

AUTOMATION DES FLUGSICHERUNGSDIENSTES MITTELS DIGITALER RECHENGERÄTE*

PROF. DR. WOLFGANG HAACK

Technische Universität Berlin

Zur Zeit erstreckt sich der Flugsicherungsdienst in der Bezirkskontrolle auf den Planflugverkehr in den Luftstrassen. Er wird durchgeführt durch Aufstellung der Flugpläne, mit Angabe der Flughöhe und der erwarteten Überflugzeiten über den Meldepunkten (Sollzeiten) auf Kontrollstreifen sowie durch Vergleich mit den vom Piloten durchgesagten tatsächlichen Überflugzeiten an den Meldepunkten (Istzeiten). Als Ergänzung dient der Bildschirm der Rundradargeräte dem Lotsen zur Orientierung über die Luftlage.^{1,3} Die zunehmende Verkehrsdichte und die grossen Unterschiede der Fluggeschwindigkeiten von interkontinentalen Düsenflugzeug bis zum älteren Lastenflugzeug zwingen mindestens zur teilweisen Automation des Verfahrens. Durch die Automation kann der Lotse aber nicht ersetzt, sondern nur entlastet werden. Die Automation übernimmt nur die Routine-Arbeit; sie kann dem Lotsen mögliche Komplikationen melden. Der Lotse gewinnt Zeit, um sich den Sonderfällen zu widmen. Die Automationsanlage ist eine Apparatur für den Lotsen, von der er Auskunft über die Luftlage erhalten kann.

Der Präsident der BFS, Dr. O. Heer,¹ beschrieb eine stufenweise Automatisierung des Flugsicherungsdienstes; die beiden ersten Stufen umfassen die Berechnung der Flugpläne und die Kollisionskontrolle. Die Untersuchungen zur Durchführung dieser Automationsstufen wurden vom Verfasser mit Telefunken so weit geführt,² dass ein simulierter Flugsicherungsdienst den Vertretern der BFS schon Anfang 1959 am Digitalrechner Zuse 22 demonstriert werden konnte. Trotzdem blieben noch verschiedene Fragen offen. Bei der Kollisionsprüfung erfordert der Vergleich eines neuen Flugplanes mit der gesamten Flugplanliste grossen Rechenaufwand, wenn man einen Universalrechner verwendet, deshalb wurden Spezielschaltungen zur Kollisionskontrolle entworfen.⁶ Auch sogenannte Assoziativ-Speicher wären sehr vorteilhaft.

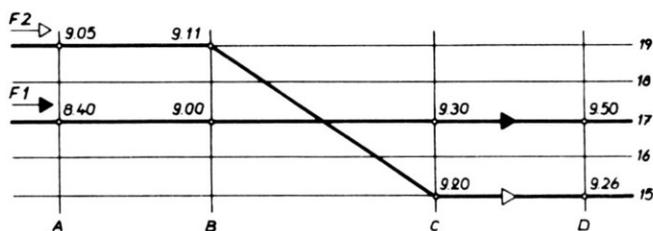
* In collaboration with Prof. Dr. Gundlach, H. Springer, E. Jessen, W. Stortz, W. D. Wirth, Technische Universität Berlin.

[Figur 1] enthält eine schematische Übersicht über die Automationsstufen und soll zeigen, wie die einzelnen Abschnitte vom Stadium der Forschung über die Erprobung in den Betrieb übernommen werden können. [Figur 2] veranschaulicht eine Kollisionsgefahr, die durch Höhenwechsel einer Flugroute entstehen kann. Das ist ein wichtiger Fall im interkontinentalen Verkehr, wenn die schnellen Düsenflugzeuge aus grossen Höhen sich dem Flugziel nähern. [Figur 3] zeigt eine Anordnung der Flugpläne zur Kollisionskontrolle im Rechengenät. Da über die Flugplan- und Kollisionsberechnung mehrere Veröffentlichungen vorliegen, soll dieser Fragenkomplex übergangen werden.^{2,4}

Stufen der Automatisierung des deutschen Flugsicherungsdienstes

	In Betrieb	Erprobung	Forschung
I	Vorausberechnung des Flugverlaufs (Flugplan)	Automatische Kollisionsprüfung Synthetische Luftlagedarstellung Daten-Ausgabe	Digital-Radar-Informationen Radar-Computer Data-Link
II	Automatische Kollisionsprüfung Synthetische Luftlagedarstellung Daten-Ausgabe	Digital-Radar-Informationen Radar-Computer Data-Link	Data-Link
III	Digital-Radar-Informationen Radar-Computer		

Fig. 1.



Kollision durch Höhenkreuzung zwischen zwei Meldepunkten

Fig. 2.

Zeit- und Flugkalen
.....

F ^k	links			rechts		
	t	P	H	t	P	H
Z e i t s k a l a						
F ⁻¹	8.40	A	17	9.00	B	17
F ⁻¹	9.00	B	17	9.30	C	17
F ⁻¹	9.30	C	17	9.50	D	17
F ⁻¹	9.50	D	17			
F l u g s k a l a Fall 1						
F ⁻²	8.50	E	17	9.05	B	17
F ⁻²	9.05	B	17	9.25	F	17
F ⁻²	9.25	F	17			
F l u g s k a l a Fall 2						
F ⁻²	9.05	A	17	9.11	B	17
F ⁻²	9.11	B	17	9.20	C	17
F ⁻²	9.20	C	17	9.25	D	17
F ⁻²	9.25	D	17			
F l u g s k a l a Fall 3						
F ⁻²	8.45	A	15	9.01	B	15
F ⁻²	9.01	B	15	9.25	C	19
F ⁻²	9.25	C	19	9.41	D	19
F ⁻²	9.41	D	19			
F l u g s k a l a Fall 3a						
F ⁻²	9.05	A	19	9.11	B	19
F ⁻²	9.11	B	19	9.20	C	15
F ⁻²	9.20	C	15	9.26	D	15
F ⁻²	9.26	D	15			

Fig. 3.

