

Zur Geschichte der militärischen Radaranwendungen in der Schweiz Erfahrungen mit dem Radar der dritten Generation und Beginn RAS - Radar Hans H. Jucker, Zielackerstrasse 7, 8603 Schwerzenbach

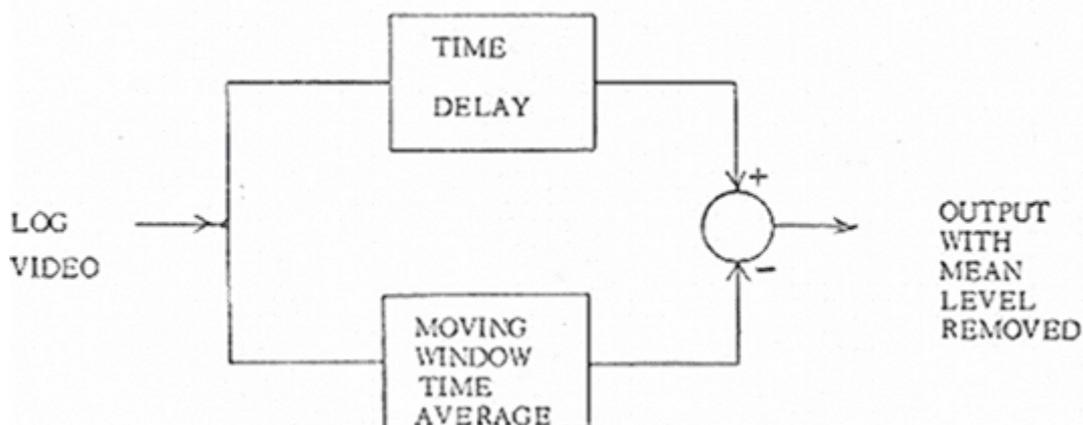
Die Aufgaben der von Florida Projektleiter Oberstdivisionär Bolliger im November 1971 ins Leben gerufenen interdisziplinären Arbeitsgruppe wurde, gemäss dem damaligen Rahmenpflichtenheft wie folgt umschrieben:

- **Der Hauptauftrag der Arbeitsgruppe Florida (AGFL) ist die Verbesserung der Florida Luftlage und die Schaffung von wirksamen Massnahmen gegen die Auswirkungen von feindlichen elektronischen Störungen.**
- **Bei Beschaffungen von neuen Florida Systemkomponenten wirkt die AGFL als Beurteilungsinstanz, erarbeitet die notwendigen Entscheidungsgrundlagen und führt die Integrationsarbeiten aus.**

Der eigentliche Auslöser für den Wunsch, dass zusätzlich zur Verbesserung der Florida Luftlage auch eine Verbesserung der Störfestigkeit gefordert wurde, lag an den schlechten Resultaten des **Systemtests 1000** während der Abnahmeperiode. Die damals festgestellte unbefriedigende Flugwegbildung beim Durchfliegen von Gebieten mit elektronischen Störungen welche durch Abwurf von „Chaff“ verursacht wurden, hatte die schweizerische Projektleitung veranlasst vom Systemlieferanten eine Garantieleistung (Warranty-Claim 1) zu fordern.

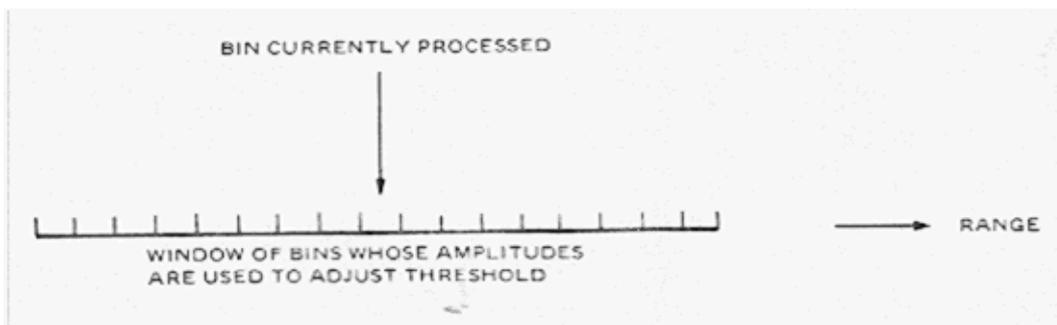
Als Antwort darauf wurden von Hughes während des Sommers 1971 unter realistischen Voraussetzungen Versuche auf einem Radarstandort durchgeführt. Vorgängig hatte Hughes das Problem der Flugwegbildung bei „Chaff“ Störungen eingehend theoretisch analysiert und einen Lösungsvorschlag zur Verbesserung ausgearbeitet. Gemäss einer von Hughes als „Geheim“ klassifizierten Studie¹⁾ lag die Ursache darin, dass der Mittelwert der von der „Chaff“ Wolke herrührenden Signale fälschlicherweise ein Ansprechen der Echtzeit - Clutter Ausscheidung im Videoextraktor bewirkte. Hughes ging von der Annahme aus, dass neben den „Chaff“ Signalen unbeabsichtigterweise auch die darin eingebetteten Flugzeugechos aus dem Verarbeitungsprozess ausgeschieden wurden. Eine Lösung sah Hughes in einer Einrichtung welche den Mittelwert der „Chaff“ Signale zu reduzieren vermochte.

Hughes schlug die Anwendung von „Mean Level Detectors“ in den Videokanälen des Radarempfängers vor. Die Philosophie die dem „Mean Level Detector“ (MLD) zugrunde liegt besteht darin, dass innerhalb eines Wanderfensters („moving window“ ein Mittelwert der Videosignale gebildet wird. Dieser Mittelwert wird in einer Vergleichsschaltung zur Erzeugung eines Schwellwertes für die Detektion verwendet. Siehe nachfolgendes Prinzipschema.



Durch die Detektionsschwelle sollten die „Chaff“ Videos ausgeschieden werden, so dass nur noch die Flugzeugechos zur Weiterverarbeitung gelangen. Wie in der nachfolgenden Figur ersichtlich, erfolgt die Erzeugung des Amplitudenmittelwertes in einem zeitlichen Fenster (moving window).

Die zeitliche Lage des „moving window“ wird hierbei so gewählt, dass sich das in Verarbeitung befindliche „Range Bin“ in dem das Flugzeugecho enthalten ist, in dessen Mitte liegt. Der aus den „Chaff“ - Videos resultierende Amplitudenmittelwert wird benutzt um die Detektionsschwelle der Vergleichsschaltung laufend automatisch zu justieren.



Hughes ging beim Lösungsvorschlag davon aus, dass die Mehrzahl der „Chaff“ Echos durch die MLD Schaltung ausgeschieden würden. Weiter nahm Hughes an, dass die wenigen neben den Flugzeugechos noch verbleibenden „Chaff“ Signale anschliessend bei der Quad Bildung im Detektionsprozess des Videoextraktors als unkorrelierte Falschalarme ausgeschieden würden.

Während der Sommermonate 1971 wurden sehr viele „Chaff“ Einsätze, meist mit Hunter Flugzeugen geflogen, um wirklichkeitsnahe Voraussetzungen für die Erprobung der MLD Modifikation zu schaffen.

Dabei wurde Hughes Gelegenheit geboten mit einer Anzahl Radar- und EKF-Spezialisten unter der Leitung des international bekannten Radarexperten Dr. David Ethington, die Auswirkungen unter realistischen Voraussetzungen zu analysieren und laufend Anpassungen am Verfahren vorzunehmen.

Leider konnte mit der MLD Modifikation nur eine sehr beschränkte Verbesserung der Flugwegbildung in „Chaff“ Gebieten erreicht werden. Die Versuche zeigten sehr deutlich, dass mit zunehmender „Chaff“ Dichte deren Videosignale ihren anfänglich statistischen Charakter verloren und in der Folge im Videoextraktor zu gültigen Quad Detektionen führten.

Als positive Nebenerscheinung wurde bei den Versuchen jedoch festgestellt, dass die MLD Modifikation in gewissen Fällen eine Verbesserung der Flugwegbildung in Niederschlagsgebieten ermöglichte. Dies gab schlussendlich den Ausschlag, dass die Modifikation trotzdem in sämtlichen Florida Radarstation eingebaut und das Verfahren für den operationellen Einsatz freigegeben wurde.

Der Wunsch nach einer Verbesserung bei passiven Störungen konnte mit den „Warranty Claim 1“ Abklärungen von Hughes nicht gelöst werden und wurde der neu gegründeten Arbeitsgruppe Florida zur weiteren Bearbeitung übergeben.

Die AGLF begann unmittelbar nach der Konstituierung im November 1971 mit ihrer Tätigkeit. Mit erster Priorität galt es die Ursache für das unerklärliche Unterbrechen und Verschwinden von Flugwegen abzuklären.

Im Gegensatz zu den Radarsystemen früherer Generationen, mit den relativ einfach zu überblickenden Verarbeitungsmechanismen, basierte das halbautomatische Florida Radarsystem jedoch auf komplexen statistischen Entscheidungsprozessen.

Das Auffinden von Schwachstellen in der Verarbeitung, war daher nur mit relativ aufwendigen Hardware- und Software- Verfahren möglich.

Realistische Untersuchungen konnten zudem nur mit echten Flugwegen dh entweder mit speziell angeordneten Messflügen oder in gewissen Fällen mit zufällig vorhandenen Flugwegen sog. „tracks of opportunity“ durchgeführt werden.

Als „tracks of opportunity“ boten sich militärische Flugbewegungen oder zum Teil auch zivile Linienflüge an. Spezielle Messflüge wurden grösstenteils durch das militärische Ueberwachungsgeschwader (UeG), vorwiegend mit dem Flugzeugtyp Hawker Hunter geflogen. Die Hunter Flugzeuge wurden dabei zur Erweiterung ihres Aktionsradius mit vier Flügeluntertanks (FLUNT's) ausgerüstet. Von der Florida Projektleitung wurde für die Versuche der AGFL ein spezieller Flugstundenkredit zur Verfügung gestellt.

Im weiteren stand das zivil immatrikulierte zweimotorige Flugzeug Grumman-Gulfstream HB LDT des BAZL speziell für Messflüge im Ausland zur Verfügung, wobei diese gemäss den internationalen Vereinbarungen mit offiziellen Flugplänen durchgeführt werden mussten.

Das Foto zeigt das Flugzeug Grumman Gulfstream HB LDT bei einer Zwischenlandung auf dem Flugplatz Dübendorf anlässlich einer Mission für die AGFL

Es wurden für die AGFL damit u.a. Flüge in Süddeutschland über dem Schwarzwald und über der Schwäbischen Alb zur Ueberprüfung der Auswirkungen von Verbesserungen am Florida Radarsystem durchgeführt.

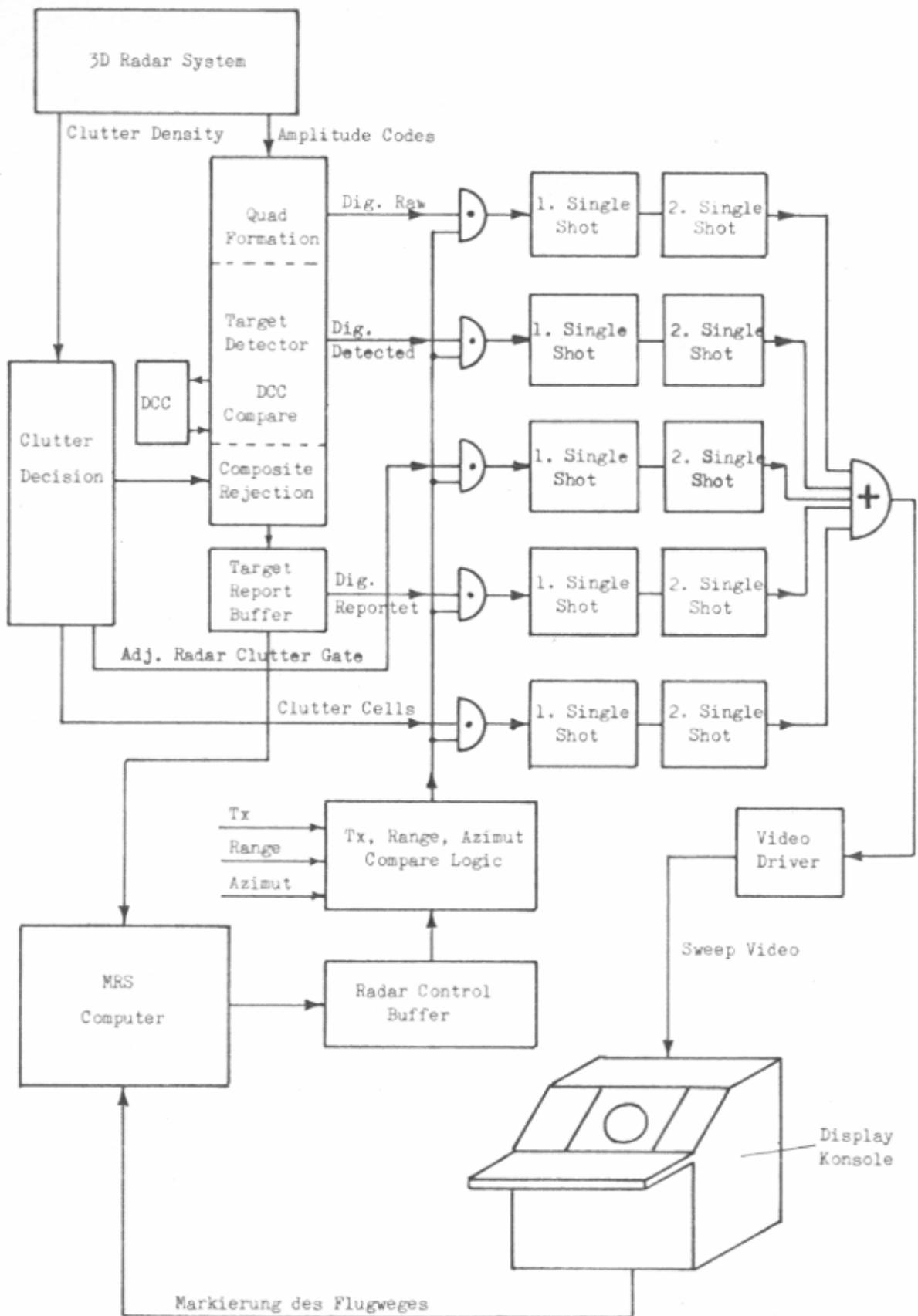


Um bei Messflügen erkennen zu können, wo die Information der Radarziele auf dem Verarbeitungsweg verloren gehen, wurde als erste Massnahme von der AGFL der Verarbeitungspfad an verschiedenen Schlüsselstellen angezapft.

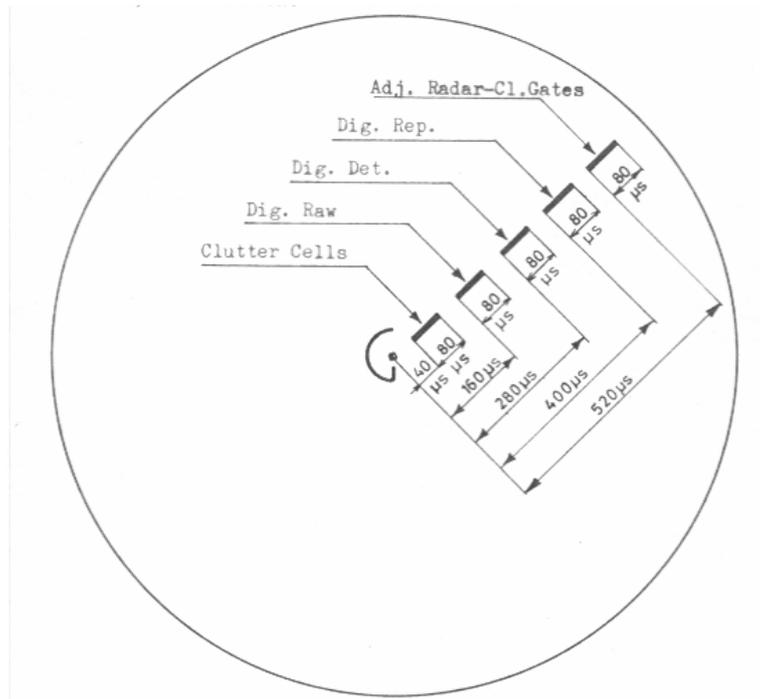
Die Figur auf der nächsten Seite mit der Konfiguration der Radarsignal Verarbeitung zeigt wo in der Verarbeitungskette die teilverarbeiteten Signale abgegriffen und anschliessend simultan auf dem Bildschirm der Displaykonsole mit einer Strichdarstellung zur Anzeige gebracht wurden.

Es handelt sich dabei um die erste Hilfsausrüstung welche Ende 1971 von der AGFL für das Untersuchen der Florida Flugwegprobleme entwickelt wurde.

