es sich hierbei um eine Bedrohung durch hochfliegende Ziele handelte, warf die Zielzuweisung mit dem AN/FPS-20A Radar für das bis ca. 150 km einsetzbare Bloodhound II System keine radartechnischen Probleme auf.

Bis zu dessen Einsatzbereitschaft in den frühen siebziger Jahren erfolgte eine provisorische Zielzuweisung mit dem AN/FPS-20A Radar.

Da von der Radarstation damals noch keine Datenlinkverbindung zur Lenkwaffenstellung bestand, mussten die Zielzuweisdaten telephonisch in Polarkoordinaten an die Lenkwaffen - Stellungen übermittelt werden.

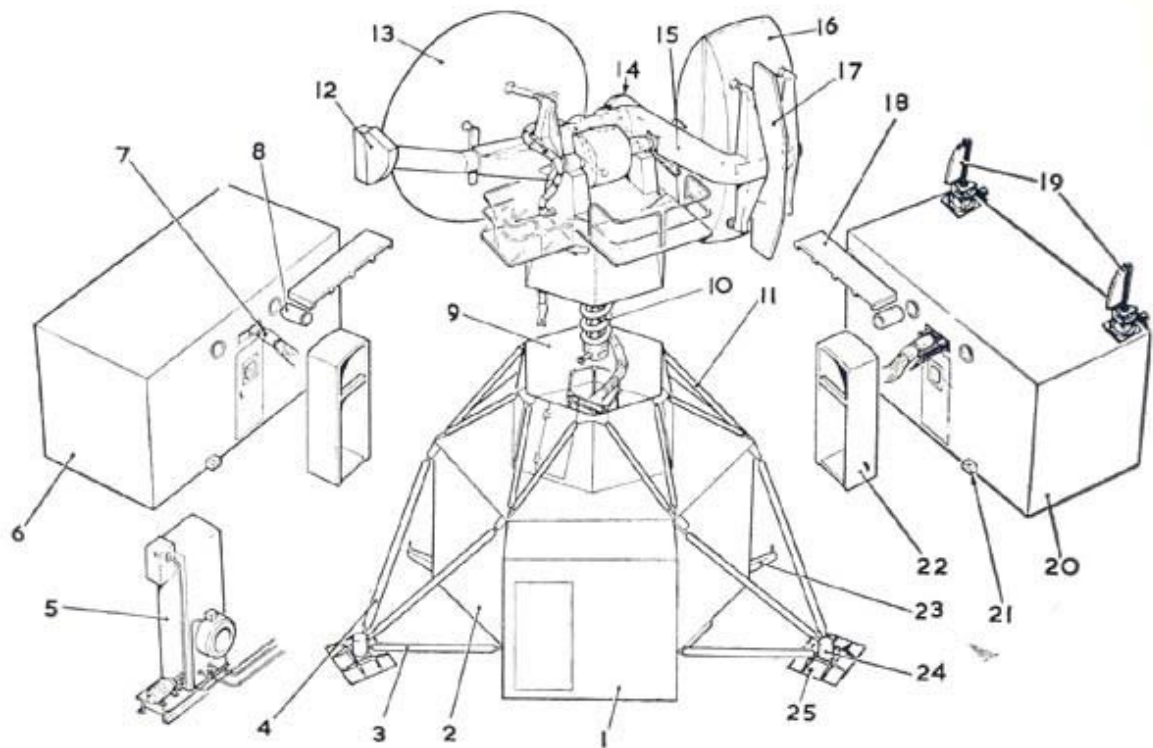
Das mit einem halbaktiven Radarverfahren arbeitende Lenkwaffensystem⁽¹³⁾ (siehe nachstehende Figur) basierte auf einem von der Firma A.E.I. in Leicester entwickeltes Continuous Wave (CW) Beleuchtungs-Radar Scorpion Typ 87.



Aufgaben des A.E.I. Zielbeleuchtungsradar Scorpion Typ 87

- Das im Frequenzbereich von 8100 – 8750 MHz arbeitende CW Radar erfasst, verfolgt und beleuchtet das Ziel auch bei vorhandenen breitbandigen Rauschstörer.
- Das Radarsystem versorgt die Lenkwaffe vor dem Abschuss mit Informationen, inkl. genauen Angaben über Störer, welche die Lenkwaffe auf ihrem Flug beeinflussen könnten.
- Uebermittelt der sich im Fluge befindlichen Lenkwaffe über einen weiten Winkel ein Referenzsignal.

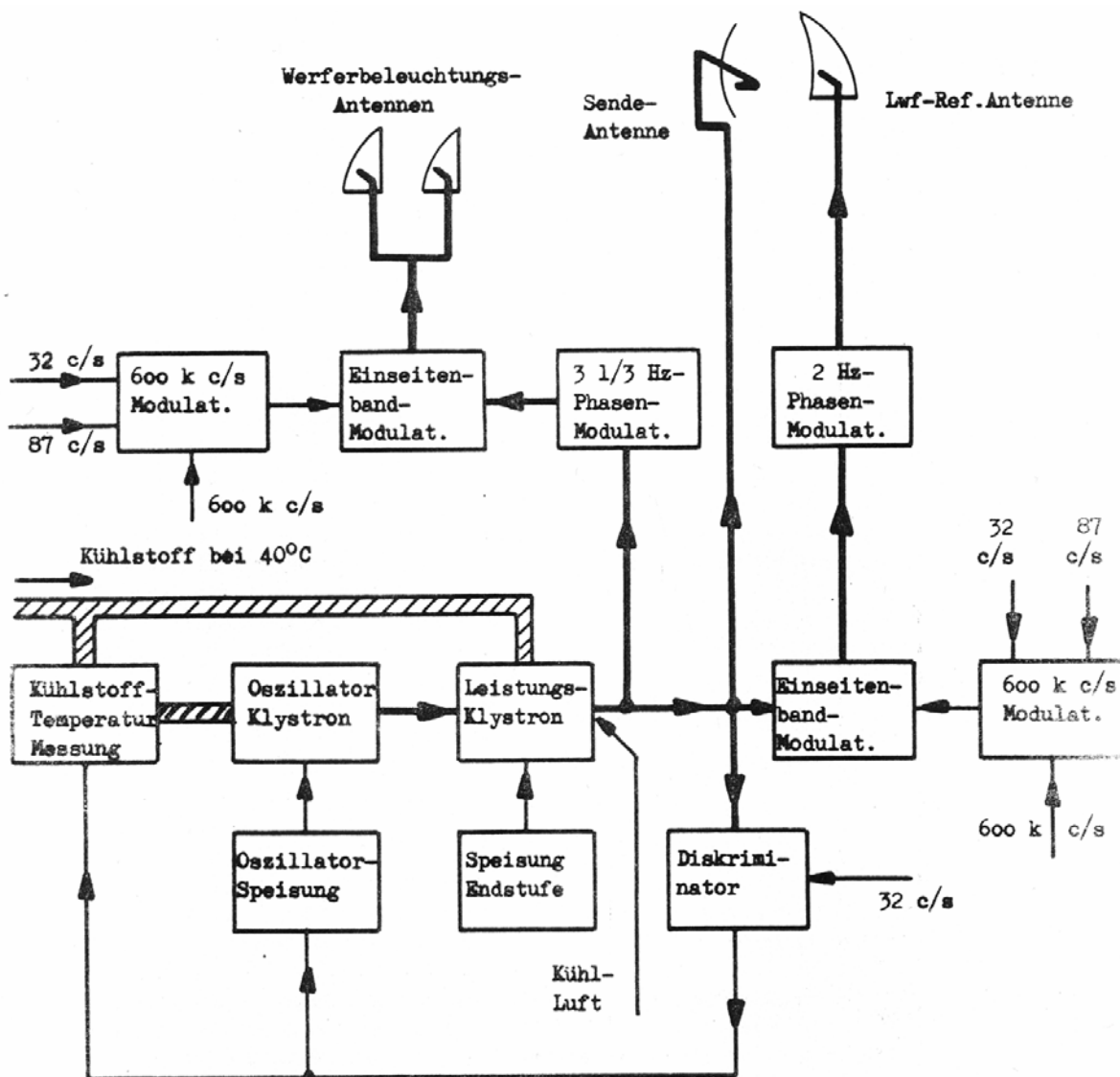
Die Figur zeigt den Aufbau des Continuous Wave (CW) Zielbeleuchtungs-Radar Scorpion Typ 87. Die Sendeleistung des im X - Band arbeitenden Radars betrug 2.5 kW, zusammen mit dem Gewinn von 49 dB der grossen Sendeantenne ergab sich in einem ungestörten Klima eine Radarreichweite gegen ein 1m² Ziel von > 170 Nautical Miles.



- | | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| 1 ANTE-ROOM | 13 TRANSMITTER AERIAL |
| 2 CONTROL ROOM | 14 JAMMING ASSESSMENT AERIAL |
| 3 LOWER STAY | 15 RECEIVER AERIAL BEAM |
| 4 INTERMEDIATE STAY | 16 RECEIVER AERIAL |
| 5 WATER COOLING TOWER WBR | 17 AERODYNAMIC FIN |
| 6 MACHINE ROOM | 18 BRIDGE |
| 7 CABLE LOOM | 19 LAUNCHER ILLUMINATING AERIALS |
| 8 AIR CONDITIONING DUCT | 20 TRANSMITTER ROOM |
| 9 UPPER COMPARTMENT | 21 LOCATING BRACKET |
| 10 AZIMUTH CONNECTOR | 22 CORRIDOR |
| 11 UPPER STAY | 23 LOCATING SPIGOT |
| 12 MISSILE REFERENCE AERIAL | 24 MOUNTING FOOT |
| | 25 LOAD SPREADING PLATE |

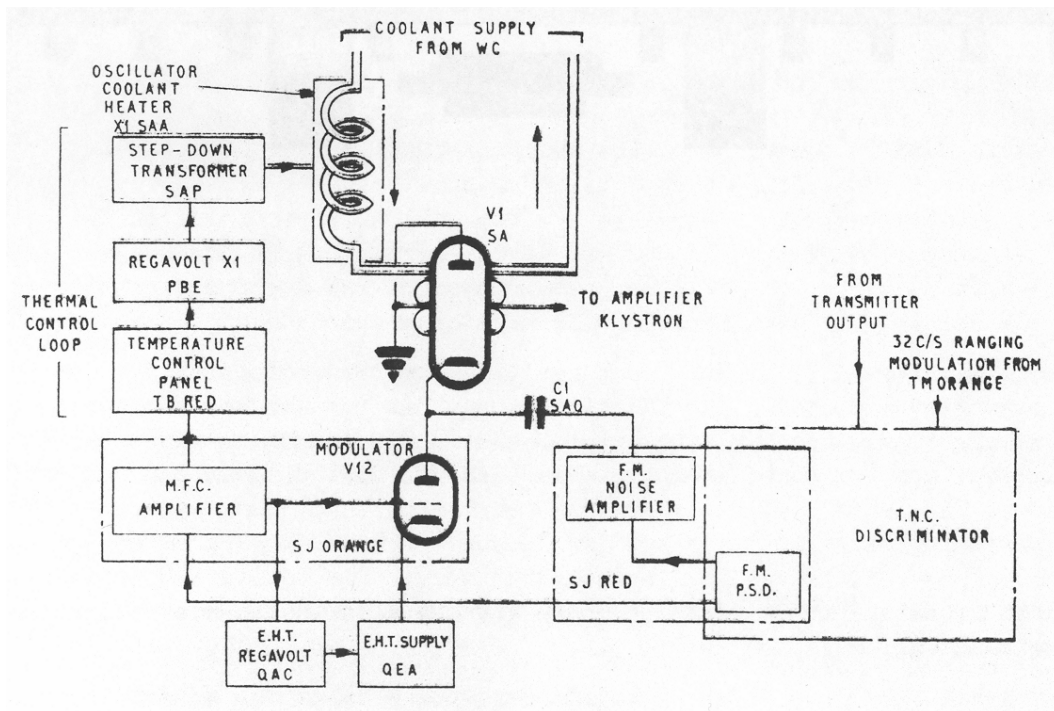
Das Bloodhound II System verwendete erstmals ein Dauerstrichverfahren für das im X – Band arbeitende Zielbeleuchtungsradar. Für die Identifikation der empfangenen Radarsignale und für die Ermittlung der Zieldistanz wurde die Frequenzmodulation, für die Messung der Zielgeschwindigkeit das Dopplerprinzip angewendet.