AUSWERTUNG VON RADARINFORMATIONEN

Besonders reizvoll ist das Studium der digitalen Auswertung der Radarinformationen, das in den letzten Jahren schöne Erfolge gebracht hat. Sie soll den Lotsen von der ständigen Beobachtung des Bildschirmes befreien. In Sonderfällen wird das Rechenggerät die Hilfe des Lotsen anfordern. Der Automatisierungsvorgang kann hier nur kurz umrissen werden:

Das Verfahren beschränkt sich auf die im Flugsicherungsdienst üblichen Rundsicht-Radar-Geräte. Ein solches Gerät sendet einen kurzzeitigen z.B. (1 μ sek) Impuls in der momentanen Richtung als schmal gebündelten Strahl aus (Radar-Keule) und misst den Zeitabstand bis zum Eintreffen einer Reflexion. Bei gleichmässiger Rotation der Radarantenne (ca. 6 Umdrehungen/Min.) überstreicht die Radarkeule das Beobachtungsgebiet. [Figur 4] zeigt die Lage und Reichweite eines Radarsystems für die Bundesrepublik. Drei Gross-Radar-Geräte bei München, Frankfurt, Hannover überstreichen je ein kreisförmiges Gebiet so, dass eine ausreichende Überdeckung der Kreise besteht. Die vom Radargerät aufgefangenen Echos werden in einem Digital-Detektor (siehe unten), der sich am Ort des Radargerätes befinden kann zu "Zielkoordinaten" verarbeitet, d.h. die Polarkoordinaten der Reflexionsquelle bezüglich des Radarortes werden digital dargestellt und über einen Puffer an eine zentrale Rechenanlage weitergeleitet und hier zu einem Luftlagebild verarbeitet. Das Ergebnis muss schliesslich in den Flugsicherungszentralen zur Verfügung stehen. Zunächst sollen der Digitaldetektor und das Auswerteverfahren beschrieben werden.

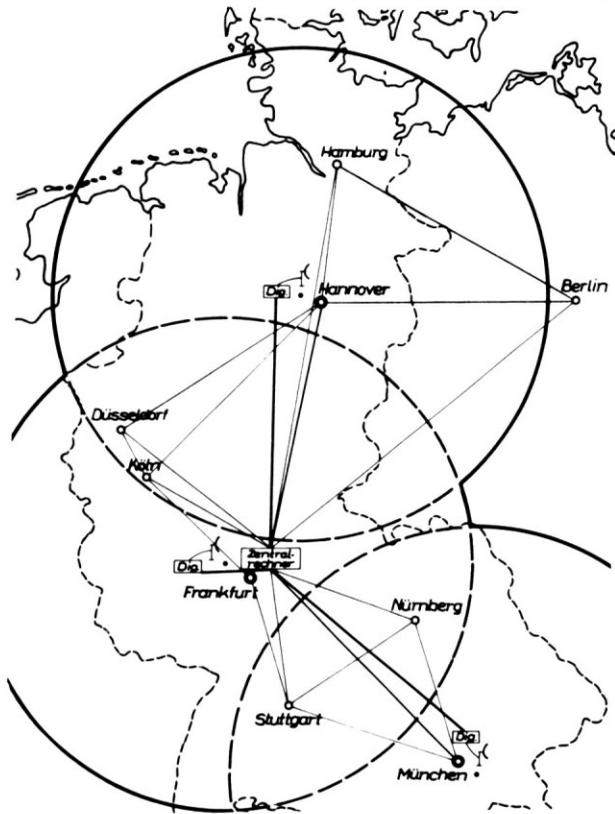


Fig. 4.

DIGITALDETEKTOR (PROF. GUNDLACH, STORZ, WIRTH)

In regelmässigen Intervallen von etwa 1 msec werden Impulse ausgestrahlt. Die Reflexion des Impulses an einem Ziel wird mit einer zum radialen Abstand proportionalen Verzögerung als Echo aufgefangen, so dass man Entfernung und Azimut als Polarkoordinaten des Zieles bestimmen kann. Bei einer Impulsdauer von 1 μ sek kann die Verzögerungseinheit kaum kleiner sein; das führt zur Digitalisierung der Entfernung in Entfernungsringse von 150 m Breite. Dieses einfache Prinzip wird in Wirklichkeit durch zahlreiche störende Nebenerscheinungen erschwert. Im Empfänger wird den Echosignalen das Empfängerrauschen überlagert. Am Empfängerausgang hat man daher die Echosignale vom Rauschen zu unterscheiden. Dazu nutzt man aus, dass während der Abtastung durch die Antennenkeule vom gleichen Ziel (mit gleicher Verzögerung) 15–25 Echosignale im Sendetakt der Impulse (1 msec) empfangen werden. Zu ihrer Verarbeitung teilt man das gesamte Radarbild mittels Torschaltungen in Entfernungsringse ein (ihr Abstand entspricht der Verzögerung von 1 μ sek). Die Echos des gleichen Zieles erscheinen am Ausgang einer Entfernungstorschaltung und ergeben eine Impulsfolge auf dem Entfernungsrings. Zur Digitalisierung wird das einzelne Videosignal mit einer (oder mehreren) Digitalisierungsschwellen verglichen. Bei Überschreitung der Schwelle wird ein *L* (bei mehreren Schwellen

der entsprechende Schwellenwert) als Impuls abgegeben. Die Digitalisierung wurde nach Untersuchung der Vor- und Nachteile mit einer Schwelle durchgeführt, die gegebenenfalls vom Rechengerät gesteuert werden kann. (Man verzichtet dabei auf die Ausnutzung der Antennencharakteristik.) Dadurch ergibt sich auf jedem Entfernungsrings eine Folge von 0- und L -Werten, die auf das Vorhandensein von Zielen untersucht werden muss. Ein Ziel wird sich durch eine Häufung von L -Werten auszeichnen und kann mittels zweier Parameter erfasst werden, die einerseits von der Breite der Antennenkeule, andererseits von einem Mass für die Dichte abhängen. Ein Gerät, das dieses leistet und die Polarkoordinaten des Zieles liefert, soll Digital-Detektor heissen. Zwei verschieden arbeitende Prototypen für einen Entfernungskreis wurden von den Herren Wirth und Storz im Heinrich-Hertz-Institut entworfen und gebaut. Ein ausführlicher Bericht wird demnächst veröffentlicht.^{7a,7b} Die beiden Detektoren (je mit nur einem Entfernungsrings) wurden eingehend getestet mit einem eigens konstruierten Echo- und Rauschsimulator, aber auch durch Anschluss an ein Schiffs-Radar, das auf dem Dach des Heinrich-Hertz-Instituts montiert ist. [Figure 5] zeigt eine Aufnahme der digitalisierten Videosignale eines Zieles. Das Bild wurde von den Herren Storz und Wirth aufgenommen.

