

Flugsicherheitsmitteilung (fsm) 1/91

Technik / Flugbetrieb
Avionik II (Funknavigation/ADF)

Hrsg: Luftfahrt-Bundesamt,
Flughafen, 3300 Braunschweig

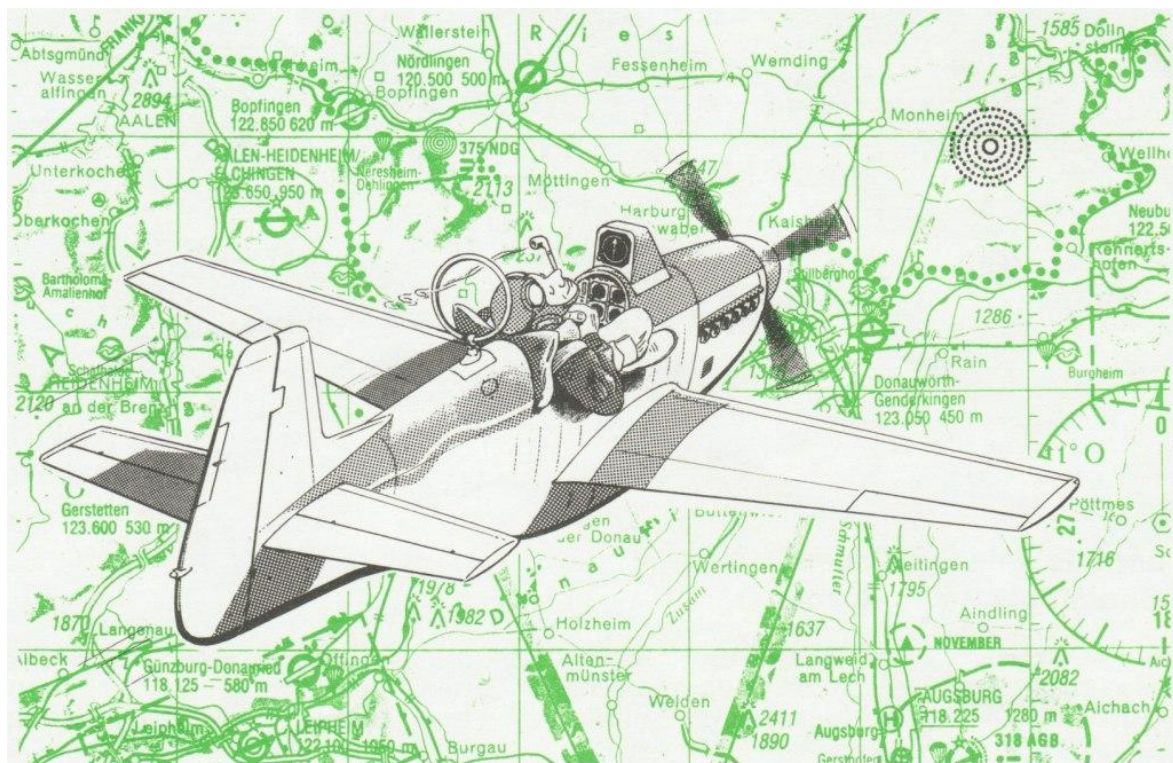
Braunschweig, September 1991
LBA III 512-985.1/91 (*überarbeitete Auflage*)

Abdruck, auch auszugsweise, nur mit Quellenangabe gestattet

ADF-Navigation

Bereits bei der Flugvorbereitung kann sich für den VFR-Piloten die Frage stellen, welche Radio-Navigationshilfen für die Unterstützung der terrestrischen Navigation für Sender-Anflug oder -Abflug, für Kreuzpeilungen und Peilungen für Auffanglinien nutzbar sind.

Gutes räumliches Vorstellungsvermögen, richtige Nutzung der Avionikausrüstung und das Verständnis für die technischen Möglichkeiten dieser Anlagen sind die unverzichtbare Grundlage für eine sichere Funk-Navigation.



Einleitung

Etwa siebzig Jahre ist es her, daß verstärkte Bemühungen unternommen wurden durch Konstruktion und Einbau geeigneter Geräte in das Flugzeug, den Schlechtwetterflug möglich zu machen. Waren es zunächst die Kreiselgeräte, die die Kontrolle der Fluglage ermöglichten, so machte man sich fast gleichzeitig daran, die bereits vorhandenen Erfahrungen auf dem Gebiet der Funkortung aus der Seefahrt für die Navigation in der Luftfahrt zu nutzen.

Von den ersten Anfängen der Funkortung und Funknavigation mit Minimumpeilung nach Gehör bis hin zu den modernsten elektronischen Geräten, die dann auch den früher notwendigen Navigator ersetzen und heute eine vollautomatische Landung ermöglichen, hat sich eine rasante Entwicklung vollzogen.

