Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 42 (1951)
Heft: 5

Artikel: Über moderne Flugsicherungsgeräte
Autor: Witmer, K.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1056848

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

42e année N° 5 Samedi, le 10 Mars 1951

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

Über moderne Flugsicherungsgeräte

Vortrag, gehalten an der 14. Hochfrequenztagung des SEV am 7. September 1950 in Zürich,

von *K. Witmer*, Zürich

621.396.933.2

Der Autor gibt nach einer kurzen Definition dessen, was man unter einem Flugsicherungsgerät versteht, einen umfassenden Überblick über die in der Gegenwart bekannten Flugsicherungssysteme und ihre Anwendung, von denen einige seit längerer Zeit auch im zivilen Flugverkehr eingeführt, andere erst in Entwicklung begriffen sind. Ein Hinweis auf Arbeiten im Institut für Hochfrequenztechnik der ETH schliesst seine Darlegungen.

Après avoir brièvement défini ce que l'on entend par appareil de radionavigation, l'auteur donne un aperçu complet des systèmes de radioguidage existants et de leur emploi. Certains d'entre eux sont déjà utilisés depuis longtemps par l'aviation civile, tandis que d'autres ne sont pas encore tout à fait au point. L'auteur termine son exposé en mentionnant les travaux de l'Institut de la haute fréquence de l'Ecole Polytechnique Fédérale.

1. Einleitung

Wer heute als Laie in das Gebiet der Flugsicherung einzudringen versucht, sieht sich vorerst einem scheinbar unentwirrbaren Chaos von Geräten und Systemen, von Namen und Abkürzungen gegenüber. Nur eine tabellarische Übersicht vermag einigermassen Ordnung in diese Vielzahl von Verfahren mit den zugehörigen Bezeichnungen zu bringen [1]). Wenn wir zunächst die Frage nach dem Zweck der vielen Flugsicherungsgeräte stellen, so sehen wir, dass alle die sichere und von der Wetterlage unabhängige Führung der Flugzeuge zum Zweck haben. Die Mehrzahl aller Flugsicherungsgeräte dient daher der Navigation im weiteren Sinne. Eine nähere Betrachtung der Wirkungsweise der Flugsicherungsgeräte zeigt, dass im allgemeinen ein Gerät nicht selbständig verwendet wird, sondern dass zur Erreichung eines bestimmten Zweckes meist eine ganze Gruppe von einzelnen Geräten notwendig ist. Die Geräte sind teilweise im Flugzeug und teilweise am Boden aufgestellt. Man unterscheidet daher weniger Flugsicherungsgeräte als vielmehr Flugsicherungssysteme, wobei unter Umständen ein Gerät in verschiedenen Systemen Verwendung finden kann.

Die verschiedenen Systeme lassen sich nach ihrer Arbeitsweise in sechs Gruppen einteilen:

a) Nachrichten- und Signalübermittlung,
b) Funkfeuer,
c) Funkpeilverfahren,
d) Radarnavigation,
e) Verkehrskontrolle und kombinierte Verfahren,
f) Verfahren für Schlechtwetterlandungen.

Innerhalb dieser Gruppen findet man eine Vielzahl von Systemen mit den zugehörigen Geräten. Erschwerend für den «Flugsicherungs-Laien» wirkt der Umstand, dass bei der Namengebung der verschiedenen Systeme zum Teil Phantasienamen und Abkürzungen Verwendung fanden, die ebenso wohlklingend wie nichtssagend sind. Entsprechend der heutigen Vorherrschaft der Angelsachsen im Luftraum ist die Flugsicherungs-Sprache das Englische, wobei auch die erwähnten Namen und Abkürzungen meist englisch ausgesprochen werden. Weiter erschwerend wirkt die oft verschiedenartige Bezeichnung von gleichen Systemen durch verschiedene Herstellerfirmen.

Es ist unmöglich, hier auf alle Systeme und Verfahren einzugehen. Wir werden nur die wichtigsten heute oder in naher Zukunft betriebenen Verfahren etwas näher kennenlernen, wobei auch da viel Interessantes und Wichtiges nicht berücksichtigt werden kann. Das Folgende soll also nicht als eine Übersicht, sondern eher als ein Streifzug durch die moderne Flugsicherungstechnik gewertet werden.

2. Nachrichten- und Signalübermittlung

Während früher infolge geringerer Störanfälligkeit ausschliesslich der Telegraphieverkehr mit dem Morsealphabet benützt wurde, herrscht heute wenigstens für Mittel- und Kurzstrecken der Sprechverkehr vor. Dies wurde ermöglicht durch die Verwendung von Frequenzen im VHF-Gebiet [2]).

Im VHF-Gebiet (für die Flugsicherung um die 120 MHz herum) bestehen praktisch keine atmosphärischen Störungen, dagegen müssen Sender und Empfänger zur Erreichung genügender Frequenzkonstanz quarzgesteuert sein. Der Verkehr wickelt sich demnach auf verschiedenen fest zugeteilten Kanälen ab. Sender und Empfänger sind fix abgestimmt. Jeder Flugplatz hat für die verschiedenen Verwendungszwecke eine Zahl fest zugeteilter Kanäle, und da die Flugzeuge nicht nur auf *einem*

[1]) siehe «Interavia» Nr. 11 und 12, 1948.

[2]) In den USA werden die Frequenzbänder folgendermassen aufgeteilt:

LF (Low Frequency) 30 bis 300 kHz.
MF (Medium Frequency) 300 kHz bis 3 MHz.
HF (High Frequency) 3 bis 30 MHz.
VHF (Very High Frequency) 30 bis 300 MHz.
UHF (Ultra High Frequency) 300 bis 3000 MHz.
SHF (Super High Frequency) über 3000 MHz.

Flugplatz landen, müssen ihre Bordgeräte entsprechend auf eine grössere Zahl von festen Frequenzen umgeschaltet werden können. Damit die Zahl der teuren Quarze nicht zu gross wird, sind Kunstschaltungen üblich, wie z. B. der sog. *Crystal-Saver* von Bendix in Fig. 1. Als Hilfsfrequenz für die Erzeugung der Zwischenfrequenz wird hier nicht direkt das Vielfache eines quarzgesteuerten Oszillators verwendet, sondern die (hier versechsfachte) Frequenz eines normalen *LC*-Oszillators. Dieser wird durch einen Phasendiskriminator mit anschliessender Reaktanzröhre gesteuert. Bevor die Frequenz

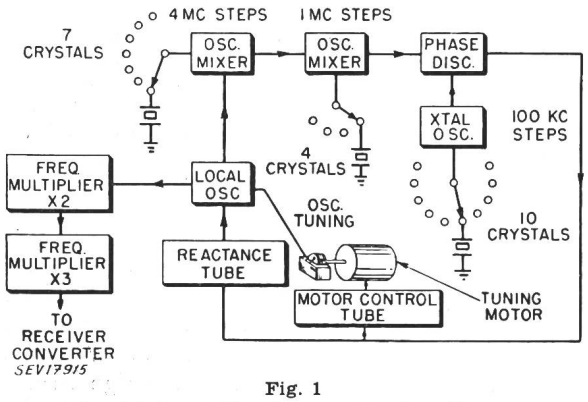


Fig. 1
Crystal-Saver für Flugzeug-Bordempfänger

des *Local Osc.* im Diskriminator mit 10 Kristallfrequenzen verglichen wird, erfolgt in zwei kristallgesteuerten Mischstufen eine Transponierung. Man erkennt unschwer, dass auf diese Weise mit 21 Kristallen 280 Kanäle eingestellt werden können. Für den zugehörigen Sender wird eine ähnliche Schaltung verwendet. Als technisch interessantes Detail sei hier vermerkt, dass durch diese Anwendung eines Phasendiskriminators zwar die Phase zwischen den beiden verglichenen HF-Schwingungen sich ändert (wodurch eben die Steuerspannung für die Reaktanzröhre erhalten wird), die Frequenz des Local Osc. dagegen praktisch immer den exakten Wert hat, solange der Bereich des Diskriminators nicht überschritten wird. Sollte dies eintreten (was auch beim Umschalten auf einen andern Kanal der Fall ist), so beginnt der Motor und damit der Abstimmkondensator des Local Osc. zu drehen (immer in derselben Richtung), bis wieder der ungefähr richtige Wert erreicht wird. Dann schaltet der Motor automatisch ab und die Reaktanzröhre übernimmt wieder die weitere Steuerung.

Zu der Gruppe Nachrichten- und Signalübermittlung sind weiter die VHF-Signalbaken zu zählen, Senkrechtstrahler, auch *Marker* genannt, die beim Ueberfliegen ein optisches oder akustisches Signal im Flugzeug geben. Sie zeigen dem Piloten an, dass er sich über einem bestimmten Punkt im Gelände befindet und werden verwendet zur Kennzeichnung von Warteräumen, speziellen Punkten bei einem Blindanflug usw. Ihre Sendefrequenz liegt meist bei 75 MHz, die Modulation wird durch den Verwendungszweck des Markers bestimmt.