- Die nachstehende Figur zeigt ein vereinfachtes Blockscha des Sendersystems. Ueber die Sendeantenne wird der Sendertrager in Form einer schmalen Keule zur Zielbeleuchtung abgestrahlt, wobei dieser nach der Reflexion am Zielobjekt zum Bodenempfanger und gleichzeitig zur Vorderantenne der fliegenden Lenkwaffe zurückgeworfen wird.
- Den Träger, welcher in Form einer breiten Keule zur hinteren Antenne der fliegenden Lenkwaffe abgestrahlt wird und in dieser als Referenzsignal dient.
- Zwei gleichartige Träger welche zu Prüf- und Einstellzwecken der Lenkwaffe auf dem Werfer vor dem Abschuss übermittelt werden.



Der Sender besteht aus einem Oszillator Klystron welches ein Verstärker Klystron ansteuert, sowie den verschiedenen Modulatoren für die Entfernungsmessung und die Referenzsignale.

Das Messen der Zielgeschwindigkeit nach dem Dopplerverfahren erforderte eine hohe Frequenz- und Phasenstabilität des Radarsenders. Das AM – Rauschspektrum musste 1 kHz vom Träger weg, in einem 70 Hz breiten Band, mindestens - 120 dB unter der Trägerleistung liegen. Diese bei der Entwicklung zu Beginn der 60er Jahre beinahe utopische Forderung konnte nur mit einem aufwendigen elektronischen und thermischen Stabilisierungssystem erreicht werden. Das nachstehende Blockschema zeigt das vereinfachte Funktionsschema des Frequenzregelsystems für das Oszillator Klystron des Radarsenders.



Das Foto zeigt das von Ferranti, Dundee (Scotland) gebaute SZ 31 Oszillator-Klystron das im Bloodhound II Zielbeleuchtungsradar zur Anwendung kam. Das flüssigkeitsgekühlte SZ 31 Klystron erzeugte im Frequenzbereich von 8100 – 8750 MHz ein hochstabiles Treibersignal, das anschliessend im nachfolgenden SY 41 Klystron der Endstufe auf eine Ausgangsleistung von ca. 2.5 kW verstärkt wurde.



Das Foto zeigt eine der BL – 64 Stellungen, im Hintergrund ist das Zielbeleuchtungsradar ersicht. Die Bloohound II Lenkwaffe im Vordergrund befindet sich in Startposition auf der Werferausrüstung.



Eine der Hauptschwierigkeiten beim Einsatzverfahren lag bei der Identifikation der feindlichen Flugzeuge, in einem auch von den eigenen Flugzeugen benützten Luftraum. Eine in allen Aspekten befriedigende Lösung konnte mit den damals vorhandenen technischen Mitteln nicht gefunden werden.

Sekundärradar für die Radarzielidentifikation

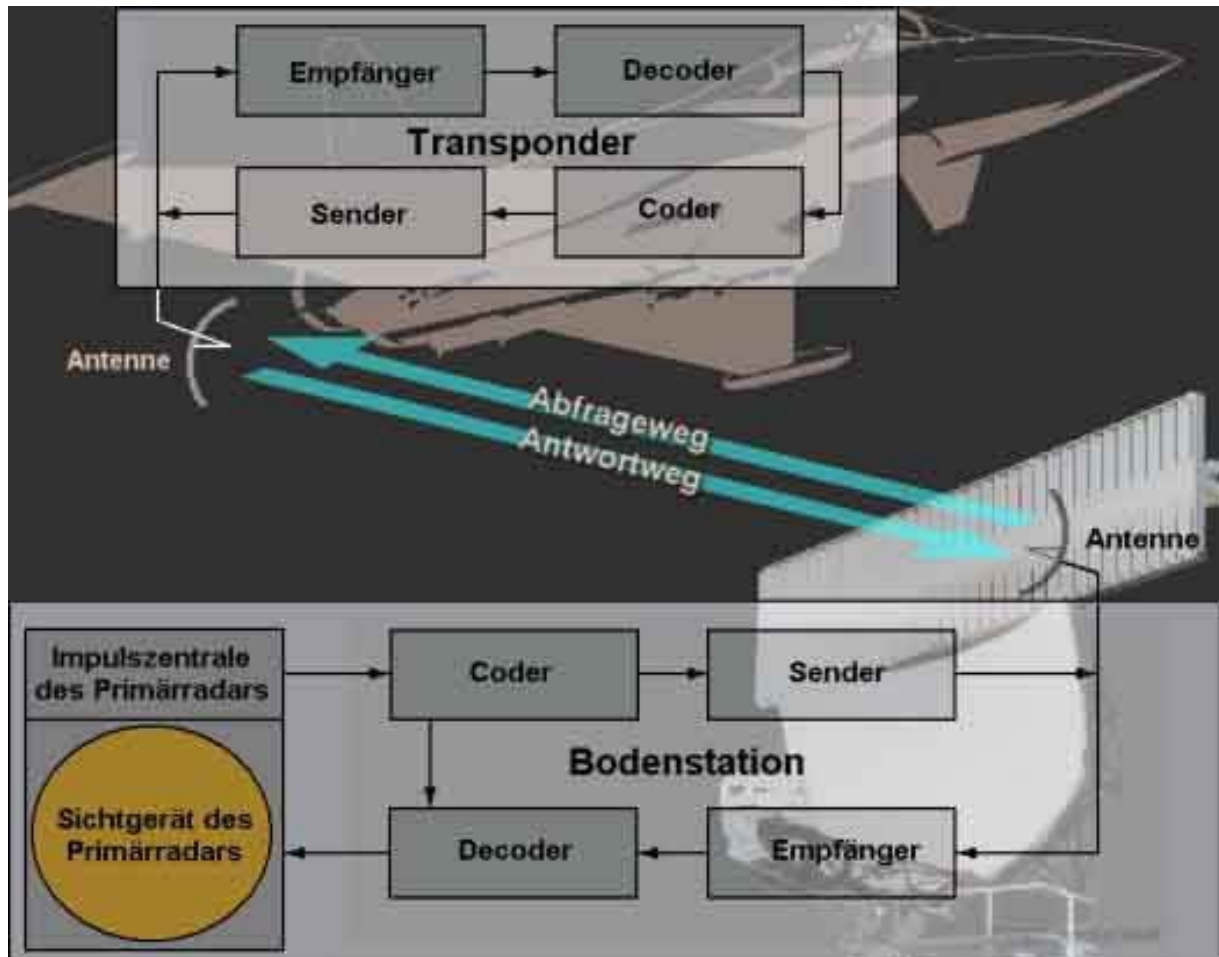
Auf Grund der starken Zunahme des zivilen Luftverkehrs empfahl die International Civil Aviation Organisation (ICAO) in den frühen sechziger Jahren die weltweite Einführung von Sekundärradar für alle Jet-Flugzeuge.

Gleichzeitig legte die ICAO auch den Standard für das künftig zur Anwendung kommende System fest. Ab 1967 wurde weltweit für alle Flugzeuge die auf Höhen über 18'000 feet fliegen, ein Sekundärradar-Transponder verlangt. Von dieser neuen Regelung wurden auch die militärischen Flugzeuge und Radarstationen in der Schweiz betroffen.⁶⁾ Die zu Beginn der sechziger Jahre beschafften Mirage-Flugzeuge waren bereits vorgängig, infolge der nahenden Ratifizierung dieser Neuregelung mit dem Sekundärradar - Transponder des Typs **AN/APX 46** ausgerüstet worden.

Bereits damals war es vorgesehen, dass diese Ausrüstungen zu einem späteren Zeitpunkt mit einer militärischen Freund/Feind Kennung nachgerüstet werden sollten. Bei dem in Beschaffung stehenden Florida Luftverteidigungssystem sollte dem Sekundärradar zudem eine wichtige Bedeutung zufallen.

Die hierzu erforderlichen Ausrüstungen waren seit Beginn der Planung, für die Radarstationen für die Beschaffung vorgesehen, ebenso wurde die Verarbeitung der Sekundärradar-Information beim Ausarbeiten der Systemspezifikation berücksichtigt. Die Ausrüstung der AN/FPS-20A Radaranlage mit einem Sekundärradar erfolgte im Jahre 1968, man verzichtete jedoch vorerst auf die Mode - C Höhenabfrage.

Der Ausbau beinhaltete die Installation einer Interrogator - Ausrüstung für die Abfrage, sowie das erforderliche Antennensystem. Dieses wurde auf die bestehende AN/FPS-20A Antenne aufgebaut. Im weiteren war ein Decoder-Gerät für die Verarbeitung der vom Flugzeug - Transponder empfangenen Antwortsignale erforderlich. Aus der nebenstehenden Figur geht die prinzipielle Wirkungsweise des Sekundärradars (SSR) hervor. Die Sekundärradar-Videos gelangten simultan mit den Primärradar - Videos in der typischen Doppel - Bananen Darstellung zur Anzeige. Die Sekundärradar - Banane hat auf Grund der breiteren Strahlungsecke der Antenne eine grössere Winkelausdehnung.

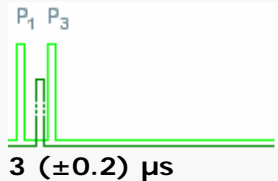
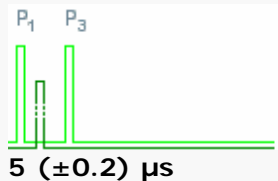
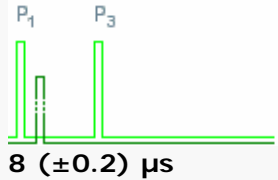



Standard Mark X

Durch die [International Civil Aviation Organization](#) (ICAO) werden verbindliche Standards definiert, die das Sekundärradarverfahren regeln. Ein solcher Standard ist als Mark X (sprich: Mark ten) bekannt. In diesem Standard sind die klassischen Mode und Code definiert. Das Ziel dieser Abfrage ist eine Identifizierung des Flugzeuges und die Abfrage der Zusatzinformation Flughöhe.

Abfrageformat

Die Abfrage wird oft auch als Mode bezeichnet. Die Frage lautet etwa: „Wer bist du?“ Der Transponder im Flugzeug antwortet darauf mit einem [Transpondercode](#). Alternativ dazu kann auch abgefragt werden „Wie hoch fliegst du?“ (Diese Frage ergab sich daraus, dass die meisten Radargeräte früher nur [2D-Radargeräte](#) waren.) Das Flugzeug antwortet darauf mit einem weiteren Code. Mode und Code gehören immer zusammen, denn wenn die Frage nicht bekannt ist, ist der geantwortete Zahlenwert nicht eindeutig. Der Mode wird durch den Abstand zwischen zwei kurzen Sendeimpulsen kodiert übertragen und hat folgende Bedeutungen:

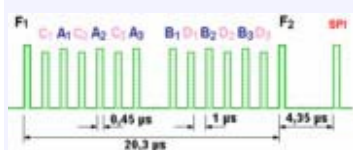
Mode		Abstand zwischen P1 - P3	Verwendung
militärisch	zivil		
1		 <p>3 (± 0.2) μs</p>	<p>Militärische Identifikation</p> <p>Dieser Mode unterstützt nur 32 verschiedene Codes (obwohl ebenfalls 4096 Codes technisch möglich sind). Im Normalfall werden durch diese Codes Informationen über Einsatzzweck, -aufgabe und Typ übermittelt. Wird in Friedenszeiten kaum genutzt.</p>
2		 <p>5 (± 0.2) μs</p>	<p>Militärische Identifikation</p> <p>Der Mode 2 enthält 4096 verschiedene Codes für militärische Zwecke (wie Mode A). Im Normalfall werden durch diese Codes ein individueller Code des Flugzeuges (militärische Kennung) übermittelt.</p>
3	A	 <p>8 (± 0.2) μs</p>	<p>Zivile und militärische Identifikation</p> <p>Die Antwort auf den Mode A (Code) ist eine vierstellige Zahl (oktal 0000 bis 7777; drei Bit beziehungsweise Pulse pro Stelle BCD-Kodiert) zur Identifikation des Flugzeuges. Er wird vom Piloten am Transponder direkt oder an der abgesetzten Bedieneinheit eingegeben. (War mal als Individualcode gedacht, reicht aber für diese Aufgabe heute nicht</p>

		mehr aus.)
	B	nicht verwendet
		17 (± 0.2) μs
	C	<p>Barometrische Höhenangabe</p> <p>Höhe des Flugzeuges in 100-Fuß-Schritten. Dieser Wert wird von einem barometrischen Höhenmesser ermittelt, der in allen Flugzeugen der Welt dieselbe Standardeinstellung hat (ICAO Standard Atmosphere). Der Wert wird technisch ähnlich wie der Mode 3/A übertragen, jedoch nicht direkt oktal codiert, sondern mittels Gillham-Code. Der Wertebereich umfasst Angaben von -1000 bis 127.000 Fuß.</p>
		 <p>21 (± 0.2) μs</p>
	D	nicht verwendet
		25 (± 0.2) μs

Bei den Anfragen, die bei diesem Verfahren generell auf 1030 MHz gesendet werden, ist jeweils noch ein Impuls P2 integriert. Dieser dient der Seitenkeulenunterdrückung und bewirkt, dass nur Transponder aus der Hauptrichtung auf die Abfrage antworten.