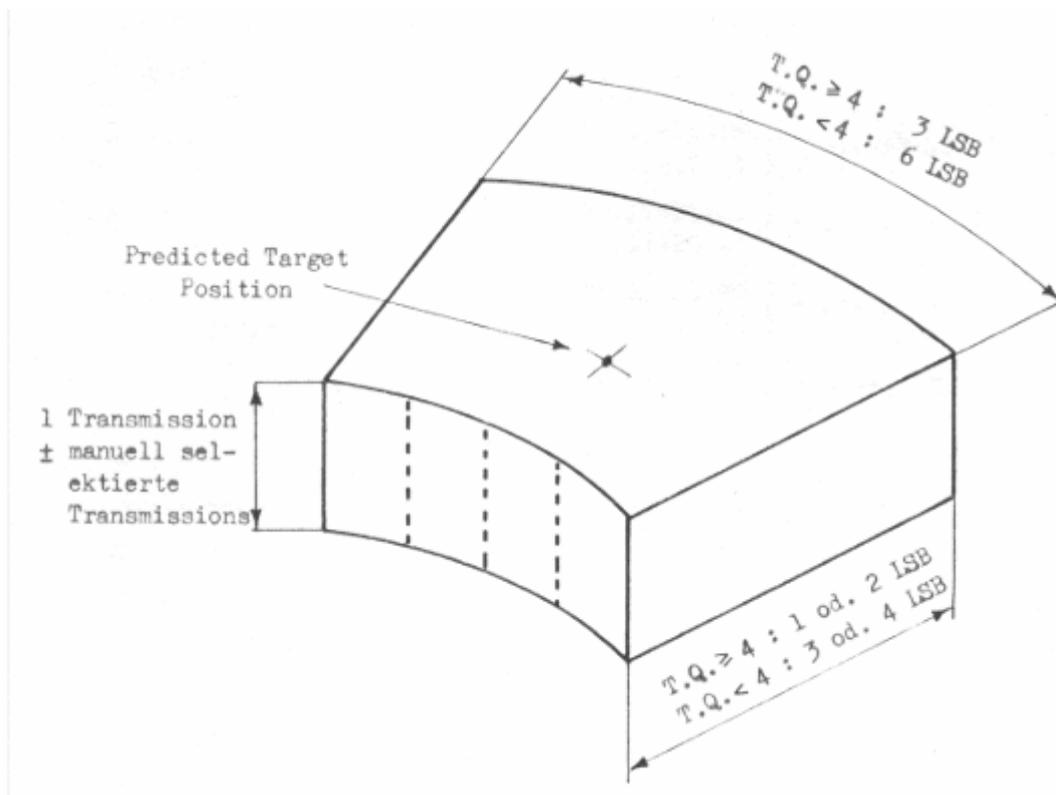
Prinzipielle Systemkonfiguration mit Zusatzschaltung



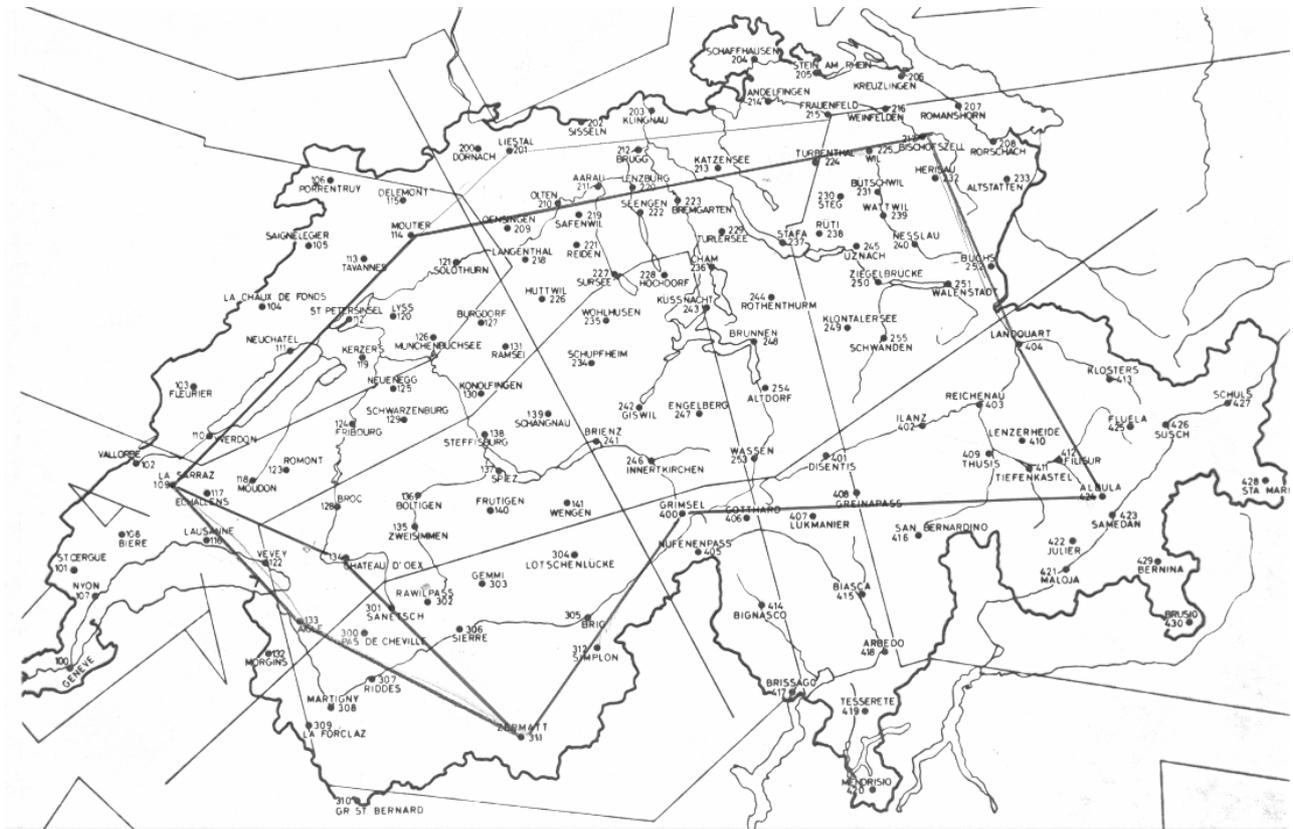
Die nachstehende Figur zeigt die Strich Darstellung, der vom vermessenen Flugzeug stammenden teilverarbeiteten Videosignale, auf dem Bildschirm der Radarkonsole.



Die Auswahl des zu vermessenden Flugzeuges aus den Luftlagedaten, erfolgt durch ein „moving window“ welches durch den Rechner dem Flugweg nachgeführt wurde. Aus der nachstehender Figur ist die räumliche Ausdehnung des Sammelkörpers ersichtlich.



Um einen ersten generellen Ueberblick über die Radarerfassung zu gewinnen, erfolgten die Messflüge anfänglich in verschiedenen Flughöhen ungefähr entlang der Schweizer Landesgrenze. Die nachstehende Karte zeigt den Verlauf der als «Tour de Suisse» bezeichneten Messflugpiste.



Bereits im Laufe des Frühlings 1972 lag anhand der Resultate dieser «Tour de Suisse» Messflüge ein relativ umfassendes Bild über das Ausmass der Schwierigkeiten bei der Flugwegbildung vor.

Die Gebiete in denen Probleme mit der Erfassung von Flugzeugen auftraten lagen grösstenteils auf Flughöhen zwischen 4000 – 6000 Meter.

Durch die simultane Darstellung der teilverarbeiteten Signale aus den verschiedenen Bereichen der Verarbeitungskette hatte man auch Hinweise erhalten in welchen Systemteilen die Signalverluste jeweils auftraten.

Man stellte dabei fest, dass die Ursachen für die schlechte Flugwegbildung komplexer waren, als anfänglich angenommen und sich nicht in allen Fällen auf einzelne Systemteile eingrenzen liessen.

Es wurde z.B. festgestellt, dass in bestimmten Fällen die Flugzeuge vom Radar gar nicht erfasst wurden obschon sie sich im optischen Ueberdeckungsbereich der Radarstation befanden. In anderen Fällen wurden die Flugzeuge vom Radar erfasst, erreichten jedoch im Videoextraktor das erforderliche Kriterium nicht um im Detektionsprozess als Flugziel erkannt zu werden. In einzelnen Fällen wurden Flugzeuge auch fälschlicherweise als Echtzeit Clutter analysiert und ausgeschieden.

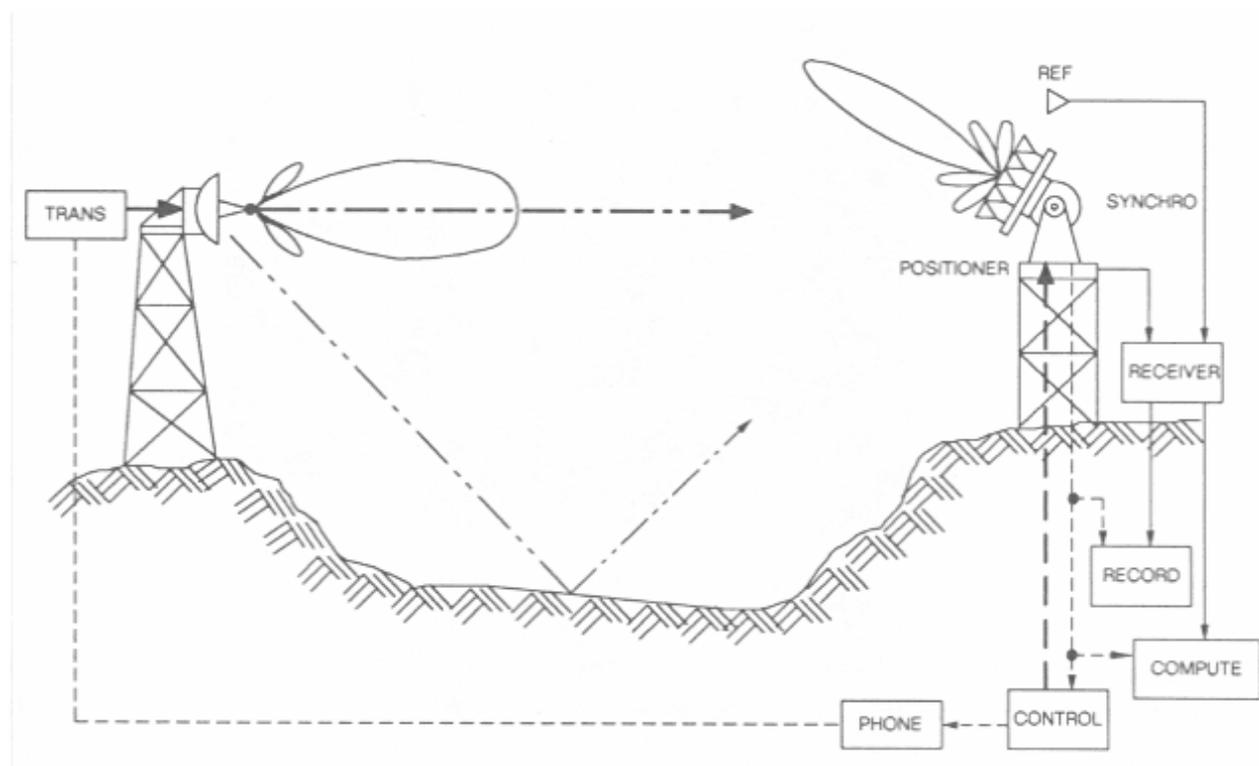
Es wurde zu diesem Zeitpunkt erkannt, dass zum Beheben der eigentlichen Ursachen noch wesentlich detailliertere Abklärungen erforderlich waren. Im Vordergrund standen nun Fragen betreffend der erforderlichen Hilfsmittel für die Ueberprüfung der Strahlungscharakteristik der Haupt- und SLS- Antennen, sowie von Einrichtungen zum Analysieren der vom Radar empfangenen Zielmuster. Es stand jedoch fest, dass ohne zusätzlich Hilfsmittel mit der auf den Radarstationen vorhandenen Systemkonfiguration weder Antennenmessungen noch Untersuchungen an Zielmustern durchgeführt werden konnten.

Um weitere Untersuchungen durchführen zu können mussten die erforderlichen Verfahren und Hilfsmittel zuerst entwickelt und gebaut werden!

Unter Beizug des Institutes für Mikrowellentechnik der ETH Zürich sowie des Mikrowellenlabors der Sektion Forschung und Versuche der PTT in Bern begann man Anfangs 1972 mit den theoretischen Vorabklärungen für ein Verfahren zum Vermessen der Antennencharakteristik der Haupt- und SLS- Antennen. Für das Vermessen der Antennen Diagramme der Haupt- und SLS- Antenne kam nur ein „On Site“ Verfahren in Frage, bei dem sich eine Demontage und Wegtransport der Antenne erübrigte.

Zum damaligen Zeitpunkt erfolgten Antennen Messungen ausschliesslich im elektromagnetischen Fernfeld. Die Wirkungsweise der „Array“ - Antennen beruht auf den Gesetzen der Wellenoptik, die Bildung der eigentliche Strahlungskeule aus den austretenden Phasenfronten der einzelnen Strahler erfolgt erst in einer Entfernung von ca. $\epsilon 2d^2/\lambda$ d.h. für die Abmessungen und Wellenlänge der Florida Antenne in Entfernungen von einigen hundert Meter.

Nachdem man die erforderliche, zusätzliche Hardware vorbereitet hatte, begann man im April 1972 auf der Florida Radarstation Wangenerberg mit den ersten praktischen Messungen.



Das Vermessen des Strahlungsdiagrammes erfolgte im elektromagnetischen Fernfeld mit der auf der vorangegangenen Seite ersichtlichen Konfiguration. Die Strahlungsquelle wurde dabei auf einem benachbarten Hügel oder Berg aufgestellt. Für das Vermessen der auf 500 m/M befindlichen Antenne der Florida Radarstation Wangenerberg wurde die Strahlungsquelle auf einer Plattform der in ca. 20 km Entfernung auf 870 m/M befindlichen zivilen Radarstation Lägern installiert. Somit war eine hindernisfreie Ausbreitung des Messsignals sichergestellt.

Die Strahlungsdiagramme wurden mit drehender Radarantenne aufgenommen. Das von der Antenne aufgenommene Signal der Strahlungsquelle wurde vom Radarempfänger empfangen und anfänglich in analoger Form auf einem elektromechanischen X – Y Plotter aufgezeichnet.

In der X - Achse erhielt der Plotter über einen D/A-Wandler direkt vom Encoder der Antenne die Azimut Information.

Die Strahlungscharakteristik der Antenne wurde nachträglich graphisch aus einer Vielzahl von einzelnen Azimutdiagrammen mit unterschiedlichen Elevationswinkeln konstruiert.

Mit Hilfe des mechanischen Nodding - Antriebes wurde hierzu stufenweise im Bereich von 20° der Elevationswinkel der Antenne verändert. Mit diesem Verfahren konnte sowohl das Strahlungsdiagramm der Haupt- und der SLS-Antennen aussagekräftig vermessen werden.

Die anfänglich vom Vorsteher des ETH Mikrowelleninstitutes, Prof. Dr. Eprecht vermuteten „Grating Lobes“ konnten innerhalb dem vermessenen Ablenksektor nicht festgestellt werden. Grating - Lobe ist ein Begriff aus der Wellenoptik der besagt, dass in einem gewissen Abstand von der Hauptstrahlungskeule eine weitere Strahlungskeule besteht. Gebildet werden diese bei Array Antennen sofern der Abstand der Strahler-elemente genügend gross ist, um eine phasengerechte Addition der abgestrahlten Felder in mehr als einer Richtung zu ermöglichen.

Die Messungen bestätigten, dass die ersten Seitenkeulen ca. -23 bis -25 dB unter der Hauptkeule lagen. Die Ausnahme bildete eine starke Nebenkeule 9° senkrecht über dem Hauptstrahl welche -20dB erreichte, bei einem Hauptstrahl von 0 dB. Wegen ihrer Lage über dem Hauptstrahl blieb sie im Zusammenhang mit Clutter Signalen ohne Bedeutung. Schwerwiegender waren dagegen die Nebenkeulen unter dem Hauptstrahl welche in der Vertikalebene überraschend kräftig waren. Erfahrungsgemäss können Bergflanken Echoquerschnitte von 10^4 bis 10^5 m² erreichen, im Gegensatz zu ca 1 m² für einen Abfangjäger. Durch Nebenkeulen beleuchtete Bergspitzen können daher Signale liefern, die mit Flugzeugechos aus dem Main Beam durchaus vergleichbar oder grösser sind.

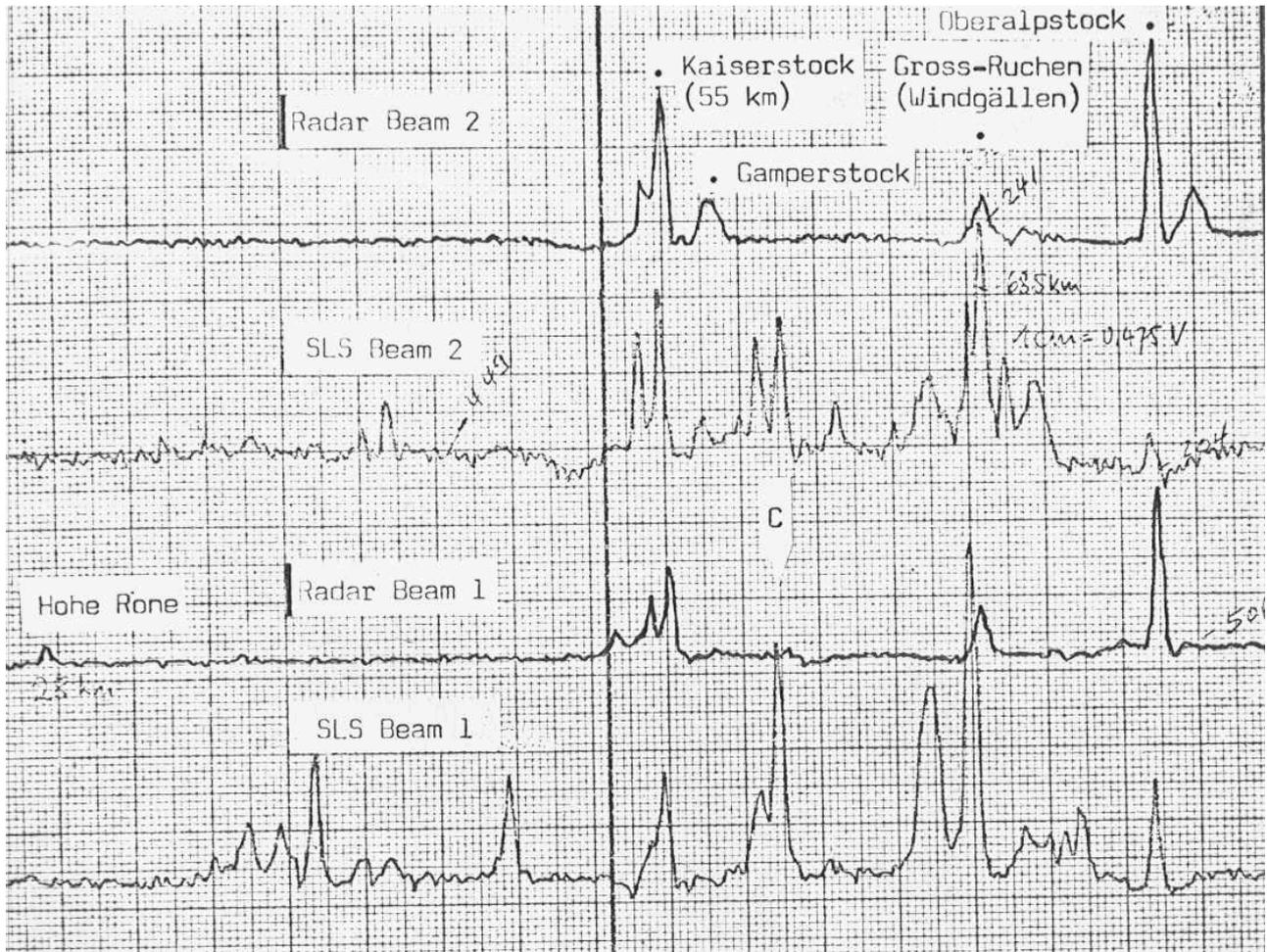
Die Antennenmessungen zeigten auch, dass die Richtwirkung der SLS Antenne in der Vertikalebene verhältnismässig stark war. Es gab erwiesenermassen Elevationen, in denen die SLS Wirkung versagen musste, weil das Seitenkeulenniveau dort höher lag als dasjenige der SLS Antenne. Das erklärt die Tatsache, dass in grossen Höhen völlig unerwartet DCC Blank Zellen gebildet wurden.

Dieses in die Augen springende Symptom liess sich beseitigen, indem man die SLS - Charakteristik künstlich an hob.

Hughes hatte für die SLS Antenne im Gegensatz zur Hauptantenne keine Zirkularpolarisation vorgesehen. Obschon dies im Hinblick auf aktive elektronische Störungen sehr fragwürdig war, hob dieser Verzicht den Antennengewinn der SLS Antenne gegenüber der Hauptantenne um 3dB von - 23dB auf - 20dB an.

Als Ergänzung zu den Antennenmessungen wurden zum besseren Verständnis der SLS Probleme starke Standzeichensignale vermessen die von Reflexionen an Bergflanken stammten.

Das nachfolgende Messblatt zeigt das Resultat einer derartigen Standzeichen Vermessung. Das Signal vom Oberalpstock erscheint im Radarkanal deutlich stärker als im SLS Kanal, es gelangt somit zur Detektion und verursacht DCC Blank Zellen. Das Signal vom Gross Ruchen wird hingegen durch die SLS Funktion ausgetastet, da im SLS Kanal gleichzeitig grössere Signale auftreten, diese stammen vermutlich von Nebenkeulen die vom Claridenmassiv reflektiert werden.



Mit den Antennenmessungen konnte erstmals der Beweis erbracht werden, dass die Florida Antennen die von Hughes spezifizierten Hauptkeulen/Seitenkeulen Abstände nicht erreichten. Die Projektoberleitung Florida beauftragte die GRD, deswegen bei Hughes zu intervenieren. Anlässlich eines am 12. und 13. Juni 1972 in Bern stattgefundenen Meetings wurde Hughes eingehend über die an den Florida Antennen festgestellten Mängel, sowie die daraus entstehenden Probleme mit dem Seitenkeulen - Clutter, orientiert.