Die Funkortung liefert zur praktischen Anwendung in der Funknavigation Peilungen, von denen sich Standlinie und Standort ableiten lassen. In der Luftfahrt werden, je nach Betriebsart unterschieden (Abb. 1)

- a) Eigenpeilung der Flugzeugführer nimmt die Ortung mit bordeigener Funknavigationsaus-rüstung vor;
- b) Fremdpeilung die Ortung wird von einer fremden Stelle aus vorgenommen. Hierbei ist es unwesentlich, ob ein Bordsender angepeilt wird oder das Flugzeug vom bodenseitigen Radar erfaßt wird. Der Flugzeugführer kann die ihm von der Bodenstelle übermittelten Peilwerte für die Navigation nutzen oder sich von der Bodenstelle führen lassen.

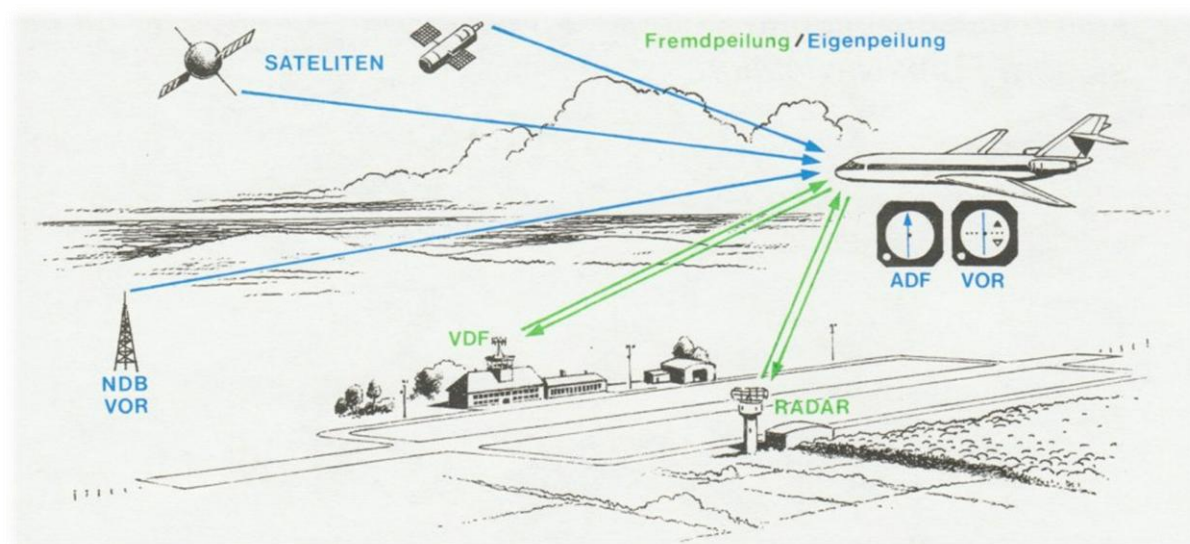


Abb. 1 Fremdpeilung - Eigenpeilung

Mit dieser fsm wollen wir die gebräuchlichsten Anwendungsarten der Funknavigation behandeln, wobei wir bewußt den Bereich Sichtflug (VFR) ansprechen, bei dem die Funknavigation – darauf ist ausdrücklich hinzuweisen - **nur zur Unterstützung der terrestrischen Orientierung anzuwenden ist.**

Oft besinnt sich der "Sichtflieger" erst in kritischen Situationen auf das Vorhandensein seiner Avionik-Anlage, weil diese Flugsicherungs-ausrüstung wegen geringer Kenntnis der Bedienung und Auswertung der Anzeigen bisher nur sporadisch genutzt wurde. Piloten aber, die

sich ausschließlich auf die Funknavigation stützen, vernachlässigen zwangsweise das terrestrische Mitkoppeln und die Inübunghaltung bei der Kleinentorientierung, "das Franzen".

Abgesehen von den Fähigkeiten des Luftfahrzeugführers gibt es eine Fülle von Problemfällen, welche direkt mit den Avionikanlagen im Flugzeug und den Sendern am Boden verknüpft sein können. Die Kenntnis über die technischen Zusammenhänge bei der Radionavigationsausrüstung ist, ebenso wie die richtige Nutzung, Voraussetzung für die sichere Flugdurchführung.

Da die zum Verständnis erforderlichen Grundlagen der Funkortung in der vorhergehenden fsm 2/90 behandelt wurden, verzichten wir hier auf nähere Erläuterungen. Unter dem Aspekt der Flugsicherheit sollen aber die Unzulänglichkeiten wie Störfaktoren und Fehlerquellen angesprochen werden.

Wir haben uns das ungerichtete Funkfeuer (NDB) und den Radio-Kompaß (ADF) zuerst vorgenommen, weil festgestellt ist, daß die Flugzeugführer gerade mit diesem Gerät oft die größten Schwierigkeiten haben.