Antworttelegramm

Das Antworttelegramm ist bei allen bisher genannten Modi 20,3 μs lang und wird auf der Frequenz 1090 MHz übertragen. Bei dieser Antwort muss ein größerer Toleranzbereich akzeptiert werden, weil zum Beispiel in großen Höhen bei starker Kälte die frequenzbestimmenden Bauteile des Transponders größere Abweichungen vom Sollwert haben.



Antworttelegramm des Transponders

Das Antwort-Telegramm besteht aus 2 bis 15 Impulsen mit einer Impulsdauer von je 0,45 μs ($\pm 0,1 \mu\text{s}$). Die beiden Rahmenimpulse F1 und F2 im Abstand von 20,3 μs müssen mindestens vorhanden sein, damit vom Empfänger diese Impulse als gültige Antwort erkannt werden. Zwischen den Rahmenimpulsen gibt es im Abstand von 1,45 μs insgesamt 13 Positionen für die Codierimpulse. Von diesen werden im Mode A und C nur maximal 12 für die Übertragung der gewünschten Information in einem Oktalcode genutzt. Die drei Leerstellen dürfen nicht durch Impulse belegt sein, da sonst manche Decoder die gesamte Antwort als Störung interpretieren und somit verwerfen.

Das Antwort- Telegramm enthält jedoch keinerlei Information über den Mode. Der Decoder des Sekundärradars geht immer davon aus, dass die empfangene Antwort zu dem als letztes abgefragten Mode passt.

Die Impulse zwischen den Rahmenimpulsen beinhalten den Code, der abhängig vom Abfragemode die gewünschte Information als Oktalzahl enthält. Durch die Anzahl von 12 möglichen Impulsen ist der Wertevorrat der eindeutigen Informationen auf 4096_{10} begrenzt.

Der SPI- Impuls (Special Purpose Identification) wird in der Flugsicherung dafür genutzt, die Antwort zur Identifizierung besonders hervorzuheben. Auf Anforderung des Bodenpersonals drückt der Pilot am Bedienpult des Transponders einen Knopf und dann wird für eine bestimmte Zeit (18 ± 1 s lang) der SPI-Impuls an das Antwort- Telegramm angefügt. Durch die aus historischen Gründen außerhalb der Rahmenimpulse gewählte Position entstehen einige Probleme in der weiteren Verarbeitung. Gemäß ICAO wird der SPI-Impuls nur bei einer Antwort auf den Mode A generiert.

Die Verschachtelung der Impulse und die Leerstelle in der Mitte sind aus historischen Gründen enthalten. Der Vorläufer dieses Verfahrens hatte nur die Möglichkeit, zwei Oktalzahlen zu übertragen. Später wurden aus Kompatibilitätsgründen die zusätzlichen Oktalzahlen in die Zwischenräume der alten Antwort gelegt.

Verschlüsselung des Sekundärradars

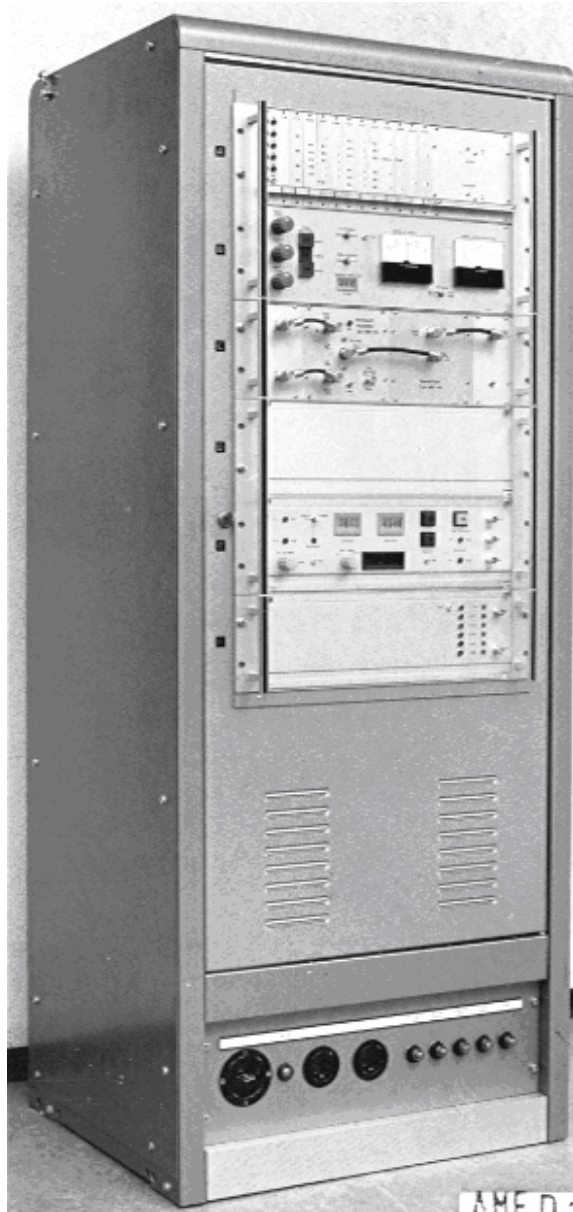
Zu Beginn der siebziger Jahre wurde in der Schweiz der bis zu diesem Zeitpunkt unbenützte internationale Mode 4 des Sekundärradars, **im Rahmen des Projektes Morgenstern mit einem Krypto - Zusatz** nachgerüstet.

Die Firma Brown Boveri entwickelte unter strengster Geheimhaltung ein Verschlüsselungssystem, das speziell für die Schweiz in einem Krisenfall eine Freund/Feind Identifikation der eigenen Flugzeuge ermöglichen sollte. Brown Boveri hatte bereits früher ein Sprachverschlüsselungssystem für die impulsmodulierte Richtfunkanlage IMS 23 entwickelt. Das dabei angewendete Verfahren bewirkte, dass das Chifftrat mit dem Klarsignal nicht korrelierbar war und beim unerlaubten Abhören wie Rauschen tönte. Das Kryptologie Verfahren für den Mode 4 des Sekundärradars basierte auf diesen Vorarbeiten und wies in der 70er Jahren eine hohe Sicherheit gegen eine unbefugte Entschlüsselung auf. Auch im Falle des Auffindens, der flugzeugseitigen Ausrüstung nach einem Absturz hätte damals kaum eine Chance bestanden das System zu knacken.

Der von der Firma Brown Boveri zu Beginn der 70er Jahre für die schweizerische Flugwaffe entwickelte Kryptologie - Zusatz für den Mode 4 des Sekundärradars war dem damaligen Stand der Technik entsprechend sowohl boden- wie bordseitig noch vollständig als Hardware Ausrüstung ausgelegt worden. Die Mikroprozessortechnik welche zweifellos eine gewisse Flexibilität für spätere Anpassungen an veränderte taktische Anforderungen ermöglicht hätte, befand sich damals erst in den Anfängen und genügte den zeitkritischen Anwendung im Mikrosekundenbereich noch nicht.

FLORA UNO

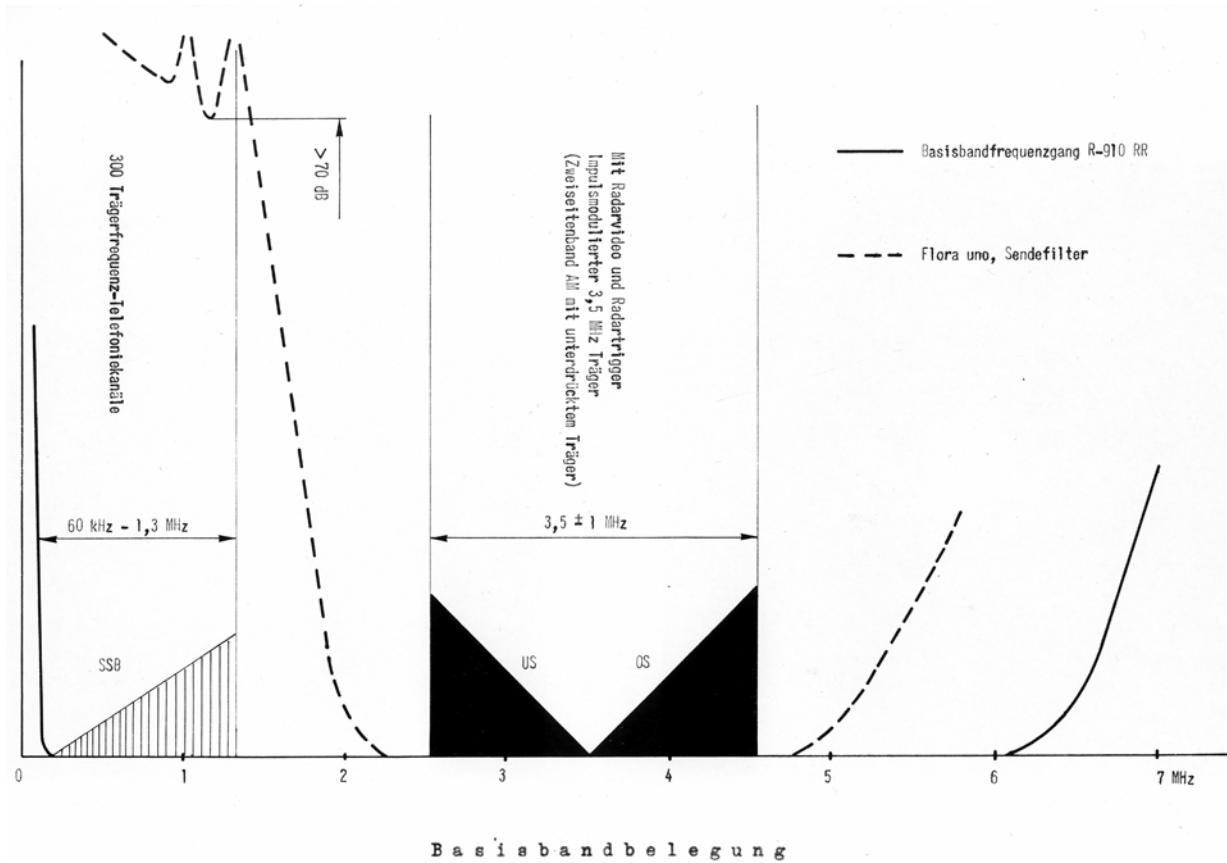
Unter der Projektbezeichnung FLORA UNO wurde Mitte der siebziger Jahre das RadARBild der Anlage AN/FPS-20A von der Höhenstation in die inzwischen in Betrieb genommenen Einsatzzentralen (EZ) des Florida Systems übertragen. Das Foto zeigt die hierzu erforderliche Zusatzausrüstung der AN/FPS-20A Radaranlage.



Die breitbandige Uebertragung erfolgte über das Richtstrahlssystem R910 (zivile Bezeichnung IMS 23). Die sowohl richtungs- wie entfernungsmässig korrelierenden Primär- und Sekundärvideos wurden gemischt und auf einem gemeinsamen Breitbandkanal übertragen. In der EZ gelangten die Videos auf den Florida Anzeigekonsolen zur Darstellung. Für die Darstellung wurden zusätzlich die Azimutinformation der Radarantenne und der Start - Trigger der Entfernungszeitachse benötigt. Die Uebertragung des Starttriggers erfolgte ebenfalls durch Zumischung auf den Breitbandkanal.

Für die Uebertragung der Azimutinformation wurden zwei schmalbandige Sprachkanäle der Richtstrahlverbindung benützt.

Die Videos, Trigger und Azimutinformation wurden mit einem Ringmodulator in einem Einseitenband - Verfahren dem Basisband der Richtstrahlanlage aufmoduliert. Die nachfolgende Figur zeigt die Belegung des Basisbandes der R 910 Anlage.



Flora uno / Subsystem Uem/Breitbandübertragung Ristl R-910

Ursprünglich war man davon ausgegangen das in einer 2. Phase im Rahmen von FLORA DUE auch die Information des Philips - Höhenfinders in die Florida Einsatzzentralen zu übertragen sei. Beim Studium einer geeigneten technischen Lösung wurde jedoch festgestellt, dass die relativ bescheiden anfallende Höheninformation des Philips - Höhenfinders den für die Realisierung von FLORA DUE erforderlichen zeitlichen und finanziellen Aufwand nicht gerechtfertigte.