3. Funkfeuer-Verfahren

In der zweiten Gruppe, bei den Funkfeuer-Verfahren, trifft man schon eine bedeutend grössere Mannigfaltigkeit an. Funkfeuer sind am Boden stationierte Rund- oder Richtstrahler mit einer sie kennzeichnenden Modulation. Richtstrahler mit einer oder mehreren festen Senderichtungen werden auch *Radio-Range* oder einfach *Range* genannt, im Gegensatz zu den Drehfunkfeuern oder Drehbaken. Fig. 2 zeigt oben schematisch die Wirkungsweise

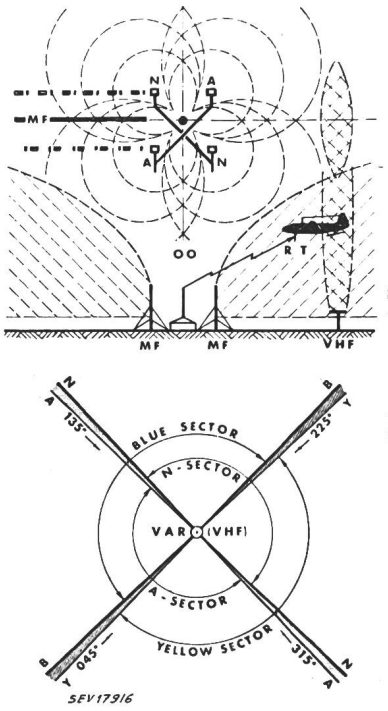


Fig. 2
Schematische Wirkungsweise eines Radio-Range (oben) und eines optisch-akustischen VHF-Leitstrahlbaken
A, *N* Sendekeulen
00 Schweigespiegel

eines Range auf Mittelwellen. Durch Adcockantennen werden je zwei mit *A* bzw. mit *N* modulierte Sendekeulen erzeugt, in der Weise, dass in der Schnittebene ein Dauerton gehört wird. Mit einem einfachen Bordempfänger hat der Pilot damit die Möglichkeit, wahlweise auf einer von vier zueinander senkrecht stehenden Richtungen den Sender anzufliegen. Dabei gibt ihm die Rangestation allerdings nicht an, auf welchem dieser vier Strahlen er sich befindet. Deshalb kann er einen solchen *A-N*-Range zur Quer-ab-Peilung nur benützen, wenn er seinen ungefähren Standort kennt (d. h. wenn er die Station nicht anfliegen, sondern nur an ihr vorbeifliegen will). Besser sind die VHF-Leitstrahlbaken, Fig. 2 unten, die akustisch und optisch kombinierte Anzeigen ergeben. Die optische Anzeige wird am Kreuzzeiger-Instrument sichtbar gemacht, welches auch für Landungen nach dem ILS-System verwendet wird (siehe Kapitel 7). Auf diese Weise ist jeder der vier Sektoren in bestimmter Weise gekennzeichnet: z. B. oben Blau und *N*, links Blau und *A* usw.

Beide beschriebenen Verfahren stellen Übergangslösungen dar für das sog. Omni-Range-Verfahren, mit vollem Namen VHF Omni-Directional Radio Range (VOR). Dieses System wird zurzeit in den USA eingeführt und dürfte wohl in absehbarer Zeit auch in Europa Fuss fassen. Vermutlich wird es auf Jahr-

zehnte hinaus *das* Navigationssystem für kurze und mittlere Strecken bleiben, weshalb wir uns etwas näher damit befassen wollen. Mit Hilfe eines Adcock-Antennensystems in Verbindung mit einem motorgetriebenen Goniometer wird eine drehende Antennencharakteristik erzeugt, in der Form einer rotierenden 8 (Fig. 3 oben). Die Hochfrequenzleistung

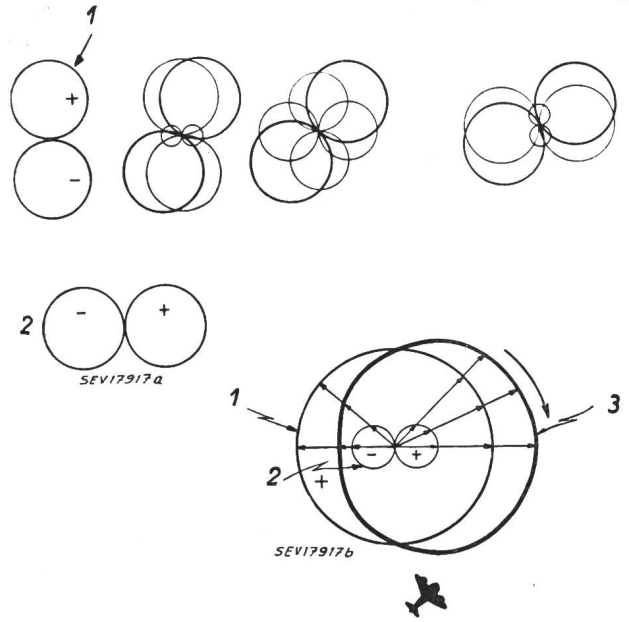


Fig. 3
Entstehen der Cardioid-Antennencharakteristik einer Omni-Range-Bodenstation

oben: *1* das elektrische Feld des Antennenpaares Nr. 2, wenn das Feld des Antennenpaares Nr. 1 gleich 0 ist
2 das elektrische Feld des Antennenpaares Nr. 1, wenn das Feld des Antennenpaares Nr. 2 gleich 0 ist

unten: Überlagerung der Kreis- und rotierenden 8-Antennencharakteristiken
1 ungerichtetes Feld;
2 rotierendes 8-Feld;
3 überlagertes, rotierendes Feld mit Cardioid-Charakteristik

von ca. 115 MHz wird durch zwei Antennenpaare abgestrahlt, wobei sich die Masten eines Paares im Adcocksystem diagonal gegenüberstehen. Durch das Goniometer wird die abgegebene Leistung eines jeden Antennenpaares sinusförmig moduliert, und zwar mit dem Modulationsgrad unendlich. Jedes Paar für sich strahlt daher im Prinzip nur die beiden Seitenbandfrequenzen ab. Hiebei ist die Modulationsfrequenz gleich der Rotationsfrequenz des Goniometers, nämlich 1800 U./min oder 30 Hz. Da die Modulation des ersten Antennenpaares um 90° gegenüber derjenigen des zweiten Paares verschoben ist, ergibt sich, wie aus der Fig. leicht erkennbar ist, die Form einer drehenden 8 mit der Rotationsfrequenz von 30 Hz. Das Antennensystem enthält nun noch einen Mittelmast, der die gleiche Sendefrequenz ungerichtet rundstrahlt. Fig. 3 unten zeigt, wie durch die Überlagerung der beiden Antennencharakteristiken (Kreis und rotierende 8) eine neue, rotierende Cardioid-Charakteristik entsteht. Im Flugzeug-Empfänger wird daher ein 30-Hz-Ton «hörbar» sein. Wenn der NF-Teil des Empfängers einen für 30 Hz selektiven Kanal besitzt, kann die Sendung des Mittelmastes ohne weiteres mit noch höheren Frequenzen moduliert werden. Der Zweck des Omni-Range-Systems ist, dem Piloten in jedem Punkt innerhalb des Empfangsbereiches der Station den magnetischen Kurs anzugeben, der ihn geradlinig auf die Station zu oder von ihr weg führt. Hierzu wird die Phase der 30-Hz-Schwingung mit einem andern Signal von ebenfalls 30 Hz verglichen. Die Phase dieses Bezugssignales ist dabei fest und unabhängig vom Standort des Flugzeuges. Das Bezugssignal wird der Sendung des Mittelmastes aufmoduliert, und zwar mit Hilfe eines Zwischenträgers der Frequenz 10 kHz. Diese 10 kHz sind nicht konstant, sondern mit 30 Hz frequenzmoduliert. Im Flugzeug-Empfänger werden die 10 kHz nach der Gleichrichtung ausgesiebt und einem Diskriminator zugeführt, an dessen Ausgang das gewünschte Bezugssignal von 30 Hz verfügbar ist. Bezugssignal und Rotation der Antennencharakteristik sind nun so aufeinander abgestimmt, dass die Phasendifferenz zwischen den beiden im Empfänger erhaltenen 30-Hz-Signalen (Fig. 4 rechter Teil: oberster und

