

Ein Beitrag zur Flugsicherungs Geschichte

von

Hans H. Jucker

Juli 2014

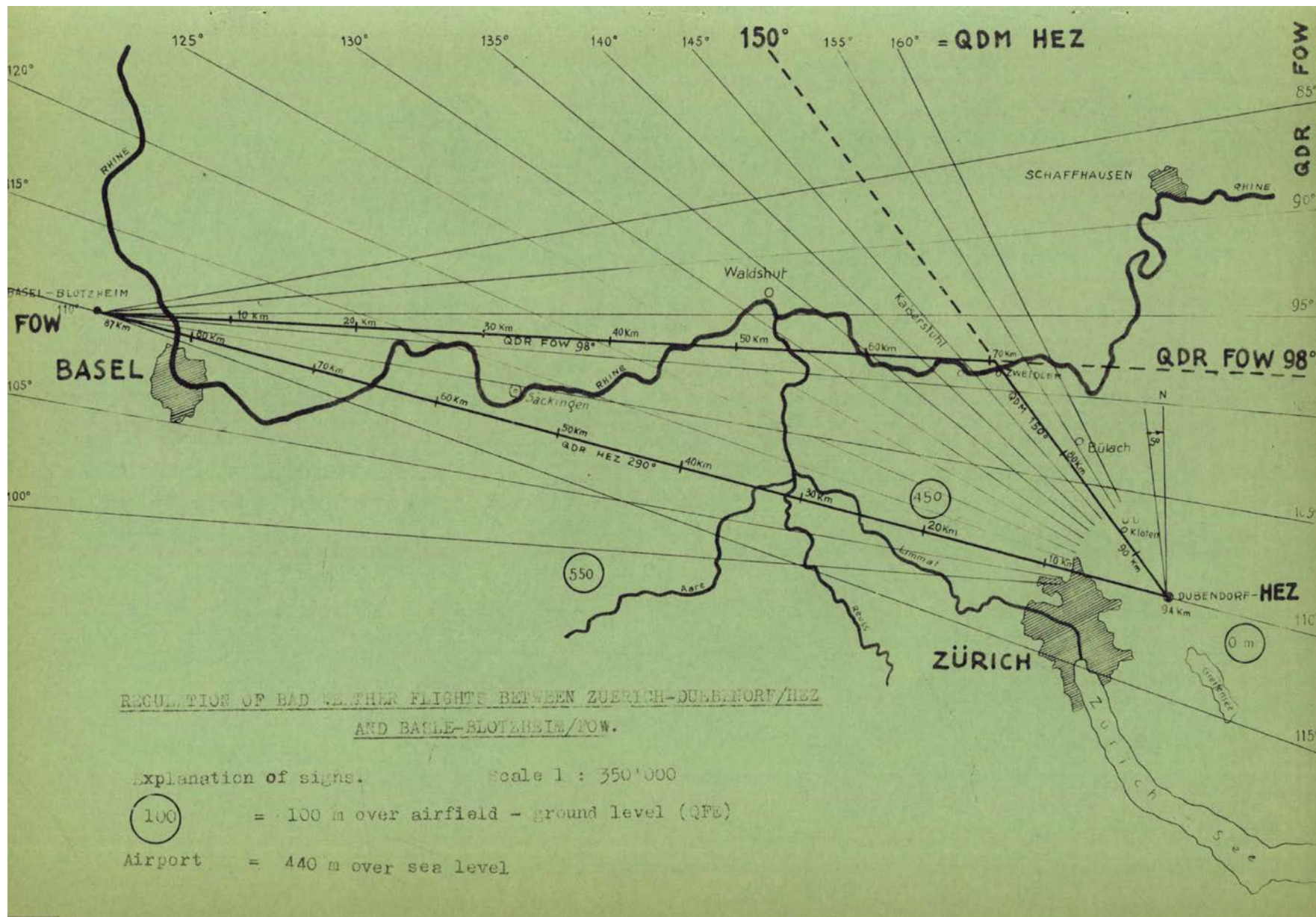
Zum Inhalt

Mit dem vorliegenden Beitrag möchte ich die Anfänge und die Entwicklung der funktechnischen Verfahren in der Flugsicherung aufzeigen teilweise auch unter Berücksichtigung der Situation auf dem ehemaligen Zivilflugplatz Dübendorf. Der von der Swissair betriebene Zivilflugplatz Dübendorf verfügte nämlich sehr früh über eine sogenannte Lorenz Funkbake für die Landung bei Nacht oder bei schlechter Witterung, eine frühe Vorstufe der heute auf den meisten Flughäfen vorhandenen Instrumenten Lande Systeme (ILS).

Da das Verfahren noch keine vertikale Führung ermöglichte wird als Nebenthema etwas auf die Funkhöhenmesser oder Radio Altimeter eingegangen deren Entwicklung parallel in den USA und in Deutschland erfolgte ursprünglich zur Ergänzung des Funkbaken Landeverfahren. Ein interessanter Aspekt ist dabei die spätere Verwendung dieser für die zivile Flugsicherung entwickelten elektrischen Höhenmesser für den militärischen Einsatz im Zweiten Weltkrieg. Der deutsche Funkhöhenmesser FuG101 wurde zum Beispiel wegen seinem Einsatz in Angriffswaffen von den alliierten Nachrichtendiensten als ernste Bedrohung eingestuft und als Gegenmassnahme die Entwicklung elektronischer Störverfahren in die Wege geleitet.

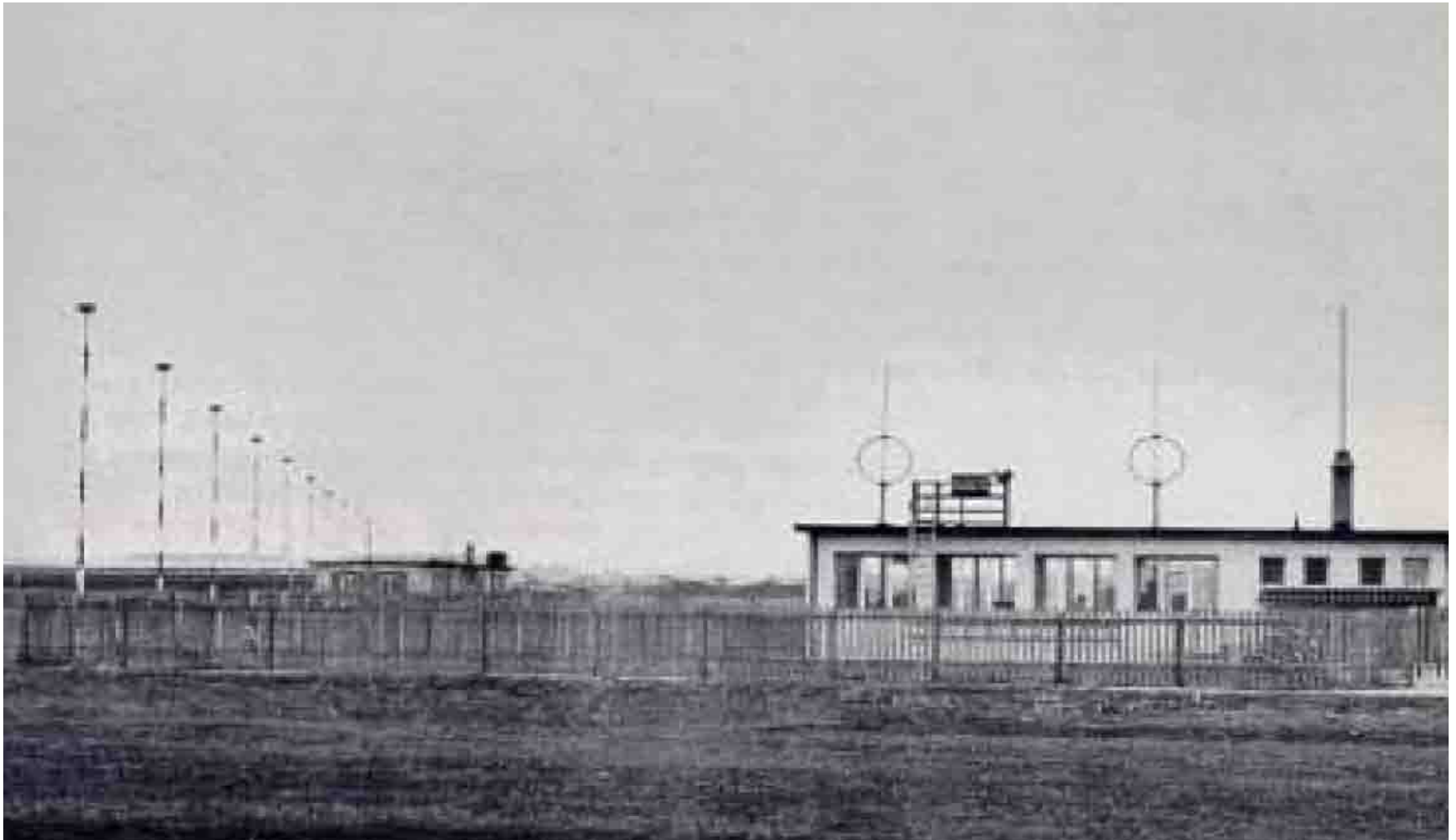
Durch den enormen Entwicklungsschub des Zweiten Weltkrieges und die grosse Zunahme des Luftverkehrs in der Nachkriegszeit erfolgte «last but not least» die Verlagerung von Flugfunk- und Navigation auf höhere Frequenzen und die Einführung immer komplexerer Verfahren für die Flugsicherung wie z.B. die VHF Sichtfunkpeiler, ILS, GCA Radar, VOR, DME, SSR auf die in diesem Beitrag ebenfalls eingegangen wird.

Anflugsituation auf dem Flugplatz Dübendorf in den 1930er Jahren



Anflug auf den ehemaligen Zivilflugplatz Dübendorf

ganz links die Anflugbefeuerung, im Hintergrund die Funkstation, rechts das Peilerhaus mit den Rahmenantennen des Impulsfernpeilers links, des Anflugpeilers rechts u. ganz rechts der Antenne für die Seitenbestimmung der Peilungen.



ZZ-Verfahren als erstes Landesystem auf dem Flugplatz Dübendorf

Dabei wurde das Flugzeug am Fernpeiler vom Radio Schweiz Beamten unter Absinken auf 700 m zum Flugplatz Dübendorf geleitet und erhielt vom Boden die Meldung "QFG". Das Flugzeug begann dann mit gedrosseltem Motor einen 7 minütigen Abflug in entgegengesetzter Richtung zur Anfluglinie und sank dabei auf 500 m ab (Peilschneise). Hierbei wurde der Kurs um 8° nach rechts geändert, damit nach einem anschließenden ein-minütigen Linksturn von 180° der genaue Anflug auf die Landepiste möglich wurde. Das Flugzeug befand sich nun ca. über dem Rhein bei Eglisau, so dass der Anflug genau 7 Minuten dauerte. Der Ab- und Anflugkurs unterschied sich dabei um ca. 8°. Mittels minütlich angeforderter Peilung vom Radio Schweiz Beamten am Anflugpeiler wurde der Landekurs von 150° während des Anfluges stetig nachkorrigiert. Sobald das Motorengeräusch des Flugzeuges am Horchposten Kloten akustisch wahrgenommen wurde, sendete dieser das Vorsignal üü. Bei der Annäherung an den Flugplatz wurde beim Erreichen der Platzgrenze das Signal ZZ (– – · · – – · ·) Landen gesendet. Hatte der Peilbeamte bei der letzten Peilung festgestellt, dass der Anflugkurs nicht genau stimmte, sendete er JJ das Kommando zum Durchstarten.

ZZ – (erstes) Schlechtwetter Anflugverfahren Dübendorf

ZUERICH - DUEBENDORF HEZ.

Profile of bad weather landing axis and its surroundings.

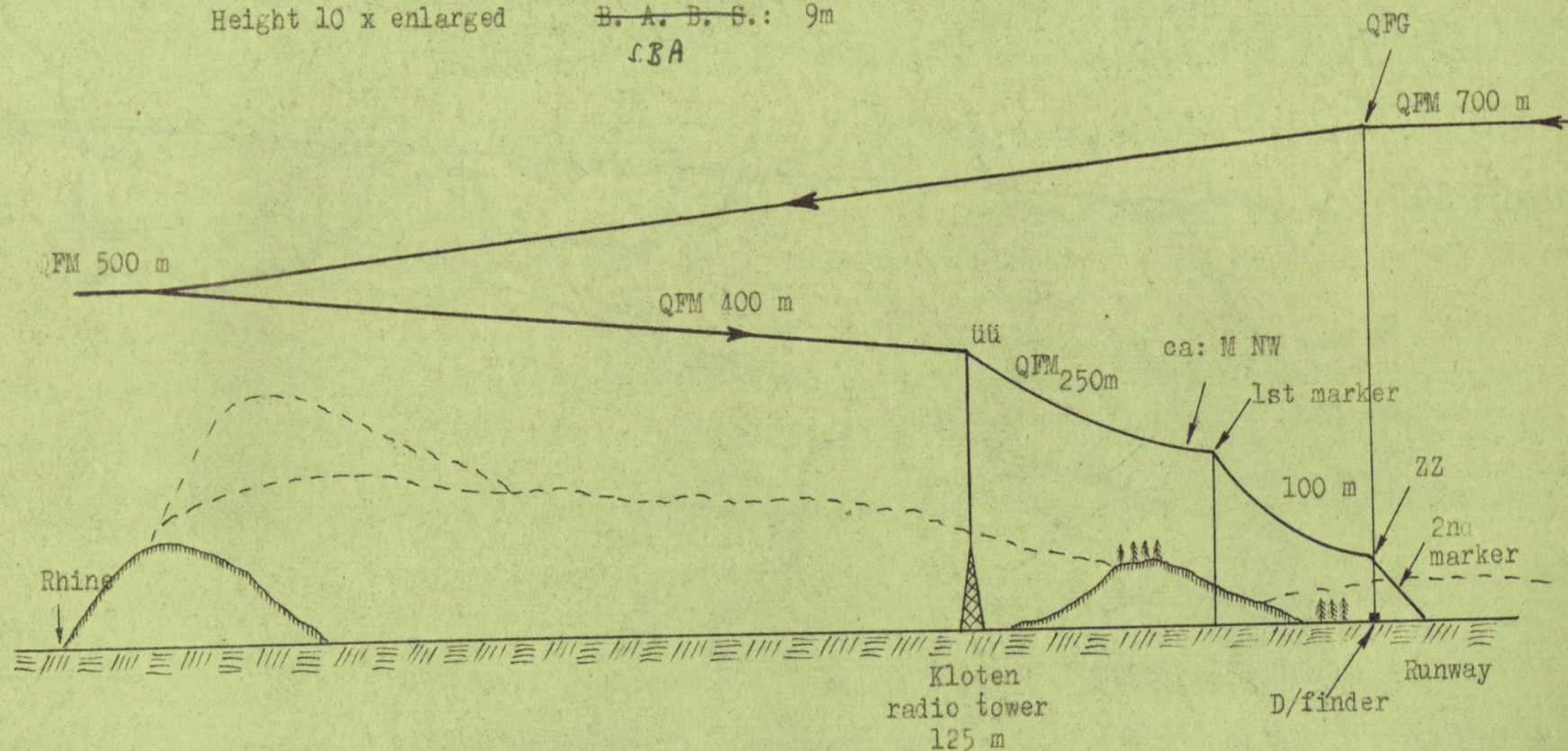
Scale 1 : 100'000

Height 10 x enlarged

~~Frequencies 340, 322 kes.~~

~~B. A. D. S.: 9m~~

CBA

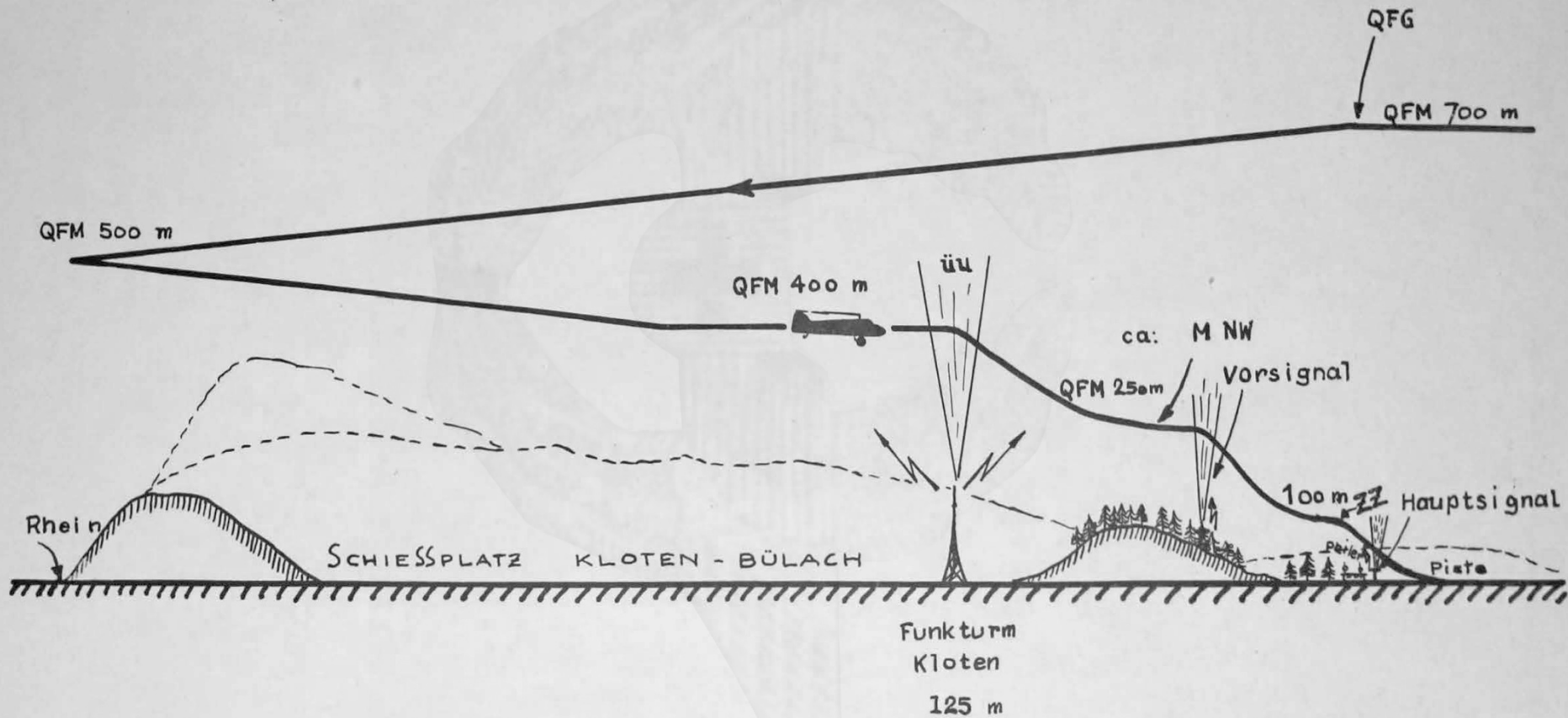


ZÜRICH - DÜBENDORF HBZ

PROFIL DURCH DIE SCHLECHTWEWETTER-
LANDEACHSE UND DEREN UMGEBUNG.

M. 1 : 100.000

10 mal überhöht



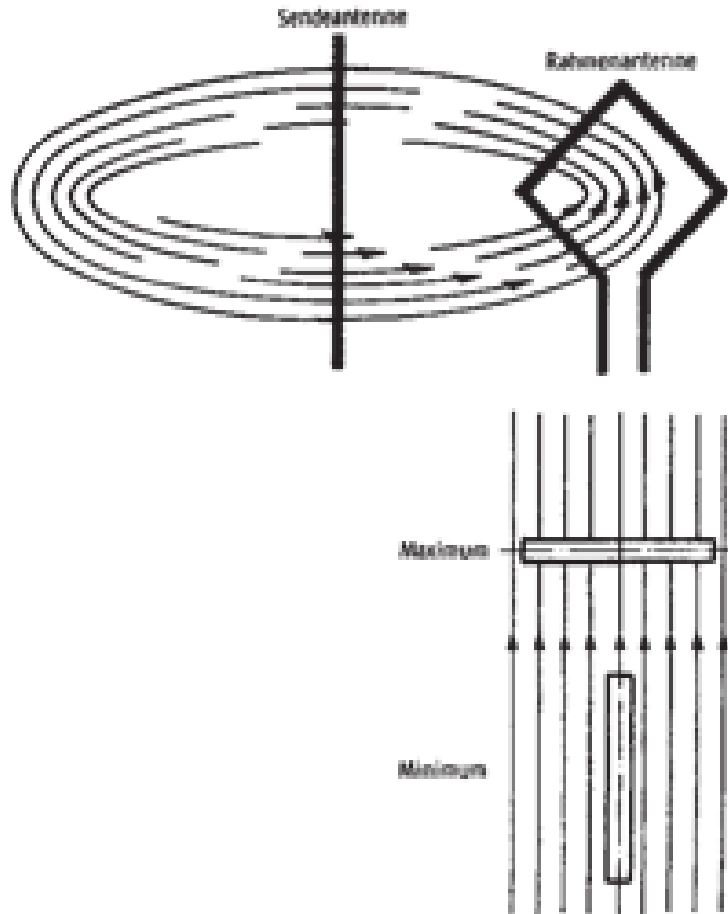
Einführung der Impulspeilung in der Flugsicherung

Am 30. April 1936 verunfallte das Nachtpostflugzeug HB-ITU der Swissair auf dem Flug von Frankfurt a.M. nach Basel. Die technische Untersuchung der Unfallursache ergab, dass das Flugzeug von Frankfurt um 03:56 gestartet war und bis Mannheim mit Bodensicht geflogen ist. Nachdem das Flugzeug kurz nach Mannheim in Nebel geriet, setzte der Pilot den Flug mit Hilfe der Funkpeilung fort, zum Teil in, zum Teil über den Wolken, ohne wahrscheinlich noch einmal zu Bodensicht zu gelangen. Die Funkpeilungen des Flugzeuges erfolgten über Langwelle auf 322 kHz durch die Bodenstationen Stuttgart, Strassburg und Basel. Ab Karlsruhe fiel die Funkstation Stuttgart infolge Inanspruchnahme durch eine Maschine im Funkbezirk Stuttgart aus; von diesem Zeitpunkt an begannen aber auch die Peilungen von Strassburg infolge des Dämmerungseffektes fehlerhaft zu werden. Die Fehlpeilungen von Strassburg waren derart, dass sich der Pilot zur Zeit des Unfalles nördlich und in der Nähe Basels wähnen musste, in Wirklichkeit befand er sich aber bereits viel weiter östlich und südlich des Schwarzwaldes im Raum Zentralschweiz. Der Funkstelle Basel gelang es infolge des Dämmerungseffektes während dieses ganzen Fluges nie, das Flugzeug zuverlässig zu peilen. Der Flugweg führte östlich am Feldberg vorbei über Zurzach, wo das Flugzeug gehört, aber nicht gesehen wurde und von hier, in gerader Linie nach der Zentralschweiz wo das Flugzeug um 05:27 an der Rigi zum Zeitpunkt des Abbruchs des Funkverkehrs zerschellte. Als direkte Folge des Unfalles erliess das Eidg. Luftamt für die Radio Schweiz und die Swissair bereits am 6. Mai 1936 den dringenden Befehl, dass die Funkstationen Basel und Dübendorf mit Impulspeiler und die Flugzeuge der Swissair ebenfalls mit den Zusatzgeräten für die Aussendung der Impulspeilemissionen auszustatten seien.