Mit der Ergänzung der AN/FPS-20A Höhenanlage durch Sekundärradar und die FLORO UNO Uebertragung in die FLORIDA Einsatzzentralen, erreichte die zweite Generation der Frühwarnradars ihren Endausbau.

Durch die mit grossem technischen und personellen Aufwand vorangetriebene Verbesserung der FLORIDA - Flugwegbildung konnte ab den 80er Jahren auf die zusätzliche Unterstützung durch Rohradarinformation aus den Radars der zweiten Generation verzichtet werden.

Vorgeschichte zur Florida-Beschaffung

Das Florida Luftverteidigungssystem hatte zum Zeitpunkt der Auftragserteilung an die Herstellerfirma bereits eine ca. 10 - jährige Vorgeschichte. Am 19.5.1957 hatte man mit Erhebungen zur Klärung der Möglichkeiten für den Aufbau eines Luftverteidigungssystems begonnen. Auf Grund dieser Vorabklärungen erteilte der Generalstabschef am 25.1.1960 dem Kdo. der FF Truppen den offiziellen Auftrag für das Studium des Projektes.

Nach intensiven und oft heftigen Auseinandersetzungen über die zu wählende Technologie und deren Risiken genehmigte die Landesverteidigungskommission (LVK) im April 1962, das taktische Pflichtenheft mit der Bezeichnung:

Florida: Halbautomatisches Luftüberwachungs- und Führungssystem der Flieger- und Fliegerabwehrtruppen für Flugzeuge und Fliegerabwehrlenk Waffen.

In den Jahren von 1960 bis zur Unterbreitung der Botschaft an das Parlament erfolgten sehr umfangreiche Vorabklärungen und Evaluationen.

Das militärpolitische Umfeld in der Schweiz war in den frühen sechziger Jahren durch einige aufsehenerregende Vorfälle belastet worden. Die Frage einer Atombewaffnung der Schweiz die zuerst in Militärkreisen aufgeworfen wurde, löste nach dem bekannt werden, in der Politik und im Schweizervolk heftige Diskussionen aus.¹⁶⁾

Als dann auch die technischen und finanziellen Probleme bei der Beschaffung der Mirage Kampfflugzeuge bekannt wurden, geriet die EMD Führung in der Presse und im Bundesparlament zusehends unter Beschuss.¹⁷⁾

Die nachfolgende parlamentarischen Untersuchung (PUK) mit ihren harten Konsequenzen, welche auch generelle organisatorische und personelle Veränderungen zur Folge hatte, schuf in weiten Kreisen der Bevölkerung und der Politik ein gewisses Misstrauen gegenüber der Beschaffungspolitik des EMD's.

Auf Grund dieses Umfeldes, stand die Florida - Projektleitung und die Gruppe Rüstungsdienste des EMD's unter intensivem Erfolgszwang, so dass das Projekt zum vornherein nach allen Regeln der Kunst abgewickelt werden musste um weiteren Pannen vorzubeugen.

In der Folge wurde eine Reihe anerkannter Berater aus Wissenschaft und Industrie zugezogen so u.a. die damaligen ETH-Professoren Baumann und Stiefel die bei Fragen der Automation und der Rechner-Programmierung beratend mitwirken sollten. Man versuchte die Entscheide nach bestem Wissen und Gewissen möglichst breit abzustützen.

Die zahlreichen Kontakte zu Firmen und Firmengruppen in verschiedenen Ländern zeigten, dass in den frühen sechziger Jahren nur wenige über das erforderliche „know how“ verfügten, um eine Systemarchitektur die den gestellten Anforderungen genügte, zu offerieren noch geschweige denn zu bauen.

Im Laufe der Evaluation trat die Ueberlegenheit amerikanischer Firmen, die als einzige bereits über Erfahrungen und Technologie verfügten, klar zu Tage.

Wegen der zunehmenden Bedrohung durch feindliche Langstrecken - Bomber mit atomarer Bewaffnung, hatte die USA bereits in den späten fünfziger Jahren begonnen ein rechnergestütztes Luftverteidigungssystem aufzubauen.

Für die Planung und Auslegung dieses **Semi Automatic Ground Environment (SAGE)** Systems wurde das aus dem Radiation Laboratory des Zweiten Weltkrieges hervorgegangene **MIT Lincoln Laboratory** zugezogen. Eine Schlüsselrolle bei der Planung spielte dabei, **die späteren Gründer der MITRE Company: Bob Everett und John Jacob.**

Erstmals wurden bei diesem System die Informationen geographisch weit auseinanderliegender Radarstationen in neu entwickelten zentralen Digitalrechnern verarbeitet.

Die für die Ausführung dieses Projektes zugezogenen Firmen waren gezwungen bei der Entwicklung der erforderlichen Ausrüstungen weitgehend neue Wege zu beschreiten. Sowohl bei den Radar- Computer- wie bei den Anzeige- Ausrüstungen mussten dabei neue Massstäbe gesetzt werden.

Die Verantwortung bei der Entwicklung der erforderlichen neuen Computer-Programmierung lag primär bei der im Laufe des Projektes neu gegründeten **MITRE Company.**

Die vollständige Integration und Inbetriebnahme des Systems erfolgte im Laufe des Jahre 1963, also kurz bevor die Systemwahl für das Florida-System getroffen werden musste.

Die von den Industriefirmen beim Aufbau des SAGE - Systems gemachten Erfahrungen konnten soweit es die Geheimhaltung erlaubte, nun auch in die Firmenvorschläge für das Florida Projekt einfließen. Zudem konnten durch die Projektleitung unabhängige Berater welche beim SAGE - Projekt mitgewirkt hatten, als freie Mitarbeiter gewonnen werden.

Das neue Florida-System wurde wesentlich durch die geplante Einführung der nachfolgenden drei Innovationen geprägt:

- **Verbundsystem aus frei programmierbaren Digitalrechnern inklusiv der hierfür erforderlichen technischen und operationellen Software**
- **volumetrische (dreidimensionale) Radarsensoren unterstützt durch Sekundärradarsysteme welche mit der Mode C Höhenabfrage ausgerüstet sind**
- **halbautomatische Erzeugung von Flugwegen aus den Radar - Plots**

Die Rohdaten von drei Radarstationen sollten dabei mit Hilfe eines Rechner-Verbundsystems in Nutzinformationen umgewandelt (extrahiert) und daraus eine Gesamtluftlage Schweiz für zwei Einsatzzentralen erzeugt werden.

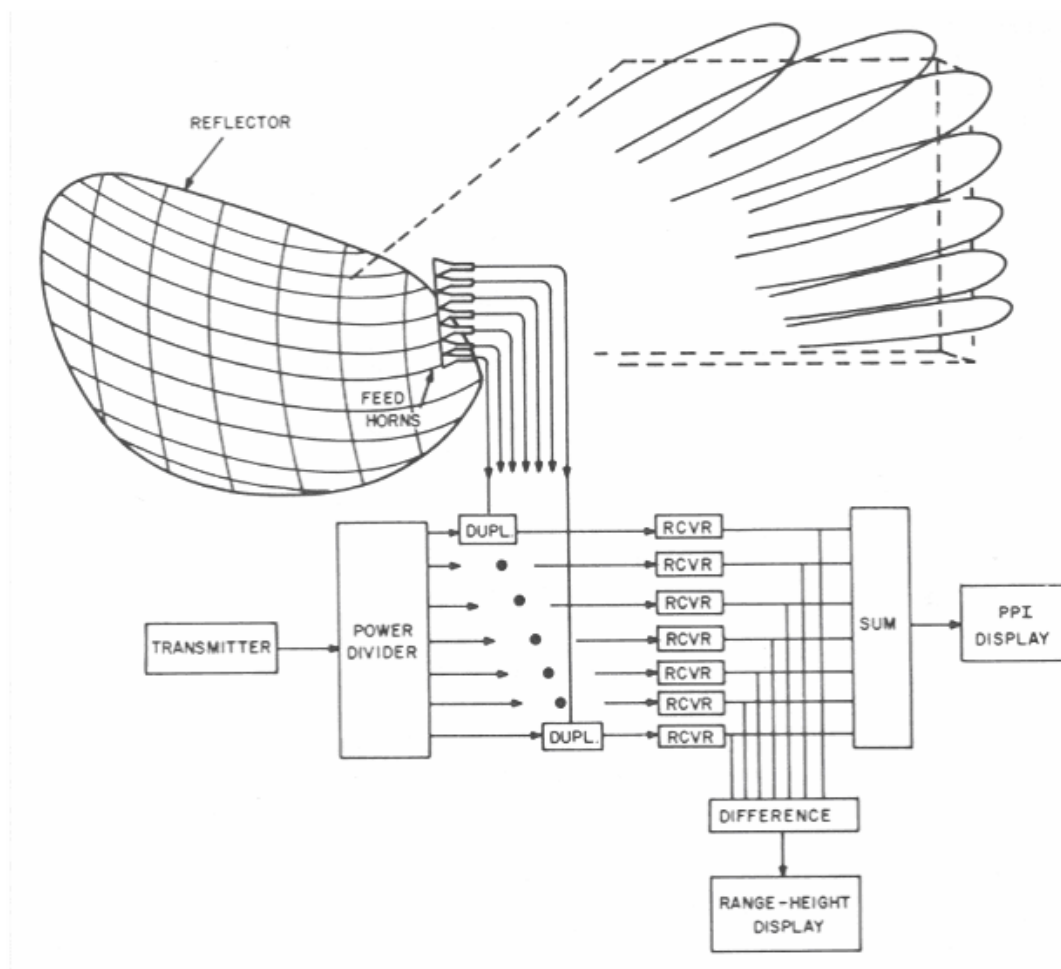
Zudem sollte das Computersystem eine Bedrohungsanalyse für die militärische Führung und die Warnung der Zivil-Bevölkerung ermöglichen sowie den Einsatz der verschiedenen Waffensysteme der Flieger- und Fliegerabwehrtruppen unterstützen. Sowohl die Anforderungen die dabei an die Computer-Ausrüstungen wie auch an deren Programmierung gestellt wurden, waren für den damaligen Stand der Technik extrem hoch.

Die Radarsensoren sollten den Raum dreidimensional absuchen, so dass die Position der Flugziele gleichzeitig in Azimut, Entfernung und Höhe vermessen werden und damit auf das bisher erforderliche, umständliche Vermessen der Höhe mit Höhenfinder verzichtet werden konnte. Auf der nachfolgenden Seite ist eine frühe Version eines Funktionsschemas des geplanten automatischen Führungssystems ersichtlich.

Es entspricht in etwa dem Stand der Erkenntnisse die im Jahre 1961 über das Projekt vorherrschten.

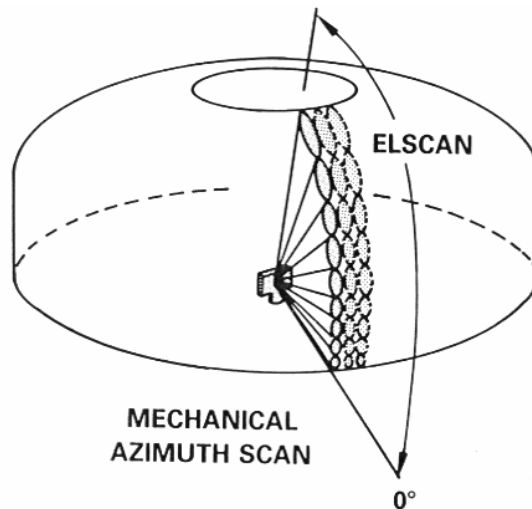
Zu Beginn der sechziger Jahre existierten auch in den USA nur sehr wenige 3-D Radarsysteme. In das SAGE - System waren noch weitgehend konventionelle Radarsysteme eingebunden worden. Das von der Firma Sperry - Gyroscope gebaute auf ca. 440 MHz im Frequenz - Diversity Betrieb arbeitende AN/FPS-35 Rundsuchradar, in Kombination mit zwei AN/FPS-6 Höhenfindern entsprach in etwa dem Standard der anfänglichen SAGE - System Radarsensoren.

Beim Air Force Rome Air Development Center [RADC] befand sich ein im Frequenzbereich von 2320 - 2670 MHz arbeitendes 3D Radarsystem unter der Bezeichnung AN/FPS - 27 in Entwicklung. Das System tastete den Raum zeitlich simultan mit insgesamt 7 übereinander angeordneten Strahlungskeulen nach den „stacked-beam“ - Prinzip ab. Als Nachfolge für die 2D Radars im SAGE System, entwickelt, verfügte das Radar über eine sehr hohe Sendeleistung von 15 Megawatt, sowie ein MTI - System und neuartige Ausrüstungen gegen die Auswirkung von elektronischen Störverfahren.