Das ungerichtete Funkfeuer – Non Directional Radio Beacon (NDB)

Ungerichtete Funkfeuer (NDB) sind besondere für die Luftfahrt eingerichtete Sender, die im oberen Langwellenbereich (LF) und im unteren Mittelwellenbereich (MF) rundum ausstrahlen. Diese vom Flugsicherungs-Navigationsdienst errichteten Sender werden als Doppelanlagen mit Überwachungseinrichtung betrieben, wobei sich bei Ausfall eines Senders sofort die Reserveanlage einschaltet. Mit dem Automatischen Funkpeilgerät (ADF = **A**utomatic **D**irection **F**inder) im Flugzeug, langläufig auch Radiokompaß genannt, kann der Luftfahrzeugführer Funk-Peilungen zum entsprechend eingestellten NDB durchführen.

In der Funknavigation finden ungerichtete Funkfeuer Verwendung als "Streckenfunkfeuer" (NDB) und "Anflugfunkfeuer" (Locator Beacon = L). Diese unterscheiden sich nicht nur durch den Verwendungszweck, sondern auch durch ihre Reichweite. Diese kann bis zu 150 NM betragen. Die Reichweite wird bestimmt durch die Sendeleistung, in gewissem Umfange durch die Frequenz und durch die Ausbreitungsbedingungen in der Atmosphäre und über der Erdoberfläche.

Die Deutsche Flugsicherung (DFS) legt je nach Anforderung die benötigten Reichweiten zur Erfüllung bestimmter Aufgaben fest. Angaben über die nach ICAO-Definition formulierten Begriffe wie "festgelegte Betriebsentfernung und -höhe, Betriebsüberdeckung und **nutzbare** Entfernung und Höhe" sind für die entsprechenden Navigations- und auch Sprechfunkanlagen im Luftfahrthandbuch (AIP Vol. 1 COM 2), die Minimum Reichweiten auch in der AIP Vol. III COM 1 (**jetzt AIP ENR**) veröffentlicht.

Die festgelegten Betriebsentfernungen, die direkte Entfernung bei der noch eine ausreichende Feldstärke (70 $\mu\text{V}/\text{m}$) für möglichst genaue Peilungen herrscht, liegen bei Strecken-NDB's in der Bundesrepublik Deutschland bis ca. 50 NM, während die Anflugfunkfeuer bis zu 25 NM nutzbar sind.

Die NDB-Anlagen der DFS arbeiten im Frequenzbereich 200 - 526,5 kHz und senden in den Betriebsarten AO/A1 (AI), AO/A2 oder A2. Bei diesen Sendarten wird der Amplitude in Niederfrequenz (NF) 1020 Hz ein Tonsignal aufmoduliert. In unserer fsm 2/90 haben wir die Modulationsarten näher beschrieben.

Üblicherweise haben Anflugfunkfeuer, wenn sie Bestandteil des Instrumenten-Lande-Systems sind, eine Kennung im Morsecode von zwei Buchstaben; Streckenfunkfeuer sind an drei Buchstaben zu identifizieren.

Wellenausbreitung

Funkstrahlen laufen, wenn nicht anderweitig gestört, vom Sender auf kürzestem Wege zum Flugzeug (Empfänger), also gleich dem Großkreis (Orthodrome). Oftmals erfahren sie jedoch durch physikalische Einflüsse aufgrund atmosphärischer Faktoren und/oder topographischer Gegebenheiten Ablenkungen, welche zu Anzeigen führen, die nicht der wahren geographischen (navigatorischen) Situation entsprechen. Das ungerichtete Funkfeuer (NDB) selbst hat bei der Funkausstrahlung keine geometrischen Fehler zu eigen. Alle Fehler treten bei der Ausbreitung der Wellen auf. Das können Funkinterferenzen und elektrische Entladungen in der Atmosphäre sein, wie auch statische Auf- und Entladungen am Flugzeug. Ebenso kann unterschiedliche Leitfähigkeit der Erdoberfläche (Land/Wasser, feuchter Boden/Trockengebiete) Störungen verursachen. Die Folgen sind die für die navigatorische Peilung nachteiligen Erscheinungen wie Brechung, Beugung, Reflexion und Absorption.

