

## Geschichte der militärischen Radaranwendungen in der Schweiz

### Beschaffung und Einführung der dritten Generation Frühwarn-Radar bis 1975

Hans H. Jucker, Zielackerstrasse 7, 8603 Schwerzenbach

Im April 1965 stimmte die Schweizerische Landesverteidigungskommission (LVK) der Wahl der Firma Hughes Aircraft Company (HAC) als Hauptlieferant und Generalunternehmer für das Florida-System zu.

Das während dem vorangegangenen Evaluationsverfahren mehrmals an technische Gegebenheiten angepasste taktische Pflichtenheft Florida vom 17.2.1965 <sup>1)</sup> verlangte, dass eine Luftlagedarstellung über **einem quadratischen Gebiet von 1000 km Seitenlänge mit Zentrum auf den Koordinaten der zivilen Radarstation Lägern** ermöglicht werden sollte. Das analoge Video des zivilen Lägern Radars wurde über eine Kabelverbindung in die Einsatzzentrale Dübendorf übertragen und dort als Backup zur digitalisierten Florida Information zum Aufbau der Gesamtluftlage verwendet.

Gemäss dem taktischen Detailpflichtenheft für die Radarstationen vom 20.3.1965 <sup>2)</sup> sollte **eine Radarerfassung von luftatmenden Flugobjekten innerhalb eines zylindrischen Raumkörpers mit 600 km Radius (instrumentierte Reichweite des Radars) über 360° bis zu einer maximalen Höhe von 30 km** ermöglicht werden. Als Gesamtsystem sollte Florida zudem in der Lage sein gleichzeitig **bis zu 400 Flugwege** zu verarbeiten.

Erstmals sollten dabei für die schweizerische Luftverteidigung frei programmierbare Digitalrechner zur Anwendung kommen. Es war vorgesehen die Daten der drei Radarstationen mit Digitalrechnern in Nutzinformation für den Aufbau der lokalen Luftlagen umzuwandeln um sie danach in zwei Einsatzzentralen mit weiteren Digitalrechnern zu einer Gesamtluftlage Schweiz zu verarbeiten.



Bei diesem ambitionierten Vorhaben handelte sich zweifellos um eines der ersten Computer - Verbundsysteme der Schweiz, mit insgesamt fünf an geographisch unterschiedlichen Standorten betriebenen Digitalrechnern.

Hughes hatte für die drei Radarstationen ihren kurz zuvor neu entwickelten H-3324 Digitalrechner mit einer Speicherkapazität von 65'536 Worten von 24 Bit Länge vorgesehen. Auch für die beiden Einsatzzentralen war der H-3324 Digitalrechner vorgesehen, hierfür jedoch auf eine Speicherkapazität von 131'072 Worten ausgebaut. Der Rechner verfügte über insgesamt 16 adressierbare Input/Output - Kanäle über die mit einer Geschwindigkeit von 538'000 Worten pro Sekunde Daten mit externen Geräten ausgetauscht werden konnten. Die hohe Geschwindigkeit der I/O Einheit war ein wesentliches Merkmal der H-3324 Rechner – Entwicklung und erst damit wurde eine direkte Verarbeitung von Radardaten in Echtzeit überhaupt ermöglicht.

Der H-3324 Rechner konnte mit über hundert unterschiedlichen Instruktionen frei programmiert werden, Hughes hatte hierfür die HAP II Assembler - Programmiersprache entwickelt. Dem damaligen Stand der Computertechnik entsprechend, verfügte der H-3324 Rechner über einen Magnetkernspeicher. Als integrierende Bestandteile waren den Rechnersystemen externe Magnetbandeinheiten, Lochstreifen und Lochkartenleser, IBM - Kugelkopfschreibmaschinen als externe Ausrüstungen zugeordnet.

Wie schon im vorhergehenden Beitrag erwähnt, konnte die Ground System Group der **Hughes Aircraft Company** für das Florida Projekt auf vorhandene Hardware aus dem NATO - Programm IPG zurückgreifen. Dies betraf vor allem das Computersystem, die Displayausrüstungen und die vielfältigen Buffereinrichtungen die zum Datenaustausch zwischen dem Computer und den externen Teilsystemen erforderlich waren.

Die für den operationellen Betrieb der Radarstationen und der Einsatzzentralen erforderliche Software musste jedoch zu einem erheblichen Teil neu entwickelt werden. Als Basis hierfür dienten umfangreiche Funktionsspezifikationen welche vorgängig durch EMD - Spezialisten in Zusammenarbeit mit dem Systemlieferanten in Dübendorf definiert und entwickelt wurden.

Eine wesentliche Voraussetzung für das dezentralisierte Computer - Verbundsystem waren einwandfrei funktionierende Datenverbindungen zwischen den einzelnen Standorten. Bereits in den frühen fünfziger Jahren hatte man in der Schweiz mit dem Aufbau eines militärischen Richtstrahlnetzes vorerst für die Uebertragung von Sprach- und Fernschreibkanälen begonnen. Für das Florida System erfolgte dann der Weiterausbau der bestehenden Richtstrahlverbindungen für die Uebertragung von digitalen Datenkanälen. Für die digitale Datenübertragung wurde eine Uebertragungsgeschwindigkeit von 2400 Bit pro Sekunde vorausgesetzt.

**Der Bundesbeschluss des Parlamentes für die Verbesserung des Frühwarn- und Uebermittlungsnetzes sowie der Einrichtung der zentralen Führung der Flieger- und Fliegerabwehrtruppen erfolgte am 16. Dezember 1965 mit einem Verpflichtungskredit von 203 Millionen Franken.**

Mit dem unmittelbar darauf erfolgten Vertragsabschluss mit dem Generalunternehmer begann die 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Jahre dauernde Realisierungsphase, die nicht ganz ohne Turbulenzen verlaufen sollte.

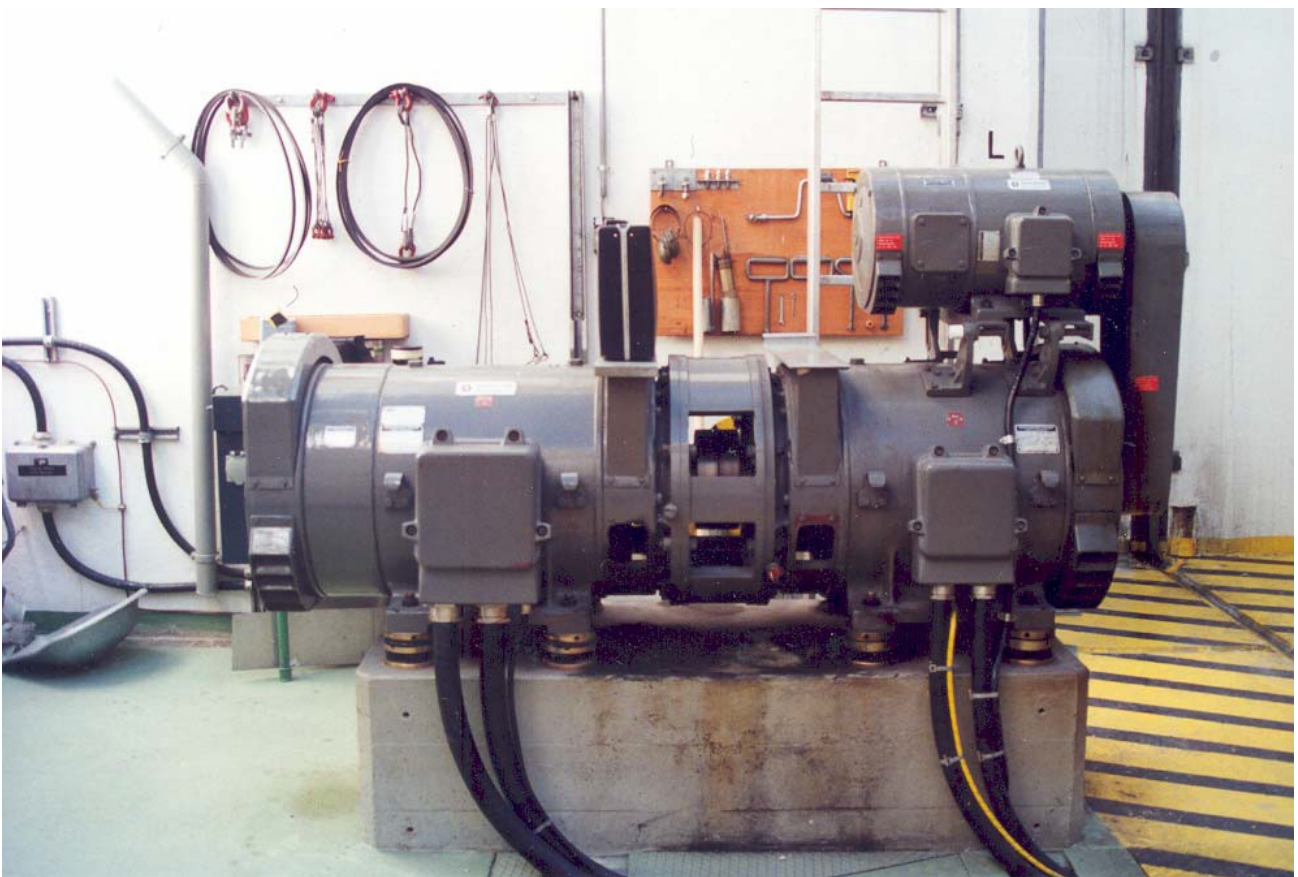
Mit dem Beginn der Realisierungsphase begannen Tätigkeiten auf den verschiedensten Ebenen. Sowohl beim amerikanischen Systemlieferanten in Fullerton California wie auch bei der Projektleitung in der Schweiz waren bereits im Vorfeld der Auftragserteilung umfangreiche Vorarbeiten getätigt worden.

Um überhaupt einen Ueberblick über die vielfältig notwendigen parallelen Aktionen und deren zeitlicher Ablauf zu ermöglichen, wurde von der Projektleitung die damals noch neue graphische Netzplantechnik angewendet.

Mit den bauseitigen Vorbereitungen auf den Radarstationen und den Einsatzzentralen wurde die Abteilung für Militärflugplätze als federführende Instanz beauftragt. Vom Generalunternehmer war nach vorgängigen Begehungen (**Site - Reviews**) eine mehrere hundert Seiten umfassende „**Site Installation Specification**“ ausgearbeitet worden welche die Anforderungen bis ins letzte Detail umschrieb.

Neben rein baulichen Aspekten waren darin u.a. auch die Anforderungen an die Einrichtungen zur Belüftung und Kühlung, an die neuen Erfordernisse der Antennen - Kavernen und deren Hebetürme sowie an die Stromversorgung und Verteilung spezifiziert.

**Das Florida - System erforderte eine 120/208 Volt 400 Hz Stromversorgung deshalb, mussten auf den Standorten leistungsstarke 350 kVA Umformergruppen (siehe nachstehendes Foto) bereitgestellt werden. Die Herstellung und Installation der erforderlichen elektrotechnischen Ausrüstungen erfolgte durch die Maschinenfabrik Oerlikon (MFO).**



Auf einem der Radarstandorte der noch über keinen externen Netzanschluss verfügte, musste die vorhandene Dieselstromversorgung für die höheren Leistungsanforderungen weiter ausgebaut werden.

Bereits im Februar 1966 fand in Dübendorf für die beteiligten EMD -Spezialisten durch den Chef der Hughes Programmiergruppe Mr. Larry Larson ein Einführungskurs in das H - 330 Computersystem und die erforderliche **HAP II Assembler - Programmiersprache** statt.

Für die dabei durchgeführten praktischen Programmiertraining stand der damalige **CDC-1604-A Computer im Hauptgebäude der ETH Zürich** jeweils während der Nachtzeit zur Verfügung.

In den Jahren 1966 und 1967 führte Hughes in Fullerton Ausbildungskurse für die Einführung in das Florida System sowie dessen Unterhalt durch. Eine grössere Zahl Mitarbeiter des EMD, die meisten aus Dübendorf, besuchten diese Kurse welche zwischen drei Wochen und zwölf Monaten dauerten. Im Hinblick auf die Aufgaben die mit der Beschaffung und Einführung des Floridasystems neu anfielen, hatte das Kommando der FF Truppen wie auch die Abteilung für Militärflugplätze eine Anzahl meist jüngerer Physiker und Ingenieure neu eingestellt.

Um die von Hughes für die Teilnehmer der Ausbildungskurse vertraglich geforderte „Student Qualifications“ (siehe Trainingsplan unten) sicherzustellen fand im Sommer 1966 in Dübendorf ein ca. viermonatiger Vorbereitungskurs statt.

TRAINING PLAN

PLAN OBJECTIVE

To aid the Hughes trained Swiss instructors in implementing an H-3324 Programming Course to be conducted in Switzerland for Swiss personnel.

COURSE LENGTH

The course should consist of 690 hours of lecture and practice programming sessions. No time has been allocated for testing in the course length of 690 hours. It is recommended that a test be given after approximately 80 class hours.

COURSE OUTLINE

<u>Annex</u>	<u>Title</u>	<u>Hours</u>
I	Basic Programming	162
II	Basic Input/Output Programming	88
III	Support Programs	176
IV	Real Time System Programming	152
V	FORTRAN	72
VI	FLORIDA System	40

CONDUCT OF THE COURSE

Each student should receive eight hours of instruction each day, with a minimum of four hours being spent in formal classroom instruction. The remainder of the day should be spent in programming exercises where applicable.

STUDENT QUALIFICATIONS

Although no background in computer programming techniques is required, each student should have as a minimum, education equivalent to a Bachelor of Science in Mathematics, Physics, or Electrical Engineering. In addition, each student should have scored favorably on a programming aptitude test.

Im Rahmen dieser Vorbereitung erhielten die Teilnehmer einen ersten Einblick in die Florida System - Spezifikationen. Im weiteren erfolgte eine Einführung in die damals noch kaum in den Ausbildungsprogrammen der höheren technischen Lehranstalten enthaltenen Spezialgebiete **Boolsche Algebra, Digitaltechnik** und den **Grundlagen der Computertechnik**. Zusätzlich erhielten die Teilnehmer auch ein Training in technischem Englisch, wobei jeder Teilnehmer selbständig Referate über ausgewählte Themenkreise in englischer Sprache auszuarbeiten und vorzutragen hatte. Die Ausbildungen in Fullerton erfolgten nach festen Studien - Plänen die in den „**Syllabus of Instruction**“ genau umschrieben waren.

Für die Ausbildung verfügte Hughes in Fullerton über ein firmeneigenes Trainings-Zentrum, das auch die Einhaltung der vertraglich geforderten Geheimhaltung gewährleisten konnte.

Die Ausbildung war in nachfolgende Studienpläne unterteilt:

- **Programming Course (siehe Trainingsplan auf der vorherigen Seite)**
- **Systems Course**
- **MRS Operations & Maintenance Course**
- **ADDC Operations & Maintenance Course**
- **Operators Training Course**

Der Lernerfolg der Teilnehmer wurde anhand schriftlicher Prüfungen, die in wöchentlichen Intervallen durchgeführt wurden, überwacht.

**Das Foto zeigt die Teilnehmer und Instruktoren anlässlich der Florida Systemsausbildung im Frühjahr 1967 bei HUGHES in Fullerton California.**



Eine zentrale Bedeutung im Florida - Projekt wurde der Leistungsfähigkeit der Radar-Sensoren beigemessen. Wie bereits in der Vorgeschichte erwähnt, verfügte Hughes bei Projektbeginn noch über kein Radarsystem, das die Anforderungen des taktischen Pflichtenheftes für die Radarstationen erfüllte. Bei der Neuentwicklung des Florida - Radars, das später die Bezeichnung **HR - 500** erhalten sollte, diente ein kurz vorher von Hughes gebauter Prototyp eines **Light Weight 3D Radars (LW 3D)** das im C - Band nach dem „Frequency – Scanning“ Prinzip arbeitete, als Muster und teilweise auch zum Austesten (Test – Bed) von neuen Komponenten.



Im ursprünglichen Pflichtenheft für die Mirage - Beschaffung war gefordert worden, dass Möglichkeiten zur Bekämpfung von Fern - Erdzielen (sog. Interdiktionen) geschaffen werden mussten, wie z.B. Einsätze gegen weit reichende Nuklearwaffenstellungen oder Radaranlagen welche in der Tiefe des gegnerischen Kampfraumes lagen.

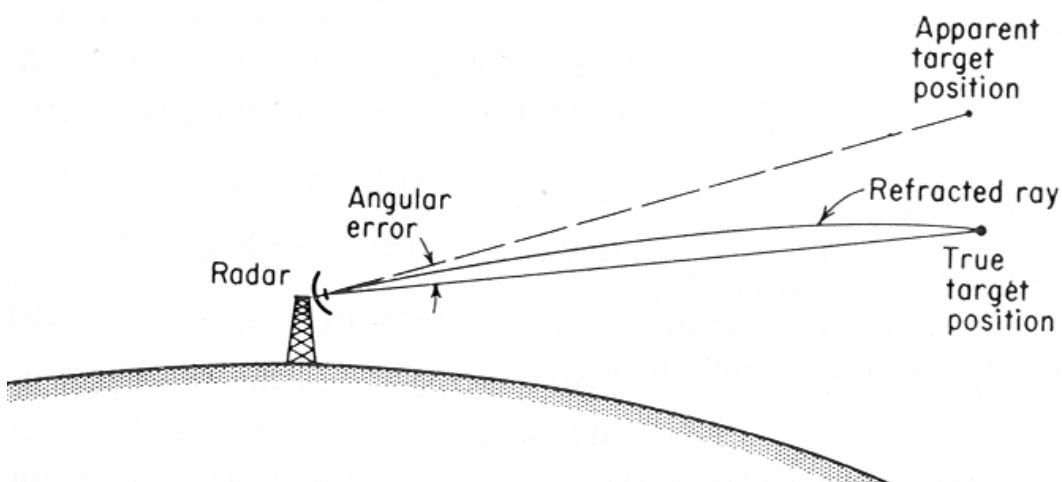
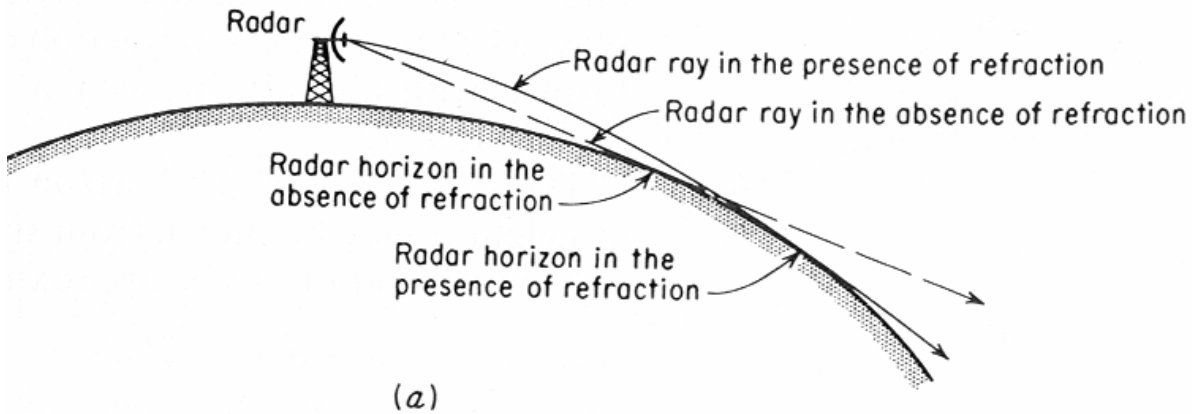
Entsprechend der damaligen Einschätzung der Bedrohung, man befand sich ja mitten im kalten Krieg, ging man davon aus, dass es sich dabei um Ziele im südlichen Teil der Deutschen Demokratisch Republik (DDR) oder in der westlichen Tschechoslowakei handeln könnte. Diese Forderung wurde dann auch im Zusatzdokument zum taktischen Pflichtenheft Florida, das die Bezeichnung „**Definition der mit dem System Florida zu begegnenden Bedrohung**“ trägt, übernommen.<sup>3)</sup>

Um das Florida System als Führungs- und Navigationsmittel für derartige Interdiktionen geeignet zu machen, wurde von Hughes bei der Architektur des Radarsystems die damals nicht übliche hohe Reichweite von 600 km (siehe in Figur eingezeichnet) vorgesehen.



- Rückblickend ist hierzu allerdings zu bemerken, dass sich ein in 600 km Entfernung operierendes Flugzeug infolge der Erdkrümmung trotz Beugung der Radarstrahlen nach unten auf einer Flughöhe von mindestens 15'000 m/Meer befinden muss, um von einem auf 2'500 m/Meer befindlichen Radar (z.B. der MRS-2) erfasst zu werden.

Die Refraktion oder Beugung der Radarstrahlen nach unten, entsteht bei der Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen durch die ändernde Dielektrizitätskonstante in den verschiedenen Luftschichten der Atmosphäre und Troposphäre. Dieser Refraktionsfehler muss daher bei einer trigonometrischen Höhenberechnung der Radarziele mitberücksichtigt werden.



Praktische Erfahrungen mit Weitbereichs - Radarsystemen hatten allerdings gezeigt, dass das in der Radarliteratur häufig empfohlene  $\frac{4}{3}$  Erdradius Modell für die Korrektur der Höhenvermessung bei grösseren Entfernungen und Vermessungshöhen zu hohe Beugungswerte ergibt.

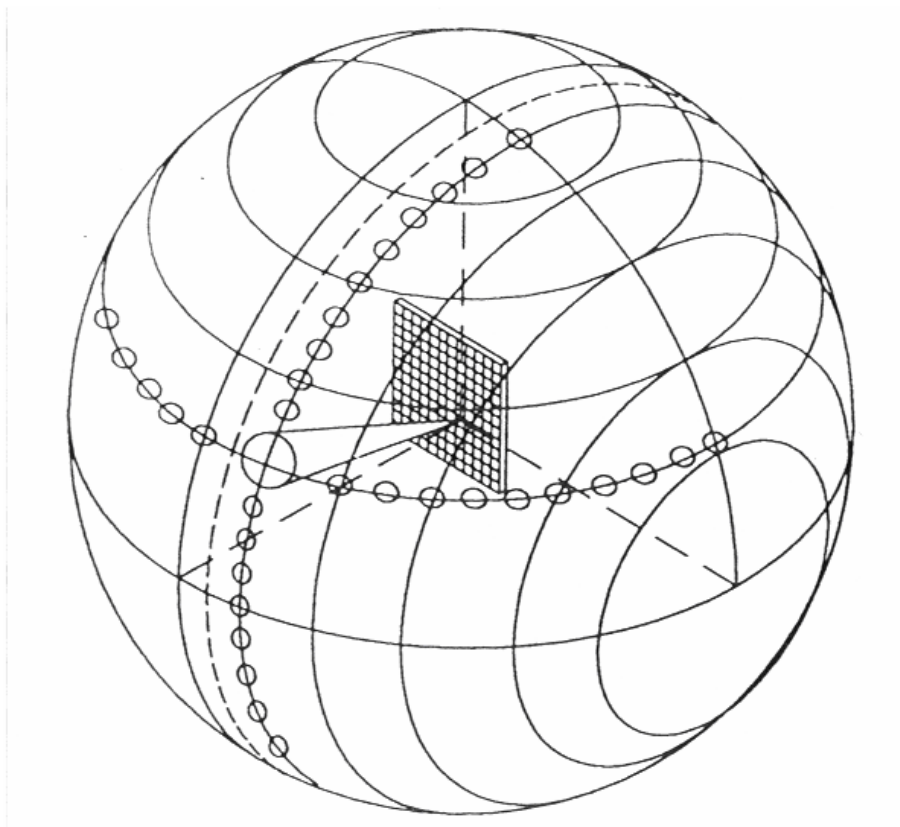
Beim Florida System wurde deshalb für die Höhenberechnung der Flugzeuge mit einer einfachen exponentiellen Korrektur von  $- 1.745 \times 10^{-5} \text{ rad/km}$  eine gute Annäherung an die vom Sekundärradar übermittelten **Mode C Höhe der Flugzeuge** erreicht. Im Hinblick auf die angestrebte hohe Reichweite wurde bei ersten System - Berechnungen und Simulationen noch von der ursprünglich vorgesehenen Sendeleistung von 4 Megawatt ausgegangen.