Hughes hatte sich anfänglich bezüglich der Seitenkeulen auf Simulation der Strahlungsdiagramme aus den Messdaten einzelner Sinus Feed Phasenschieber berufen. Offenbar konnten die für den Sinus Feed erforderlichen sechs Module aus herstellungstechnischen Gründen (Dip Brazing - Verfahren) nur mit einem relativ groben Phasenfehler von ca. $\pm 4^\circ$ hergestellt werden. Da dieser Phasenfehler Nebenkeulen in der Grössenordnung von ca. -20dB verursacht hätte, wurden diese anschliessend mit einem aufwendigen chemischen Aetzverfahren phasemässig feinjustiert.

Da nach Aussage von Hughes eine zuverlässige Messung der Seitenkeulen auf dem firmeneigenen Antennen - Testrange nicht möglich war, basierten die zu den Antennen gelieferten Abnahmewerte bezüglich der Seitenkeulen auf Simulationen aus den Sinus Feed Messungen. Diese lagen dann fälschlicherweise alle innerhalb den spezifizierten Werten.

Hughes erklärte sich in der Folge bereit, mit einem Team von Spezialisten auf den Florida Standorten die Beanstandungen zu analysieren und Lösungswege zu deren Behebung vorzuschlagen.

In einer mehrwöchigen Aktion überzeugte sich Hughes anschliessend vor Ort über die Richtigkeit der Beanstandungen. Auf Grund der damals nicht vorhandenen Möglichkeit für eine Verbesserung der Antennen, schlug Hughes eine Korrektur der SLS Funktion durch Feinjustierung der SLS - Antennen und Änderungen in der SLS Austast-schaltung vor.

Das Problem mit den über die Seitenkeulen empfangenen Clutter Signale konnte jedoch nie in allen Teilen zufriedenstellend gelöst werden.

Das etwas später von der Arbeitsgruppe eingeführte Clutter - Maskierungsverfahren erbrachte wohl eine gewisse Verbesserung der Situation, wobei diese allerdings einen Verlust an Radarüberdeckung für tiefere Flughöhen zur Folge hatten.

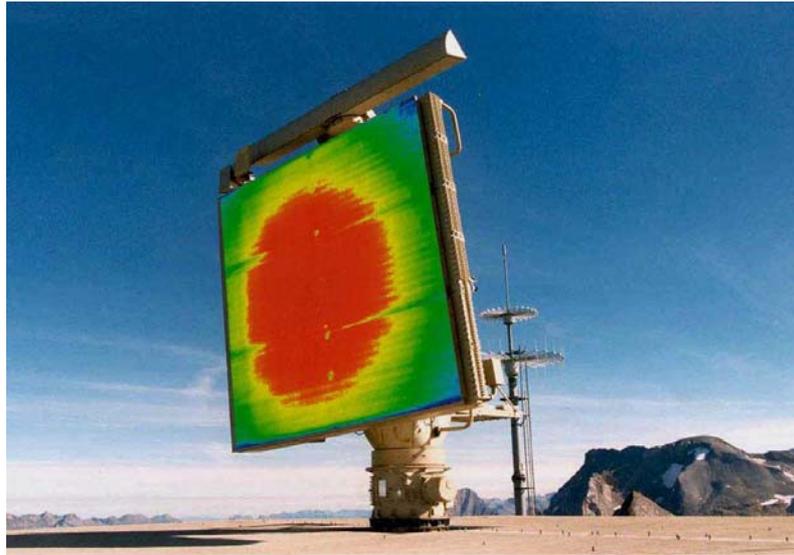
Anmerkung zur Sanierung der Florida Antennen in den 90er Jahren.

In einer späteren Phase der Florida Nutzungsdauer traten ab Mitte der achtziger Jahre Probleme mit Korrosionserscheinungen in den Sinus Feeds der Antennen in Erscheinung. Im Hinblick auf die mehrmals hinausgeschobene Ablösung der Florida Radars entschloss man sich zu Beginn der neunziger Jahre für ein sehr aufwendiges Sanierungsprogramm für die Radarantennen. Beim ursprünglichen Hersteller Hughes hatten inzwischen strukturelle und personelle Veränderungen zu einem weitgehenden Verlust des ursprünglichen „know how“ geführt. Dies hatte zur Folge, dass nur Dank einer engen Zusammenarbeit der Hughes Spezialisten mit den schweizerischen Florida Spezialisten, das aufwendige Sanierungsprogramm überhaupt durchgeführt werden konnte.

Die inzwischen erfolgte Weiterentwicklung auf dem Gebiete der Mikrowellen- und Antennenmesstechnik ermöglichten es, die Zusammenhänge nun besser zu verstehen und bei der Herstellung der neuen Sinus Feeds die ursprünglich unterlaufenen Fehler auszukorrigieren.

Die Messungen erfolgten nun auf einer „Near Field Antenna Range“ mit einem kalibrierten offenen Hohlleiter als Empfangsantenne welche in einem Abstand von etwa 50 cm die Antennenoberfläche in einem X - Y Raster abgetastete. Die angezeigte Feldstärke gab dabei Aufschluss über den abgestrahlten Strahlquerschnitt der Antennen Array im Nahfeld. Auf der nächsten Figur repräsentieren die Farben die Feldstärken wobei der Unterschied von Rot bis Blau bei ca. 15 dB liegt.

Das Foto auf der nächsten Seite zeigt sehr schön die durch die Taylor Verteilung des abgestrahlten elektromagnetischen Feldes verursachte Reduktion zwischen der Mitte und dem Rand der Array von ca. 15 dB.



Ein Vergleich der mit unterschiedlichen Frequenzen aufgenommenen Plots machte es auch sichtbar, dass sich das Zentrum der Leistungsverteilung auf der Antennenoberfläche in Abhängigkeit der Frequenz verschiebt. Dies wird durch die frequenzabhängige Kopplungen der Strahlerschlitz und der Richtkoppler an den Uebergängen der Sinus Feed zu den einzelnen Strahler Anordnungen verursacht.

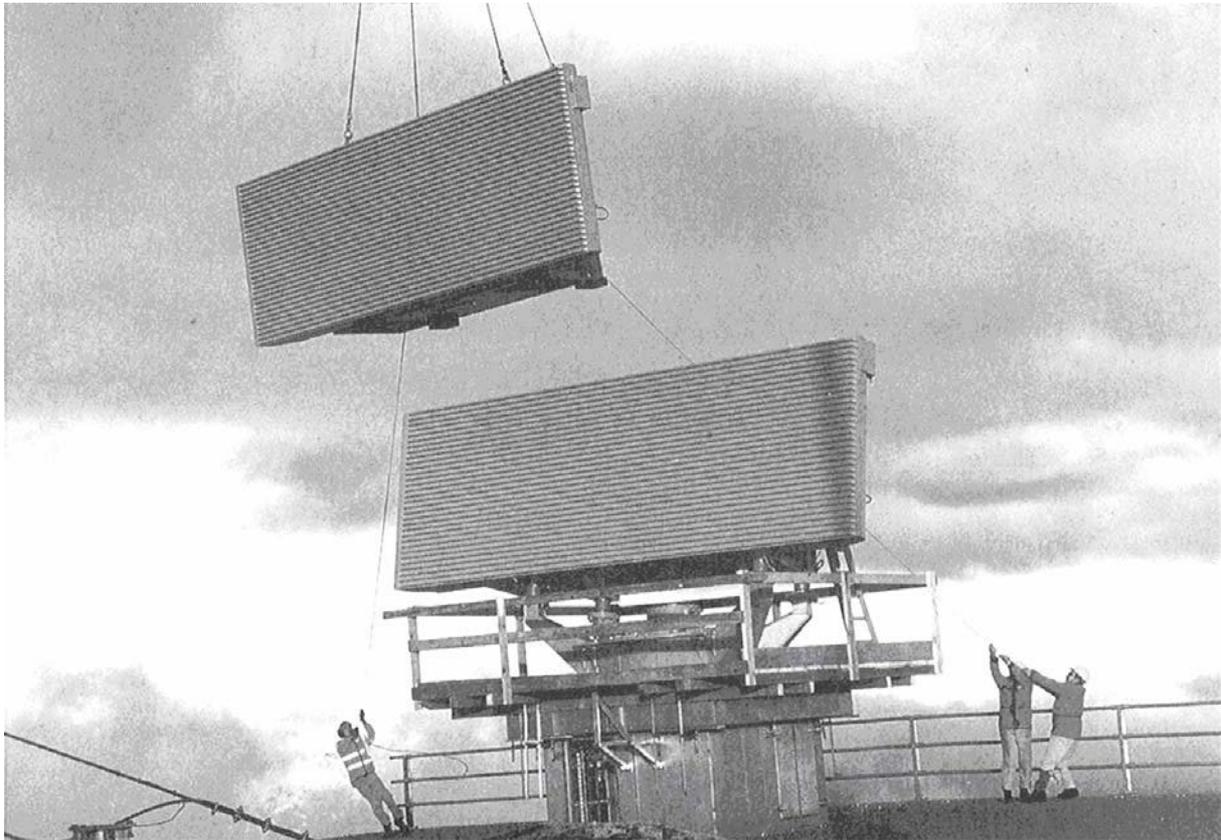
Die hellen Punkte im Diagramm entstehen durch die Störungen der Befestigungsschrauben für die Polarisator Platten. Die Uebergänge zwischen den Teilstücken der aus drei Teilen bestehenden Antennen-Array sind bei dieser Antenne ein wenig optimiert worden, bei den Vorläufern waren die Auswirkungen der Aufteilung noch ausgeprägter.

Die Störungen welche durch die Auftrennung der Reflektor Ebene und die Kunststoffkonzentration in den Radomen verursacht wird, wurde nachgerechnet. Diese verursachen den grössten Anteil bei der Verschlechterung des Seitenkeulenabstandes der Antennen. Der durch die Polarisator Platten verursachte Fehlerbeitrag ist ebenfalls messbar, er ist jedoch von weit geringerem Einfluss auf die Seitenkeulenbildung, als die Unterteilung der Antennen Array.

Dies ist auch eine Erklärung dafür, weshalb die Simulation der Strahlungsdiagramme aus den Messdaten der Sinus Feeds immer günstigere Werte ergeben haben als die realistischen Messungen der Antennendiagramme auf den Radarstandorten.

Die Aufteilung wurde seinerzeit wegen dem Transport der Antennen auf die Gebirgsstandorte und in den unterirdischen Kavernen, Lifts etc. gefordert. Mitte der sechziger Jahre standen noch keine Helikopter zur Verfügung welche über die erforderlichen „Payload“ verfügten, die zum Transport der ungeteilten Antenne auf den Antennenstandort im Hochgebirge erforderlich gewesen wäre.

Um die Störeffekten wie sie bei der Florida Antenne vorhanden waren zu reduzieren hat die Firma Thales die Antenne für das Ende der 90er Jahre in der Schweiz installierte Florako Radarsystems in der Mitte getrennt. Dadurch entsteht anstelle von zwei interferierenden Störungen nur noch eine einzige zentrale. Auch wurde die Konstruktion des Radoms verbessert, so dass keine Störstellen an der Trennstelle auftreten. Das nachstehende Bild zeigt die Montage der ersten TRS-2245 Antenne des Florako Radarsystems mit Hilfe eines Helikopters auf einer Radarstation im Hochgebirge.



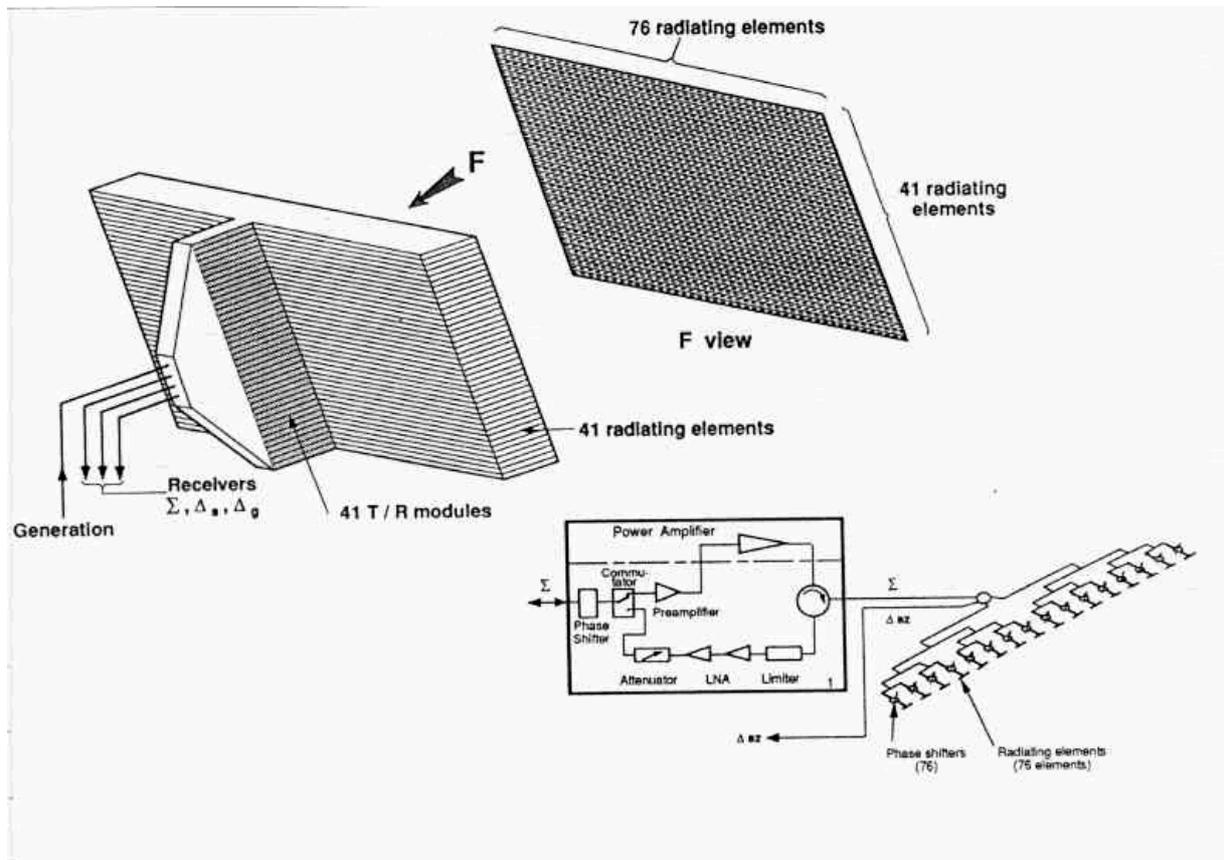
Bei der TRS-2245 handelt es sich um ein Weitbereich Rundsuchradar für die Ueberwachung des Luftraumes. Das Radar arbeitet im S-Band im Frequenzgebiet um 3 GHz und tastet die Elevationsrichtung mit einer aktiven „Phased - Array“ Antenne ab. Die Antenne rotiert dabei kontinuierlich mit 6 Umdrehungen pro Minute.

Die aktive Antenne verfügt über 41 Verstärkermodule deren Energie über $76 \times 41 = 3316$ Schlitzstrahler sequentiell über 7 „Pencil Beam“ in den Raum abstrahlt bzw. die Radarechos empfängt. Das System kann wahlweise in vier verschiedenen Abtastmodi arbeiten.

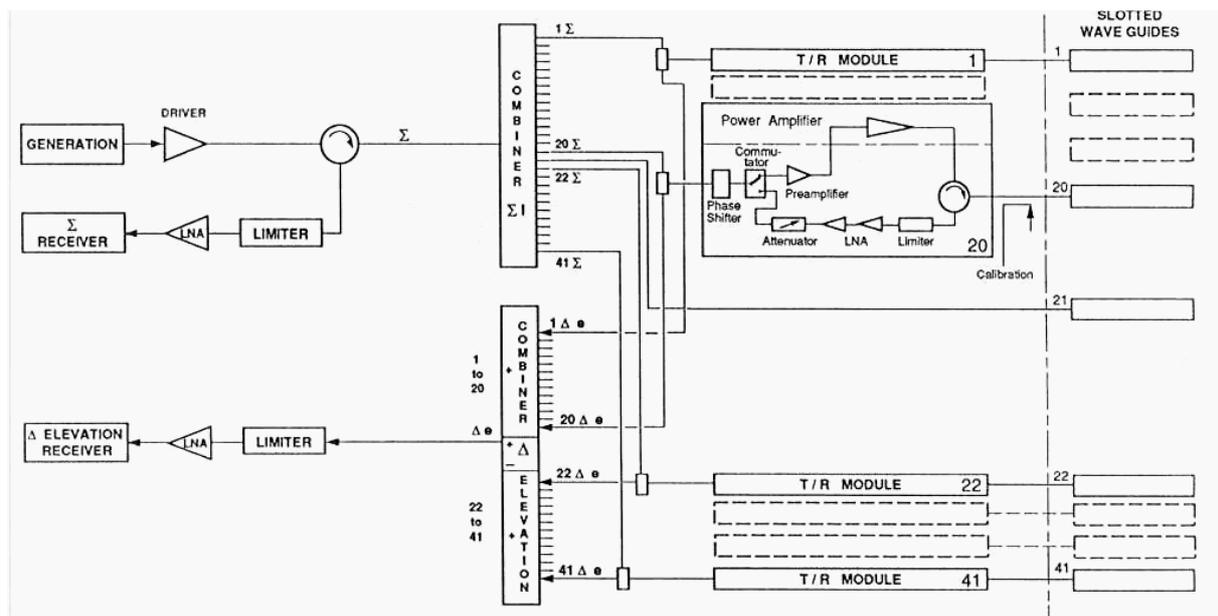
Die 64 Sende/Empfangs Module sind auf der Rückseite der Antenne in einem Kasten angeordnet der mit einem Flüssigkeitskühlsystem auf konstanter Temperatur gehalten wird.

Jedes Modul enthält einen Sende- und Empfangsteil. Der Sendeteil besteht aus einem Treiber- und Endverstärker der Empfangsteil aus Eingangsschwächer, und „Low Noise Amplifier“ (LNA). Ein gemeinsamer digital ansteuerbarer Phasenschieber erlaubt die elektrische Schwenkung der Strahlungskeule in der Elevationrichtung.

Aus nachstehender Figur ist der prinzipielle Aufbau der aktiven Antenne ersichtlich



Aus nachstehender Figur geht der funktionelle Zusammenhang der Sende- und Empfangspfade hervor.



Durch das Ansteuern der digitalen Phasenschieber in den 41 Sende- u. Empfangseinheiten der aktiven TRS-2245 Antenne kann der Raum mit der Strahlungskeule in der Elevation abgetastet werden. Beim Advanced Radar TR-2255 kann im „starring Mode“ bei stehender Antenne zusätzlich der Azimut im Bereich von $\pm 45^\circ$ abgetastet werden. Diese Möglichkeit erlaubt das Entdecken und Verfolgen von taktischen ballistischen Lenkwaffen (TBM) welche aus einem bestimmten Raumsektor zu erwarten sind.

Im Jahre 1975 wurde zur Verbesserung der Störfestigkeit bei aktiven feindlichen Störungen die SLS Antennen des Florida Radars mit einer Zirkularpolarisator - Platte nachgerüstet.

Der SLS Zirkularpolarisator ergab beim passiven Verfolgen von Störflugzeugen die sich durch das Aussenden von vertikal polarisierten Emissionen vor einer Entdeckung zu tarnen versuchten eine wesentliche Verbesserung.

Im Friedensbetrieb wurde die Polarisationsplatte weggeklappt (siehe Foto) wegen der zusätzlichen Dämpfung welche die Wirkung der SLS Antenne bei der Seitenkeulen Austastung verminderte. Die Steuerung erfolgte ab dem Arbeitsplatz des Track Monitors.