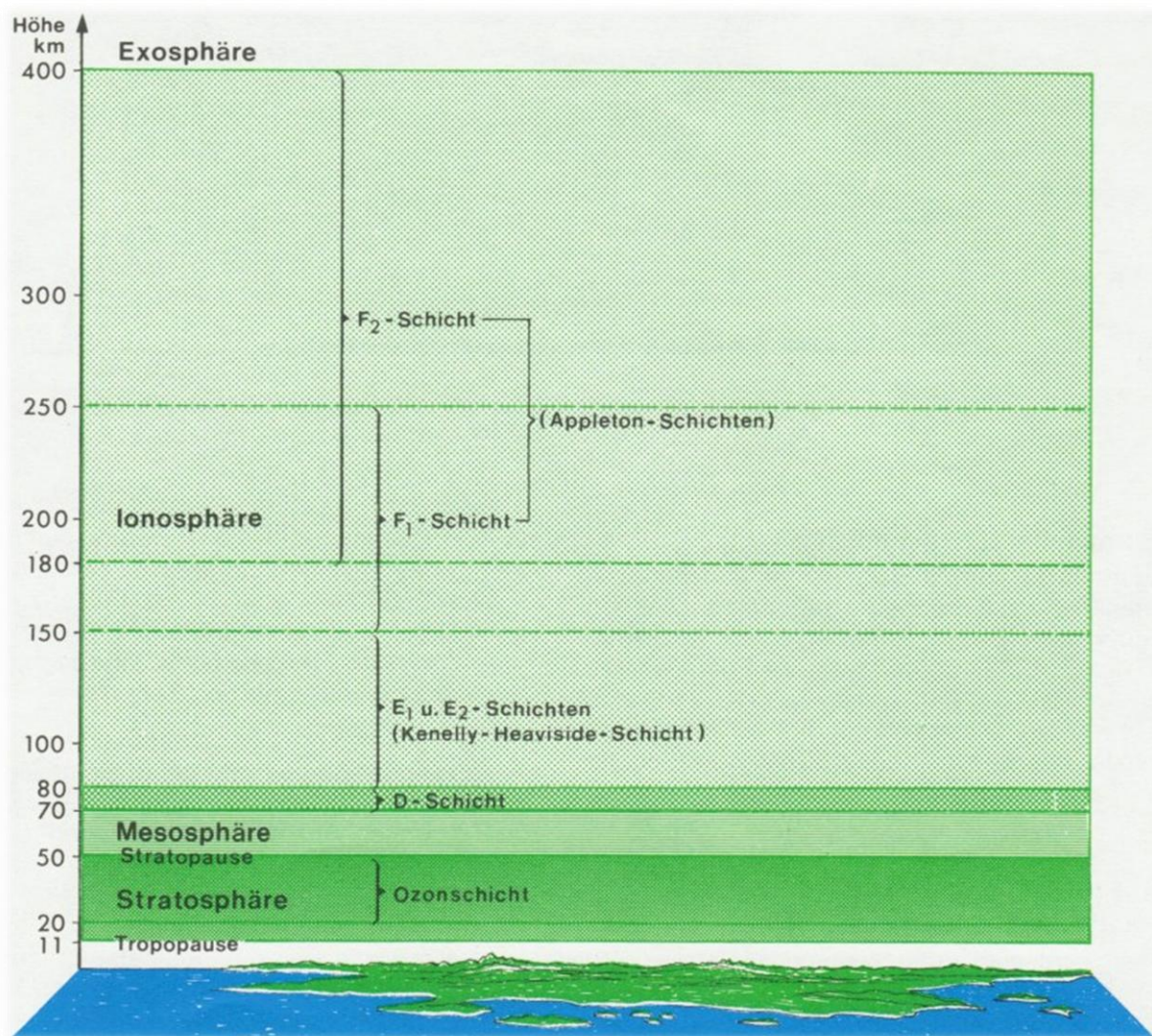


Abb. 2 Schichten der Atmosphäre - D-, E- und F-Schichten

1. Einflüsse in der Atmosphäre

Die Ausstrahlungen der NDB's können sich im wesentlichen entlang der gekrümmten Erdoberfläche ausbreiten, sie wandern also über den Boden (Bodenwelle). Neben dem direkten Weg vom Sender zum Flugzeug (Direkte Welle) können beim Empfänger unter bestimmten Bedingungen auch aus dem Raum reflektierte Wellen (Raumwelle) eintreffen.

Um im Lang- und Mittelwellenbereich guten Empfang zu bekommen, müssen die atmosphärischen Bedingungen günstig sein. In den Abendstunden, zur Nachtzeit und in den Morgenstunden zum Beispiel, können in der Ausbreitung dieser Funkwellen Störungen eintreten, die den Empfang stark beeinträchtigen oder ihn gar unmöglich machen. Schuld daran sind gewisse Schichten der Erdatmosphäre, welche im Wechsel von Tageszeit, Jahreszeit und Sonnenflecktätigkeit Einfluß auf die Ausbreitungsrichtung und die Reichweite haben.

Hierbei spielt die Ionosphäre mit der D- und E-Schicht (Kenelly-Heaviside-Schicht) und der F1- und F2-Schicht (Appelton-Schicht) für die Raumwelle eine große Rolle. Während des Tages sind die unteren Schichten der Ionosphäre (D- und E-Schicht) aufgrund der Sonneneinstrahlung (UV- und Elektronenstrahlung) stark ausgeprägt und dämpfen den Raumwellenanteil der Senderausstrahlung. Es kommt dann für die Nutzung des Senders nur der Bodenwellenanteil zum Tragen.

Nach Sonnenuntergang vermindert sich die Intensität der D- und E-Schicht, die Funkwellen erreichen die darüber-liegenden F-Schichten und werden dort reflektiert, genauer – kontinuierlich bis zur Rückstrahlung abgelenkt (Refraction).

Zusammengefaßt kann gesagt werden.

