

KRIEG IM AETHER

Vorlesungen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich
im Wintersemester 1981/1982

Leitung:

Bundesamt für Übermittlungstruppen

Divisionär J. Biedermann, Waffenchef der Übermittlungstruppen

Erprobung von 3D-Radarsystemen für den unteren Luftraum

Referent: G. Hunziker, Dipl. El. Ing. ETHZ

3-1

ERPROBUNG VON 3D-RADARSYSTEMEN FUER DEN UNTEREN LUFTRAUM

G. Hunziker, Dipl. El. Ing. ETHZ

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einführung
 - 1.1. Aufgabe von 3D-Radars für den unteren Luftraum
 - 1.2. Was ist ein 3D-Radar?
 - 1.3. Besondere Probleme für 3D-Radars in der Schweiz
 - 1.4. Weshalb Erprobung der Systeme in der Schweiz?
2. Methode
 - 2.1. Datenerfassung
 - 2.2. Messung von Parametern ohne Cluttereinfluss
 - 2.3. Cluttermessungen
 - 2.4. Störfestigkeit
3. Auswertung
 - 3.1. Methode
 - 3.2. Störfestigkeit
4. Schlussbemerkungen

Adresse des Autors:

Gerhard Hunziker, Dipl.El.Ing.ETHZ
Gruppe für Rüstungsdienste
3000 Bern 22

"Krieg im Aether", Folge XXI

3-2

1. EINFUEHRUNG1.1. AUFGABE VON 3D-RADARS FUER DEN UNTEREN LUFTRAUM

Seit etwas mehr als 10 Jahren ist das Florida Radar System in Betrieb. Es besteht aus mehreren Sensoren, die auf hochgelegenen Bergspitzen installiert sind, und ist ein Frühwarn- und Luftverteidigungssystem grosser Reichweite.

Moderne Flugzeuge wie z.B. der MRCA Tornado sind dank ihrem sogenannten "terrain following radar" in der Lage, in sehr geringen Höhen zu operieren. Die zu beschaffenden mobilen Systeme sollen von günstigen Punkten im Mittelland oder Voralpenraum aus sowohl tieffliegende Objekte erfassen als auch eigene Jäger auf diese Ziele einweisen und im Luftkampf bestmöglichst unterstützen. Eine bestimmte Anzahl einfacher und relativ billiger Jäger wie z.B. unsere Tiger F5 können durch eine optimale Führung vom Boden aus auch technisch überlegene Gegner mit Erfolg bekämpfen.

Ein Tieffliegerradar ist die kostengünstigste -Preis von einigen wenigen MRCA Tornados- Lösung für diese Aufgabe. Dank seiner Mobilität ist es naturgemäss weniger verwundbar als eine permanente Einrichtung. Falls Florida ausfallen sollte, könnte es als "back-up"-System dienen.

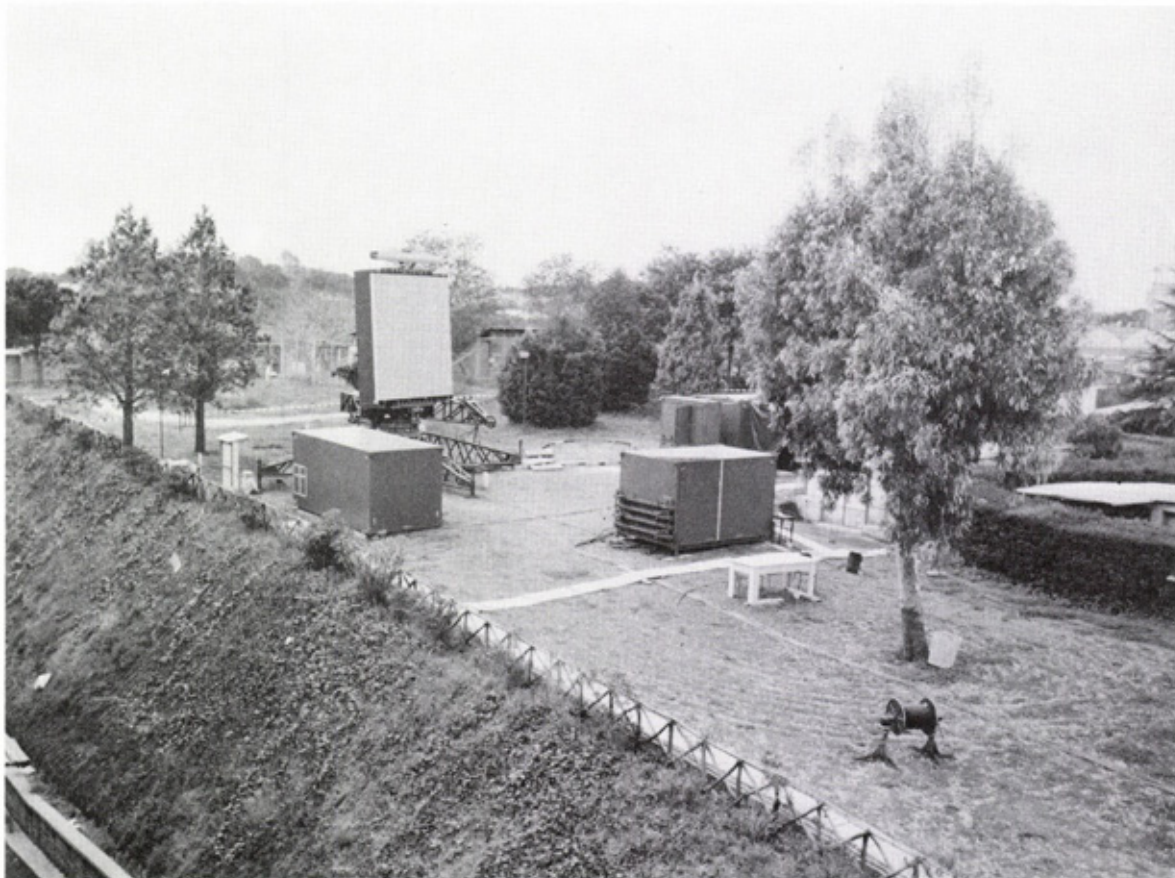


Fig. 1 Mobile 3D-Radar-Systemkonfiguration

3-3

1.2. WAS IST EIN 3D-RADAR?

3D-Radars können die Position eines Flugzeuges innerhalb ihres Ueberdeckungsbereiches in 3 Dimensionen -Distanz, Azimut und Höhe- vermessen.

Das vom Sender erzeugte Mikrowellensignal in Pulsform wird durch eine Antenne gebündelt in den Raum abgestrahlt und durch ein Flugzeug wieder reflektiert. Die Schrägdistanz resultiert aus der Messung der Laufzeit zum Flugzeug und zurück. Das Azimut ist gegeben durch die momentane Richtung der rotierenden Antenne. Durch Unterteilung der Elevationsebene in eine Reihe von einzelnen schmalen Strahlen kann die Elevation des Zieles bestimmt und mit der Schrägdistanz zusammen die Zielhöhe gerechnet werden (Fig. 2).

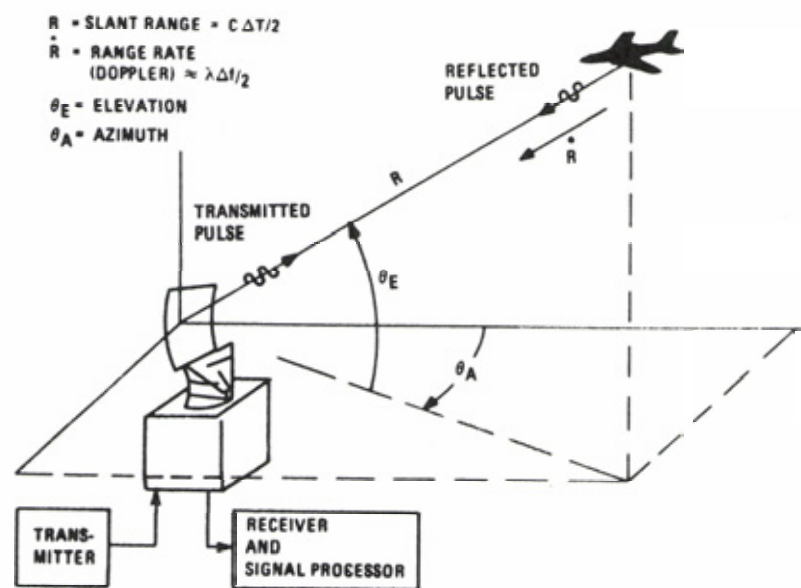


Fig. 2 Zielvermessung mit 3D-Radar

Zur Zielidentifikation dient ein separates System, das sogenannte Sekundärradar oder IFF (Identifikation Feind/Freund). Das vom Boden ausgesendete codierte Abfrage-Signal wird im Flugzeug von einem Sender/Empfänger (Transponder) empfangen und eine ebenfalls codierte Antwort zurückgesendet. Diese enthält Flugzeugnummer und zusätzlich noch die barometrische Höhe (sog. Mode C). Da hier das Flugzeug im Gegensatz zum Primärradar einen "aktiven Reflektor" darstellt, unterliegt das Signal nur einer Einwegausbreitung. Unter schwierigen Verhältnissen, wenn kein Radarecho mehr empfangen werden kann, ist vielfach noch eine IFF-Antwort vorhanden. Neben Zielcode und Höhe wird analog zum Primärradar auch Azimut und Distanz bestimmt (Fig. 3).