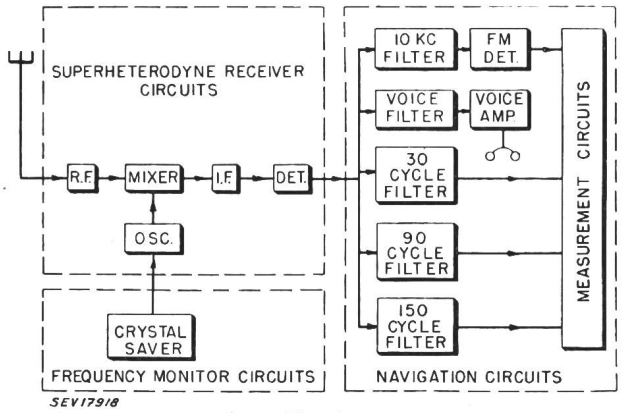


Fig. 4
280-Kanalempfänger für Omni-Range, Communication und ILS-Localiser im Blockschema

mittlerer Kanal) null ist, wenn das Flugzeug z. B. sich genau nördlich der Station befindet. Genau südlich wird in diesem Fall die Phasendifferenz 180° betragen. Allgemein wird die Phasendifferenz (in Grad gemessen) genau den Kompasskurs von der Station zum Flugzeug ergeben (bzw. umgekehrt). Diese Azimutmessung wird natürlich von entsprechenden Auswertegeräten (im Prinzip ein Phasendiskriminator mit nachfolgendem sog. *Autosyn)* automatisch besorgt. Ein einfaches 360°-Zeigerinstrument gibt dem Piloten direkt den magnetischen Kurs zur Omni-Station, bzw. von ihr weg. Das Anzeigegerät wird *Omni-Bearing Indicator* genannt, wogegen der sog. *Radio-Magnetic Indicator* die Anzeige mit derjenigen eines gewöhnlichen Magnetkompasses vergleicht und so im Flugzeug direkt die Richtung anzeigt, in welcher die Omni-Station liegt. Auf diese und andere Auswertegeräte werden wir noch zurückkommen. Über den Mittelmast der Adcockantenne kann weiter der normale Sprechfunkverkehr durchgeführt werden. Das Blockschema der Fig. 4 enthält überdies ein 90- und ein 150-Hz-Filter zur Auswertung der Signale eines ILS-Blindlandesystems, das in Kapitel 7 näher erklärt wird. Der in Fig. 4 gezeigte Empfänger enthält im Eingang den bereits im Abschnitt 2 erklärten *Crystal-Saver*

(vgl. Fig. 1; *NA-3-System* ist die Bezeichnung der Firma Bendix für das Omni-Range-System).

Fig. 5 zeigt den von der gleichen Firma im Auftrag der CAA (Civil Aeronautical Administration) entwickelten Modulatorteil einer Omni-Range-Bodenstation. Ein Synchronmotor (unten) treibt mit 1800 U./min ein Zahnrad mit 333 Zähnen (Tone Wheel). In der Pick-Up-Spule entsteht daher eine Frequenz von ca. 10 kHz. Die Zähne sind nun nicht gleichmässig am Umfang verteilt, sondern so, dass die 10 kHz während einer Umdrehung gerade einen Modulationszyklus (frequenzmoduliert) durchmachen. In der Pick-Up-Spule entsteht daher der genau mit 30 Hz frequenzmodulierte Zwischenträger. Auf der gleichen Achse läuft oben das Goniometer, so dass die Phase zwischen der Rotation der Antennencharakteristik und dem Bezugssignal mechanisch starr ist. Eine einmalige genaue Abstimmung durch Verschiebung der Pick-Up-Spule wird nur bei der Installation des Senders vorgenommen *(Phase Adj. Knob)*.

Fig. 6 zeigt oben den Rotor und unten das komplette Goniometer. Goniometer, die mit zwei senkrecht stehenden Peilrahmen zusammenarbeiten, sind ja schon lange bekannt und arbeiten entsprechend den dort vorkommenden Frequenzen meist induktiv. Sie sehen aus wie ein Variometer mit zwei senkrecht zueinander stehenden Statorspulen. Für

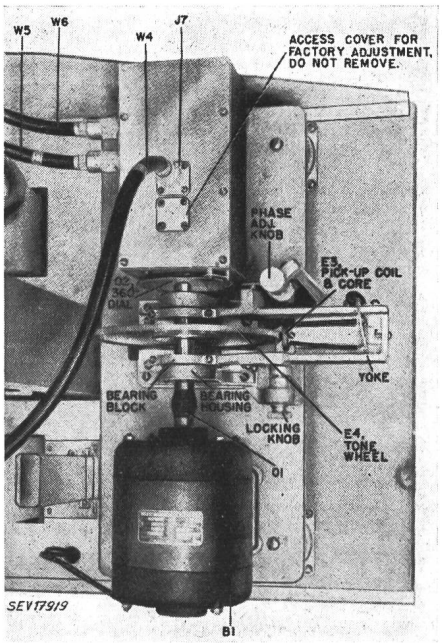
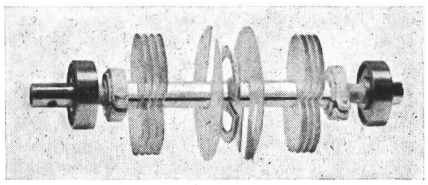


Fig. 5
Modulator einer Omni-Range-Bodenstation

die hier verwendeten VHF-Frequenzen sind solche Anordnungen natürlich unbrauchbar. Das gezeigte Goniometer arbeitet daher kapazitiv.

Es ist vorgesehen, das Omni-Range-System weiter zu vervollkommnen, einmal durch eine automatische Distanzmessung Flugzeug–Omni-Station durch Messung der Laufzeit von Impulsen (DME = Distance Measuring Equipment). Weiter soll durch ein automatisches Rechengerät (R-Theta Computer) ermöglicht werden, dass nicht nur exakt auf eine Station zu oder von ihr weg geflogen, sondern dass auch in geradlinigem beliebigem Kurs an zwei oder mehreren Stationen vorbeigeflogen werden kann.

In die Gruppe Funkfeuerverfahren gehören weiter die Drehbaken mit rotierender Antennencharakteristik, die z. B. beim Durchgang des Strahles durch die magnetische Nordrichtung ein Bezugssignal rundstrahlen. Durch eine Zeitmessung kann dann



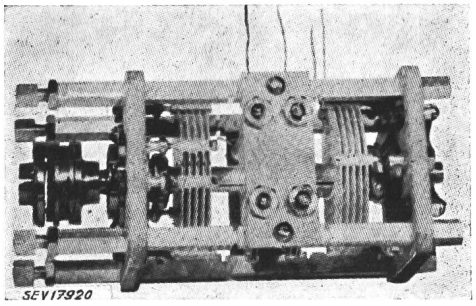


Fig. 6
Kapazitives Goniometer von Bendix
oben: Rotor; unten: der komplette Goniometer

das Azimut bestimmt werden. Weiter gehört in diese Gruppe ein mit «Consol» bezeichnetes Langstrecken-Navigationssystem, das mit modulierten Drehstrahlen arbeitet. Ebenfalls für Langstreckennavigation ist das System *Navaglobe* vorgesehen, das gewisse Ähnlichkeiten mit dem VHF-Omni-Range aufweist, jedoch auf Langwellen arbeitet. Die Verwendung von Langwellen ist übrigens das Kennzeichen aller Langstrecken-Navigationssysteme, denn obschon die Kurz- und Mikrowellentechnik zurzeit sehr bevorzugt werden, so lassen sich in diesen Frequenzgebieten wegen dem quasi optischen Verhalten und der Erdkrümmung grosse Reichweiten nicht erzielen.

4. Funkpeilverfahren

In dieser Gruppe wird unterschieden zwischen Eigenpeilung und Fremdpeilung. Bei Eigenpeilung befindet sich das Peilgerät im Flugzeug, bei Fremdpeilung am Boden. Bei Mittel- und Langwellen kommt die alte bekannte Rahmenantenne zur Verwendung, allerdings in etwas modernisierter Form. So gibt es heute Rahmenantennen mit Hochfrequenz-Eisenkernen. Die Zweideutigkeit des einfachen Rahmens kann behoben werden durch die gleichzeitige Verwendung einer ungerichteten Hilfsantenne oder eines zweiten Hilfsrahmens. Die Drehung des Rahmens (oder eines mit zwei Rahmen gekoppelten Goniometers) von Hand wird verbessert durch eine automatische Drehung. Eine solche Anordnung im Flugzeug, kombiniert mit der Anzeige eines gewöhnlichen magnetischen Kompas-

ses, wird automatischer Radiokompass genannt. Fig. 7 zeigt eine solche Anlage, mit der heute fast alle Verkehrsflugzeuge ausgerüstet sind. Angepeilt werden Rundfunksender mit bekannten Standorten oder auch Range-Stationen im Mittel- und Langwellenbereich. Für Mittel- und Kurzstrecken wird der Radiokompass nach der Einführung des Omni-Range-Systems jedenfalls stark an Bedeutung verlieren. Die Anzeige ist übrigens oft von zweifelhaftem Wert, speziell zur Zeit der Dämmerung, wo starke Peilfehler sich einstellen können.