Der Detektor arbeitet zunächst auf einem Entfernungskreis. Die Auslegung eines Detektors für jeden Entfernungskreis (d.h. 1000 Detektoren) kommt wegen des hohen Aufwandes nicht infrage. Unter Verwendung konventioneller Bauelemente der Rechenmaschinenteknik entwarf E. Jessen eine Schaltung mit Ferritkern-Zyklen und 4 Registern, die bei einer Arbeitsfrequenz von 0.2 MHz folgen kann. Mit schneller arbeitenden Elementen ist eine Reduktion der Zyklen möglich. Der Detektor des Radargebietes (Gebietsdetektor) kann und muss gegebenenfalls Zielkoordinaten in mehreren aufeinanderfolgenden μ sek abgeben;

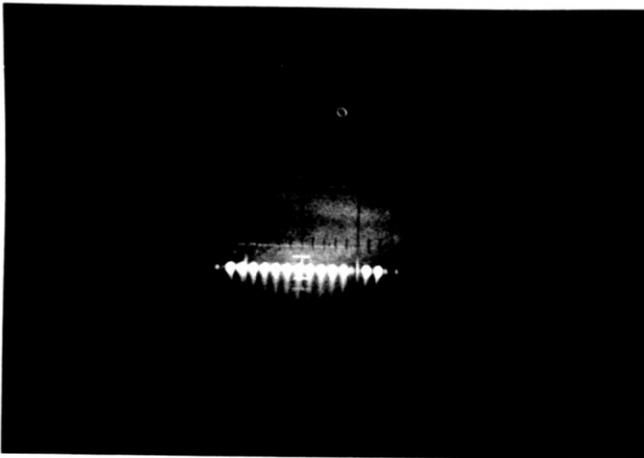


Fig. 5. Oszillogramm des digitalisierten Radarvideosignals. Das Echomuster wird durch ein einzelnes Flugzeug erzeugt, d.h. der Abstand zweier aufeinanderfolgender Impulse entspricht der Takperiode des Radarsenders.

z.B. mehrere Flugzeuge auf gleichem Strahl im Abstand von ca. 150 m voneinander (in verschiedener Höhe). Da ein Rechengert eine solche Folge nicht aufnehmen und zugleich verarbeiten kann, muss ein Pufferspeicher zwischengeschaltet werden. Die Aufnahmefähigkeit des Puffers kann einer mittleren "Zielbelegung" angepasst sein (Storz-Wirth) oder die Maximalkapazität des Detektors ausschöpfen. Das letztere erweist sich als kaum aufwendiger; gibt nämlich der Detektor ein Signal auf einem Entfernungskreis, so kann er wegen des Parameters der Keulenbreite in den nächsten 10 bis 20 Millisekunden auf diesem Entfernungskreis kein Signal mehr geben. Das kann man bei der Planung des Puffers ausnutzen (Jessen). Vom Pufferspeicher werden die Koordinaten (Entfernung und Azimut) an den Digitalrechner abgegeben.

INFORMATIONSVERRARBEITUNG IM ZENTRALRECHNER

Die vom Detektor ankommenden Daten hat H. Springer treffend "anonyme Koordinaten" genannt. Das vom Detektor "erkannte Ziel" braucht kein Flugzeug zu sein; selbst bei Festzielunterdrückung (MTI) bleiben Wolken und andere Störechos, also auch gewisse Rauschspitzen, in den ankommenden Daten. Andererseits können schwache Flugzeugechos unter der Digitalisierungsschwelle bleiben und vom Detektor verschluckt werden. Zur Berechnung der Luftlage aus den Detektordaten ist wesentlich, dass bei gleichmässigem Umlauf der Radarantenne die Radarkeule ein Ziel periodisch, in festen Zeitintervallen, trifft. H. Springer berichtet zur Flugzielverfolgung:

Die im folgenden beschriebene Theorie baut sich auf einer Planungslogik auf, die in der Lage ist, aus diesem Anfall "anonymer Positionswerte" das aktuelle Luftverkehrsbild zu ermitteln. Das Grundelement dieser Theorie ist das "Prinzip der Erwartungsgebiete," ein von Herrn Prof. Dr. W. Haack eingeführtes Auswahlprinzip. Die von Flugzielen gelieferten echten Positionswerte lassen sich im Gegensatz zu den anderen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Antennenumläufen korrelieren, da ihre Lage zueinander durch die Bewegungseigenschaften des Flugzieles determiniert ist. Aus zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Zielpositionen lässt sich immer ein beschränktes Gebiet angeben, in dem die zu erwartende nächste Zielposition erscheinen muss. Dieses "Erwartungsgebiet" muss selbstverständlich in seiner Konfiguration sowohl die kinematische Unbestimmtheit des Flugverlaufs, als auch die Ungenauigkeit der Standortbestimmung dieses Zieles durch das Radar einrechnen. Tritt in diesem Erwartungsgebiet ein Positionswert auf, so wird er gewissermassen auf "Verdacht" als Zielkoordinate gewertet und mit der vorhergehenden Zielposition zur Vorausbestimmung des nächsten Erwartungsgebietes verknüpft. Alle Positionswerte, die nicht in ein solches Erwartungsgebiet fallen, werden vom Rechner ignoriert, [Fig. 6]. Eine permanente Anwendung dieses Prinzips ermöglicht bereits eine Zielverfolgung, solange jede Zielposition gemeldet wird und jedes Erwartungsgebiet nur einen "Treffer" hat.