Bei den ersten praktischen Versuchen zum Erreichen dieser hohen Sendeleistung, welche im Frühling 1966 mit dem LW 3D Radar unter Verwendung der neuen **Cross Field Amplifier (CFA) Röhre QKS - 1343 von Raytheon** durchgeführt wurden, traten jedoch in verschiedenen Mikrowellenkomponenten schwerwiegende Probleme mit Korona - Erscheinungen (**sog. „arcing“**) auf. <sup>4)</sup>

Auf Grund dieser Probleme entschloss sich Hughes, vorerst von der hohen Leistung abzusehen und die beim Florida System geforderte Radarreichweite mit anderen technischen Vorkehrungen zu erreichen. Anlässlich der Besprechung vom 16. November 1965 zwischen Hughes und der KTA im Beisein dem vom EMD als Berater beigezogenen ETH - Professor Baumann wurde daher die Sendeleistung neu auf 2.4 Megawatt festgelegt und die ursprüngliche anvisierte Sendeleistung von 4 Megawatt nur noch als „**growth potential option**“ im Pflichtenheft aufgeführt. <sup>5)</sup>

Als Basis für die Systems - Architektur des Florida-Radars ging Hughes von einer **zeitlich sequentiellen** dreidimensionalen Raumabtastung aus, wobei die Anwendung eines sog. „**Pencil - Beam**“ mit kreisförmigem Querschnitt von ca.  $0.9^\circ$  ( $-3$  dB Öffnungswinkel) vorgesehen war.

Die Erzeugung dieses Pencil - Beam erfolgte durch eine beinahe quadratischen „**Planar -Array**“ Antenne mit einer ca. 4 auf 4 Meter messenden Oberfläche. Unter Inkaufnahme von relativ starken Seitenkeulen wies die auf maximalen Gewinn optimierte Antenne einen Send - Empfangs - Gewinn von ca. 44 dB auf. Die nebenstehende Figur zeigt die Geometrie einer solchen Antenne im Raum.



Etwas bedenklich war der Umstand, dass bedingt durch die damals vorhandene Antennen - Technologie die ersten Seitenkeulen des „Pencil - Beam“ in der Azimutebene nur ca. 23 dB unter dem Niveau der Hauptkeule lagen.

In der Elevationsebene war sogar eine starke Seitenkeule vorhanden welche nur gerade 20 dB unter dem Niveau der Hauptkeule lag.

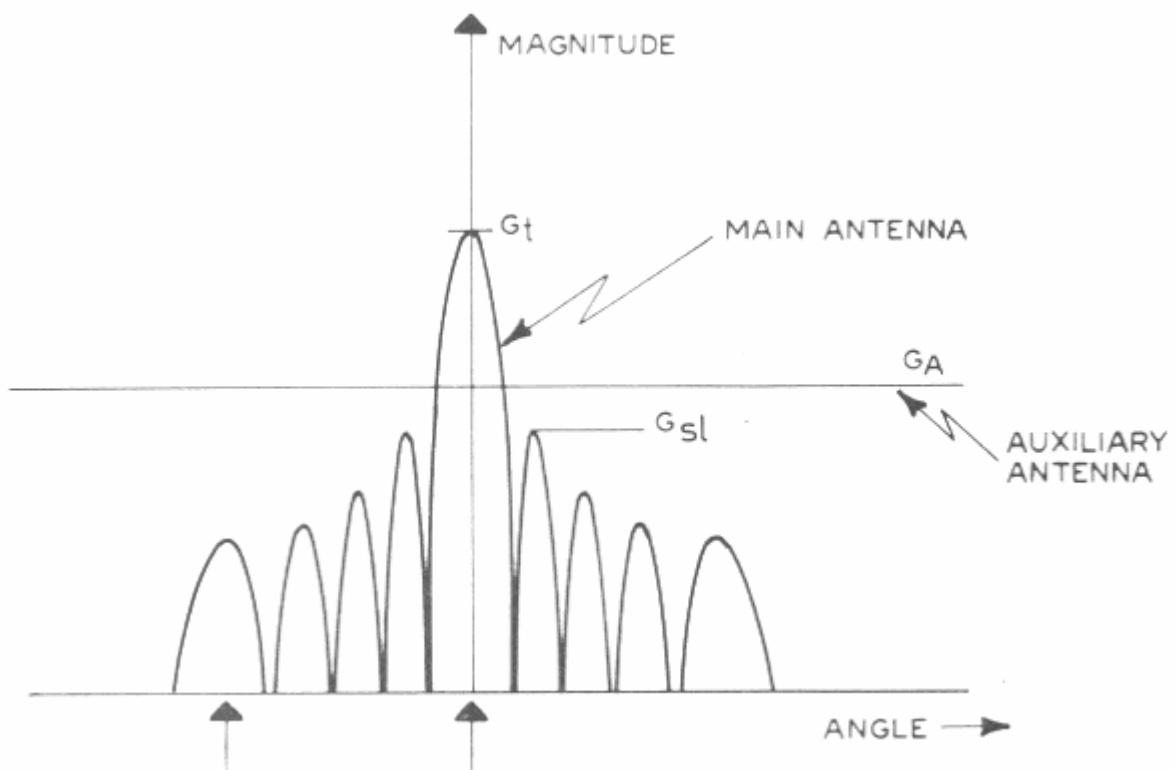
Durch ihre Lage von ca.  $9^\circ$  vertikal über der Hauptkeule bestand allerdings keine Gefahr, dass sie das umliegende Terrain anstrahlte und damit zusätzliche Bodenechos erfasst hätte.



Bei der Architektur eines leistungsstarken Rundsuchradars für den Einsatz in Gebieten mit starkem Standzeichen muss bei einem Hauptkeulen/Nebenkeulen Abstand der Antenne von nur gerade 23 dB zum vornherein mit erheblichem Bodenechos gerechnet werden welche vom Radar über die Nebenkeulen empfangen werden. Um diesen sog. „Sidelobe – Clutter“ vor der eigentlichen Verarbeitung im System auszuschneiden, wurde beim Florida - Radarempfänger das damals sehr gebräuchliches „**Sidelobe – Blanking**“ Verfahren angewendet.

Dieses in der nachstehenden Figur aufgezeigte Verfahren basiert auf der Anwendung einer empfangsseitigen Hilfsantenne deren Charakteristik etwas über den „Sidelobes“ der Hauptantenne liegt.

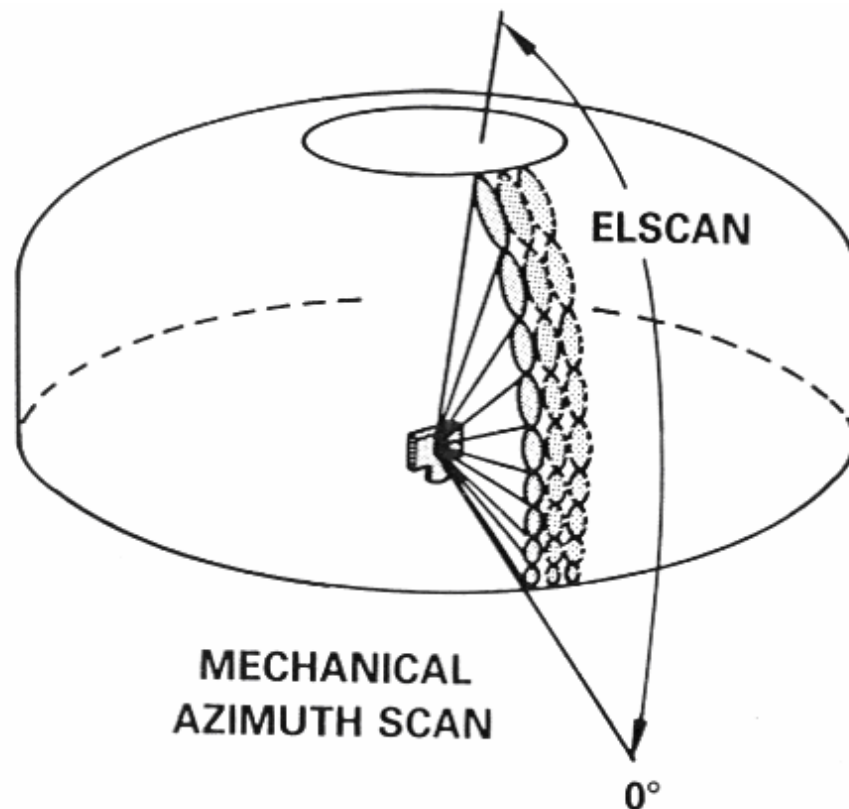
Das über die Hauptantenne empfangenen Signal wird in einer Kombination aus einem sog. „Wideband – Limiter“ in der ZF – Verstärkung des Empfängers und einem „Video – Comparator“ mit dem über einen separaten „Sidelobe“ - Kanal geführte Signal der Hilfsantenne verglichen. Bei dieser Verarbeitung werden nur diejenigen Signale welche den Pegel des Sidelobe - Kanals überschreiten und demzufolge von der Hauptkeule der Antenne stammen zur Verarbeitung weitergeführt die übrigen Signal werden ausgeschieden.



- Obwohl dieses Verfahren grundsätzlich funktioniert, beinhaltet es Schwächen welche im Betrieb zu gravierenden Einschränkungen führen. Wenn in einem Gebiet das starke Bodenreflexionen verursacht diese vom Diagramm der Hilfsantenne erfasst werden, so kann das Radarecho eines darüber fliegenden von der Hauptkeule erfassten Flugzeuges ausgeschieden werden bevor es in die Verarbeitungskette gelangt.
- Mit einem Zahlenbeispiel lässt sich dies anschaulich darstellen. Bei einem Hauptkeulen/Nebenkeulen Verhältnis der Antenne von 23 dB hat eine Reflexionsfläche des Bodens von  $> 200 \text{ m}^2$  sofern diese von der Hilfsantenne erfasst wird, zur Folge, dass ein darüber in der Hauptkeule fliegendes Flugzeug von  $1 \text{ m}^2$  Reflexionsfläche, durch das „Sidelobe – Blanking“ Verfahren ausgeschieden wird. Das Grundproblem liegt dabei am zu geringen Hauptkeulen/Nebenkeulen Abstand der Antenne.

- Das Sidelobe - Clutter Problem wurde ab ca. Ende der siebziger Jahre durch die Einführung der Ultra Low Sidelobe Antennas (ULSA -Technologie) gelöst, welche ein Mainlobe/Sidelobe Verhältnis bis 50 dB ermöglicht. Diese Technologie basiert auf der sorgfältigen Kompensation der gegenseitigen elektrischen Kopplung der einzelnen Strahlerelemente. Hierzu sind sehr enge mechanische Bearbeitungs - Toleranzen bei der Herstellung der Antennen – Sticks erforderlich, die nur mit NCR-Verfahren zu erreichen sind, sowie eine äusserst präzise Montage der Antennen Arrays. Mit der Einführung der ULSA - Antennen konnte bei späteren Systemen auf die Anwendung der problematischen „Sidelobe – Blanking“ Verfahren verzichtet werden. Zum Zeitpunkt der Entwicklung der Florida - Antenne steckte die ULSA - Technologie jedoch noch in den Anfängen und konnte mit den damaligen Herstellungsverfahren noch nicht in die Praxis umgesetzt werden.

Die schnelle Abtastung des Elevationsbereiches (ELSCAN) erfolgte elektronisch durch Aenderung der Arbeitsfrequenz und das gleichzeitige langsame Abtasten des Azimutbereiches durch die mechanische Rotation der gesamten Antennen - Array.



Als wesentliches Merkmal einer derartigen Abtast - Architektur wird dabei jeder Raumpunkt von der Hauptkeule des Radarstrahles grundsätzlich **nur einmal pro Antennenumdrehung (Scan)** erfasst. Ein solches Abtastverfahren bietet für ein dreidimensionales Radar bestehende zeitliche Vorteile.

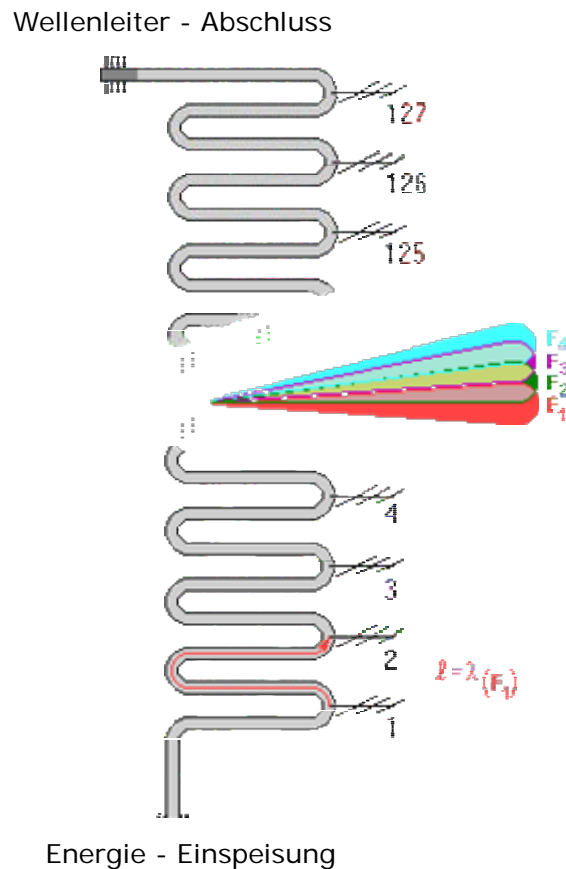
Da hierbei jedoch die „**long dwell time on target**“ für eine mehrfache Abtastung fehlt welche für eine Dopplerverarbeitung (MTI) unbedingt erforderlich ist, lässt sich damit keine wirkungsvolle Standzeichenlöschung realisieren <sup>6)</sup>.

- Um eine wirkungsvolle Dopplerverarbeitung zu ermöglichen muss ein Radarziel aus physikalischen Gründen pro Azimut - Scan mindestens 4 - 8 mal phasenkohärent angestrahlt und das Echo empfangen werden !

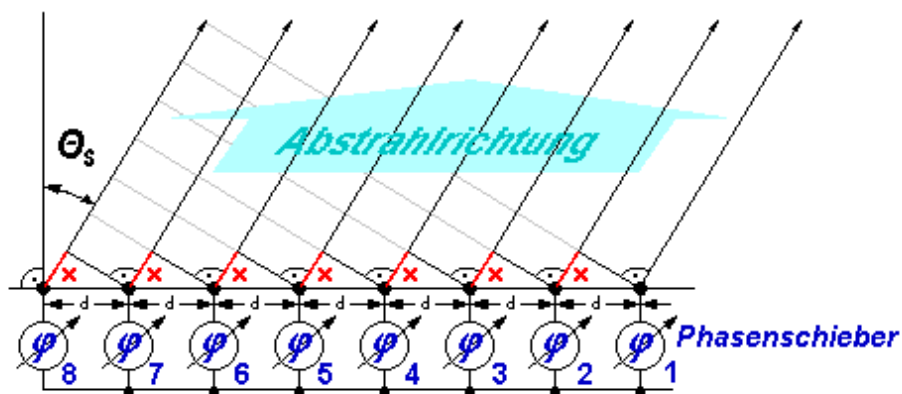
Der Elscan entsteht durch eine stufenweise Variation der Arbeitsfrequenz welche zwischen 5.4 – 5.8 GHz liegt in 42 Schritten von je 9 MHz. Aus der Frequenzvariation resultiert eine vertikale Ablenkung der Strahlungskeule von jeweils 0.8°. Damit wird ein vertikaler Raumsektor von ca. 34° innerhalb ca. 20 Millisekunden abgetastet. Beim Florida Radar bildet die Frequency - Scanning Antenne das zentrale Schlüsselement für die dreidimensionale Raumabtastung.

### „Frequency-Scanning“ Prinzip

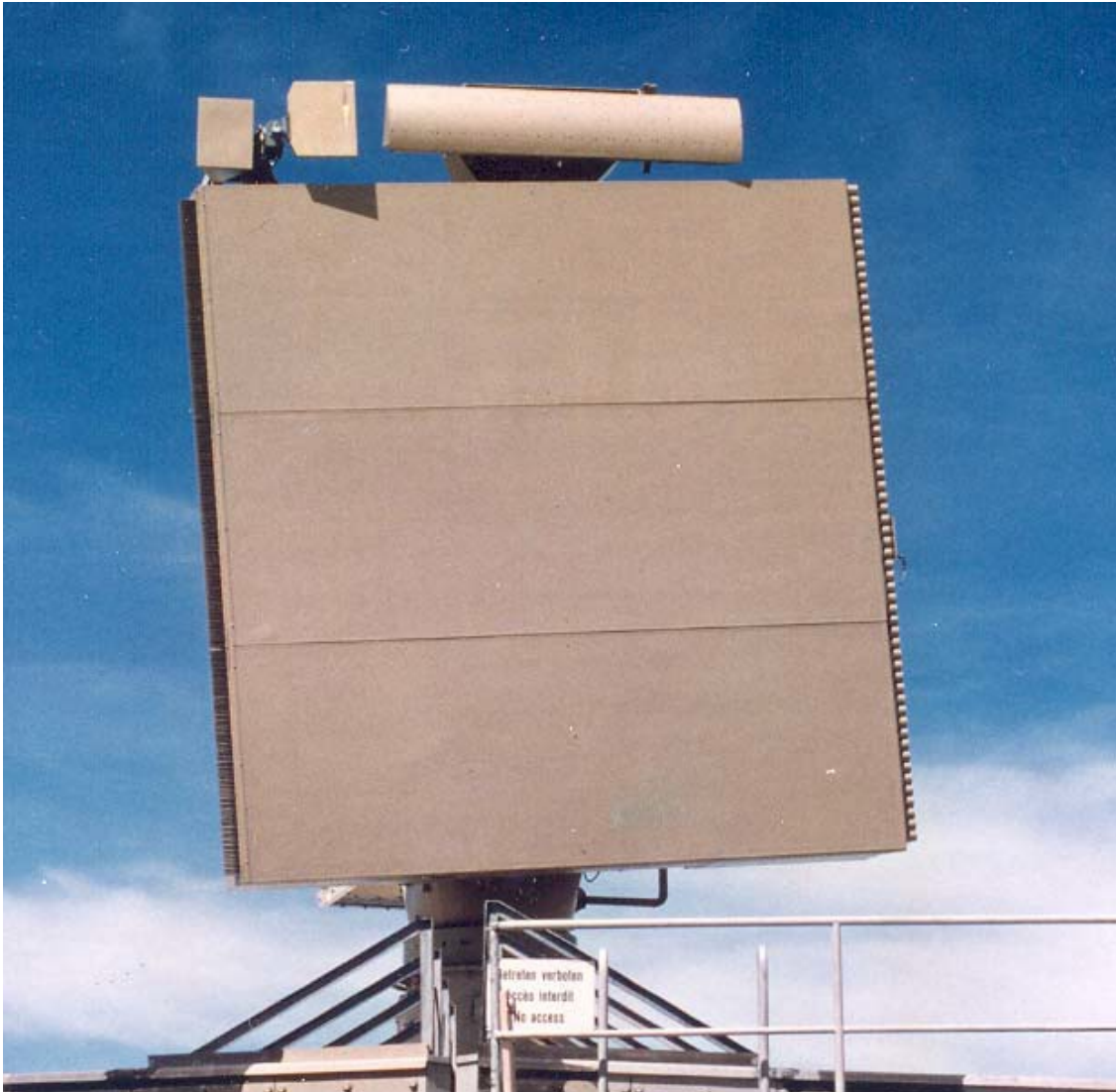
Der mäanderförmige „Sinus-Feed“ wirkt als Phasenschieber



Aus der Addition der einzelnen Phasenfronten ergibt sich die Abstrahlrichtung:



Auf dem nachstehenden Foto ist das komplette Florida Antennensystem ersichtlich. Auf der Oberfläche der aus drei Teilen bestehenden Hauptantenne sind die Zirkular – Polarisatorplatten vormontiert. Am rechten Array - Rand ist der sog. Sinus - Feed erkennbar. Oben links befindet sich die SLS - Antenne mit der wegklappbaren Zirkularpolarisatorplatte. Oberhalb dem Array - Rand ist die originale Sekundärradarantenne angeordnet welche später durch eine mit höherem Gewinn ersetzt wurde.