High Speed Buffer Projekt

Das Unterscheiden von Flugzeugechos und Standzeichen erfolgte beim Florida Radar infolge der fehlenden Dopplerverarbeitung nur auf Grund der räumlichen Verteilung des Zielmusters.

Um die Kriterien für diese Entscheidung im Videoextraktor optimal programmieren zu können, war es erforderlich Kenntnisse über die räumliche Verteilung der in der Praxis vorkommenden Zielmuster zu besitzen.

Während des Sommers 1972 wurde daher parallel zu den Antennen Messungen und den SLS Untersuchungen ein Konzept für ein Verfahren zur Erfassung der räumlichen Verteilung der Zielmuster von Radarechos ausgearbeitet.

Auf Grund der anhand der Antennenmessungen nun bekannten Antennencharakteristik ergab sich eine konkrete Vorstellung über die Ausdehnung des zum Sammeln der Flugzeugechos erforderlichen Raumkörpers. Man erhoffte sich anhand der räumlichen Verteilung der Radartreffer in diesem Raumkörper Aufschluss über die charakteristischen Merkmale der Flugzeugechos zu erhalten.

Beim der anvisierten Konzept stand von Anfang an fest, dass nur mit einem kombinierten Hardware/Software Verfahren unter Verwendung des Rechners der Florida Radarstation eine erfolgreiche Lösung möglich war.

Obwohl der H-3324 Rechner für die damalige Zeit über ausserordentlich schnelle Nahtstellen verfügte, genügte die Uebertragungsgeschwindigkeit der Input/Output Einheit nicht, um die vom Radar in $1.5 \mu\text{s}$ Schritten anfallende Information ohne einen Pufferspeicher zu verarbeiten.

Ein schneller Zwischenspeicher war dabei eine unbedingte Voraussetzung. Das später als „High Speed Buffer“ bezeichnete Verfahren sollte in der Lage sein, die vom Florida Radar in $1.5 \mu\text{s}$ Schritten als binär codierte Amplituden - Codes anfallenden Radarechos zwischenzuspeichern, diese in Rechnerkonforme parallele 24 Bit Wörter zu formieren und in einem „handshaking“ Prozess in den Florida Rechner zu übertragen. Bei der anschliessenden Verarbeitung im Rechner mussten die gesammelten Amplituden Codes lagerichtig in Datentabellen abgespeichert werden, um diese später im „offline“ Modus zur genauen Analyse herausdrucken zu könnten.

Die erforderliche Rechner - Software für das Nachführen des Sammelkörpers und das Abspeichern der gesammelten Daten musste in die bestehende operationelle Software der Radarstation integriert werden, ohne das deren Funktion beeinträchtigt wurde.

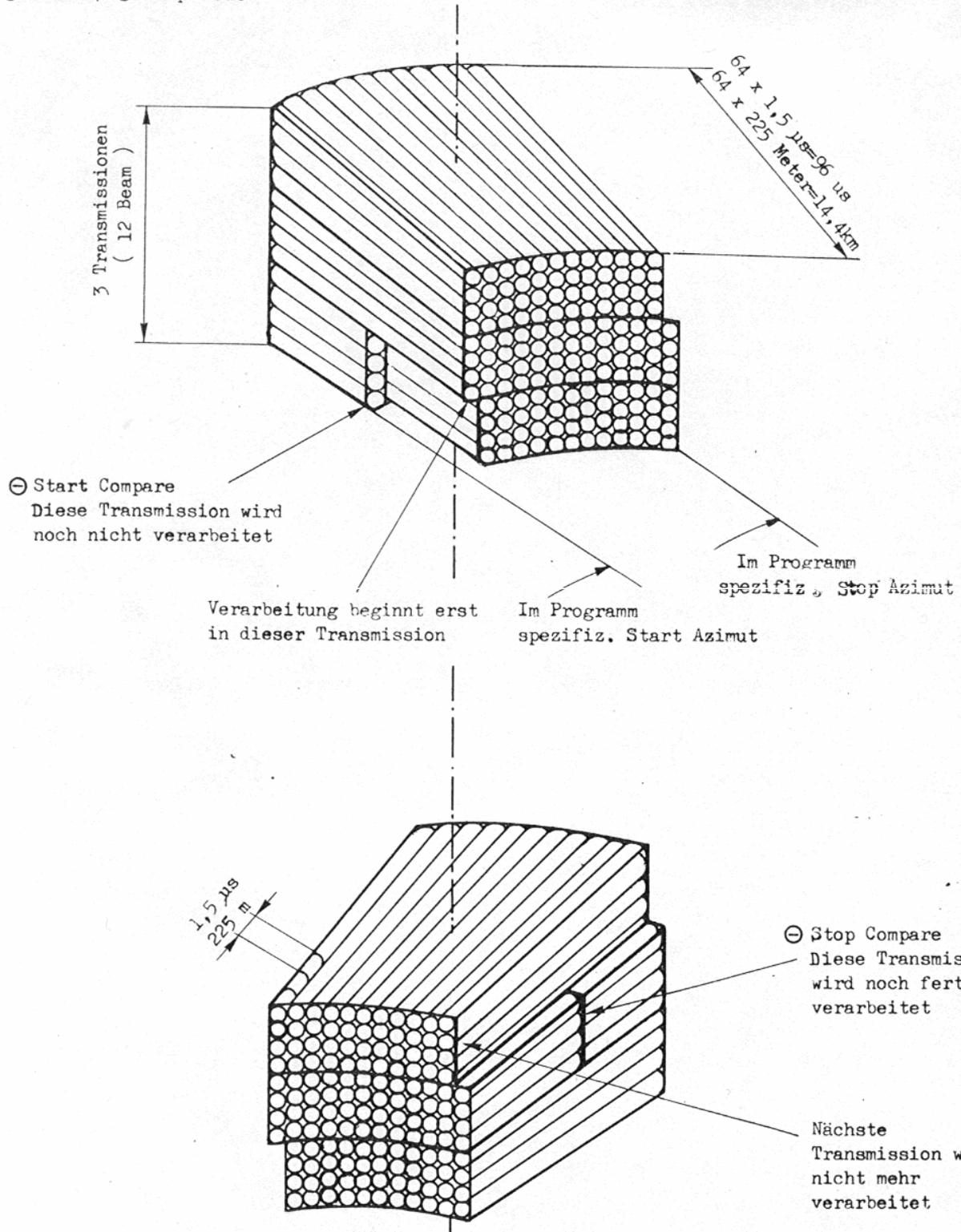
In der Figur auf der nächsten Seite ist der Raumkörper für das Sammeln der von den Flugzeugen zurückgestrahlten Zielmuster ersichtlich. Wegen der bestehenden Asynchronität zwischen der Azimutdrehung der Antenne und der vertikalen Abtastung des Raumes durch den Elscan liegt der Start und Stop zufällig innerhalb des ersten und letzten Elscans des gewählten Azimutsektors. Die Ausdehnung des Sammelkörpers wurde wie folgt festgelegt:

- Entfernung 14.4 km entsprechend 64 Range Bin**
- Elevation 12 Beam entsprechend 3 Radartransmissionen**
- Lage und Ausdehnung im Azimut über die Software frei wählbar**

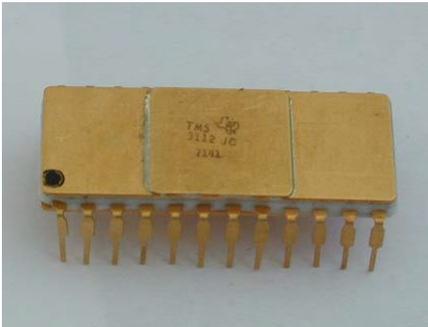
Die nachstehende Figur zeigt den Sammelkörper des Florida High Speed Buffer

RAUMKÖRPER IN WELCHEM DATEN GESAMMELT WERDEN

⊖ Start / ⊖ Stop Mode



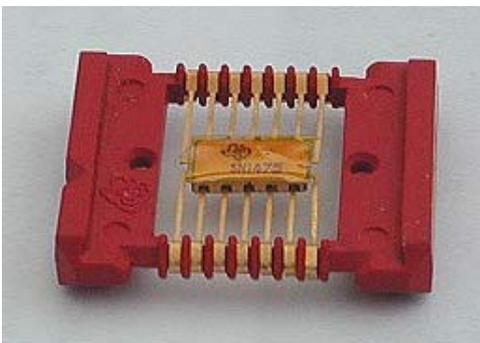
Anfangs der siebziger Jahre erschienen die ersten Solid State Memories für höhere Verarbeitungsgeschwindigkeiten auf dem Markt und verdrängten innerhalb kurzer Zeit die vorher üblichen Magnetkernspeicher.



Im Jahre 1970 hatte Texas Instruments soeben das statische 6 Kanal MOS 32 Bit Shift - Register **TMS 3112** für 2 MHz Betrieb. (siehe nebenstehendes Foto) neu auf den Markt gebracht. Für den Florida High Speed Buffer, wurden sechs dieser Shift Register als schnelle Zwischenspeicher für die Amplituden Codes der vier Radar Beam verwendet

Für die übrigen logische Schaltkreise wurden für den Bau des High Speed Buffers Standard TTL-Logik der 54/74 Serie verwendet, die Anfangs der siebziger Jahre bereits in grosser Vielfalt von Texas Instrument und Motorola erhältlich waren.

Mitte der sechziger Jahre hatte Hughes im Vorfeld der Videoextraktor Entwicklung eine umfangreiche Studie⁴⁾ über die zu verwendenden digitalen Logik-Bausteine durchgeführt. Zum damaligen Zeitpunkt waren bereits die ersten integrierten Transistor - Transistor Logikkreise (TTL) als „Integrated Circuits“ in „medium scale integration“ auf den Markt.



Wegen des relativ hohen Stromkonsums der TTL Logik und den mit damaligen Stromversorungen nur schwer zu bewältigenden „Current Spikes“ beim Durchschalten der beiden „totem-pole“ Transistoren, entschied sich Hughes für die Verwendung der etwas älteren DTL-Technologie in „Flat Pack“ Ausführung⁴⁾. Siehe Figur mit „Flat Pack“ wie sie im Videoextraktor in grosser Zahl zur Anwendung kamen.



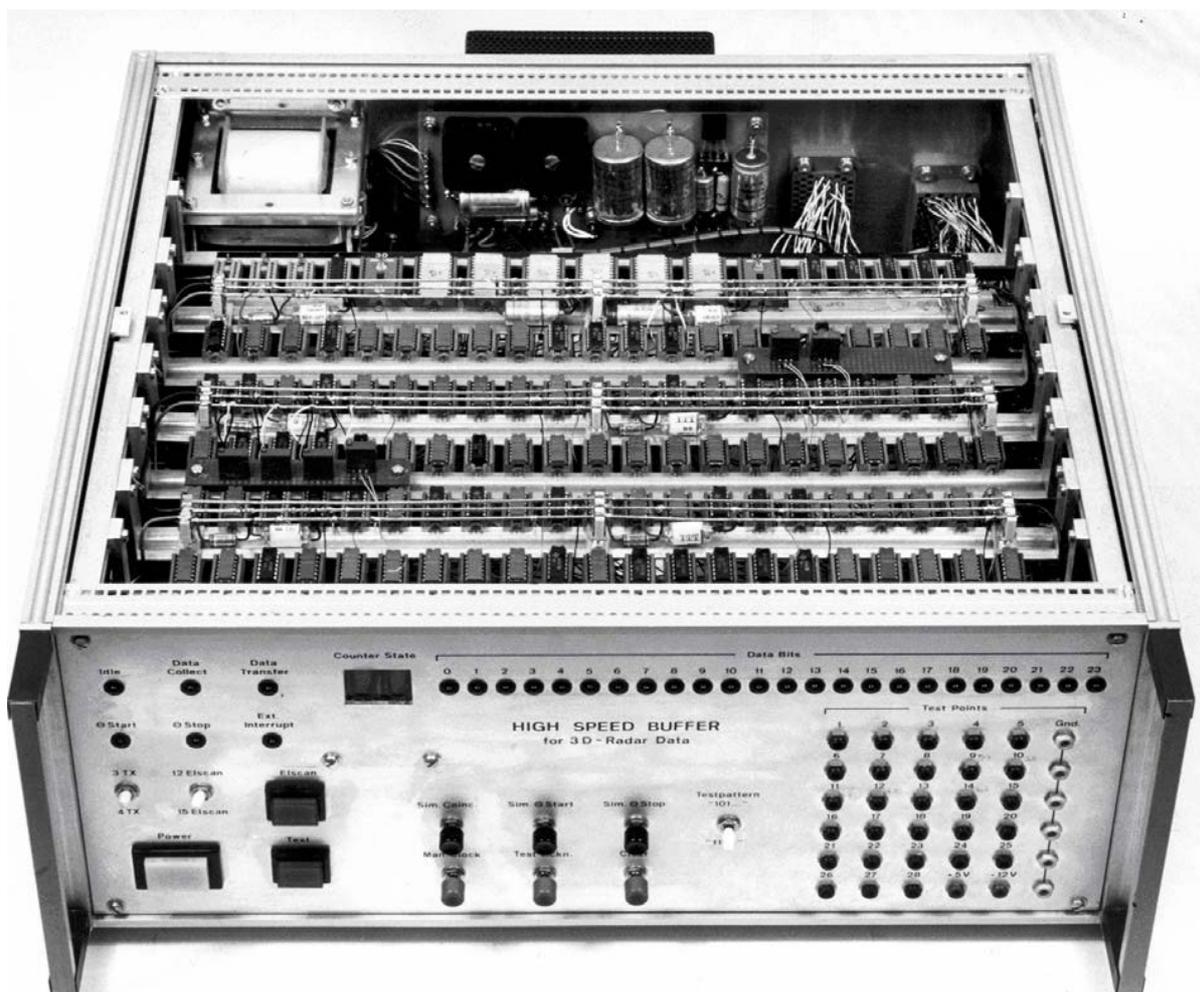
Das nebenstehende Foto zeigt eine Schaltungskarte des Florida Videoextraktor in der gemischten Bauweise, wobei sowohl Flat Pack-Logik wie auch herkömmliche Komponenten zur Anwendung kamen.

Nachdem ein Prototyp des Florida High Speed Buffers bereits im Herbst 1972 zur Verfügung stand und eine erste Version Software für die Steuerung und Datensammlung mit dem Rechner vorlag, begann man Anfangs Dezember 1972, vorerst auf der Radarstation Wangenerberg mit dem Aufnehmen von Zielmustern.

Mit der High Speed Buffer (HSB) Ausrüstung stand nun ein vorzügliches und wohl zu diesem Zeitpunkt in weitem Umkreis einmaliges Gerät zur Verfügung um die Intensitätsverteilung des Radarechos in der Nachbarschaft eines frei wählbaren Raumpunktes zu untersuchen.

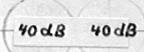
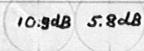
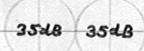
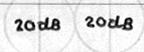
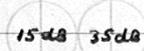
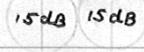
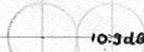
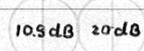
Durch die präzise Erfassung der Radarsignale in den verschiedenen Empfangskanälen konnten erstmals eigentliche Untersuchungen in der Signalverarbeitung des Videoextraktors, dem verbindenden Systemteil zwischen Radar und Rechner, durchgeführt werden.

Das nachstehende Foto zeigt den Prototyp des Florida High Speed Buffers in geöffnetem Zustand. Die TTL Logikkreise und die MOS Shiftregister waren beim Prototyp noch auf Stecksockel montiert, die spätere Serieausführung erfolgte jedoch in der „Printed Circuit“ Technologie.



Eine der ersten Aufnahmen mit dem High Speed Buffer ab der Florida Radarstation Wangenerberg erfolgte von einem Swissair Linienflug SR 100 Zürich - New York mit dem damals neuen Jumbo Jet B-747. Bedingt durch die begrenzte Radarüberdeckung ab diesem Standort konnte das Flugzeug nur bis zu einer Entfernung von ca. 350 km über Frankreich verfolgt werden. Die nachfolgend zusammengestellten Daten sind Auszüge aus dem sehr umfangreichen Rechner - „Recording“ das ja während den erfassten 18 Minuten bei jeder Antennenumdrehung d.h. in 10 Sekunden Intervallen die Radardaten erfasste.

Florida High Speed Buffer Aufnahme von Swissair Flug SR-100 Zürich New York mit B-747

	Level dB above Receiver Noise	Aspekt: <u>Wegflug</u> (Nach <u>>350 km</u> verlassen)
D-Ziel	 40dB 40dB 	Range ~ <u>100 km</u> TX 2 6000 m/M 11'31
D-Ziel	 35dB 35dB 	Range ~ <u>150 km</u> TX 2 8200 m/M 11'34
D-Ziel	 20dB 20dB	Range ~ <u>200 km</u> TX 2 6000 m/M ? 11'38 (Poreed Quad aus TX1)
D-Ziel	 15dB 35dB 	Range ~ <u>250 km</u> TX 1 9600 m/M 11'42
B-Ziel	 10.9dB 10.9dB 	Range ~ <u>300 km</u> TX 1 8000 m/M 11'44
C-Ziel	 10.9dB 10.9dB 	Range ~ <u>350 km</u> TX 1 10900 m/M 11'49

Mit dem High Speed Buffer ergab sich damit auch die Möglichkeit, die Echofluktuation bei Testflügen und die Abhängigkeit der Signalstärke vom Aspektwinkel des Flugzeuges näher zu untersuchen.

Die Versuche zeigten, dass die reflektierende Fläche eines Flugzeuges in Abhängigkeit des Aspektwinkels sich ohne weiters in der Grössenordnung von 10 – 15 dB ändern konnte.

Um zuverlässige Informationen über die Stabilität des Gesamtsystems Florida Radar zu erhalten, erfolgte am 6. April 1973 auf der Florida Radarstation Wangenerberg eine interessante High Speed Buffer Aufnahme von einem frei fliegenden Ballon. Es handelte sich dabei um einen Versuch mit einem handelsüblichen für Radarkalibrierzwecke hergestellten Ballon mit metallisierter Hülle. Der Ballon stellte gemäss Spezifikation ein Radarziel von 1 m^2 dar, dessen Reflexionsfläche infolge der sphärischen Form vom Aspektwinkel unabhängig ist. Der Start des wasserstoffgefüllten Ballons erfolgte auf dem appenzellischen Hohen Kasten auf einer Höhe von ca. 1800 m/M. Die Florida Radarstation erfasste das Radarziel erstmals auf einer Höhe von 2700 m/M. Der Ballon flog vom Wind getrieben auf einem südöstlichen Kurs von ca. 140° und stieg dabei bis auf eine Höhe von 25'000 m/M. Nach ca. 90 Minuten und einer Flugstrecke von ca. 140 km platzte die Ballonhülle über dem Südtirol. Das Radarsignal des Ballons konnte beim Absinken noch bis auf eine Flughöhe ca. 6000 m/M erfasst werden. Während des gesamten Fluges wurde das Radarzielmuster mit dem High Speed Buffer aufgenommen. Die Auswertung dieses Versuches lieferte u.a. auch wertvolle Rückschlüsse auf die Funktion der entfernungsabhängigen Verstärkungsregelung (STC) des Radarempfängers.

Die mit dem High Speed Buffer gewonnenen Erkenntnisse ermöglichten in der Folge eine Anpassung der Echtzeit – Clutter Ausscheidung in den Videoextraktoren. Hughes hatte bei der Entwicklung des Videoextraktors vorgesehen, dass die einzelnen räumlichen Kriterien für die Echtzeit - Clutter Ausscheidung auf einem Adaptations - Panel für die unterschiedlichen Radarstandorte individuell gewichtet und programmiert werden konnten.