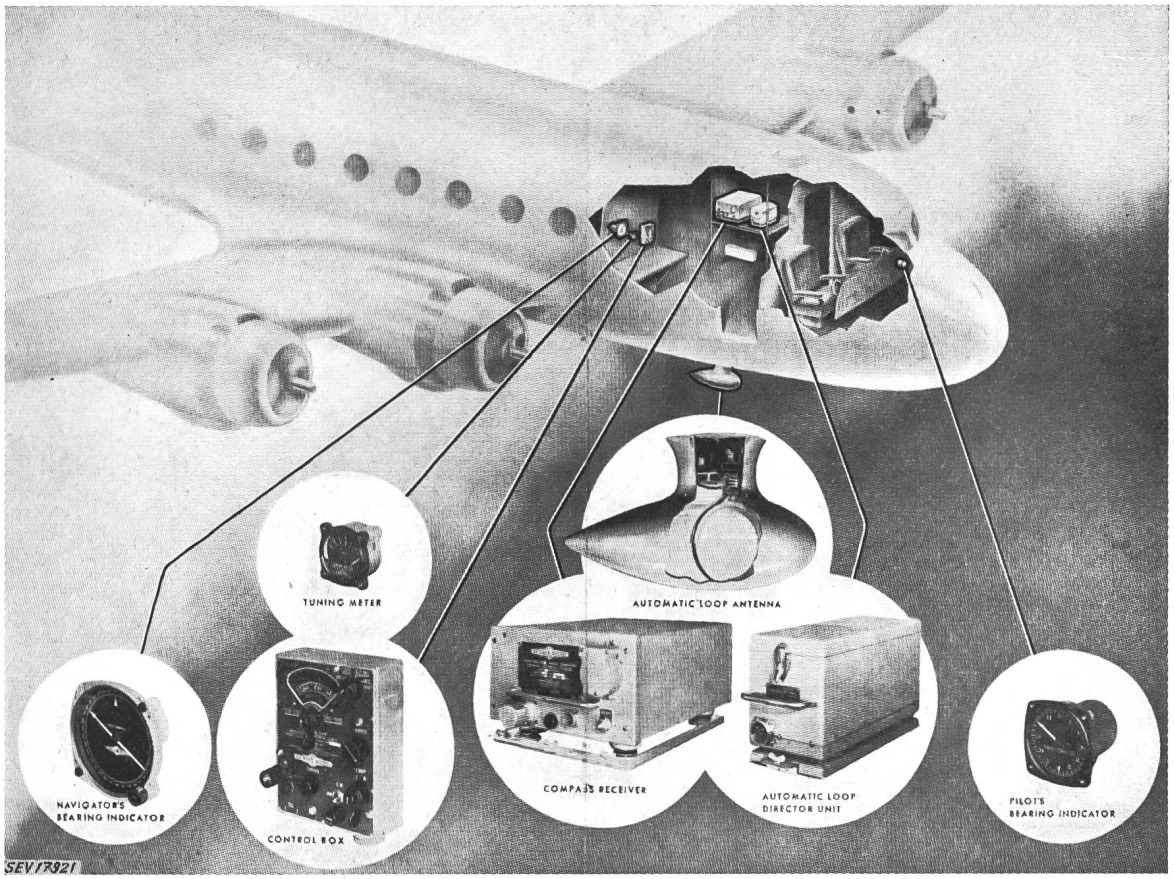


Fig. 7
Automatischer Radiokompass

Auch im VHF-Gebiet wird von der Peilung Gebrauch gemacht. Wegen der hier notwendigen, etwas umständlichen Adcock-Antennenanlage sind diese Peilstationen durchwegs am Boden stationiert. Es handelt sich also um Fremdpeilung, und das Resultat muss dem Flugzeug über die Sprechfunkverbindung erst mitgeteilt werden. Fig. 8 zeigt einen solchen sog. *Direction Finder* (DF). Die Adcockantenne ist nicht drehbar, sondern ist gekoppelt mit einem kapazitiven Goniometer (im dicken Mittelmast). Es handelt sich hier um einen automatischen Direction Finder (ADF), bei dem das Goniometer motorgetrieben ständig rotiert. Die Ablesung des Kurses erfolgt auf dem Schirm einer Kathodenstrahlröhre, deren Ablenkspannungen vom gleichen Motor aus gesteuert werden. Die Auswertung erfolgt daher sehr rasch und verzögerungsfrei. Solche DF-Stationen sind vor allem für Sportflieger sehr vorteilhaft, da im Flugzeug nur ein VHF-Sender-Empfänger vorhanden sein muss, der natürlich auch für andere Zwecke gebraucht werden kann.

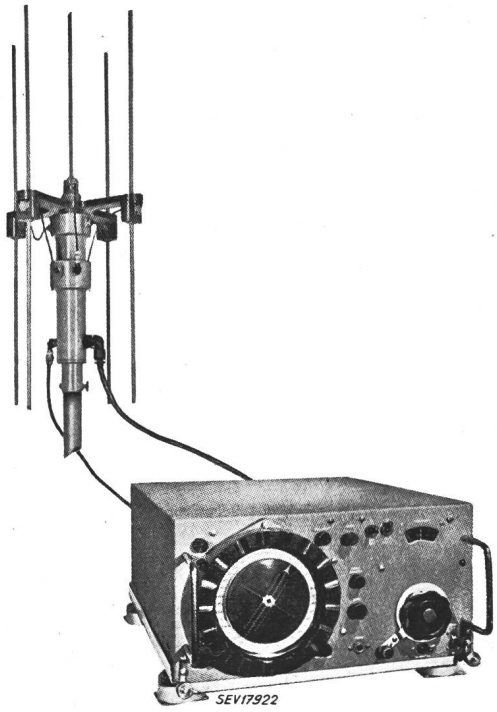


Fig. 8
VHF-Bodenpeilstation (Automatic Direction Finder)

5. Radarnavigation

Die Radarnavigation, die, rein technisch gesehen, wohl am meisten Interessantes bietet, steht praktisch erst in den Anfängen. Hierzu gehört das aus dem zweiten Weltkrieg bekannte sog. *Panoramagerät*, ein im Flugzeug mitgeführtes Radargerät, das die Erdoberfläche abtastet und auf einem *PPI-Scope* (Plan Position Indicator) eine Art Kartenbild des überflogenen Geländes gibt. Ganz abgesehen davon, dass Gewicht, Grösse und demzufolge die Kosten die zivile Anwendung eines solchen Gerätes vorläufig verbieten, besitzt das Bild keine grosse Aehnlichkeit mit einer Landkarte. Es braucht schon grosse Übung, aus dem Bild auf dem Schirm der Kathodenstrahlröhre das Gelände und eventuelle Details zu erkennen.

Eine Anzahl von Navigationssystemen dieser Gruppe arbeiten mit automatischen Impulswiederholern und Sender-Empfängern *(Challenger)* bzw. Empfänger-Sendern *(Replier, Transponder)*. Ein Kurzstrecken-Navigationssystem, dessen Flugzeug-Bordempfänger auf den schönen Namen *Rebecca* hört, arbeitet mit einer Bodenstation zusammen, die sich *Eureka* benennt. Das System dürfte neben dem durch eine Distanzmessung vervollkommneten Omni-Range-System keine grossen Zukunftsaussichten haben.

Ein *Lanac* benanntes System sieht automatische Wiederholer am Boden (auf Anhöhen und Flugplätzen) vor, die bei Aufruf selbständig gewisse Angaben, wie z. B. die Flughöhe, übermitteln. Zusammen mit entsprechenden Auswertegeräten soll dadurch Navigation, Zusammenstossverhütung, Hinderniswarnung, Blindlandung und Verkehrsüberwachung möglich sein.

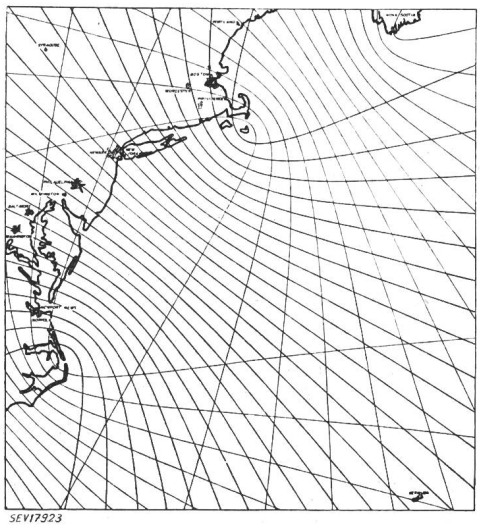


Fig. 9
Hyperbelscharen des Loran-Langstrecken-Navigationssystems

Ein im zweiten Weltkrieg angewandtes Navigationsverfahren heisst *Oboe* und arbeitet mit Impulswiederholern im Flugzeug oder am Boden. Durch Messung der Laufzeit der Impulse kann die Entfernung und bei mehr als einer Bodenstation der genaue Standort des Flugzeuges ermittelt werden.