Das Swissair Nachtpost Flugzeug HB-ITU eine von der Firma General Aviation gebaute Clark GA-43 startete am 30. April 1936 morgens 03:55 Uhr in Frankfurt für den Rückflug nach Basel. Infolge durch den Dämmerungseffekt verursachte Peilfehler verunglückte das Flugzeug um ca. 05:27 an der Rigi.



Prinzip der Peilrahmen Antenne



Wie aus der nebenstehenden Figur hervorgeht wird mit der Rahmenantenne im Normalfall das horizontal polarisierte elektromagnetische Feld der Bodenwelle des Senders angepeilt.

In der Dämmerung und bei Nacht treten Peilfehler in Erscheinung.

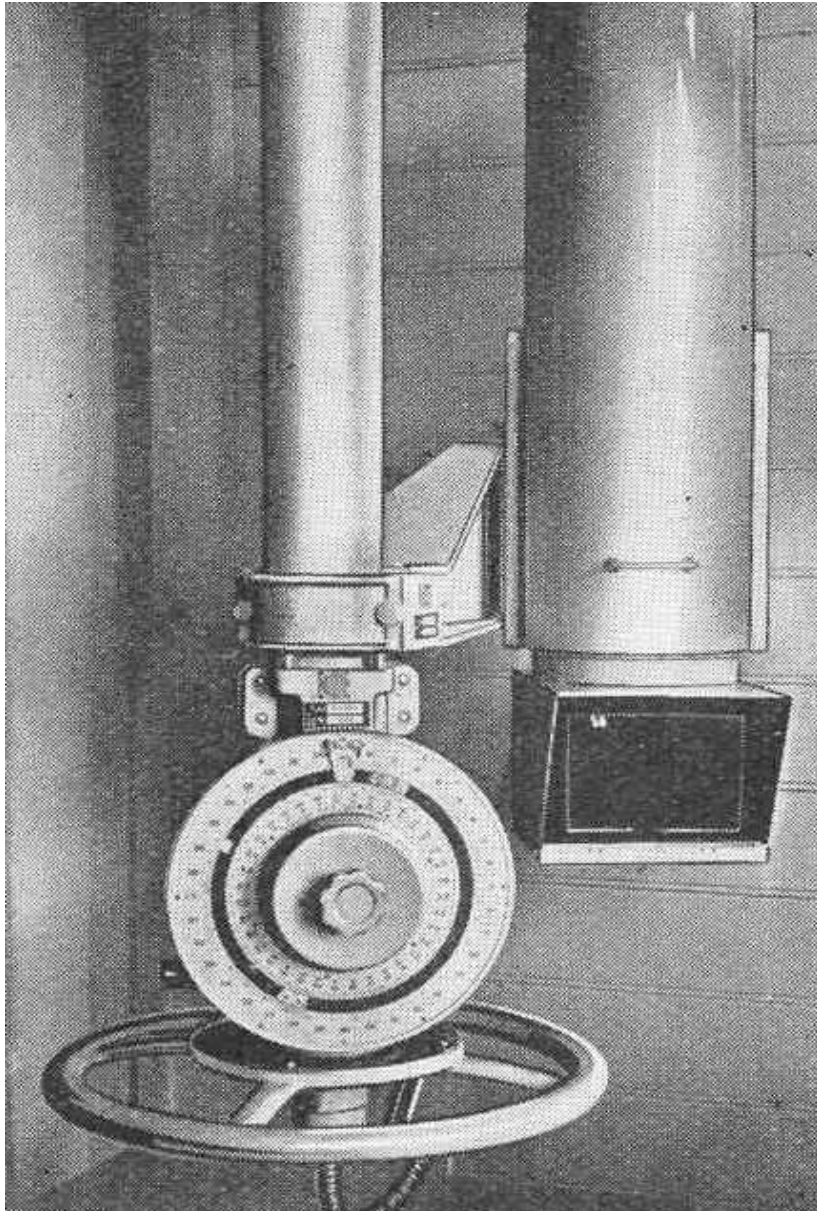
Sie entstehen dadurch, dass am Empfangsort neben der Bodenwelle die Raumwelle der Mittel- oder Langwellen Sender besonders stark auftritt. Bei der Reflexion der Raumwelle an der Ionosphäre kommen Polarisationsänderungen der Welle zustande, die bei Verwendung einer Rahmenantenne als Peilantenne die Peilfehler hervorrufen. Als Abhilfe wurde die Impulspeilung entwickelt.

Telefunken Impulsfernpeiler auf dem Flugplatz Dübendorf

- Arbeitsplatz mit dem Telefunken Impulspeiler 2036N und dem Peilempfänger 2034N auf dem Flugplatz Dübendorf im Jahre 1936.
- Das neuartige Impulspeilverfahren ermöglichte auch bei Nacht eine Fernpeilung der Flugzeuge bis auf eine Entfernung von ca. 100 – 150 km wenn sie den Funkverkehr im Langwellenbereich von 570 – 1350 Meter abwickelten.
- Das Verfahren basierte auf der Anwendung von impulsmodulierten Signalen wobei durch die unterschiedliche Laufzeit die direkt empfangene Bodenwelle von der an der Ionosphäre reflektierten Raumwelle auf dem Bildschirm rechts unterschieden werden konnte

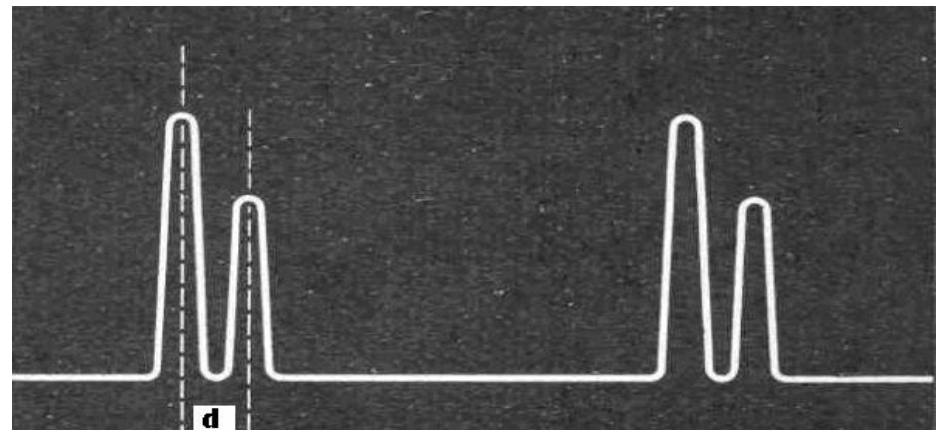


Impulspeiler 2036N aus den 30er Jahren



Die Figur links zeigt den Telefunken Impulspeiler 2036N. An den Skalen oberhalb des Bedienungsrades wird der Peilwinkel abgelesen und die Deklination eingestellt. Auf der Kathodenstrahlröhre des Anzeigergerätes erscheinen die über die Boden- und Raumwelle empfangenen Impulssignale der Flugzeugsender. Die Flugzeugsender senden auf Anweisung der Bodenstation mit ca. 300 Hz Impulse von ca. 330 μ s Dauer aus.

Die untere Figur zeigt die auf dem Bildschirm dargestellten Empfangssignale. Die grösseren linken Impuls stammen von der direkt einfallenden Bodenwelle, die kleineren im Abstand d von der an der Ionosphäre reflektierten Raumwelle.

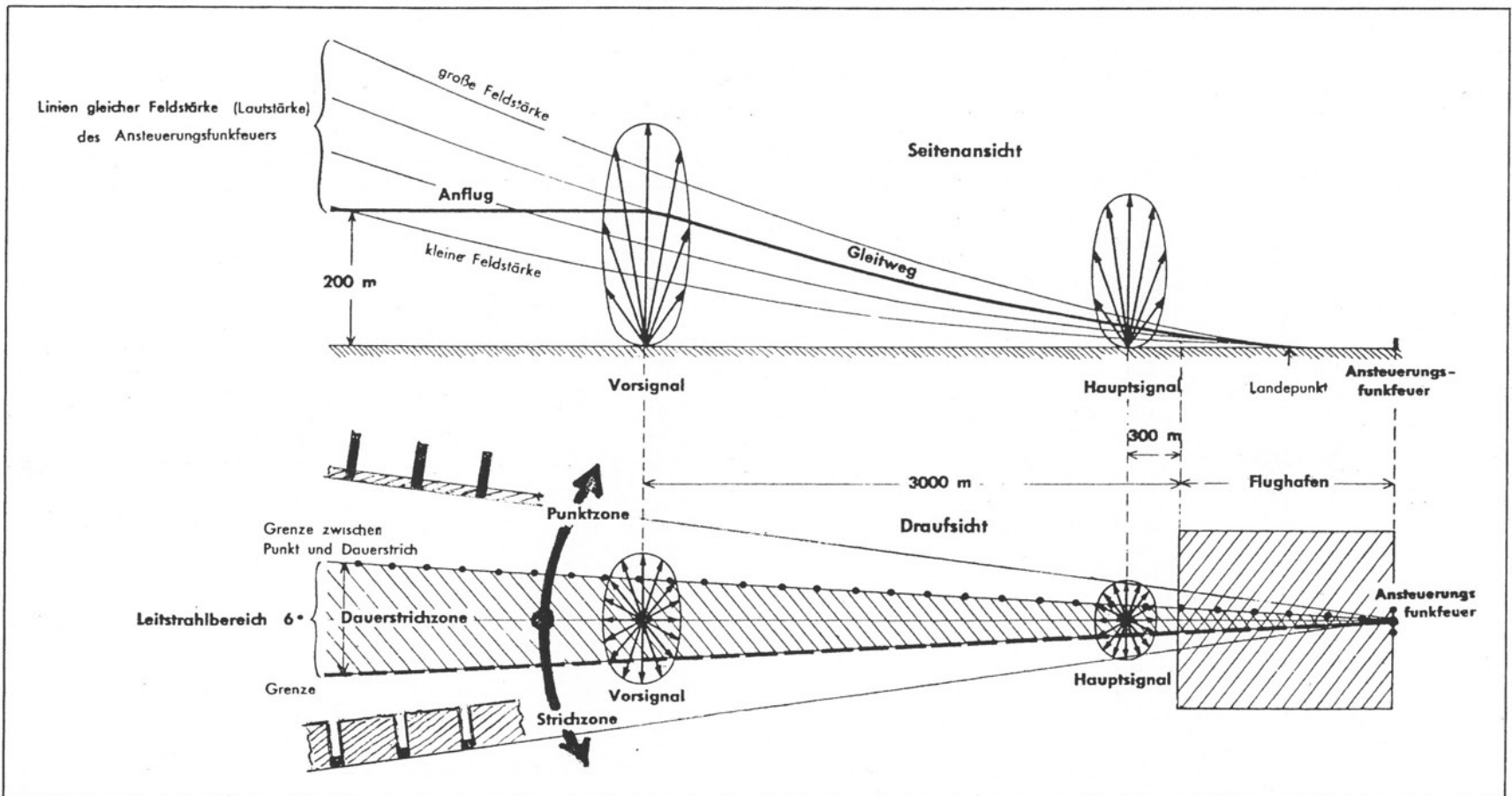


Arbeitsplatz am Anflugpeiler auf dem Flugplatz Dübendorf vor der Einführung des Lorenz Blindlande Anflugverfahrens

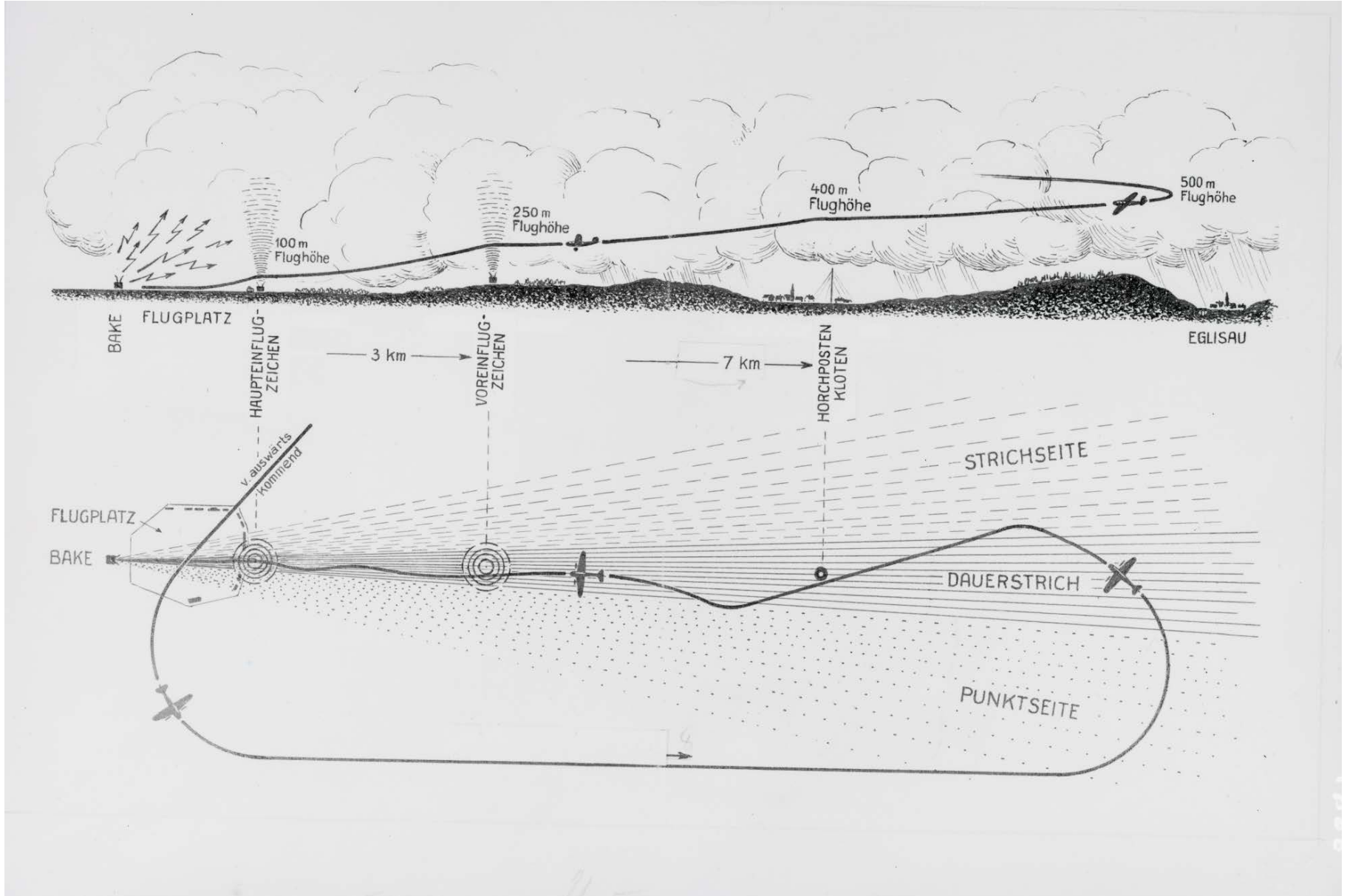
- Das Bild zeigt den Peilbeamten der Radio Schweiz AG am Anflugpeiler während einem Landeanflug - vor der Einführung des Lorenz Landeverfahrens im Jahre 1937 auf dem Flugplatz Dübendorf.
- Nachdem das Flugzeug durch Fremdpeilung mit dem Impulspeiler bis über den Horchposten Kloten geführt worden ist, übernimmt bei Wolkenhöhen von <math><150\text{m}</math> der Beamte am Anflugpeiler das Flugzeug mit dem Funkbefehl QFG für den eigentlichen Landeanflug.
- Mit dem Anflugpeiler wird das Flugzeug nun von dem auf der verlängerten Pistenachse in 7 km vor dem Aufsetzpunkt befindlichen Horchposten Kloten bis zum Durchstossen der Wolkendecke zur Landung geführt.



Die Figur zeigt das im Jahre 1937 auf Drängen der Swissair auf dem Flugplatz Dübendorf installierte Lorenz- oder Standard Beam Approach Blindlandesystem. Das Verfahren ermöglichte bereits eine horizontale jedoch noch keine vertikale Führung der Flugzeuge während dem Landeanflug.



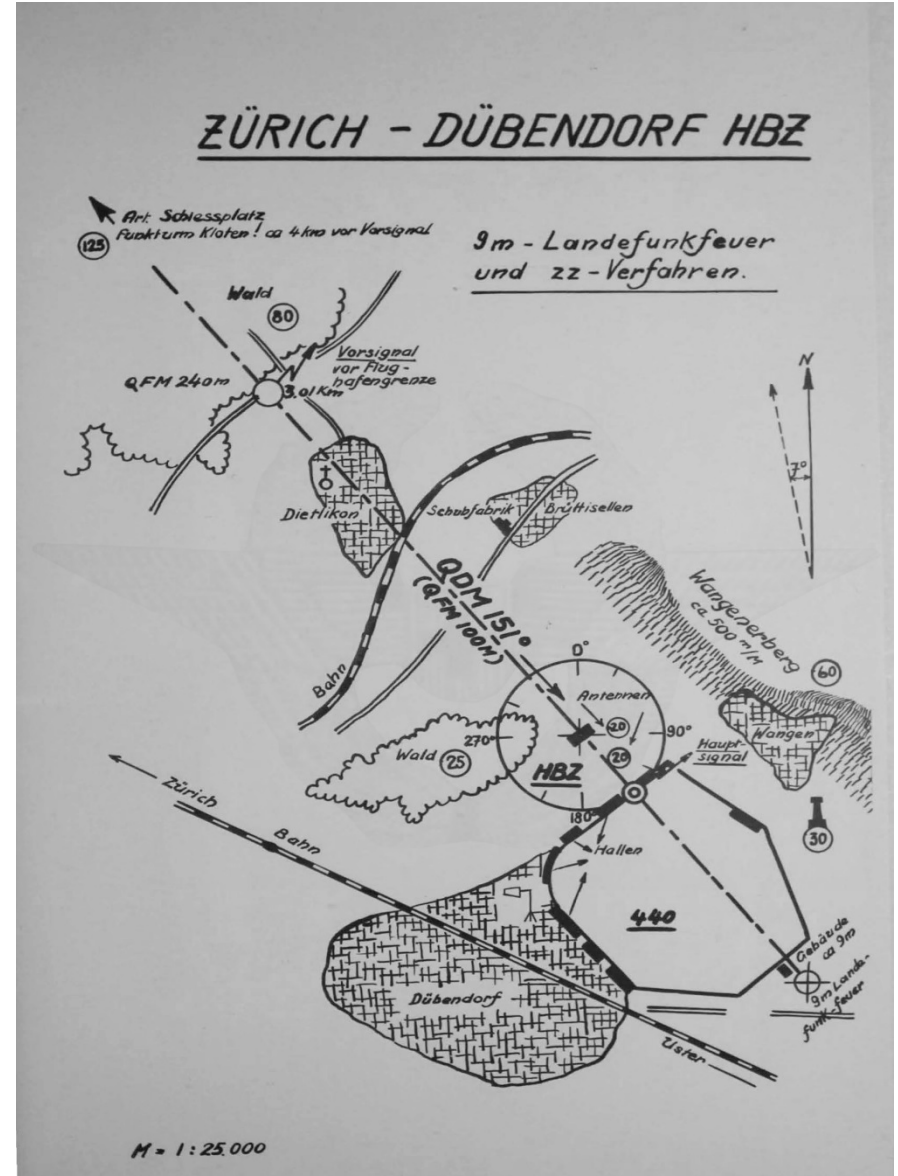
Lorenz Schlechtwetter Landeverfahren auf dem Flugplatz Dübendorf