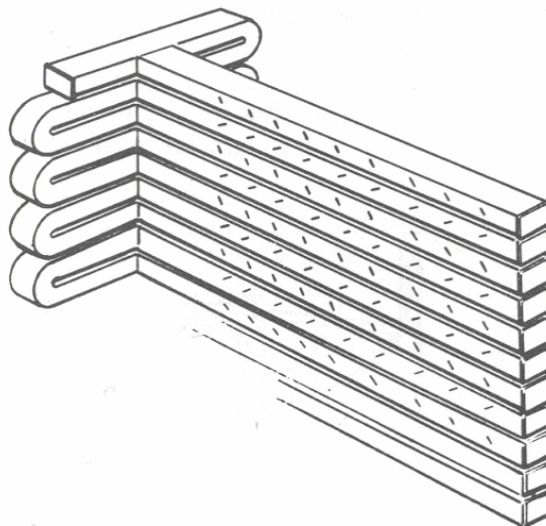


Die spätere Serie von 33 Anlagen wurde von der Firma Westinghouse in Baltimore gebaut. Eine Exportlizenz wurde von der amerikanischen Regierung für dieses System jedoch nie erteilt.⁹⁾

Die Firma Hughes Aircraft hatte im Jahre 1961 ein U.S. Patent für ein Antennensystem zugesprochen erhalten, das nach dem „frequency scanning“ Verfahren arbeitete. Hierbei wird die Elevation elektronisch mit einer relativ feinen Strahlungskeule (pencil - beam) durch variieren der Frequenz zeitlich sequentiell abgetastet. Siehe die Arbeitsweise aus nebenstehender Figur. Der auf einer Drehplatte aufgebaute „Frequency Scanner“ rotiert dabei kontinuierlich und tastet den Raum mechanisch über einen Azimutwinkel von 360° ab.



Ein wesentlicher Bestandteil dieses „frequency scanning systems“ stellt der mäanderförmig aufgewickelte Wellenleiter (Sinus - Feed) dar. Er sitzt als frequenzabhängiger Phasenschieber an den Einkopplungsstellen der Array Antenne, die aus Wellenleiter - Elementen (sog. Sticks) mit den in der Schmalseite angeordneten Schlitzstrahlern gebildet wird. Er bewirkt, dass bei einer Frequenzänderung die Phasenfronten der einzelnen Schlitz-Strahler ändern und damit auch der Abstrahlwinkel der aus den einzelnen Phasenfronten resultierenden Strahlungskeule, dem sog. pencil - beam.⁸⁾

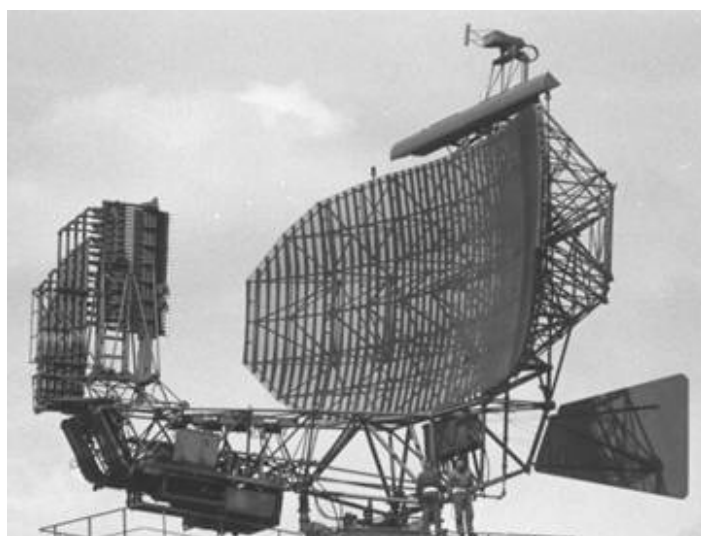


Hughes hatte gegen Ende der fünfziger Jahr in kurzer Folge verschiedene derartige 3D – Frequency Scanning Radars gebaut von denen die Systeme AN/SPS-32 und AN/SPS-39 bereits um die Mitte der sechziger Jahre in grösserer Anzahl auf Schiffen der amerikanischen Marine im Einsatz standen.

Für den Einsatz an Land existierte eine Versuchsausführung eines 3D - Frequency Scanning Radars mit der Bezeichnung **LW - 3D (3-D Lightweight Radar)** Zum Zeitpunkt der Florida - Evaluation wurde das System jedoch weder in Serie gebaut, noch waren dafür von den Streitkräften der U.S.A. Exportbeschränkungen beim U.S. State Department beantragt worden. Das System war lediglich als Funktions- und Demonstrations- Muster für die spätere Entwicklung leistungsstärkerer System gebaut worden.¹⁰⁾ Um eine Antenne - Abmessung zu erhalten die bei einem mobilen Radar noch einigermaßen handhabbar war, arbeitete das System im C - Band auf einer Wellenlänge um die 5 cm. Die Antennen-Dimension von ca. 4 x 4 Meter entsprach in etwa den für die geforderte Kavernen - Tauglichkeit gestellten Anforderungen. Wellenlängen im Bereich von 5 cm sind für Frühwarnradars die normalerweise für grosse Entfernungen ausgelegt sind nicht besonders geeignet. Bei diesen Wellenlängen verursachen meteorologische Phänomene wie Niederschläge und Wolken bereits störende Wetterechos, zudem machen sich bereits Absorptionsverluste bei der Ausbreitung bemerkbar. Zur Klärung dieser Fragen wurde von der FLORIDA Projektleitung **der Radarmeteorologe Dr. Jürg Joss von der SMA Locarno - Monti**, welcher bereits über praktische Erfahrungen im Umgang mit C - Band Radarsystemen verfügte, als Sachverständiger zugezogen.

Die kontroverse Frage ob ein „stack - beam“ oder ein „pencil - beam“ Radar als Sensor für das Florida System besser geeignet sei, stand zum Zeitpunkt der Evaluation nicht im Vordergrund, diese Frage sollte jedoch später Anlass zu vielen Problemen und Diskussionen geben.

Die Ground Systems Group der Hughes Aircraft Company in Fullerton CA verfügte bereits über Erfahrung in der Architektur von Luftverteidigungs-Systemen. Die Firma war massgeblich an der **International Planning Group [IPG]** für das neue Luftverteidigungssystem **[NADGE] der NATO in Europa** beteiligt gewesen. Auf Grund des multinationalen Charakters des europäischen Projektes musste dabei jedoch das **PALMIR 3D - Radarsystem der französischen Firma Thomson - CSF**, das im S - Band nach dem „stacked beam“ - Prinzip arbeitete als Sensor im System integriert werden. Das nachstehende Bild zeigt das Medium Power 3D Radarsystem der französischen Firma Thomson - CSF, das im S-Band nach dem „stacked beam“ - Prinzip arbeitete.



Das MPR ist ein ortsfestes Radargerät, die einzelnen Baugruppen sind in einem mehrstöckigen Gebäude untergebracht.

Ein gepulstes Hochleistungs - Klystron erzeugt im S - Band eine maximale Ausgangsleistung von **20 Megawatt**. Diese Senderendstufe wird von einem **Carcinotron** über zwei Verstärkerstufen angesteuert. Der Sendepuls wird in der Antenne auf **34 Hornstrahler** aufgeteilt und abgestrahlt. In jedem der 34 Hornstrahler befindet sich ein Zirkularpolarisator. Diese ermöglichen eine lineare, rechts- oder links- zirkulare Abstrahlung der Sendeenergie. Im Sendefall wird ein Coscant² - Diagramm abgestrahlt, während beim Empfang jeweils mehrere Wege zusammengefasst werden und ein im Höhenwinkel gestaffeltes Diagramm bestehend aus **12 Einzelkeulen** gebildet wird.

Die Summe der 12 Keulen ergibt ebenfalls ein Coscant² - Diagramm. Auf diese Weise gewinnt man neben den Azimut- und Entfernungsdaten noch eine zusätzliche Höheninformation welche sich aus den voneinander unabhängigen 12 Strahlungskeulen bildet. Über Duplexer, HF- Vorverstärker und 1. Mixer wird die 1. ZF von 150 MHz anschliessend in eine 2. ZF von 30 MHz abgemischt. Nur die unteren 4 Kanäle sind mit UHF - Vorverstärkern ausgerüstet. Eine Niederleistungs-drehkupplung überträgt das ZF - Signal vom Antennenbereich zum Empfänger. Als Störerschutz - Massnahme kommt auf der ZF - Ebene das Dicke Fix - Prinzip zur Anwendung. Ein 13. Kanal (SLB) dient der Unterdrückung von Echos aus den unerwünschten Nebenkeulen. Im Empfänger wird auf zwei parallelen Signalwegen gearbeitet, dem entstörten Schaltkanal (CFAR - Weg) und dem amplitudengetreuen Signalkanal (Log - Weg). Nach einer Analog/Digital - Umwandlung erfolgt die Zieldatenübertragung in den Extraktionsprozess.

Technische Daten

Frequenzbereich:	S-Band
Pulswiederholzeit:	4 Millisekunden
Pulswiederholfrequenz:	250 Hz
Sendezeit (PW):	4 μ s
Empfangs Zeit:	3132 μ s
Tot Zeit:	800 μ s
Pulsleistung:	bis 20 MW
Durchschnittsleistung:	bis 40 kW
angezeigte Entfernung:	480 km
Entfernungsauflösung:	600 m
Öffnungswinkel:	0,42°
Trefferzahl:	3 pro Beambreite
Antennenumlaufzeit:	10 s

Die Evaluationsabklärungen ergaben allerdings, dass zum Zeitpunkt der Florida - Beschaffung ein Verkauf des MPR 3D-Radarsystems an Länder die nicht Mitglied der NATO waren, aus Geheimhaltungsgründen nicht möglich war.

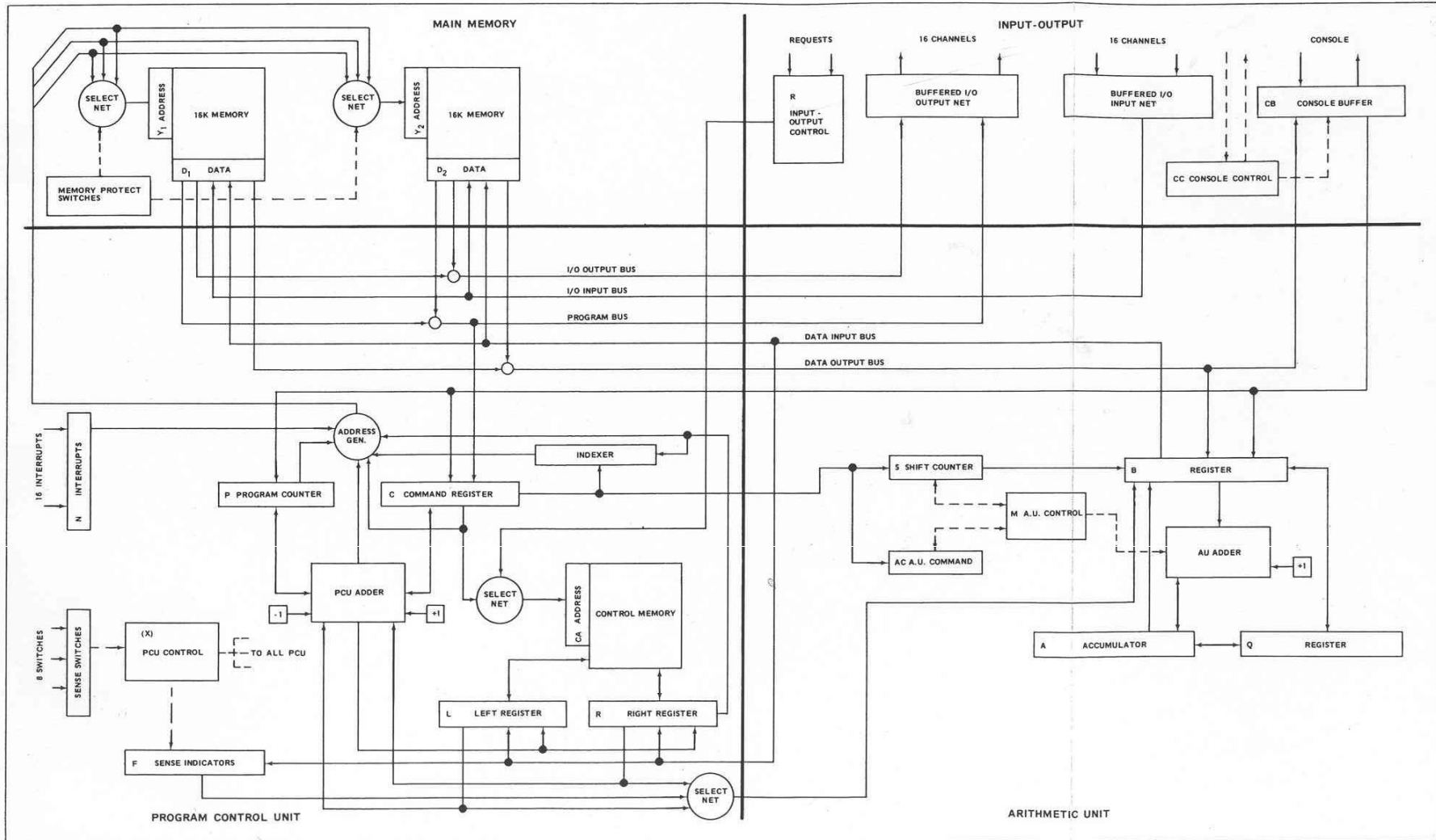
Hughes verfügte Mitte der 60er Jahre bereits über ein abgerundetes Programm von modernen Rechner- Datenübertragungs- und Anzeigeausrüstungen. Nachstehend ist die Spezifikationen des Mitte der sechziger Jahren von der Hughes Ground System Gruppe in Fullerton CA entwickelten H - 330 Digitalrechners ersichtlich. Dieser Rechner stellte im Vergleich zu den damaligen zivilen Ausrüstungen bezüglich der Input/Output Geschwindigkeit ein absolutes Spitzenprodukte dar.¹⁵⁾