Die allgemeine Theorie der Zielverfolgung berücksichtigt die Unsicherheit der Detektordaten. Das Auftreten mehrerer Positionswerte in einem Erwartungsgebiet und das Ausbleiben echter Zielpositionen sind kritische Fälle, die eine

besondere Organisation benötigen. Diese auf ein Minimum von Elementarfällen, "Komplikationen" genannt, zurückzuführen, ist der wesentliche Gedanke der Theorie.

Fällt eine echte Zielposition aus, so hat man die Möglichkeit, "Zielverlust" zu melden oder den Ausfall zu überbrücken. Letzteres erfordert ein grösseres Erwartungsgebiet (2. Ordnung), das die Ortungsunsicherheit des Flugzieles während zweier Antennenumläufe abfängt. Will man zwei hintereinander ausgefallene Zielpositionen überbrücken, so benötigt man ein Erwartungsgebiet 3. Ordnung, allgemein bei $n - 1$ "Ausfallern" ein solches n -ter Ordnung. Die Anzahl der Komplikationen hängt wesentlich von der zugelassenen Ordnung ab. Allgemein lässt sich ein System, welches mit Erwartungsgebieten n -ter Ordnung arbeitet, auf ein vollständiges Grundsystem von $2n + 2$ Komplikationen zurückführen, [Fig. 7].

Ein System, welches mit Erwartungsgebieten 2. Ordnung arbeitet und sich somit auf ein System von 6 Komplikationen zurückführen lässt, wurde bereits eingehend auf einem Digitalrechner erprobt, und zwar für eine Antennenumlaufzeit von 10 sek, die bei vielen Grossraumradaranlagen gegeben ist. Bei zwei und mehr ausgefallenen Zielsignalen hintereinander springt das System automatisch

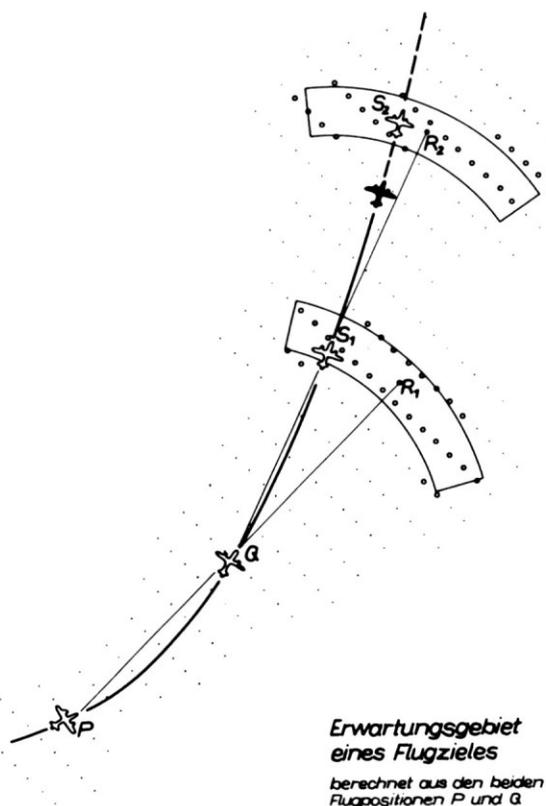


Fig. 6.

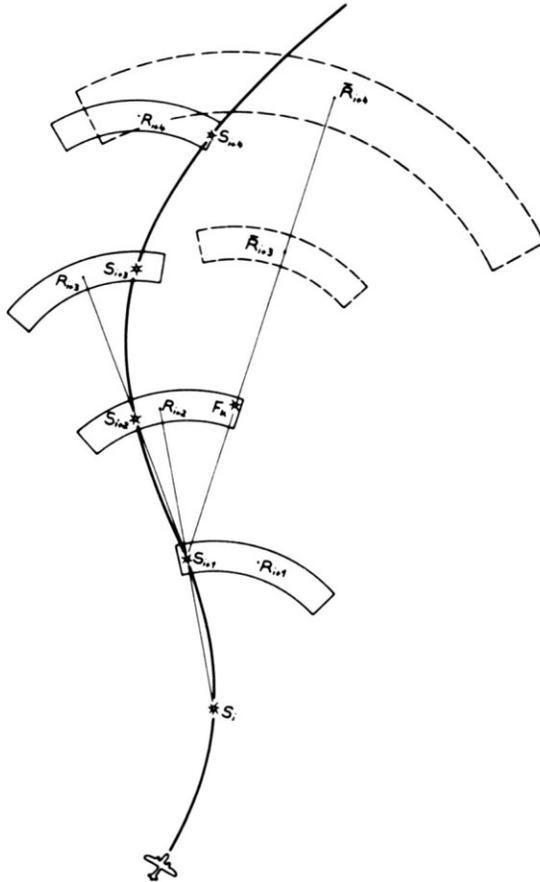


Fig. 7.

Fig. 7a. Tracking a single aircraft through a local interference (cloud). Printed by the Siemens 2002 computer. Each "1 TR" represents one signal that can be correlated to the flight track. Each line corresponds to one aerial rotation.

in ein Erfassungsprogramm (siehe unten). Gegen einzelne Ausfälle von Ziel-signalen, und diese kommen auf Grund statistischer Untersuchungen besonders häufig vor, ist das System unempfindlich [Fig. 7a].

Zur Luftkontrolle eines grösseren Raumbereiches müssen mehrere Radaranlagen herangezogen werden, deren Wirkungsbereiche sich hinreichend überlappen [Fig. 4]. Die Verfolgung über ein System von Rundstrahlradaranlagen erfordert die Zielübergabe von einem Radarbereich auf einen benachbarten. Die Kenntnis des abgebenden Radars über die Flugbewegung nutzt der Rechner aus, indem er mit Hilfe eines Transformationsprozesses den Positionswerten des übernehmenden Radars Erwartungsgebiete anbietet, in denen dann durch eine besondere Planungslogik die Zielübergabe stattfindet [Fig. 8]. Der Antennen-nachlauf des übernehmenden Radars sowie die relativen Antennenschwankungen

beider Anlagen werden bei diesem Prozess berücksichtigt. Gleicher Umlaufsinn für alle Antennen ist erforderlich. Auch dieses Verfahren ist programmiert und erprobt [Fig. 8a].