**Antennen arbeiten in der Regel als reziprokes Gebilde die sowohl für das Aussenden wie auch für den Empfang der elektromagnetischen Wellen benutzt werden können!**

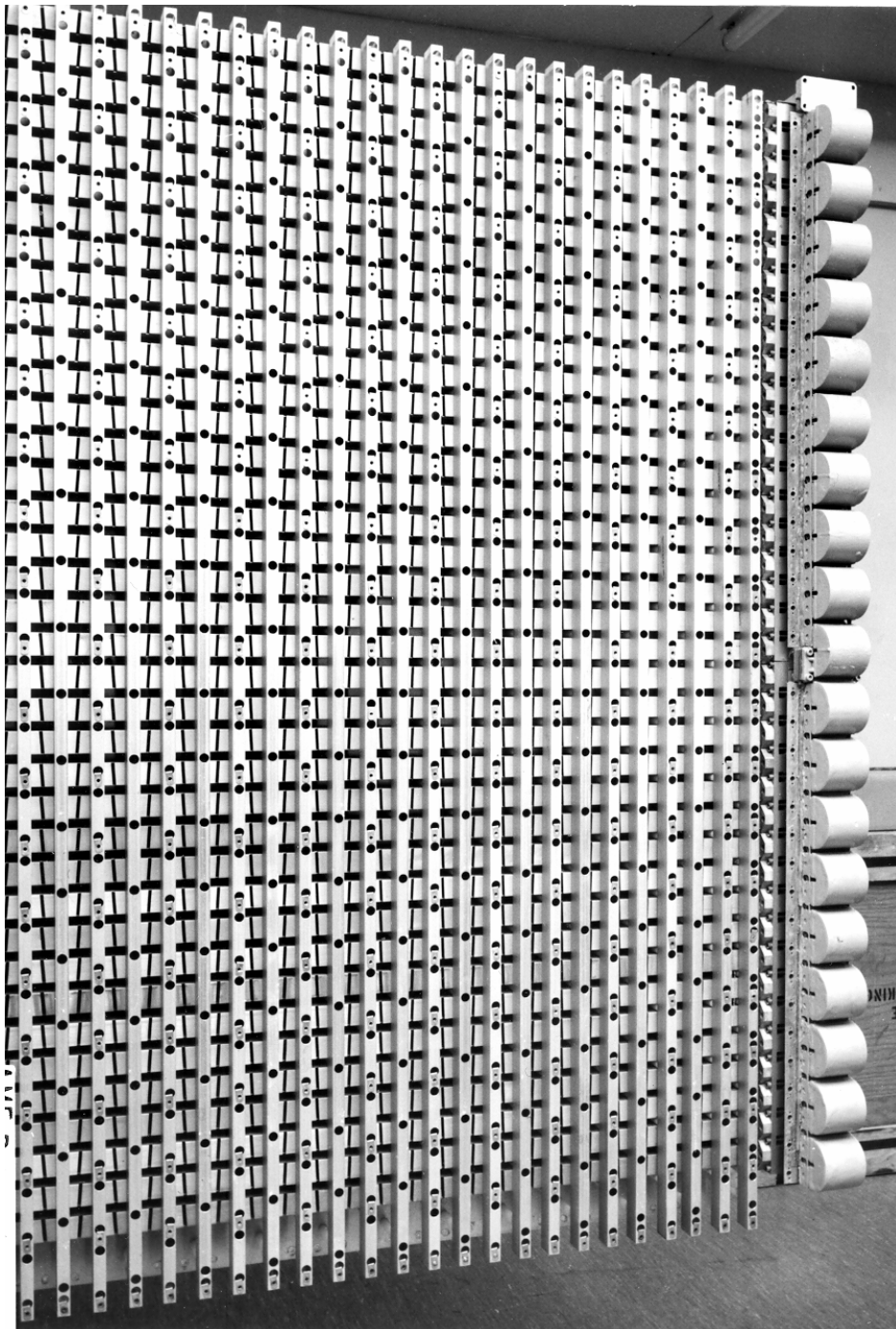
Die Uebertragung der Sendeenergie zur rotierenden Antenne sowie der Empfangsenergie zurück zum Empfänger erfolgt über eine Drehkupplung (Rotary Joint). Beim Florida-Radar wurden wegen der hohen Sendeleistung extreme Anforderungen an diese Rotary Joint gestellt. Infolge der relativ geringen Innenabmessungen (1.87" x 0.87") der für das C-Band benützten WR-187 Wellenleiter traten bei der Uebergängen vom festen zum rotierenden Teil der Rotary Joint häufig elektrische Ueberschläge auf. Zudem musste die Verlustleistung anfänglich mit einem Flüssigkeitskühlsystem abgeführt werden. Während den Abnahmetests eskalierten die gegensätzlichen Auffassungen betreffend deren Zuverlässigkeit, unter starkem Druck entschloss sich Hughes letztlich für eine Neuentwicklung der Rotary Joint.



Das nebenstehende Photo zeigt die Seitenansicht der Florida Antenne mit dem SLS-Antennenhorn. Die SLS - Polarisator ist, wie im Friedensbetrieb üblich, weggeklappt. Im unteren Drittel des Bildes ist der Kurbelantrieb der Nodding - Einrichtung ersichtlich mit dem die Antennen - Array als elektronische Gegenmassnahme eine Nickbewegung von ca. 20° ausführen kann.

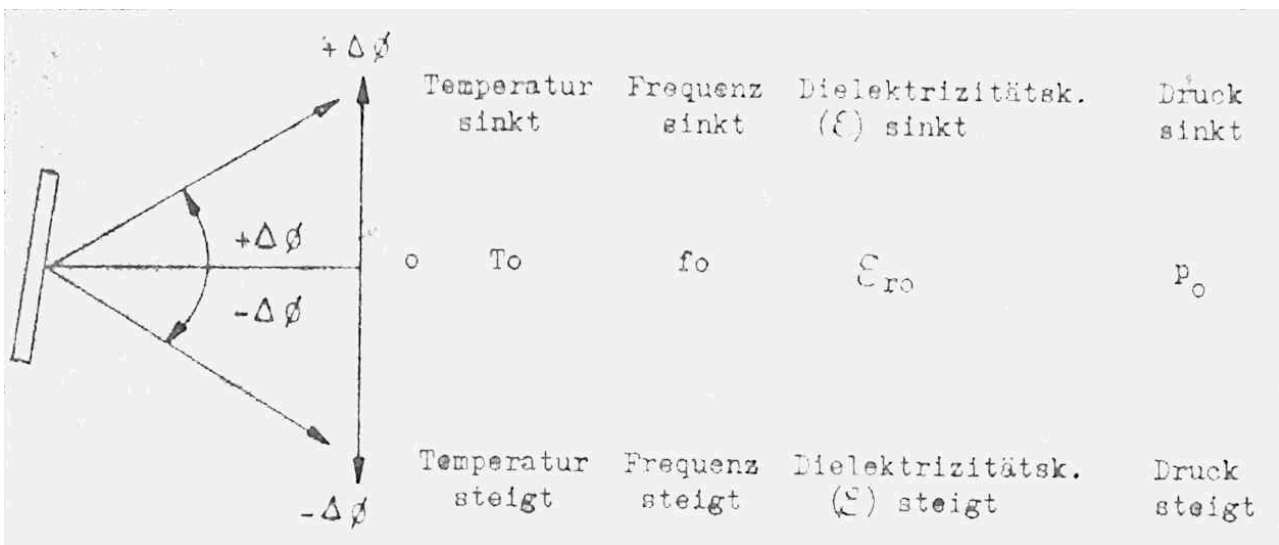


Das nachstehende Foto zeigt einen Abschnitt der aus drei Teilen bestehenden FLO-RIDA Antennen Array. Der Sinus Feed auf der rechten Seite welcher das eigentliche zentrale Bauteil der „Frequency Scanning“ Antenne darstellt, besteht aus sechs Abschnitten. Die Aufgabe des mäanderförmig aufgewickelten Phasenschiebers besteht darin eine linear zunehmende Phasenverschiebung für die Speisung der insgesamt 117 elektrisch angekoppelten Antennen – Sticks zu erzeugen. Auf den Antennen – Sticks sind 110 Radiator - Slots ausgefräst, welche die Energie in den freien Raum abstrahlen oder im Empfangsfall aufnehmen. Aus der Phasenfront die dabei entsteht wird der Pencil - Beams im elektromagnetischen Fernfeld des freien Raumes gebildet. Der Winkel gegenüber der Vertikalen welche die Slots aufweisen bestimmt die Stärke der abgestrahlten Leistung und damit die Leistungsverteilung auf der Array. Im Betrieb sind die Radiator - Slots durch einen aus dielektrischem Material bestehenden Radom gegen das Eindringen von Niederschlägen geschützt. Diesem vorge- lagert werden die Zirkularpolarisator - Platten montiert.



An die mechanischen Abmessungen des Sinus Feed werden hohe Genauigkeitsanforderungen gestellt, weil diese die Phasenverschiebung im Sinus - Feed beeinflussen. Die aus einer Leichtmetalllegierung bestehenden Sinus - Feed Teilstücke werden aus einer grossen Anzahl einzelner gebogener Wellenleiterstücke mit dem sog. „dip - brazing“ Verfahren zusammen gebacken. Da das weitgehend manuelle Fertigungsverfahren gewisse Abweichungen von den Sollabmessungen zur Folge hat, bilden sich Phasenfehler welche ein Ansteigen der Seitenkeulen in der Vertikalebene verursachen. Hughes versuchte Mitte der 60er Jahre mit einer Nachbehandlung mittels eines chemischen Aetzverfahrens die Phasenfehler zu reduzieren.

Die vertikale Abstrahlrichtung des Pencil - Beam wird durch die Arbeits-Frequenz, Temperatur, DK der Gasfüllung und den Druck im Sinus - Feed bestimmt. Zur Vermeidung von elektrischen Ueberschlägen wird das Wellenleitersystem inklusiv der Sinus Feed mit dem Schutzgas Freon TF - 116 gefüllt. Die Abhängigkeit der vertikalen Beam - Lage von den verschiedenen Parametern geht aus der nachfolgenden Darstellung hervor.



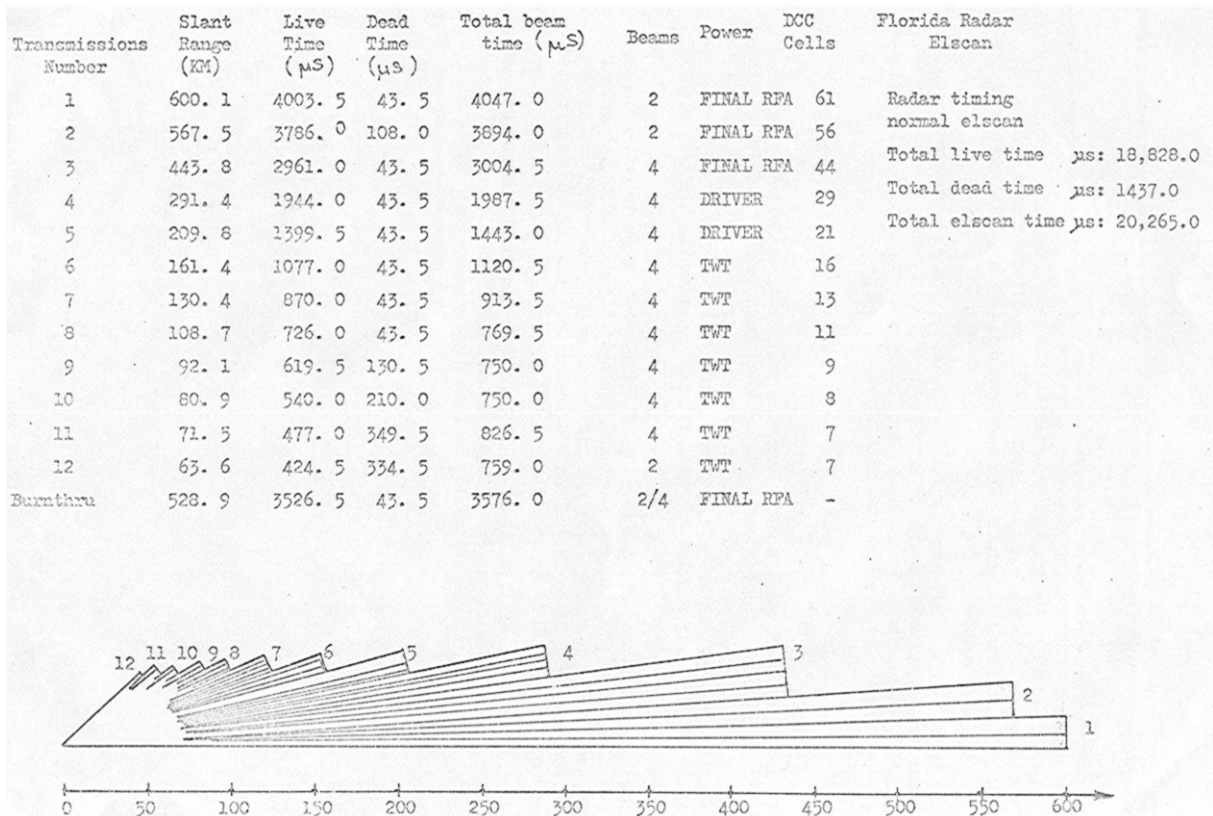
Infolge zeitweiliger Lieferschwierigkeiten der USA für das Schutzgas Freon TF - 116 während den Nahost - Kriegen wurde in den frühen siebziger Jahren nach Alternativen für dieses sehr teure und schwierig zu beschaffende Gas gesucht. Nach längeren Versuchen fand man eine bedingte Ersatzlösung durch eine **Stickstoff N<sub>2</sub>** Füllung.

Allerdings musste dabei die Sendeleistung um ca. die Hälfte reduziert werden, was sich nachteilig auf die Radarerfassung auswirkte. Zudem hatte die veränderte DK beim Wechsel von Freon 116 auf Stickstoff N<sub>2</sub> zur Folge, **dass der vertikale Abstrahlwinkel des Pencil - Beam um ca. + 0.5° angehoben wurde**. Dies konnte mit einer Software - Korrektur in der Höhenberechnung kompensiert werden. Als Massnahme gegen die hohe Empfindlichkeit des C - Band Frequenzgebietes für Wetter - Echos wurde bei der Antenne des Florida Radars Zirkularpolarisation angewendet.

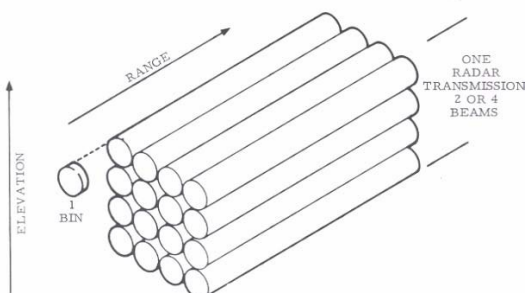
Weil die Regentropfen im Gegensatz zu Flugzeugen als symmetrische Ziele wirken, können diese durch die Zirkularpolarisation um ca. 15 - 20 dB abgeschwächt werden. Obschon sich die Energie der Zielechos durch die Zirkularpolarisation auch um ca. 6dB reduziert, wird dieser Nachteil letztlich durch die starke Abschwächung der Niederschlagsechos bei der Erfassung von Flugzielen gemildert.

Als Zirkularpolarisatoren wurden bei der Florida Antenne  $\lambda/4$  Platten verwendet, welche aus einem dielektrischen Trägermaterial bestehen, in dem parallele Metall - Lamellen in Abständen einer  $\lambda/4$  Wellenlänge angeordnet sind.

### Aufbau des Florida Elscan



- Die genauen Werte der vertikalen Strahlauslenkung sowie der eigentlich unerwünschten parallel dazu auftretende horizontale Schiefehler (Squint Deviation) werden vom Hersteller in Funktion der Frequenz Variation auf dem Antennen – Messplatz in elektrischen Fernfeld vermessen.
- Diese Werte sind für die verschiedenen Antennen infolge unvermeidlicher Fabrikationstoleranzen unterschiedlich. Sie werden in einer umfangreichen Adaptationsdaten - Sammlung zusammengestellt und individuell mit jeder Antenne mitgeliefert. Für die Berechnung der genauen Zielkoordinaten bei der Radarerfassung werden diese Adaptationsdaten berücksichtigt sie sind für diesen Zweck in der Rechner Software der Radarstation enthalten.



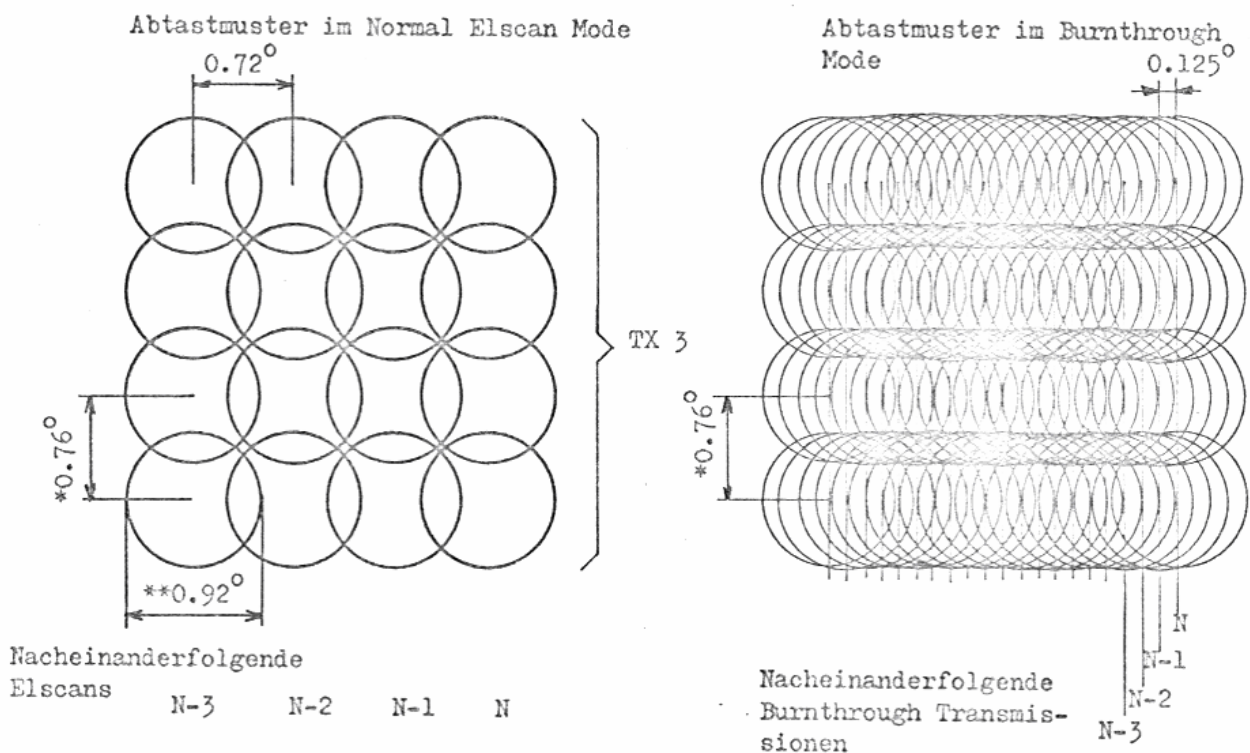
Um das erforderliche Zeitbudget einzuhalten erfolgt die Aussendung der 42 unterschiedlichen Frequenzen in 12 zeitlichen Paketen (Transmissionen). Wobei jede Transmission mit zwei oder vier Sub - Impulsen beginnt die mit unterschiedlicher Frequenz mit einem zeitlichen Abstand von je einer Sub - Impulsbreite ausgesendet werden.



Die Antennen-Array rotiert dabei gleichförmig mit 6 U/min. Während der ca. 10 Sekunden dauernden Umdrehung tastet der Frequency - Scanner den Raum mit ungefähr 500 Elscan ab. Innerhalb eines Elscan's ändert der Azimutwert um ca. 0.7°. Es resultiert daraus ein sich in den -3dB Regionen der Strahlungskeulen leicht überlappendes Abtastmuster.

Als Gegenmassnahme gegen aktive oder passive elektronische Störungen gedacht, verfügt das Florida Radar zusätzlich zum Elscan über den sog. Burnthrough - Mode. Im Gegensatz zum Elscan - Mode wird dabei die Sendeenergie in einem begrenzten Azimut - Sektor konzentriert. Es können 18, 22, 36, 48, oder 64 periodische mit einer PRF von ca. 280 Hz in einen beliebigen Azimutsektor gesendet werden. Vor und nach diesem Sektor arbeitet der Radar im normalen Elscan - Mode. Im Burnthrough - Mode wird die Trefferzahl auf das Radarziel erhöht und dadurch die Wahrscheinlichkeit einer Detektion wesentlich verbessert.

Beispiel: TX 3 Antenne Ser.Nr. 5



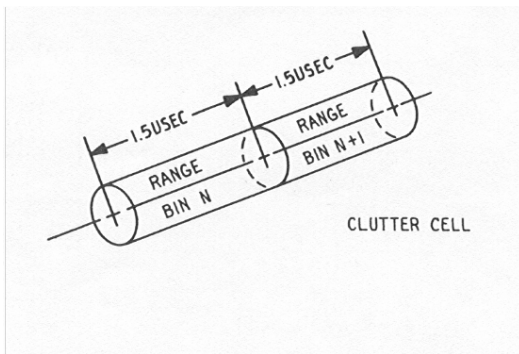
### Impulskompression beim FLORIDA Radar

Wie bereit eingangs erwähnt, musste die anfänglich vorgesehene Sendeleistung wegen „Arcing“ im Hohlleitersystem von 4 auf 2.4 Megawatt reduziert werden. Um die für das Gesamtsystem erforderliche Radar - Performance dennoch zu erreichen, war es erforderlich die Leistungsreduktion durch eine andere technischen Massnahmen zu kompensieren.

Die Möglichkeit einer weiteren Senkung der Empfänger Rauschzahl bei den Tunnel-dioden – Vorverstärker des Empfängers unter den Wert von 5 dB war damals aus Stabilitätsgründen weder sinnvoll noch erwünscht.

Die Wahl fiel daher auf ein Pulskompressions-Verfahren das die Verlängerung der ausgesendeten Sub-Impulse auf 18 µs für die zwei Beam und auf 9 µs für die vier Beam Transmissionen ermöglichte.

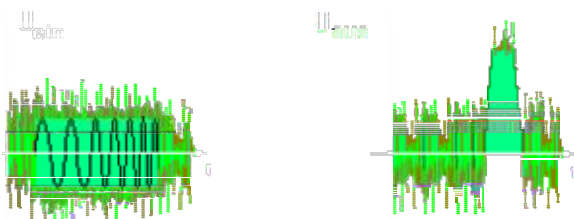
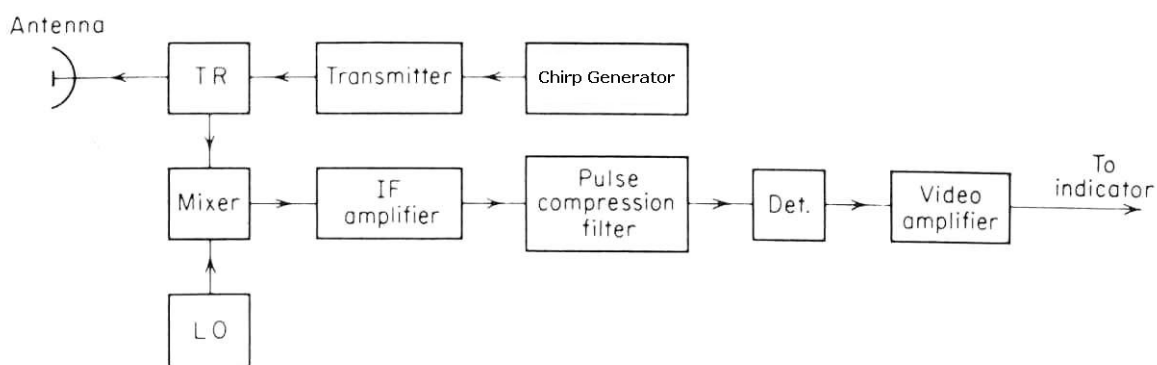
Mit dieser Massnahme konnte die ursprüngliche budgetierte Sendeimpuls - Energie (Produkt aus Leistung und Zeit) **von 80 Joule pro Transmission** erreicht werden. Wie im vorigen Abschnitt bereits erläutert, erlaubt das beim Florida-Radar gewählte Abtastverfahren keine Dopplerverarbeitung. Das Radarsystem verfügte daher über keine Auflösung im Geschwindigkeitsbereich, welche das Unterscheiden der bewegten Radarziele von den Standzeichen ermöglicht hätte. Zum Unterscheiden von echten Radarzielen welche von Flugobjekten stammen, gegenüber den Standzeichen (**Clutter**) von Boden- und Wetterechos müssen daher bei der Zielmusteranalyse im Videoextraktor räumliche Kriterien d.h. die Ausdehnung in Azimut, Elevation und Entfernung angewendet werden.