- **tagsüber** dominiert beim Empfang der NDB-Ausstrahlung der Bodenwellenanteil, dessen Reichweite stark von der Leitfähigkeit des Untergrundes abhängig ist. Über trockenem Boden ist die Reichweite geringer - über Wasser und Nassgebieten ist sie größer, da dort die Leitfähigkeit besser ist;
- **nachts** überwiegt der Anteil der reflektierten Raumwelle. Die Reichweite wird erhöht, weil diese Raumwelle außerhalb der Reichweite der Bodenwelle die Erde erreichen kann.

1.1 Schwunderscheinungen(Fading) (Abb. 3 u. 4)

Der Empfänger kann die einfallenden Raum- und Bodenwellen nicht selektieren, da sie die gleiche Frequenz haben. Sie überlagern sich und durch Phasenverschiebung kommt es zu Schwunderscheinungen. Diese treten besonders stark in einer Entfernung zwischen 50 und 200 km vom Sender, in der Zeit von ca. 2 Stunden vor und nach Sonnenaufgang und Sonnenuntergang auf.

1.2 Dämmerungseffekt (Twilight-Effect)

Die Schwingungen der vom NDB ausgestrahlten Funkwellen stehen senkrecht zur Erdoberfläche; man spricht von vertikaler Polarisation. Bei der Reflexion an der Ionosphäre, während des o. a. Zeitraumes kann die Polarisationsrichtung von Anteilen der Funkwellen aus der vertikalen Lage gedreht werden. Diese können die vertikal schwingenden Anteile überlagern. Dieser Polarisationsfehler führt dann zu Fehlanzeigen.