Hand in Hand mit der Entwicklung des eigenen, sehr leistungsfähigen und speziell für die Bedürfnisse der Luftverteidigungssysteme angepassten Rechners hatte die Firma auch eine leistungsfähige eigene Software - Abteilung aufgebaut. Für die Verarbeitung von Radardaten kamen als Rechner nur Echtzeitsysteme mit sehr schnellen Input/Output Nahtstellen und Assembler Programmierung in Frage.

Type	Militarized circuitry, stored program, single address, real-time, synchronous, parallel.
Word Length	24 bits.
Number System	Sign and magnitude, binary fixed point.
Memory Type	Random access, magnetic core.
Main Memory Capacity	65,536 words, maximum; 16,384 words, minimum. (Modified version expandable to 131,072 words)
Control Memory Capacity	128 thirty-two-bit words.
Memory Speeds	Main Memories: 1.8-microsecond cycle time, 0.9-microsecond effective cycle time because of overlap; Control Memory 0.45-microsecond cycle time.
Number of Index Registers	Twenty-four.
Number of Decrement Registers	Twenty-four.
Number of Relocation Registers	Eight.
Typical Operating Times, Including Memory Access, Indexing, and Relocation	Add: 1.8 microseconds. Multiply: 10.80 microseconds. Divide: 12.15 microseconds. Square Root: 11.70 to 21.60 microseconds.
Buffered Input/Output Channels	16 input and 16 output.
Maximum Transfer Rate	538,000 words per second (multi-channel).
Number of Devices	Up to 16 per channel.
Console Channel	Paper tape reader (350 characters per second). Paper tape punch (110 characters per second). Electric typewriter (15 characters per second). Keyboard.
Program Interrupt	16 on input channels. 32 at end of buffered input or output block. 1 elapsed-time clock, 3 program error.
Clocks	Twelve-day time-of-day clock, set by program and incremented each millisecond. 32-second elapsed-time clock, set by program and decremented each millisecond.
Logic Type	Diode-transistor-inverter, "function logic."
Clock Frequency	2.2 megacycles.

Der Hughes H-3324 Computer ist ein freiprogrammierbarer „general purpose“ Digitalrechner mit einer Clockfrequenz von 2.2 MHz. Das aus Magnetkernspeichern bestehende „Main-Memory“ ist in Banken von 16'384 Worten mit 24 Bit Länge organisiert. Der Lese/Schreib- Zyklus jeder Bank beträgt 1.8 μ s bzw. 0.9 μ s pro Operation wenn die Daten und das Programm in unterschiedlichen Banken gespeichert sind. Zusätzlich ist ein sog. „Control-Memory“ vorhanden für die Verwaltung der Input/Output Operationen, der Indexierung der Adressen, der Interrupt Verarbeitung und die Realtime Clock. Das Main-Memory kann bis max. 131'072 Speicherworten ausgebaut werden. Der H-3324 kann direkt 16 externe Ausrüstungen mit 16 Input und Output Kanälen adressieren und akzeptiert Informationen mit einer Geschwindigkeit von 532'000 Worten pro Sekunde. Der Informationsfluss im H-3324 geht aus nachfolgendem Systems-Blockschema hervor.

Section One
H-3324 Computer
45333-1

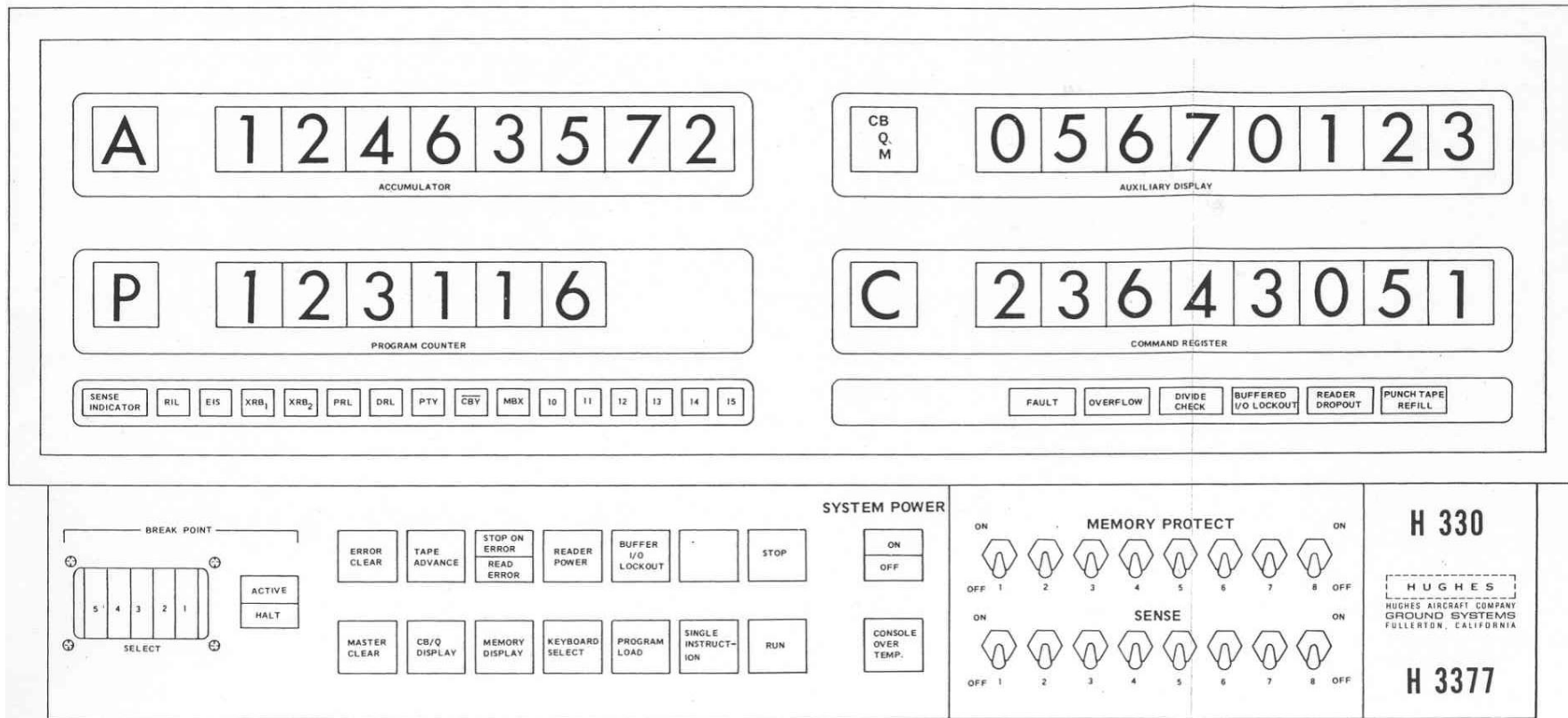


Der Central Processor Unit (CPU) besteht aus der Arithmetic Unit, der Programm Control Unit und der Input/Output Control Unit. Diese drei Baugruppen führen alle arithmetischen und logischen Operationen aus.

Die Input/Output Unit in Zusammenarbeit mit der Programm Control Unit ermöglicht eine Echtzeit - Kommunikation zwischen den externen Ausrüstungen und dem H-3324 Computer.

In der Offerten-Phase des Florida Projektes war eine Main - Memory Grösse von 32 K-Worte für die Florida Radarstation und 64 K-Worte für die Florida-Einsatzzentralen geplant. Im Laufe der Programmentwicklung zeigte es sich jedoch, dass beide operationellen Programme bedeutend mehr Speicherplätze benötigten als ursprünglich geschätzt. Die MRS Computer mussten in der Folge auf 66 K-Worte und die EZ Computer auf 132 K-Worte ausgebaut werden. Gemäss einem internen Schreiben vom 21. Juli 1967 budgetierte Hughes damals US \$ 5 pro Speicherwort.

Ueber die Computer Console des H-3324 (siehe nachstehende Figur) erfolgt primär das Laden der Programme, daneben ermöglicht sie die Ueberwachung im Betrieb und die Eingabe von gewissen Steuerfunktionen.



Hughes H-3324 Computer für Florida System



Magnetkern – Speicher von H-3324 Computer



Da bedingt durch die hohe Entfernungsauflösung der Radars eine Datenübernahme in Abständen von wenigen Mikrosekunden erfolgen muss, wurden auch sehr hohe Anforderungen an die Verarbeitungsgeschwindigkeit gestellt. Es stand daher von Anfang an fest, dass aus diesem Grunde nur die Assembler - Programmierung in Frage kam.

Ein **Compiler für die Umwandlung der Assembler in die Fortran IV Programmiersprache** existierte bei Hughes bereits, benötigte jedoch für die Echtzeit - Anwendung eine zu grosse Verarbeitungszeit und zu viele Speicherplätze.

Vorauszusehen war, dass für die beim Florida System angestrebten Lösungen, auch mit einer Programmierung in der Assembler-Sprache, die damals verfügbaren Speichermöglichkeiten des Rechners bis an die Grenze ausgeschöpft werden mussten.

Hughes war damals auch in Zusammenarbeit mit dem japanischen NEC Konzern an der Planung und Ausführung des japanischen Luftverteidigungssystem J-TAWCS beteiligt.

Im Rahmen des IPG - Programms hatte Hughes auch schon Erfahrungen mit der Digitalisierung und Zielextraktion von Radarsignalen gesammelt. Zudem existierten Lösungen für den automatischen Aufbau von Flugwegen (Tracking) aus Radar - Plots. Die Verfahren zur Lösung, der halbautomatischen Flugwegverarbeitung mit Rechnern, wie dies im Rahmen des Florida Projektes geplant war, befanden sich Mitte der sechziger Jahre allerdings noch in den Anfängen.

In den Jahren nach dem zweiten Weltkrieg wurden durch die Arbeiten der amerikanischen **Physiker C.E. Shannon** und **J. I. Marcum von der Rand Corporation in Santa Monica CA** die theoretischen Grundlagen für die statistischen Verfahren zur Verarbeitung von Signalen im Rauschen bekannt. Die praktische Anwendung in der Radartechnik rückte jedoch erst mit der Halbleitertechnik und der Entwicklung zuverlässiger digitaler Schaltkreise in den Bereich der praktischen Realisierbarkeit.