Hierbei ist es von ausschlaggebender Bedeutung, dass die räumliche Auflösung der kleinsten vom Radar erfassbaren Raumelemente (Clutter - Zelle) möglichst hoch ist. (siehe nebenstehende Figur) Die winkelmässige Auflösung wird durch den Pencil - Beam bestimmt und ist somit ein Produkt der Antennenabmessung und der Wellenlänge.

Die entfernungsässige Auflösung ist abhängig von der zeitlichen Dauer des Sendeimpulses, der Bandbreite des Empfangssystems sowie dem Pulskompressions - Verhältnis. Für den Florida - Radar wurde eine komprimierte Pulsbreite von  $1.0 \mu\text{s}$  gewählt. Durch die Wahl von  $1.5 \mu\text{s}$  Schritten (Range Bin) bei der Digitalisierung wurde jedoch die Entfernungsauflösung auf 225 Meter festgelegt.

- Beim gewählten Pulskompressions - Verfahren kommt sendeseitig eine lineare Frequenzmodulation mit ca. 1 MHz Frequenzänderung (Chirp) pro Subpuls zur Anwendung. Empfangsseitig wird die Frequenzänderung des Subpulses mit Hilfe eines dispersiven Filters in den Zeitbereich rücktransformiert (Fourier - Transformation) wobei bei gleichbleibendem Produkt aus Leistung und Zeit, die Zeit komprimiert wird und daraus ein Gewinn an Leistung resultiert (siehe nachstehendes Prinzipschema).

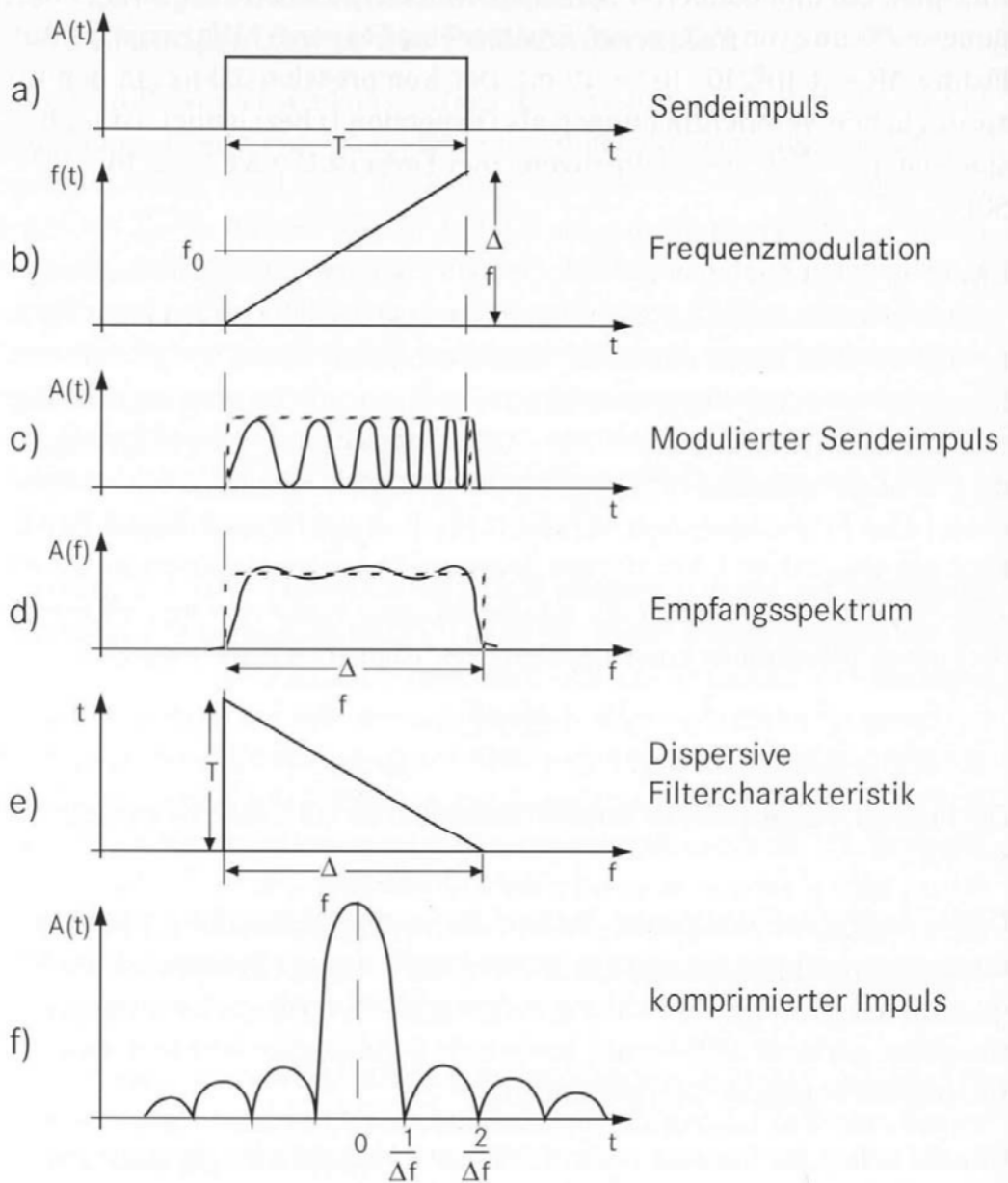


Das Signal links zeigt die lineare 1 MHz Frequenzmodulation (Chirp) auf dem ZF - Signal eines reflektierten Radarzieles, die Figur rechts zeigt das in der Zeit auf  $1.0 \mu\text{s}$  komprimierte Videosignal.

Bereits in den 40er Jahren wurde erkannt, dass sich das Auflösungsvermögen eines Sendesignals letztlich nicht nur von seiner Dauer sondern auch von seiner Bandbreite abhängt. So entwickelte sich das Verfahren der analogen Pulskompression bei dem der Sendeimpuls eine zusätzliche Frequenzmodulation erhält. Radars dieser Art wurden als „Chirp Radars“ bezeichnet. Die Entwicklung erfolgte ab 1947 bei den Bell Telephone Laboratories in den U.S.A. Versieht man einen rechteckförmigen Sendeimpuls mit einer linearen Frequenzmodulation  $\Delta f$ , so ist sein Auflösungsvermögen im Zeit- bzw. Entfernungsbereich gegeben durch

$$\Delta R < \frac{c}{2 \Delta f}$$

$\Delta R$  Entfernungsauflösung  
 $\Delta f$  Modulationshub  
 $c$  Lichtgeschwindigkeit ( $3 \times 10^8$ )



Prinzip der analogen Pulskompression

Beispiel: Ein unmodulierter Sendepuls von 9  $\mu$ s Dauer weist eine Entfernungsauflösung von 1350 m auf. Enthält er eine Frequenzmodulation von 1 MHz, so ist die Auflösung:

$$\Delta R = 3 \times 10^8 / 2 \times 10^6 = 150 \text{ Meter}$$

Der Kompressionsfaktor, in den Bell Lab Veröffentlichungen mit D bezeichnet, ist im Beispielsfall  $D = 1350 / 150 = 9$ , in allgemeiner Form ist  $D = \Delta f \times T = 1 \times 10^6 \times 9 \times 10^{-6} = 9$

Das Prinzip der analogen Pulskompression ist in den Abbildungen a...f auf der vorhergehenden Seite dargestellt. Der rechteckförmige Sendepuls der Dauer T (a) wird mit einer linearen FM mit dem Frequenzhub  $\Delta f$  versehen (b), den Verlauf des modulierten Sendepulses im Zeitbereich zeigt (c). Das Spektrum des empfangenen Signals ist bei genügend großem D ( $> 20 \dots 30$ ) annähernd rechteckförmig, jedoch sind die einzelnen Frequenzanteile zeitlich gegeneinander, entsprechend dem Modulationshub verzögert (d). Das empfangene Signal durchläuft ein dispersives Filter, dessen frequenzabhängige Verzögerung invers zum Modulationshub ist (e). An seinem Ausgang bildet sich der im Zeitbereich Fourier - transformierte komprimierte Puls des Rechteckspektrums (f).

Das untenstehende Foto zeigt den in einer temperaturstabilisierten Umgebung betriebene Chirp Generator des Florida Radar Pulskompressionssystems in geöffnetem Zustand. Um die erforderliche Frequenzstabilität zu gewährleisten, wird die Innentemperatur des Gehäuses im Betrieb durch ein proportional geregeltes Heizsystem auf ca. 60°C konstant gehalten.

Der Chirp Generator besteht aus den in der wärmeisolierten Box untergebrachten Untereinheiten: Function Generator, Voltage Controlled Oscillator, Quartz Oscillator / Phasendetektor, die zusammen einen Phase Lock Loop bilden. Das Ausgangssignal ist ein im Frequenzbereich von 29.5 - 30.5 MHz liegendes „Chirpsignal“ das zur Erzeugung der Florida Senderfrequenz benützt wird.





Das nachstehende Foto zeigt die empfangsseitige Ultraschall - Verzögerungsleitung und den erforderlichen Treiber – Verstärker zur Kompensation der Leitungsdämpfung. Das vom Radar empfangene Signal durchläuft die Verzögerungsleitung welche als dispersives Filter wirkt. Die frequenzabhängige Verzögerung ist invers zum Modulationshub des Chirp Generators.

Am Ausgang der Verzögerungsleitung bildet sich der im Zeitbereich Fourier – transformierte komprimierte Puls des Rechteckspektrums (f).



Die als dispersives Filter wirkende Verzögerungsleitung wurde ursprünglich ebenfalls vom Bell Laboratory entwickelt.

**Die Ultraschall Verzögerungsleitung besteht aus einem helixförmig aufgewickelten Aluminiumband mit Bariumtitanat – Schwingern an den beiden Enden.**

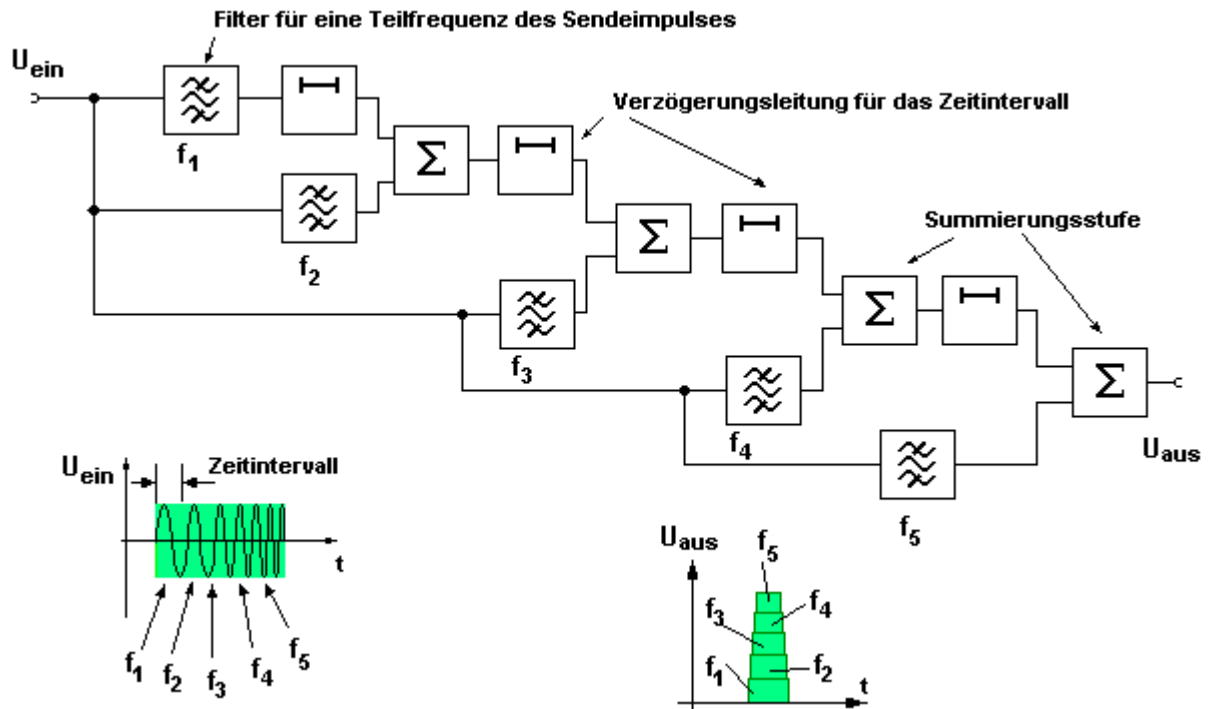
Die Schwinger sind an den Enden parallel zur Längsachse angeordnet und die Verzögerungsleitung schwingt auf dem ersten Longitudinal - Mode, welcher ein dispersives Verhalten aufweist. Die Zentrumsfrequenz beträgt 30 MHz und die dispersive Bandbreite 1 MHz. Die Verzögerung auf der Zentrumsfrequenz von 30 MHz beträgt 66 μs und die interne Dämpfung liegt bei 25 dB. Da die Funktion der Verzögerungsleitung ebenfalls stark temperaturabhängig ist, wird die Temperatur im Betrieb durch eine elektrische Heizung ebenfalls auf 60°C konstant gehalten.

- **Der leistungsmässige Gewinn beträgt für die:**

$$\text{Zwei Beam Transmission } 10 \times \text{Log} \left( \frac{18}{1.0} \right) = \text{ca. } 24.5 \text{ dB, effektiv } 12.34 \text{ dB}$$

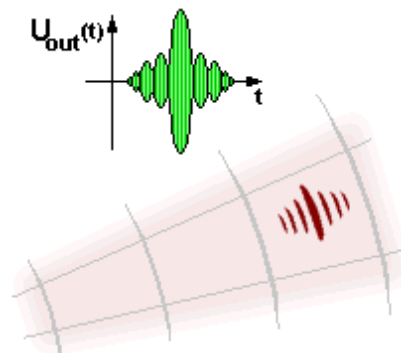
$$\text{Vier Beam Transmission } 10 \times \text{Log} \left( \frac{9}{1.0} \right) = \text{ca. } 9.5 \text{ dB, effektiv } 9.34 \text{ dB}$$

## Puls Kompression mit linearer Frequenzmodulation



- Physikalisch bedingt entstehen bei der Fourier - Transformation sog. Time - Sidelobes deren stärkste nur ca. 14 dB unter den komprimierten Echosignalen liegen. Da diese bei der Zielverarbeitung zu Falschzielen führen würden, müssen diese durch ein relativ aufwendiges digitales Filterverfahren, die sog. „Time Side Lobe Suppression“, eliminiert werden.

Time-Sidelobes welche bei der Puls-Kompression entstehen



## FLORIDA Radarsender

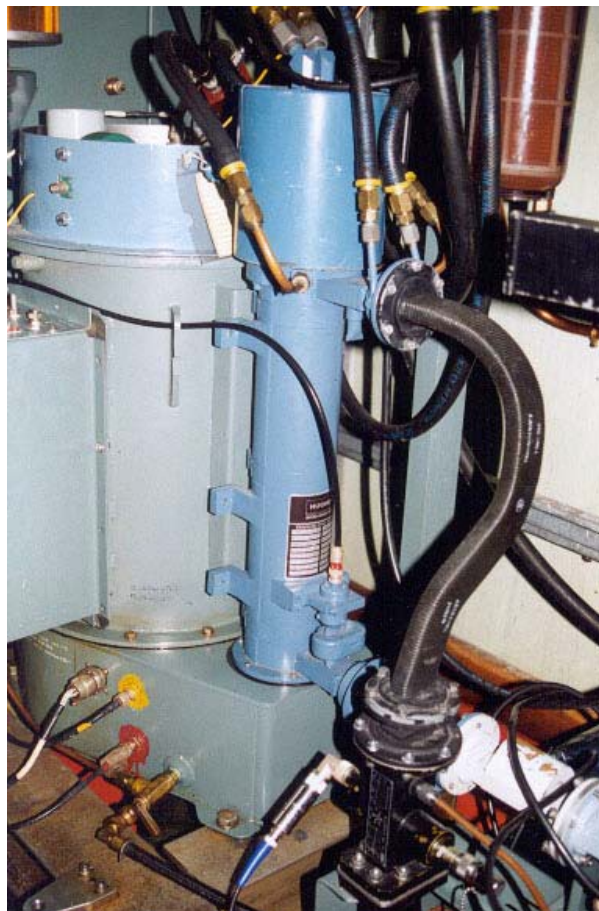
Der Radarsender verfügt vom Konzept her über eine gewisse Flexibilität bezüglich der Sendeleistung - Steuerung (Power-Management).

Der Sender arbeitet nach dem **Masteroscillator - Power Amplifier (MOPA)** Prinzip als Verstärkerkette. Als Masteroscillator kommt ein Frequency Synthesizer mit direkter analoger Frequenz - Synthese zur Anwendung wobei die Steuerung durch einen festprogrammierten Hardware - Prozessor erfolgt.

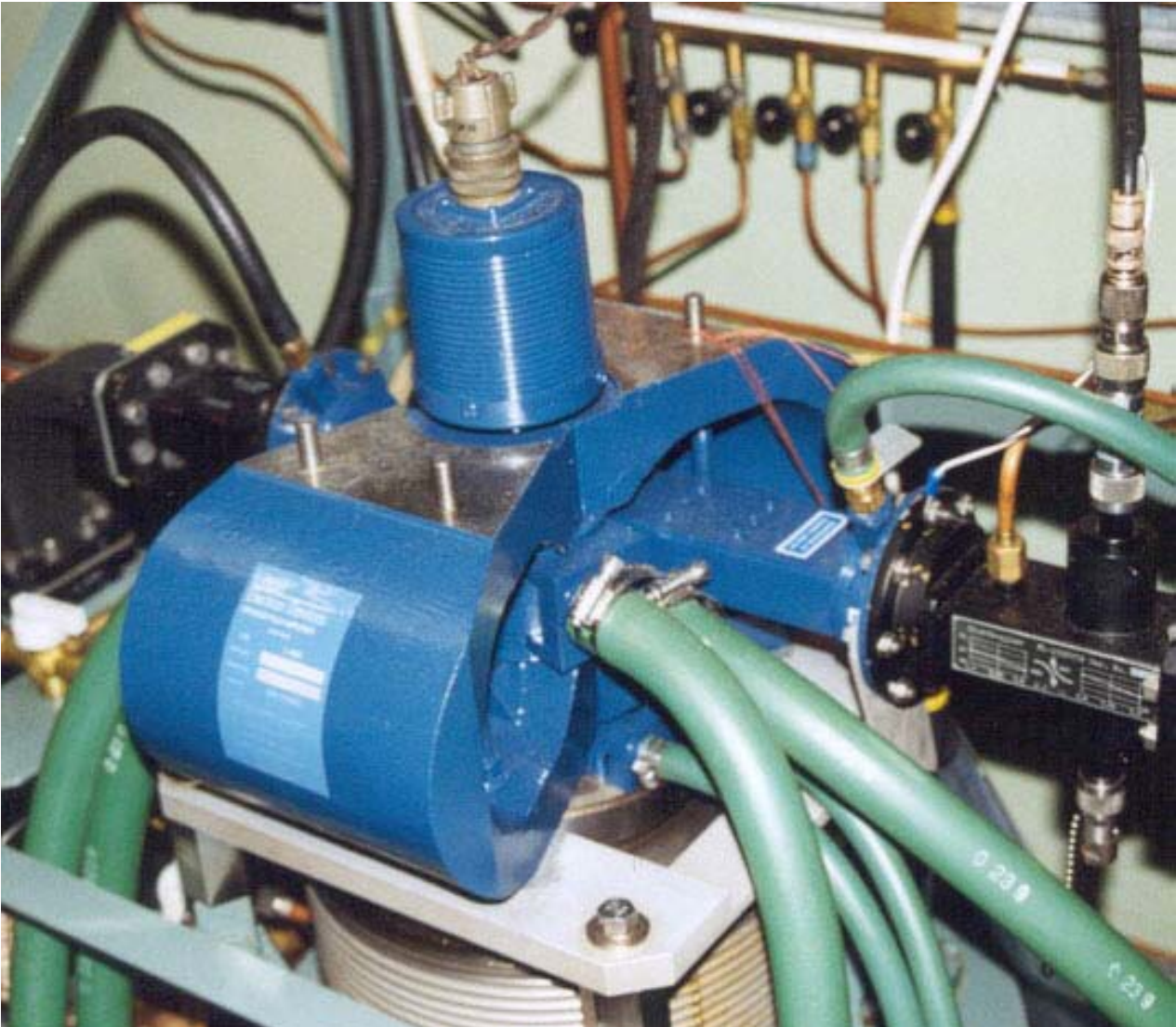
Die vertikale Lage des Pencil - Beams wird neben der Frequenz auch durch die Temperatur des Phasenschiebers (**Sinus - Feed**) der Antenne bestimmt. Infolge der hohen Sendeleistung von 12 kW muss das Wellenleitersystem zur Vermeidung von "**arcing**" mit dem **Schutzgas Freon 116** gefüllt werden. Die dielektrischen Verluste der Gasfüllung haben zur Folge, dass sich der Sinus - Feed um ca. 40 – 50° C gegenüber der Umgebungstemperatur erwärmt. Bei der Erzeugung der 42 für den Elscan erforderlichen Sendefrequenzen muss daher die Antennen - Temperatur mitberücksichtigt werden. Zur Stabilisierung der vertikalen Lage des Elscans korrigiert ein am Sinus - Feed befindlicher Temperatursensor über einen Servokreis die jeweilige Arbeitsfrequenz des Radars in 1.5 MHz Schritten.

**Die Erzeugung der Sendeleistung erfolgt in vier Verstärkerstufen von denen die ersten beiden mit Hughes Traveling Wave (TWT) Röhren bestückt sind. Die Leistungs - TWT Röhre 622H der zweiten Stufe (siehe nachstehende Figur) erzeugt bereits eine Ausgangsleistung von ca. 75 kW.**

**Anfänglich verursachte die von Hughes hergestellte 622H Röhre wegen ihrer kurzen Lebensdauer grosse Probleme. Mit einer aufwendigen Nachentwicklung gelang es Hughes schlussendlich die Vakuum - Probleme, welche zum vorzeitigen Defekt der Röhren geführt hatten, zu beheben.**



Die nachfolgende 3.Stufe mit der Raytheon Cross Field Amplifier (CFA) Röhre QKS-1343 erzeugt eine Leistung von ca. 450 kW. Die seitlich angeschlossenen grünen Schläuche dienen dem Flüssigkeitskühlsystem, das die Verlustleistung der Röhre abführen muss. Der dünnere grüne Schlauch kühlt das ebenfalls verlustbehaftete keramische Auskopplungsfenster der CFA.