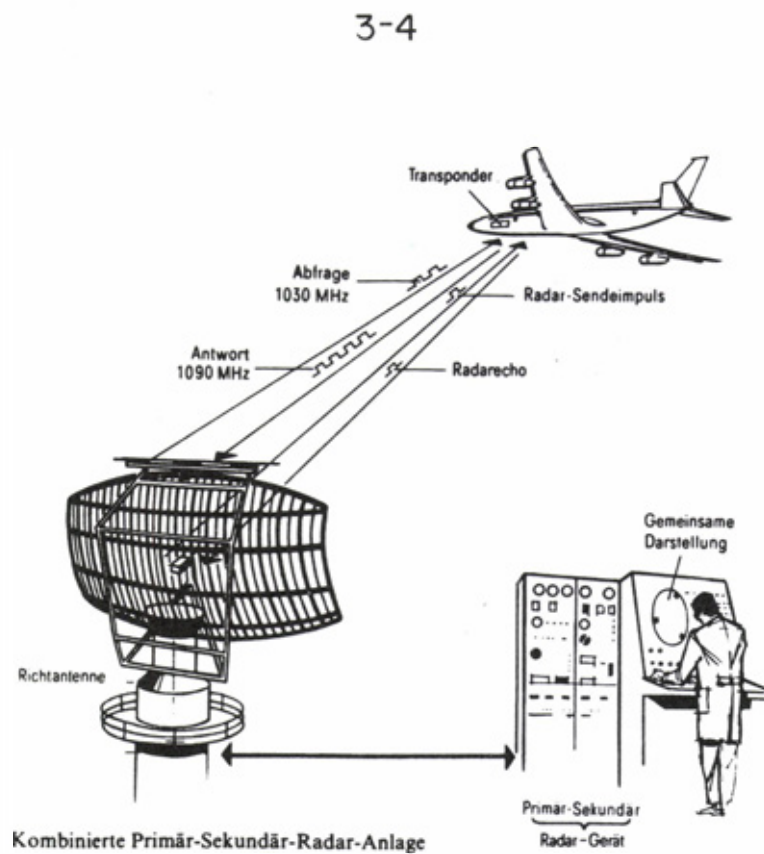


Fig. 3 IFF-Zielidentifikation

1.3. BESONDERE PROBLEME FUER 3D-RADARS IN DER SCHWEIZ

Die Detektion von Flugzeugen in einer realen Umgebung kann durch verschiedene Einflüsse beeinträchtigt oder gar verunmöglicht werden. Wo die Quasi-Sichtlinienverbindung, die zwischen Antenne und Flugzeug für die Ortung mit Radar bestehen muss, unterbrochen wird, bleibt das Ziel unsichtbar. Neben Flugzeugen reflektieren auch Berge, Hügel, Vegetation und Niederschläge die ausgesendeten Wellen. Amplitudenmässig können diese Reflexionen -Standzeichen oder Clutter genannt (Fig. 4)- im Extremfall das Echo des Flugzeuges um mehrere Zehnerpotenzen übersteigen. Daher ist es möglich, dass ein theoretisch "sichtbares" Flugzeug nicht erfasst wird.

Die schweizerische Topographie ist besonders reich an starkem Clutter und stellt speziell an ein Tieffliegerradar sehr hohe Anforderungen. Erfassung und Verfolgung eines Zieles in der Nähe von Standzeichen ist das grösste Radar-Problem in unserem Lande. Aus diesem Grunde sei im folgenden auf die wichtigsten Zusammenhänge eingegangen.

Ein Pulsradar löst das überdeckte Volumen in sogenannte Radarzellen auf. Die Strahlbündelung der Antenne ergibt deren Abgrenzung in Azimut und Elevation. In Distanz wird die Zellenlänge durch die Pulslänge τ bestimmt (Fig. 5). Befindet sich in derselben Radarzelle ausser dem Flugzeug noch ein anderer Reflektor, z.B. eine Felswand, so sollte das Radar zwischen Standzeichen und Ziel unterscheiden können.

3-5

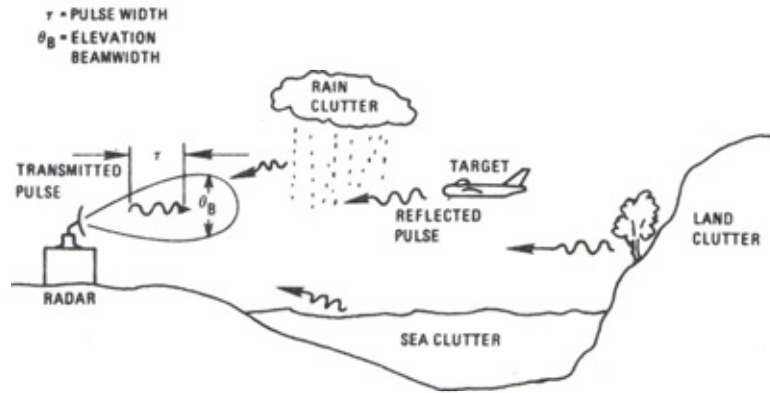
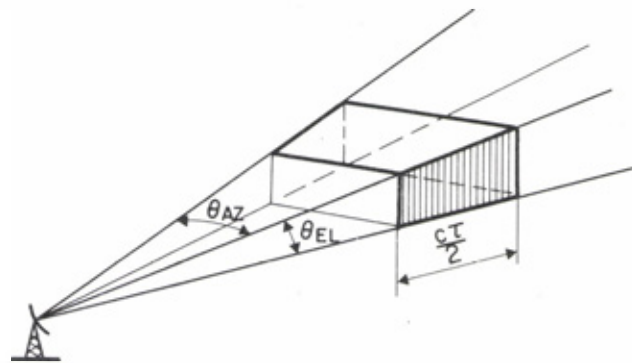


Fig. 4 Störende Reflexionen (Clutter)



θ_{AZ} = Öffnungswinkel in Azimut

θ_{EL} = Öffnungswinkel in Elevation

C = Lichtgeschwindigkeit

τ = Pulslänge

Fig. 5 Radarzelle

3-6

Grundsätzlich wird das Problem gelöst durch eine Differenzierung von bewegten und ruhenden Reflektoren. Separation des Clutters kann mit Hilfe einer Analyse der Reflexionsamplitude in Funktion der Dopplereffrequenz geschehen. Während Bodenc clutter sehr stationär ist und nur durch Bewegung von Bäumen oder Gebüsch einen geringen Doppleranteil erhält, kann besonders bei Regen je nach Windgeschwindigkeit, eine relativ breite Verteilung auftreten (Fig. 6). Das MTI (Moving Target Indicator)-Prinzip (Fig. 7) ist eine Möglichkeit, echte, also bewegte Ziele, von Clutter zu unterscheiden. Dabei werden mindestens 2 aufeinanderfolgende Pulse zeitlich um die Interpulsperiode (IPP) verschoben voneinander subtrahiert.

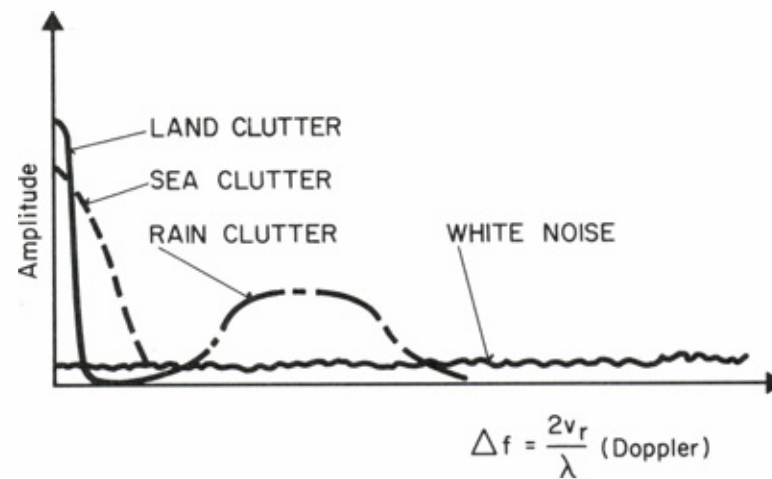


Fig. 6 Radar-Dopplerspektrum

Nur im Falle des bewegten Zieles tritt eine Dopplerverschiebung auf, die am Ausgang der untenstehenden Schaltung ein Signal ungleich Null erzeugt.