Lorenz Blindlandebake Flugplatz Dübendorf

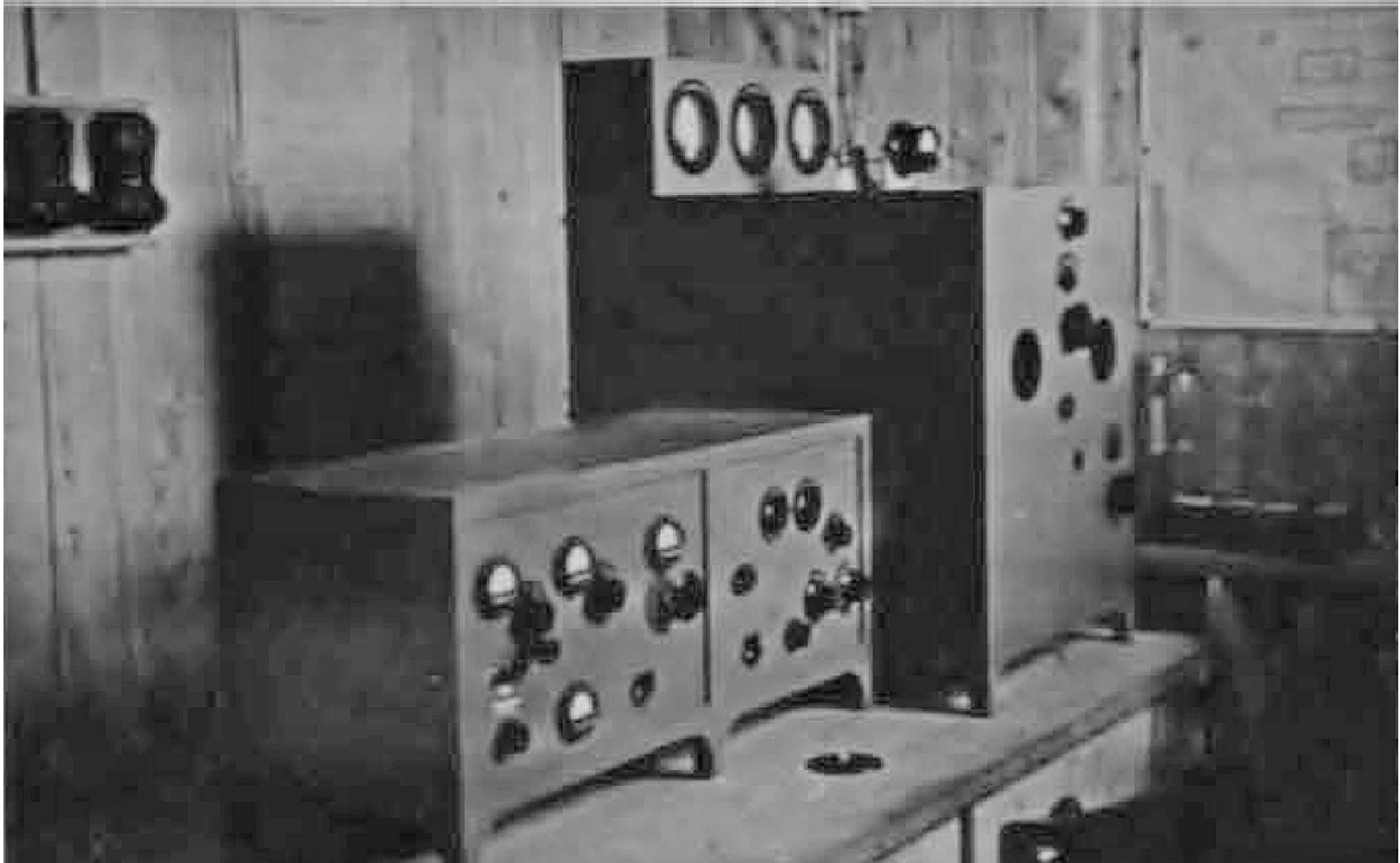


Dipolantenne Bakensender Dübendorf



Lorenz Landebakensender Dübendorf

33.3 MHz, Ant. Leistung 700 Watt, AM Modulation 90% mit 1150 Hz Ton

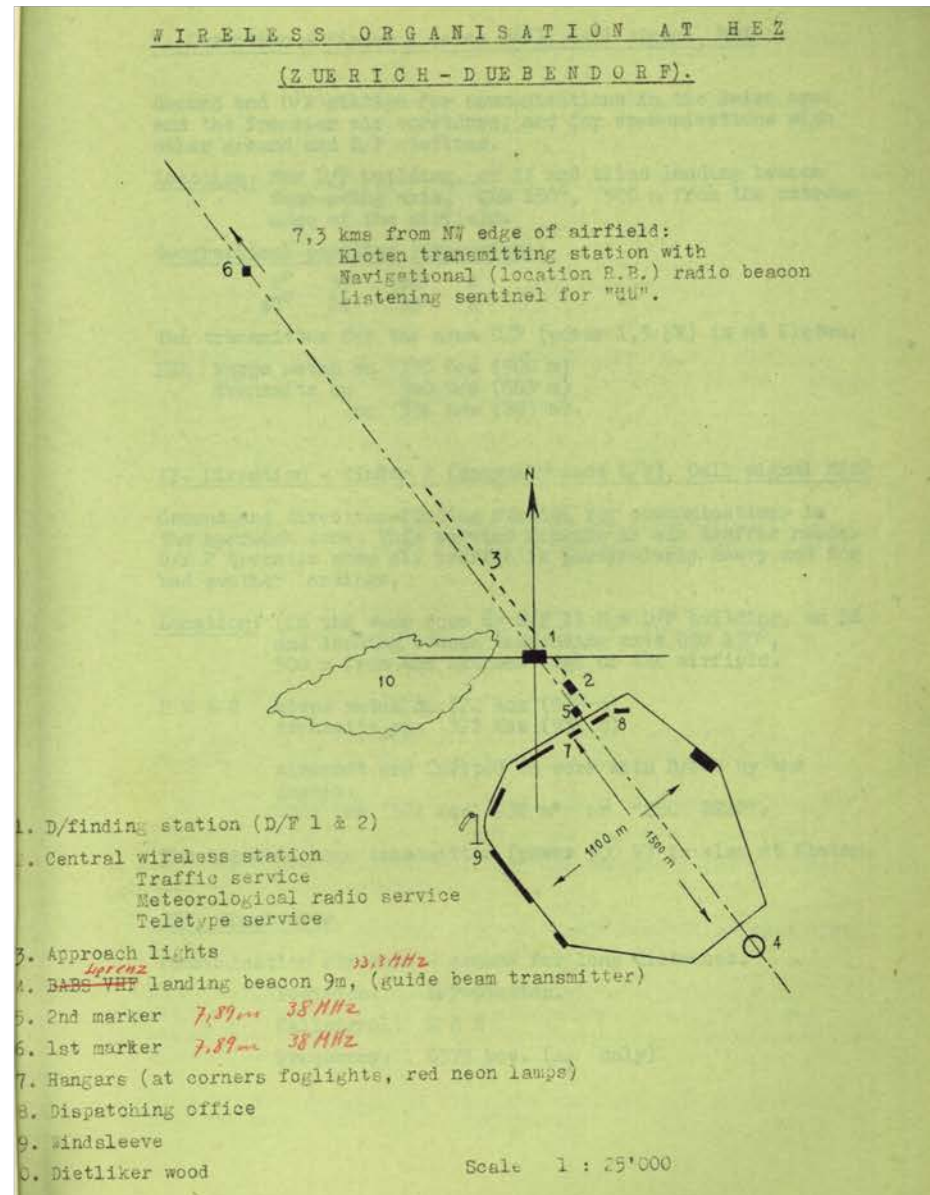


Installation der Lorenz Landebake auf dem Flugplatz Dübendorf im Jahre 1937

Der nebenstehende Planauszug stammt aus dem seinerzeitigen NOTAM des Eidg. Luftamtes für die Benützer der im Jahre 1937 auf dem Flugplatz Dübendorf installierten Schlechtwetter Lorenz - Landeanflugbake.

Der Situationsplan zeigt die Lage der mit der Flugsicherung in Zusammenhang stehenden funktechnischen Installationen:

- 1 Peilergebäude
- 2 Funkstation, Wetterdienst, Teletype Service
- 3 Landeschnreisen Beleuchtung
- 4 Lorenz Baken - Sender, f: 33.3 MHz
- 5 Haupteinflugzeichen - Sender, f: 38 MHz
- 6 Voreinflugzeichen - Sender, f: 38 MHz
- 7 Flugzeug Hangar
- 8 Swissair Abfertigungs - Gebäude
- 9 Windsack
- 10 Dietliker - Wald

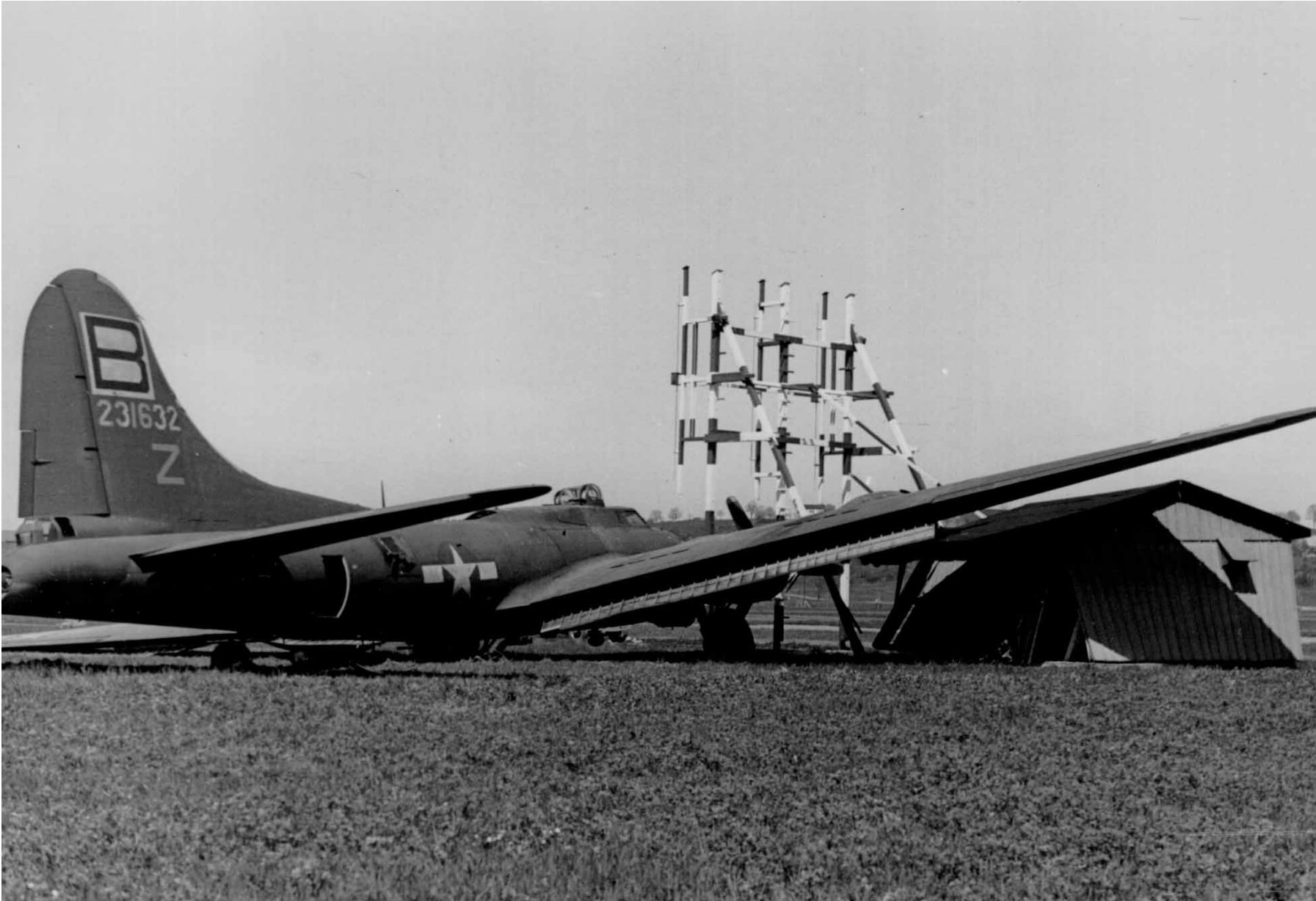


Flugplatz Dübendorf im Jahre 1947

Lage des Lorenz Baken Senders (gelb markiert) am Südende der Swissair Piste

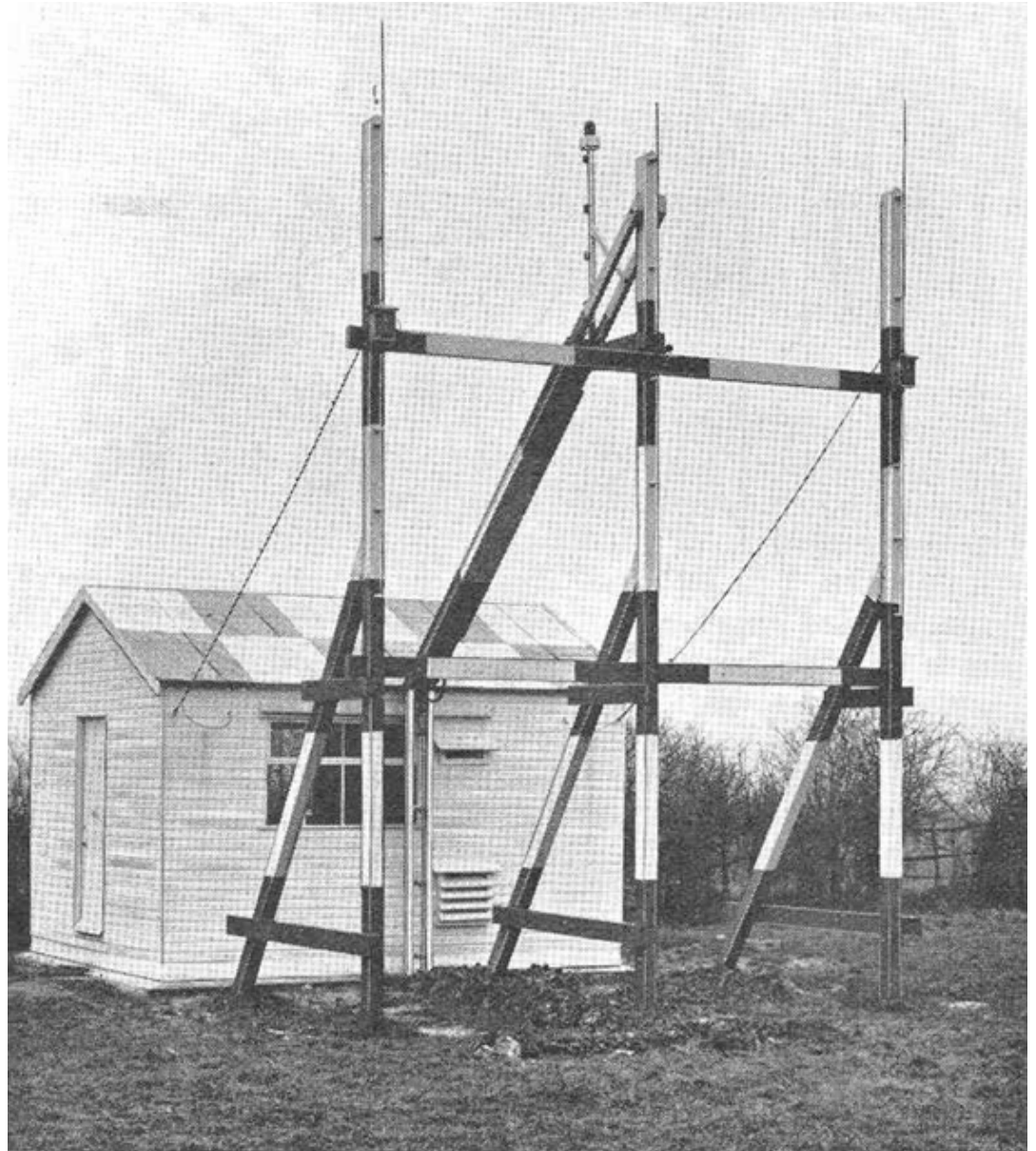


Lorenz Bake Dübendorf mit dem am 24.4.1944 notgelandetem US Flz B-17



Lorenz Bakensender mit Antennensystem

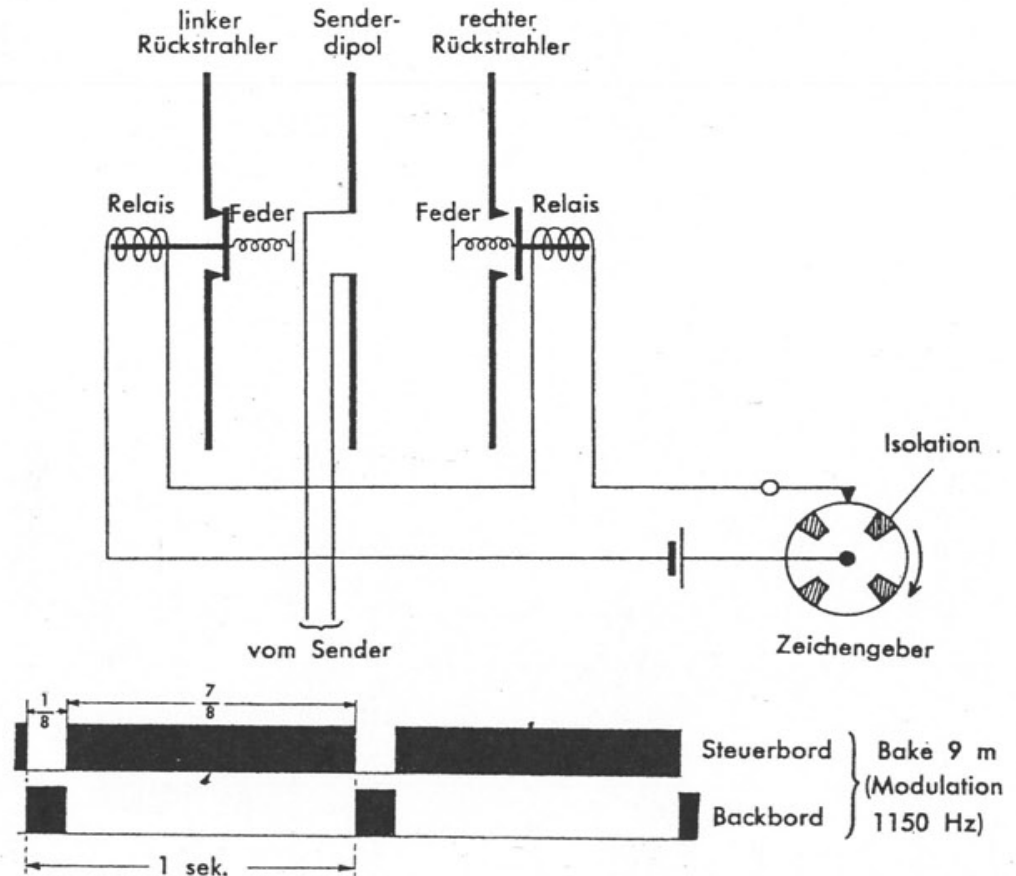
Das nebenstehende Bild zeigt eine Lorenz UKW Landebake analog wie sie 1937 auf dem Flugplatz Dübendorf am Südenende der Piste 32 (Swissair - Piste) errichtet wurde. Das mit der Bake ermöglichte Verfahren sollte dem anfliegenden Flugzeugführer bei Nacht oder ungenügender Bodensicht einen eindeutigen und hindernisfreien Weg auf die Landepiste weisen. Allerdings war beim Landeanflug noch eine gewisse Bodensicht erforderlich, da die Ausrüstung noch keine Führung in der Vertikalebene (Gleitweg) ermöglichte



Lorenz Bakensender

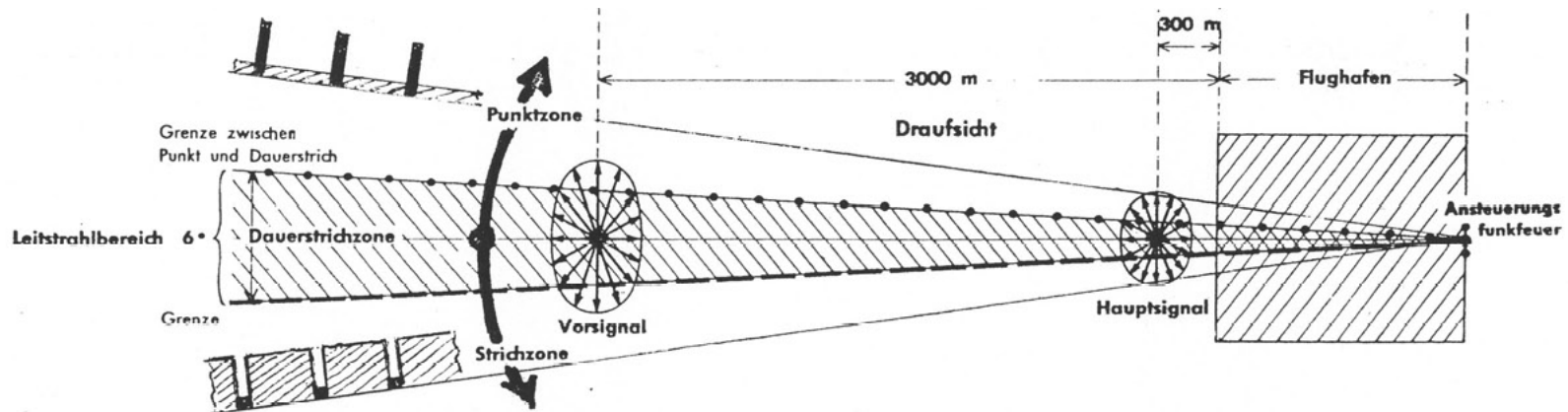
Erzeugung des Leitstrahls

- Der im Bakenhaus mit einem 1150 Hz Ton modulierten 500 Watt UKW - Sender arbeitete auf einer zwischen 30.0 und 34.6 MHz wählbaren Frequenz und speiste einen vertikalen Senderdipol. Links und rechts von diesem befanden sich in $\frac{1}{4}$ Wellenlänge Abstand je ein Reflektordipol, der in der Mitte durch einen Relaiskontakt unterbrochen werden konnte.
- Durch abwechselndes Öffnen und Schliessen der Relais im Rhythmus der Morsezeichen E = Punkt und T = Strich ergaben sich nacheinander zwei Antennendiagramme, die sich teilweise überlappten. In diesem Bereich war die Feldstärke bei Punkt- und Strichtastung gleich, so dass in einem dort befindlichen Empfänger ein 1150 Hz Dauerton gehört wurde, der den Leitstrahl kennzeichnete.
- Der Pilot hörte also bei dem Lorenz Landeverfahren im Anflug auf dem Leitstrahl einen Dauerton, bei Abweichung nach links eine immer deutlicher werdende Punktastung, bei Abweichung nach rechts eine Strichtastung. Gleichzeitig erfolgte die Anzeige der Kursabweichung noch optisch auf einem Instrument.