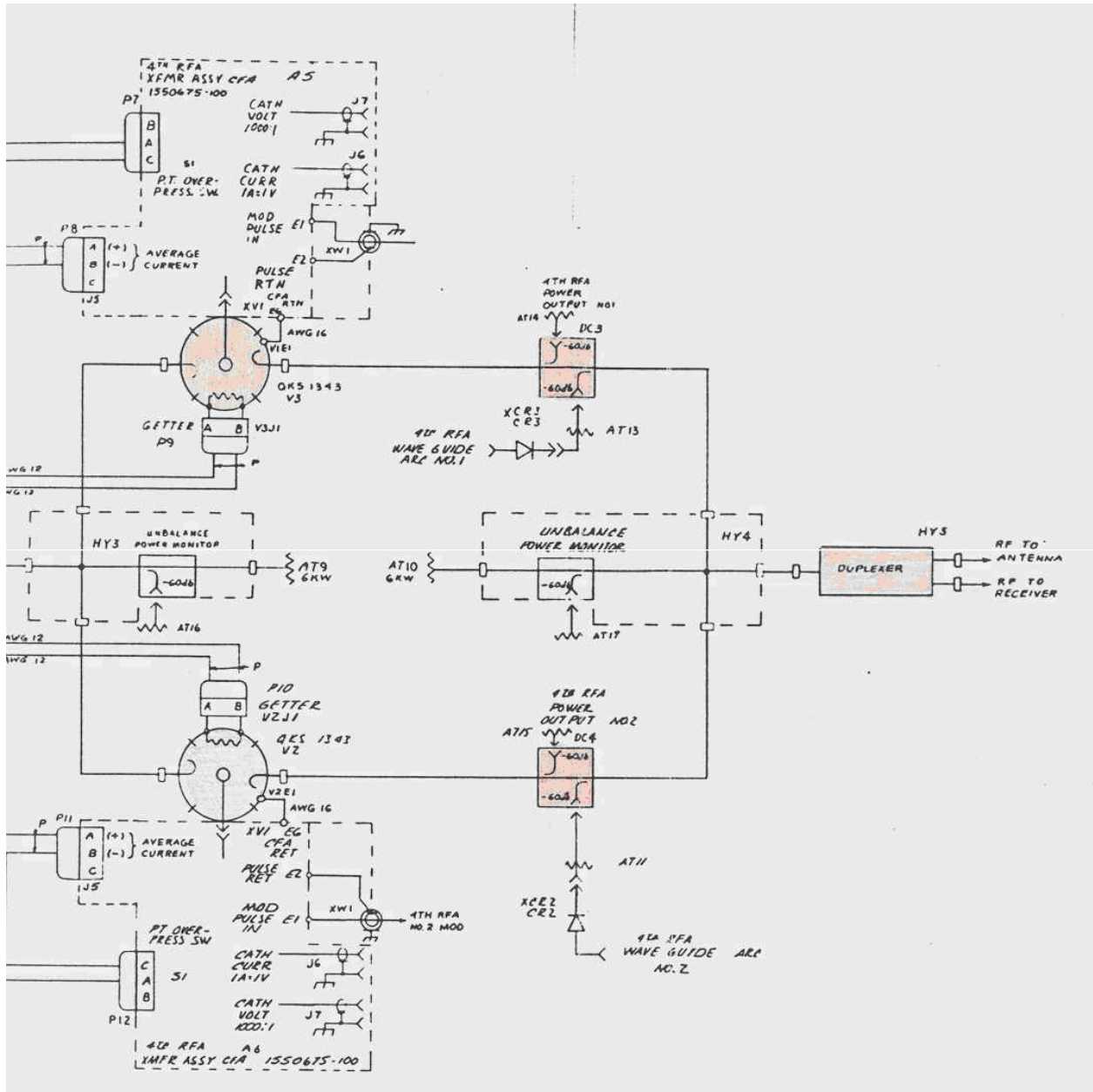


Die von Hughes noch in der Vorprojekt-Phase mit dem LW-3 Radar durchgeführten Versuche hatten gezeigt, dass die für das Florida-Radar erforderliche mittlere Sendeleistung von 12 kW, mit nur einer der damals für das C-Band zur Verfügung stehenden **QKS-1343** CFA-Röhren, nicht zu erreichen war.

Seit den frühen sechziger Jahren waren jedoch Senderanordnungen bekannt geworden welche mit zwei oder mehr Verstärkerröhren im Verbund arbeiteten. Für das Kombinieren der Ausgangsleistungen von mehreren Verstärkerröhren wurden Hybride oder sog. Magic - T verwendet. Sofern die Ausgangsleistungen der einzelnen Verstärker identisch sind und mit gleicher Phasenlage in das Hybrid oder Magic - T eingespielt werden, so fällt am Ausgang theoretisch die Summe der einzelnen Leistungen an. Besteht zwischen den Verstärkern eine leistungs- oder phasenmässige Unbalance, so reduziert sich die kombinierte Leistung und die Differenz muss in einer Kunstlast in Wärme umgesetzt werden.



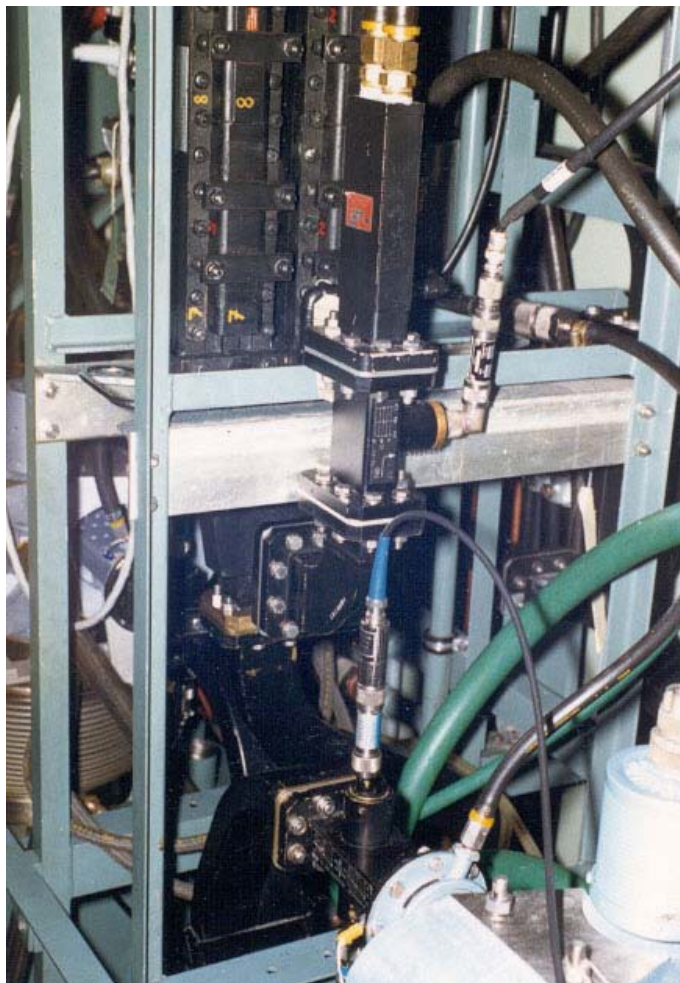
Um die Pflichtenheft - Forderung des Florida-Systems zu erfüllen, musste für die 4. Stufe des Senders eine derartige Kombination der Ausgangsleistungen angewendet werden. Die nebenstehende Figur zeigt die Realisierung dieses Verbundes mit den zwei QKS-1343 Cross Field Amplifiers (CFA) V3 und V4. Die beiden CFA's werden über das Wellenleiter - Hybrid HY3 phasengerecht aus der 3. Senderstufe angesteuert. Das Kombinieren der Ausgangsleistungen der beiden CFA-Verstärker muss dabei wiederum phasenrichtig im Power - Combiner HY4 erfolgen.



Das Foto auf der nächsten Seite zeigt den Power Combiner HY4 mit dem teilweise aufgeschnittenen Wellenleiter. An den gegenüberliegenden Wellenleiterflanschen werden die Ausgangsleistungen der beiden QKS-1343 CFA's eingespiesen. Die kombinierte Leistung erscheint am unteren Wellenleiterflansch. Besteht eine phasen- oder leistungsmässige Unbalance zwischen den beiden CFA's, erscheint die Differenzleistung am seitlichen Wellenleiterflansch und wird in einer Kunstlast in Wärme umgesetzt. Am Koaxialstecker wird mit einem Power Meter die Differenzleistung gemessen. Das Justieren der Phase der beiden CFA's am Power - Combiner erfolgt durch Einsetzen unterschiedlicher Zwischenlagen (shims) zum Aendern der elektrischen Länge der Wellenleiter.

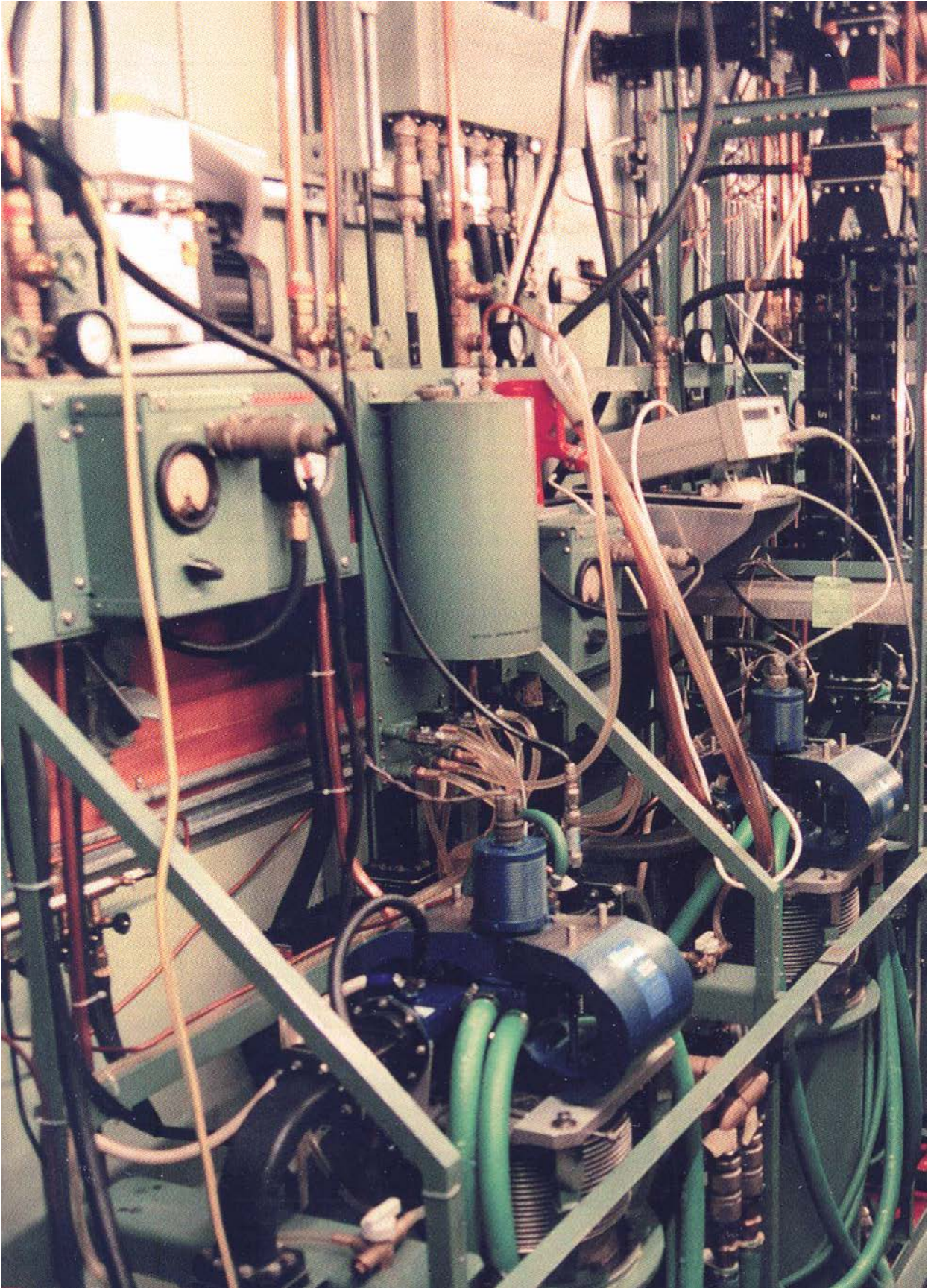


Die vierte Verstärkerstufe mit der die Endleistung von 2.4 MW erreicht wird, stellt mit den beiden im Verbund arbeitenden QKS-1343 CFA's Röhren eine technische Besonderheit dar. Der Parallelbetrieb erfordert eine sehr genaue phasenrichtige Ansteuerung und Leistungsauskopplung für die beiden CFA Röhren.

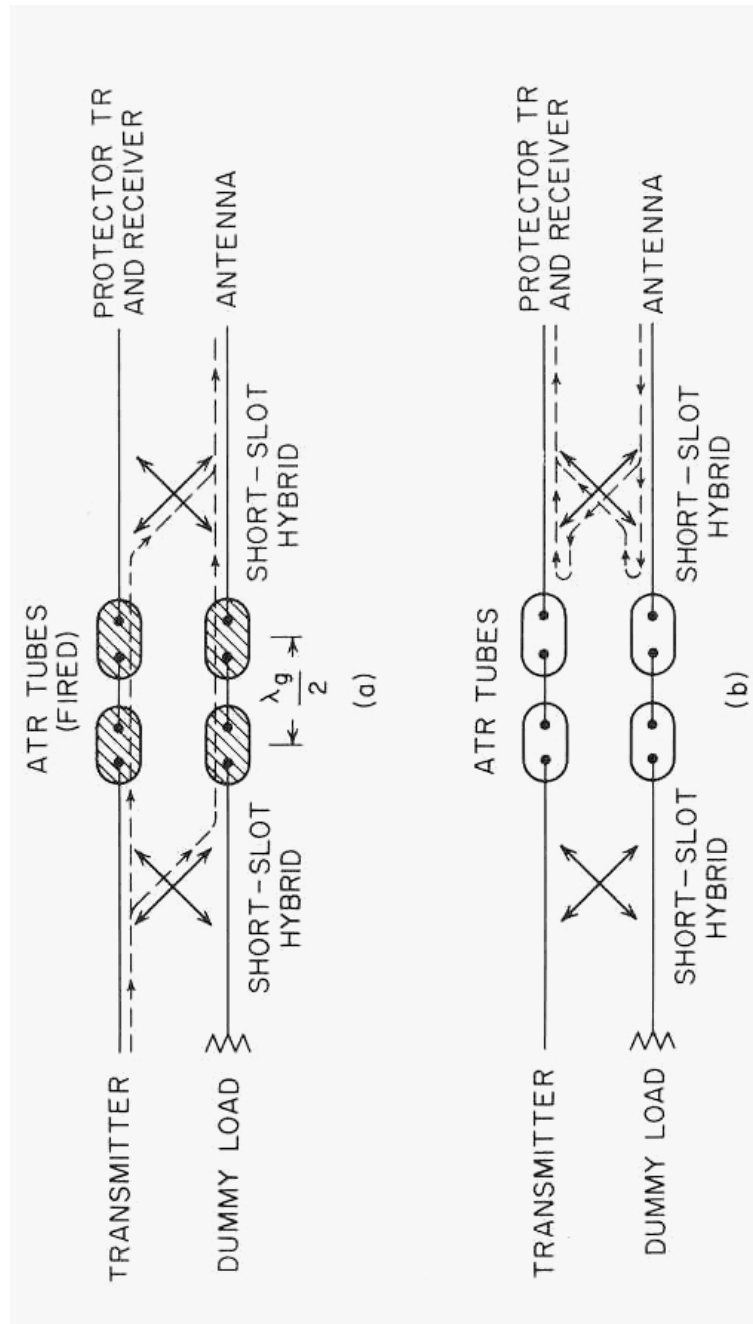




Das Foto zeigt die Florida Sender Endstufe, im Vordergrund ist die QKS -1343 CFA der 3. Stufe und rechts davon eine der beiden im Verbund arbeitenden QKS-1343 CFA's der 4. Stufe sichtbar.

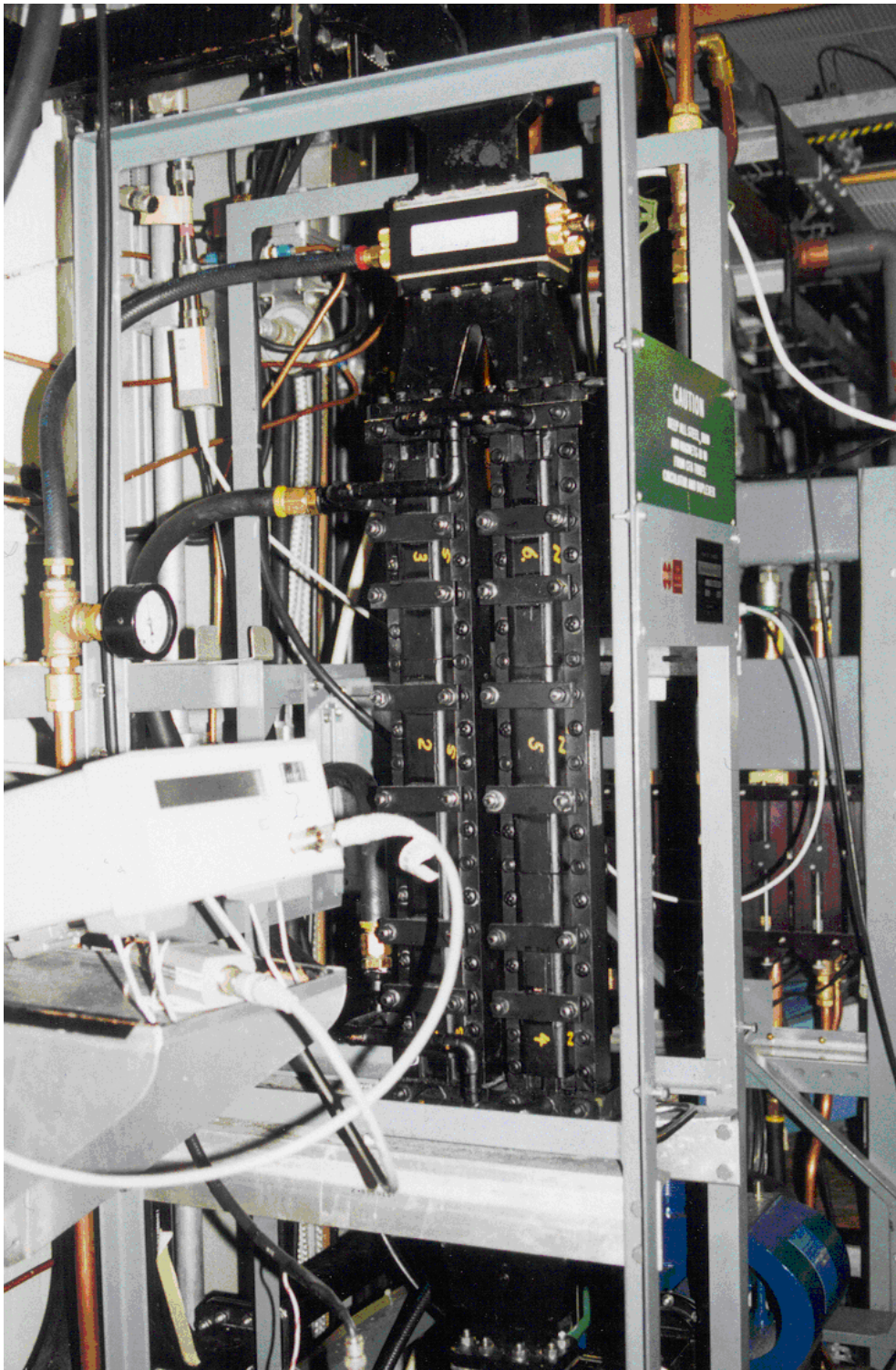


Die kombinierte Ausgangsleistung gelangt anschliessend in den Duplexer der die Aufgabe hat den Sende- und Empfangspfad, die zu und von der gemeinsamen Radarantenne führen gegeneinander zu separieren. Im Florida Radar wird wegen der hohen Durchschnittsleistung hierfür ein sog. „Balanced ATR - Cell Duplexer“ verwendet. „ATR - Cell Duplexer“ können höhere Sendeleistungen mit kleineren Verlusten bewältigen. Die Verluste wandeln sich in den ionisierten Gaszellen in Wärme um und diese muss mit einer Flüssigkeitskühlung abgeführt werden. Das Funktionsprinzip geht aus den nebenstehenden Figuren (a) und (b) hervor. Auf jede der ATR - Cell's wirkt während des Sendepulses nur die halbe Senderleistung. Die ATR - Cell's zünden hierbei und sperren den Pfad zum Empfänger. Im Empfangsfall stellen die gelöschten ATR - Cell's eine hohe Impedanz im Sendepfad dar, so dass das Signal in den Empfänger reflektiert wird.

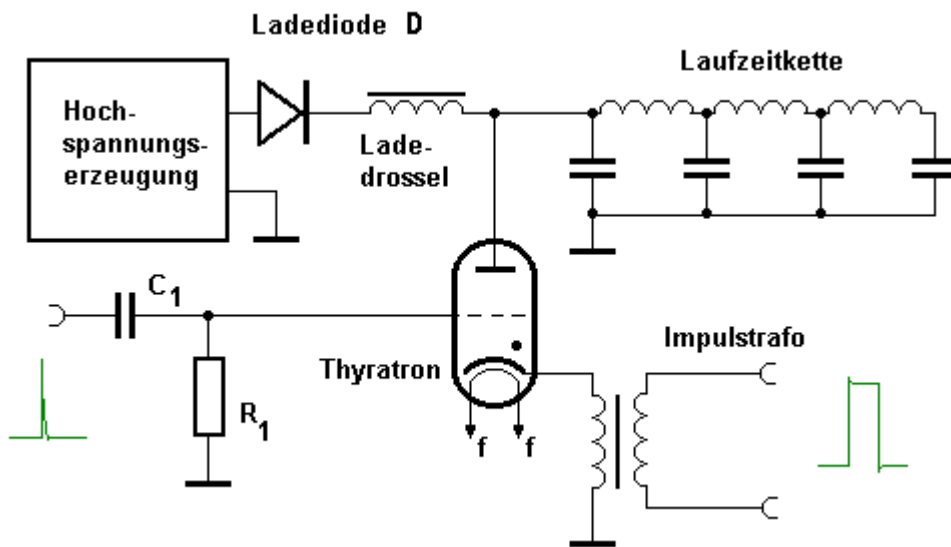




Das nachstehende Foto zeigt den Duplexer für die Trennung des Sende – Empfangspfad im Florida Radarsystem. Da die Florida „Frequency – Scanning“ Antenne systembedingt über die Bandbreite von 400 MHz ein hohes Stehwellenverhältnis (VSWR bis zu 1.8) aufwies, musste die 4. Senderstufe vor der zurückreflektierten Leistung (in der Größenordnung von 200 kW peak), isoliert werden. Dies erfolgt durch den „High Power Waveguide Ferrit – Circulator“ welcher mit starken Alnico VII Permanent - Magneten magnetisch polarisiert wird (siehe die vertikale mehrgliedrige Einheit). Im oberen Teil dieser Einheit schliesst sich der „ATR - Cell Duplexer“ mit den Gaszellen an. Die im „High Power Waveguide – Ferrit – Circulator“ und im „ATR - Cell Duplexer“ anfallende Verlustleistung wird durch das Flüssigkeitskühlsystem des Senders (siehe die beiden Schläuche) abgeführt.