Zur Unterscheidung können auch Dopplerfilter angewendet werden (Fig. 8). Je nach Filtercharakteristik wird das Dopplerspektrum mehr oder weniger fein aufgelöst, was auch eine Bestimmung der radialen Zielgeschwindigkeit erlaubt.

3-7

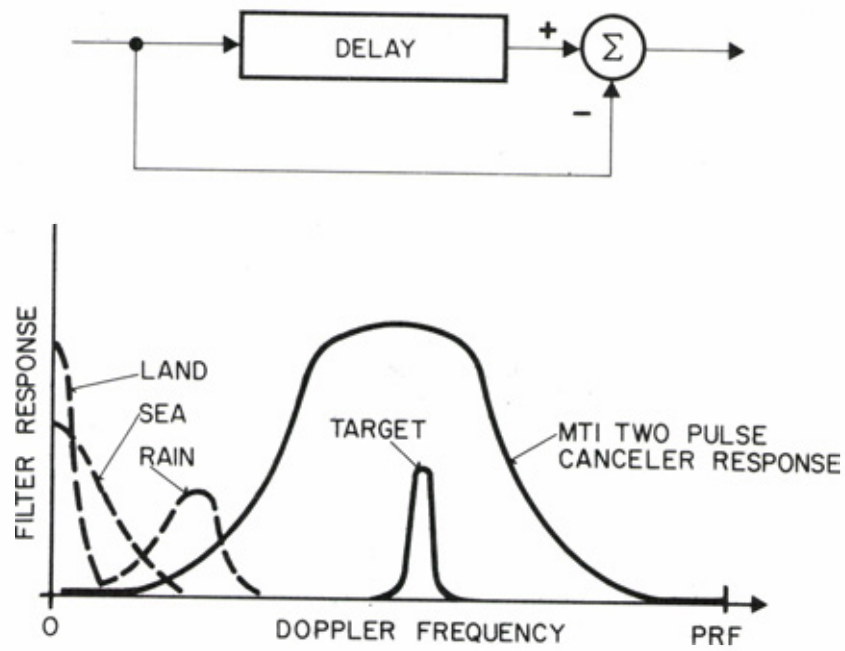


Fig. 7 MTI-Prinzip

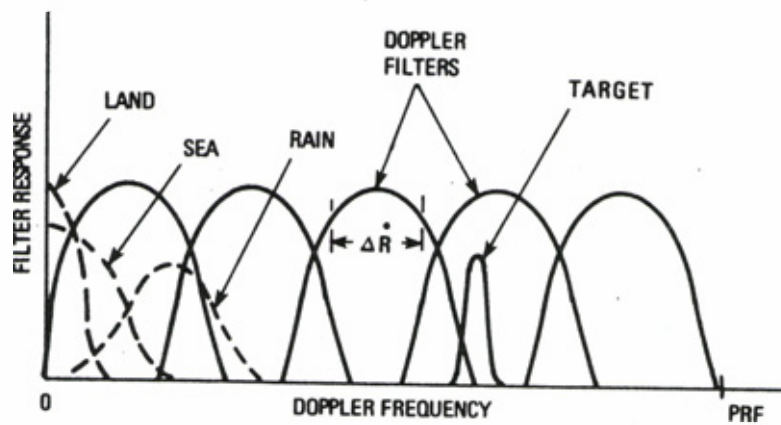


Fig. 8 Separation durch Dopplerfilter

3-8

Mit zunehmender Distanz wird die Radarzelle immer grösser. Da die Grösse des Flugzeuges natürlich unverändert bleibt, verschlechtert sich bei verteilten Standzeichen das Signal zu Clutter-Verhältnis stetig.

Man unterscheidet zwischen Punkt-, Boden- und Volumenclutter. Für die einzelnen Typen sind in der folgenden Tabelle (Fig. 9) Reflexionsquerschnitt σ (m²), reflektierte Leistung P_{ref} (W) und das Verhältnis $\frac{\sigma_F}{\sigma}$ (Flugzeugquerschnitt zu Clutter) in Abhängigkeit der Distanz R aufgeführt. Fig. 10 zeigt die Clutterzellegeometrie für a) Bodenclutter und b) Volumenclutter.

Reflektortyp	Beispiel	$\sigma = f(R)$	$P_{ref} = f(R)$	$\frac{\sigma_F}{\sigma} = f(R)$
Punkt	Flugzeug	$\sigma = \text{const.}$	$P_{ref} \sim \frac{1}{R^4}$	—
	Fahrzeug	$\sigma \neq f(R)$		
	Felswand			
	Hochsp.Mast			
Boden	Berg	$\sigma = \theta_R \cdot \frac{c\tau}{2} \cdot \sigma_0$	$P_{ref} \sim \frac{1}{R^3}$	$\frac{\sigma_F}{\sigma} = \frac{1}{R}$
	Hügelzug			
Volumen	Regen	$\sigma = \theta^2 \cdot R^2 \cdot \frac{\pi}{8} c\tau \eta$	$P_{ref} \sim \frac{1}{R^2}$	$\frac{\sigma_F}{\sigma} = \frac{1}{R^2}$
	Chaff			

$\sigma_0 \eta$: Reflektivitäten von Boden- und Volumenclutter

Fig. 9 Punkt-, Boden- und Volumenclutter

An einem willkürlich gewählten Beispiel (Fig. 11) soll dieser Zusammenhang veranschaulicht werden. Sind die Reflexionsamplituden gemessen in dB bei R=10 km für alle 3 Typen gleich, so verschlechtert sich das Verhältnis zwischen Flugzeug und Bodenclutter in 100 km Distanz um 10 dB und bei Volumenclutter um 20 dB. Dies gilt allgemein wenn der verteilte Clutter die ganze Zelle füllt.

Die sogenannte SCV (Subclutter visibility) ist ein Mass für die Detektierbarkeit von Flugzeugen im Clutter. Ausgedrückt in dB bezieht sich dieser Wert stets auf eine bestimmte Radarzellengrösse, die durch die Pulslänge τ einerseits und andererseits vom Antennenöffnungswinkel abhängt.

3-9

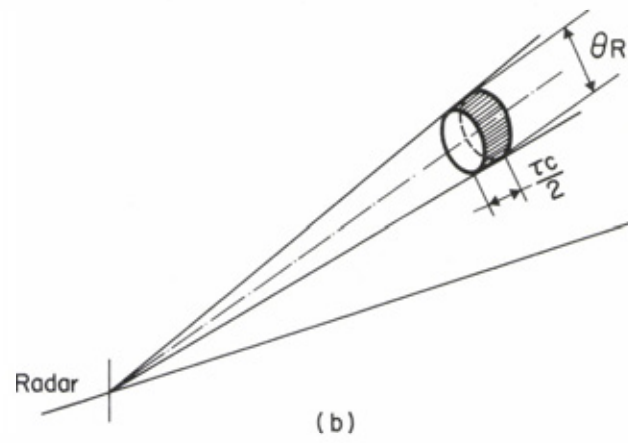
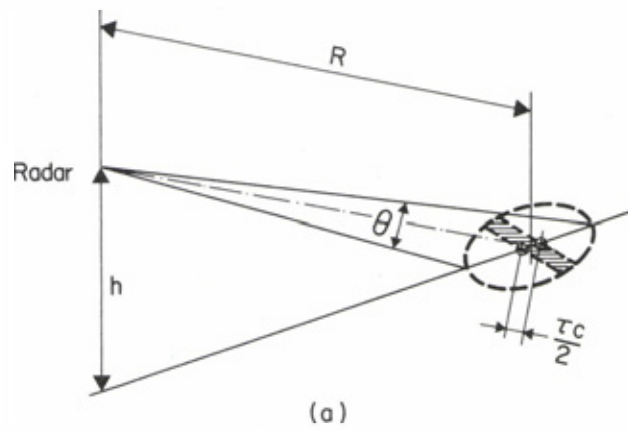