Antennendiagramm der Lorenz Lande Bake

- Der Winkelbereich in dem sich die zwei Antennendiagramme überlappen beträgt ca. 6° . In diesem Bereich ist die Feldstärke bei Punkt- und Strichtastung gleich, so dass in einem dort befindlichen Empfänger ein 1150 Hz Dauerton gehört wird, der den Leitstrahl kennzeichnet.
- Der Pilot hörte also bei dem Lorenz Landeverfahren im Anflug auf dem Leitstrahl einen Dauerton, bei Abweichung nach links eine immer deutlicher werdende Punktastung, bei Abweichung nach rechts eine Strichtastung. Gleichzeitig erfolgt die Anzeige der Kursabweichung noch optisch auf einem Instrument.



Lorenz Voreinflug- u. Haupteinflugzeichensender

- Der Voreinflug- und der Haupteinflugzeichensender waren identisch aufgebaut und strahlten auf einer Frequenz von 38.0 MHz mit einem fächerförmigen Antennendiagramm senkrecht nach oben.
- Der Voreinflugzeichensender war mit einem langsam getasteten 700 Hz Ton moduliert, der Haupteinflugzeichensender hingegen mit einem schnell getasteten 1700 Hz Ton.
- Der Voreinflugzeichensender des Flugplatz Dübendorf befand sich oberhalb Dietlikon, 3 km vor der Landepiste.
- Der Haupteinflugzeichensender befand sich 300 m vor der Landepiste.



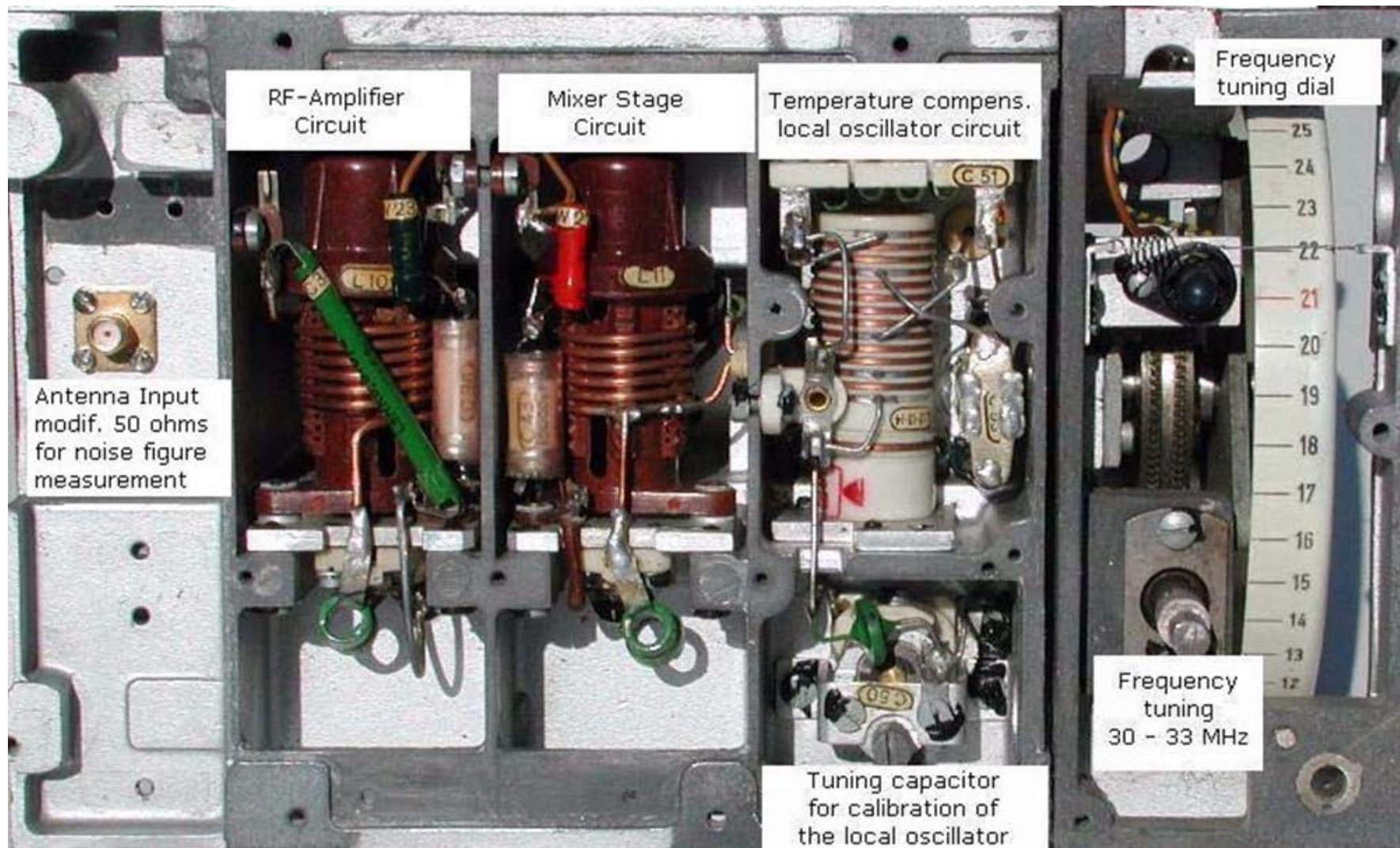
Flugzeug Anzeige Instrument für das Lorenz Anflug Verfahren

- Das AFN 2 Anzeigeeinstrument im Flugzeug war so konstruiert, dass die aus der Punkt - Tastung abgeleiteten positiven Impulse den unteren Zeiger sinngemäss nach links bzw die aus der Strichtastung abgeleiteten negativen Impulse den Zeiger nach rechts auslenkten.
- Der zusätzliche horizontal angeordnete Zeiger diente zur Anzeige der Feldstärke als grobe Angabe der Entfernung.
- Beim Ueberflug der in 3 km und 300 Meter vor der Landebahn aufgestellten Voreinflug- u. Haupteinflugzeichensender leuchtete zudem die im Zentrum des Anzeigeeinstrumentes angeordnete Glimmlampe auf.

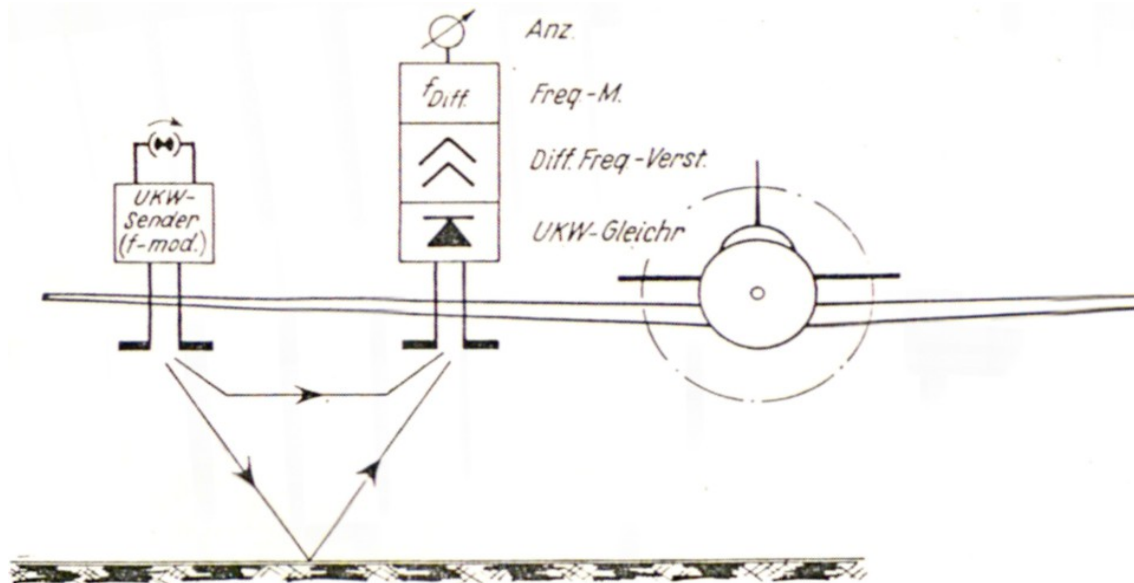


Flugzeug Bordempfänger für die Lorenz Anflug Bake

Das Foto zeigt den geöffneten handbedienten EBI 3 Lorenz Siebenröhren Ueberlagerungsempfänger mit dem auch die im Frequenzbereich von 30 - 33.3 MHz arbeitende Lorenz Anflug Bake empfangen werden konnten. Auffallend ist der kompakte und dennoch stabile Aufbau des Gerätes sowie die hochwertigen Baukomponenten.

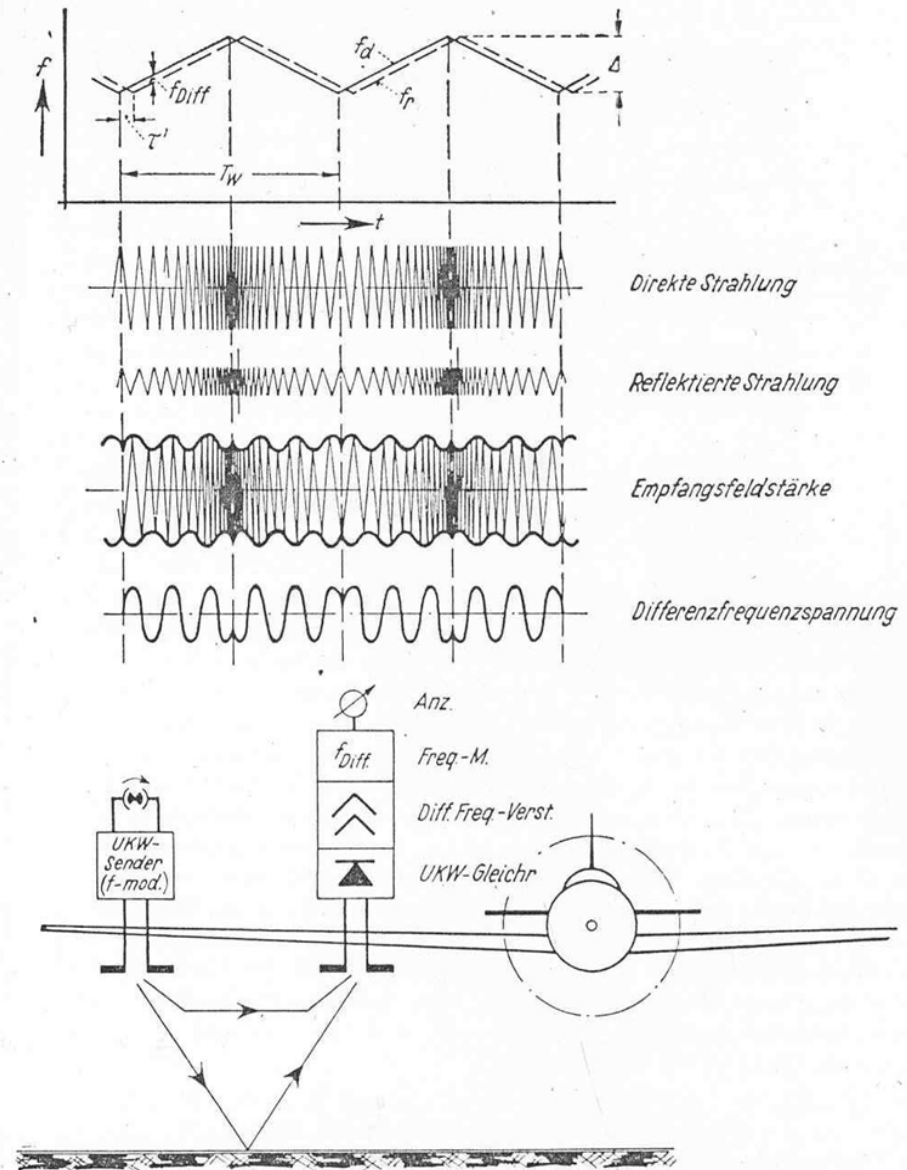


- Da der Lorenz Landeleitstrahl wie bereits erwähnt keine vertikale Führung der Flugzeuge ermöglichte, bestanden beim Eidgenössischen Luftamt in Anbetracht der hügligen Topographie im Glatttal und der häufig vorherrschenden Nebellagen Zweifel an der Tauglichkeit des Verfahrens.
- Die damals in den Flugzeugen vorhandenen barometrischen Höhenmesser hatten den schwerwiegenden Nachteil, dass sie die Höhenmessung auf einen Bezugsluftdruck bezogen, statt direkt den Bodenabstand zu messen.
- In Schweizer Fliegerkreisen war jedoch bereits bekannt, dass in den USA und in Deutschland in den 30er Jahren parallel zur Entwicklung des Landeleitstrahls Versuche mit elektrischer Höhenmessung gemacht wurden, die eine direkte Messung des Bodenabstandes ermöglichte und damit eine brauchbare Alternative zu der beim Lorenz Verfahren noch fehlenden vertikalen Führung des Landeanfluges darstellte. In den USA hatten die Bell Laboratories in Murray Hill NJ und in Deutschland das Zentrallaboratorium der Siemens & Halske AG in Berlin Mitte der 30er Jahre elektrische Höhenmesser entwickelt die auf einem impulsfreien Reflexionsverfahren basierten und eine direkte Messung des Bodenabstandes ermöglichten.
- Die Swissair und das Eidg. Luftamt versuchten noch vor dem Zweiten Weltkrieg elektr. Höhenmesser aus den USA oder aus Deutschland zu beschaffen dies gelang dann allerdings wegen der strikten Geheimhaltung nicht mehr.



Funktionsprinzip des FuG-101 FM - Höhenmessers

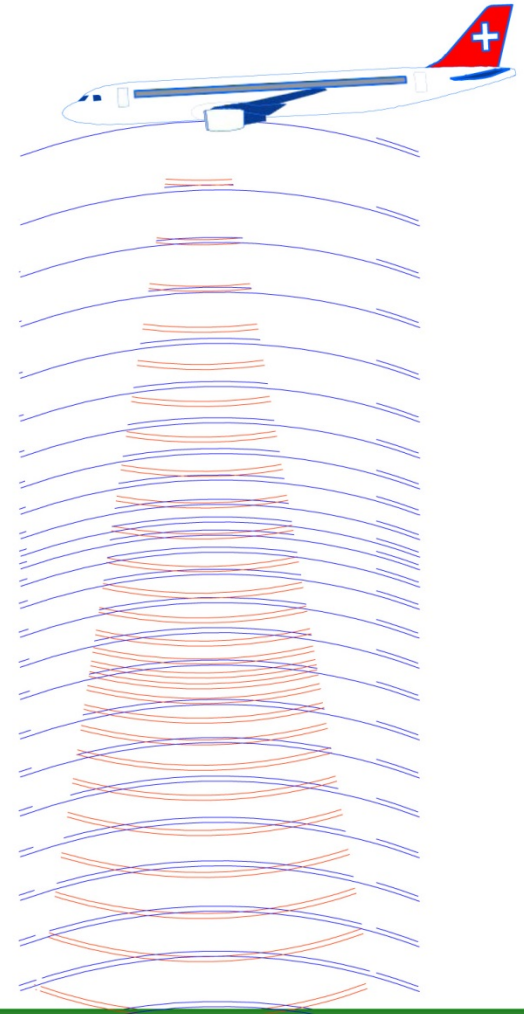
- Der Höhenmesser besteht aus Sender und Empfänger. Der Sender sendet dauernd mit möglichst konstanter Amplitude Schwingungen aus. Seine Frequenz ändert dreieckförmig, mit einem motorbetriebenen Drehkondensator.
- Der Empfänger nimmt die direkte und die reflektierte Strahlung auf, wobei die direkte den Ueberlagerer ersetzt.
- Die Empfangsspannung wird gleichgerichtet. Dadurch entsteht eine im NF-Bereich liegende Wechselfpannung der Differenzfrequenz. Diese wird verstärkt mit bestimmten gesteuerten Frequenzgängen für das Verstärkungsmass.
- Die Frequenz der Differenzspannung wird mit einem direkt anzeigenden Frequenzmesser an einem in Höhenmeter geeichten Anzeigeinstrument angezeigt.



Radio Altimeter Prinzip

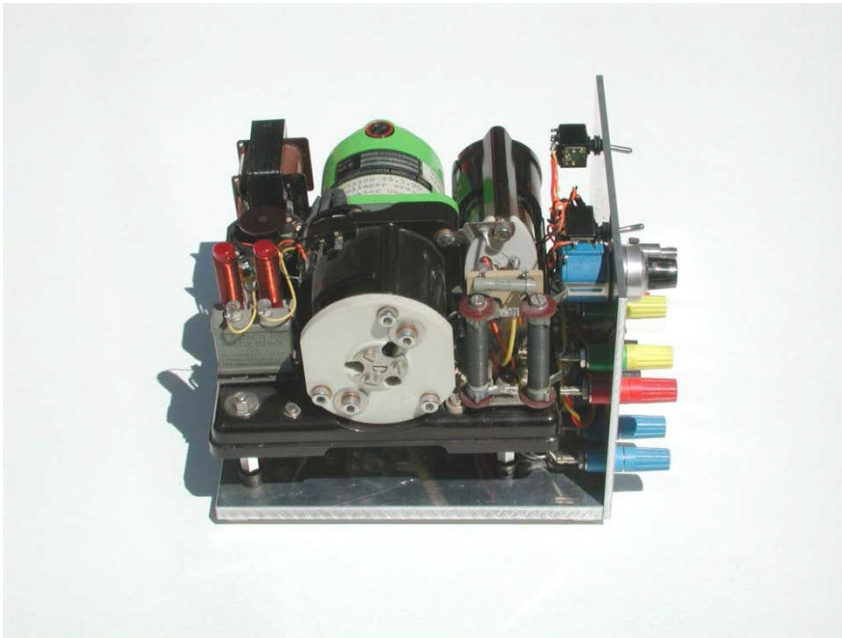
Beim impulsfreien deutschen FuG - 101a FM System