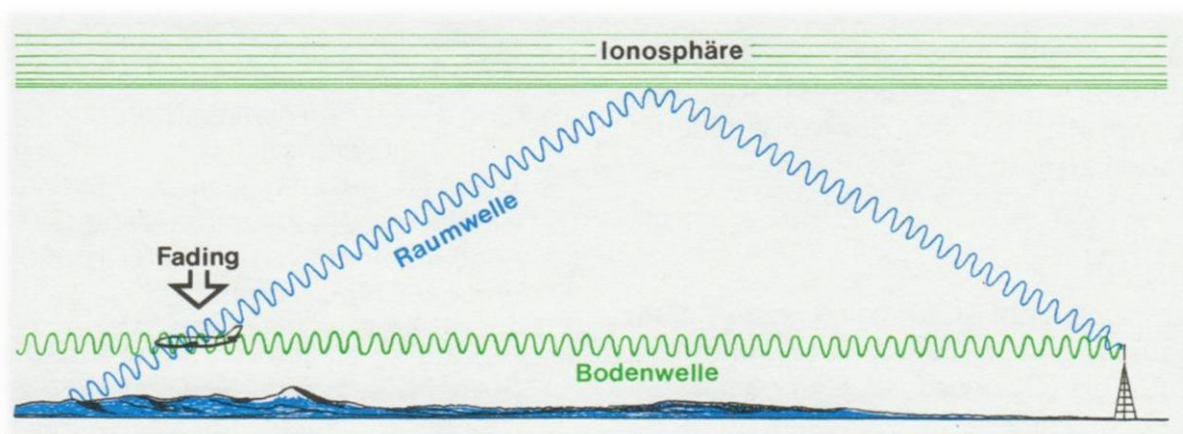


Abb. 3 Nahschwund; innerhalb der Reichweite der Bodenwelle

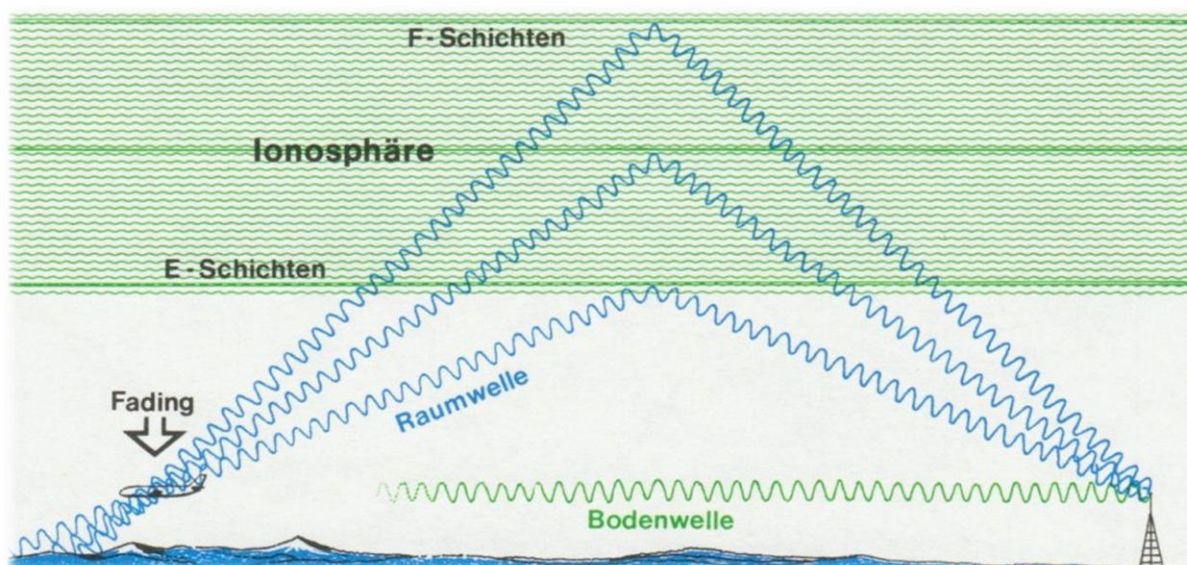


Abb. 4 Fernschwund; außerhalb der Reichweite der Bodenwelle

1.3 Gewitter-Effekt (Thunderstorm-Effect) Elektrostatische Entladungen (Statics)

In der starken vertikalen Luftbewegung in Quellwolken werden Elektronen frei, die durch ihre Felder besonders den Empfang im Lang- und Mittelwellenbereich stören. Starkes Knacken und Rauschen im Lautsprecher oder Kopfhörer ist ein akustisches Zeichen dafür. Bei der ADF-Anzeige macht sich diese Störung durch Hin- und Herdrehen der Anzeigenadel in alle Richtungen bemerkbar. In verstärktem Maße sind diese Fehlanzeigen bei Gewitterbildung sowie bei der Entladung (Blitze) festzustellen. Die Anzeige des Radiokompaß wird dann für navigatorische Peilungen völlig unbrauchbar.

Beim Durchflug durch Quellwolken kann sich das Flugzeug selbst durch Reibung an elektrisch geladenen Wassertropfen, Eiskristallen, aber auch an Staubpartikeln und Luftteilchen elektrostatisch aufladen. Wegen der Interferenz mit den Funkwellen wird eine Peilung mit dem ADF unzuverlässig, in den meisten Fällen unmöglich. Es empfiehlt sich, den Radiokompaß außer Betrieb zu nehmen, nicht nur wegen der mangelhaften Anzeige, sondern auch wegen möglicher Beschädigung des Empfängers durch hohe Feldstärken in der Nähe von Gewitterwolken. Auch die elektrische Entladung des Flugzeuges nach dem Verlassen der Wolken beeinträchtigt die Nutzung des ADF.

2. Störungen de Bodenwelle

Wie bereits erwähnt hat die Bodenwelle des NDB (Lang-und Mittelwellenbereich) die Eigenschaft der Erdkrümmung zu folgen. Sie wird an der Wölbung der Erdoberfläche geleitet und kann sich sogar in großem Maße über Hindernisse wie z. B. Höhenzüge, aber auch um Hindernisse herum beugen (Abb.5).

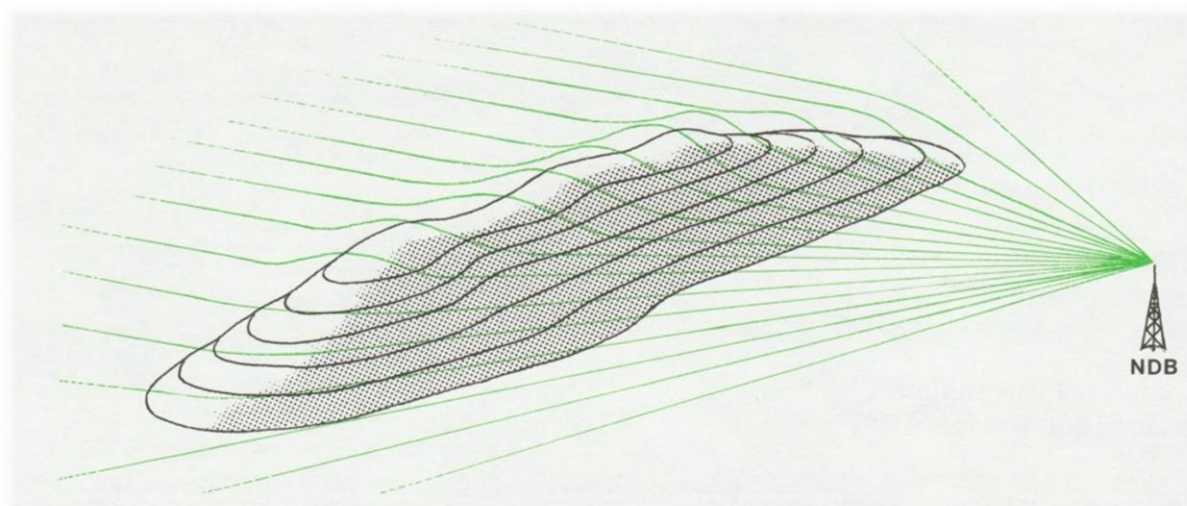


Abb. 5 Bodenwelle am Hügel

2.1 Bergeffekt (Mountain-Effect)

Beim Auftreffen der Bodenwelle auf bergiges Gelände kann die Ausstrahlung reflektiert, gebeugt, gebrochen und/oder absorbiert werden.