Fig. 10 Clutterzellen: a) Bodenclutter, b) Volumenclutter

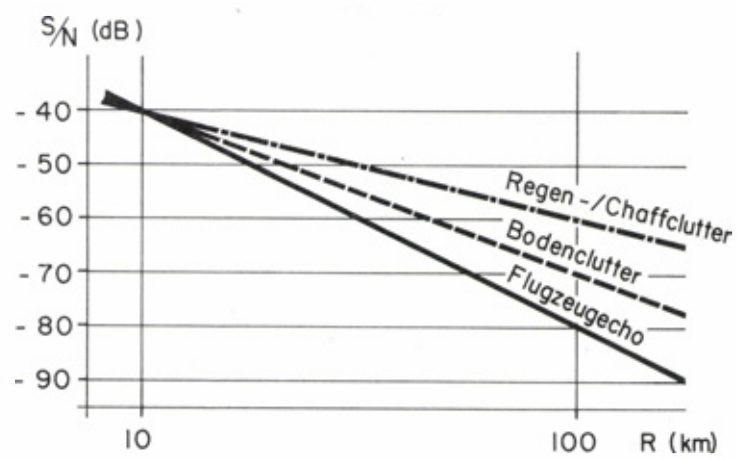


Fig. 11 Abnahme des Signal/Rauschverhältnisses für verschiedene Reflektortypen mit der Distanz

3-10

1.4. WESHALB ERPROBUNG DER SYSTEME IN DER SCHWEIZ ?

Felderproben von Radar-Systemen sind aufwendig und entsprechend teuer. Aussenstehende könnten die Meinung vertreten, dass in der Schweiz bestenfalls bekanntes nachvollzogen und Versuche im Herstellerland effizienter und kostengünstiger wären. Aus verschiedenen Gründen müssen solche Vorstellungen als falsch bezeichnet werden. Die Firmen haben keine Möglichkeit, ihre Systeme in ähnlicher Umgebung zu testen und geben oft zu optimistische Daten, die vielfach nur auf theoretischen Berechnungen basieren an. Unsere speziell schwierigen Verhältnisse erfordern eine besonders hohe SCV. Im Labor lässt sich das nicht verlässlich und realistisch messen.

Nur auf bekannten ausgemessenen Standorten in der Schweiz können alle Konkurrenzsysteme unter identischen Bedingungen erprobt werden. Die Erfahrung lehrt nämlich, dass die wahren Leistungen in unserer Topographie nur an Ort und Stelle gemessen werden können. Aufgezeigte Mängel ermöglichen so dem Hersteller, ganz gezielte Modifikationen oder Verbesserungen vorzunehmen.

Im weiteren sei noch die Flexibilität in Bezug auf den Erprobungsablauf erwähnt, die im Ausland erfahrungsgemäss nicht gewährleistet ist. Dank einem seit vielen Jahren eingespielten Team von GRD-Testpiloten, Fluglotsen und Versuchsingenieuren ist es möglich, Flugprogramme kurzfristig zu ändern, was besonders bei Systempannen oder Wettereinflüssen wichtig ist. Dadurch kann die zur Verfügung stehende Zeit optimal genutzt werden.

2. METHODE

2.1. DATENERFASSUNG

Neben dem zu erprobenden System sind noch zwei weitere Radars notwendig. Das Florida-System dient zur Führung der Zielflugzeuge auf vorbestimmten Pisten. Es liefert auch die digital aufgezeichnete Luftlage, die später für die Auswertung verwendet wird. (Fig. 12). Ein Präzisionszielfolge-Radar "Adour" (in doppelter Ausführung) wird als Referenz für Genauigkeitsmessungen von Azimut, Höhe, Distanz und Auflösung verwendet. Bis zu 2 Zielflugzeuge können damit kontinuierlich verfolgt werden, wobei die Vermessungsgenauigkeit um ca Faktor 10 besser ist als beim Versuchssystem. Auch hier werden die Daten digital aufgezeichnet.

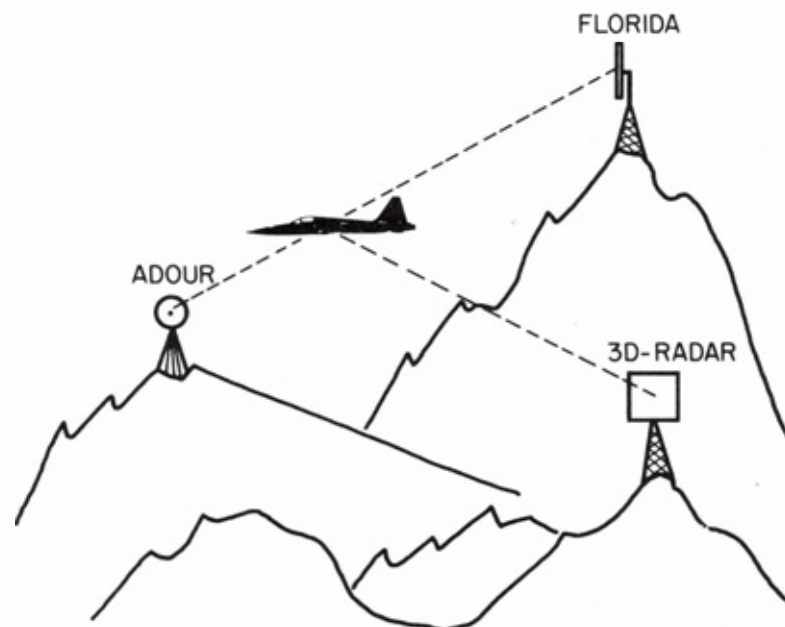


Fig. 12 Erprobungsdispositiv

3-II

Bei Erprobungssystemen werden für jedes vermessene Ziel typisch folgende Daten digital registriert: Zeit, Art des Zielreports (nur Primärradarecho, nur IFF, kombiniert), Distanz, Höhe, Azimut, IFF-Code (ziviler und militärischer Code) und die Mode-C Höhe. Je nach System sind noch viele zusätzliche Daten verfügbar wie zB Geschwindigkeit, Radarquerschnitt, Signal zu Rauschverhältnis etc.

Zu Kontrollzwecken und als back-up bei Ausfall der digitalen Registrierung erfolgt parallel dazu eine analoge Aufzeichnung auf Video-Band. Von der Radarkonsole werden mit einer Kamera Bildschirm mit Polardarstellung (PPI) und zusätzliche alphanumerische Daten aufgenommen. Auf den beiden Tonspuren werden Flugfunk, Kommentar des Operators und Zeitreferenz festgehalten. Die letztere ist für sämtliche Aufzeichnungen dieselbe und stammt von einem Zeitnormalempfänger. Das untenstehende Blockschema zeigt die gesamte Instrumentierung zur Datenerfassung (Fig. 13).

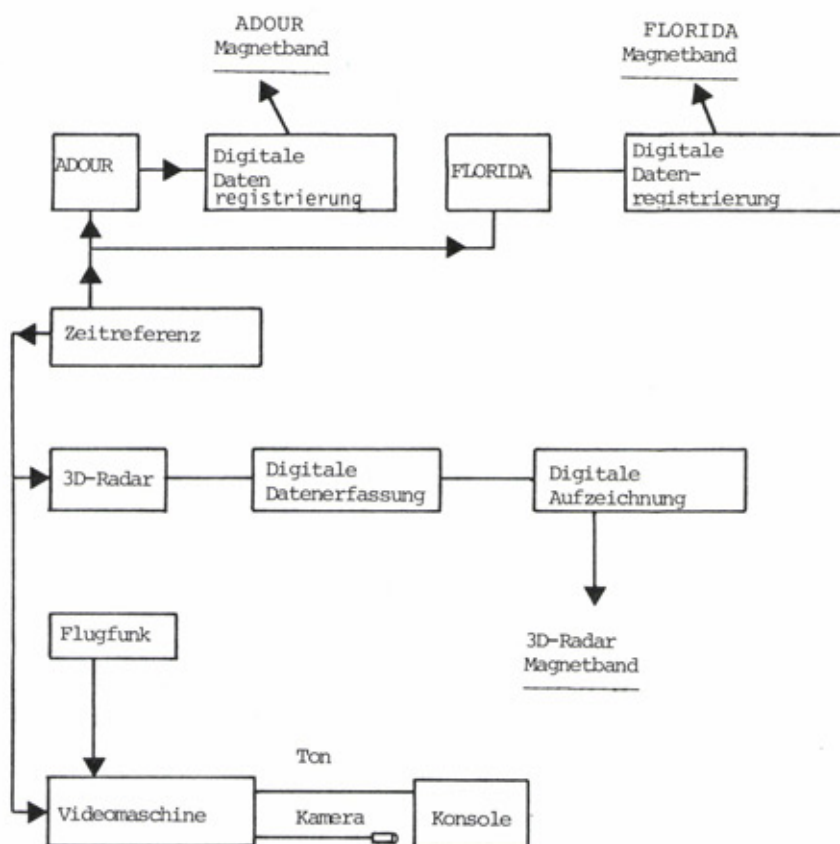


Fig. 13 Instrumentierung

3-12

Figur 14 zeigt die typischen Hauptkomponenten einer digitalen Datenerfassung und Aufzeichnung. Links im Bild Magnetbandeinheit und Hard Copy Unit, in der Mitte ein Datensichtgerät und rechts der HP-Kleincomputer mit Plattenspeicher.