Die Zielerfassung wird man grundsätzlich nur in beschränkten Erfassungsgebieten vornehmen, um die Leistungsfähigkeit des Rechners nicht zu überziehen. Feste Erfassungsgebiete sind etwa die Umgebungen der Flugplätze; freie

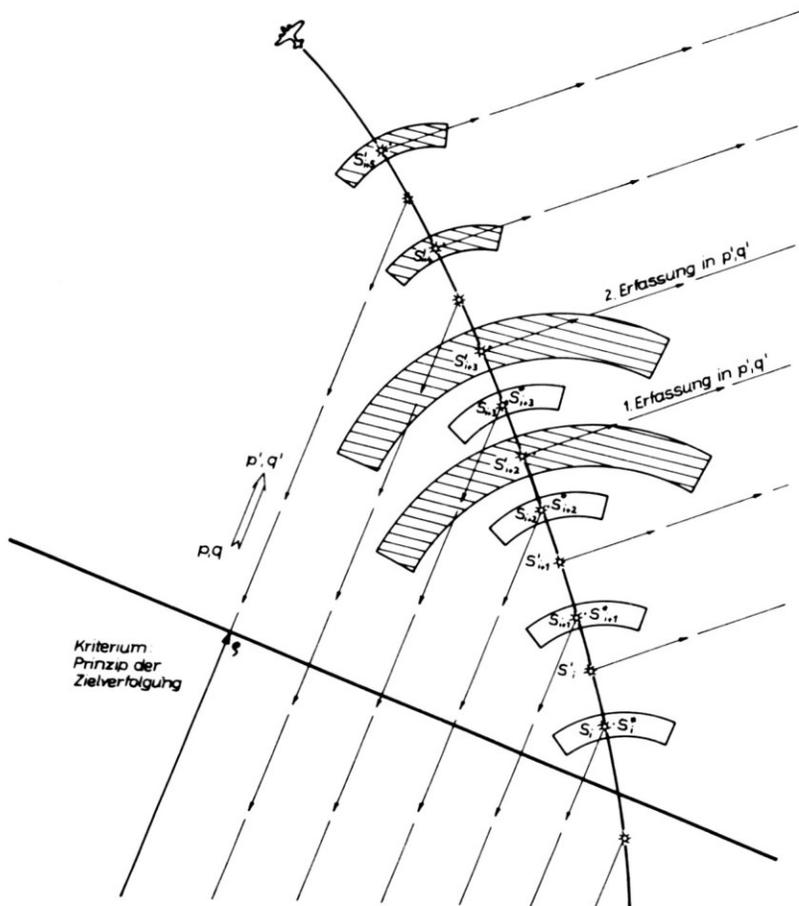


Fig. 8.

Fig. 8a. Tracking an aircraft in a system of three surveillance radar stations, indicated by (11), (22), and (33). The print shows the transfer of an aircraft form radar (33) to (22) and from (22) to (11). Printed by the Siemens 2002 computer. Each line corresponds to one aerial rotation. "1 TR 33 4648 780" says that the aircraft has been located by radar (33) at a point with the azimuth 4648 and the range 780.

Erfassungsgebiete können vom Lotsen dem Rechner angegeben werden (dazu genügt im Siemens-Rechner ein einziges Wort). Ist dem Rechner nur das Erfassungsgebiet gegeben, so werden beim nächsten Radarumlauf alle (nicht bereits bekannten) Echos (P_j^1) des Gebietes gespeichert. Die beim folgenden Umlauf im Gebiet eingehenden Echos (P_k^2) werden mit allen (P_j^1) kombiniert und zu Erwartungsgebieten verarbeitet. Bei den weiteren Umläufen werden diese Erwartungsgebiete als Zielverfolgung behandelt. Die überzähligen Erwartungsgebiete sterben von selbst ab; nur dasjenige mit dem erfassten Ziel wird weiter verfolgt. Der Prozess wird verkürzt, wenn weitere Daten, z.B. die Geschwindigkeit des erwarteten Flugzieles, bekannt sind. Das ist z.B. der Fall, wenn der Rechner wegen Ausbleibens zweier konsekutiver Echos das Ziel verloren hat. Hier wird der Rechner über ein Sonderprogramm selbst ein Erfassungsgebiet auswählen und die Erfassung ausführen. Dabei sind aber nur die Punkte (P_k^2) und (P_j^1) zu korrelieren, deren Abstand der bekannten Flugzeuggeschwindigkeit entspricht [Fig. 9].

Die Stabilitätsgrenzen des Verfahrens und die eventuelle Beeinflussung der Stabilität durch Steuerung der Digitalisierungsschwelle im Detektor hat E. Jessen studiert; er schreibt dazu:

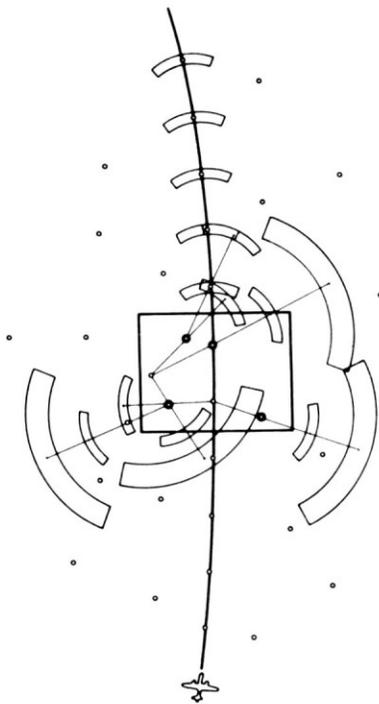


Fig. 9.

Fig. 9a. Acceptance of a target in a limited acceptance area. Printed by the Siemens 2002 computer. Each line corresponds to one aerial rotation.