Je höher und länger ein Bergzug ist, desto markanter treten diese Ablenkungen auf. Im Falle der reflektierten Strahlung kann es vorkommen, daß das ADF nicht die direkt einfallende Strahlung vom NDB, sondern die reflektierte Strahlung oder von der Richtung des Funkstrahles abweichende elektromagnetische Kraftfelder (Multiple Effect) anpeilt (Abb. 6). Dies drückt sich am Radiokompaß meistens dadurch aus, daß die Anzeigenadel hin und her schwingt und eine brauchbare Peilung nicht möglich ist. Wird die Ausstrahlung gebeugt, so empfängt das ADF die Strahlung nicht aus der direkten Richtung vom NDB, was einer Fehlpeilung gleichkommt.

Senkrecht über den Bergkamm laufende Wellen bleiben richtungsstabil, während schräg einfallende horizontal zur Kammlinie hin gebeugt werden.

Mit zunehmender Entfernung und größerer Flughöhe werden die Peilfehler kleiner.

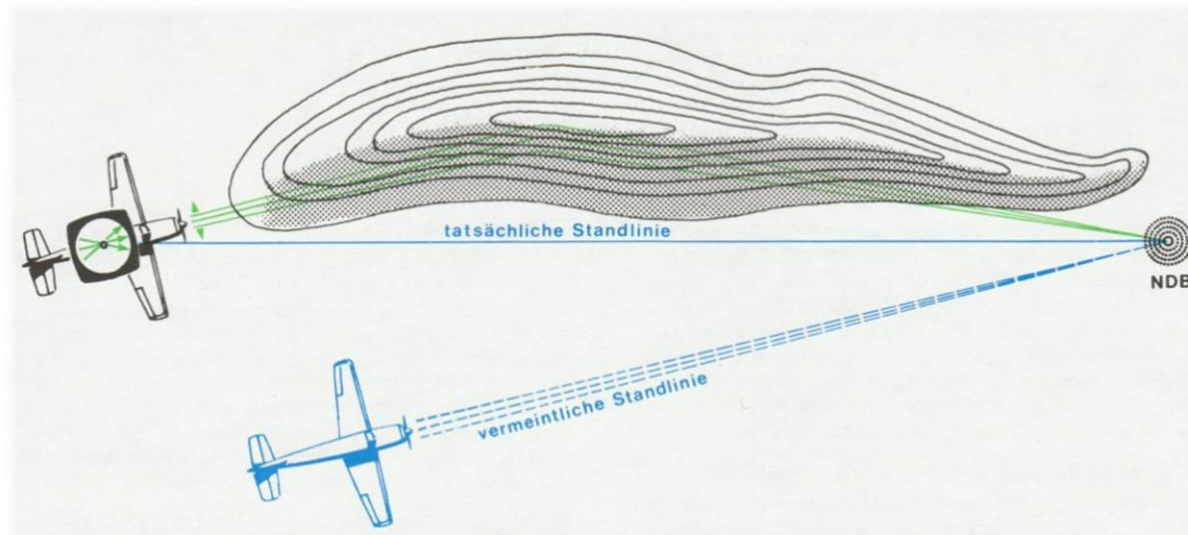


Abb. 6 Bergeseffekt; reflektierte Strahlung

2.2 Küsten-Effekt (Shoreline-Effect)

Funkwellen des Lang- und Mittelwellenbereiches, also auch die der ungerichteten Funkfeuer, werden bei der Ausbreitung über Wasserflächen weniger gedämpft als über schlecht leitfähigen trockenen Landflächen. Beim Übergang von trockenem Land zum Wasser (Küstenlinie) oder zu breiten Flußläufern sowie stark ausgeprägten Feuchtgebieten unterliegen die Funkwellen einer Strahlenbrechung (Refraction). Je spitzer der Schnittwinkel ist (ab 60°), desto größer ist die Wegeablenkung beim Durchgang durch diese unterschiedlichen Medien. Dabei erfolgt die Ablenkung der Funkwelle stets in Richtung zur Küste hin. Nur innerhalb eines Winkels von 30° links und rechts zur Senkrechten auf die Küstenlinie kann mit einer korrekten Peilanzeige gerechnet werden (Abb.7).