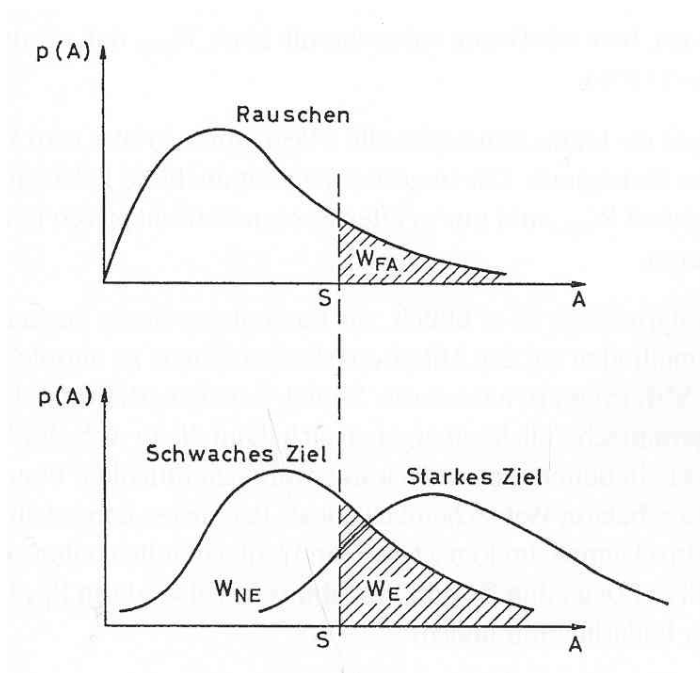
In Radarsystemen ist die Dämpfung auf dem Ausbreitungsweg so gross, dass das am Empfängeranfang für die Auswertung verfügbare Echosignal im allgemeinen nur wenig über dem Rauschen liegt. Es muss also bei der Zieldetektion im Radar die Entscheidung getroffen werden, ob eine momentan beobachtete Zielamplitude von einem Zielecho erzeugt oder durch eine zufällige Rauschspitze verursacht wird.

Da die Dichteverteilung von Rauschamplituden einer statistischen Gesetzmässigkeit folgt und zusätzliche Zielsignale diese Verteilung beeinflussen, lässt sich der Vorgang der Zieldetektion durch eine Wahrscheinlichkeitsaussage beschreiben. Bei Radarempfängern kann zudem davon ausgegangen werden, dass das Verhältnis der Bandbreite des Empfangskanals zur Trägerfrequenz gross ist und es sich deshalb um einen schmalbandigen Wahrscheinlichkeitsprozess handelt.

Diese Annahme hat zur Folge, dass die Wahrscheinlichkeitsverteilung $p(A)$ der Amplitude des thermischen Videorauschens durch eine Rayleigh - Funktion wie im oberen Teil der Figur auf der nächsten Seite dargestellt, beschrieben werden kann.

Ueberlagert sich dem Rauschen ein Zielecho, so erfolgt in Abhängigkeit von dessen Amplitude eine Rechtsverschiebung und Verformung der Verteilung wie dies aus dem unteren Teil der nachstehenden Figur hervorgeht.

Rayleigh Verteilung bei der Falschalarm- und Detektionswahrscheinlichkeit



Trifft man die Zielentscheidung dann, wenn ein beobachteter Amplitudenwert eine vorgegebene Schwelle S überschreitet, so ergibt die Integration über $p(A)$ von der Schwelle an folgende Wahrscheinlichkeitswerte:

- Die Wahrscheinlichkeit W_{FA} , mit der Rauschspitze die Schwelle überschreiten und fälschlich als Ziel gewertet werden (Falschalarm-Wahrscheinlichkeit)
- Die Detektions-Wahrscheinlichkeit W_E , mit der ein Zielsignal bestimmter Grösse die Schwelle überschreitet und als Ziel erkannt wird, bzw. die Gegenwahrscheinlichkeit W_{NE} , dass es nicht detektiert wird.

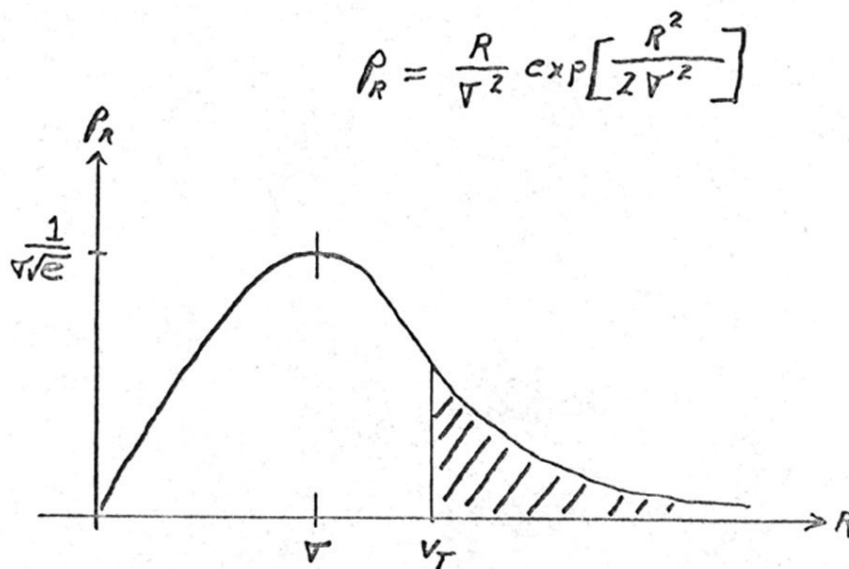
Je niedriger die Detektionsschwelle S liegt um so grösser wird W_E auch für schwache Zielsignale. Umso grösser ist aber auch die Falschalarmwahrscheinlichkeit W_{FA} , und um so öfters werden Rauschspitzen irrtümlich als Ziele gewertet.

Wie bereits angedeutet lag Mitte der sechziger Jahre eine der Hauptsorgen der verantwortlichen Florida-Systemarchitekten bei der damals nur beschränkt zur Verfügung stehende Computerkapazität für die Verarbeitung der Radarsignale. Gemäss Pflichtenheft sollte das System in der Lage sein, pro Antennenumdrehung 400 Radarzielmeldungen, 50 bei der Videoextraktion nicht ausgeschiedene Standzeichenmeldungen sowie bis zu 50 aus dem Rauschen gebildete Falschalarmmeldungen verarbeiten zu können. Die stricte Einhaltung der Falschalarmzahl des Radars pro Antennenumdrehung, war daher für das Florida Projekt von allergrösster Bedeutung. In Anbetracht ihres damaligen Stellenwertes bei der Projektierung, wird die Falschalarm- Problematik etwas ausführlicher behandelt.

Florida Noise Model and Parameters

Bei den Berechnungen des Florida "Noise Model" wurde von folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

1. Die Radarentfernungsauflösung (Range Bin) beträgt $1.5 \mu\text{s}$ bzw. 225 Meter
2. Die Empfängerbandbreite von 660 kHz ist an die Entfernungsauflösung angepasst
3. Die Standard Deviation für jede der orthogonalen Gauss'schen Rauschkomponenten ist 1 Volt



Prob. of noise crossing threshold

$$= \int_{V_T}^{\infty} \frac{R}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right] dR$$
$$= \exp\left[-\frac{V_T^2}{2\sigma^2}\right]$$

$$x \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{V_T}{\sqrt{2} V} \right)^2$$

$$\left(\frac{V_T}{\sqrt{2} V} \right)^2 = 10^{\frac{x}{10}}$$

$$\text{Prob. of noise crossing threshold} = \exp \left[-10^{\frac{x}{10}} \right]$$

In der Radartechnik ist es üblich die Zielamplituden und Detektionsschwellwerte (**Skim Level**) in dB bezüglich des quadratischen Mittelwertes (**rms**) des Rauschens zu normieren, daher ist es bequemer diese Definition auch für die Wahrscheinlichkeitswerte zu übernehmen, wie aus der vorangegangenen Gleichung ersichtlich ist.

Beim Florida Radar wurden für die A/D Wandlung der Empfangssignale insgesamt 16 unterschiedliche Schwellwerte festgelegt, die im Bereich von 5.8 – 75 dB über dem rms Rauschen liegen.

Für die Falschalarm Berechnungen fallen jedoch nur die drei untersten Schwellwerte von 5.8 dB, 8.8 dB und 10.4 dB in Betracht, da die Falschalarmzahlen der höheren Schwellwert derart tief liegen, dass sie bei der Berechnung vernachlässigt werden können.

Nachfolgend ein Berechnungsbeispiel für die „**Probability of False Alarm**“ (P_{fa}) eines Schwellwertes:

Pfa für $T_1 = 5.8$ dB

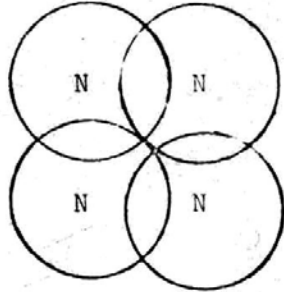
$$T_{1(\text{dB})} = 10 \log X_1$$

$$X_1 = [10^{0.58}] = 3.80189...$$

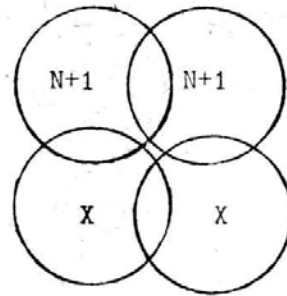
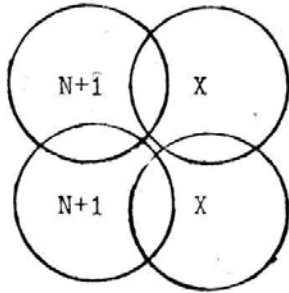
$$P_{fa} T_1 = e^{-3.80189} = \mathbf{0.022328..}$$

Bei der Berechnung der Gesamt-Falschalarmzahl pro Antennenumdrehung musste von der Anzahl der Detektionsfenster im Erfassungsvolumen des Radars ausgegangen werden. Wie bereits vorgängig erwähnt handelte es sich beim Florida Radar um ein System das den Raum sequentiell mit einem schmalen praktisch kreisförmigem „**Pencil - Beam**“ abtastet. Abgeleitet aus dieser Vorgabe wurde ein Detektions-Muster gewählt, das aus einem räumlichen Körper besteht, welcher aus vier „**Ränge - Bin**“ von je **225 Meter Länge** gebildet wird.

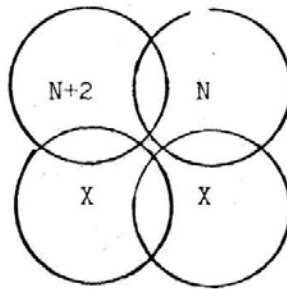
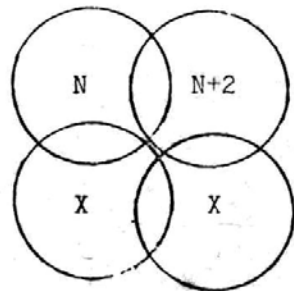
Group 1



Group 2



Group 3



N is equal to the first threshold setting

X indicates that the threshold crossing of that beam is not considered in the detection criterion

FLORIDA DETECTION CRITERION

Die Figur auf der vorhergehenden Seite zeigt die möglichen Detektions-Kriterien welche in den aus vier Entfernungsabschnitten „Range - Bins“ gebildeten Detektions - Fenstern auftreten können. Daraus kann für jedes Detektions - Kriterium die Falschalarm - Wahrscheinlichkeit wie folgt ermittelt werden:

$$\text{Group 1} = (2.23 \times 10^{-2})^4 = 24.82 \times 10^{-8}$$

$$\text{Group 2} = 2 \times (5.08 \times 10^{-4})^2 = 51.62 \times 10^{-8}$$

$$\text{Group 3} = 4 \times (2.23 \times 10^{-2}) (1.73 \times 10^{-5}) = 154.3 \times 10^{-8}$$

Hieraus ergibt sich für GP1 + GP2 + GP3 eine Gesamt P_{FA} von:

$$P_{FA \text{ (gesamt)}} = (24.82 + 51.62 + 154.3) \times 10^{-8} = 2.31 \times 10^{-6}$$

Bestimmung der Anzahl Detektions-Fenster

Im Azimut beträgt der Beam - Abstand 0.73° , hieraus resultieren für eine Antennenumdrehung

$$360^\circ / 0.73^\circ = 493 \text{ azimutale Fenster}$$

Unter Berücksichtigung der gemäss Pflichtenheft bei der Radarabtastung des Raumes unterschiedlichen Entfernungsmessbereiche der Elevationsrichtung ergeben sich pro Elevationsabtastung (ELSCAN) 36'552 Detektions-Fenster.

Total resultieren hieraus für eine Antennenumdrehung:

$$36'552 \times 493 = 18'020136 \text{ Detektions-Fenster}$$

Die Anzahl der Falschalarme pro Antennenumdrehung errechnet sich aus:

$$P_{FA \text{ (gesamt)}} \times \text{Detektions-Fenster} = 2.31 \times 10^{-6} \times 18'020136 = \approx 42$$

Nach der Fertigstellung und Installation des Florida Radarsystems auf den Standorten im Hochgebirge, konnte die Radar - Falschalarm Anzahl am Ausgang des Radarvideos - Extraktionsprozesses, bei abgeschaltetem Radarsender, jederzeit an einem Zähler abgelesen werden. Der Wert stellte ein gutes Indiz für die Beurteilung der einwandfreien Systemfunktion dar.