Im weitem ermöglichten die Resultate der High Speed Buffer Vermessungen nun die Entwicklung eines vereinfachten Verfahrens zur Beurteilung der periodisch durchgeführten Florida Testflüge. Dieses Verfahren wurde in der Folge auf Grund seiner Aussagekraft als wertvolles Hilfsmittel für die Beurteilung des Gesamtzustandes der Florida – Radarsensoren verwendet.

Die schnelle Datenaufnahme via High Speed Buffer mit dem Rechner der Radarstation und die automatische Weiterverarbeitung der Information durch neue Auswerte Software brachte im Frühjahr 1973 in der AGFL ein altes Projekt zur Diskussion.

Hughes hatte schon während der Abnahmetests, beim Auftreten der Probleme mit der Flugwegbildung, die Möglichkeit einer **Clutter Maskierung** in Erwägung gezogen. Nach genaueren Abklärungen bezüglich des erforderlichen Aufwandes, jedoch das Verfahren als kurzfristig nicht realisierbar fallengelassen.

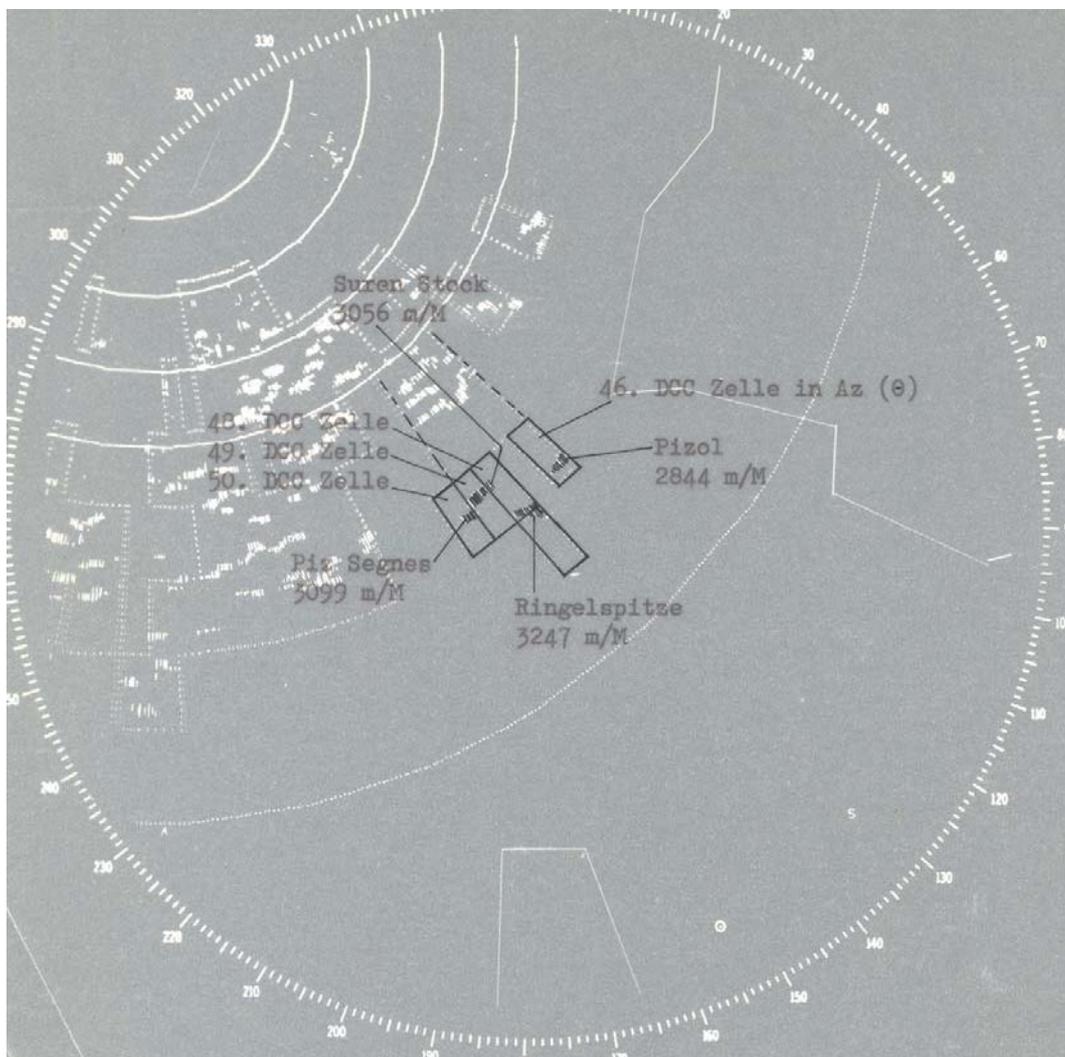
Das Standzeichen Problem stellte nach wie vor, auch nach den verschiedenen Modifikationen zur Verbesserung der Echtzeit – Clutter Ausscheidung, ein erst-rangiges Sorgenkind dar. Auf den Bergadarstandorten ging ein beträchtlicher Teil des optisch eingesehenen Raumvolumens infolge des Aufbaus von DCC-Blank Zellen verloren.

Die Clutter Maske sollte die Standzeichen mit einer viel feineren räumlichen Auflösung ausblenden, sodass es gar nicht zum Aufbau von Blankzellen kommen kann. Die Information dieser Clutter Maske würde dabei von Zeit zu Zeit mit dem High Speed Buffer aus den Standzeichen der Umgebung gewonnen und im Rechner gespeichert. Im Betrieb sollten dann diese Information zur Steuerung der Clutter Maske benützt werden.

Die AGFL begann deshalb um die Jahresmitte 1973 mit Vorabklärungen für eine Realisierung dieses Projektes, das bei Gelingen eine wesentliche Verbesserung der Florida Ueberdeckung in geringeren Flughöhen versprach.

In einem ersten Schritt wurde eine im Einsatzbereich beschränkte Hardware-Einrichtung gebaut. Mit räumlich verschiebbaren Clutter Masken konnten damit Standzeichen innerhalb von fünf DCC Zellen maskiert werden. Die Einrichtung diente zur grundsätzlichen Abklärung des Verfahrens im Hinblick auf ihre Wirkung und deren Stabilität.

Die nachstehende Figur zeigt den Versuch zur Abklärung der grundsätzlichen Machbarkeit einer Clutter Maskierung für das Florida Radar. Auf der Radarstation Wangerberg wurden die Standzeichen des Pizols, des Piz Segnes und der Ringelspitze benützt um abzuklären ob das Verfahren im Hinblick auf Wirkung und Stabilität die Anforderungen erfüllen könne.



Nachdem die Vorabklärung die hardware- und softwaremässige Realisierbarkeit bestätigt hatte, wurde ab Frühjahr 1974 mit den Vorarbeiten für den Bau einer Prototyp Ausrüstung und der Entwicklung der erforderlichen Software für die Radarstation begonnen.

Als Grundlage für die Programmierung dienten exakte dreidimensionale Clutter Karten welche auch fluktuierende Standzeichen zuverlässig erfassten, d.h. diese über eine gewisse Zeit integrierten. Diese zeitlich aufwendige Arbeit musste unter Verwendung des High Speed Buffers auf sämtlichen Florida Radarstationen durchgeführt werden.

Bei der Entwicklung der Hardware konnte von der seit Mitte der sechziger Jahre sprunghaft erfolgten Entwicklung der integrierten Logik - Schaltkreisen Gebrauch gemacht werden. Die TTL – Logikfamilie stand inzwischen auf Grund ihrer hohen Schaltgeschwindigkeit für Neuentwicklungen im Vordergrund, zudem waren 1974 bereits wesentlich höher integrierte Zähler- und Registerbausteine in dieser Technologie erhältlich.

Die Clutter Maske ist im wesentlichen ein schneller Zwischenspeicher, der die im Rechner als Tabelle gespeicherten Standzeichendaten asynchron übernimmt, diese mit den Timing - Signalen des Radars auf die Geographie synchronisiert und anschliessend damit den Datenfluss der vom Radar an den Videoextraktor gelieferten digitalisierten Echosignale steuert. Im maskierten Gebiet werden die Echosignale völlig unterbunden. Die von Standzeichen freien Teile der DCC Zellen bewahren dagegen ihre volle Empfindlichkeit. Die räumliche Auflösung der Maske ist ca. 30mal feiner als die DCC Zelleneinteilung. Obwohl die Aufteilung der Radarüberdeckung in ein DCC Zellen welche ihre Empfindlichkeit automatisch auf ein Optimum steuern, grosse Vorzüge aufweist, war infolge der nur begrenzt zur Verfügung stehenden Speichermöglichkeiten zum Zeitpunkt der Entwicklung, die räumliche Auflösung relativ grob. Es konnte deshalb vorkommen, dass eine Zelle mit einem Volumen um die 100 km³ durch ein einziges Standzeichen unempfindlich oder gar „radartot“ gesteuert wurde. Namentlich in lockeren Standzeichengebieten entstanden dadurch beträchtliche Verluste an Radarüberdeckung.

Ein wesentlicher Vorteil der gewählten Lösung war die Steuerung der Maske durch den Rechner im Gegensatz zu einer fixprogrammierten Hardwarelösung. Man erreicht dadurch eine erhöhte Flexibilität, indem z.B. verschiedene Masken für bestimmte Wetterlagen vorausprogrammiert und rasch ausgewechselt werden können.

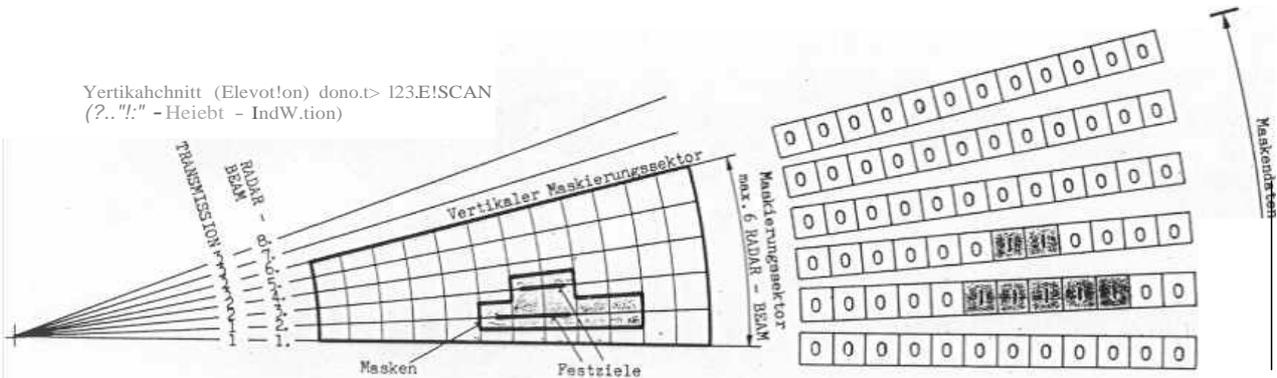
Es erschien damals anfänglich, dass eine spätere Erweiterung zur „dynamischen“ Clutter Maske, mit einer kontinuierlichen Anpassung an die momentane Standzeichensituation möglich sein würde. Da es sich bei der genaueren Abklärung jedoch herausstellte, dass die auf den Radarstationen vorhandene Verarbeitungs- und Speicherkapazität des H-3324 Rechners nicht ausreichte, wurde diese Idee jedoch fallengelassen.

Die räumliche Auflösung der Maske wurde unter Berücksichtigung der Radarauflösung, der Speichererfordernisse sowie der I/O Uebertragungsgeschwindigkeit wie folgt festgelegt:

- Entfernung 900 Meter (4 Range Bin)**
- Elevationssektor 1 Radar Beam**
- Azimutsektor 2 Elscan**

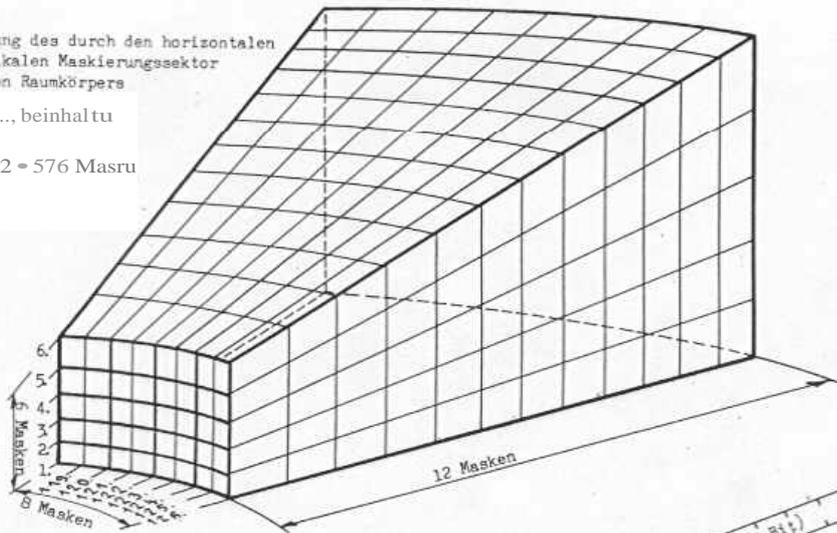
Aus der nachstehenden Darstellung ist das Prinzip der Clutter Maske ersichtlich.

Vertikalschnitt (Elevation) durch 123 DEISCAN
(?..!" - Heibst - IndW.tion)



Darstellung des durch den horizontalen und vertikalen Maskierungssektor gebildeten Raumkörpers

Der r., "., beinhalt
: 6 r 12 = 576 Masru



Horizontalschnitt (Azimut) durch 2. RADAR - BEAM
(Plan - Position - Indication)

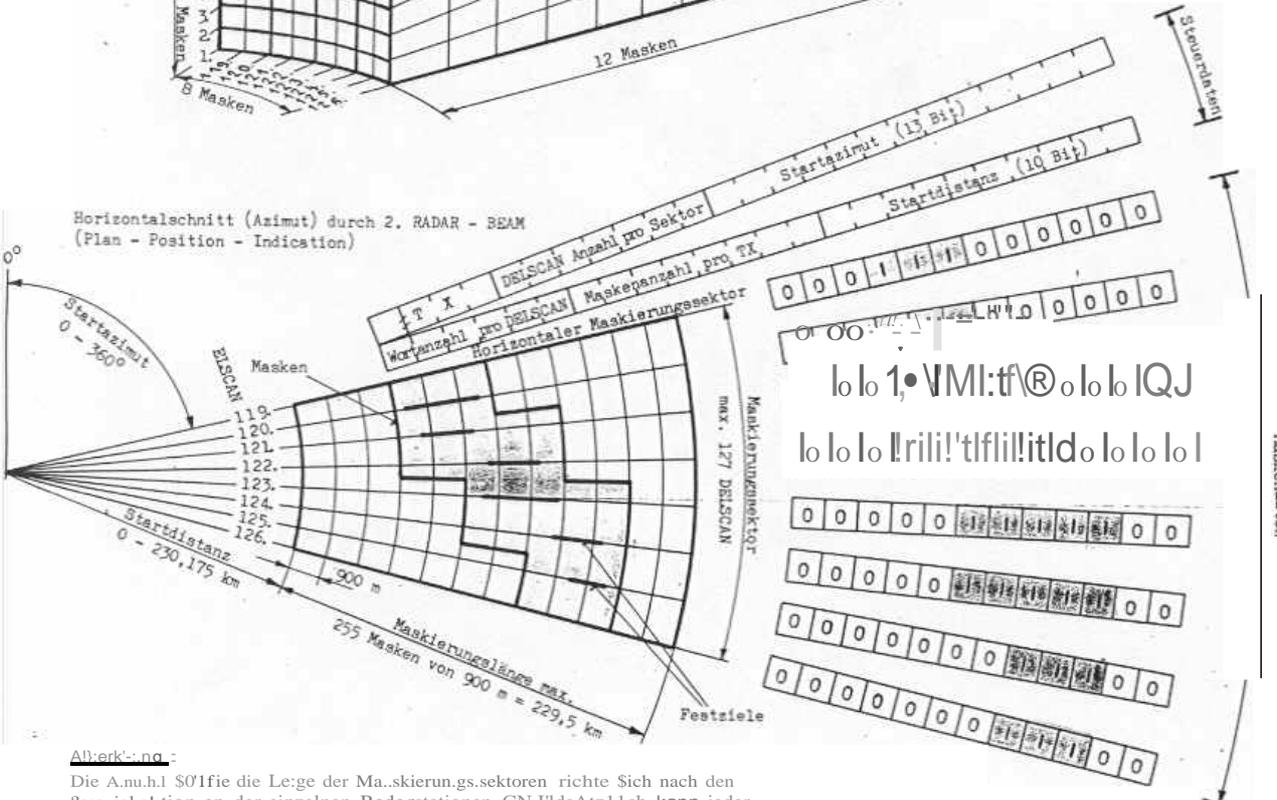
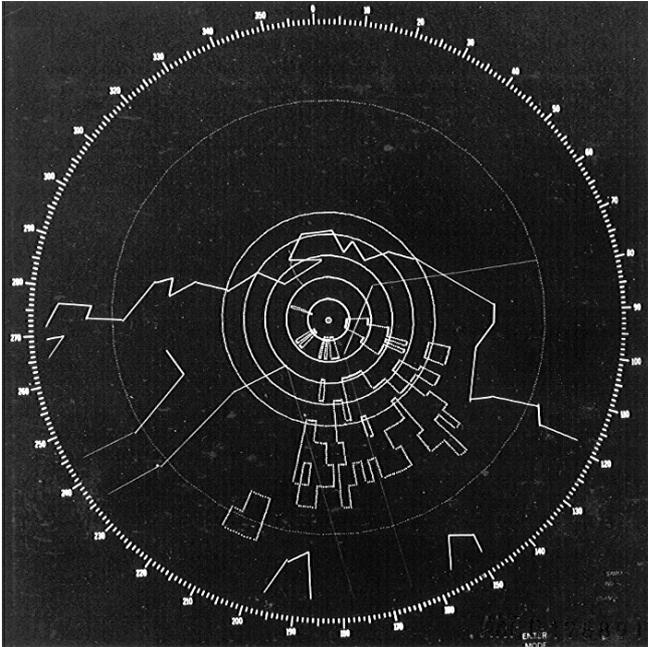


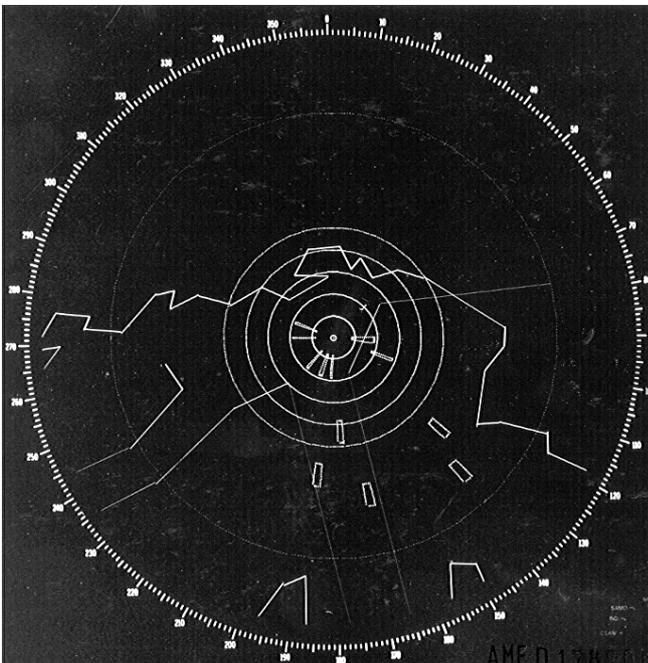
Abbildung:

Die Anordnung der Maskierungssektoren richtet sich nach den Positionen der einzelnen Radarstationen. In der Abbildung kann jeder beliebige Punkt der Ebene als Mittelpunkt aus betrachtet werden.