Ebenfalls im letzten Krieg verwendet wurden die Systeme *Gee* und *Loran*, Gee für Kurzstreckennavigation mit Frequenzen im UHF-Gebiet, Loran für Langstreckennavigation auf Mittel- und Langwellen. Die Arbeitsweise ist für beide Systeme dieselbe. Das Loran-System ist das einzige in dieser Gruppe, das heute schon im zivilen Luftverkehr gebraucht wird, und wahrscheinlich von allen bekannten Langstrecken-Navigationssystemen die grösste Zukunft besitzt. Eine Gruppe von zwei oder mehr, räumlich weit voneinander entfernten Bodensendern, *family* genannt, strahlen Langwellenimpulse aus. Werden die Impulse von der Dauer 50 bis einige 100 μs von z. B. zwei Sendern genau gleichzeitig gesendet (Fig. 9) und im Flugzeug die Laufzeitdifferenz der

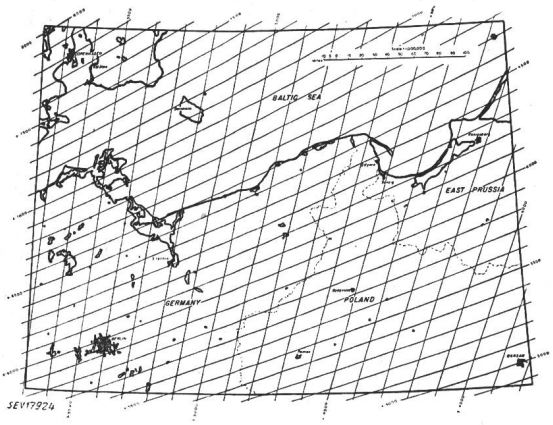


Fig. 10
Loran-Auswertekarte

beiden Impulse gemessen, so ergeben sich für konstante Laufzeitdifferenzen Hyperbeln mit den zwei Sendern als Brennpunkten. Für eine bestimmte gemessene Laufzeitdifferenz befindet sich das Flugzeug somit auf einer bestimmten Hyperbel. Wird ein dritter, mit den zwei andern synchron laufender Sender empfangen, so ergibt sich eine zweite Hyperbelschar, welche die erste schneidet. Durch Messung der zwei Laufzeitdifferenzen ergibt sich somit der Standort des Flugzeuges als Schnittpunkt der betreffenden Hyperbeln.

Fig. 10 zeigt einen Ausschnitt aus zwei solchen Hyperbelscharen, die mit vierstelligen Zahlen numeriert sind. Das Auswertegerät im Flugzeug gibt nach einer relativ einfachen Abstimmung die Zahlenwerte für die beiden Hyperbeln, auf welchen sich das Flugzeug befindet. An Hand von Karten, auf denen die Hyperbeln mit Nummern aufgezeichnet sind, kann der Navigator rasch und ausserordentlich genau den Standort des Flugzeuges feststellen. Der Messfehler schwankt je nach Standort und Tageszeit zwischen 300 m und 8 km, die Genauigkeit ist für die zivile Langstreckennavigation also bei weitem ausreichend. Es sei hier der Vorteil eines solchen hyperbolischen Navigationsverfahrens gegenüber demjenigen mit Funkfeuer (z. B. *Navaglobe)* oder Funkpeilung hervorgehoben; die Fehler, die durch Dämmerungseffekte u. a. bei den letztgenannten Systemen vorkommen, haben hier praktisch keinen Einfluss. Es wird nicht die Rich-

tung gemessen, aus der die Signale ankommen (welche eben mehr oder weniger falsch sein kann), sondern eine Laufzeit. Die Laufzeit wird sich aber kaum merklich verändern, wenn das Signal anstatt auf geradem auf leicht gekrümmtem Weg zum Empfänger gelangt.

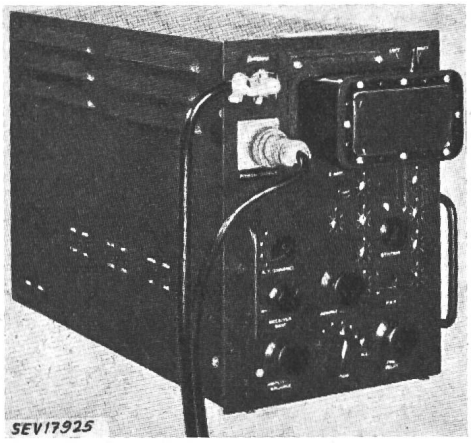


Fig. 11
Loran-Bordempfänger

Fig. 11 zeigt den Bodenempfänger mit Auswertegerät für Loran-Navigation. Im praktischen Betrieb arbeiten die Loran-Sender nicht ganz so, wie vorher skizziert wurde. Die Impulse eines Senderpaares werden nicht gleichzeitig, sondern mit einer bestimmten festen Zeitdifferenz gesendet, was gewisse Vorteile für die Auswertung bringt. Die Zeit zwischen zwei Impulsen ist für ein Senderpaar immer dieselbe, und die Impulsfrequenz liegt in der Grössenordnung von 25 Hz. Für ein anderes Senderpaar unterscheidet sich die Impulsfrequenz jedoch um einen kleinen Betrag. Dies ist notwendig, weil infolge der grossen nötigen Bandbreite für den Empfang der Impulse mehrere Senderpaare im gleichen Frequenzband arbeiten müssen (Bandbreite in der Grössenordnung 100 kHz). Das Auswertegerät im Empfänger ist eine Kathodenstrahlröhre, auf der mit Hilfe einer künstlichen Laufzeitverzögerung die beiden Impulse miteinander zur Deckung gebracht werden, worauf am geeichten Verzögerungsmechanismus direkt die Hyperbelnummer abgelesen werden kann. Weil sich die Impulsfrequenz für verschiedene Senderpaare leicht unterscheidet, kann das Bild auf der Kathodenstrahlröhre nur für ein bestimmtes Senderpaar zum Stehen gebracht werden, so dass Fehlmessungen ausgeschlossen sind.

Die Synchronisierung des sog. Sklaven- mit dem Meistersender geschieht mit im Prinzip ähnlichen Geräten, wie es die Empfänger im Flugzeug sind.

In die Gruppe Radarnavigation gehört auch der Radarhöhenmesser oder Absolut-Höhenmesser, im Unterschied zum Aneroïdhöhenmesser, der die Flughöhe über Meer angibt. Hierauf werden wir am Schlusse noch zurückkommen.

6. Radar-Verkehrskontrolle und kombinierte Verfahren

In diese Gruppe gehören am Boden stationierte Überwachungsradargeräte, die später mit Impulswiederholern im Flugzeug zusammenarbeiten sollen. Am Boden werden die Flugzeuge auf einem PPI-Schirm sichtbar gemacht, über den eine transparente Karte des betreffenden Geländes ausgespannt werden kann. Bei Bodennebel soll auch die Rollfeldverkehrskontrolle mit Radar durchgeführt wer-

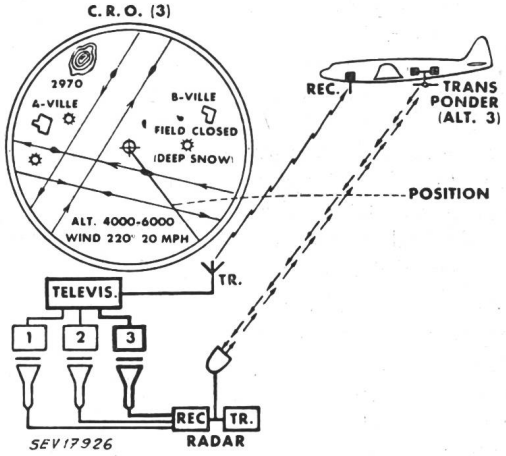


Fig. 12
Teleran-System, eine Kombination von Radar mit Fernsehen

den. Es ist vorgesehen, dass die Impulswiederholer neben dem wiederholten Impuls auch Identifikationszeichen und Flughöhe automatisch durchgeben sollen. Systeme wie *Teleran* und *Navar, Navascreen* beabsichtigen, das PPI-Bild mit Angaben über Wind, Rollverhältnisse usw. auch ins Flugzeug zu übertragen, das entsprechend mit einem Fernsehempfänger ausgerüstet wird (Fig. 12). Von allen diesen Systemen ist heute erst die Radarüberwachung ohne Impulswiederholer im Flugzeug in Betrieb.

7. Schlechtwetterlandeverfahren

Wenn ein Flug nicht programmgemäss durchgeführt werden kann wegen schlechten Wetters, so ist daran fast immer die Unmöglichkeit der Landung bei sehr schlechter Sicht oder bei Bodennebel schuld. Während bei der Überlandnavigation ein Messfehler von einigen Kilometern praktisch keine Rolle spielt, muss im Gegensatz bei der Landung das Flugzeug mit einer Genauigkeit von einigen Metern auf die Piste geführt werden. Wir sind allerdings heute noch immer nicht so weit, dass eine absolute Blindlandung möglich wäre. Die letzte Phase der Landung muss der Pilot immer noch mit Erdsicht durchführen. Immerhin gelingt heute ein Landeanflug, bei einer Wolkenhöhe von mehr als ca. 50 m und einer Sicht am Boden von mehr als etwa 500 m. Die Vorschriften hierüber sind je nach Flugplatz verschieden. Das ZZ-Verfahren, das mit einer Bodenpeilstation, normalem Flugzeug-Empfänger und Magnetkompass, bzw. Kurskreisel im Flugzeug arbeitete, ist heute schon veraltet.