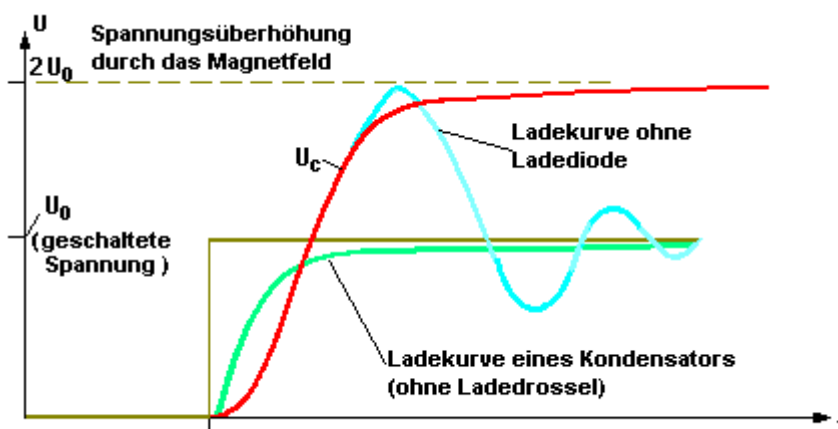


Für die Hochastung der einzelnen Senderstufen werden „Pulse Forming Networks“ (PFN's) oder zu deutsch Laufzeitketten als Energiespeicher verwendet welche über Thyratrons in die Primärseite der Impulstransformatoren entladen werden (siehe nachfolgendes Prinzipschema).



Der auf die Sekundärseite induzierte Hochspannungsimpuls wird in die Kathoden der TWT- oder CFA - Röhren eingespiesen. Für die Aufladung der Laufzeitkette wird die Resonanz des aus Ladedrossel und PFN - Kapazitäten gebildeten Serienschwingkreises ausgenutzt – die bei Resonanz anfallende Spannungsüberhöhung lädt die PFN auf ca. den doppelten Wert der eingespeisten Hochspannung auf. Die Hochspannungserzeugung des Modulators im Florida-System liefert 10kV und die Endspannung an der Laufzeitkette beträgt somit ca. 20kV. Für die Modulation der 4. Senderstufe ist eine Impulsleistung von ca. 8 - 10 Megawatt während 36  $\mu$ s erforderlich, hierfür wird eine gespeicherte Energie in der Laufzeitkette von ca. 350 Joules benötigt.

### Spannungsverdopplung im Ladekreis durch Serieresonanz





Als

Schalter im Entladeweg des Modulators gelangten Wasserstoff - Thyratrons zur Anwendung welche sich neben einer hohen Sperrspannung durch den sehr niedrigen Innenwiderstand im leitenden Zustand auszeichnen.

In den Florida - Modulatoren wurden bereits keramische Thyratrons (siehe nebenstehende Foto) verwendet welche eine Lebensdauer von einigen tausend Betriebsstunden aufweisen.

Um den Wasserstoff - Druck während der Lebensdauer konstant zu halten, verfügen die Thyratrons über ein internes Reservoir welches durch Anlegen einer separaten Heizspannung aktiviert wird.

Das relative grobe Sendeleistungs-Management in Schritten von ca. 10dB wird durch Zu- und Abschalten der vierten und dritten Verstärkerstufe ermöglicht. Diese dreistufige Leistungsanpassung erfolgt während dem Durchlaufen des Elscans automatisch, da die volle Sendeleistung von 2.4 Megawatt nur für die drei weitreichenden unteren Transmissionen des Elscans sowie für den Burnthrough - Mode erforderlich ist. Ebenso kann infolge der nach oben begrenzten Raumabtastung in den entfernungs-mässig kürzeren oberen Transmissionen (siehe Elscan - Figur) eine gestufte Leistungs - Reduktion erfolgen. Im Gegensatz dazu erfolgt zur Verbesserung der Flugweg - Qualität im Bedarfsfall eine automatische Leistungserhöhung für die in den oberen Transmissionen liegende Ziele (Power - Enhancement).

Die im Normalbetrieb starre Zuordnung der Beamlage zur Arbeitsfrequenz würde den Einsatz von aktiven elektronischen Störmassnahmen gegen Frequency - Scanning Radars erheblich erleichtern. Es wäre denkbar, dass ein anfliegender Aggressor mit einem schmalbandigen Bordstörsender den Radar infolge der andauernd gleichbleibenden Frequenz mit hoher spektraler Leistungsdichte stören könnte, so dass sein Anflug unentdeckt bliebe.

## Massnahmen gegen aktive elektronische Störungen

Als Gegenmassnahme verfügt das Florida-Radar über den sog. Nodding - Mode der Antenne. Die Antennen-Array führt dabei eine mechanische Nickbewegung von ca. 20° aus. Dies hat zur Folge, dass die starre Zuordnung der Beam - Lage zur Arbeitsfrequenz durch den Nickvorgang dauernd verändert wird, d.h. ein anfliegendes Ziel wird laufend mit unterschiedlichen Frequenzen angestrahlt.

Die mit dem Nodding - Mode erzielte Frequenz - Diversity beträgt ca. 200 MHz sie kann wahlweise mit einer Geschwindigkeit **von  $7/6^\circ$  oder  $7/12^\circ$  pro Sekunde** durchlaufen werden. Der Störer wird dadurch zur Ausstrahlung einer breitbandigen Störemission gezwungen, was infolge seiner limitierten Durchschnittsleistung zwangsläufig zu einer kleineren spektralen Leistungsdichte und damit zur Vergrösserung des **„self screening range“** der detektierenden Radarstation führt.

Das Florida Radar verfügt mit der sog. Jam - Strobe Erzeugung noch über eine weitere Massnahme gegen aktive Störer. Das Jam - Strobe Verfahren basiert auf einer passiven Peilung zur richtungsmässigen Lokalisierung von Off - Frequency Störsendern welches allerdings in der Radaranlage keine direkte Bestimmung der Störer - Entfernung erlaubt.

Sofern eine Uebertragung der Jam - Strobes von mehreren Radarstationen in die Einsatzzentrale erfolgt, kann durch eine Triangulation deren Schnittpunkt und damit die Position des Störers ermittelt werden. In der Figur auf Seite 32 ist die prinzipielle Wirkungsweise der Jam - Strobe Erzeugung dargestellt. Um bei der Peilung des Störers sicherzustellen, dass es sich bei der Verarbeitung um ein über die Hauptkeule der Radarantenne einfallendes Signal handelt, werden mit der **Sidelobe Blanking** Einrichtung allfällige über die Seitenkeule der Hauptantenne einfallende Signale durch die Komparator - Funktion eliminiert.

Erschwert wird das Jam - Strobe Verfahren durch allfällige Reflexionen des Störsignals an Nahhindernissen. Das Störsignal wird dadurch von der Hauptkeule mehrfach auf unterschiedlichen Azimutwerten empfangen. Eine Analyse zwischen echten und „Pseudo Jam - Strobes kann in einer derartigen Situation nur durch die manuelle Unterstützung (de - ghosting) des Systems durch einen Flugweg - Operator der Radarstation erfolgen. Bei der Evaluation der Radarstandorte ist es daher sehr wesentlich, dass sich in der Umgebung der Radarantenne keine Nahhindernisse wie Hügel, Felsformationen oder Antennen - Masten befinden.

Das Empfängersystem des Florida Radars basiert auf zwei parallelen nahezu identischen Verarbeitungskanälen, dem Hauptantennen- und dem Seitenkeulen - Hilfskanal. Beide Kanäle verfügen über „Low Noise“ Vorverstärker gefolgt von der anschliessenden doppelten Ueberlagerung (Doppel Superheterodyne - Prinzip).

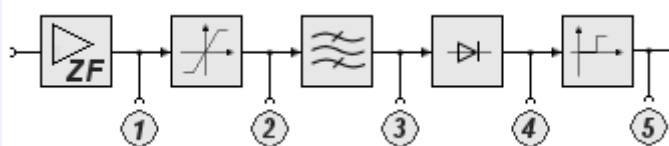
## Dicke Fix Prinzip als Massnahme gegen aktive elektronische Störungen im FLORIDA Radar

Hughes war Mitte der sechziger Jahre davon ausgegangen, dass die spektrale Leistungsdichte die damals von bordgestützten Breitband - Störern zu erwarten war, bei etwa 10 Watt/MHz lag<sup>3)</sup>. Als Gegenmassnahme sah Hughes beim FLORIDA Radar das nachfolgend beschriebene Dicke Fix Verfahren vor.

Das **Dicke-Fix-Prinzip** ist ein Verfahren in Radargeräten zur Unterdrückung von kurzen Störsignalen. Diese Form der Radarsignalverarbeitung wird im ZF- Verstärker realisiert.

Das Prinzip wurde etwa um 1960 durch [Robert Dicke](#) (Defence Research Telecommunications Establishment in Ottawa) perfektioniert. Ein breitbandiger Verstärker wird von einem Begrenzer gefolgt und dann wird das Signal in einem schmalbandigen signalangepassten ZF- Verstärker weiterverarbeitet. Durch dieses Verfahren werden Signale, die zu lang sind wie z.B. Bodenclutter oder die zu kurz sind wie z.B. Rauschspitzen und Impulsstörungen abgeschwächt.

### Funktionsprinzip



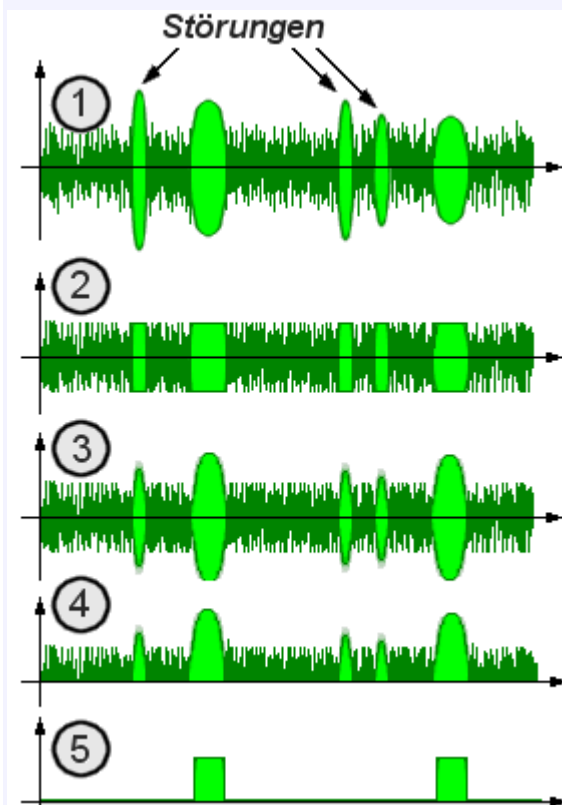


Im Grundkonzept besteht das Verfahren aus einem breitbandigen, begrenzenden ZF - Verstärker gefolgt von einem ZF - Verstärker mit optimaler Bandbreite.

Der Begrenzungspegel ist sehr niedrig eingestellt, so dass die Spitzenpegel der Rauschstörung begrenzt werden und eine konstante Falschalartrate über den gesamten Bereich erzielt wird. Die Bandbreite kann in Abhängigkeit von der Störlage zwischen 10 und 20 MHz variieren und ist somit sehr viel größer als der Reziprokwert der Impulsdauer

$$B \gg \frac{1}{\tau}$$

### Signalformen an den Testpunkten



Am Testpunkt 1 ist noch ein Gemisch aus Nutzsignalen, Störimpulsen und Rauschen zu sehen. Die Störimpulse haben sogar eine größere Amplitude als die Nutzsignale. Nach der Begrenzung am Testpunkt 2 haben alle Signale etwa die gleiche maximale Amplitude. Das nachfolgende Filter zeigt **Resonanzverhalten** für die erwartete Impulsdauer. Signale mit genau dieser Impulsdauer haben am Testpunkt 3 also eine etwas größere Amplitude, als die Störsignale. Die Bandbreite des Filters ist also gleich dem Reziprokwert der Impulsdauer:

$$B = \frac{1}{\tau}$$

Nach der Demodulation sind die Videoamplituden der Nutzsignale größer als die Störsignale. Die Störsignale können also mit einer Schwellwertschaltung unterdrückt werden.

Am Filterausgang haben die Echosignale mit der erwarteten Bandbreite (also mit der erwarteten Impulsdauer) eine größere Amplitude als die Störimpulse und das Rauschen und können somit in der Schwellwertschaltung leichter als Echosignale erkannt werden.

## Anwendung

Diese Schaltung kann sehr gut die Wirkung von gewobbelten Störsendern bis zu einer Größenordnung von 20 bis 40 dB verringern ohne dabei wesentlich die Empfindlichkeit zu verschlechtern. Das Dicke – Fix Prinzip hat hingegen keine Wirkung bei starken unmodulierten Störungen, da hierdurch die Empfänger in die Begrenzung getrieben werden. Das Dicke - Fix-Prinzip wurde speziell entwickelt, um den Empfänger vor Rauschstörungen, vor Störungen durch schnelle gewobbelte oder schmalbandige impulsmodulierte Störsender zu schützen.

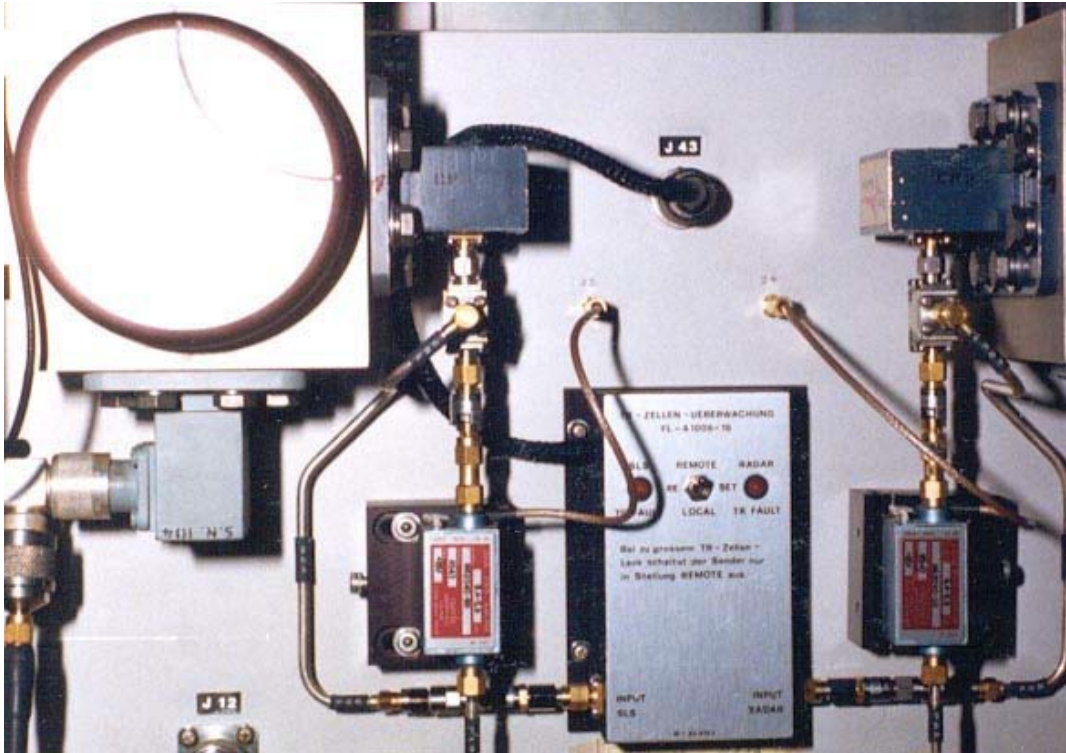
Das Foto zeigt den Breitband – Verstärker mit dem Begrenzer des Florida Dicke Fix Empfängers. Das Dicke Fix Verfahren beim FLORIDA Radar weist die Besonderheit auf, dass es gleichzeitig neben dem Mainlobe - Empfangskanal auf 30 MHz auch den Sidelobe – Empfangskanal (SLS) auf 48 MHz umfasst. Im Begrenzer findet ein Vergleich der beiden Signale statt. Sofern das über den Side Lobe Suppression Kanal empfangene Signal stärker ist und somit von den Seitenkeulen der Antenne erfasst wurde, wird das Signal des Mainlobe – Empfangskanals ausgetastet und gelangt dadurch nicht in die Verarbeitungskette.



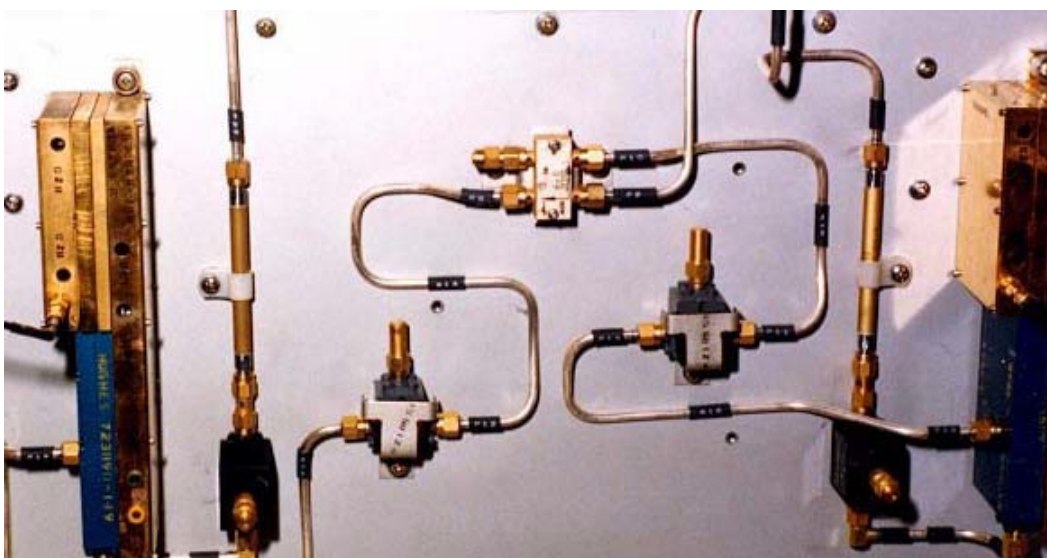
Das Foto zeigt den Schmalband - Verstärker des FLORIDA Dicke Fix Empfängers



In den nachstehenden Figuren sind die Empfänger Frontende mit dem Uebergang von Wellenleiter auf Koaxial ersichtlich sowie die Low Noise Amplifiers (LNA's) des Haupt- und SLS-Kanales. Die Solidstate LNA's mit dem roten Typenschild weisen eine Noise - Figur von ca. 3 dB auf, sie ersetzen die zu wenig stabilen Tunneldioden - Verstärker welche zudem noch eine Noise - Figur von ca. 6dB aufwiesen.



Die nachstehende Figur zeigt die Empfänger Mischstufen welche die Radar-empfangssignale der Haupt- und SLS-Antennen mit der Frequenz des Lokaloszillators auf die 1. Zwischenfrequenz abmischen. Die Uebertragung der Mikrowellensignale erfolgte über dämpfungsarme SMA Semirigid Koaxialverbindungen, diejenige der ZF – und Videosignale erfolgte über flexible Subminiatur Koaxialkabel mit SMC Steckverbindungen.



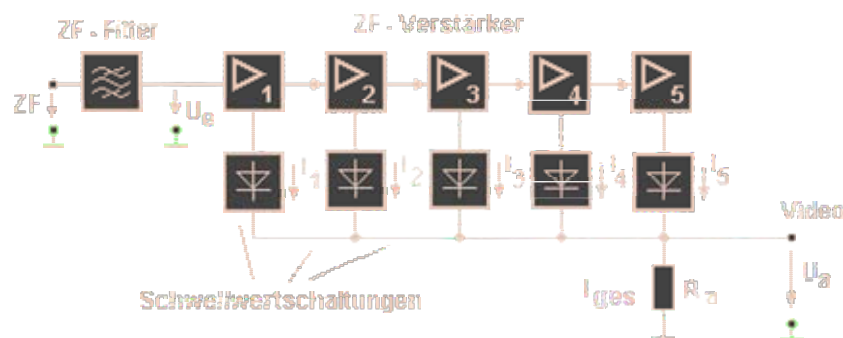


Nach der breitbandigen Ueberlagerung wird der Hauptempfangskanal in vier frequenzmässig separierte Kanäle zur simultanen Verarbeitung der Vier- bzw Zwei-Beam Transmissionen aufgeteilt. Im ZF-Bereich erfolgt die Verarbeitung in Verstärkern mit Logarithmischer - und Dicke Fix - Charakteristik. Die logarithmischen Empfänger weisen eine Dynamik von 75 dB auf.

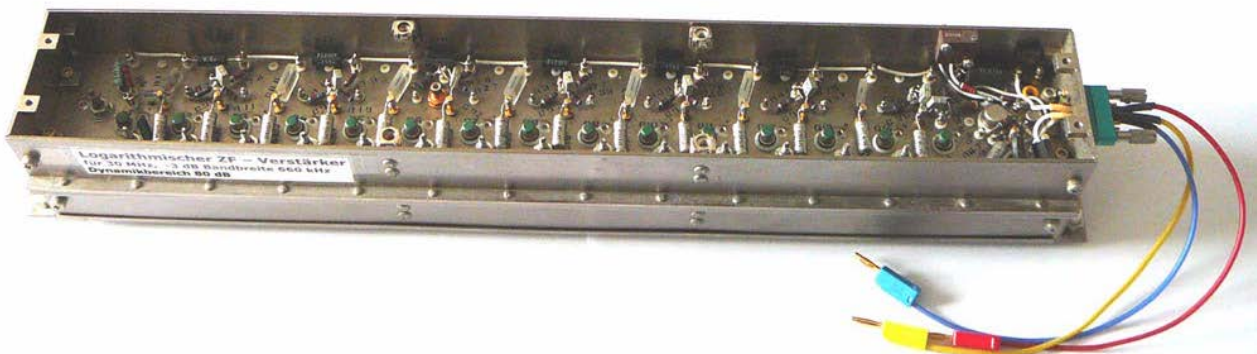
## Logarithmischer ZF - Verstärker

Der im FLORIDA Radar verwendete logarithmischen ZF – Verstärkers weist 15 hintereinander geschalteten Verstärkerstufen auf. Sobald eine Verstärkerstufe übersteuert, entsteht auf Grund der Signalverzerrung eine Gleichspannung am unteren Ausgang der Verstärkerstufe. Ab einer bestimmten Höhe der Gleichspannung schaltet die Schwellwertschaltung durch und ein Strom fließt über  $R_a$ . Alle nachfolgenden Stufen übersteuern ebenfalls und liefern daher keinen Verstärkungsbeitrag, allerdings jeweils einen Strom - Betrag. Die Ströme addieren sich über  $R_a$  zum Strom  $I_{ges}$ . Die charakteristische Eigenschaft des logarithmischen Verstärkers ist, dass er kleine Signale stark, große Signale hingegen weniger stark verstärkt. Dadurch ist es möglich, bei hoher Empfindlichkeit auch noch sehr starke Echos verzerrungsfrei zu verarbeiten. Der Gesamtverstärker hat eine annähernd logarithmische Kennlinie.