Im Laufe des Herbst 1974 konnten die ersten Versuche mit dem Prototyp der Clutter Maske auf der Florida Radarstation Wangenerberg durchgeführt werden. Die Wirkung der Maskierung auf die DCC Blank Zellen war sehr beeindruckend, wie dies aus den nachfolgenden Bildschirm Fotos der Florida Anzeigekonzole hervorgeht.



DCC Blank Zellen Situation von Radartransmission 2 auf der Radarstation Wangenerberg, bei **inaktiver** Clutter Maske. Es werden ca. 90 Blank Zellen aufgebaut die zum grossen Teil von Standzeichen in den Vor- und Glarneralpen stammen.



DCC Blank Zellen Situation von Radartransmission 2 auf der Radarstation Wangenerberg, bei **aktiver** Clutter Maske. Mit dem restlichen, meist von Wetterphänomenen herrührendem und stark fluktuierendem Clutter, werden noch 12 Blank Zellen aufgebaut.

In der Folge wurden die Versuche mit dem Prototyp der Clutter Maske auf die Florida Radars der Bergstandorte ausgedehnt. Im Vordergrund stand dabei die zentrale Frage nach dem effektiven Gewinn an Radarüberdeckung. Ab Frühling 1975 wurde zur Abklärung dieser Frage ein umfangreiches Programm von Messflügen gestartet.

Das Foto zeigt den Prototyp der Clutter Maske mit dem 1975 die Versuche mit dem Verfahren auf den Florida Radarstationen im Hochgebirge durchgeführt wurden.



Neben Untersuchungen innerhalb der Schweiz wurden während des Sommers und Herbst 1975 die Messflüge auch auf den süddeutschen Raum ausgedehnt. Zur Ueberprüfung der Wirkung der Clutter Maske auf die Radarüberdeckung über dem Südschwarzwald (Feldberg) wurden Messflüge in verschiedenen Höhen zwischen Freiburg im Breisgau und Trasadingen im Klettgau durchgeführt. In einer anschliessenden Phase wurde auch die Radarüberdeckung über der Schwäbischen Alb mit Messflügen zwischen Herrenberg und Kempten im Allgäu untersucht.

Diese Messflüge wurden mit dem zivil immatrikulierten Flugzeug Grumman Gulfstream HB LDT des eidgenössischen Luftamtes durchgeführt, vorgängig mussten jeweils für diese Flüge Genehmigungen beim Bundesamt für Flugsicherung der Bundesrepublik Deutschland eingeholt werden.

Die Karte zeigt den Verlauf der Clutter Masken Messflüge über dem Südschwarzwald



Diese im Ausland durchgeführten Messflüge erfolgten ausnahmslos mit den für den internationalen Luftverkehr reglementierten Flugplänen, welche vorgängig den betroffenen Flugsicherungszentren zur Kenntnis gebracht werden müssen.

Die im Laufe des Jahres 1975 mit dem Prototyp der Clutter Masken auf sämtlichen Florida Radarstandorten durchgeführten Versuche ergaben sehr ermutigende Resultate. Die DCC Blankzellen konnten mit dem Verfahren auf ca 10% und die durch Clutter verursachten falschen Flugwege auf ungefähr die Hälfte reduziert werden.

Die Messflüge die zum Vergleich immer mit aktiver und passiver Clutter Maske durchgeführt wurden zeigten jedoch auch, dass der Gewinn an Radarüberdeckung zum Teil wiederum durch die Auswirkung der Antennen Side Lobes verloren ging.

Obwohl in vielen Fällen ein Gewinn erzielt werden konnte, ist eine quantitative Abschätzung des Gewinnes an Radarüberdeckung sehr schwierig, da letztlich das Verhältnis der von den Seitenkeulen des Radarstrahles beleuchteten Standzeichenfläche zum Reflexionsquerschnitt des Flugzieles für die Zieldetektion entscheidend ist.

Im Mai 1976 wurde vom Kommandanten Rapport der Flieger- und Flab Truppen auf Grund der inzwischen vorliegenden erfolgreichen Versuchsergebnisse beschlossen, dass bis Ende Januar 1977 sämtliche Florida Radarstationen mit der Clutter Maske auszurüsten seien.

Während des Sommers 1976 erfolgte die Entwicklung der definitiven Ausrüstung, die nun sowohl den High Speed Buffer und die Clutter Maske beinhaltet. Im Rahmen dieser Nachentwicklung wurde das Verfahren auch für die Verwendung im „Burnthrough Modus“ erweitert. Dieses in beschränkten Azimutsektoren für das Erfassen von wichtigen Zielen zur Verfügung stehende Verfahren stand in erster Linie als Gegenmassnahme bei feindlichen Radarstörungen zur Verfügung. Für die Fertigung der drei Seriegeräte in „printed circuit“ Technologie wurden aus Kapazitätsgründen Aufträge an private Firmen vergeben. In der gleichen Periode wurde die erforderliche Software für den Betrieb der kombinierten Ausrüstung entwickelt. Für den künftigen täglichen Einsatz, wurden zudem umfangreiche Test- und Diagnose- Programme entwickelt. Die anschließende Installation und Inbetriebnahme der Ausrüstungen auf den Florida Radarstationen erfolgte unter grossem Zeitdruck bis Ende Januar 1977.

Mit der Einführung der CLUMA konnte leider die fehlende Doppler Auswertung des Florida Radars, die eine zwingende Voraussetzung zur Erlangung einer echten „subclutter visibility“ ist, nicht ersetzt werden. Unter „subclutter visibility“ wird die Fähigkeit bezeichnet, Radarechos von Flugziele die sich gleichzeitig mit Standzeichen in einer Auflösungszelle befinden mit Hilfe des Dopplereffektes herauszufiltern.

Allerdings ermöglichte das Clutter Masken Verfahren neben einem kostbaren Gewinn an Radarüberdeckung auch eine wesentliche Reduktion von Falsch-Flugwegen.

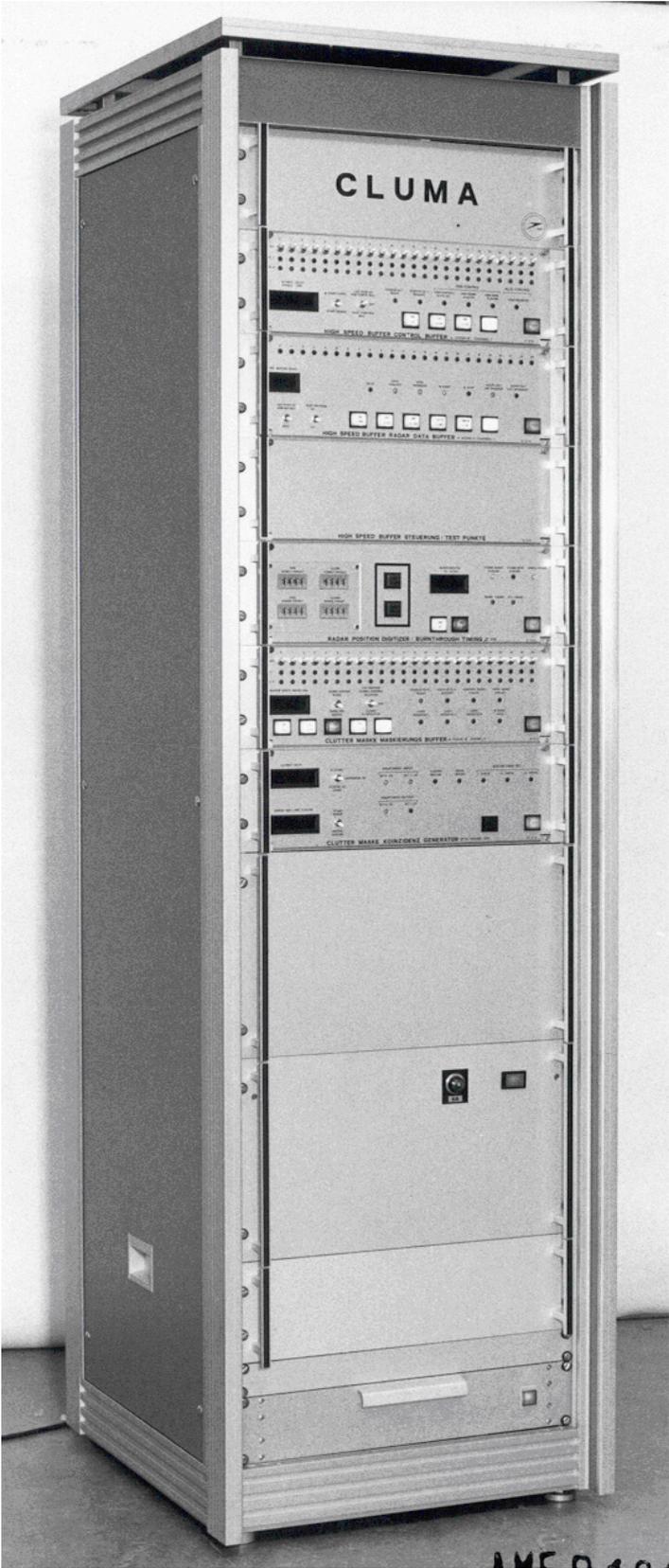
Ab Mitte der siebziger Jahre fand das Clutter Maskierungs Verfahren allgemein Eingang bei Neuentwicklungen von Radarsystemen, allerdings meist als Ergänzung zu den auf dem Dopplereffekt beruhenden Moving Target Indicator (MTI) Verfahren.

Die von den operationellen Benützern geforderte Verbesserung der Flugwegbildung in tieferen Flughöhen konnte auch mit dem Cluma Verfahren nur im beschränkten Umfange erreicht werden. Man hatte inzwischen durch die vielen Versuche mit dem Florida Radar die physikalischen Grenzen von Radars mit fehlender Geschwindigkeitsauflösung klar erkannt – und diese wichtige Erkenntnis floss in die ab Mitte der siebziger Jahre beginnende Planung eines neuen Tiefflieger Radarsystemes ein.

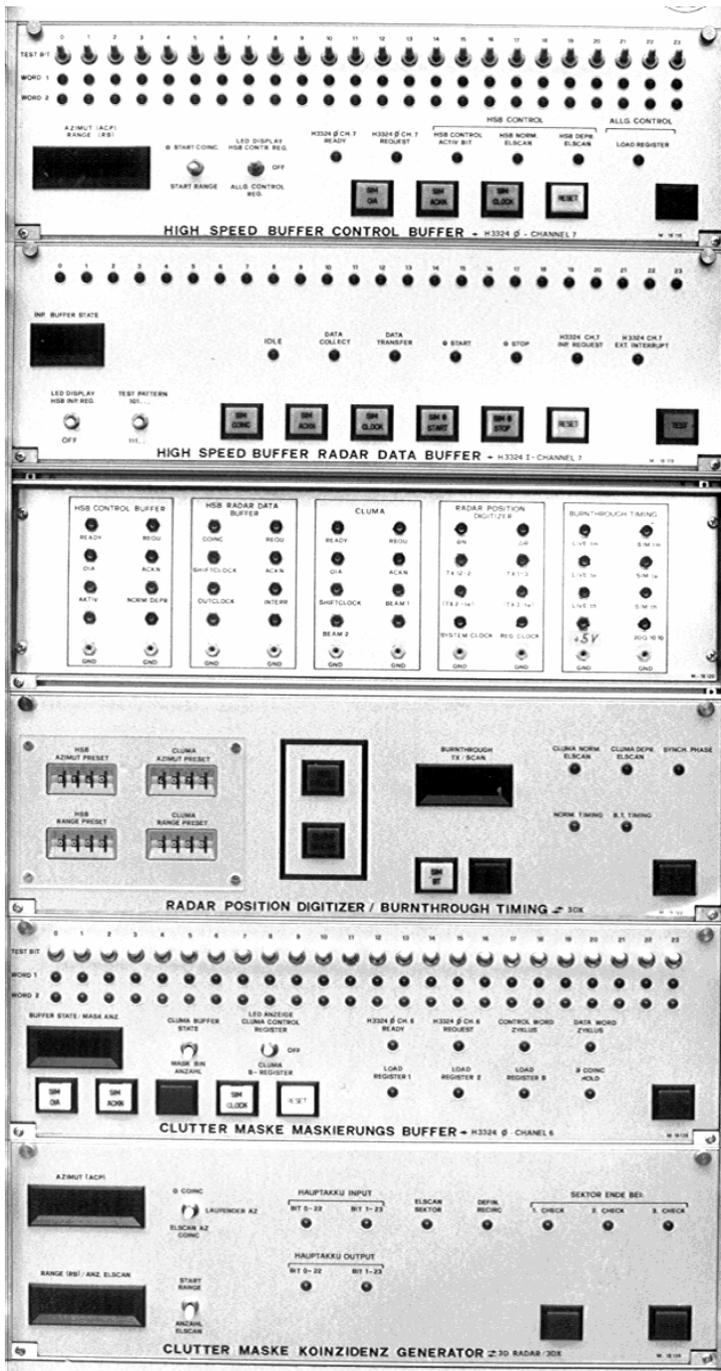
Der Kommandant der Flieger- und Flab Truppen verdankte die durch die Einführung der CLUMA erreichte Verbesserung in der Florida Flugwegbildung am 25.4.1977 mit folgenden Worten:

Dieses schöne Resultat konnte nur Dank der langjährigen Erfahrung und der hohen fachlichen Kompetenz der Beteiligten erreicht werden. Unerlässliche Voraussetzung war sicher auch die gute Zusammenarbeit zwischen den für die Hardware einerseits und die Software andererseits Verantwortlichen. Ich danke allen an der Verbesserung beteiligten Mitarbeitern der Abteilung für Militärflugplätze und der Sektion Führung und Einsatz Technik herzlich für diese hervorragende Leistung. ²⁾

Das nachstehende Foto zeigt die Serieausführung der Florida CLUMA, die Ausrüstung enthält sowohl den High Speed Buffer wie auch die Clutter Maske.



Das Foto zeigt den Bedienungsteil der CLUMA



Die beiden Panel enthalten den Anzeige- u. Bedienungsteil für den High Speed Buffers Speed Buffer.

Das Panel enthält die Testpunkte für die Fehlereingrenzung in High Speed Buffer u. Clutter Maske.

Das Panel enthält die Digiswitch für den Nord- und Nulldistanz Abgleich der Radarkoordinaten Erzeugung sowie die Anzeige für die Anzahl Burnthrough Transmissionen.

Die untersten beiden Panels enthalten die Anzeigen für die Funktionskontrolle Clutter Maske.

Auf Grund der zum Zeitpunkt der Entwicklung vorliegenden negativen Erfahrung mit der Zuverlässigkeit Integrierter Logik Schaltkreise der ersten Generation im Florida System, befürchtete man auch für die CLUMA häufige Ausfälle. Um die Fehlersuche möglichst zu vereinfachen, wurden deshalb aufwendige Test- und Diagnose- Einrichtungen vorgesehen. Nachträglich stellte es sich jedoch heraus, dass die Zuverlässigkeit der inzwischen ausnahmslos verwendeten TTL Logik sehr hoch war. Während der Nutzungszeit der drei CLUMA Ausrüstungen von 1977 bis ins Jahr 2000 sind kaum Ausfälle von TTL Logik Bausteinen aufgetreten.

Elektronische Kriegsführung

Im Rahmen der militärischen Frühlings- und Herbst- Wiederholungskurse der Flieger- und Flab Truppen erfolgte in den Jahren 1973/74 der Einsatz von aktiven und passiven Störmitteln gegen die Florida Radaranlagen. Durch die AGFL wurde die Wirksamkeit der im System vorhandenen elektronischen Schutzmassnahmen (ESM) untersucht und die Auswirkung der Störungen quantitativ ausgewertet.

Die Auswertung der zahlreichen Störeinsätze ergab nachfolgendes Resultat:

- Gegen aktive Störer sind ausreichende Schutzmassnahmen im System vorhanden.
- Die Schutzmöglichkeiten gegen „Chaff“ sind gering. Es ist daher unumgänglich, die Florida Radars durch das Zielverfolgungs - Radar der Bloodhound „Surface to Air Missile“ Stellungen technisch und taktisch zu unterstützen. Nur mit diesen nach dem Dopplerverfahren arbeitenden Dauerstrich Radars ist möglich Flugzeugechos in den mit „Chaff“ belegten Räumen zu erkennen und zu verfolgen.
- Das „Passive Tracking“ ist verbesserungsbedürftig. Konkrete Massnahmen werden vorgeschlagen.
- In jeder Florida-Radarstation ist neben den Displaykonsolen des Flugwegbeobachters ein spezieller EKF Arbeitsplatz einzurichten.

Die praktischen Versuche hatten gezeigt, dass die im System vorhandenen Mittel für eine rasche Beurteilung der Störsituation unzureichend sind und auch keine quantitative Messung der Störungsintensität ermöglichen.

Mit einem zusätzlicher EKF Arbeitsplatz sollten daher folgende Aufgaben gelöst werden können:

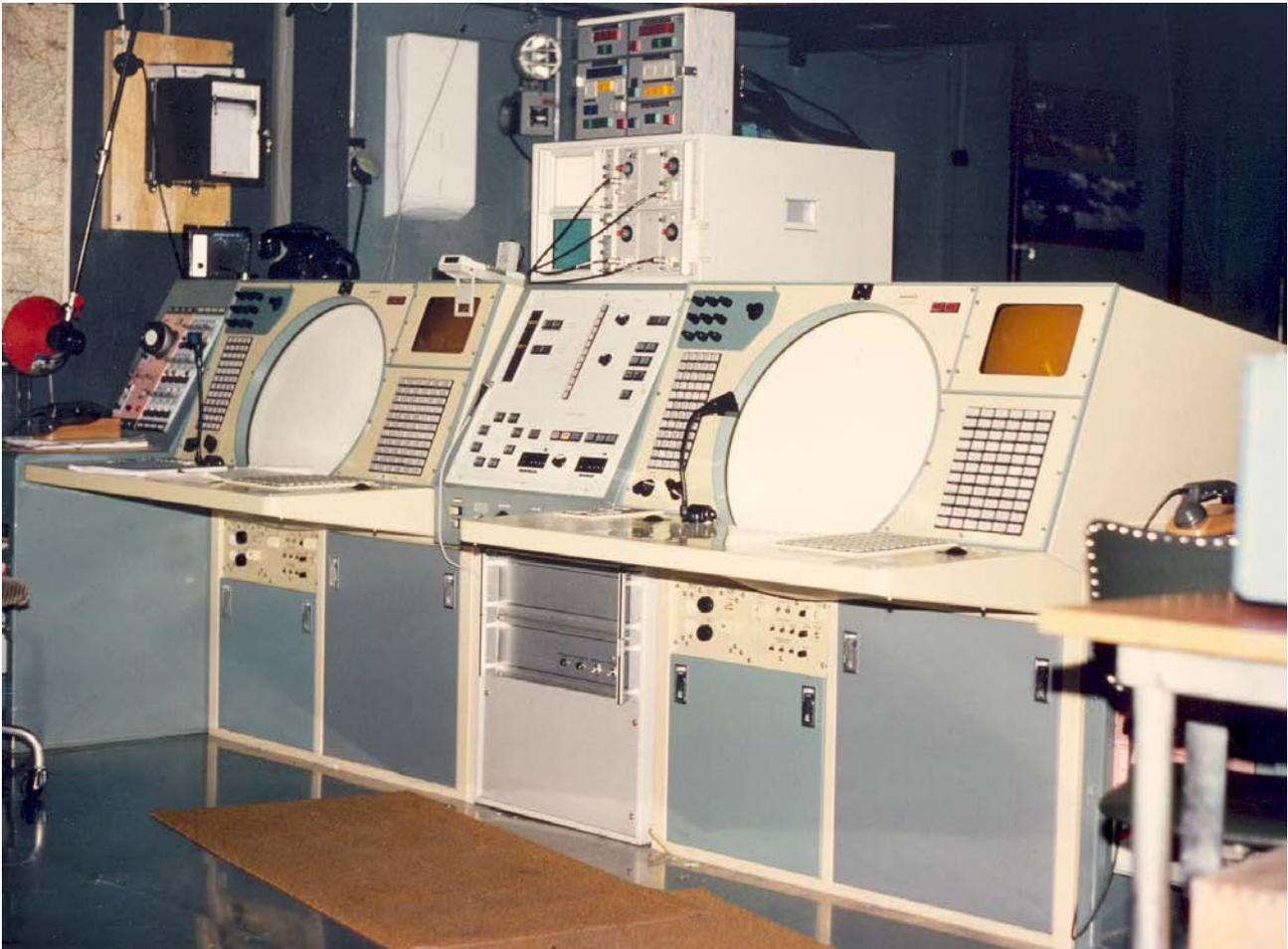
- Ausscheiden von mehrfachen „Jam Strobes“ bei Hauptkeulen Störern die infolge von Reflexionen an umliegenden Hindernissen entstehen.
- Feststellen der Störrichtung und Eliminierung der falschen „Jam Strobes“ bei Nebenkeulen Störern.
- Abschätzung der Leistung und Bandbreite von Störern.
- Berechnung der Abschirmung von feindlichen Flugzeugen in anderen Elevationen.
- Messung der Intensität von „Chaff“ Echos und Berechnung der „Chaff“ - Dichte.
- Erstellen einer „Chaff“ Prognose auf Grund der „Chaff“ Daten und Windverhältnisse.