zB im 150 m Bereich $f_{\text{diff}} \ 67.50 \text{ Hz} = 1 \text{ m}$

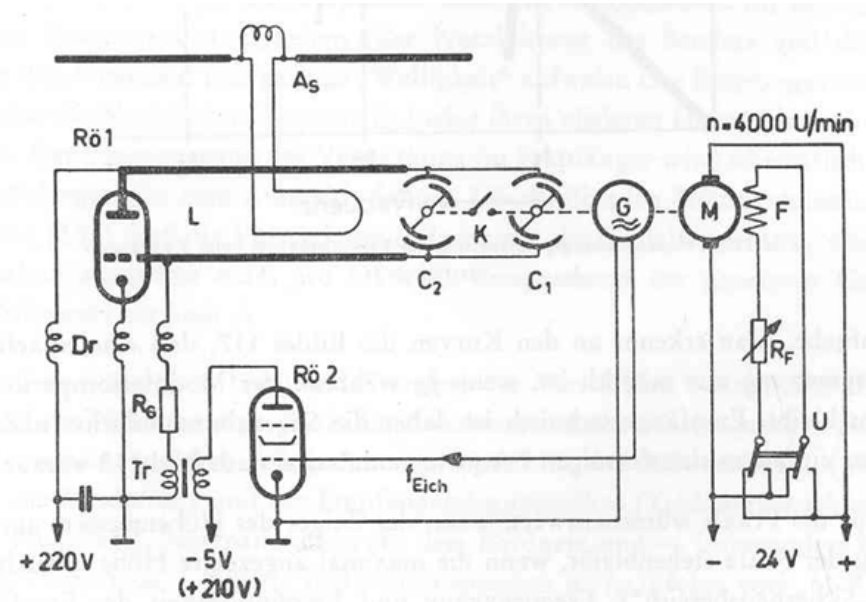


Sender des FuG 101 Höhenmessers

Foto des FuG 101 Sendermoduls

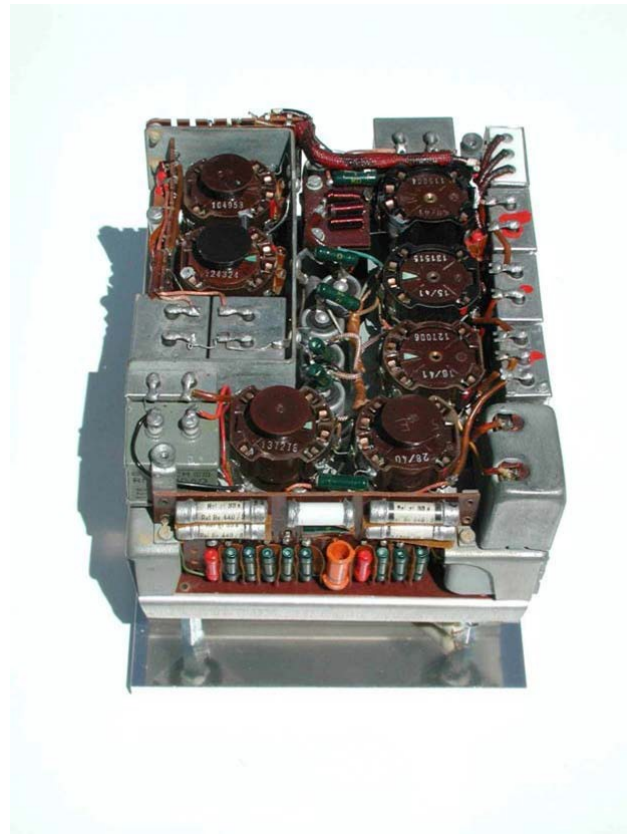


Funktionsschema des FuG 101 Senders

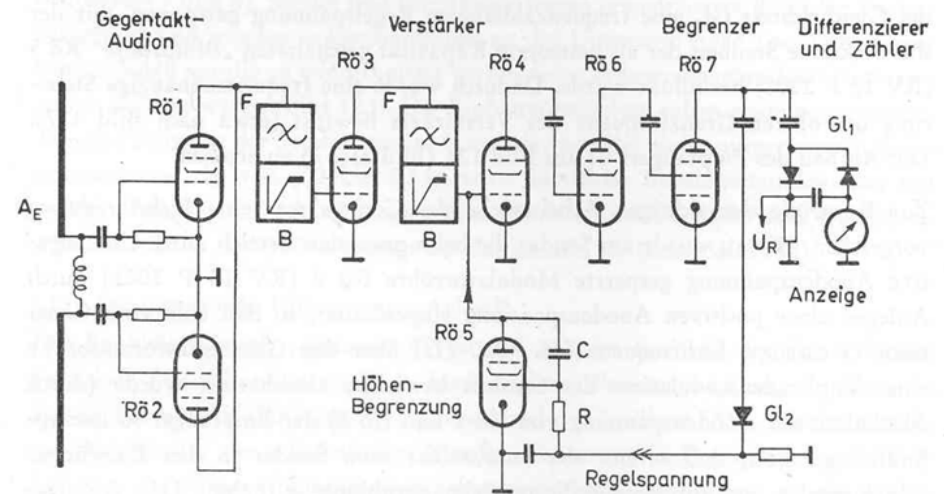


Empfänger des FuG 101 Höhenmessers

Foto des FuG 101 Empfängermoduls



Funktionsschema des Empfängers



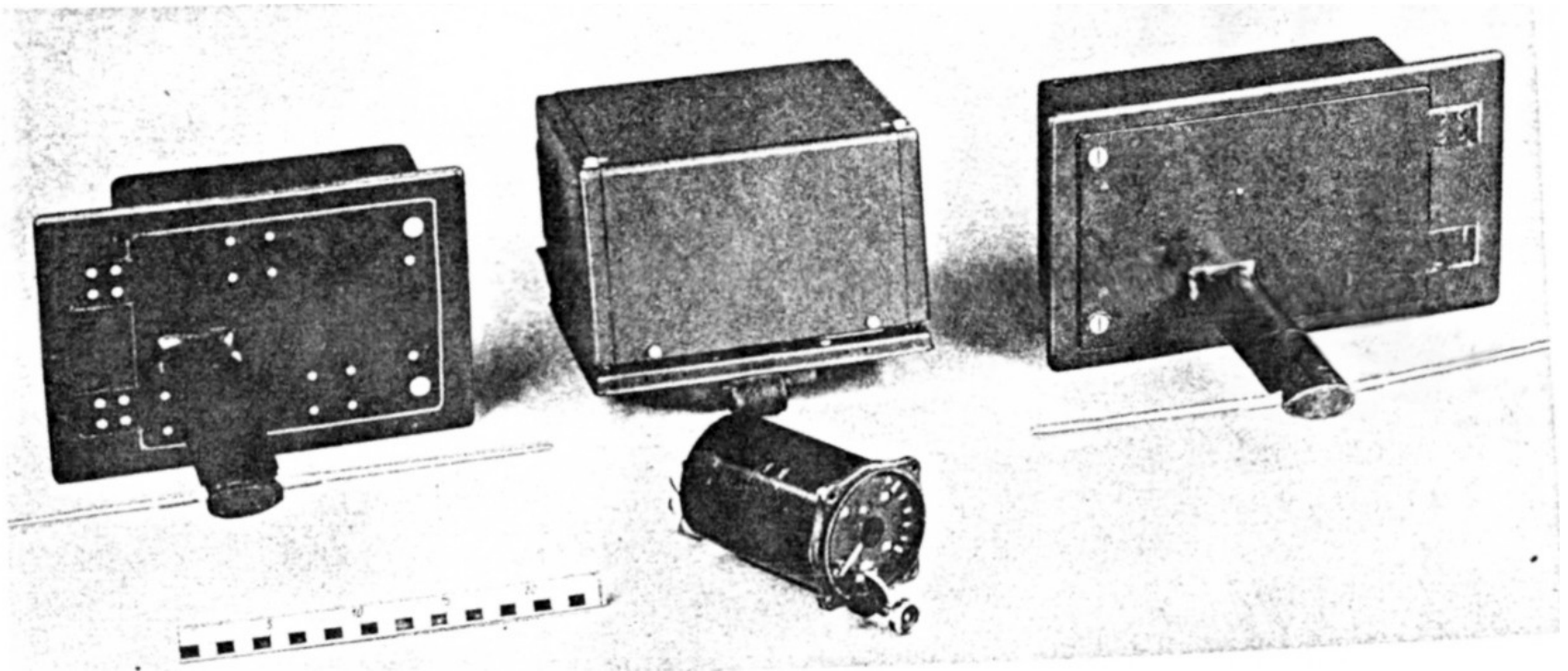
FuG 101 Höhenanzeige Instrument

Das nebenstehende Bild zeigt das **AFN 101** Bordinstrument des elektr. Siemens Höhenmessers. Der Bereichsumschalter **U** verändert bei der Betätigung gleichzeitig die Skalenbeschriftung von 0–150 auf 0-750 Meter. Mit dem Eichregler **RF** kann durch Ausziehen desselben während dem Flug die Genauigkeit von Zeit zu Zeit überprüft und im Bedarfsfalle durch Drehen des Knopfes nachgeeicht werden.



Elektr. Siemens FM Höhenmesser FuG-101

Der Höhenmesser FUG-101 besteht aus dem Sender links, dem Umformer in der Mitte, dem Empfänger rechts und dem Anzeigergerät vorn. Sender und Empfänger sind direkt in den Tragflächen des Flugzeuges angeordnet.



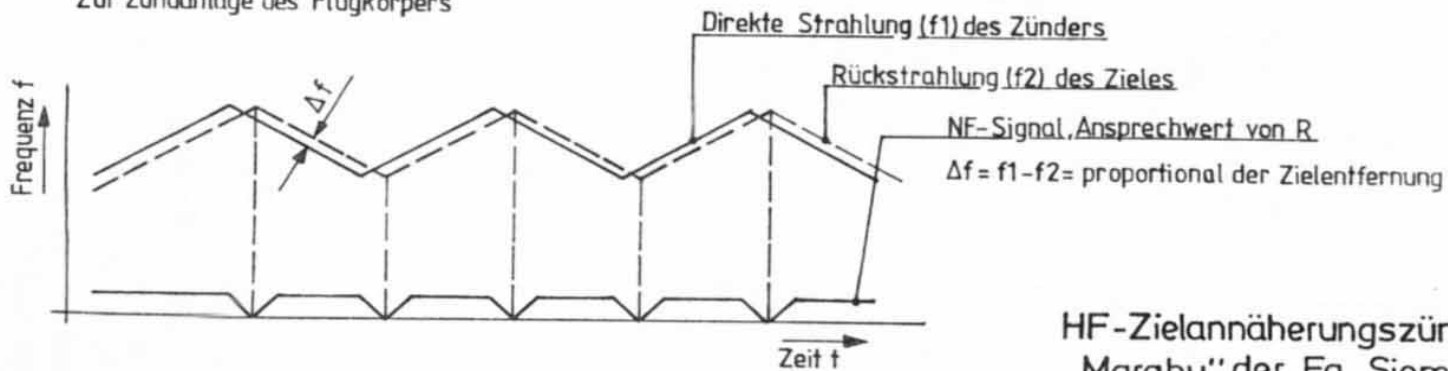
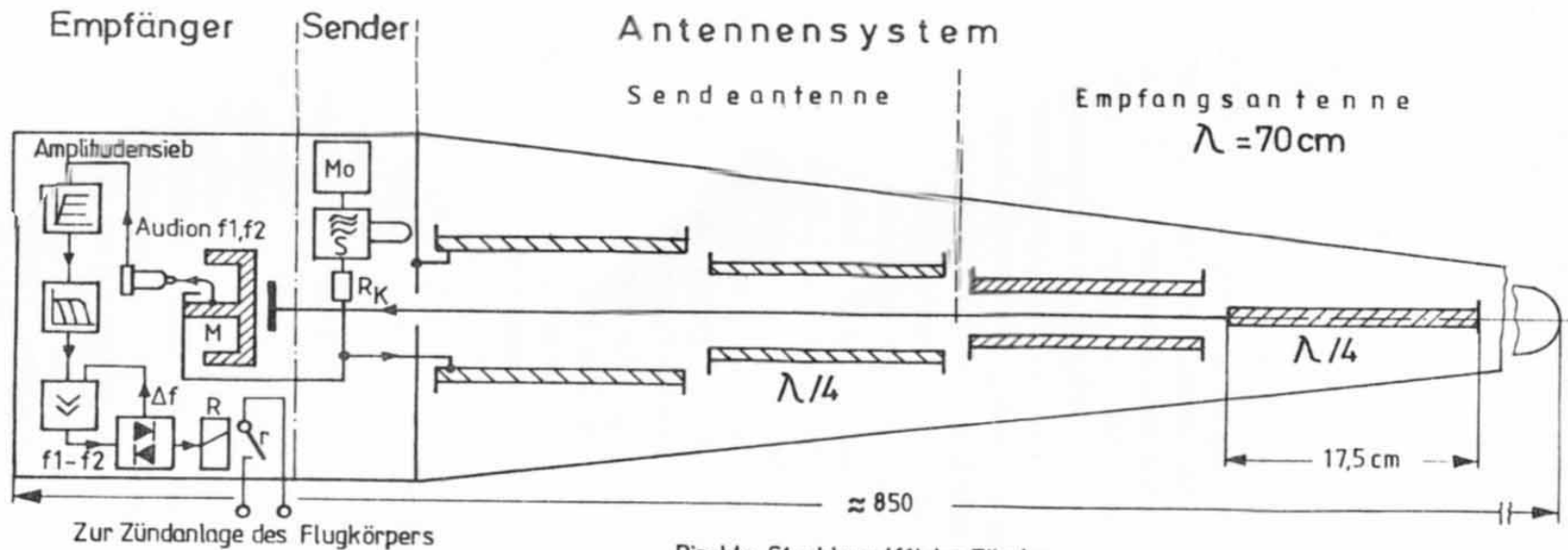
Entwicklung des Annäherungszünders Marabu aus dem FuG 101 Höhenmesser im Zweiten Weltkrieg

Um die Wirkung der in Deutschland im Zweiten Weltkrieg in Entwicklung befindlichen Fliegerabwehr - Raketen (Wasserfall, Rheintochter, Enzian) zu verbessern wurden Annäherungszünder benötigt.

Im Jahre 1944 entwickelte das Zentrallabor der Siemens & Halske AG unter der Leitung von Dr. Günther aus dem FuG 101 Höhenmesser den Annäherungszünder «Marabu». Analog dem FuG 101 arbeitete der «Marabu» im Dauerstrichverfahren mit Frequenzmodulation jedoch mit einer Modulationsfrequenz von 200 Hz und einem Modulationshub von ± 20 MHz dabei ergab sich bei der geforderten Reichweite vom max. 50 m eine Differenzfrequenz von 5'300 Hz.

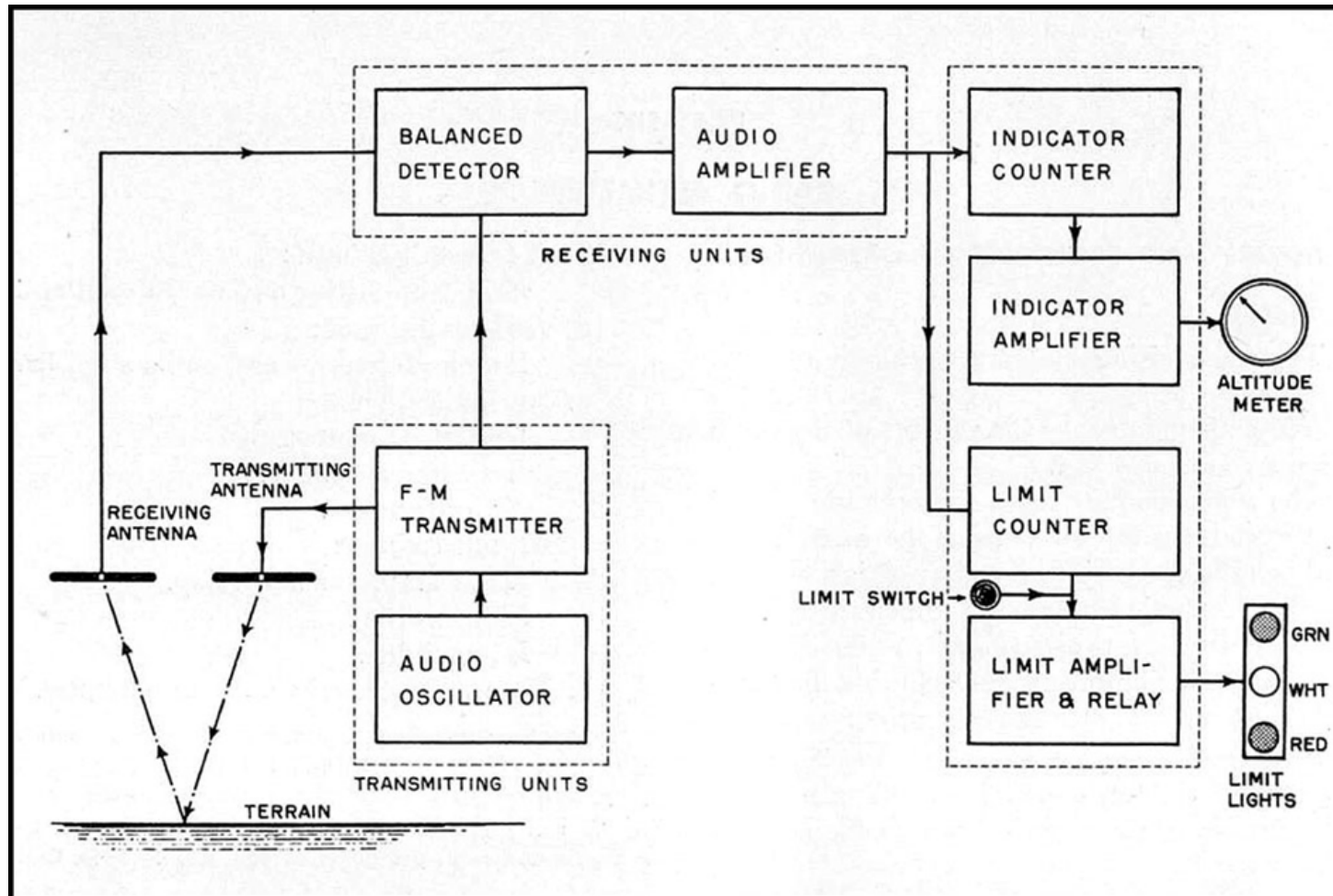
Der vereinfachte Empfänger der nur zwei Röhren aufwies besass einen niederfrequenten Durchlassbereich von 300 bis 5'300 Hz. Für Senden und Empfang wurde eine gemeinsame Antenne verwendet diese bestand aus vier koaxialen $\lambda/4$ Antennenelementen. Dem Empfangssignal wurde über einen Kopplungswiderstand R_k vom Sender ein kleiner Teil von dessen Leistung als Ueberlagerungsfrequenz zugeführt.

Aufbau des Annäherungszünders Marabu



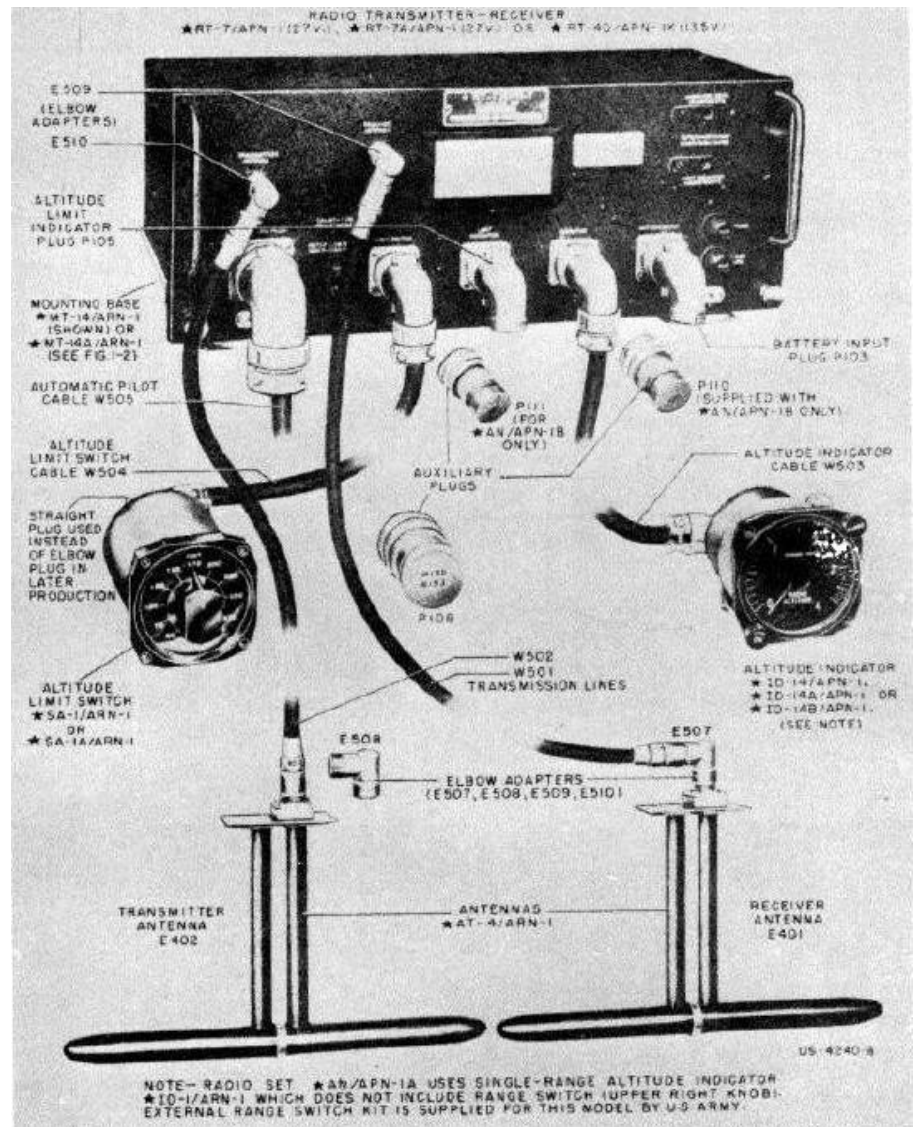
HF-Zielannäherungszünder (ZAZ)
„Marabu“ der Fa. Siemens und
Halske, Berlin

- In den USA befassten sich die General Electric Company sowie die Bell Laboratories seit 1930 mit der Entwicklung von Funkhöhenmessern oder Radio Altimeters wie diese in den USA bezeichnet werden.
- In der zweiten Hälfte der 30 Jahre wurde in den RCA Laboratories in Camden NJ der von den Bell Laboratories entwickelte und ebenfalls wie der deutsche FuG-101 auf Frequenzmodulation basierende AN/APN-1 Radio Altimeter serienreif gemacht.



AN/APN-1 Radio Altimeter System

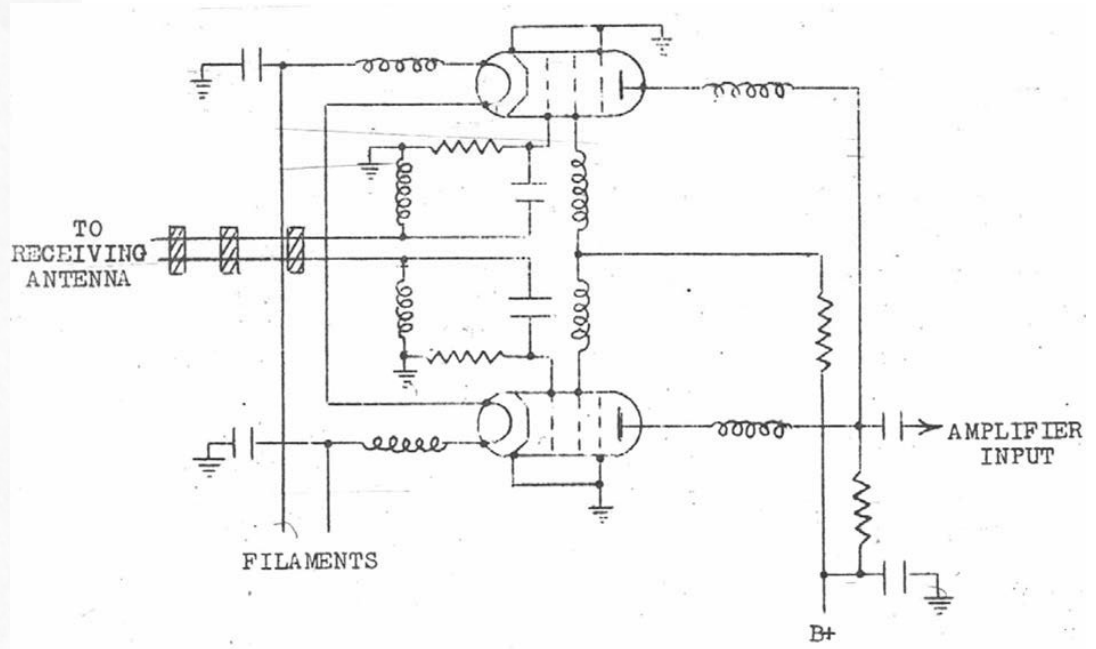
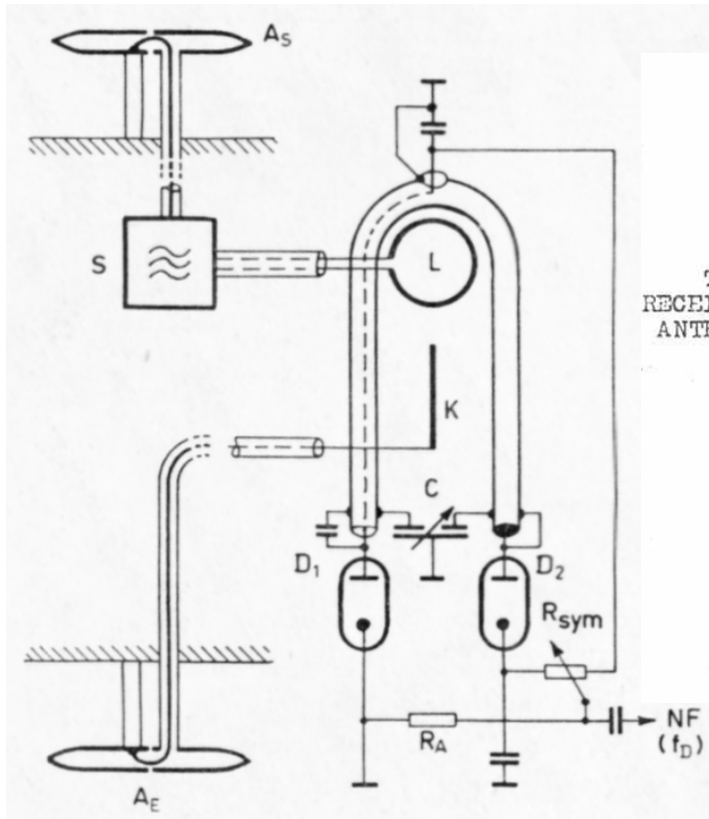
- Im AN/APN-1 Hauptgerät ist sowohl der Sende- und Empfangsteil sowie der im wesentlichen aus einem Einankerumformer bestehenden Stromversorgungs- teil enthalten.
- Unterhalb des Hauptgerätes ist auf der linken Seite das Instrument für die Eingabe der optisch signalisierten Höhenbegrenzung ersichtlich.
- Unterhalb des Hauptgerätes ist auf der rechten Seite das Instrument für die Anzeige der Flughöhe über Grund ersichtlich.
- Zuerst ist auf der linken Seite die Sende- und auf der rechten Seite die identische Empfangsantenne inkl. Balun Anpassung ersichtlich, die beiden Antennen sind an den Tragflächen des Flugzeuges angeordnet und werden mit dem Hauptgerät über 50 Ohm Koaxialkabel verbunden.