Wichtig ist, dass das Ausgangssignal des Radargerätes keine ideale Ortung der Flugzeuge liefert. Das Signal ist dadurch gestört, dass neben den Flugzeugsignalen solche auftreten, die von Bodenechos eventuell unter Mehrfachreflexion-, Wolken, Niederschlägen und schliesslich vom Rauschen herrühren. Andererseits sorgen die Unvollkommenheiten der Festzielunterdrückung, das Rauschen und die Fluktuation der Rückstrahleigenschaften der Flugzeuge dafür, dass Flugzeugsignale ausbleiben. Wesentlich ist nun, dass man durch Variieren der Entdeckungsschwellen im Detektor Falschsignale und Ausfaller gegeneinander austauschen kann. Filtert man stärker im Detektor, so lässt sich die Anzahl der falschen Signale heruntersetzen, aber man verliert dafür auch mehr echte; das Umgekehrte tritt ein, wenn man die Entdeckungskriterien lockert. Diese Veränderung kann, was besonders günstig ist, elektronisch gesteuert werden.

Dieser Gesetzmässigkeit im Detektorausgangssignal steht eine zweite, davon unabhängige, in der Auswertung durch den Rechner gegenüber. Wie Herr Dr. Springer gezeigt hat, sind die Hauptaufgaben des Rechners neben dem Identifizieren das Erfassen der Flugzeuge und das Verfolgen. Das Erfassen von Flugzeugen ist nichts anderes als der Versuch, mit den vom Radar vorliegenden Signalen eine Flugbahn aufzubauen, die kinematisch möglich ist. Es handelt sich also bei der Erfassung um eine versuchsweise Verfolgung. Daher sind die Gesetze der Verfolgung auch für die Erfassung bestimmend und damit grundlegend für die gesamte Auswertung. Bei der Verfolgung tritt nun eine sehr eigenartige Erscheinung auf: Solange die Häufigkeit von falschen Signalen unter einer gewissen Grenze bleibt, sterben die Nebenzweige, die bei der Verfolgung unvermeidlich entstehen, mangels weiterer Signale "von alleine" wieder ab. Es ist dann nicht möglich, allein aus falschen Signalen eine neue anhaltende Flugbahn an einer Stelle auszubauen, wo tatsächlich kein Flugzeug fliegt. Erreicht aber die Falschmeldehäufigkeit eine kritische Grenze, so sterben einmal begonnene Verfolgungszweige nicht wieder ab, sondern pflanzen sich allein aus Falschsignalen weiter fort. Damit sind Verfolgung und Erfassung unmöglich geworden. Wird die Falschmeldewahrscheinlichkeit noch höher, so kommt es sogar zu einem wilden Wuchern der Verfolgungszweige. Es ist klar, dass an der so gegebenen Stabilitätsgrenze die Verfolgung sinnlos wird. Man muss also unterhalb der kritischen Falschmeldehäufigkeit bleiben.

Andererseits führt eine zu weit gehende Verkleinerung der Falschmeldehäufigkeit zur Verschlechterung der Entdeckungschancen im Detektor. Das bedeutet für den Rechner, dass er häufiger die Verfolgung aufgeben muss, um ein Wiederaufgreifen zu versuchen. Man muss sich also so weit wie möglich der Stabilitätsgrenze annähern, um eine optimale Verfolgung sicherzustellen.

Wo die Stabilitätsgrenze liegt, hängt allein vom Verfolgungssystem ab. Die Grösse der Erwartungsgebiete und die Art, wie gewisse "Komplikationen" behandelt werden, sind hier von wesentlichem Einfluss. Andererseits ist auch der Einfluss, den eine Nichtentdeckung auf die Verfolgung hat, abhängig von der Art der Verfolgungstaktik. Denn z.B. die Verwendung eines vergrösserten Erwartungsgebietes 2. Ordnung erlaubt ja, den Ausfall eines Signals zu kompensieren.

Es muss noch bemerkt werden, dass die Stabilitätsgrenze nur für die dauernde

Einwirkung von Falschsignalen gilt. Es liegt im Wesen des Verfolgungssystems, bei dem sich ja Verzweigungen aus falschen Signalen nur langsam aufbauen, dass man kurzzeitige Überschreitungen der Stabilität, etwa beim Durchfliegen lokaler Störungsgebiete, sehr wohl zulassen kann.

Die digitale Auswertung der Radarinformationen, über die hier in grossen Zügen berichtet wurde, liefert schliesslich eine zwei-dimensionale Darstellung der Luftlage im Speicher des Rechengertes. Durch Verbindung des Radar-Rechners mit dem eingangs beschriebenen Flugplan-Rechner können die in beiden Rechnern geführten Flugzeuge einander zugeordnet und mit Identitätszeichen für den Flug versehen werden. Bei vorübergehenden Verfolgungsverlusten kann der Radar-Rechner zusätzliche Informationen vom Flugplan-Rechner einholen. Andererseits kann der Flugplan-Rechner die Standortmeldungen mit den Radarinformationen vergleichen.

Die gesamte Aufgabenstellung beschränkte sich auf die automatische Auswertung der im derzeitigen Flugsicherungssystem verfügbaren Informationsdaten. Eine wesentliche Lücke ist das Fehlen der Höhenzahlen. Im heutigen System kennt man lediglich die geplante und gegebenenfalls die vom Piloten am Meldepunkt angegebene Flughöhe, die dem Flugplan-Rechner eingegeben werden muss. Die Flughöhen freier, nicht gemeldeter Flugzeuge sind unbekannt. Eine Prüfung von Kollisionsgefahr muss die gemeldeten Höhen als richtig annehmen und für freie Flugzeuge jede Kreuzung der Projektionsbahnen als Gefahr notieren.