Im Rahmen der AGFL wurde im Jahre 1974 in der Folge der Prototyp eines EKF Arbeitsplatzes entwickelt und während der Herbst WK Periode im praktischen Einsatz ausgetestet.

Im Mai 1976 wurde vom Kommandanten Rapport der Flieger- und Flab Truppen auf Grund der erfolgreichen Versuchsergebnisse beschlossen, dass sämtliche Florida Radarstationen bis Mitte 1977 mit einem EKF Arbeitsplatz auszurüsten seien.

Das nachfolgende Foto zeigt den Arbeitsplatz des Flugweg Kontrolleurs (Track-Monitor) auf der Florida-Radarstation.

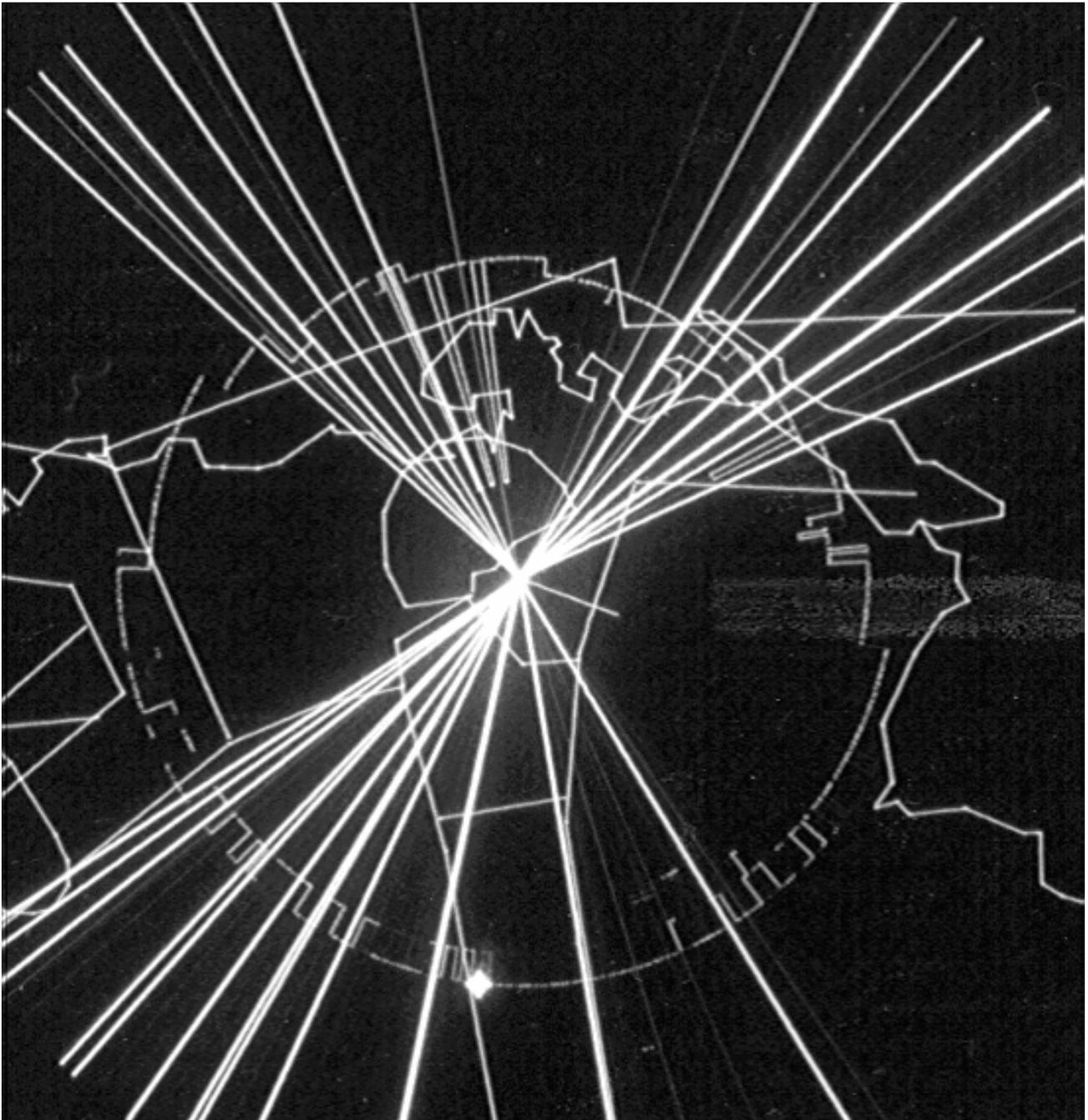
- In der Mitte oberhalb der beiden HMD-22 Displaykonsolen befindet sich der EKF Arbeitsplatz mit der A-Scope (oben) und B- Scope (unten) Darstellung.
- Das Polarkoordinatengerät für die Wahl des dargestellten Azimutsektors auf dem A-Scope und dem X-Y-Z Scope ist zuoberst angeordnet.



Bei der Peilung eines aktiven Störers mit der Radarantenne zum Bestimmen seiner Einfallrichtung verursachen Nahhindernissen mehrdeutige Resultate. Nahhindernisse in der Umgebung von Radarantennen stellen deshalb ein schwerwiegendes Problem dar. Die Ursache liegt bei den Reflexionen der elektromagnetischen Welle an den Nahhindernissen welche in der Folge von der Radarantenne aus anderen Einfallrichtungen empfangen werden.

Zusätzlich verschärft sich das Problem sofern das direkte und das reflektierte Signal sowohl über die Haupt- und die Nebenkeulen der Radarantenne empfangen werden. Hierdurch erzeugt ein und derselbe Störer mehrere Jam-Strobe, aus unterschiedlichen Azimutrichtungen.

Die nachstehende CRT - Aufnahme stammt von der Anzeigekonzole einer Florida Radarstation. Sie zeigt eine Jam Strobe Situation welche durch einen stark einfallenden an Nahhindernissen mehrfach reflektierten Störer verursacht wird.



Abhängig von der Grösse der reflektierenden Fläche unterscheiden sich, unter gewissen Umständen die indirekt über Nahhindernisse einfallende Signale von den direkt einfallenden bezüglich ihrer Intensität nur wenig. Daher kann die Intensität nicht als sicheres Merkmal zur Unterscheidung ob direkt oder reflektiert einfallend, benützt werden.

Bei der anschliessenden Triangulation in der Einsatzzentrale zur Bestimmung der Position des Störers, ergeben sich Mehrdeutigkeiten infolge der mehrfachen Schnittpunkte zwischen echten und falschen Jam Strobes.

In Fällen in denen Mehrfach Jam Strobes auftreten, muss das System daher unterstützt, d.h. die falschen Jam Strobes müssen manuell ausgeschieden werden. Um zwischen echten und falschen Jam Strobes unterscheiden zu können, muss die genaue Lage der reflektierenden Nahhindernisse bekannt sein.

Als eine der ersten Massnahme zur Verbesserung der passiven Flugwegbildung (Passiv Tracking)“ musste auf den Radarstandorten die genaue Lage der Nahhindernisse vermessen und kartographisch festgehalten werden.

In einem weiteren Schritt wurde versucht Nahhindernisse so weit wie möglich durch bauseitige Massnahmen zu beseitigen. Es gelang zum Beispiel durch verschiedenen in einer gemeinsamen Flucht angeordneten Masten, die Bildung mehrfacher Jam Strobe wesentlich zu reduzieren. Auch konnte in gewissen Fällen Nahhindernisse durch das Zusammenlegen von mehreren Funkantennen auf einem gemeinsamen Mast reduziert werden.

Bereits für die grundlegenden Untersuchungen über die Wirksamkeit der im System vorhandenen elektronischen Schutzmassnahmen (ESM) wurde ein leistungsstarker, frequenzvariabler Messgenerator für das C-Band benötigt.

Von der AGFL wurde für die ersten Versuche eine Anordnung bestehend aus einem C-Band Signalgenerator gefolgt von einem Travelling Wave Tube (TWT) Verstärker Labormässig aufgebaut.

Es zeigte sich allerdings, dass weitere Untersuchungen unter Einbeziehung der Antennen - Charakteristik notwendig waren. Diese konnten nur mit einem örtlich abgesetzten Störsender durchgeführt werden.

Da die rasche Beschaffung einer geeigneten Ausrüstung aus verschiedenen Gründen nicht möglich war, begann man sich Gedanken über eine Eigenentwicklung eines auch taktisch verwendbaren Störsenders zu machen.

In einem ersten Pflichtenheft Entwurf wurden im Jahre 1975 die Anforderung an eine Ausrüstung definiert, welche sowohl für technische Versuche wie auch für das Training im Rahmen militärischer Uebungen eingesetzt werden konnte.

Im Anschluss daran erfolgte der Bau eines Funktionsmusters, das bereits während des Herbstwiederholungskurses 1975 des Flieger Radar Regimentes eingesetzt werden konnte. Der erste Einsatz fand unter Beteiligung der ESM Offiziere der FI Radar Abt 1 statt. Die dabei gemachten Erfahrungen zeigten, dass noch Verbesserungen notwendig waren, um die Ausrüstung truppentauglich zu machen.

Aus zeitlichen Ueberlegungen wurde im Frühjahr 1976 beschlossen auf die langwierige Fremdbeschaffung einer Ausrüstung zu verzichten und anstelle das Funktionsmuster bis Ende Juni 1977 auf einen truppentauglichen Stand zu bringen.

Mit dem nachgerüsteten Funktionsmuster das die Bezeichnung Florida-Trainingsstörsender „Grille“ erhielt, erfolgten ab Sommer 1977 auch erste bordgestützte Einsätze, gegen die Florida Radars.

Für die Störeinsätze wurde wiederum das zweimotorige Flugzeug Grumman-Gulfstream HB LDT des BAZL benützt.

Das nachstehende Foto zeigt die Hornstrahler Antenne des „Grille“ Störsenders während einer Störmision mit dem Flugzeug HB LDT. Der Störer strahlt dabei mit horizontaler Polarisisation. Weil die HB LDT mit einer Druckkabine ausgerüstet ist, wurde auf die Installation einer Aussenantennen mit den relativ aufwendigen druckfesten Durchführungen verzichtet und anstelle davon durch das Kabinenfenster abgestrahlt.



Bei der Berechnung der minimalen Detektionsentfernung des Florida-Radars in aktiv gestörten Klima, ging Hughes Mitte der sechziger Jahre davon aus, dass die spektrale Leistungsdichte die damals von bordgestützten Breitband-Störsendern zu erwarten war, nicht über 10 Watt/MHz lag³⁾. Unter Annahme der normalen Systemparameter ergab sich daraus für den Elscan Mode für ein 10 m² Radarziel ein „self screening range“ von ca. 40 km und von ca. 100 km für den Burnthrough Mode.

Bei der Berechnung der minimalen Detektionsentfernung in einem passiv gestörten Klima, ging Hughes Mitte der sechziger Jahre davon aus, dass die damals zu erwartende „Chaff-Dichte“ nicht über 10⁻⁹ m² / m³ Raumvolumen betragen würde²⁾.

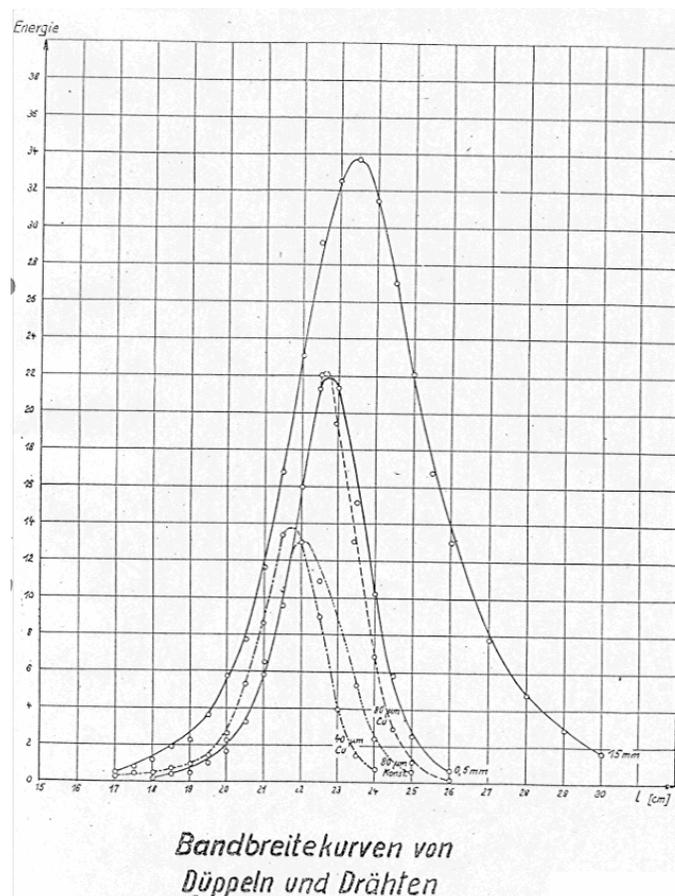
Unter Annahme der normalen Systemparameter ergab sich daraus für den Elscan Mode für ein 10 m² Ziel ein „self screening range“ Mode (2-Beam) von ca. 150 km und von ca. 420 km für den Burnthrough (2-Beam) Mode.

Wie bereits bei der Beschreibung der „Mean Level Detector“ Modifikation erwähnt, ergaben die späteren von Hughes unter Einbeziehung des Videoextraktors durchgeführten Versuche, wesentlich ungünstigere Resultate.

Da durch die Auswirkung der „Chaff“ Signale normalerweise die DCC Zellen auf Blank gesteuert werden, können über längere Zeit grosse Teile der Radarüberdeckung verloren gehen. Erfahrungsgemäss beträgt die Fallgeschwindigkeit von Glasfaser „Chaff“ $< 1\text{m/s}$. Die Verweilzeit des „Chaff“ innerhalb einer DCC Zellen kann deshalb bei grösserer Entfernung beträchtliche Werte annehmen.

Wirkungsvolle Schutzmassnahmen gegen „Chaff“ können nur mit einer Dopplerfilterung realisiert werden. Bei höheren Windgeschwindigkeiten oder beim Auftreten von Windscherungen im „Chaff“ Gebiet verlieren jedoch auch diese ihre Wirkung. „Chaff“ ist bis in die heutigen Tage eines der effizientesten Mittel der elektronischen Kriegsführung geblieben.

„Chaff“ - oder Düppel wie sie in Deutschland bezeichnet wurden – sind vom elektromagnetischen Standpunkt kleine Antennen, die frei im Raume schweben und von der einfallenden Welle zum Mitschwingen und zur Aussendung sekundärer Wellen ange regt werden. Sie haben als schwingfähige Gebilde eine Reihe von Eigenfrequenzen. Bei Anregung auf einer solchen schwingen sie in Resonanz mit max. Amplitude und Reflektivität. Mit dem Abweichen der Frequenz wird ihr Mitschwingen schwächer, charakteristisch ist die Bandbreite ihrer Ansprechkurve (siehe die nachstehende Figur). Die Bandbreite hängt von dem Verhältnis Streifenlänge zu Streifenbreite ab und wird mit zunehmender Streifenbreite grösser. Beachtlich ist auch wie dünne Drähte (in der Figur die vier Kurven links) noch zurückstrahlen.





Das Foto zeigt die noch in der Verpackung befindlichen, gebündelten „Chaff“ Fasern - wie sie u.a. zum Stören des Florida Radars eingesetzt wurden. Die einzelnen aus Glasfaser bestehenden „Chaff“ Fasern sind an der Oberfläche metallisiert. Sie weisen lediglich einen Durchmesser von 0.1 mm auf. Beim Ausstossen aus dem „Chaff - Dispenser“ des Flugzeuges wird die Verpackung aufgerissen und der Inhalt verteilt sich rasch in der Heckströmung. Die Länge der Fasern ist auf die Radarwellenlänge abgestimmt. Im freien Fall stellt jede Faser einen $\lambda/2$ Dipol dar der mit der angestrahnten Frequenz mitschwingt und dabei Energie an das Radar zurückreflektiert.



Das Foto zeigt gemischten „Chaff“ zur gleichzeitigen passiven Störung unterschiedlicher Frequenzbänder. In der Mischung ist sowohl Glasfaser „Chaff“ mit 0.1mm Durchmesser wie auch Aluminiumfolien „Chaff“ mit 0.6mm Breite für die Störung eines breiteren Frequenzgebietes enthalten.

Die Möglichkeit einer künstlichen Zielnachbildung ist in der Radartechnik wohl ebenso lange bekannt wie diese Technik selbst. Mit der Feststellung der Radar-anwendung beim Gegner während des Krieges konnte die Ueberlegung nicht fern liegen, die künstliche Zielnachbildung als Mittel zum Blenden oder Täuschen der gegnerischen Radargeräte zu verwenden.

In Deutschland wurden in den Jahren 1940/41 erste Versuche mit künstlichen Zielen durchgeführt wurden. Zur passiven Störung wurden damals $\lambda/2$ Dipole aus dünner Aluminiumfolie die auf Papier aufgeklebt waren, verwendet.

Die Versuche mit diesen als „Düppel“ bezeichneten Reflektoren zeigten, dass eine Anwendung dieses Verfahrens zwecks Störung durch den Gegner sich zu einer Katastrophe für die Radarverfahren auswirken musste.

Bei den damals verwendeten langwelligen Radargeräten genügte es, durch den Abwurf von 20 - 40 Düppel eine gleichstarke Reflexion zu erzeugen wie diese von einem Flugzeug erzeugt wird, der Materialaufwand betrug dabei nur wenigen Gramm. Die deutsche Luftwaffenführung plante, dieses hochwirksame Störmittel gegen die englischen Radaranlagen einzusetzen. Da jedoch die Luftüberlegenheit nicht erfüllt war, wurde nach reiflicher Ueberlegung darauf verzichtet. Gleichzeitig wurde eine strenge Geheimhaltung über alle mit diesem Verfahren verbundenen Fragen verfügt.

In England erkannte man die verheerende Wirkung von künstlichen Radarzielen etwa zum gleichen Zeitpunkt wie in Deutschland.