Das SBA-System *(Standard Beam Approach-System)* (Fig. 13) benützt am Boden Bakensender und Marker. Die Anzeige erfolgt akustisch, wobei ein Dauerstrich dem Piloten anzeigt, dass er sich auf der Anflugachse befindet. Die Höhe des Flugzeuges

wird nach Höhenmesser und Sinkgeschwindigkeitsmesser (Variometer) kontrolliert.

Das ILS-System *(Instrument Landing-System)* ist heute und wohl noch für längere Zeit das eigentliche Standard-Anflugverfahren (Fig. 14). Die Anzeige der Bakensender erfolgt nicht akustisch, sondern optisch mit dem sogenannten Kreuzzeiger-Instrument oder *ILS-Indicator.* Der Bakensender

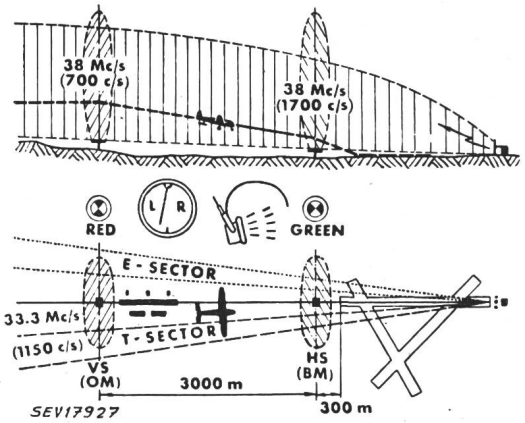


Fig. 13
Prinzip des SBA-Schlechtwetterlandeverfahrens

(hier meist *Localizer* genannt) ist links der Anflugachse mit 90 Hz, rechts davon mit 150 Hz moduliert und betätigt den senkrechten Zeiger des Kreuzzeiger-Instrumentes. Zusätzlich ist hier ein sog. Gleitwegsender vorhanden, der auf anderer Sendefrequenz, aber in gleicher Weise moduliert ist wie der Localizer, und den waagrechten Zeiger des Instrumentes beeinflusst.

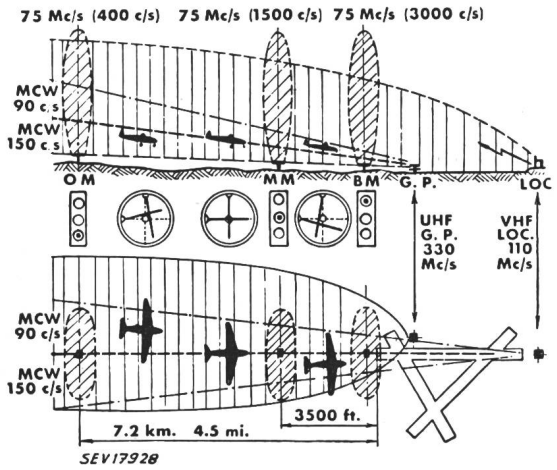


Fig. 14
Prinzip des ILS-Schlechtwetterlandeverfahrens

Das Flugzeug befindet sich auf der richtigen Anfluggeraden, wenn die beiden Zeiger senkrecht, bzw. waagrecht stehen, und sich ihr Schnittpunkt in der Mitte des Anzeigegerätes befindet. Als Anhaltspunkte für den Piloten, in welcher Distanz vom Pistenanfang er sich befindet, sind drei Marker vorhanden, die beim Überfliegen optische Anzeigen ergeben.

Im Zusammenhang mit dem ILS-System sei hier auf einige wichtige Einzelheiten bezüglich Auswertegeräte hingewiesen. Fig. 15 links zeigt das beschriebene Kreuzzeiger-Instrument. Die Ingenieure, die dieses Instrument und das ILS-System entworfen haben, waren sicher der Ansicht, dass auf diese Weise ein Anflug durch Wolken bis zum Anfang der Piste ein Kinderspiel sei. Dies ist nun keines-

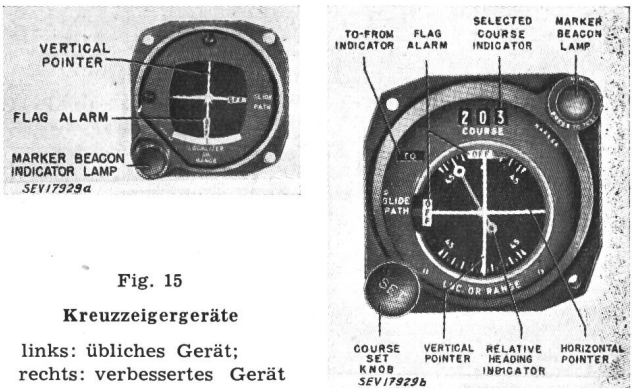


Fig. 15
Kreuzzeigergeräte
links: übliches Gerät;
rechts: verbessertes Gerät

wegs der Fall. Einmal hat der Pilot während des Anfluges nicht nur den Kreuzzeiger im Auge zu behalten, denn er fliegt ja blind, d. h. ohne Erdsicht, und nur nach Instrumenten. Dass dies nicht einfach ist, wird dem Laien oft schwer verständlich erscheinen. Es sei hier nur daran erinnert, wie schwer es ist, in dichtem Nebel ein Auto zu lenken, z. B. bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h. Das Flugzeug fliegt aber nicht mit 30, sondern mit 200 km/h und kann sich nicht nur zwei-, sondern dreidimensional bewegen. Es kann auch nicht rasch anhalten, damit die Situation überprüft werden kann. Alle Anzeigen müssen daher im Flugzeug rasch und mit unzweifelhafter Sicherheit abgelesen werden können. Während des Landeanfluges hat der Pilot viele Instrumente dauernd zu überwachen und danach zu handeln. Um hiervon nur die wichtigsten zu nennen: künstlicher Horizont, Geschwindigkeitsmesser, Höhenmesser, Kurskreisel und Kreuzzeiger. Wenn der Kreuzzeiger empfindlich eingestellt ist, so werden schon bei kleinen Abweichungen einer oder beide Zeiger voll ausgeschlagen sein, wobei der Pilot nicht weiss, wie gross die Abweichung tatsächlich ist. Macht er die Korrektur zu gross, so schiesst er übers Ziel hinaus, d. h. der oder die Zeiger schlagen beim Kreuzen der Anflugachse voll auf die andere Seite aus, bevor noch der Pilot reagieren kann. Dadurch kommt das Flugzeug in ein sehr unangenehmes Pendeln. Fig. 15 rechts zeigt ein neueres Instrument, das den Bedürfnissen des Piloten bedeutend besser angepasst ist. Das Instrument ist allerdings gedacht für eine Verwendung im Zusammenhang mit dem Omni-Range-System, wobei aber im Prinzip die Anforderungen ähnlich sind wie bei einem ILS-Anflug.

Fig. 16 zeigt, wie mit diesem Auswertegerät ein Pendeln sicher vermieden werden kann. Der kleine radiale Zeiger gibt den momentanen Kursfehler des Flugzeuges an, der gleich null ist, wenn der Zeiger

senkrecht nach oben zeigt. Der Pilot will aber nicht nur einen bestimmten Kurs fliegen, parallel zu einer bestimmten Achse, sondern er will auf der Achse selbst sein. Der grosse, immer senkrecht stehende

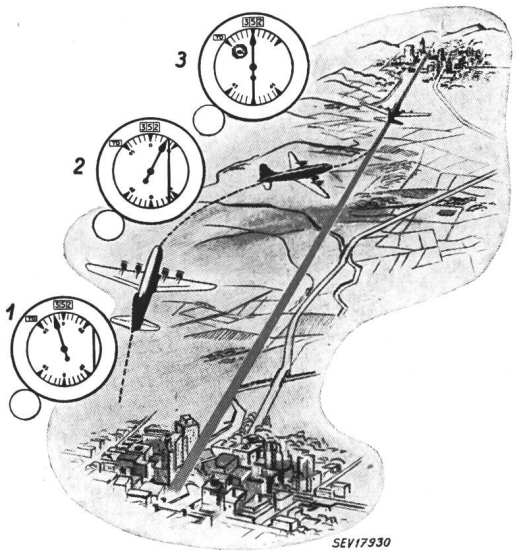


Fig. 16
Arbeitsweise des verbesserten Kreuzzeigergerätes

1 Die Kursbarre weist den gewünschten Kurs ... sie zeigt, dass Ihr Kurs nach rechts geht ... Der Pfeil markiert den geflogenen Kurs ... Er zeigt, dass Sie vom gewünschten Kurs abweichen ... Nach rechts korrigieren!
2 Nun zeigt der Pfeil, dass Sie sich dem gewünschten Kurs im Winkel von 45° nähern ... Die Barre hat sich bewegt, Sie nähern sich Ihrem Kurs ... Vermindern Sie Ihre Wendegeschwindigkeit!
3 Sie hielten den Kurs nach Abbildung 2, bis die Barre anfing, sich nach der Mitte zu bewegen, dann gingen Sie in eine Linkskurve mit solcher Wendegeschwindigkeit, dass der Pfeil genau unter der Barre blieb ... Jetzt zeigt das Gerät, dass Sie auf richtigem Kurs sind!