Fig. 14 3D-Radar Datenerfassung und Aufzeichnung

Figur 15 zeigt die analoge Seite der Registrierung. Links: der Zeitreferenzempfänger, in der Mitte: die Videobandmaschine, rechts: Monitor und Flugfunksende/Empfänger.



Fig. 15 Analoge Datenaufzeichnung

3-13

Figur 16 zeigt eine typische Radarkonsole mit PPI und alphanumerischer Anzeige (rechts oben neben Bildschirm).



Fig. 16 Typische 3D-Radarkonsolen

2.2. MESSUNG VON PARAMETERN OHNE CLUTTEREINFLUSS

Der Vermessungsbereich, auch Ueberdeckung genannt, wird überprüft mit radialen An- und Wegflügen auf verschiedenen Höhen. Bei einem Radarsystem ist innerhalb eines definierten Volumens die Entdeckungswahrscheinlichkeit für einen bestimmten Zielechoquerschnitt spezifiziert. Sind genügend Daten vorhanden, so kann eine Aussage darüber gemacht werden, ob irgendwo innerhalb der Ueberdeckung diese Wahrscheinlichkeit wesentlich abweicht vom Sollwert, dh ob Gebiete vorhanden sind, wo das Radar grundsätzlich schlecht "sieht" oder gar "blind" ist. Mittels Adour Radar kann auch die Vermessungsgenauigkeit bezüglich Azimut, Distanz und Höhe bestimmt werden.

Die Auflösung besagt, wie nahe zwei bestimmte Flugzeuge sich nähern können, bis nur noch 1 Ziel auf dem Bildschirm sichtbar ist. Dabei werden 2 Zielflugzeuge, die sich einmal in horizontaler, das andere Mal in vertikaler Ebene langsam nähern, von je einem Referenzradar verfolgt, um so ihre Koordinaten zu bestimmen. Auf diese Weise können Auflösung in Azimut, Distanz und Höhe gemessen werden.

2.3. CLUTTERMESSUNGEN

Bereits vor den Versuchen wurden auf verschiedenen Standorten mit einem Referenzradar Clutterkarten aufgenommen. Dabei wird die Clutteramplitude in Funktion der Distanz in 10° Azimutschritten gemäss Blockschema Fig 17 registriert. Figur 18 zeigt ein Clutterprofil und in Figur 17 sind alle Gebiete mit Reflexionsquerschnitt grösser als 1 m^2 dunkel dargestellt.

3-14

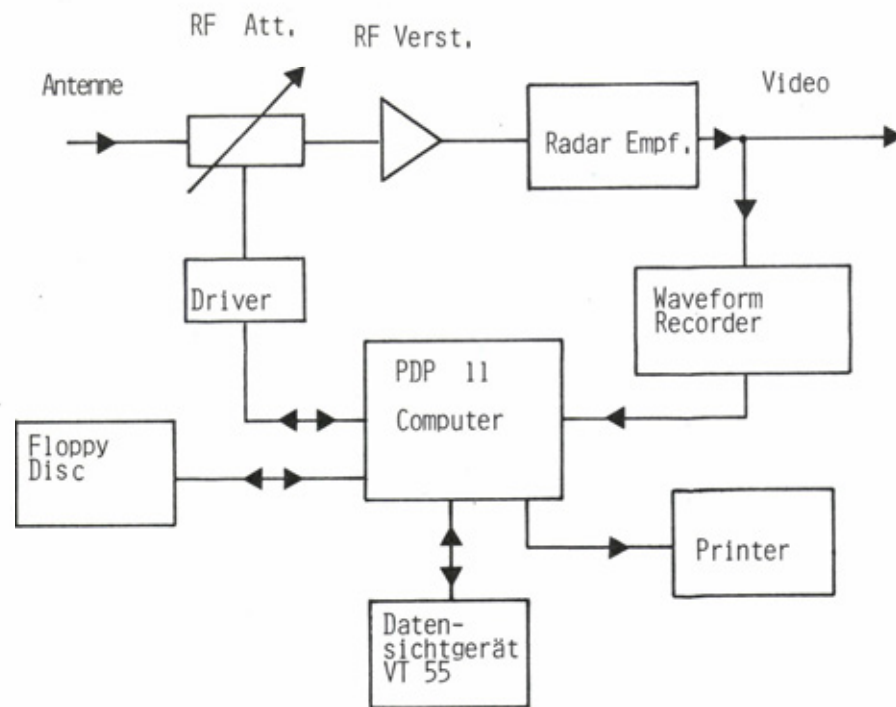


Fig. 17 Blockschema Cluttermessungen

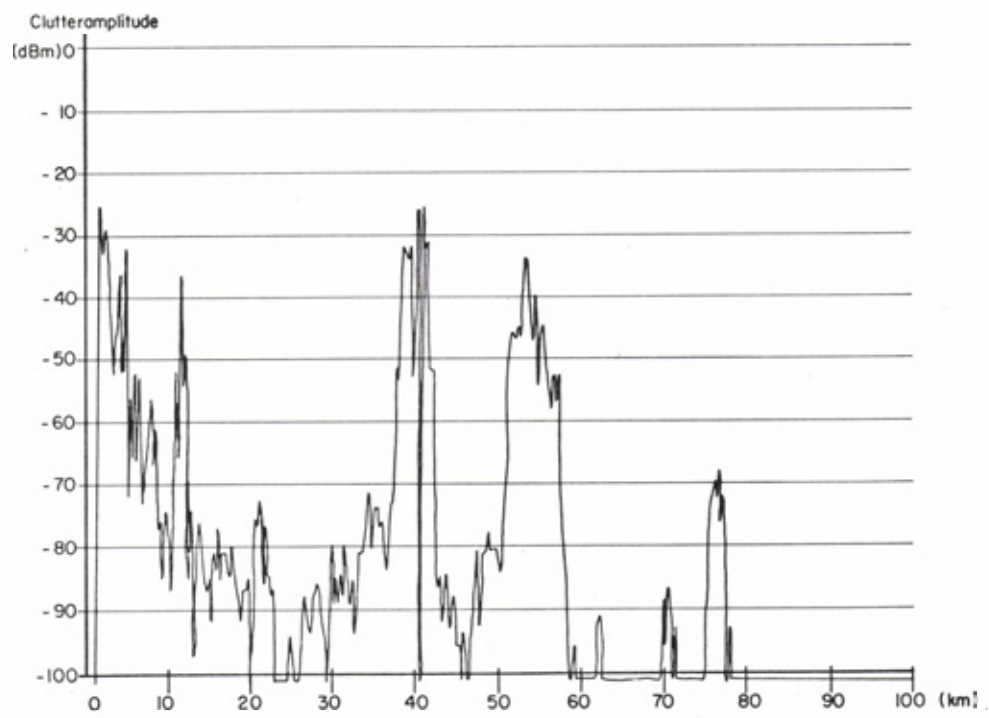


Fig. 18 Clutterprofil

3-15



Fig. 19 Clutterkarte

Anhand solcher Karten können Regionen mit besonders starken Standzeichen erkannt und danach für die Versuche speziell kritische Flugpisten festgelegt werden. Mit dem Erprobungssystem muss diese Messung wiederholt werden, indem jeder einzelne Elevationsstrahler separat betrachtet wird. Das ist notwendig, weil nicht jedes Radar genau gleich viel Clutter "sieht", was mit der Zellengrösse, Pulsform und Seitenkeulencharakteristik in der Elevationsebene zusammenhängt. Die so erhaltenen systemspezifischen Clutterkarten geben Auskunft darüber, wie gross die SCV über einem bestimmten Gebiet sein sollte, um ein Flugzeug detektieren zu können. Für die Bestimmung der Grenzen der Sichtbarkeit fliegt ein Flugzeug in verschiedenen Höhen auf zuvor festgelegten Pisten über und/oder vor Cluttergebieten. Bei der Auswertung kann das sogenannte "Blip zu Scan"-Verhältnis (Detektion pro Umdrehung der Antenne) und die Höhenmessgenauigkeit in Relation zur Standzeichenstärke gebracht werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist der Falschalarmtest. In jedem Radarsystem werden vor allem auf Grund von Cluttereinflüssen falsche Ziele auf dem PPI dargestellt, die wie echte aussehen. Je grösser ihre Zahl, Lebensdauer und Bewegung ist, desto schwieriger wird es für den Operateur oder Rechner, sie von Flugzeugen zu unterscheiden. Das automatische Verfolgungsprogramm (Tracking) datiert Flugwege kontinuierlich auf und arbeitet nur brauchbar, falls die Falschalarmrate geringt bleibt. Zu einem Zeitpunkt mit minimalen Flugbewegungen, dh zwischen ca 0100 und 0400 Uhr, wird die Zahl der Falschziele über einen längeren Zeitraum gemessen. Um eventuelle echte Ziele bei der Auswertung eliminieren zu können, muss die Gesamtluftlage gleichzeitig von Florida kontrolliert werden.