Im Sommer 1942 führte das Telecommunication Research Establishment (TRE) Versuche mit dem Abwurf von künstlichen Radarzielen durch. Die Resultate mit diesen in England als „Windows“ bezeichneten Reflektoren waren sehr beeindruckend. Auf Drängen des Chief of Air Staff der die „Windows“ sofort bei den Missionen des Bomber Command über Deutschland einsetzen wollte, wurde ein Grossauftrag für die Massenfertigung an die Vanesta Company vergeben.

Die Bewilligung für den Einsatz wurde von höchster Stelle allerdings erst erteilt als die Verluste des Bomber Command für England langsam untragbar wurden. Bei einem Grossangriff der britischen Luftwaffe am 24. Juli 1943 auf Hamburg wurden erstmalig in grossen Mengen „Windows“ abgeworfen. Durch die Abmessung der „Windows“ wurden vor allem die im 50 cm Wellenbereich arbeitenden Radargeräte der Fliegerabwehr betroffen.

Das Problem der Entstörung der Radargeräte war damit in Deutschland im Hinblick auf die Luftkriegsentwicklung mit einem Schlag von so entscheidender Bedeutung geworden, dass man sich zum Einsatz jeder Notmassnahme entschloss, auch wenn diese nur einen geringen Entstörbeitrag auf begrenzte Zeit lieferte. In der Folge wurden an den Radargeräten eine Reihe von Modifikation ausgeführt, ohne dass eine wesentliche Verbesserung der Situation erreicht werden konnte. Grundlegende Abklärungen mit Versuchen und Berechnungen versprachen, dass entgegen einer damals weitverbreiteten Meinung schon der Uebergang zu kürzeren Dezimeterwellen eine wesentliche (mindestens 25-fache Verbesserung) bringen würde.⁵⁾

- Bei einer Verkürzung der Wellenlänge und gleichbleibender Antennenabmessung wird der Abstrahlwinkel der Strahlungskeule und damit das Raumvolumen der Clutter Zelle reduziert. Weil dadurch die Anzahl der „Chaff“ Dipole welche sich in der Clutter Zelle befinden reduziert wird, verbessert sich das Verhältnis der Zielecho Energie zur „Chaff“ Echo Energie und damit steigt auch die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Dopplerfilterung eines Zielechos aus der „Chaff“ Umgebung.
- Bei der Dopplerfilterung spielen allerdings noch weitere Faktoren mit, so ist z.B. von entscheidender Bedeutung welche Dopplerfrequenz die „Chaff“ Echos aufweisen und dies ist wiederum von der herrschenden Windgeschwindigkeit im „Chaff“ Gebiet abhängig.
- Die Charakteristik der Dopplerfilter wird durch die PRF des Radarsystems bestimmt und diese wiederum bestimmt die instrumentierte Reichweite des Radars. Bei Radarsystemen grosser Reichweite reduziert sich daher der Filterbereich.
- Bei Systemen mit automatischer Videoextraktion und anschliessender Verarbeitung der Zielechos in Rechenautomaten kommt hinzu, dass ev. kleine Clutter Reste, die aus einer unvollständigen Dopplerfilterung stammen, Falschziele verursachen welche das System überlasten und dadurch echte Ziele verloren gehen können.

Dies sind einige Gründe, warum eine vollständige Entstörung beim Einsatz von „Chaff“, auch bei einem Uebergang zu kürzeren Wellenlängen, kaum erreicht werden kann.

Bei kürzeren Wellenlängen verringert sich zudem das Volumen und das Gewicht der „Chaff“ Fasern, so dass von den Störflugzeugen bei gleichem Gewicht eine grössere Anzahl „Chaff“ Fasern mitgeführt werden kann.

Angeregt durch die Versuche in England begann etwas später in den U.S.A. auch das Radio Research Laboratory der Harvard University die Auswirkungen von künstlichen Radarzielen zu studieren.

Die Resultate der praktischen Versuche, mit den in den U.S.A. als „Chaff“ bezeichneten Reflektoren, deckten sich mit den in Deutschland und England gemachten Beobachtungen.

Die Massenproduktion wurde umgehend eingeleitet, so dass auch die amerikanischen Bomberverbände ab Winter 1943/44 auf ihren Missionen im grossen Umfange „Chaff“ einsetzten.

Die Technologie dieser passiven Störmittel wurde später in den U.S.A. stetig verfeinert und bis in die heutige Zeit weiterentwickelt.

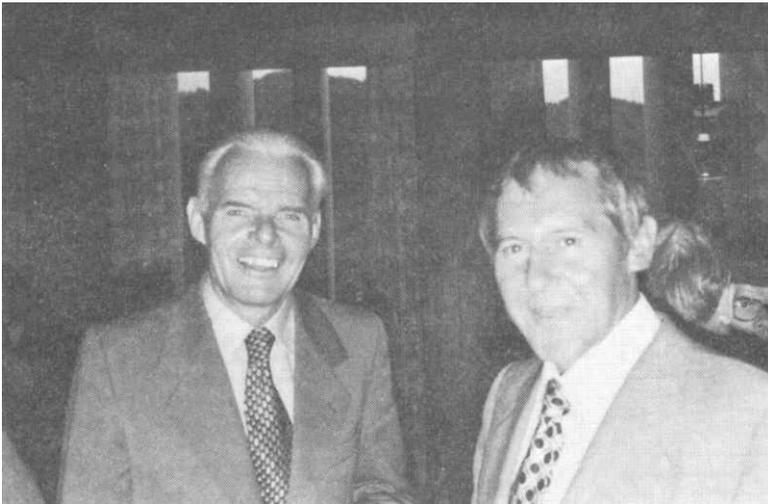
Infolge der stark gesteigerten Belegung der Luftstrassen durch den zivilen Luftverkehr war es gegen Ende der siebziger Jahre in der Schweiz aus Sicherheitsgründen nicht mehr möglich militärische Uebungen mit dem Einsatz von aktiven und passiven elektronischen Störmitteln durchzuführen.

Im Gegensatz zum „Passiv Tracking“ wo einige Erfolge durch Hardware- und Software- Modifikationen sowie durch die bauliche Sanierungen der Umgebung auf den Radarstandorten erzielt wurden, konnten eine Verbesserung der Schutzmöglichkeiten gegen „Chaff“ Störungen erst mit technisch weiter fortgeschritteneren Radarsystemen erreicht werden.

Die im Anschluss an die Systemsübernahme in der ersten Hälfte der siebziger Jahre erfolgten umfangreichen Untersuchungen mit den daraus resultierenden Hardware- und Software- Modifikationen hatten zur Folge, dass sich das Florida System ab ca. 1975 zu einem verlässlichen und leistungsfähigen Instrument für die Luftverteidigung entwickelte.

Am 15. Juni 1977 trafen sich die namhaften Mitstreiter am Projekt Florida (siehe nachstehende Fotos) zu einer letzten besinnlichen Sitzung im Bad Lostorf.

Es galt Abschied zu nehmen von einer – auf die Woche genau – seit 20 Jahren bestehenden Projektorganisation. Im Verlaufe dieser Zeit hatte sich das System Florida von einer ursprünglichen Idee zu einem erprobten und leistungsfähigen Luftverteidigungssystem entwickelt ohne das der Einsatz der Flieger- und Flabtruppen undenkbar gewesen wäre. Bei dieser letzten Sitzung fand der seinerzeitige Projektoberleiter Korpskommandant Bolliger anerkennende Worte für die geglückte Zusammenarbeit so vieler Fachexperten, die durch alle Wirren und Anfeindungen hindurch ihre Aufgabe und das System zu dem gemacht haben, was es nun für Flieger- und Flabtruppen ist.



Korpskommandant Bolliger ehemaliger Oberprojektleiter Florida mit Herrn Thüler dem in der Schweiz tätigen Vertreter des Lieferanten Hughes Aircraft



Herr Hans Pfister, ehemaliger Projektleiter der GRD, **Herr Peter Oswald** von der SFE, Programm-Analytiker der sich bei der Verbesserung der Programmierung für die Florida Einsatzzentralen hervorsetzt, und **Herr Heierle** von der AUEM



Professor Baumann von der ETH Zürich, Experte zu Fragen der Automatisierung, **Herr Hatt**, ehemaliger Chef der SFE Programmiergruppe, **Herr Thomas Mathys** von der SFE, Programm Analytiker der sich bei der Verbesserung der Programmierung für die Florida Radarstationen hervorsetzt hat



Herr Hans Eberhard vom technischen Büro der SFE, Brigadier Walter Dürig, ehemaliger Projektleiter BAMF und Delegationschef bei den Ausbildungen in den U.S.A. und Herr Bruno Heiz von der GRD



Die Herren Hans Jucker und Kurt Fritschi vom BAMF, welche sich mit der Entwicklung neuer technischer Verfahren und Ausrüstungen zur Verbesserung des Florida Systems hervorgetan haben



Herr Heierle von der AU-EM, Herr Joseph Biedermann, Chef der SFE, und Professor Stiefel von der ETH Zürich, Experte für die mathematischen Probleme

Arbeitsgruppe RAS Radar

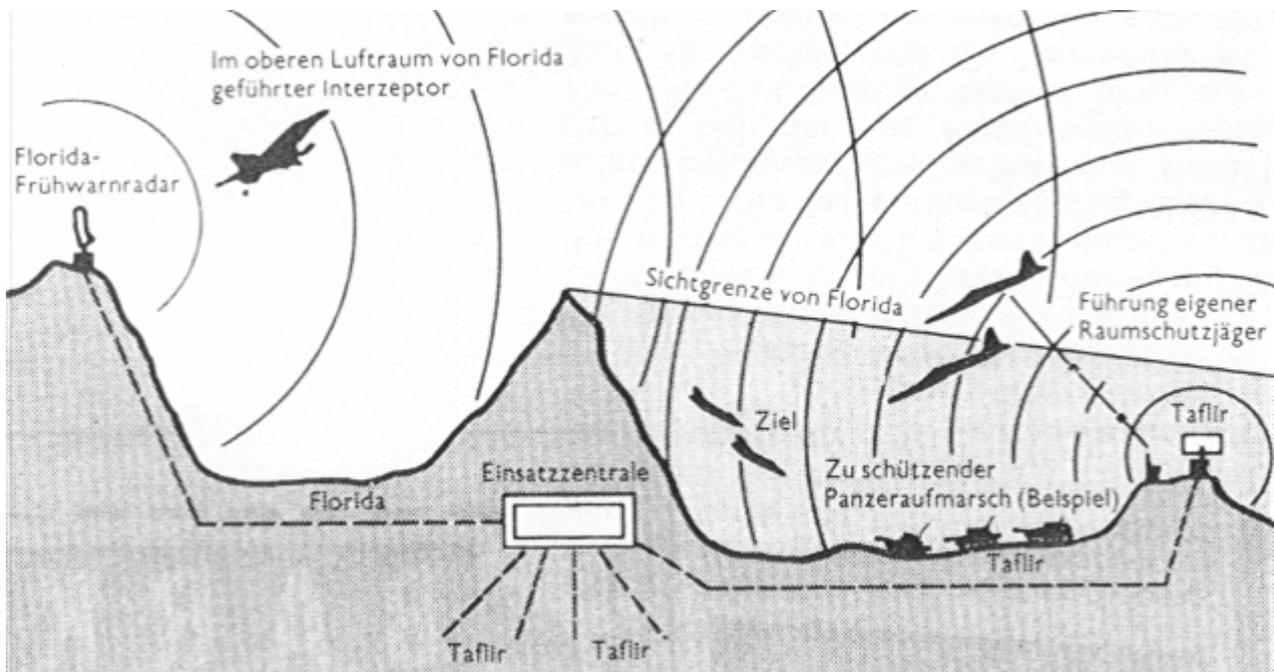
Ausgelöst durch die Beschaffung der Tiger F5E Jagdflugzeuge, als Alternative zum Nullentscheid für die ursprünglich vorgesehenen Erdkämpfer Corsair oder Milan, erlangte ab Mitte der siebziger Jahre der Raumschutz (RAS) mit seinem taktisch flexibel geführten Einsatz eine wesentliche Bedeutung für die schweizerische Luftverteidigung.

Ein ökonomischer Einsatz von RAS Verbänden setzt jedoch das Vorhandensein geeigneter elektronischer Führungsmittel voraus.

Da die Einsätze der RAS Verbände vorwiegend auf Flughöhen zwischen 4000 und 8000 Meter erfolgen sollten, war das Florida-System als Führungsmittel, auf Grund seiner mangelhaften Fähigkeit zur Tiefflieger Erfassung, für diese Aufgabe nicht geeignet. Die vorgesehene Einsatzdoktrin verlangte zudem, dass die Führung dezentral innerhalb des Erfassungsbereiches einzelner mobiler Radaranlagen direkt über Sprechfunkverbindungen zu den Flugzeugen erfolgen sollte.

Hierzu war eine neue Generation von mobilen Radarsystemen erforderlich, deren einsatztechnische Anforderungen aus dem provisorischen Einsatzkonzept vom 16.9.1975 hervorgingen.

Die nachstehende Figur zeigt das Zusammenwirken der RAS Radars (später als TAFLIR System bezeichnet) mit dem Florida-System.



Am 25. Juni 1976 beauftragte der Kdt FF Trp innerhalb des KFLF eine Arbeitsgruppe mit der Bearbeitung des Themenkreises „Mobiles Radar für den unteren Flughöhenbereich“. Als Zielsetzung des Auftrages stand das Erarbeiten von Grundlagen zur Beurteilung der erforderlichen Radarsystemleistungen im Vordergrund.

Zudem sollte aber auch durch die Zusammensetzung der Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der verschiedenen Dienstabteilungen des KFLF eine einheitliche Denkweise für das anschliessende Evaluationsverfahren geschaffen werden.

Im Auftrag waren drei Detailarbeiten spezifiziert:

- 1. Radarparameter erstrangiger Bedeutung und ihre Gewichtung.**
- 2. Welche Kennwerte dürften nicht unter- bzw überschritten werden.**
- 3. Wie können die wesentlichen Systemparameter überprüft werden.**

Um das anschliessende Evaluationsverfahren für das Tiefflieger Radarsystem innerhalb des vorgesehenen Zeitrahmens durchführen zu können, sollte der Auftrag bis zum Frühjahr 1978 erfüllt und mit einem Schlussbericht abgeschlossen werden.

Der Einsatz der Tiefflieger Radarsysteme war primär für die Luftüberwachung im Bereich des zu schützenden Raumes bestimmt, er sollte die Führung der eigenen Jäger an feindliche Flugzeuge und deren Unterstützung im Luftkampf ermöglichen.

Als weitere wichtige Aufgabe sollten diese Systeme die Gesamtluftlage Florida, durch das Einbinden ihrer Teilluftlagen speziell über hügeligen Gebieten mit vielen Standzeichen, nachhaltig ergänzen.

Hierfür erachtete man eine instrumentierte Reichweite von 100 km und einen Höhenmessbereich bis 10 km über den Radarstandorten als ausreichend. Hingegen wurde auch für tiefe Elevationsbereiche eine hohe Entdeckungswahrscheinlichkeit gefordert, was eine sehr leistungsfähige Standzeichenunterdrückung voraussetzte. Um eine Unterstützung der eigenen Flugzeuge im Luftkampf zu ermöglichen war zudem eine hohe Aufdatierungsrate erforderlich, eine schnelle Abtastung des gesamten Ueberwachungsvolumens innerhalb 3-4 Sekunden wurde als wünschenswert erachtet.

Ein Radarsystem, das allen Anforderungen gerecht wird, gibt es nicht. Es gilt deshalb immer jenes System zu wählen, welches für die jeweilige Anwendung die besten Kompromisse bietet!

Für die Anwendung als Tiefflieger-Radar zur Führung von RAS Verbänden und zur Unterstützung des Florida-Systems mussten Schlüsselforderungen wie gute Subcluttervisibilität (SCV), gute Entdeckungswahrscheinlichkeit, hohe Datenrate und gute Störfestigkeit erfüllt werden.

Nachdem Ende 1976 ein provisorisches militärisches Pflichtenheft vorlag wurden Hand in Hand zu den Arbeiten der RAS Radar Arbeitsgruppe durch die GRD Vorschläge für ein RAS 3D Radar bei den Firmen ITT - Gilfillan, Westinghouse, Selenia, Hughes und Telefunken eingeholt.

Im Zusammenhang mit diesen Firmen - Vorschlägen wurden auch bereits Feldversuchen geplant, die in der Schweiz unter realistischen Einsatzbedingungen durchgeführt werden sollten.

Auf Grund der vorgesehenen Verwendung und Standorte musste davon ausgegangen werden, dass die RAS Radargeräte in Bezug auf Clutter unter schwierigsten Bedingungen zum Einsatz kamen.

Mit anderen Worten: Starke Festzeichenechos (ground clutter) waren im ganzen Radarerfassungsbereich zu erwarten.

Aus den Erfahrungen der Florida Arbeitsgruppe war bekannt, dass die schwierigsten Probleme bei der Radarerfassung durch Bodenclutter verursacht wurden. Dieser Clutter bewirkt die Verschlechterung der Entdeckungswahrscheinlichkeit über den Standzeichen Gebieten und verursacht gleichzeitig eine starke Erhöhung der Falschziele.

Diese Tatsache hatte zur Folge, dass für die neuen Radargeräte eine Reichweitenerforderung mit definierter Erfassungswahrscheinlichkeit, allein auf Grund der Ausbreitungsdämpfung, nicht ausreichte.

Vielmehr musste die Erfassungswahrscheinlichkeit für ein bestimmtes Ziel innerhalb einer definierten Festzeichenzone festgelegt werden. Dies setzt allerdings die möglichst genaue Kenntnis der zu erwartenden Festzeichenverhältnisse voraus.

Die Intensität der Festzeichensignale ist jedoch von einer ganzen Reihe beeinflussender Faktoren abhängig.

Obwohl in der einschlägigen Radarliteratur grosse Mengen theoretischer Abhandlungen vorliegen, sind deren Erkenntnisse für die komplexen Verhältnisse der Radarstandorte in der Schweiz kaum mit Erfolg anwendbar.

Es stand daher von Anfang an fest, dass die Evaluation und der Vergleich verschiedener Systeme unbedingt mit quantitativen Clutter Annahmen durchgeführt werden mussten.

Als weitere Massnahme sah man vor, für die wichtigsten der vorgesehenen Radarstandorte, die Clutter Situation zu vermessen und in Form von Clutter-Karten aufzuzeichnen. Hierzu sollte mittels eines Radars eine normierte Clutter Intensitätskarte auf photographischem Wege, unter stufenweisem Einfügen gleicher Dämpfungen im Empfangspfad, erstellt werden.

Man erhoffte sich, dass auf einer solchen Karte die erforderlichen Subcluttervisibilitäten, für die Erfassung bestimmter Ziele über einem definierten Cluttergebiet, direkt herausgelesen werden konnten. Diese Karten sollten dann den offerierenden Firmen zusammen mit den Parametern des für die Messung verwendeten Radars abgegeben werden. Dadurch, dass der Lieferant und der Kunde dabei von konkreten Voraussetzungen ausgeht, sollten sich Interpretationsdifferenzen, wie dies bei der Beschaffung früherer Systeme zT der Fall war, weitgehend vermeiden lassen.

Quellenverzeichnis

- 1) Hughes Aircraft, Technical discussion of a proposal for a Florida modification program on subject of warranty claim number one.
- 2) Kdt FF Trpn, Dankeschreiben an AMF und KFLF/SFE vom 25.4.1977 zur erfolgreichen Realisierung des CLUMA-Projektes.
- 3) Hughes Aircraft IDC, March 1966, Swiss Florida Performance in ECM.
- 4) Hughes Aircraft IDC, June 1965, DTL Micrologic Usage Rules.
- 5) Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen der Luftfahrtforschung, Forschungsbericht Nr. 1916, Ueber den Einfluss der Düppel bei verschiedenen Funkmessfrequenzen.