Gegenüberstellung der AN/APN-1 und FuG-101 Empfänger - Eingangsstufen
 Im Gegensatz zur einfachen Strahlungseinkopplung des Sendersignales über die Dipolantennen in die Gegentakt Audion Mischstufe des FuG-101 Empfängers wird beim AN/APN-1 das Sendersignal dosiert über ein Koaxialkabel in die als «Balance Detector» ausgelegte Mischstufe eingekoppelt. Der Balance Detector bewirkt, dass bei richtigem Abgleich der unvermeidliche Amplitudenmodulationsanteil des Sende- wie auch des Empfangssignales eliminiert wird.

AN/APN-1 Balance Detector Eingang

FuG-101 Gegentaktaudion Eingang



Vergleich der techn. Daten von FuG-101 und AN/APN-1

Der Vergleich der technischen Daten zeigt, dass der deutsche und der amerikanische Höhenmesser die etwa in derselben Epoche jedoch völlig unabhängig voneinander entwickelt wurden bezüglich der Systemparameter grosse Aehnlichkeiten aufweisen. Markant unterscheiden sie sich jedoch bezüglich Konstruktion, Aufbau, Leistungsbedarf und Gewicht.

Technische Daten des Funkhöhenmessers „FuG 110a“ der Siemens & Halske AG.

Größe	Anzeigebereich	
	150 m (I)	750 m (II)
HF-Leistung N_S	~ 1,5 W	~ 1,5 W
Wellenlänge λ	80 cm	80 cm
Frequenz f	375 MHz	375 MHz
Modulationsfrequenz f_m	133 Hz	133 Hz
Modulationsperiode T_m	7,5 ms	7,5 ms
Modulationshub Δf	± 19 MHz	$\pm 3,8$ MHz
max. Laufzeit Δt	1 μs	5 μs
Signalfrequ. pro Höhe f_D/b	67,5 Hz/m	13,5 Hz/m
max. Signalfrequenz $f_{D \max}$	10 000 Hz	10 000 Hz
Anzeigefehler	< 10 ‰	über 100 m < 10 ‰
systematischer Fehler („Stufeneffekt“) Δb	~ ± 2 m	~ ± 10 m
Sicherheitsbereich („Kipphöhe“)	> 200 m	~ 1000 m
Leistungsbedarf:	Sender 24 V · 0,5 A = 12 W Empfänger 24 V · 0,33 A = 8 W Umformer 24 V · 4,2 A = 100 W <hr/> gesamt 22—30 V/max 6 A = 120 W	
Gesamtgewicht	~ 16 kg	

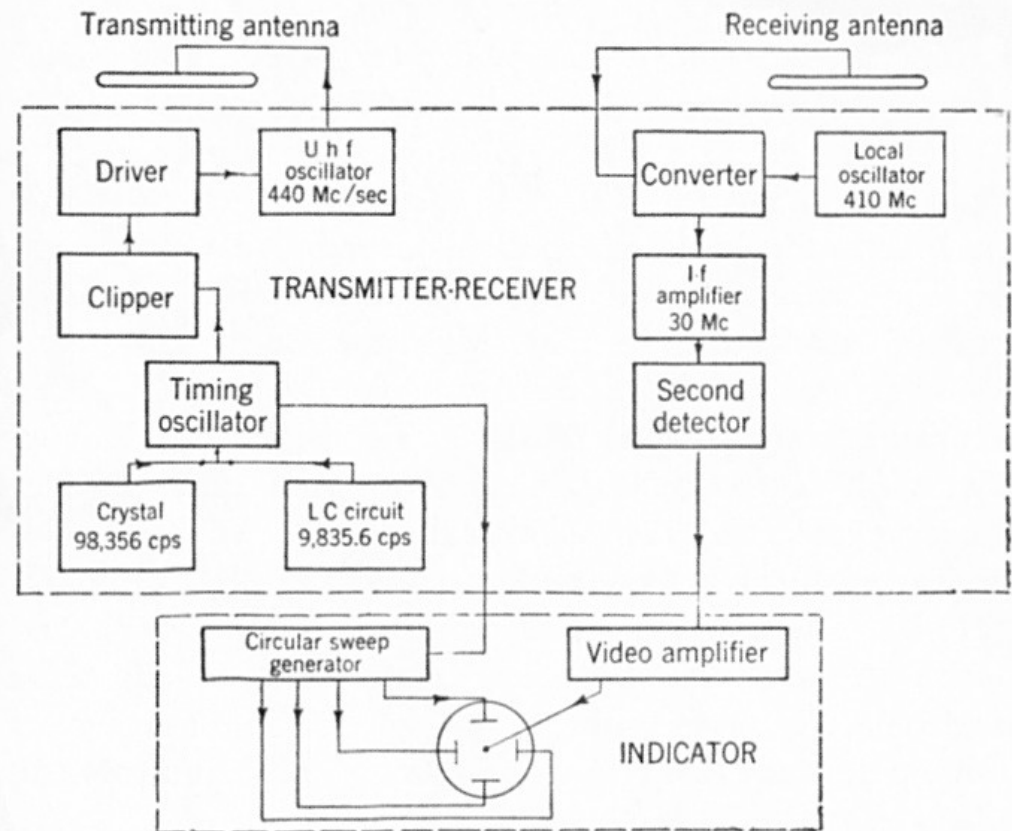
Technische Daten des Funkhöhenmessers „APN-1“ der R. C. A. [73]

Größe	Anzeigebereich	
	I : 120 m	II : 1200 m
HF-Leistung N_S	0,1 W	0,1 W
Wellenlänge λ	68 cm	68 cm
Frequenz f	440 MHz	440 MHz
Modulationsfrequenz f_m	120 Hz	120 Hz
Modulationsperiode T_m	8,35 ms	8,35 ms
Modulationshub Δf	± 20 MHz	± 2 MHz
max. Laufzeit Δt	0,8 μs	8 μs
Signalfrequenz pro Höhe f_D/b	62,5 Hz/m	6,25 Hz/m
max. Signalfrequenz $f_{D \max}$	7600 Hz	7600 Hz
Anzeigefehler	< 5 ‰	< 5 ‰
systematischer Fehler („Stufeneffekt“) Δb	$\pm 1,92$ m	$\pm 19,2$ m
Empfindlichkeit d. Höhenreglers	± 3 m	± 30 m
Leistungsbedarf	27 V · 2,5 A = 68 W	
Gesamtgewicht	~ 11,5 kg	

SCR-718 oder FuG-102 Grosshöhen Radio Altimeter

Da sich die impulsfreien frequenzmodulierten Höhenmesser aus verfahrenstechnischen Gründen nur als Niedrighöhenmesser bis ca. 1500 m eignen, wurden für grössere Flughöhen impulsmodulierte Grosshöhenmesser entwickelt die nach dem konventionellen Impulsradar Prinzip arbeiten. Typische Vertreter sind die USA Geräte SCR-718, AN/APS-13 und die deutschen FuG-102/FuG-103.

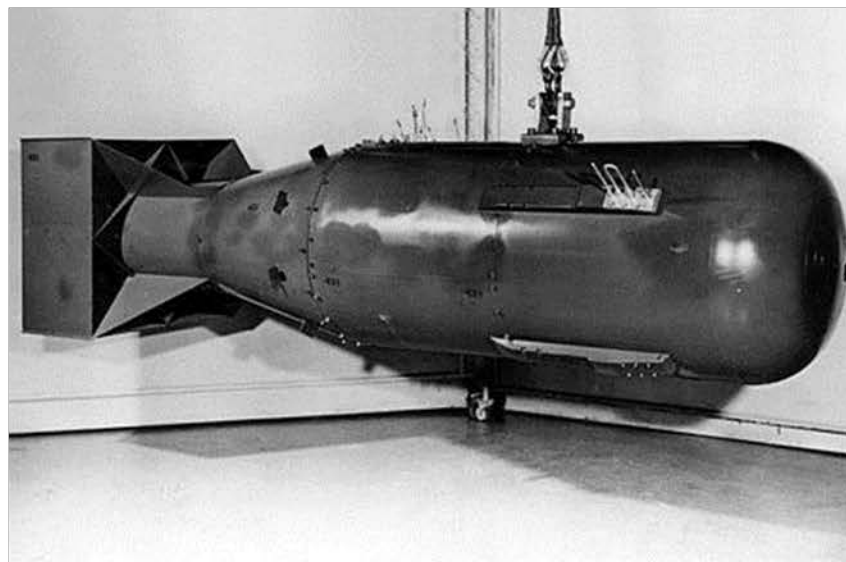
- Der SCR-718 Höhenmesser zB arbeitet nach dem Impulsradar Prinzip und verfügt wahlweise über einen 5000 ft. (1524m) oder einen 50'000 ft. (15'240m) Höhenmessbereich. Das Gerät strahlt über die Sendeantenne 440 MHz Impulse von ca. 0.3 us Dauer mit einer PRF von 98.356 kHz oder 9.8356 kHz ab.
- Das vom Boden reflektierte Echo gelangt über die Empfangsantenne in den Überlagerungsempfänger und wird in eine ZF von 30 MHz konvertiert, diese wird verstärkt und demoduliert. Die Laufzeit zwischen Sendeimpuls und dem bei der Demodulation des Echosignales anfallenden Videoimpuls ist das Mass für die Flughöhe über Grund und diese wird in Polarkoordinate auf einer Kathodenstrahlröhre dargestellt.



AN/APS-13 Radar Altimeter als Annäherungszünder in den ersten Atombomben
Gerade als die für Radar Altimeter und Rückenwarngeräte in Bombern vorgesehenen AN/APS-13 bei RCA in Produktion gingen, waren die Norden Laboratories auf der Suche nach einem zuverlässigen Annäherungszünder für die ersten Atombomben. Auf Veranlassung des Office of Scientific Research and Development (OSRD) wurden in Los Alamos mit den ersten AN/APS-13 aus einer Vorserie Versuche in AT-11 Sturzkampfflugzeugen durchgeführt welche zufriedenstellend verliefen. In der Folge wurden modifizierte AN/APS-13 als Radar- Höhenmesser für die Zündung der Atombomben bei ihren ersten Einsätzen in Japan im August 1945 verwendet.

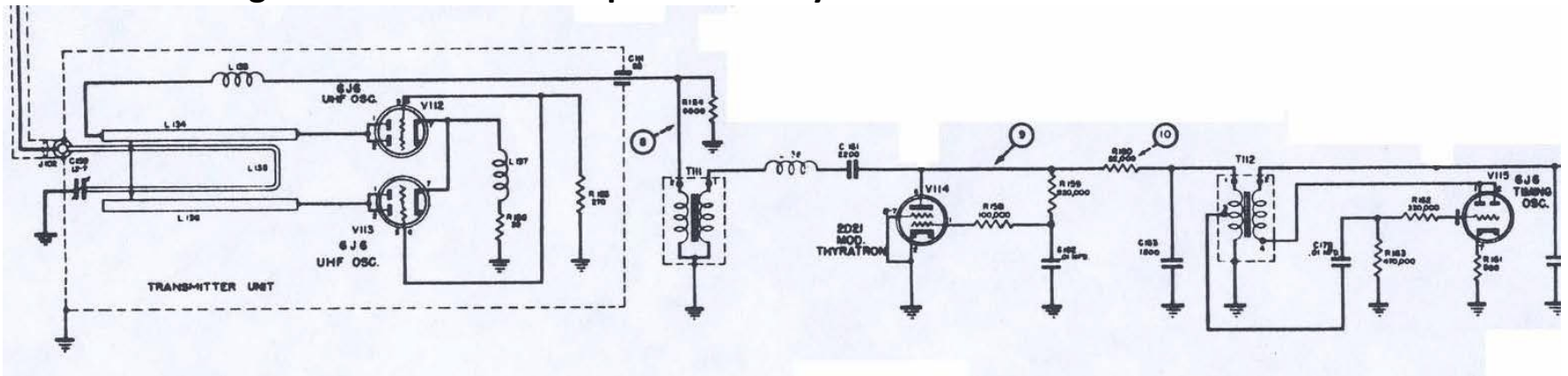
Das modern konzipierte AN/APS-13 arbeitete auf 420 MHz und verfügte bereits über einen Superheterodyn Empfänger mit 30 MHz ZF bei 4 MHz Bandbreite. Nach dem Krieg waren diese Surplus Gerät bei den Funkamateuren in den USA sehr beliebt.

«Little Boy» Atombombe wie sie in Hiroshima zum Einsatz kam, die Zündung der Bombe wurde von einem AN/APS-13 Radar in einer Höhe von 580 m über Grund ausgelöst. Die auf der Oberfläche der Bombe angeordnete 420 MHz Yagi Antenne ist gut erkennbar.



SCR - 718 und AN/APS - 13 Impulsradar – Sender für 420 MHz
 Der Impulssender des von den Bell Laboratories entwickelten und von RCA gebauten SCR-718 Grosshöhenmessers und dem daraus abgeleiteten AN/APS-13 Rückenwarn - Radar zeichnete sich durch seine geniale Einfachheit aus. Durch die Anwendung eines neuartigen Impulsmodulator - Prinzips mit einem ursprünglich für gänzlich andere Anwendungen entwickeltem 2D21 Miniatur – Thyatron, benötigte der Impulssender lediglich vier der damals Anfangs der 1940er Jahren neuen 7 pin Miniaturröhren und zwar drei Doppeltrioden des Typs 6J6 und ein 2D21 Thyatron.

Sender Gegentakt Oszillator Impulstrafo Thyatron - Modulator Zeitbasis - Oszillator



Einstufung des FuG 101a als ernste Bedrohung für die Alliierten Streitkräfte

- Der Funkhöhenmesser FuG 101a kam praktisch in allen grösseren deutschen Kriegsflugzeugen zum Einsatz. Verwendet wurde er zB wegen der noch fehlenden vertikalen Führung im Lorenz Landeanflugverfahren zur Ermittlung der genauen Flughöhe über Grund.
- Der Funkhöhenmesser wurde auch beim taktischen Einsatz von Lufttorpedos beim Anwurf aus den Flugzeugen JU88 zur genauen Bestimmung der sehr kritischen Abwurfhöhe über der Wasseroberfläche eingesetzt.
- Im weiteren war der aus dem FuG 101a abgeleitete technisch identische Annäherungszünder MARABU für den Einsatz in unbemannten Flugkörpern und Abwurfaffen entwickelt worden.
- **Als am 26.10.1942 ein FuG 101a in einem in England abgestürzten deutschen DO-217 Flugzeug aufgefunden wurde, untersuchte das Royal Aircraft Establishment in Farnborough das Gerät eingehend, der Untersuchungsbericht darüber «Report E.A. 41/28» wurde an alle alliierten wissenschaftlichen Nachrichtendienste weitergeleitet und gelangte dadurch auch an das Radio Research Laboratory (RRL) der Harvard University in Boston welches für die elektronische Kriegsführung der Alliierten Streitkräfte federführend war.**
- Das RRL führte eine erweiterte Analyse durch und im dabei erstellten Technical Memorandum 411-TM-99 wurden die deutschen Radio Altimeter FuG 101a und FuG 102 als ernste Bedrohung in ihren Einsätzen bei Lufttorpedo Angriffen und unbemannten Lenk- und Abwurfaffen eingestuft.
- Auf Grund dieser Bedrohungseinstufung entschied das National Defense Research Committee (NDRC), dass eine Studie über aktive elektronische Störmassnahmen gegen die deutschen Radio Altimeter auszuarbeiten sei und beauftragte das Airborne Instrument Laboratory in Mineola, Long Island mit der Durchführung.

Kooperation USA und England in der elektronischen Kriegsführung im Zweiten Weltkrieg

Zuständige Organisationen und Dienststellen in den USA

Präsident Franklin Roosevelt's wissenschaftlicher Berater: Vannevar Bush

- Office of Scientific Research and Development (OSRD)
- National Defense Research Committee (NDRC)
- Massachusetts Institute of Technology, Radiation Laboratory Division 14 Microwave Radar
- Harvard University, Radio Research Laboratory (RRL) Division 15 Radio Countermeasures
- U.S. Signal Corps Laboratory, (SCL) Fort Monmouth N.J.
- U.S. Naval Research Laboratory (NRL), Washington D.C.
- U.S. Aircraft Radio Laboratory, Wright-Patterson Ohio
- U.S. Airborne Instruments Laboratory, Mineola N.J.

Zuständige Organisationen und Dienststellen in England

Premierminister Winston Churchill's wissenschaftliche Berater: Lindeman, Tizard, Watson-Watt, R.V. Jones

- Henry Tizard's Committee for the Scientific Survey of Air Defence (**Tizard Mission Sept. 1940**)
- Telecommunications Research Establishment (TRE), Malvern
- No. 100 Group RAF Electronic Warfare and Countermeasures
- Royal Aircraft Establishment, Farnborough
- American British Laboratory, OSRD London
- Office of Scientific Research and Development (OSRD), London Office

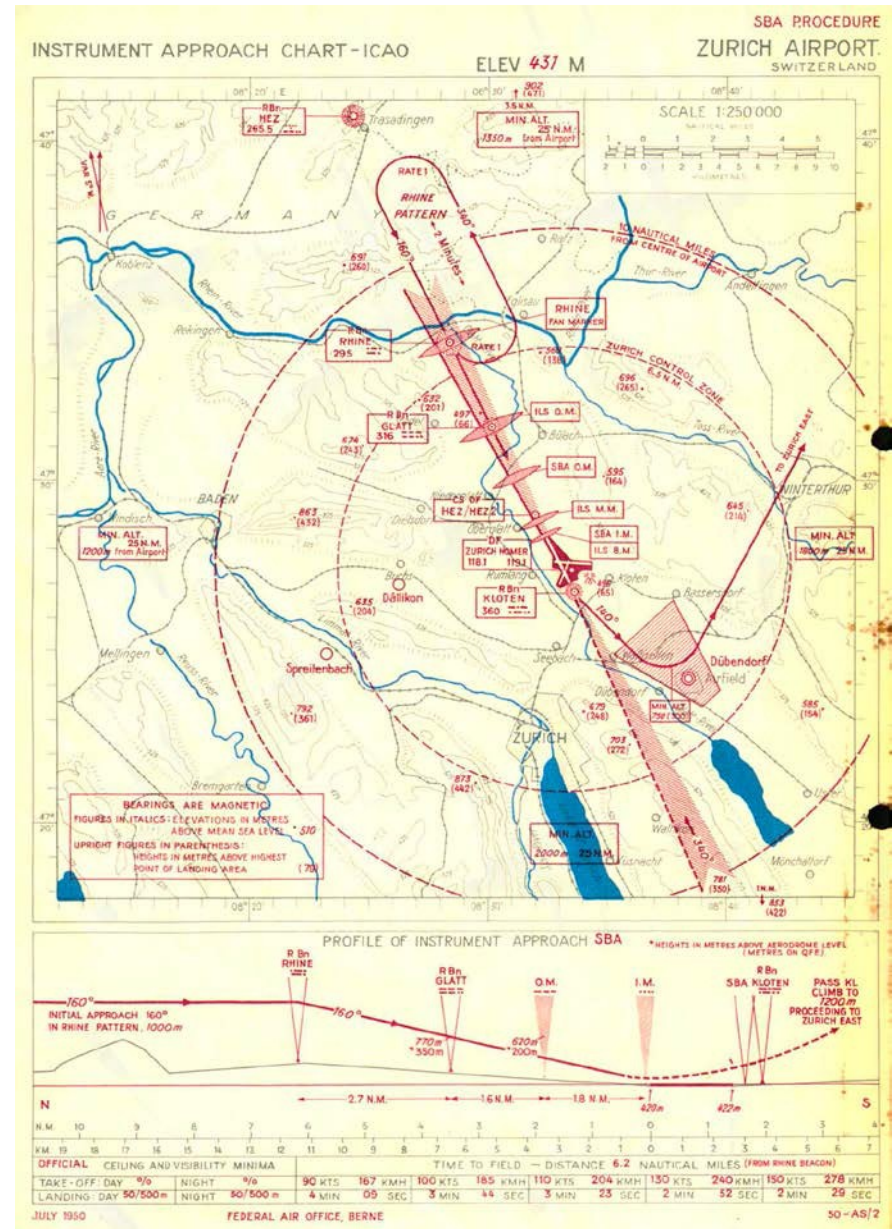
Untersuchung der Störfestigkeit an Radio Altimeters

Report 1305-12 des Airborne Instrument Laboratory, Mineola N.J.