Die Problematik der Zieldetektion liegt darin, eine Entscheidung zu fällen ob in einer Radarinformation ein echtes Zielsignal verborgen ist, oder ob es sich lediglich um ein durch Rauschen hervorgerufenes Störsignal handelt.

Eine solche Entscheidung ist natürlich nur mit einer gewissen Unsicherheit möglich. Sie wird auf Grund eines Kriteriums vorgenommen, das so gewählt wird, dass die durch Fehlentscheidungen verursachten Schäden möglichst gering sind.

Will man eine solche Entscheidung statt von einem menschlichen Beobachters von einem Automaten ausführen lassen, werden hierbei am zweckmässigsten Methoden der statistischen Entscheidungstheorie benützt.

Für die Extraktion der Zielsignale aus dem Rauschen sind aufwendige Analysen notwendig. Zudem müssen sie infolge der mit elektromagnetischer Ausbreitungsgeschwindigkeit eintreffenden Signale in sehr kurzer Zeit folgen.

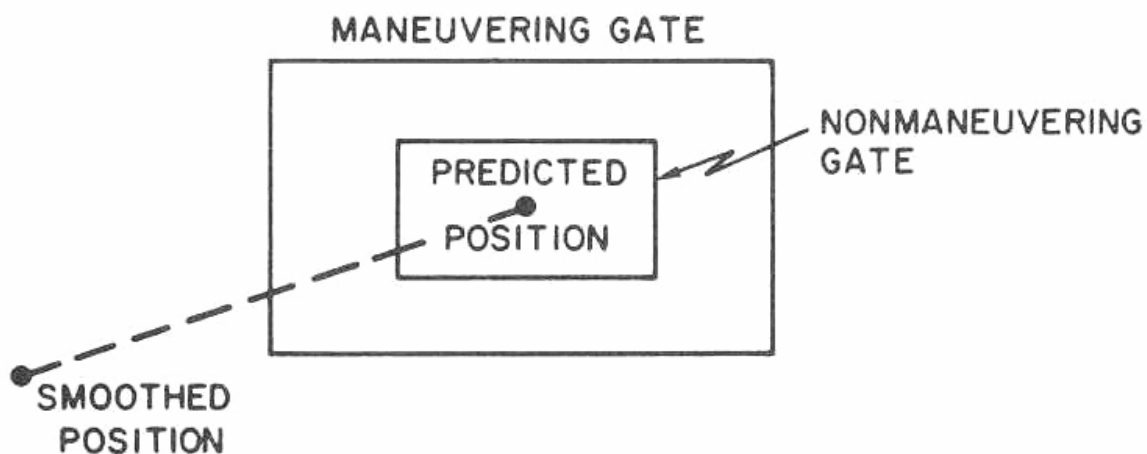
Meist werden bei den Analysen räumliche Kriterien angewendet dh es wird untersucht ob die Signale in verschiedenen benachbarten Raumelementen zeitlich miteinander korrelieren.

Aus den beim Extraktions-Prozess anfallenden als „pseudo“ echte Ziele deklarieren Radar - Plots werden in einem weiteren Prozess die Flugwege oder Tracks gebildet. Dabei ist es sehr wichtig, dass die sog. Falschalarm-Wahrscheinlichkeit der Radar- Plots möglichst niedrig ist. Gelangen zu viele falschen Radar - Plots in die Flugweg - Verarbeitung (Tracking) so tritt eine Uebersättigung des Systems auf und dies hat zur Folge, dass echte Ziele verloren gehen.

Die Falschalarm Wahrscheinlichkeit des Zielextraktors ist daher ein sehr wichtiger Systemparameter, dem bei der Entwicklung eine wesentliche Beachtung geschenkt werden musste.⁷⁾

Der **Tracking - Prozess d.h. die Flugwegbildung** basiert ebenfalls auf räumlichen Kriterien es wird dabei untersucht ob sich ein Radar - Plot innerhalb eines aus den Geschwindigkeitsvektoren vorausberechneten Raumkörpers einem **sog. „Gate“** befindet, dessen Zentrum der vorausberechneten „**Predicted Position**“ entspricht (siehe nachstehende Figur).

Die „Gate“- Abmessungen hängen dabei von der Kontinuität des Flugweges bzw. der davon detektierten Radar-Plots ab. Bei der Track-Initialisierung wird zuerst ein sog. „**Maneuvering - Gate**“ mit grösserer Abmessung verwendet und erst wenn die Kontinuität der Radar - Plots nach einigen Erfassungen erwiesen ist, erfolgt der Uebergang auf das „**Nonmaneuvering - Gate**“ mit kleinerer Abmessung. Es sind dabei statistische Entscheidungen zu fällen, da ja wie bereits erwähnt, die Radar - Plots in Wirklichkeit nur mit einer begrenzten Wahrscheinlichkeit von echten Flugzielen stammen. Beim Definieren der „Gate“ - Grössen zu Beginn der Software-Entwicklung sind eine Reihe von Parameter unter anderem auch die spezifischen Manöver-Eigenschaften der zu erwartenden Flugobjekte zu berücksichtigen.



Ein halbautomatisches System sollte in der Lage sein unter normalen Bedingungen Flugwege automatisch zu initialisieren d.h. mit deren Aufbau zu beginnen. Nur in Sonderfällen, (z.B. beim Vorhandensein natürlicher oder künstlich herbeigeführter Störungen) sollte ein manuelles Eingreifen eines Flugweg - Operateurs (Track-Monitor) erforderlich werden.

Der Einsatz von Starthilfe - Raketen oder des Flüssigkeit - Raketentriebwerkes SEPR (siehe nebenstehendes Foto) verleiht dem Abfangjäger Mirage III-S einen wesentlich erhöhten Schub für den Beschleunigungs- und Steigflug. Beim Festlegen der „Gate“ - Grösse für den „Tracking“ - Prozess der Florida Radarstationen mussten derartige Spezialfälle mit berücksichtigt werden.



Zur Bildung einer gemeinsamen Luftlage aus den Daten der an geographisch unterschiedlichen Standorten befindlichen Radarstationen ist ein geeignetes dreidimensionales Koordinatensystem erforderlich. Hughes entwickelte hierzu ein Konvertierungsprogramm für die schweizerischen Militärkoordinaten (siehe Figur auf nachfolgender Seite).

Dabei entschied sich Hughes für die Verwendung eines dreidimensionalen kartesischen Koordinatensystems mit dem Systemmittelpunkt am Standort der zivilen Flugsicherungsradarstation Lägern. Für die Transformation aus den rechtwinkligen schweizerischen Militär- sowie dem **internationalen geodätischen Koordinatensystem WGS 84** mussten Umrechnungsalgorithmen entwickelt werden, hierzu wurde die mathematische Abteilung der Universität Bern zugezogen. ¹¹⁾

Wegen der verlangten hohen Genauigkeit der Radarvermessung musste beim Florida System die Nordausrichtung der Radarantennen auf ca. $\pm 0.1^\circ$ genau erfolgen. Hierzu sah Hughes eine sog. „Sun-Strobe“ - Peilung vor bei der mit dem Radarsystem das von der Sonne im C-Frequenzband ausgestrahlte elektromagnetische Rauschsignal empfangen und damit die genaue Azimutausrichtung der Antenne bestimmt werden konnte.

ACTION: A.Reichenthal	INFO: Project FLORIDA Distribution for SPAD	DATE: 6 November 1967 REF: 1653.61/111 SWISS/942
SUBJECT: Conversion of Military Grid Coordinates to Cartesian Coordinates for Project FLORIDA	FROM: G. B. Fitzpatrick ORG: 16-53-61	BLDG: 606 MAIL STA: K208 EXT: 4185

The Swiss military grid system involves a Mercator type projection of the points on an elliptical earth onto an oblique elliptical cylinder. Since the axis of the cylinder does not pass through the poles nor does it lie in the equatorial plane, the projection is neither a standard Mercator projection nor a Universal Transverse Mercator type projection. The center of projection is at Bern, Switzerland and the curve of tangency between the earth and the cylinder is an ellipse which lies in a plane which intersects the equatorial plane in a diameter and forms an angle with it equal to the (geocentric) latitude of the center (i.e., Bern). The easterly dimension is then measured from Bern along the ellipse of tangency and the northerly dimension is measured along a line tangent to the earth at Bern which lies in the meridian plane. These definitions are stated more precisely in the derivation of the conversion from latitude, longitude to cylinder projected grid coordinates, which follows.

Part I Derivation of General Projection Method

Given the (geodetic) latitude, and longitude east, L_c, λ_c , of the projection center and the (geodetic) latitude and longitude east, L_p, λ_p , of a point on the surface of the earth, the cylinder projected grid coordinates E, N, of the point relative to the center can presumably be obtained by the following general procedure:

A. Convert geodetic latitude to geocentric and compute effective radius of earth for both center and point from:

$$\rho = \sqrt{Y_c^2 + Z_c^2} \quad (1)$$

$$\sin \phi = \frac{Z_c}{\rho} \quad (2)$$

$$\cos \phi = \frac{Y_c}{\rho} \quad (3)$$

where: $Y_c = \frac{a \cos L}{\sqrt{\cos^2 L + K_1 \sin^2 L}} \quad (4)$

Das im Florida-Pflichtenheft geforderte integrierte System, das sämtliche taktischen Funktionen der Flieger- und Fliegerabwehrtruppen einschloss, konnte nur mit einem digitalen Verbundsystem gelöst werden. Die Uebertragung der Daten zwischen den geographisch über die Schweiz verteilten Rechner - Standorten sollte über das bereits Mitte der fünfziger Jahre aufgebaute militärische Mikrowellen – Richtstrahlensystem erfolgen.

Die Firma Hughes verfügte im Fabrikationsprogramm über eine MODEM - Ausrüstung welche eine digitale Datenübertragung über schmalbandige Uebertragungskanäle mit 2400 Bit pro Sekunde ermöglichte. Die digitale Datenübertragung steckte Mitte der sechziger Jahre allerdings noch in den Anfängen, ebenso vernetzte Rechnersysteme. Das Florida System sollte daher eines der ersten Rechnerverbundsysteme der Schweiz werden.

Dieses sehr breit gelagerte Spektrum an hoch spezialisiertem Wissen und Erfahrungen sowie das bereits vorhandene Angebot an Hardware – Ausrüstungen war einzig beim Konkurrenten Hughes Aircraft Company vorhanden. Die Firma war daher in der Endphase der Florida Systemevaluation der aussichtsreichste Kandidat für eine Projektrealisierung als Generalunternehmer.

Quellenverzeichnis

- 1) U.S. Air Force Supplement Technical Manual, Radar Set AN/FPS-20A
- 2) U.S. Air Combat Command, The Legacy of the U.S. Cold War Defence Radar Program
- 3) L.V. Blake, A Guide to Basic Pulse Radar Maximum Range Calculation
- 4) I.S. Reed, Rand Corporation, Santa Monica, A Sequential Test for the Presence of a Signal in One of n Possible Positions
- 5) R. M. Trim, Secondary Surveillance Radar, Past, Present, and Future
- 6) Hughes Aircraft, W.A. Yates, False Alarm Calculations for Frequency Scanning Radars
- 7) Hughes Aircraft, N.A. Begovich, Radar Scanning Systems, U.S. Patent 3.017.630 January 1961
- 8) Westinghouse Company, T.O. 31P6-2FPS27, 3-D Radar AN/FPS-27
- 9) Hughes Aircraft, R.C. Cole, Upgrade Study for Lightweight 3D Radar to the HR - 500 System Requirements
- 10) Bendix Communications Division, J.E. Dalmás, AN/FPS-20A MTI- Improvement Program, May 1975
- 11) Bloodhound Mk 2 SAM-System, Entklassifiziert SF-SLB 2.11.1999
- 12) KTA, Sektion Flugversuche, Abschlussbericht zu den Versuchen mit dem Hunter - Bordradar
- 13) Hughes Aircraft, H-330 Computer, Programming Manual
- 14) Bundes-Archiv, Stüssi - Lauterburg Jürg, Historischer Abriss zur Frage einer Schweizer Nuklearbewaffnung, Entklassifiziert 26.4.1996
- 15) EDMZ Zu8947, Bericht der PUK über die Abklärung der Mirage - Angelegenheit
- 16) MIT, Lincoln Laboratory, Radar Development, A Fifty Year Review, February 2000