3-16

2.4. STÖRFESTIGKEIT

Moderne Radarsysteme besitzen verschiedene Schaltungen, um feindlichen Störungen auszuweichen oder diese mehr oder weniger zu unterdrücken damit die Detektion von Zielen möglichst wenig beeinträchtigt wird. Grundsätzlich ist jedoch jedes Radar störbar.

Figur 18 zeigt ein PPI bei aktiver Störung aus ca 310°. Zwischen den gestörten Sektoren (bedingt durch die Nebenzipfel im Antennendiagramm) sind noch einige Primärradarechos - als Kreuz dargestellt - sichtbar. Die Quadrate sind Symbol für IFF Antworten.

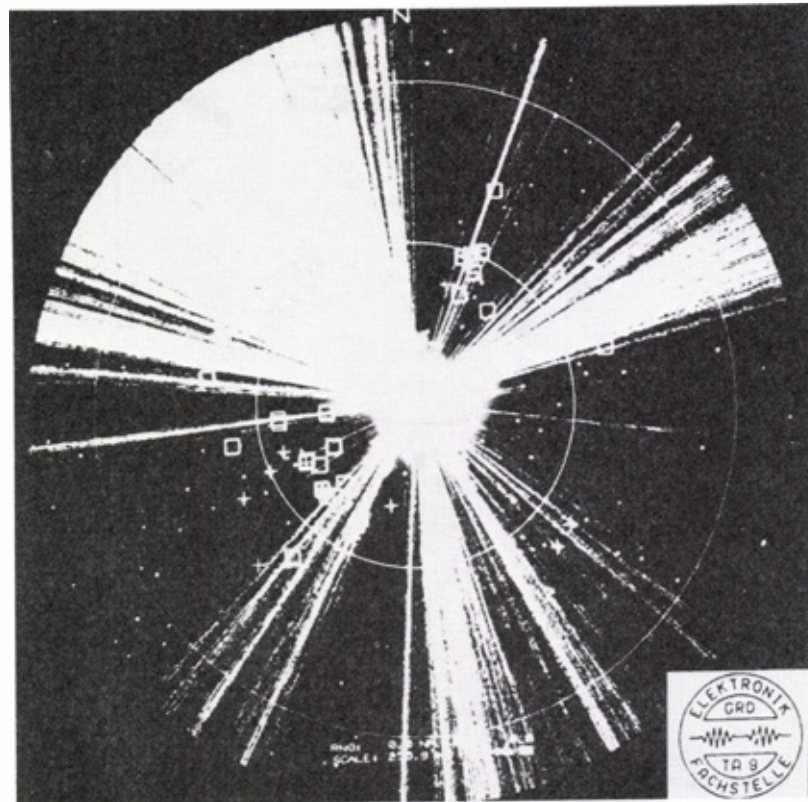


Fig. 20 PPI bei aktiver Störung aus ca. 310 Grad

In diesem Falle könnte eine Automatik eine ungestörte Radarfrequenz wählen. Dadurch müsste der Störer seine Leistung auf eine grössere Bandbreite ausdehnen, was die spezifische Störleistung (W/MHz) entsprechend verringern würde. Unter einer Vielfalt von möglichen Störsignalen sei hier nur das weisse Rauschen erwähnt. Diese Modulationsart hebt im Radarempfänger den internen thermischen Rauschpegel an und bewirkt so eine Reduktion der Empfindlichkeit, was einer Reichweitenreduktion gleichkommt.

In der Praxis kann dieser Effekt mit einem Bodenstörer und einem radial fliegenden Ziel gezeigt werden. Je nach Störpegel verschwindet das Ziel in einem bestimmten Distanzbereich, der aufgrund der Radarparameter, Antennendiagramm und Störleistung berechnet und mit den Messresultaten verglichen werden kann. Figur 21 zeigt eine typische Abhängigkeit zwischen Störleistung P_S im System und der relativen Reichweitenreduktion R_j/R_0 .

R_j : Reichweite bei Störung.

R_0 : Reichweite ohne Störung.

3-17

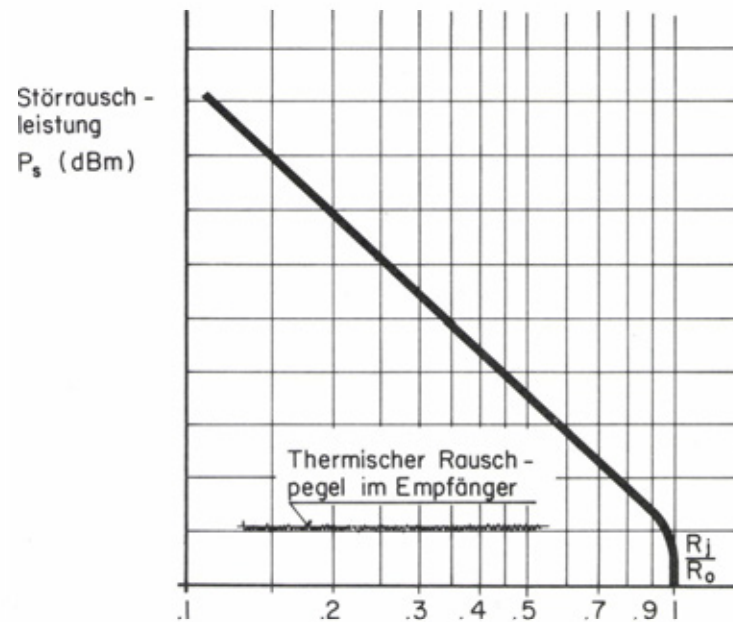


Fig. 21 Abhängigkeit zwischen Störleistung und der relativen Reichweitereduktion R_j/R_0 .

Auf der passiven Seite sind Düppel oder engl. "Chaff" immer noch ein sehr wirksames Störmittel. Grosse Zahl von abgeworfenen, auf die Radarfrequenz längenmässig abgestimmte Dipole in Form von dünnen metallischen Fäden bewirken eine Reflexion der Radarwellen. Diese kann, falls sich das Flugzeug in derselben Radarzelle befindet, eine um 10er Potenzen grössere Amplitude haben. Besonders kritisch wird eine Detektion, wenn die radiale Fluggeschwindigkeit in die Nähe der Wind- und somit der Chaffgeschwindigkeit kommt. Zur Bestimmung der Sichtbarkeit (abhängig vor allem von Chaffmenge, -reflexionsquerschnitt, -dichte, Distanz zum Radar, radiale Geschwindigkeit des Chaffs relativ zum Flugzeug) eines Flugzeuges im Chaffgebiet wird nach dem Abwurf ein Zielflugzeug mit Florida durch die Düppelwolke geführt. Für die ungefähre Ermittlung der Chaffdichte, deren Ausdehnung und Geschwindigkeit, können Aufzeichnungen vom Regenradar der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) herangezogen werden. Alle 10 Minuten wird der Luftraum von 2 verschiedenen Radars abgetastet und 3-dimensional die Reflexionen -normalerweise vom Regen herrührend- dargestellt. Obwohl dieses System auf Regenmenge pro Stunde kalibriert ist, kann die Reflektivität auf Chaff umgerechnet werden, was zur Düppelkonzentration führt.

3. AUSWERTUNG

3.1. METHODE

Zur Auswertung werden die digitalen Daten von den drei Magnetbändern -Florida, Adour und Versuchssystem- auf einen Disc mit einer Kapazität von 165 Megabyte gebracht. Dies erlaubt zum einen deren Korrelation, wobei die Zeit als Referenz dient, zum andern die notwendige kurze Zugriffszeit. Im gleichen Zug erfolgt eine Datenreduktion, das heisst eine Separation der wichtigen von den unwichtigen Daten. Als nächstes wird anhand des IFF-Codes das Zielflugzeug identifiziert, von der Gesamtluftlage getrennt und auf einem File abgespeichert. Mit speziellen auf Versuchssystem und Test zugeschnittenen Auswerteprogrammen in Basic werden nun die Daten bearbeitet. Wegen der hohen Zugriffsgeschwindigkeit ist es möglich, mit grosser Aufdatierungsrate direkt vom Rechner Daten und Flugwege auf dem Display zu erhalten. Wie in einem schnell ablaufenden Film können so Flugwege in beliebiger Darstellung, zB Polar oder Distanz/Zeit etc sichtbar gemacht und auf Wunsch mit der Kopiereinheit auf Papier gebracht werden.