Zeiger gibt ihm nun die ungefähre Abweichung von dieser Achse an. Um auf die Achse selbst zu gelangen, fliegt er nun so, dass sich der grosse und der kleine Zeiger oben gerade berühren (Fig. Mitte) und gelangt so ohne Pendeln auf die gewünschte Anfluggerade.

Der *Zero-Reader*, ein Auswertegerät, das denselben Zweck verfolgt, verwendet einen normalen Kreuzzeiger, der aber durch ein kleines elektronisches Rechengerät gesteuert wird. Beim Zero-Reader geht der Ausschlag der Kreuzzeiger auf null zurück, auch wenn das Flugzeug noch nicht auf der Anfluggeraden ist, aber wenn es so fliegt, dass es diese ohne Pendeln sicher erreicht. Der Pilot weiss also nicht genau, wo er sich befindet, aber er weiss, dass er richtig fliegt, um sein Ziel auf dem kürzesten Weg ohne Pendeln zu erreichen, und das ist für ihn das Wesentliche.

Diese Bemerkungen über Auswertegeräte scheinen vielleicht nicht von grosser Wichtigkeit zu sein. Wir wären aber heute auf dem Gebiet der Flugsicherung um Jahre weiter, wenn man die unbedingt notwendige Zusammenarbeit zwischen Ingenieur und Pilot früher erkannt und in die Tat umgesetzt hätte. Für viele Flugsicherungssysteme gilt die Aussage, dass ein System gerade so gut oder schlecht ist wie das Anzeigegerät, nach welchem der Pilot fliegen soll.

Als neuestes, bestes, aber auch teuerstes System für Schlechtwetteranflüge gilt das GCA-System *(Ground Controlled Approach-System)*. Wie der Name sagt, wird hierbei der Anflug des Flugzeuges vom Boden aus überwacht und kontrolliert. Hierzu sind zwei Radargeräte vorhanden. Das Überwachungsradar führt das Flugzeug in die Anflugrichtung, wo die weitere Führung durch ein Präzisionsradargerät übernommen wird. Durch den normalen Sprechfunkverkehr werden dem Piloten alle notwendigen Korrekturen befohlen, wobei der Kontrolleur am Boden dauernd spricht. Dies, damit der Pilot bei etwaigem Defekt in der Sprechfunkverbindung nicht meint, alles sei in Ordnung, und weiter gegen den Boden zu fliegt. Vielmehr hat der Pilot beim Aufhören des Gesprächs des Kontrolleurs sofort durchzustarten, d. h. Gas zu geben und auf gleichem Kurs wieder zu steigen. Fig. 17 zeigt eine Prinzipskizze des GCA-Systems. Man erkennt die Sendekeulen von Überwachungs- und Präzisionsradar. Links oben ist ein PPI-Bild des Überwachungsradars dargestellt, links unten ist die Anzeige des Präzisionsradars auf dem sog. *Azel*-Schirm zu sehen. Auf dem Azel-Schirm (von *A*zimut und *El*evation) ist das Flugzeug gleichzeitig gewissermassen von oben und von der Seite abgebildet, so dass derselbe Kontrolleur beide Angaben, nämlich Höhe und Seite gleichzeitig sieht und entsprechende Korrekturen durchgeben kann. Die Zeit zwischen

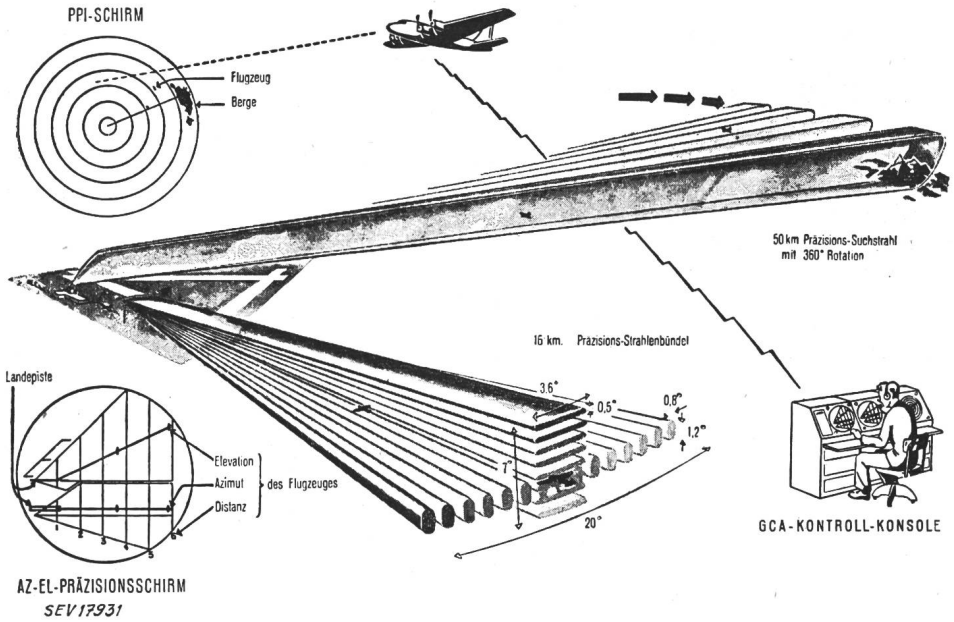


Fig. 17
Prinzip des GCA-Schlechtwetterlandeverfahrens

dem Erkennen des Fehlers durch den Kontrolleur und der entsprechenden Handlung des Piloten muss natürlich so klein als irgend möglich gehalten werden. Zur Verbesserung der Genauigkeit sind zwei Azel-Schirme vorhanden, von denen der zweite erst in Funktion tritt, wenn sich das Flugzeug ca. 5 km vom Pistenanfang entfernt befindet und ein entsprechend vergrössertes Bild liefert. Die hier erreichte

Fig. 18
Kontrolleur vor den Azel-Schirmen (GCA-System)

Genauigkeit beträgt ca. 10 m in der Seite, 5 m in der Höhe und 50 m in der Entfernung. Fehler, die kleiner sind, können also vom Kontrolleur nicht mehr erkannt werden. Diese Genauigkeit ist immerhin ganz erstaunlich und dürfte wohl mit üblichen Impuls-Radargeräten in der nächsten Zukunft nicht mehr wesentlich überboten werden, schon wegen der Impulsdauer, die hier nur noch 0,5 μs beträgt. Fig. 18 zeigt einen Kontrolleur vor den beiden Azel-Schirmen.

Eine wesentliche technische Verbesserung der Radargeräte und besonders des GCA-Systems wird erreicht durch die sog. *Moving-Target-Indication* (MTI). Dies ist besonders für unser bergiges Gelände von Vorteil (auch Kloten ist gegenüber ausländischen Flugplätzen fast als Gebirgsflugplatz zu bezeichnen). Bekanntlich geben Hügel in der Umgebung des Gerätes sehr unerwünschte Echos, in denen das vom Flugzeug reflektierte Nutzsignal unter Umständen total untergeht. Die MTI erlaubt, Echos von festen Zielen teilweise oder ganz zu eliminieren und solche von bewegten Zielen hervorzuheben. Fig. 19 zeigt links ein Bild ohne, rechts mit MTI, wobei die Echos von festen Zielen ganz unterdrückt sind. Die MTI beruht auf dem Prinzip des Dopplereffektes. Die Nutzbarmachung des Dopplereffektes ist allerdings beim Impulsradar nicht einfach, doch würde ein Eintreten auf dieses Problem hier zu weit führen.

Damit wären wir mit unserem Streifzug durch die Flugsicherungstechnik im wesentlichen zu Ende. Ich möchte zum Schluss nur noch kurz auf die Arbeiten zu sprechen kommen, die wir im Institut für Hochfrequenztechnik der Eidgenössischen Technischen Hochschule in den letzten Jahren durchgeführt haben. Dies nicht, weil diese Arbeiten etwa eine besondere Wichtigkeit hätten, sondern mehr

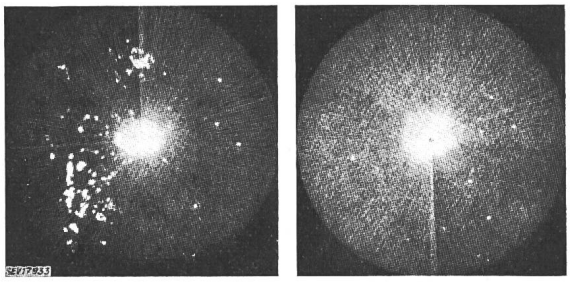


Fig. 19
Radarbilder
links: ohne MTI, mit Echos fester und beweglicher Ziele
rechts: mit MTI, mit Echos nur beweglicher Ziele

um zu zeigen, dass auch wir uns um die Weiterentwicklung dieses Zweiges der Hochfrequenztechnik bemühen, wenn auch nur in sehr bescheidenem Maßstab.