Automatische Höheninformationen werden heute viel diskutiert. Verzichtet man auf jede Aktivität und Sonderausstattung der Flugzeuge, so besteht die Möglichkeit des sogenannten V-Radars, welches in zwei zueinander geneigten Ebenen Impulse ausstrahlt und daher zwei Echos vom Ziel empfängt, deren zeitlicher Abstand auf die Höhe schliessen lässt. Diese Höhenbestimmung liesse sich gut in das Auswertungssystem aufnehmen. Der Rechner würde manche Unvollkommenheit des V-Radars überwinden können, nicht aber die Ungenauigkeit der Höhenbestimmung. Für die Kollisionsrechnung müsste man dabei recht dicke Höhenschichten als Sicherheitsgrenzen verlangen. Ein anderes Verfahren ist das Sekundär-Radar. Dabei wird jedes Flugzeug mit einem Spezial-Sendegerät ausgerüstet. Dieses sendet, wenn die Antenne vom Radarimpuls getroffen wird, Flugnummer und Flughöhe des Flugzeuges. Durch eine solche Information, die dem Rechner automatisch zugeführt werden kann, würde nicht nur die fehlende Höhe geliefert, sondern das ganze Entdeckungsverfahren erleichtert. Denn jedes Echo, zu dem kein Sekundärecho eingeht, wäre als falsch zu annullieren. Solange Flugzeuge ohne Sekundärradar zugelassen sind, muss das Verfahren bestehen bleiben; denn jedes Flugzeug, welches kein Sekundär-Echo abgibt, kann eine Gefahr für den Verkehr bedeuten. Beide Arten der automatischen Höheneingabe sind vorläufig nicht allgemein verfügbar. Wesentlich ist, dass die beschriebene automatische Auswertung von Radarinformationen ohne Schwierigkeit zur Verarbeitung der Höhendaten erweitert werden kann; denn der Digitaldetektor wird davon überhaupt nicht berührt bzw. bei V-Radar durch einen Höhendetektor ergänzt, und der Zentralrechner erhält lediglich ein neues erweitertes Programm.

AUSSTATTUNG DER BEZIRKSKONTROLLE

Ziel des ganzen Projektes ist die Vereinfachung und Intensivierung der Arbeit der Lotsen und ihrer Mitarbeiter in den Flugbezirkskontrollen. Dazu müssen die Kontrollstellen mit zahlreichen neuen Geräten ausgestattet werden. Zunächst muss die Kontrollstelle den Flugplanrechner mit den erforderlichen Informationen versorgen. Am Flugplanungspult melden die Piloten die Flugstrecken, bei fester Route durch Angabe einer Streckennummer, bei Einzelroute die Reihe der Meldepunkte und den Zielflughafen sowie die gewünschte Flughöhe und Startzeit. Diese Daten müssen dem Flugplanrechner übermittelt werden. In der Zentrale wird es mehrere Flugplanungspulte geben, die je mit Eingabegerät und Pufferspeicher ausgerüstet sind. Das Rechenggerät fragt die Puffer automatisch ab, prüft die Verträglichkeit des geplanten Fluges, nimmt nötigenfalls gewisse Änderungen vor und gibt über Puffer und Schnelldrucker den Flugplan nebst Kontrollstreifen dem anfragenden Flugplanungspult zurück.⁸

Von der eigentlichen Flugkontrolle werden über analoge Bedienungspulte Start, Standort, Landemeldungen dem Rechner mitgeteilt. Bei grösseren Abweichungen vom Flugplan übermittelt der Rechner automatisch die korrigierten Reststrecken der Route. Bei Abweichungen der Standortmeldungen vom Radar-Luftlagebild gibt der Rechner entsprechende Meldung.

Der Flugsicherungslotse kann sich jederzeit an besonderen Luftlage-Ausgabetischen vom Flugplanrechner die Luftlage in einer Luftstrasse, an einem Meldepunkt oder in einem Gebiet ausdrucken lassen, und zwar die Situation im Augenblick der Anfrage oder in einem gewünschten zukünftigen Zeitpunkt. Das ist für Planungen sehr wesentlich.

Von besonderer Bedeutung ist die bildhafte Darstellung der Luftlage. Die gegenwärtige und zukünftige Situation nach Wunsch an jeder Stelle soll aus den Daten des Flugplanrechners ermittelt und auf dem Bildschirm wiedergegeben werden. Gleichzeitig ist die Radarinformation im Bildschirm darzustellen. Dadurch werden dem Lotsen Hilfsmittel gegeben, die den heutigen unvergleichlich überlegen sind. Er kann seine ganze Aufmerksamkeit auf schwierige Situationen konzentrieren, da der planmässig laufende Verkehr automatisch kontrolliert, und jede Unregelmässigkeit vom Rechner gemeldet wird.

Diese kurzen Hinweise zeigen den Umfang der Forschungs- und Entwicklungsaufgaben, die eine angemessene apparative Ausstattung der Bezirkskontrollen verlangt. Eine Spezialistengruppe von Telefunken-Ulm hat in Zusammenarbeit mit Vertretern der BFS weitgehende Vorarbeiten und Planungen auf diesem Gebiet geleistet, die aber noch keineswegs abgeschlossen sind.

INFORMATIONSÜBERMITTLUNG

Nachdem die Automation des Flugsicherungsdienstes beschrieben ist, kann man sich eine Vorstellung von dem Umfang des Nachrichtenflusses zwischen den Hauptaggregaten machen. [Figure 10] zeigt in schematischer Darstellung die drei Grossradar-Geräte, die ihre Informationen an den zentralen Radarrechner abgeben. Der Umfang dieser Informationen lässt sich verhältnismässig leicht

übersehen, da die Stabilitätsgrenzen eine bestimmte Maximalzahl liefern. Allerdings muss die Bandbreite der Nachrichtenübermittlung so ausgelegt werden, dass später Höheninformationen aufgenommen werden können. In umgekehrter Richtung vom Rechner zum Detektor ist der Nachrichtenfluss sehr gering.