Da bei der digitalen Aufzeichnung ab und zu Fehler oder gar Ausfälle auftreten, muss man nach Bedarf auch die analogen Daten (Videoaufzeichnungen) zwecks Verifikation beziehen. Figur 22 zeigt ein Blockschema digitaler Auswertung und Figur 23 der analogen Auswertung.

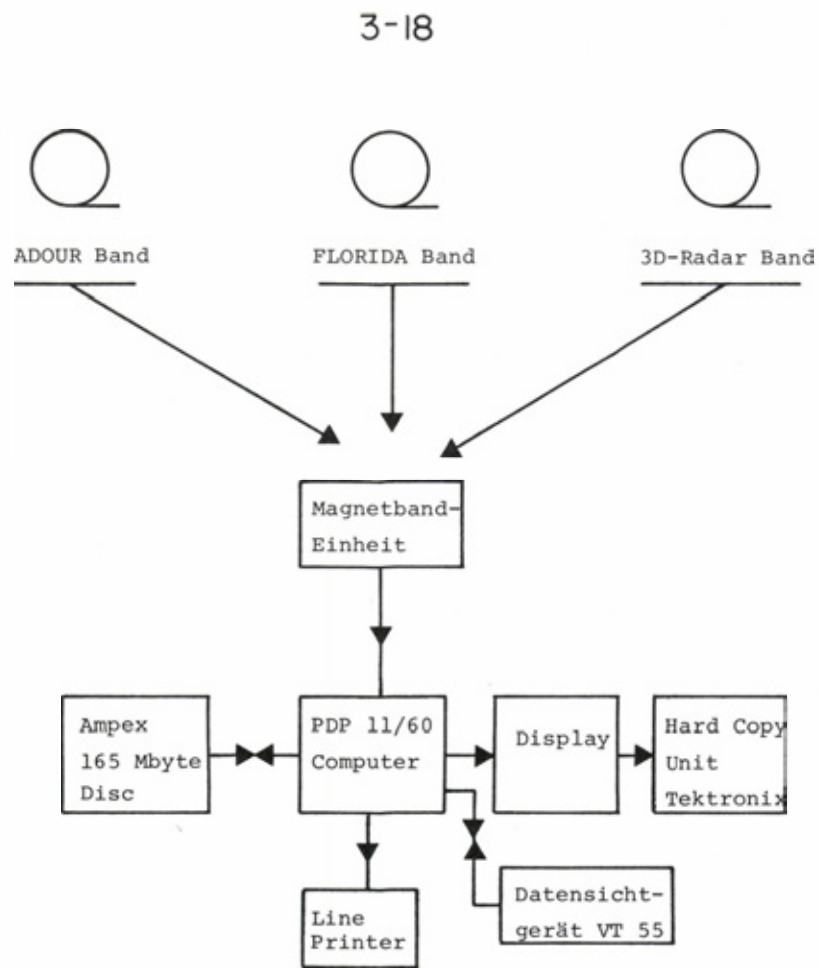


Fig. 22 Digitale Auswertung

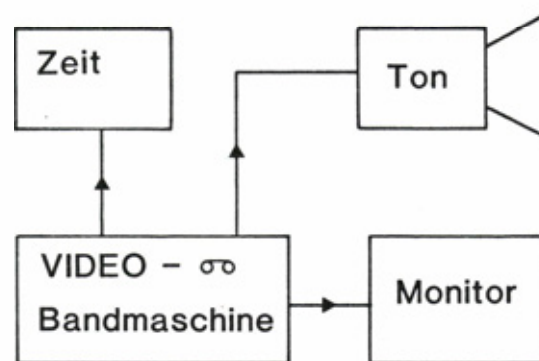


Fig. 23 Analoge Auswertung

3-19

3.2. DARSTELLUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE

An einigen ausgewählten Beispielen sollen zum Schluss noch die Möglichkeiten zur Darstellung der Versuchsergebnisse aufgezeigt werden (Fig. 24...31).

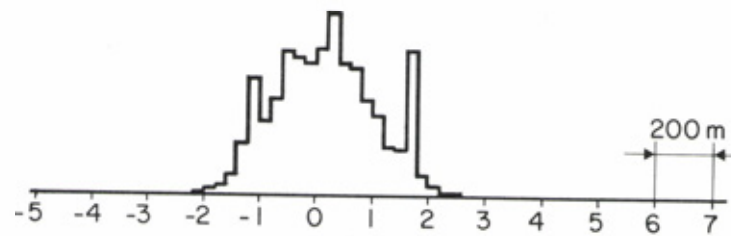
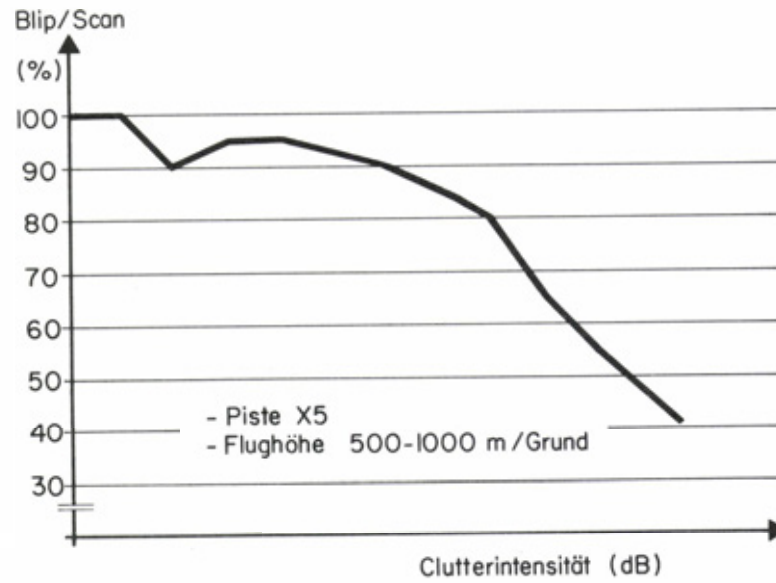


Fig. 24 Distanzfehlerverteilung

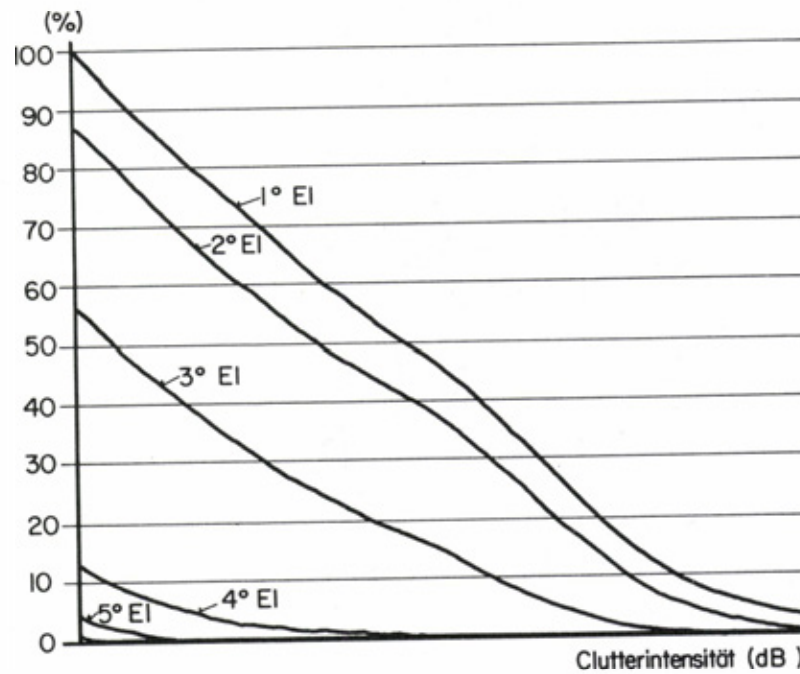


Figur 25: Clutterkarte mit Clutterintensitäten grösser als $0\text{dBm}^2 (= 1\text{ m}^2)$ (Sektor von 90°). Das bedeutet, dass in allen dunklen Gebieten die Reflexionsamplituden von Standzeichen grösser sind als diejenigen eines typischen Kampfflugzeuges.