Blockschaltbild eines logarithmischen Verstärkers

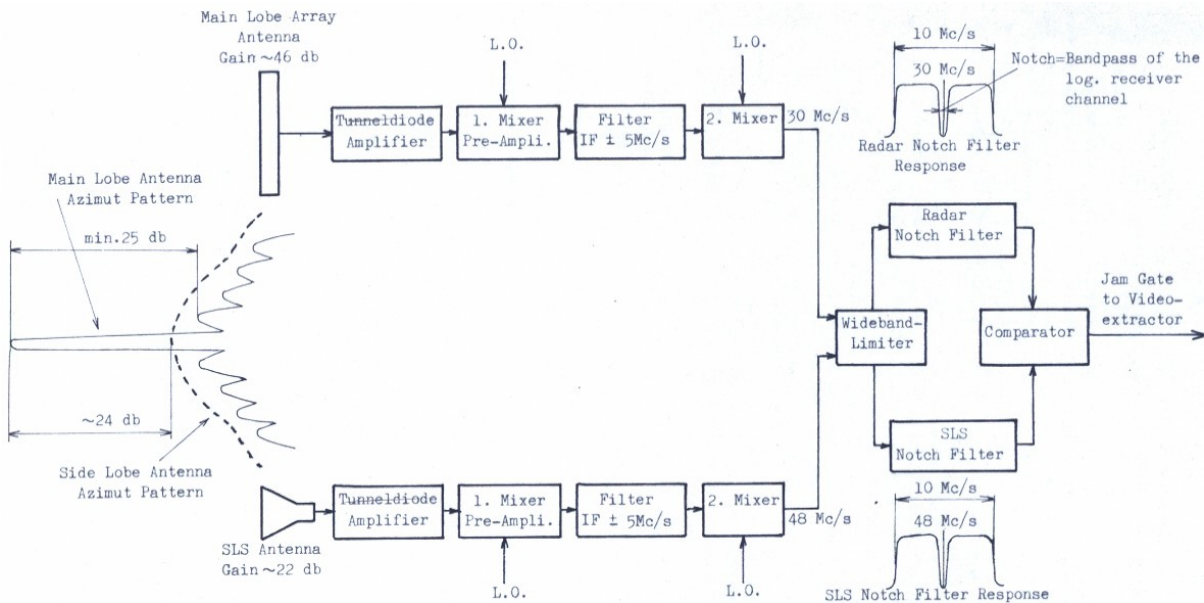


Das Foto zeigt den geöffneten FLORIDA Log IF – Verstärker. Die – 3 dB Bandbreite beträgt 600 kHz bei einer Mittenfrequenz von 30 MHz. Der Dynamikbereich beträgt 75 dB.





In der nachstehenden Figur ist die prinzipielle Aufteilung zwischen dem Haupt- und SLS - Kanal ersichtlich, wie sie sowohl für die Jam - Strobe Erzeugung wie auch für die Radardaten - Verarbeitung angewendet wird.



Anmerkung zur "Jam Gate" Erzeugung: Beim Empfang von aktiven elektronischen Gegenmassnahmen (Störsender) die frequenzmässig ausserhalb des Durchlassbereiches des Logarithmischen Empfangskanals (bezw. Notch Filter Sperrbereich) liegen, werden sofern die Eingangsintensität der Interferenz auf dem "Main Lobe" Empfangskanals diejenige des "Side Lobe" Empfangskanals um 6 db übersteigt "Jam Gate" Signale erzeugt.

Für die Weiterverarbeitung der in analoger Form anfallenden Radarsignale in der digitalen Zielextraktion müssen diese in einem Analog/Digital Umwandlungsprozess in der Intensität „quantisiert“ werden.

Die A/D Wandlung der im Empfängerrauschen eingebetteten Radarziele erfolgt mit Schwellwert - Detektoren (sog. Skimmer). Bei der A/D Wandlung fallen bedingt durch den Rauschanteil im statistischen Entscheidungsprozess des Detektors auch Falsch - Alarme an.

Sofern die Systems - Bandbreite, die Rauschleistung und die Schwellwerthöhe bekannt ist, lässt sich die Anzahl der zu erwartenden Falsch - Alarme statistisch vorausberechnen.

**Die Digitalisierung erfolgt in 225 Meter (1.5µs) Entfernungsschritten, die „Quantisierung“ der Intensität in 16 Amplituden – Stufen, wobei der unterste Schwellwert bei  $\epsilon 5.8$  dB über dem quadratischen Mittelwert des Empfängerrauschens liegt.**

**Die Falsch-Alarm Wahrscheinlichkeit die für die  $\epsilon 5.8$  dB Schwelle bei einem Wert von  $0.223 \times 10^{-1}$  liegt wird durch einen digitalen „Servo – Loop“ konstant gehalten.**

Durch diesen automatischen Regelungsvorgang wird in den vier Empfangskanälen die max. Abweichung des Rauschpegels und der Verstärkung innerhalb  $\pm 1.5$  dB konstant gehalten.

Die 16 möglichen Amplituden - Stufen werden für jeden 225 Meter Entfernungsschritt in einem binären 4 - Bit Codes zur weiteren Verarbeitung an den Videoextraktor weitergeleitet.

Begleitet wird der Amplituden - Code von einem binären 3 - Bit Code welcher den „Range – Density“ Wert beinhaltet.

Der Range - Density Wert meldet die Anzahl  $\approx 5.8$  dB Treffer welche in einem Entfernungsfenster von 7 Entfernungsincrementen ( $1.5 \mu\text{s}$  Range Bin) detektiert werden welche zeitsymmetrisch zu dem unter Betrachtung stehenden Amplituden - Code liegen.

Der Range - Density Wert gibt Auskunft über die Ausdehnung des Radarzieles im Distanzbereich. Er wird in Ermangelung einer Doppler Information bei der automatischen Zielerkennung im digitalen Radarziel - Extraktor als Entscheidungskriterium für das Ausscheiden von Echtzeit – Clutter verwendet.

## **FLORIDA Videoextraktor**

Die Notwendigkeit für Digitale Ziel Extraktoren (oder Videoextraktoren wie diese von Hughes bezeichnet wurden) entstand in den frühen 60er Jahren mit dem Wunsch digitale Rechner für die automatische Verarbeitung von Radarsignalen einzusetzen.

Die wesentlichen Forderungen an die Digitalen Radarziel Extraktoren können wie folgt formuliert werden:

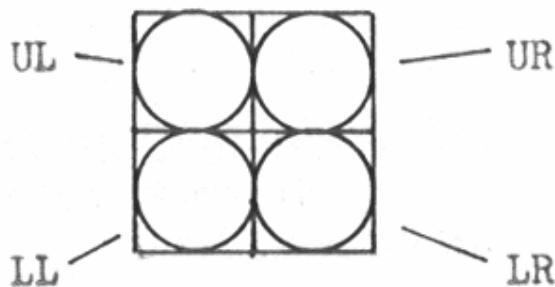
- Automatische Zielerkennung im ganzen Erfassungsvolumen des Radars.**
  
- Keine Verringerung der Empfindlichkeit des Radars, Verwendung von Massnahmen zur Vermeidung von Falschalarmen durch Standzeichen und andere Störungen welche zu einer Uebersättigung des Rechners führen könnte.**
  
- Einbeziehen des Sekundärradars in die automatische Verarbeitung.**

Das Foto zeigt Teilnehmer und Instruktoren anlässlich der Florida Videoextraktor - Ausbildung im Sommer 1967 bei HUGHES in Fullerton CA.



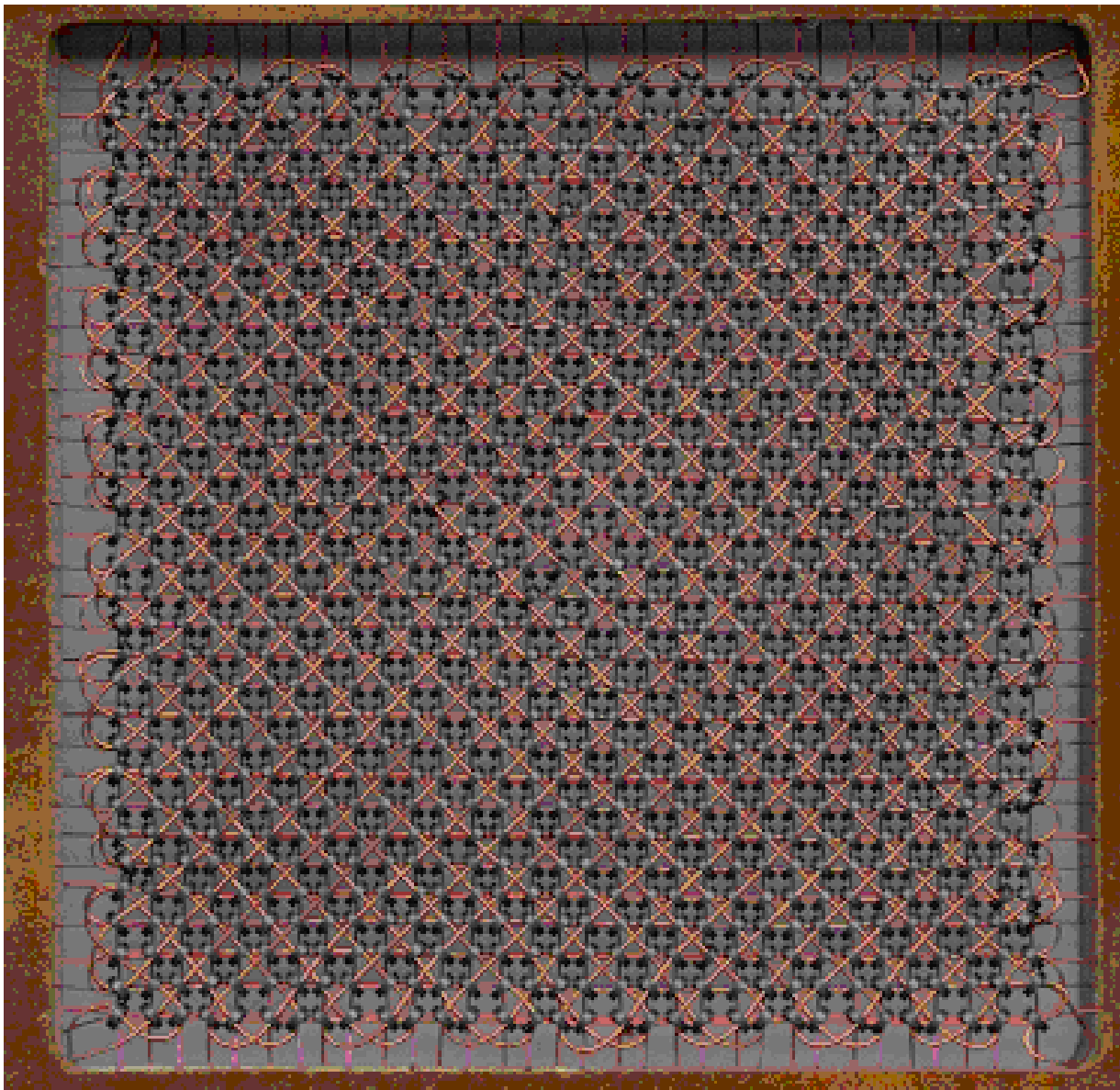
Der Florida Videoextraktor basierte in seiner Wirkungsweise auf neuen bisher in der Radartechnik noch nicht sehr oft angewendeten Grundlagen der statistischen Signalverarbeitung. Die komplexe Ausrüstung bestand aus einer Vielzahl von digitalen NAND/NOR - Gate und Flip Flop Logikbausteinen, in Form der kurz zuvor von der amerikanischen Halbleiterindustrie auf den Markt gebrachten Integrierten Schaltungen. In der Ausrüstung kamen auch Magnetkernspeicher zur Anwendung welche erst ab Mitte der 60er Jahre mit diesen grossen Speicherkapazitäten für die Neuentwicklungen der damals im Aufbau begriffenen Computer - Industrie zur Verfügung standen. Dies war die Ausgangssituation für die Videoextraktor - Ausbildung bei der die Funktion nicht mehr mit den bisher üblichen elektrischen Schaltkreisschemas aufgezeichnet werden konnte, sondern in Form von Flussdiagrammen (Flow Charts) und abstrakten Booleschen Gleichungen (Logic Equations) vorlagen.

Die Entdeckungswahrscheinlichkeit für echte Radarziele wird erhöht, wenn für den Entscheidungsprozess nicht nur eine, sondern mehrere aufeinanderfolgende Beobachtungen herangezogen werden.



Die Ziel - Detektion im Florida Videoextraktor basiert auf einer Treffer - Analyse in einem räumlichen Detektions - Fenster das sich über vier in Azimut und Elevation benachbarten sowie in gleicher Entfernung befindlichen Entfernungsincrementen erstreckt (Quad - Detektion in der Figur links dargestellt).

Für die Zwischenspeicherung der Amplitudenwerte UL und LL die aus dem um ca. 20 ms vorangegangenen Elscan stammen sowie dem Amplitudenwert LR der am Uebergang aus der vorangegangenen Transmission stammen kann, wurden Magnetkern - Speicher Technologie verwendet. Das nachstehende Foto zeigt eine Magnetkern - Speicherplatte auf der die einzelnen Magnetkerne gut ersichtlich sind. Ein Magnetkern - Speicher besteht aus so viel übereinander angeordneten Speicherplatten wie Bit in dem zu speichernden Wort enthalten sind. Der grösste Magnetkern - Speicher der im Florida Videoextraktors verwendet wurde beinhaltete 98'304 einzelnen Magnetkerne.

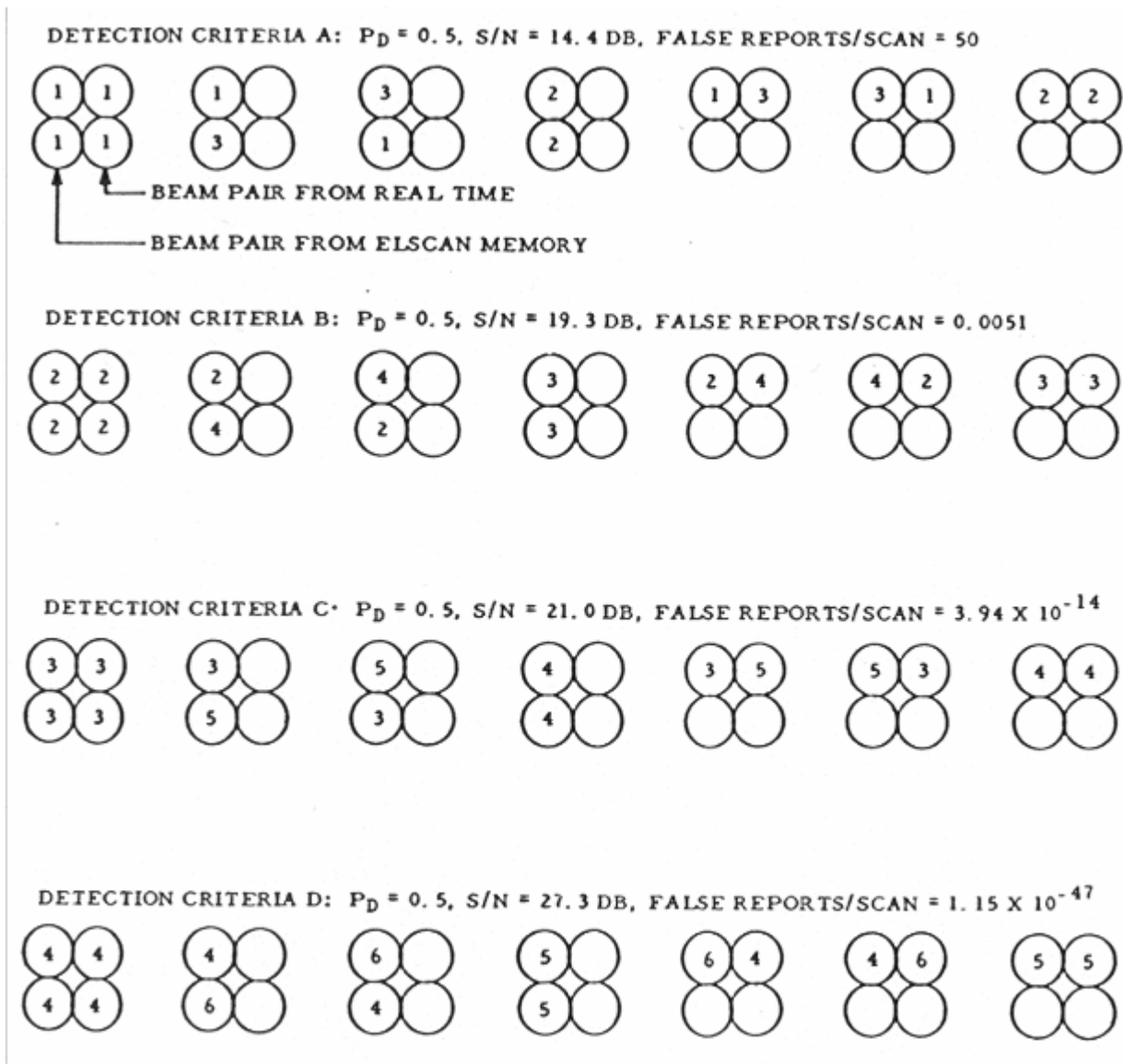


Der Ziel - Detektor enthielt ein zentrales Leitwerk, das vom Radar in digitaler Form den momentanen Azimutwinkel und die Lage der in der Elevationsrichtung ausgestrahlten Transmission erhielt sowie als zeitlichen Bezug den Wert des Zählers für die Entfernung - Inkremente. Im laufenden Detektionsprozess des Videoextraktors bewegten sich die über vier in Azimut und Elevation benachbarten Entfernungsinkremente als Wanderfenster über den gesamten Entfernungsbereich der Radartransmission.



Beim vertikalen Range Bin Paar UR, LR rechts handelt es sich um die zeitlich unmittelbar anfallende Echtzeit-Information. Das vertikale Range Bin Paar UL, LL links stammt aus dem vorangegangenen Elscan und musste daher während ca. 20 ms zwischengespeichert werden. Die Detektion der Ziele erfolgt in den vier Intensitätskategorien A, B, C und D.

Die hierfür minimal erforderlichen Muster der Amplituden - Codes geht aus der nachfolgenden Darstellung hervor:



Durch die räumlichen Korrelation von vier benachbarten Range Bin reduziert sich die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Falschalarmes mit der 4. Potenz:

**dh von  $0.223 \times 10^{-1}$  auf  $(0.223 \times 10^{-1})^4 = 2.482 \times 10^{-7}$**

**Für das gesamte Erfassungsvolumen des Flordia - Radars ergeben sich bei einer Antennendrehzahl von 6 U/min insgesamt 18'020136 mögliche Wanderfenster für eine Detektion.**

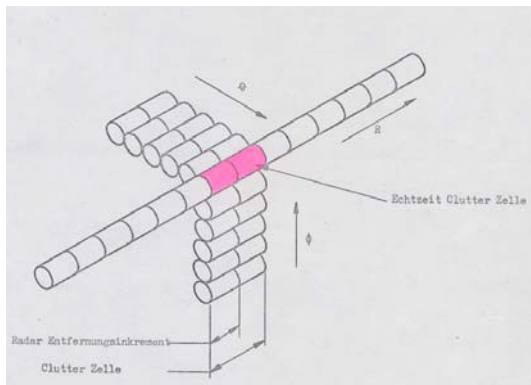
Daraus abgeleitet ergibt sich für eine Antennenumdrehung:

$$2.482 \times 10^{-7} \times 18'020136 = \text{ca. } 50 \text{ Falschalarme}$$

Bei der automatischen Flugweg Erzeugung im Rechner wie dies im Florida System der Fall ist, können falsche Flugwege durch Standzeichen welche bei der Ziel Extraktion nicht ausgeschiedene wurden initialisiert und aufgebaut werden.

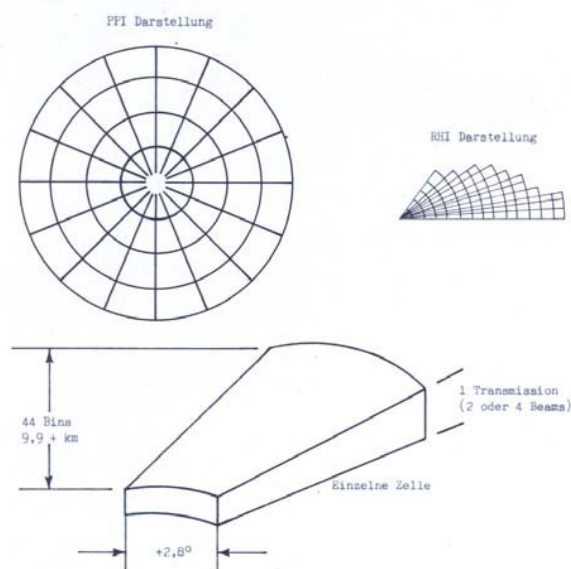
**Es sind daher wirkungsvolle Massnahmen zur Ausscheidung von Boden- und Wetter - Clutter erforderlich.**

Das Florida-Radarsystem verfügt über mehrere Massnahmen zur Unterscheidung zwischen echten Flugzielen und Clutter<sup>9)</sup>.

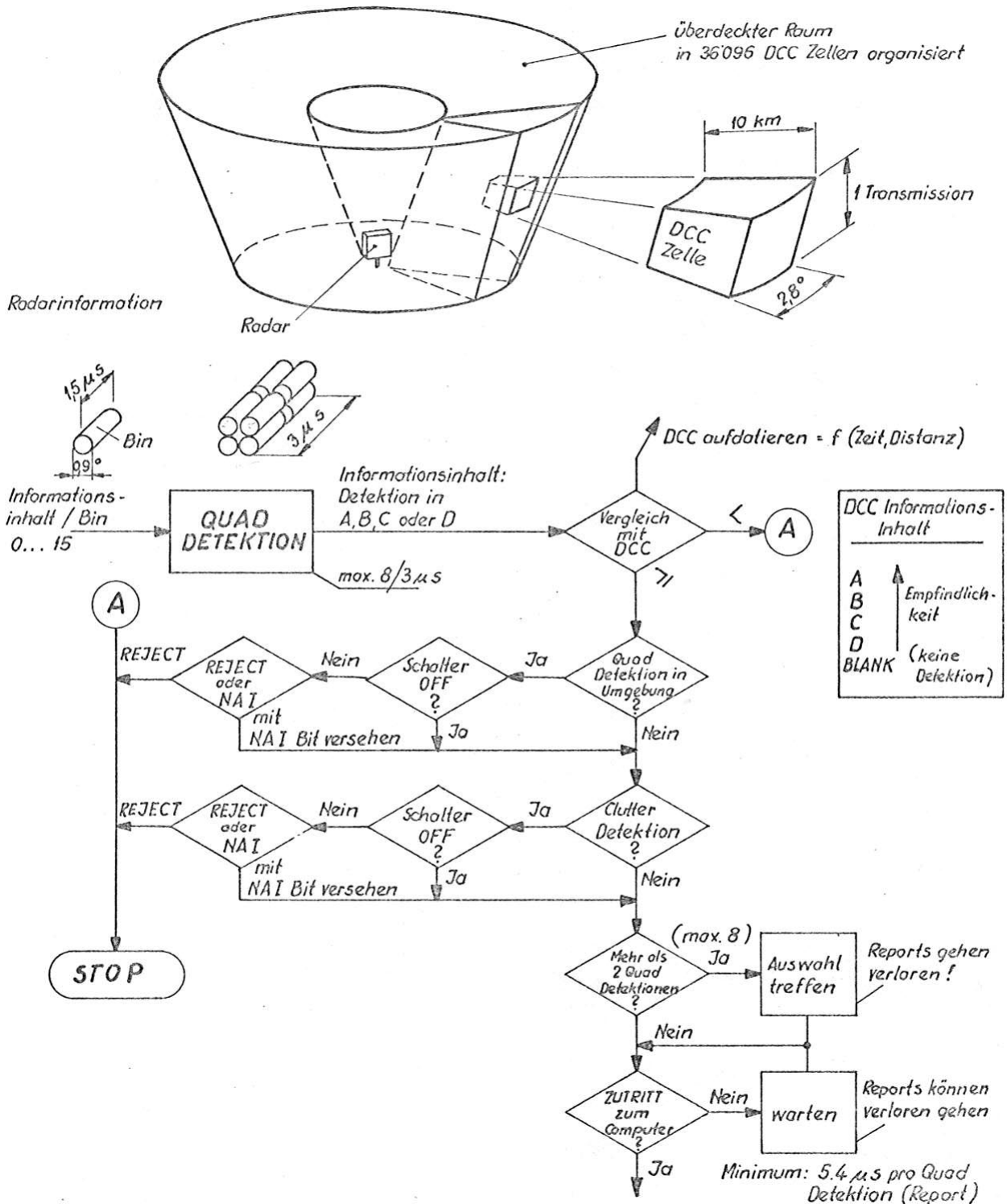


Die Echtzeit Clutter-Analyse basiert auf einem räumlichen Fenster gemäss der nebenstehenden Figur. Beim Vorliegen einer bestimmten (individuell für die einzelnen Standorte zu definierende) Anzahl Radartreffer wird das Zielmuster dabei als Clutter deklariert und ausgeschieden.