An den Zentralrechner sind drei Bezirkskontrollen (im Bild doppelt gerandet) und über diese 10 Flugplätze angeschlossen. Von den Kontrollen sind ausser den laufenden Wetterdaten die Flugplananträge, die Standortmeldungen und alle Anfragen und Anforderungen zur Luftlagedarstellung an den Zentralrechner zu übermitteln. Der Umfang dieses Nachrichtenflusses dürfte auch bei grosser Verkehrsdichte in unbedenklichen Grenzen bleiben. Schwieriger wird es in umgekehrter Richtung; denn die Forderung nach kinematischer Bilddarstellung der ausgewerteten Radarinformationen mit gleichzeitiger Darstellung (kinematisch, einschliesslich Zeitrafferbilder) des Flugplanverkehrs bringt den Umfang auf die Grössenordnung von Fernsehübertragungen. [Figure 11] soll den Nachrichtenfluss zwischen Digitaldetektor, Radarrechner, Flugplanrechner

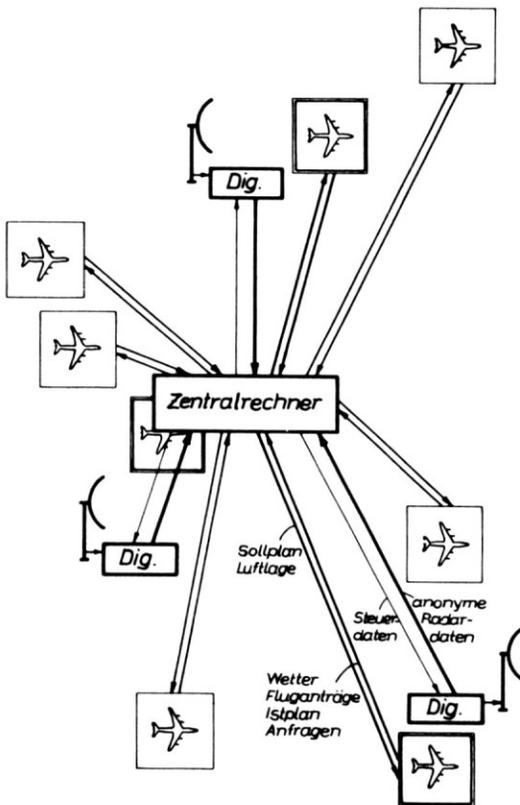
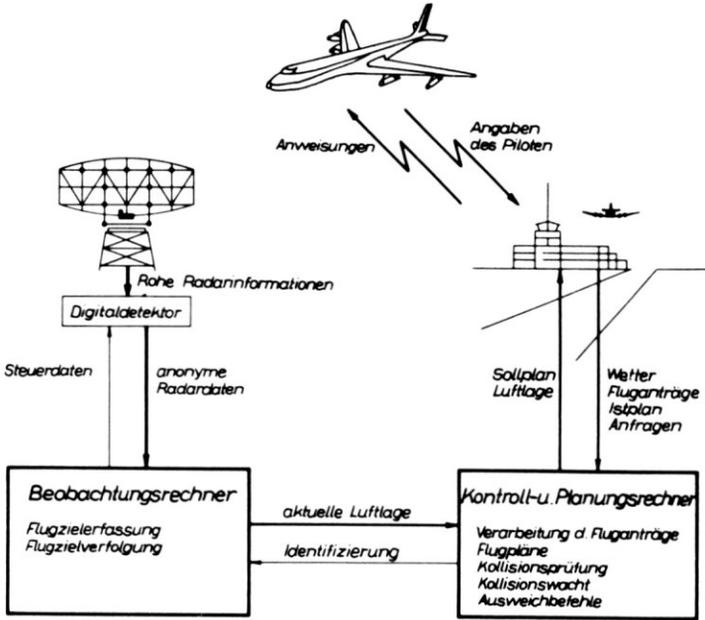


Fig. 10.



Vorschlag für eine Automation des Flugsicherungsdienstes

Fig. 11.

und Bezirkskontrolle veranschaulichen. Hier begegnen wir noch offenen Fragen, die ein genaues Studium verlangen. Der von verschiedenen Seiten geäußerte Wunsch, dass die Nachrichtenübermittlung durch normale Telephonleitungen erfolgen solle, ist sicher unerfüllbar. Dagegen kann man aufgrund der Erfahrungen mit Fernsehübertragungen mit den heutigen technischen Mitteln sicher der Aufgabe gerecht werden.

LITERATUR

1. Heer, O., Flugsicherung und Düsenluftverkehr, Umschau 59, 1959, p. 101ff.
2. Haack, W., und W. Hildebrandt, Die Arbeitsvorgänge einer elektronischen Rechenmaschine für den Flugsicherungsdienst, im besonderen die Erkennung von Kollisionsgefahren, *Telefunkenzeitung* 32, 126, 1959, pp. 3-10; *Wehr und Wirtschaft* 4, 1960, Nr. 8, p. 30ff.
3. Haack, W., Beitrag zur Automatisierung des Flugsicherungsdienstes. *Umschau* 61, 1961, Nr. 1, p. 7ff.
4. Haack, W., Automation des Flugsicherungsdienstes mittels digitaler Rechenautomaten. *Mathematik, Technik, Wirtschaft*, 8, 1961, pp. 1-8.
5. Haack, W., und F. R. Güntsch, Collision Warning by Electronic ATC Computers. Vortrag auf der 3. internationalen Diskussionstagung "Minderung der Kollisionsgefahr in Schifffahrt und Luftfahrt durch Hilfe von Land und von Boden," Düsseldorf 1961; erscheint demnächst in *Journal of the Institute of Navigation of the Royal Geographical Society*.

6. Jessen, E., Schnelle Kollisionsprüfung für die Flugsicherung. *Elektronische Datenverarbeitung* 10, 1961, pp. 93-99.
- 7a. Storz, W., Beitrag zur digitalen Verarbeitung von Radarsignalen. Dissertation TU Berlin, 1962.
- 7b. Wirth, W. D., Beitrag zur Vereinfachung der Radarauswertung durch Digitalisierung. Dissertation TU Berlin, 1962.
8. Güntsch, F. R., Hilfsmittel der Informationsverarbeitung für Flugsicherungssysteme. *Elektronische Datenverarbeitung* 7, 1960; *Luftfahrttechnik* 6, 1960, pp. 243-248.
9. ———, Grünes Licht für "Projekt Beacon." *Interaria* 17, 1962, pp. 109-110.
10. Springer, H., Flugzielverfolgung durch digitale programmgesteuerte Rechengерäte aus digitalen Radarinformationen. Dissertation TU Berlin, 1961.