Bei der Festlegung des Programms für unsere Arbeiten erkannten wir, dass es keinen Sinn hätte, zu den vielen bereits vorgeschlagenen und projektierten Flugsicherungssystemen noch ein neues auszuarbeiten. Eine Verwirklichung wäre infolge der Vorherrschaft der USA auf diesem Gebiet doch kaum in Frage gekommen. Ausserdem sind heute die in Flugsicherungsanlagen investierten Kapitalien bereits so gross, dass diese amortisiert werden müssen, auch wenn neue, allfällig bessere Systeme bereit wären. Es konnte sich für uns also nur darum handeln, ein bestehendes System, oder besser ein einzelnes Gerät, verbessern zu suchen. Hierzu eignete sich speziell das Problem des Radarhöhenmessers. Die Forschung auf diesem Gebiet drängte sich aber auch deshalb auf, weil es bis heute praktisch brauchbare Höhenmesser für kleine Höhen, die als Kontroll- oder Hilfsgeräte für die Blindlandung dienen könnten, nicht gibt. Anderseits ist aber eine grosse Zahl aller Flugunfälle darauf zurückzuführen, dass bei einem blind durchgeführten Landeanflug bei schlechtem Wetter die effektive Höhe über Boden nicht oder fehlerhaft bekannt war.

Höhenmesser für grosse Höhen sind im Gebrauch und arbeiten nach dem Impuls-Prinzip. Für Höhen von einigen 10 m ist dieses Prinzip jedoch nicht anwendbar, denn mit einem Impuls von 150 m Länge, entsprechend einer Dauer von 0,5 μs, ist eben eine Distanz von wenigen Metern nicht mehr messbar. Geeignet für kleine Entfernungen ist das Prinzip der Frequenzmodulation. Nimmt die Frequenz des Senders z. B. linear zu, so ergibt die Mischung von momentan gesendetem und reflektiertem Signal eine Differenzfrequenz, die der Distanz proportional ist. Für praktische Zwecke kann die Frequenz

natürlich nicht ständig ansteigen und man kommt damit zu einer periodischen Modulation nach Fig. 20. Auf den ersten Blick scheint diese Methode ideal zu sein. Bei näherem Hinsehen erkennt man aber verschiedene Nachteile: Der Frequenzhub muss für die Messung kleiner Distanzen ausserordentlich gross gemacht werden (Grössenordnung 20 MHz). Hierdurch entsteht eine starke, unerwünschte Amplitudenmodulation, die sehr störend wirkt. Ausserdem entsteht bei der Auszählung der Differenzfrequenz ein sehr merkwürdiger Fehler, der zwar genau berechnet werden kann, aber bei

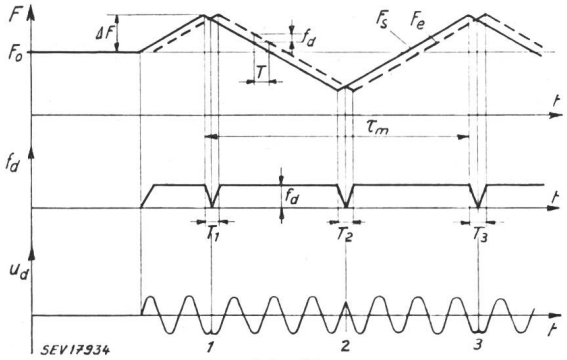


Fig. 20
Arbeitsprinzip eines Radarhöhenmessers mit Frequenzmodulation

F Frequenz
F_0 mittlere Sendefrequenz
f_d Differenzfrequenz zw. F_s und F_e, sog. Radarfrequenz
u_d Spannung der Frequenz f_d
ΔF Frequenzhub
F_s momentane Sendefrequenz
F_e momentane Empfangsfrequenz
t laufende Zeit
τ_m Periodendauer eines Modulationszyklus
$T = T_1, T_2, T_3$ Laufzeit des reflektierten Signals

der Messung kleiner Höhen doch sehr unangenehm bleibt. Er äussert sich darin, dass die Anzeige nicht kontinuierlich erfolgt, sondern gewissermassen stufenweise (Fig. 21) und ständig um einen gewissen festen Betrag springt. Dieser sog. feste Fehler ist umgekehrt proportional dem Frequenzhub und erreicht bei ausgeführten Geräten eine Grösse bis zu 10 m.

Unsere Arbeiten haben nun zu einem neuen System mit Frequenzmodulation geführt, das die meisten dem alten System anhaftenden Nachteile vermeidet und speziell für kleine Distanzen bedeutend

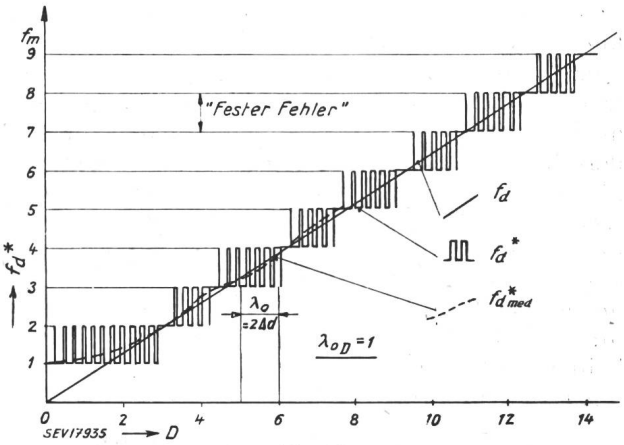


Fig. 21
Die Anzeige eines Radarhöhenmessers

f_d proportional der tatsächlichen Distanz
f_d^* angezeigter Wert bei kleiner Geschwindigkeit v
$f_{d\,med}^*$ mittlerer angezeigter Wert bei grösserer Geschwindigkeit
f_m Modulationsfrequenz des Senders
λ_0 Wellenlänge der Sendefrequenz
$\Delta d = \lambda_0/2$
λ_{0D} Wellenlänge der Sendefrequenz, bezogen auf die genormte Distanz D
D genormte Distanz $= 2\,\pi\Delta F \cdot T$ (vgl. Fig. 20)

bessere Resultate verspricht. Die Richtigkeit der Rechnungen wurde durch prinzipielle Versuche bestätigt, und es scheint, dass nach dem neuen System nicht nur Höhenmesser, sondern auch andere Radargeräte mit guter Genauigkeit und sehr kleinem Aufwand herstellbar sind [3]).

Adresse des Autors:
Dr. *Kurt Witmer*, Dipl. Ing., Universitätsstrasse 80, Zürich 6.

[3]) Eine eingehende Beschreibung des neuen Systems findet sich in der kürzlich erschienenen Mitteilung Nr. 13 aus dem Institut für Hochfrequenztechnik: «Studien über Radarsysteme mit Frequenzmodulation.»

Fabrication, action régulatrice et emploi des thermistors *)

Par *E. Meyer-Hartwig* et *H. Federspiel*, Terlano (Italie)

621.315.59

Les auteurs traitent des thermistors et de leurs principales applications comme régulateurs de tension, régulateurs de courant pour l'amortissement de la surintensité à la fermeture d'un circuit et sondes de température dans les domaines de mesure les plus divers. Ils examinent la question du choix des matières premières (mélanges d'oxydes, spinelles, semi-conducteurs capillaires), le mode de fabrication par agglomération et frittage, ainsi que les formes d'exécution des thermistors, qui vont des petits modèles dans des tubes de verre avec ou sans chauffage indirect, jusqu'aux grands modèles pour fortes intensités.

Des graphiques indiquent l'emploi des thermistors comme régulateurs de tension, résistances de démarrage sous fortes intensités et résistances de démarrage et de protection pour appareils radiorécepteurs. Pour terminer, les auteurs décrivent quelques applications, notamment un démarreur triphasé, un appareil de protection contre les surtensions dans les lignes aériennes et un montage en pont pour enclenchements retardés.

In dieser Arbeit wird über Heissleiter, sowie über ihre grundsätzliche Anwendung als Spannungs- und Stromregler zur Dämpfung des Einschaltstromstosses bzw. als Temperaturfühler für die verschiedensten Temperaturmessaufgaben berichtet. Auf die Auswahl der Werkstoffe wird eingegangen, insbesondere auf Oxydmischungen, auf Spinelle und auf die neuen Kapillarheissleitermassen. Die sintertechnische Erzeugungsweise wird gestreift, die Ausführungsformen werden gekennzeichnet, kleine Typen in Glaskolben mit und ohne indirekte Heizung und solche bis zu grossen Abmessungen und für grosse Stromstärken.

Für Heissleiter als Spannungsregler, als Schutzanlasser in Radiogeräten und als Anlasser für Geräte mit grossen Stromstärken werden Diagramme angegeben. An Ausführungsformen wird ein Motoranlasser, ein Überspannungsschutzgerät für Freileitungen und eine Brückenanordnung für Verzögerungsschaltungen beschrieben.

*) *Remarque des auteurs:* Nous désignerons par «thermistors» ou conducteurs à chaud (Heissleiter), les résistances à coefficient de température négatif.