Detection Criteria Control (DCC) ist eine weitere Massnahme die speziell zur Eliminierung von Punkt - Clutter dient. Punkt - Clutter wird wegen seiner beschränkten räumlichen Ausdehnung bei der Echtzeit - Analyse nicht als Clutter erkannt und würde bei der Flugweg - Bildung das System übersättigen oder falsche Flugwege initialisieren. Die DCC (siehe nachstehende Figur ) speichert die Radartreffer auf der Basis von individuellen Zellen. Das Ueberdeckungsvolumen wird hierzu in 36'096 Zellen aufgeteilt.

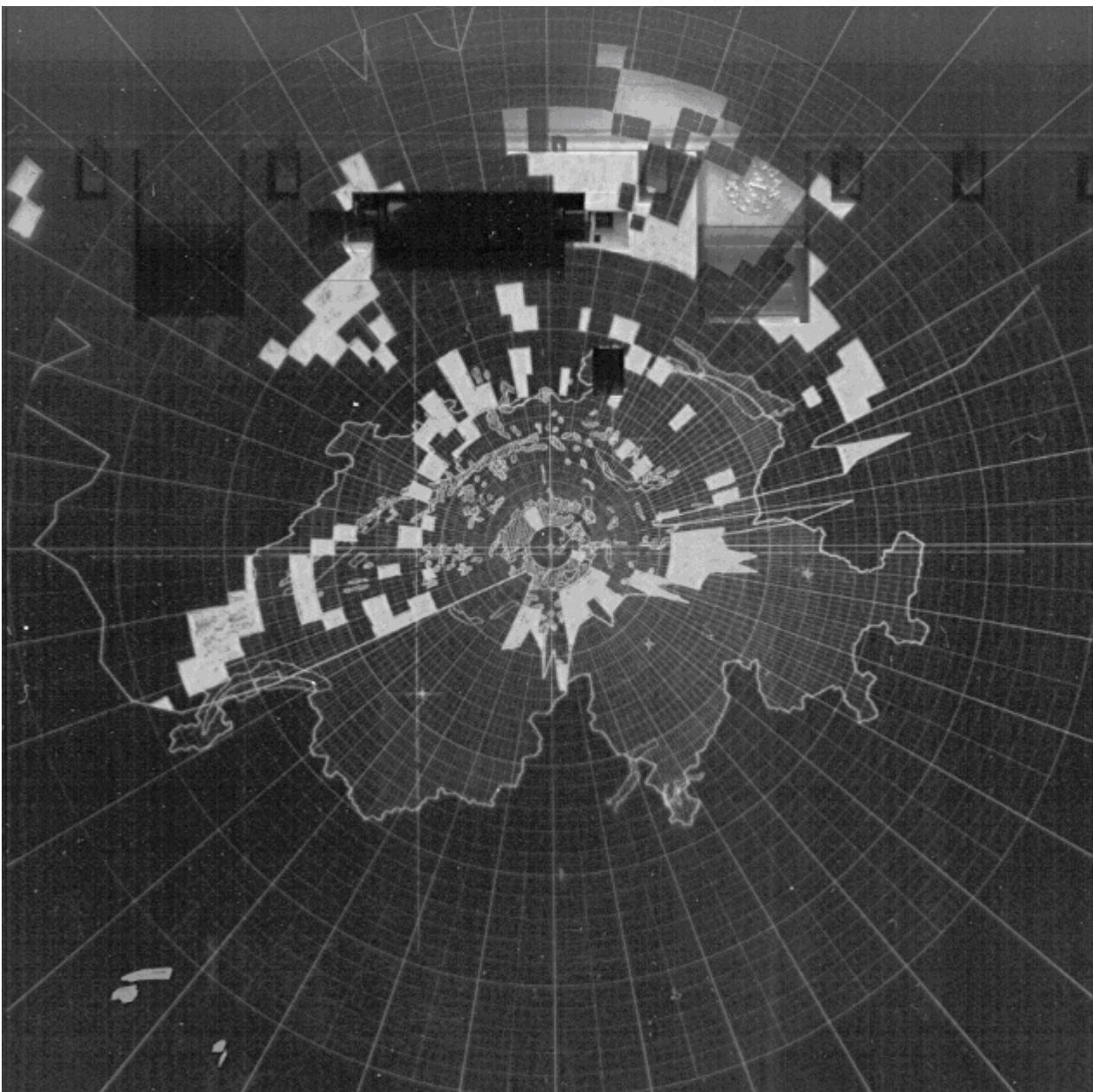


Die nachfolgende Darstellung zeigt den prinzipiellen Ablauf der Zieldetektion im Florida Videoeextraktor anhand eines Flussdiagrammes. Die vom 3D Radar in 1.5  $\mu$ s Intervallen angelieferten digitalisierten Videosignale (sog. Range Bin) entsprechen Entfernungsabschnitten von 225 Meter. Aus vier räumlich benachbarten Range Bin's erfolgt eine 1. Quad - Detektion. Die Quad's können dabei die Stärken A, B, C oder D aufweisen. Im Anschluss daran erfolgt der Vergleich mit dem DCC - Zellen Code. Sofern bei der 2. Detektion das Kriterium der DCC Zelle erreicht wird erfolgt die Clutter - Analyse. Erst wenn der Quad dabei nicht als Clutter erkannt und ausgeschieden wird erfolgt die Weitergabe als quasi echtes Radarziel an den Computer.



Mit jeder Detektion erhöht sich das Zellen Kriterium um eine Zwischenstufe. Die Aufdatierung des Zellenkriteriums erfolgt jedoch mit einer derartigen Verzögerung, dass ein mit einer Geschwindigkeit mit  $\epsilon 150$  km/h fliegendes Ziel beim Durchfliegen der Zelle keine Blank-Steuerung verursachen kann. Die Aufdatierung des Zellenkriteriums hat zur Folge, dass ein stationärer Clutter die Zelle nach einer gewissen Zeitspanne auf ein Kriterium steuert bei dem die Detektionsbedingung nicht mehr erfüllt ist und somit eine Uebertragung in den Flugweg-Computer verhindert wird. Nachteilig wirkt sich der Umstand aus, dass in einer auf Blank gesteuerten Zelle auch keine Flugziele detektiert werden können. Da das Zellenvolumen quadratisch mit der Entfernung ansteigt, können durch Blank – Zellen, welche in grösserer Entfernung liegen, beträchtliche Anteile der Radar - Ueberdeckung verloren gehen.

**Die nachstehende Figur zeigt die typische Blank - Zellen Situation einer Florida-Radarstation im Hochgebirge. Es ist ersichtlich, dass durch Blank - Zellen im süd-deutschen Raum im Gebiet Schwarzwald und Schwäbischer Alb Verluste an Radarüberdeckung verursacht werden.**





Beim Abschluss des Florida Vertrages wurde Hughes verpflichtet mit Hardware- und Systemtests den praktischen Nachweis für die einwandfreie Funktion des Systems zu erbringen. Nach erfolgter Installation der Radarstandorte traten bei diesen Tests in den Jahren 1967 – 1969 verschiedene Schwachstellen zu Tage.

Die beim Florida Radar fehlende Doppler – Verarbeitung zur Eliminierung von Standzeichen hat bei der Radarziel Erkennung gravierende Nachteile zur Folge, da bei der Unterscheidung von Flugzeugen und Festzielen auf Grund räumlicher Kriterien erhebliche Unsicherheiten auftreten können.

Als beim „Low Altitude Flight Test ST-780“ auch noch die durch das DCC - Zellen Verfahren verursachten Verluste an Radarüberdeckung festgestellt wurden, entstand bei den verantwortlichen militärischen Stellen heftige Kritik.

Namentlich bei der Erfassung von Flugzeugen in geringen Flughöhen traten Schwierigkeiten auf, bei denen trotz Modifikationen keine Verbesserung festgestellt werden konnte. Da der vertraglich vereinbarte Termin für die Fertigstellung näher rückte machte sich unter dem wachsenden Zeitdruck bei beiden Vertragspartnern zunehmend Nervosität bemerkbar.

Die Probleme und Testresultate wurden von den beteiligten Stellen jeweils in internen Meetings besprochen und die Resultate und Beschlüsse in vertraulichen Protokollen sog. „Minutes of Meeting“ festgehalten.

Entsprechend dem damaligen Zeitgeist durften diese Informationen unter keinen Umständen an die Medien und damit in die Öffentlichkeit gelangen.

Desto trotz gelange ein als Vertraulich klassifiziertes Dokumente in die Hände eines eidgenössischen Parlamentariers. Im Juni 1969 zitierte Helmut Hubacher, Nationalrat der sozialdemokratischen Partei, anlässlich der Behandlung des EMD - Geschäftsberichtes den nachfolgenden brisanten Ausschnitt aus einem vertraulichen Florida - Hearing höherer Militärs, vor dem Nationalrat in Bern:

**Es ist noch ungewiss, ob das Florida Frühwarnsystem ein Flugzeug e von einer Wolke unterscheiden kann !**

Der damals verantwortliche AMF Projektleiter und spätere Kdt. der FF Truppen Walter Dürig schildert<sup>10)</sup> das hierdurch ausgelöste militärgerichtliche Untersuchungs - und Strafverfahren Verfahren wie folgt:

- **Dies hatte eine hochnotpeinliche Suche nach dem Leck im EMD durch die Militärjustiz mit Schwergewicht Dübendorf zur Folge. Alle Florida-Mitarbeiter (einschliesslich des Verfassers) wurden, teilweise frühmorgens um sechs Uhr, durch einen Untersuchungsrichter abgeholt und einvernommen. Im Oktober 1969 erfolgte dann die Orientierung des Nationalrates durch den Vorsteher des EMD Bundesrat Gnägi über die Florida-Indiskretion.**
- **Ein Beamter der Abteilung für Militärflugplätze habe die Unterlagen Nationalrat Hubacher zugestellt. Der AMF Mitarbeiter wurde in der Folge entlassen und bestraft.**

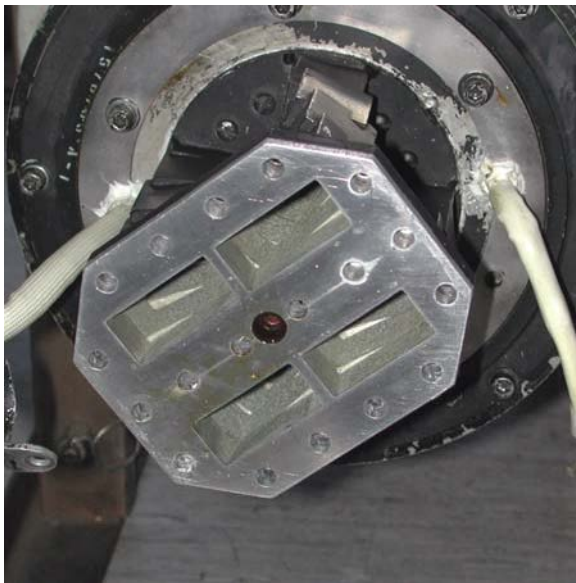
Die inkriminierten vertraulichen Unterlagen betrafen Mängel, die bei den Systemtests festgestellt und Beanstandungen beim Hersteller zur Folge hatten. Der in den Medien als Florida Skandal des EMD's hochstilisierte politische Zwischenfall hatte zur Folge, dass sich nun auch die oberste Geschäftsleitung der Hughes Aircraft Company in Fullerton für eine Lösung der Probleme einsetzte.

Anlässlich einer denkwürdigen Konferenz zwischen den schweizerischen und amerikanischen Vertragspartnern vom 7.8.1969 in Bern, stellte der oberste Chef von Hughes L.A. Hyland klar, dass das System Florida einen weiteren Entwicklungsschritt (design effort) erfordere, da die Anforderungen an die Radarleistung bedeutend höher liegen, als sie bisher von Hughes im Rahmen früherer Projekte realisiert worden seien<sup>11)</sup>.

Als unmittelbare Auswirkung fanden personelle Umbesetzungen in der Geschäftsleitung der Hughes Ground Systems Group in Fullerton und auch in der lokalen Florida Projektleitung in der Schweiz, statt.

Mit einem Crash Programm begann Hughes bereits im August 1969 unter Zuzug von Top Radarexperten aus Fullerton, die Probleme genauer zu analysieren und in der Folge zielgerichtet Modifikationen auszuführen.

Im Rahmen dieses zusätzlichen „Effort“ konnte Hughes auch die seit Beginn der Systemtests anstehenden Probleme mit der mangelhaften Lagerung der Antennendrehplatte sowie der „Azimut Rotary Joint“ der Antenne, zielstrebig angehen und beheben.



Hughes erklärte sich bereit auf eigene Kosten sämtliche Antennen Drehplatten bei der Firma „Rothe – Erde“ in Dortmund mit bereits früher bewährten deutschen Drahtwälzlagern System Rothe Erde zu modifizieren. Für die „Rotary Joint“ fand HAC mit der genialen Idee der Leistungsaufteilung in vier Uebertragungs - Pfade (siehe Bild) eine eigene Lösung. Damit konnte die Feldstärke in den WR187 Wellenleitern auch bei höchsten vorkommenden Sendeleistungen soweit reduziert werden, dass die gefürchteten elektrischen Ueberschläge (arcing) nicht mehr auftraten.

Durch eine Zusatzschaltung im Radarempfänger, den sog. **Gibson-Fix** welcher auf Grund einer Clutter – Vorentscheidung bereits im Radarempfänger die Austastung von unerwünschten Videosignalen bewirkte und Aenderungen in der Clutter - Entscheidung im Videoextraktor, konnte schlussendlich auch der „**Low Altitude Flight Test ST-780**“ noch erfolgreich demonstriert werden.

Obschon im Frühjahr 1970 noch einige Probleme nicht gelöst waren, drängten beide Vertragspartner, teils aus kommerziellen (wegen angedrohter Konventionalstrafen), teils aber auch aus politischen Gründen (parlamentarischem Druck), zu einem raschen Abschluss des Projektes.

Für die noch anstehenden Probleme wurden mit dem Hersteller Garantieverpflichtungen (Warranty Claims) ausgehandelt, die innerhalb einer gewissen Frist behoben werden mussten <sup>12)</sup>.

**Die formelle Uebergabe des Florida Systems von Hughes an die Gruppe Rüstung und von dieser an die Abteilung für Militärflugplätze, erfolgte ca. 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Jahre nach der Vertragsunterzeichnung im April 1970.**

**Es handelte sich dabei um eines der ersten Rechner Verbundsysteme in der Schweiz. Die Daten von drei Radarstationen wurden in Nutzinformationen über die Luftlage umgewandelt und in zwei Einsatzzentralen zu einer Gesamtluftlage Schweiz, kombiniert. Obwohl das Funktionsprinzip des Radars nicht optimal für die schweizerischen Gelände Verhältnisse geeignet war, handelte es sich zweifellos um das damals fortschrittlichste Luftverteidigungssystem Europas.**

Bereits ab Mai 1970 wurde das Florida System für die Ausbildung des zivilen und militärischen operationellen Personales für die Hauptfunktionen Frühwarnung, Luftverteidigung und Flugsicherung eingesetzt.

**Nachdem im Spätsommer 1970 die ersten betrieblichen Erfahrungen mit dem neuen Florida System vorlagen, wechselte bei der militärischen Flugsicherung die anfängliche Begeisterung für das neue System rasch in Ernüchterung und Enttäuschung bezüglich der Zuverlässigkeit der Flugwegbildung.**

Speziell in den für die militärische Flugsicherung wichtigen Flughöhen um 5000 Meter, in denen die Uebergabe der Flugzeuge von der Florida Führung an die Landeradars der Flugplätze erfolgte, wurde eine mangelhafte Erfassung durch das Florida Radar beanstandet.

In der Folge versuchte die Sektion Führung und Einsatz (SFE) der FF Truppen welche für die militärische Flugsicherung, die Luftverteidigung und die operationelle Software verantwortlich war, zusammen mit der für den technischen Betrieb und den Hardware - Unterhalt zuständige Abteilung für Militärflugplätze (AMF) eine Klärung und Verbesserung der Situation zu erreichen.

In der Zeitspanne vom Herbst 1970 bis zum Sommer 1971 wurden in zahlreichen gemeinsamen Sitzungen der AMF und der SFE, an denen auch die als Beschaffungsinstanz involvierte Gruppe Rüstung sowie externe Berater (Dr. Läubert u. A.) teilnahmen, die Probleme weiterverfolgt ohne dass dabei eigentliche Verbesserungen erreicht werden konnten.

Nach einer am 31.8.71 durchgeführten Standortbestimmung des Kdo. der FF Truppen mit dem Direktor der Abteilung für Militärflugplätze, unter Anhörung direkt beteiligter technischer Spezialisten, kam man zum Schluss, dass sich die Probleme im wesentlichen auf die Sensorseite d.h. auf den Bereich 3D Radar und Radarziel - Extraktion eingrenzen liessen <sup>13)</sup>.

Für den Herbst 1972 waren grosse Korpsmanöver der FF-Truppen geplant, (die später auch als Kaisermanöver in die Geschichte der FF-Truppen eingegangen sind) bei denen eine umfassende operative Erprobung der Führungsstrukturen mit den neu eingeführten Waffen- und Führungssystemen Mirage, Bloodhound und Florida erfolgen sollte.

Im Hinblick darauf griff die Projektoberleitung (POL) Florida ein und veranlasste im Herbst 1971 eine neutrale Abklärung der unbefriedigenden Situation durch die beiden externen Milizoffiziere Dr. Robert Hofmann und Dr. Pierre Schmid.

Im Rahmen ihrer Dienstleistung wurde es den auf Grund ihrer zivilen Tätigkeit geeigneten Milizoffizieren ermöglicht, durch Anlagebesichtigungen und Anhörung von direkt beteiligten technischen Spezialisten, sich einen Ueberblick über die technischen und organisatorischen Probleme zu verschaffen.

In einem **Geheim** klassifizierten Bericht, legten die beiden Experten die Probleme ungeschminkt dar und schlugen der Florida Projektoberleitung gleichzeitig einen Lösungsweg vor, welcher zur Verbesserung der Situation führen sollte.

Der Vorschlag sah die Bildung einer interdisziplinären Arbeitsgruppe vor welche aus vorhandenen Software- und Hardware- Spezialisten der KFLF Sektion Einsatztechnik und der Abteilung für Militärflugplätze gebildet werden sollte.

Die Arbeitsgruppe sollte örtlich zusammengefasst unter einer verwaltungsexternen Leitung gezielt zur Lösung der bestehenden Probleme eingesetzt werden.

Der Leiter der Arbeitsgruppe sollte dabei direkt dem Florida Oberprojektoberleiter unterstellt werden und Weisungsbefugnis an die für den Betrieb und Unterhalt verantwortlichen Linienfunktionen erhalten.

Um sich voll auf die Probleme der Flugweg - Bildung konzentrieren zu können, sollten die Mitglieder der Arbeitsgruppe zudem von ihren bisherigen Aufgaben entbunden werden. Der Projektoberleiter gab für die Umsetzung des Vorschlages grünes Licht. Es folgten die erforderlichen Absprachen mit den betroffenen Organisationen und Personen des EMD's, der ETH Zürich, und der Schweizerischem Meteorologischen Anstalt (SMA).

Im Anschluss an die konstituierende Sitzung vom 17. November 1971 in Dübendorf, begann die interdisziplinäre Arbeitsgruppe unter Leitung des Physikers Dr. Robert Hofmann mit der übertragenen Aufgabe<sup>14)</sup>.

Dr. Robert Hofmann wurde für diese neue Aufgabe, von seiner Funktion als Oberassistent am Institut für Festkörperphysik der ETH Zürich beurlaubt.

Als Stellvertreter und wissenschaftlicher Mitarbeiter trat ihm der Elektroingenieur und Radarmeteorologe der SMA Dr. Jürg Joss zur Seite.

Als weitere Massnahme wurde veranlasst, dass Assistenten und Doktoranden der ETH - Zürich im Rahmen ihrer militärischen Dienstleistungen bei der FF Na Truppe, zur Bearbeitung spezieller Aufgaben zugezogen werden konnten.

#### Quellenverzeichnis

- 1) Militärisches Pflichtenheft Florida vom 17.2.1965
- 2) Militärisches Detailpflichtenheft für die Radarstationen vom 20.3.1965
- 3) Definition der mit dem System Florida zu begegnenden Bedrohung, Zusatzdokument zum taktischen Pflichtenheft Florida
- 4) Hughes IDC 23 June 1966, Evaluation of QKS-1343 CFA Tubes for the Florida - Radartransmitter.
- 5) HAC Minutes of Meeting, According the proposed Radartransmitter Power, 7 October 1965
- 6) HAC Proposal FR71-14-43, 23 February 1971, Candidate Methods of Florida Radarsystem Improvements.



- 7) HAC IDC, 7 March 1966, Swiss Florida Radar Performance in ECM
- 8) HAC IDC, 13 November 1967, False Alarm Calculation for Florida Elscan Mode.
- 9) HAC, Video Extractor Specification, 1 March 1967
- 10) Dürig Walter, Dübendorf und die Flieger- und Fliegerabwehrtruppen in den sechziger Jahren, Heimatbuch Dübendorf 1999
- 11) Aktennotiz betr. Florida-Konferenz mit HAC vom 7.8.69
- 12) HAC IDC, The Subjects of the Florida Warranty Claims.
- 13) Aktennotiz zur Standortbestimmung Florida vom 31.8.1971