- Die Untersuchung erstreckte sich auf die in amerikanischen Flugzeugen verwendeten Radio Altimeter AN/APN-1 und AN/ARN-1 und die in deutschen Flugzeugen eingesetzten FuG-101a sowie deren Derivat dem Annäherungszünder MARABU für unbemannte Flugkörper und Abwurfaffen.
- Es wurde ein intelligentes Störverfahren untersucht bei dem als Folge die Höhenanzeige fälschlicherweise eine zu grosse Flughöhe vortäuscht sog. «upward jamming» mit der Absicht, dass sich das Flugzeug den Bodenhindernissen zu weit nähert und in der Folge abstürzt.
- Im weiteren wurde auch ein intelligentes Störverfahren untersucht bei dem als Folge die Höhenanzeige fälschlicherweise eine zu kleine Flughöhe vortäuscht sog. «downward jamming» mit der Absicht, dass in Flugzeugen von denen Torpedos abgeworfen werden der Abwurf aus zu grosser Höhe erfolgt und die Torpedos dabei beschädigt werden, oder bei einer Verwendung in unbemannten Flugkörpern und Abwurfaffen die Zündung der Explosivladung in zu grosser Höhe erfolgt.
- Die Versuchsergebnisse zeigten, dass beim sog. «upward jamming» der Radio Altimeter bei den AN/APN-1 und AN/ARN-1 Geräten dank dem «Balance Detector» im Frontende des Empfängers eine hohe Störsender Leistung von 45 kW erforderlich ist um eine zu grosse Flughöhe vorzutäuschen. Die FuG-101a mit dem «Audion Detector» Frontende des Empfängers sind hingegen wesentlich störungsempfindlicher, eine zu grosse Flughöhe konnte bereits mit einer Störsender Leistung von 10 Watt vorgetäuscht werden.
- Die Versuche mit sog. «downward jamming» der Radio Altimeter zeigten, dass bei den AN/APN-1 und AN/ARN-1 Geräten eine Störsender Leistung von 50 kW erforderlich ist um eine zu kleine Flughöhe vorzutäuschen, hingegen bei den mit dem «Audion Detector» im Frontende des Empfängers störungsempfindlicheren FuG-101a Geräten genügte bereits eine Störsender Leistung von 300 Watt für die Täuschung.

Lorenz und ILS Landeverfahren auf dem neuen Flughafen Zürich

- Die Lorenz UKW Landebake auf dem Flugplatz Dübendorf überlebte den Zweiten Weltkrieg und bei der Verlagerung des zivilen Luftverkehrs auf den neuen Flughafen Zürich Kloten im Jahre 1948 wurde sie nach Kloten verlegt.
- Durch die Vorschriften der internationalen Luftfahrtorganisation ICAO war man zudem inzwischen auch gezwungen, ein Instrument Landing System (ILS) zu installieren.
- Diese Landehilfe arbeitet nicht nur genauer als das alte Lorenz Landesystem, sondern hatte den Vorteil, dass sie dem Piloten eines im Anflug auf die Schlechtwetterpiste befindlichen Flugzeuges nicht nur die einzuhaltende Richtung, sondern auch die Höhe angibt.
- Die ILS Anlage war eine jener Errungenschaften des Zweiten Krieges, welche die Sicherheit und Wetterunabhängigkeit des Flugverkehrs wesentlich erhöhte.

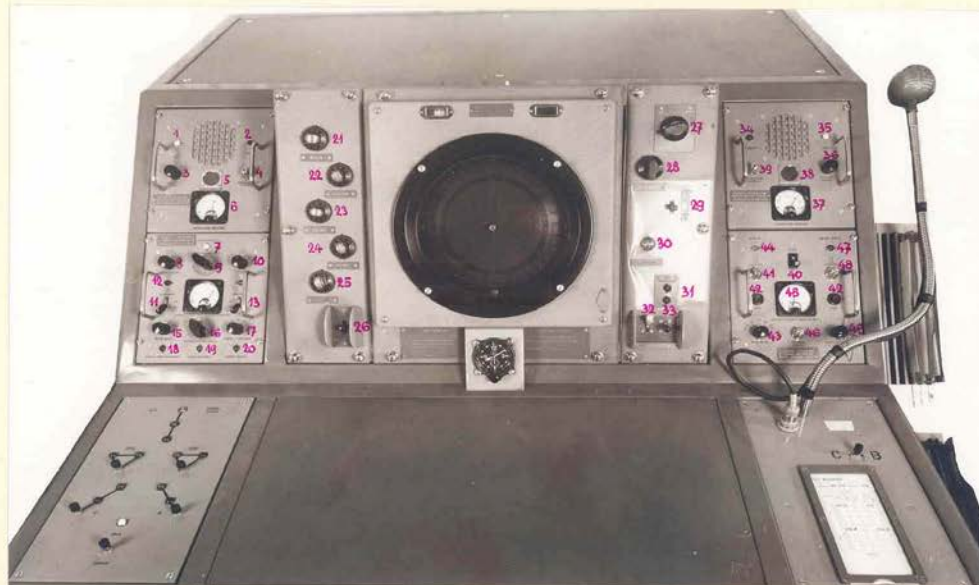


Uebergang zum UKW – Flugfunk nach dem Zweiten Weltkrieg

Der technische Fortschritt und der Kanalmangel im Kurzwellengebiet hat nach dem Zweiten Weltkrieg dazu geführt, dass der Flugfunk über kurze Distanzen in dicht beflogenen Ländern auf Ultrakurzwellen umgestellt wurde. Der Frequenzbereich von 108 – 118 MHz wurde der Flugnavigation und der Bereich von 118 – 136 MHz dem Sprechfunkverkehr zugeteilt. Entsprechend dieser Neuordnung wurden für die Flugsicherung auch UKW Peilsysteme erforderlich wie das Beispiel der nachstehenden PV-1B UKW Peilanlage von Marconi zeigt welche kurz nach dem Zweiten Weltkrieg auf dem Flugplatz Dübendorf eingeführt wurde.

- | | | | |
|----|--|----|------------------------------|
| 21 | TIP FOCUS | 27 | SCALE LIGHTS |
| 22 | BEAM FOCUS | 28 | BEAM SWITCH |
| 23 | BRILLIANCE | 29 | QDM SWITCH |
| 24 | N-S SHIFT | 30 | TRACE TAPNER |
| 25 | E-W SHIFT | 31 | TEST OSCILLATOR NR. 1 /NR. 2 |
| 26 | SPEED OF INDICATION SWITCH
SLOW/ MED. /FAST | 32 | CHANNEL 1 / CHANNEL 2 |
| | | 33 | TEST OSCILLATOR |

- | | |
|----|---|
| 1 | CHAN. I ONLY |
| 2 | STAND BYE |
| 3 | AUDIO LEVEL CONTROL |
| 4 | CARRIER INDICATOR
ADJUSTMENT |
| 5 | CARRIER INDICATOR |
| 6 | CARRIER LEVEL INDICATOR |
| 7 | ADJUST Q.B. CHAN. 1 |
| 8 | N-S MASTER CENTERING |
| 9 | MASTER QUAD. BAL. CHAN. 1 |
| 10 | E-W MASTER CENTERING |
| 11 | MAIN EQUIPT. ON / OFF |
| 12 | MAIN EQUIPT. ON |
| 13 | RECEIVERS ON/OFF |
| 14 | CATHODE CURRENT MAIN
EQUIPT. REPEATER UNIT |
| 15 | METER SWITCH |
| 16 | MASTER QUAD. BAL. CHAN. 2 |
| 17 | CONTROL PT. SELECTOR |
| 18 | CONTROL FROM MAIN EQUIPT. |
| 19 | ADJUST Q.B. CHAN. 2 |
| 20 | CONTROL FROM R. I |



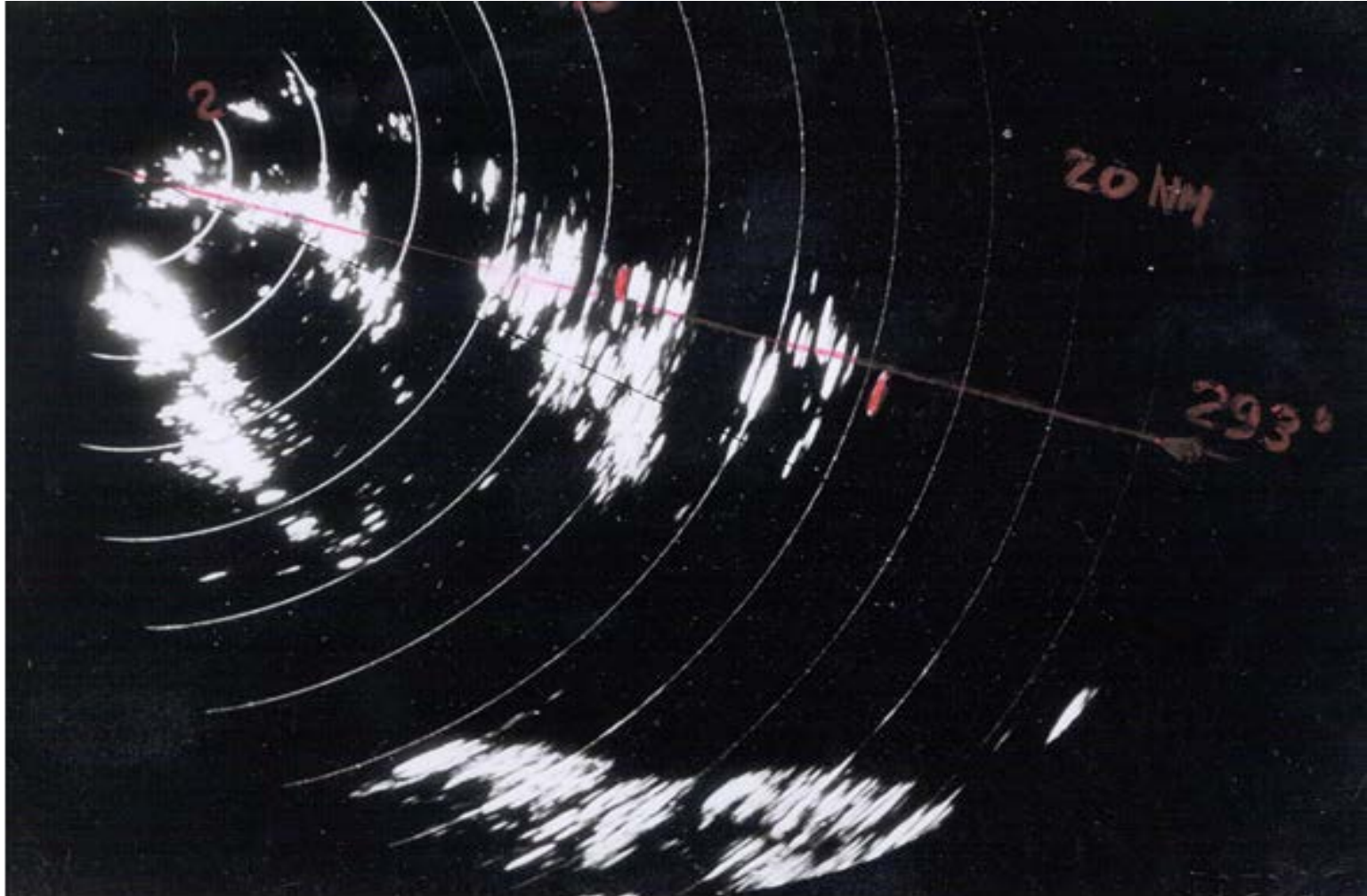
- | | |
|----|--------------------------------------|
| 34 | STAND BYE |
| 35 | CHAN. 2 ONLY |
| 36 | AUDIO LEVEL CONTROL |
| 37 | CARRIER LEVEL INDICATOR |
| 38 | CARRIER INDICATOR |
| 39 | CARRIER INDICATOR
ADJUSTMENT |
| 40 | MAINS ON/OFF |
| 41 | F.A. N.S. CENTERING |
| 42 | FUSE |
| 43 | METER SWITCH |
| 44 | MAINS ON |
| 45 | CATHODE CURRENT R I
REPEATER UNIT |
| 46 | INDIVIDUAL QUAD. BAL. |
| 47 | CONTROL FROM R I |
| 48 | P.S. E.W. CENTERING |
| 49 | REMOTE CONTROL OF AGC
DELAY |

Landeradaranlage AN/MPN-5

Beschaffung im Jahre 1955 für die Flugplätze Dübendorf, Emmen und Payerne



Das Foto zeigt das „dezentrierte“ Radarbild des Rundsuchradars mit dem südöstlich des Flugplatz Dübendorf gelegenen Anflugsektor. Die rote Linie entspricht der verlängerten Achse von Piste 29. Bei der 16 NM Rangemarke erscheint das Radarecho der oberhalb Wattwil liegenden Tweralpspitze.



Funktionsablauf des Precision Approach Radars

AZ-EL-
Umschaltung

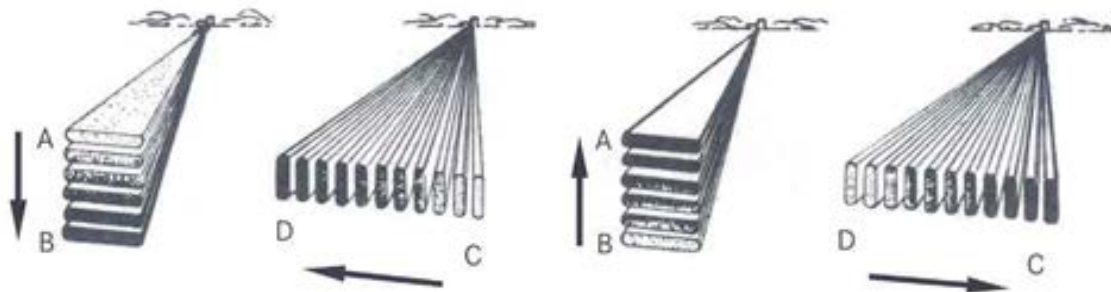
EL ein
AZ aus

EL aus
AZ ein

EL ein
AZ aus

EL aus
AZ ein

Abtast-
bewegungen
der Antennen-
Diagramme



Schreibstrahl-
bewegungen
auf Sichtrohr



a)



b)



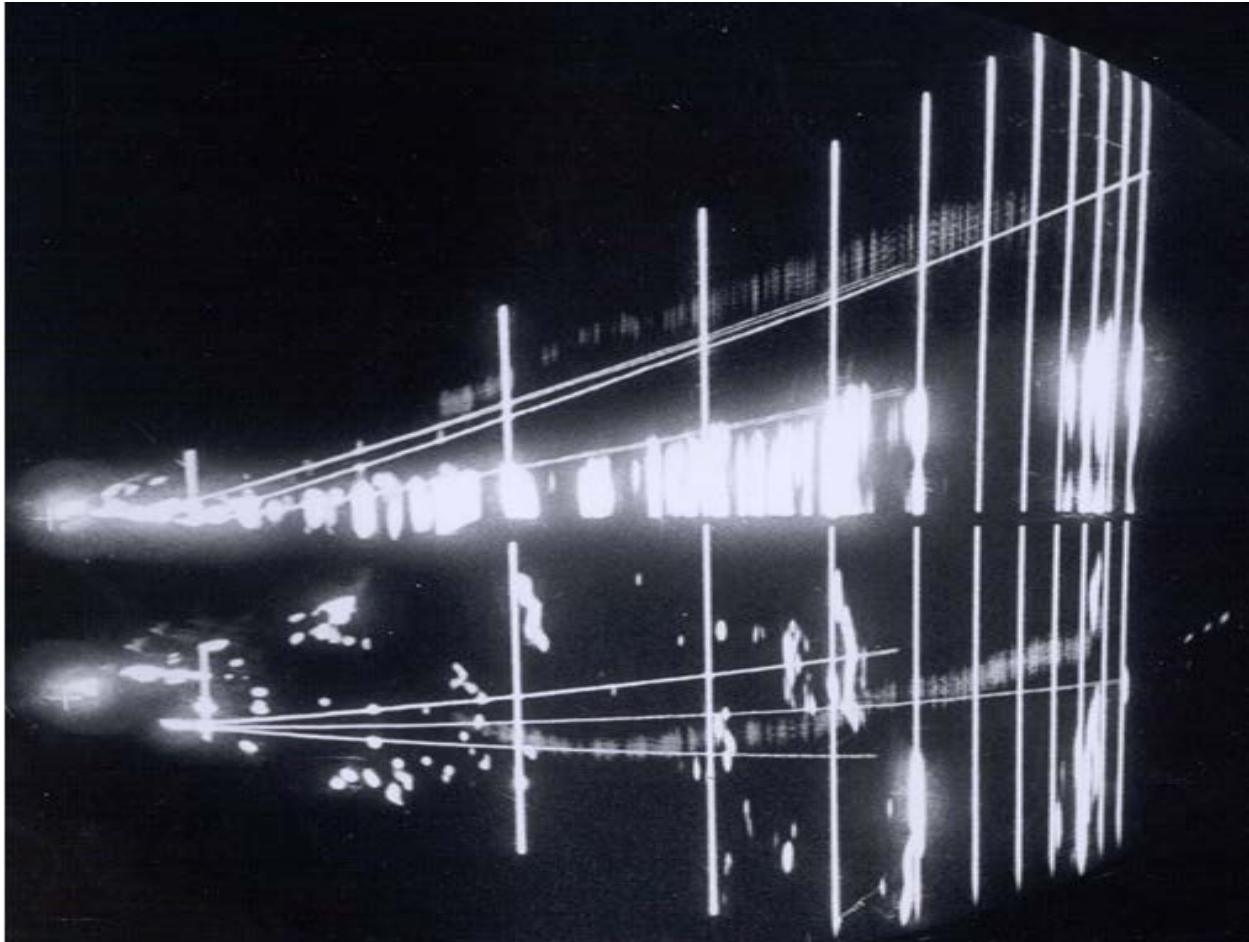
c)



d)

Precision Approach Radar

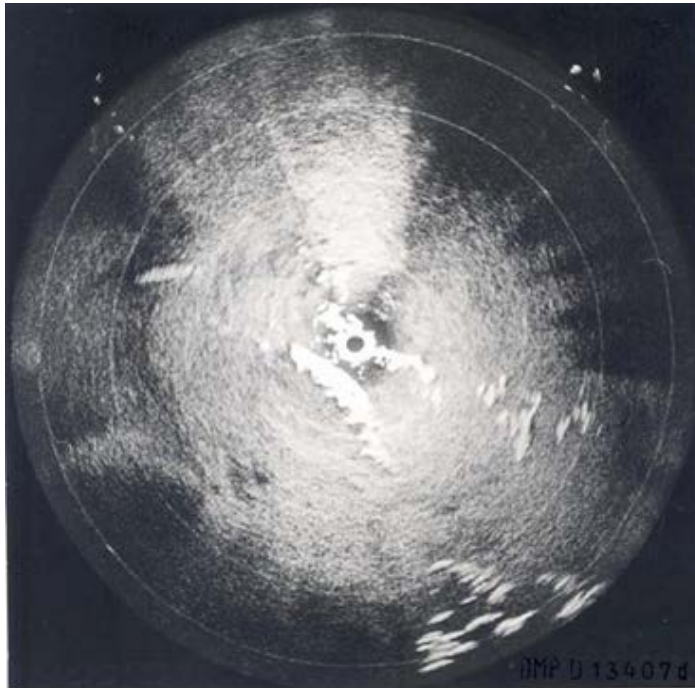
Fotoaufnahme eines geführten Landeanfluges