3-20

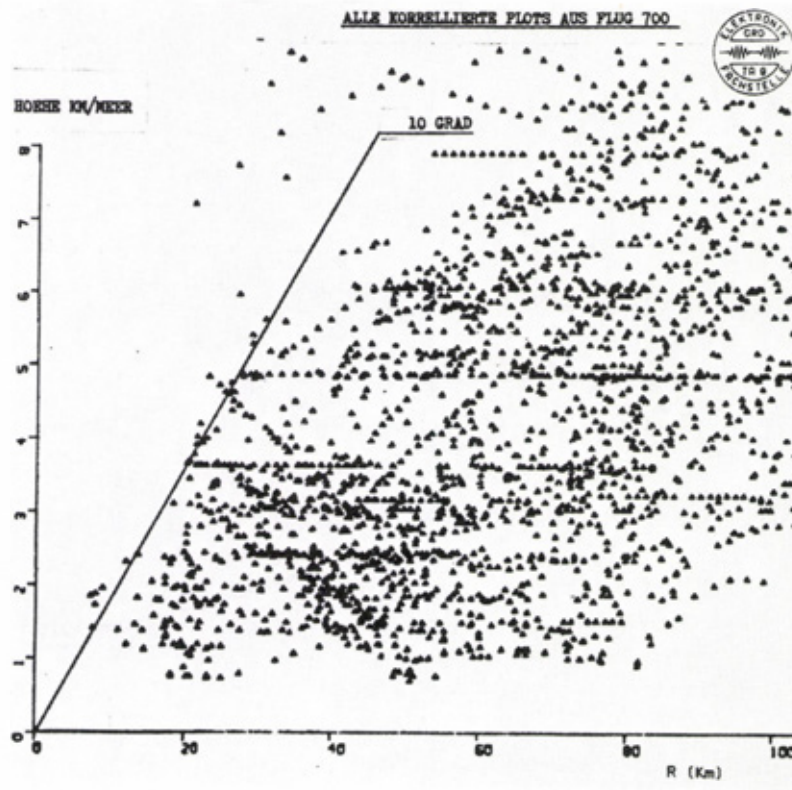


Figur 26: Einfluss der Clutterstärke auf das Blip/Scan (Detektion pro Zielüberstreichung) Verhältnis für eine bestimmte Flugpiste und Höhe.
(Piste X5, Flughöhenbereich 500 ... 1000 m/Grund).

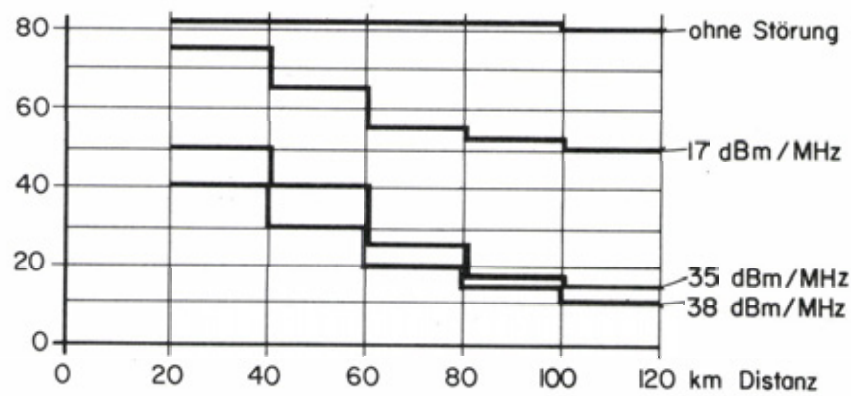


Figur 27: Verteilung der Clutterintensitäten in % für verschiedene Elevationswinkel der Antenne für einen bestimmten Standort.

3-21

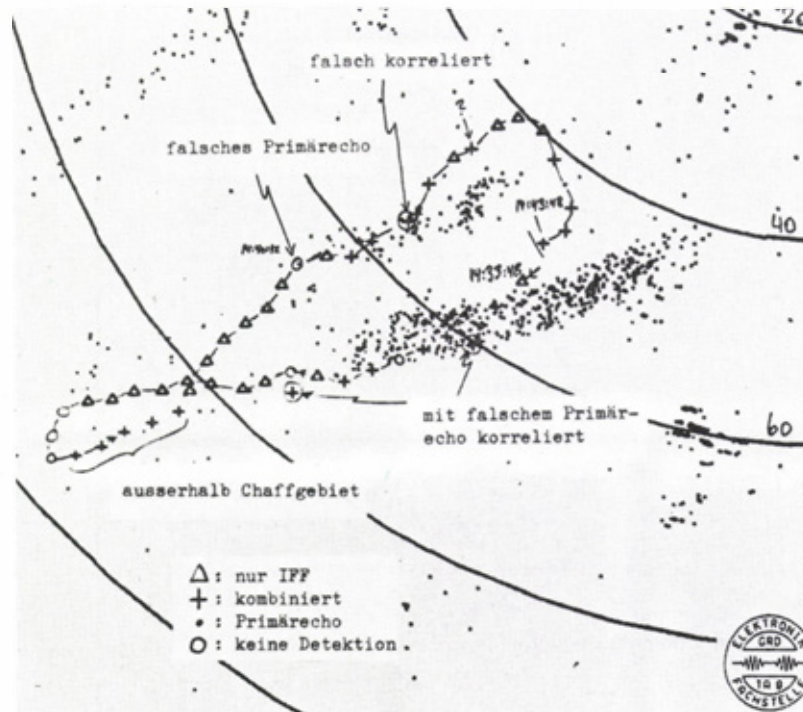


Figur 28: Alle kombinierten Plots (IFF und Primärecho gleichzeitig vorhanden) eines Fluges in Funktion von Höhe und Distanz.

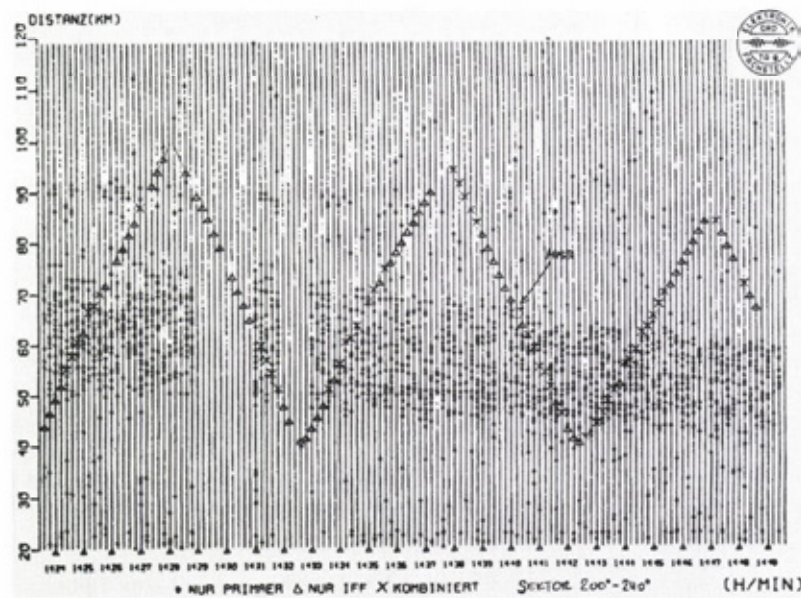


Figur 29: Abnahme der Detektionsleistung (Blip/Scan Verhältnis) in Abhängigkeit von Distanz und spezifischer Störleistung auf eine grosse Zahl von Zufallszielen (Airliners).

3-22



Figur 30: Flugweg im Chaff, Polardarstellung. Chaff teilweise sichtbar an Häufung von Falschzielen die als kleine Punkte dargestellt werden.



Figur 31: Flugweg im Chaff, Distanz/Zeit Darstellung (gleicher Zeitraum wie in Fig. 28). Radiale An- und Wegflüge, Chaff erkennbar an den vielen Falschzielen die sich zwischen ca 50 - 70 km häufen. Ebenfalls sichtbar ist die Bewegung der Düppelwolke im betrachteten Zeitraum.

3-23

Versuchsdauer	8 Wochen
Flugzeit total	45 h
Auswertung	2 Monate (3 Mann)
Registrierte Zielwerte	$2 \cdot 10^8$
Versuchspersonal	
- Herstellerfirma	8...10 Mann
- GRD	7 Mann

Figur 32: Einige typische Zahlenwerte zur Erprobung eines 3D-Radarsystems.

4. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Die Versuchsergebnisse ermöglichen einen direkten Vergleich verschiedener Systeme unter identischen Bedingungen. Dadurch kann das Beschaffungsrisiko weitgehend abgebaut werden und erlaubt auch eine grundsätzliche Abschätzung des technisch Machbaren. Zudem gibt der Kontakt mit den Herstellerfirmen guten Einblick in die "State-of-the-Art" Technologie, was eine wertvolle Grundlage bildet für weitere Erprobungen. Der totale Versuchsaufwand dürfte in der Grössenordnung von wenigen Prozenten der ganzen Systemkosten liegen. Gemessen an allen Vorteilen und Erfahrungen lohnt sich diese Investition sicher.