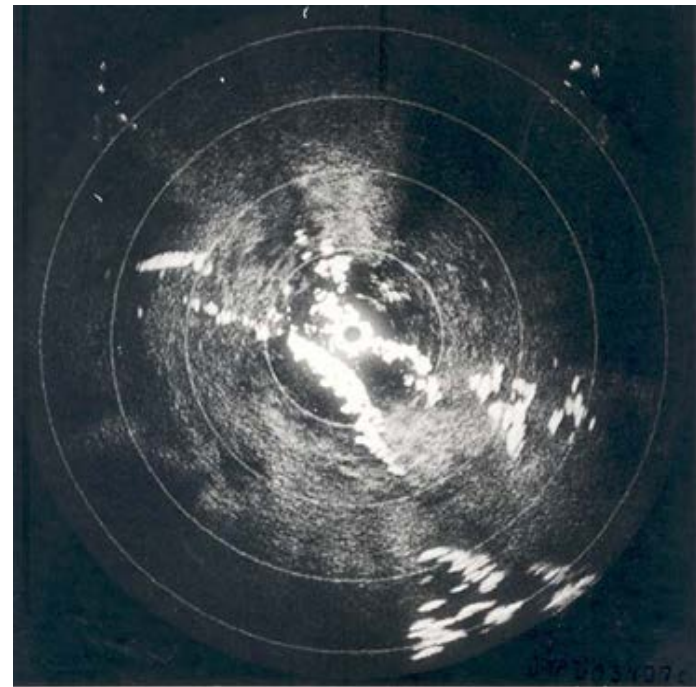
Surveillance Radar Equipment

Wirkung der Zirkularpolarisation während eines Schneesturmes

Aufnahme mit Linearpolarisation

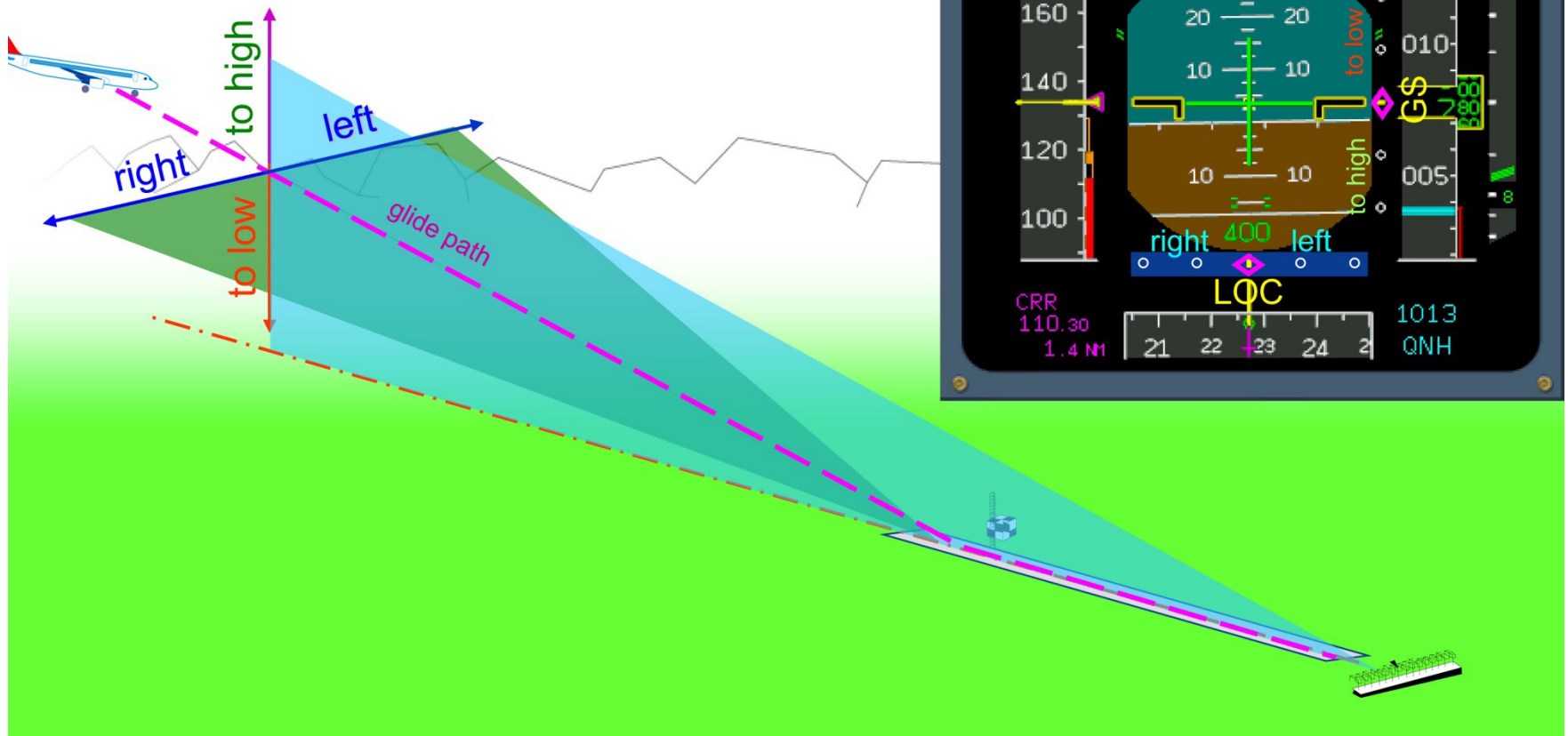


Aufnahme mit Zirkularpolarisation



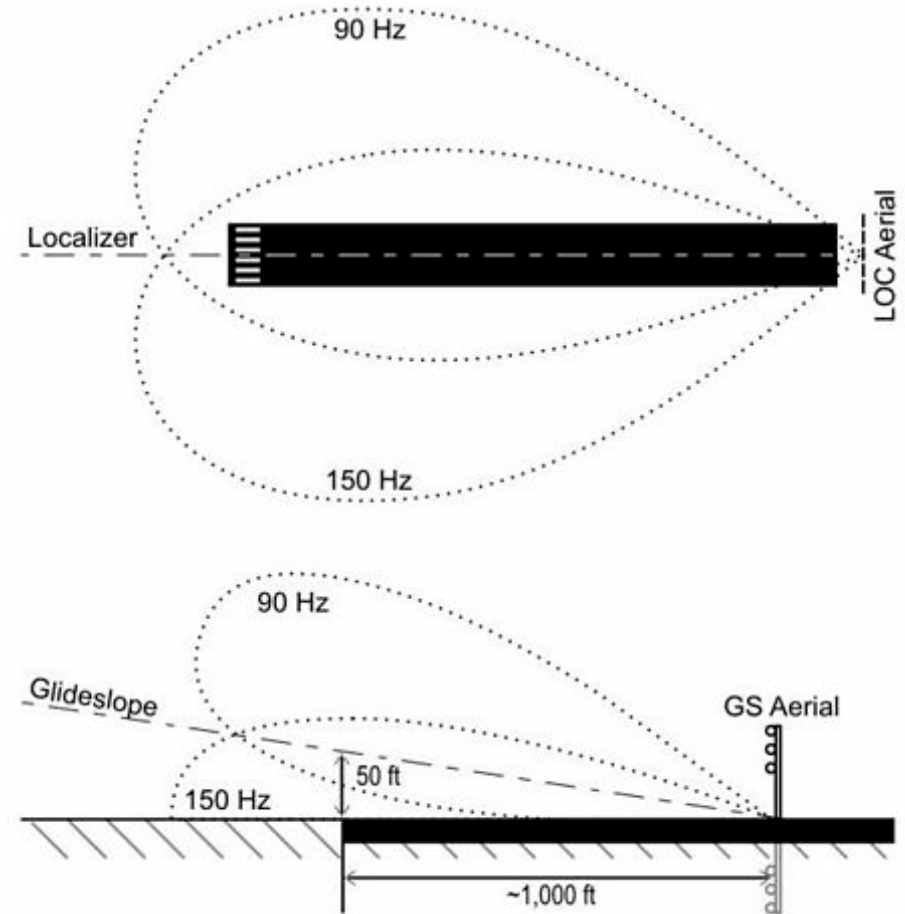
Anflug mit dem Instrumenten Lande System

ILS landing path



Durch die technologische Erschliessung höherer Frequenzbänder und dem verbesserten Verständnis der Antennen- und Modulationstechniken gelang im Zweiten Weltkrieg der Schritt von der Lorenz Landehilfe zum räumlichen Instrumenten Lande System (ILS)

- Der Localizer arbeitet in einem **Frequenzbereich von 108,10 MHz bis 111,95 MHz**. Auf der jeweiligen Trägerfrequenz sind zwei Signale mit **90 und 150 Hz in Amplitudenmodulation aufmoduliert**, die von den Antennen so abgestrahlt werden, dass entlang der Anfluggrundlinie ein Strahlungsmaximum liegt.
- Der Localizer-Empfänger im Flugzeug misst die Differenz der Modulationstiefe von den 90 und 150 Hz Signalen. Auf der Anfluggrundlinie steht die senkrechte Nadel des Anzeigeinstruments in der Mitte.
- Der Glideslope Sender arbeitet in einem **Frequenzbereich von 329 MHz bis 335 MHz**. Der Sender steht seitlich neben der Bahn in Höhe des Aufsetzpunktes. Der Gleitwegsender arbeitet nur mit anderen Trägerfrequenzen und **die beiden Modulationskeulen sind vertikal ausgerichtet**. Auf der jeweiligen Trägerfrequenz sind zwei Signale mit **90 und 150 Hz in Amplitudenmodulation aufmoduliert**, die von den Antennen so abgestrahlt werden, dass entlang des **3° Anflugweges** ein Strahlungsmaximum liegt.
- Der Glideslope Empfänger im Flugzeug misst die Differenz der Modulationstiefe der 90-Hz und 150-Hz Signale. Auf dem **3° Anflugweg** wird die Differenz zu Null, die waagerechte Nadel des Anzeigeinstruments steht in der Mitte.



Bodenausrüstung des ILS Blindlande Verfahrens

Instrumental Landing System (ILS)

LOC: Localizer

Frequency: 108-118 MHz

Power: ~50 W



Marker: not operational in Switzerland

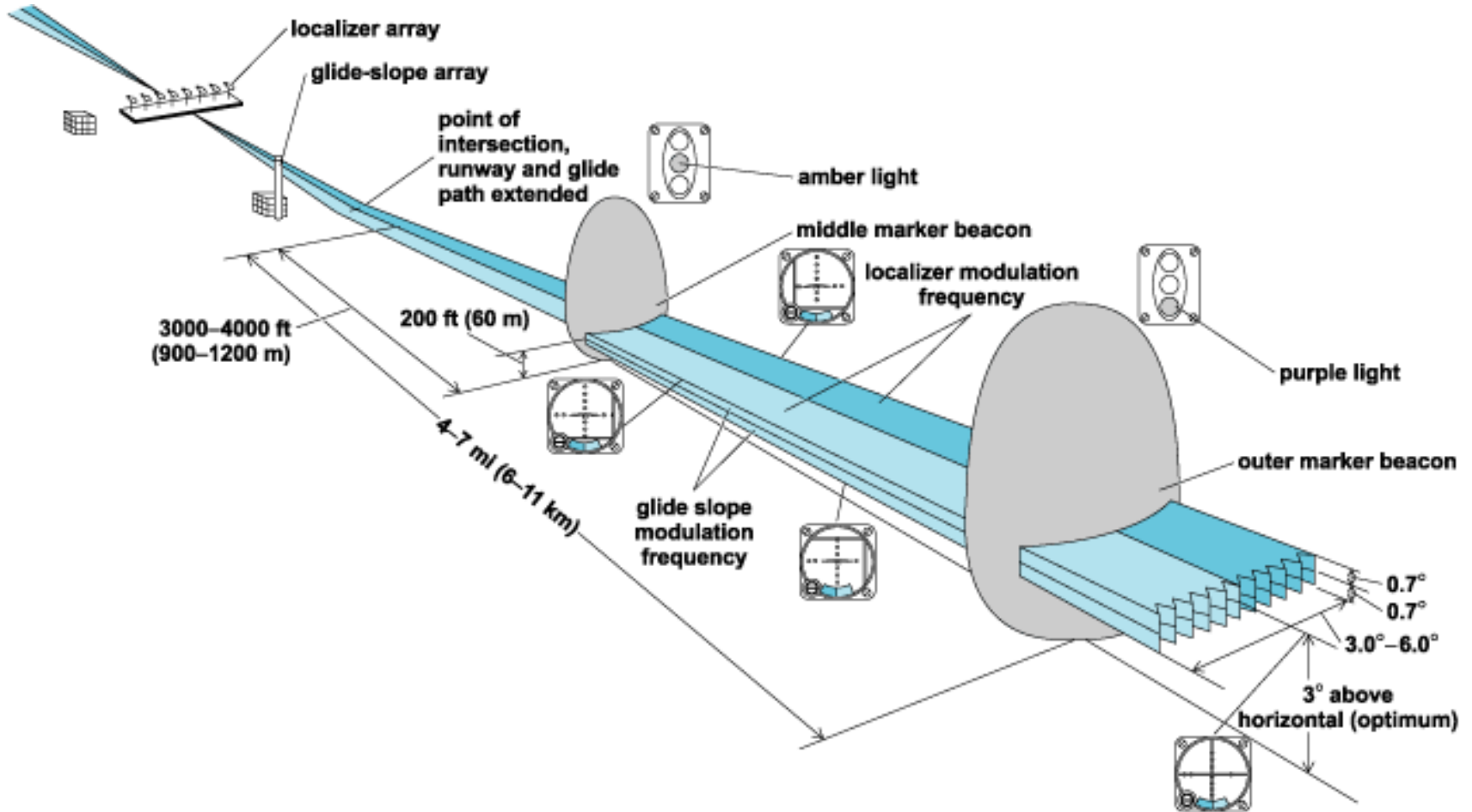
GS: Glide Slope

Frequenz: 328-235 MHz

Power: ~20 W



Konfiguration des Instrument Landing Systems



ILS Landeanflug Kategorien

- **CAT I: Einfachste Kategorie mit einer Entscheidungshöhe von 200 ft (60 m) über Grund oder mehr und einer Bodensicht von 800 m.**
- **CAT II: Mittlere Kategorie mit einer Entscheidungshöhe zwischen 100 ft und 200 ft über Grund (30–60 m) und mindestens 300 m Bodensicht.**

Je nach technischer Ausstattung und Hindernisfreiheit des Flugplatzes ist CAT III noch einmal in CAT IIIa, CAT IIIb, und CAT IIIc unterteilt:

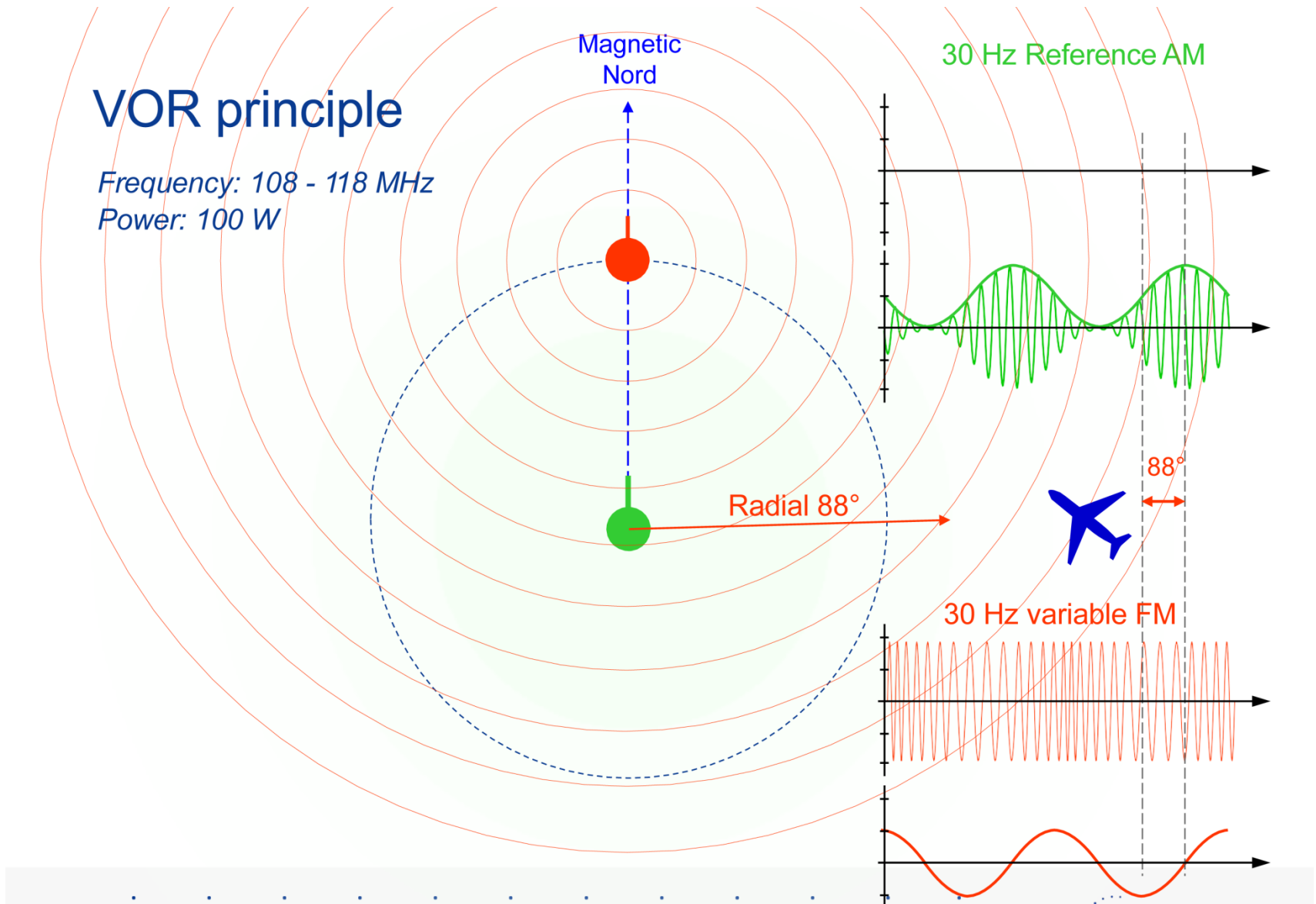
- **CAT IIIa: Entscheidungshöhe zwischen 0 ft und 100 ft über Grund und mindestens 175 m Bodensicht.**
- **CAT IIIb: Entscheidungshöhe kleiner als 50 ft über Grund und weniger als 175 m, jedoch mindestens 50 m Bodensicht.**
- **CAT IIIc: Keine Entscheidungshöhe (0 ft) und keine Bodensicht.**
- **Gemäss heutiger ICAO Vorschrift müssen Flugzeuge für Cat II und Cat III ILS - Anflüge zusätzlich mit einem CW/FM Radar Altimeter ausgerüstet sein.**

Anstelle der Fremdpeilung heute VOR Eigennavigation

VOR principle

Frequency: 108 - 118 MHz

Power: 100 W



VHF Omni Range (VOR) Anlage Trasadingen

Drehfunkfeuer mit umlaufendem Richtdiagramm für die Flugnavigation

Frequenz 114.3 MHz, Reichweite ca. 100NM für Flughöhen von 14'500 – 18'000 ft.



Ergänzt durch DME Distanzmessung zum VOR Funkfeuer

Distance Measuring Equipment principle

Frequency: 1025 - 1150 MHz

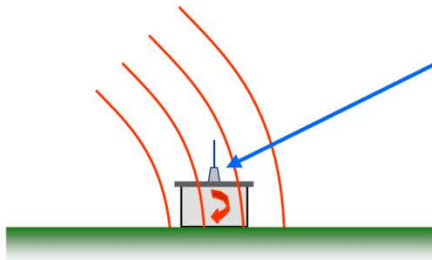
Power: 1 kW

$$d = \frac{t_E - 50 \mu\text{s}}{12,35} \text{ [NM]}$$

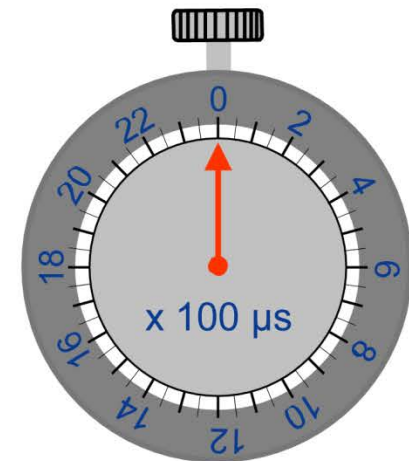
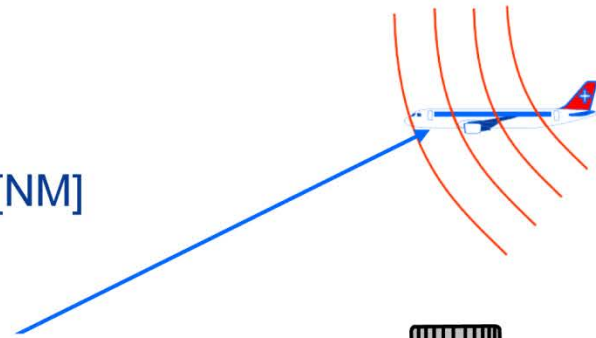
slant
distance

(1 NM / 12,35 μs)

DME transponder



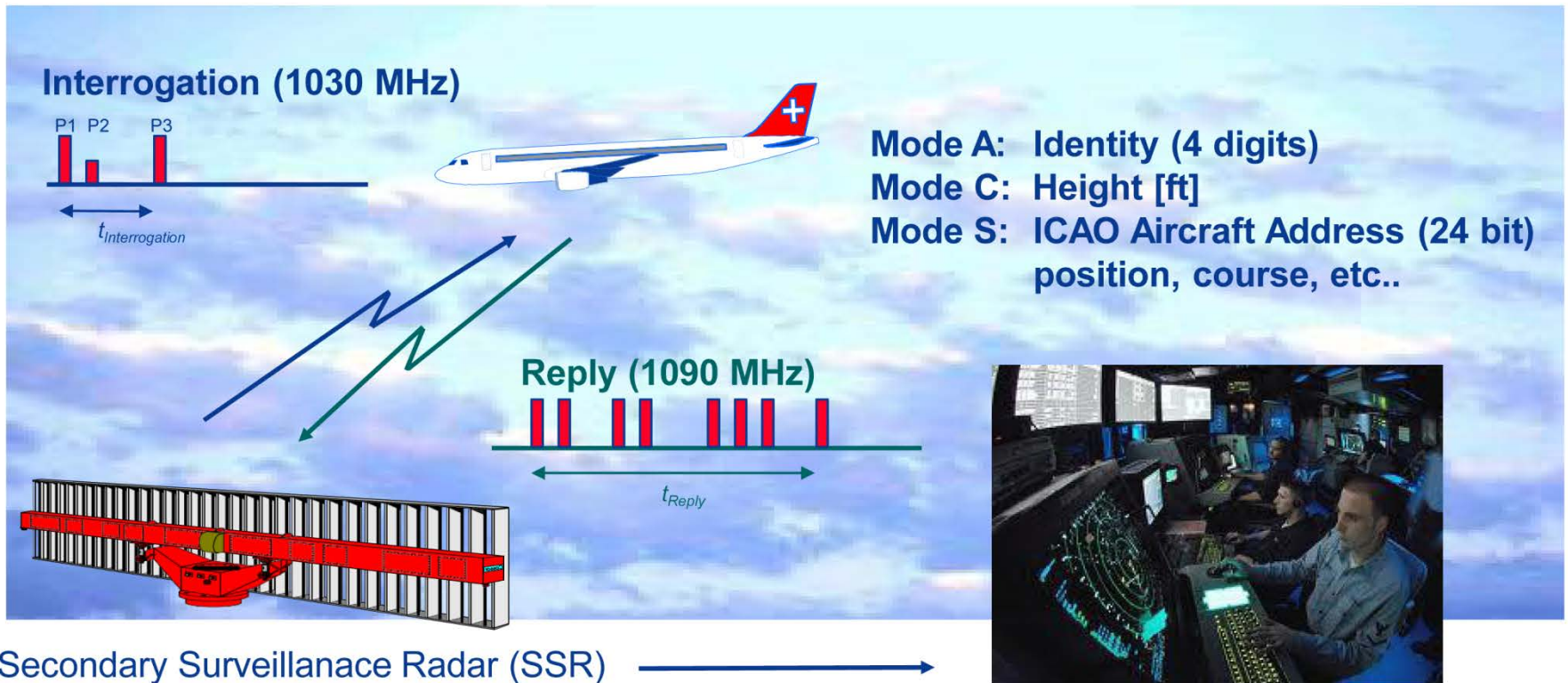
DME interrogator



ATC: Air Traffic Control, Mode A/C or S Transponder

Frequency: 1030 MHz (Interrogation), 1090 MHz (Reply)

Power: ~1 kW



Sekundärradar Antenne im Hochgebirge auf 3'200 m/M

Die abgebildeten Monopuls Antenne tastet den Raum mit einem Summen- und einem Differenzstrahlungsdiagramm ab bei deren empfangsseitiger Verarbeitung eine verbesserte Azimutauflösung erzielt wird. Dadurch wird erreicht, dass beim heutigen dichten Luftverkehr die Fehlinterpretationen (sog. Garbling) sich zeitlich überlappender Flugzeugantworten wesentlich reduziert werden.