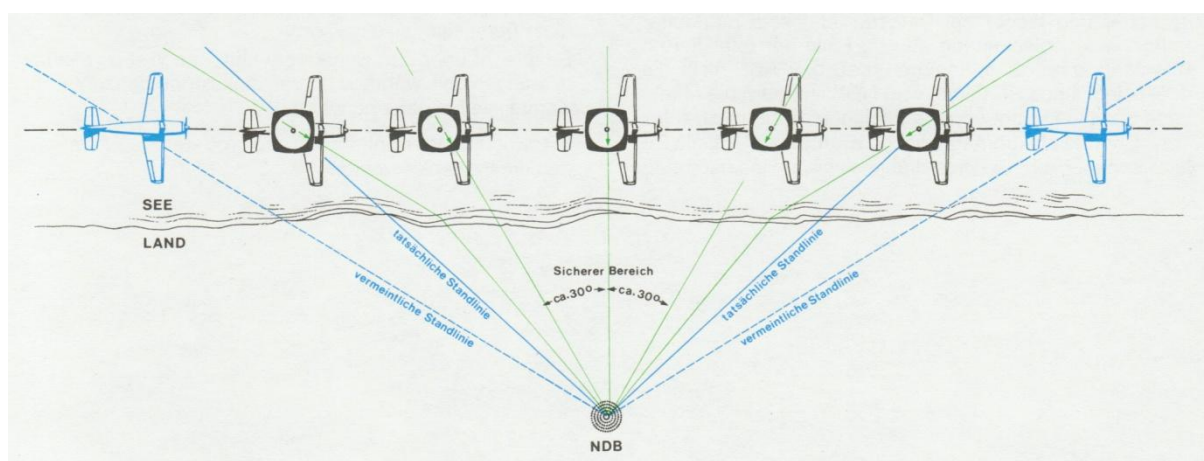


Abb. 7 Küsteneffekt

Mit Zunahme der Flughöhe wird dieser Küsten-Effekt geringer. Ebenso ist die Strahlenbrechung um so geringer, je näher das NDB an der Küste liegt.

Dieser Text wurde
heruntergeladen von der Seite
www.PilotUndRecht.de

Das Automatische Funkpeilgerät (Automatic Direction Finder, ADF)

ADF-Eigenpeilanlagen waren mit die ersten Funknavigationssysteme der Luftfahrt. Mit der Neuentwicklung anderer Peilgeräte und wegen vieler Unzulänglichkeiten und Störanfälligkeiten rückte die Nutzung des "Radio-Kompaß" bis in die 70er-Jahre mehr und mehr in den Hintergrund. Man dachte bereits daran, diese Funk-Navigationshilfen ganz abzuschaffen, bis mit der technischen Fortentwicklung der Bauelemente der Rechnertechnik die Anlagen NDB-ADF eine Renaissance erlebten und heute wieder als vollwertiger Teil im Radio-Navigationssystem gelten.

1. Frequenzbereich des ADF-Systems

Die Internationale Zivile Luftfahrt-Organisation (ICAO) hat für die ungerichteten Funkfeuer den Frequenzbereich 200 - 1750 kHz festgelegt. So werden die meisten ADF-Anlagen für dieses Frequenzspektrum angeboten und geben daher die Möglichkeit, auch Rundfunksender im Lang- und Mittelwellenbereich abzuhören und für Peilzwecke zu nutzen.

Bei der Verwendung derartiger Rundfunksender für navigatorische Zwecke ist jedoch äußerste Vorsicht geboten, da diese Sender oftmals an verschiedenen Orten auf gleicher Frequenz arbeiten. Ohne die genaue Kenntnis des augenblicklichen Senderstandortes können Rundfunksender zu Peilzwecken nicht genutzt werden.

2. Nutzung der ADF-Anlage

Die ADF-Anlage liefert über das Anzeigegerät

- a) Unterstützung und Zusatzinformation zu anderen Navigationsausrüstungen (VOR, DME, COMM);
- b) Unterstützung bei der Flugwegkontrolle und Positionsbestimmung;
- c) navigatorische Hilfe in Flughöhen und Lufträumen, in denen die UKW (VHF)-Ausrüstung nicht genutzt werden kann;
- d) zusätzliche Information bei Instrumenten-Anflügen. Gründliches Wissen über die ADF-Anlagen und die Fähigkeiten des Flugzeugführers bei der Beurteilung der Anzeigen und bei der Durchführung der Verfahren (procedures) sind für den IFR-Piloten unerlässlich und bieten dem VFR-Piloten etliche Vorteile.

3. Allgemeine Beschreibung des ADF-Systems

Die komplette Funk-Peilanlage des ADF besteht aus

- a) Antennenanlage
- b) Empfänger
- c) Anzeigegerät
- d) Bedienungsgerät

3.1 Antennenanlage

Das Antennensystem besteht aus einer Rahmenantenne (LOOP) und einer Hilfsantenne (SENSE).

Bei Geräten älterer Bauart ist die Rahmenantenne von relativ großer Abmessung, und die Hilfsantenne besteht aus einem einfachen Draht, der außerhalb – oft auch innerhalb – der Flugzeugzelle angebracht ist. In modernen Geräten sind die Antennenbauteile mehr und mehr verkleinert (kleinere Spulen um Ferritkerne) und technisch verbessert worden (z. B. Ferritkreuz-Rahmenantenne und Goniometer-Drehmechanik im Anzeigegerät).

In der Rahmenantenne (H-Feld-Antenne) wird, je nach Stellung dieser Antenne, durch das vom Sender ausgehende elektromagnetische Feld von dessen magnetischem Anteil Strom induziert. Das MAXIMUM des Stromes ist dann garantiert, wenn die Rahmenebene parallel zur Richtung zum Sender steht (Abb. 8a).

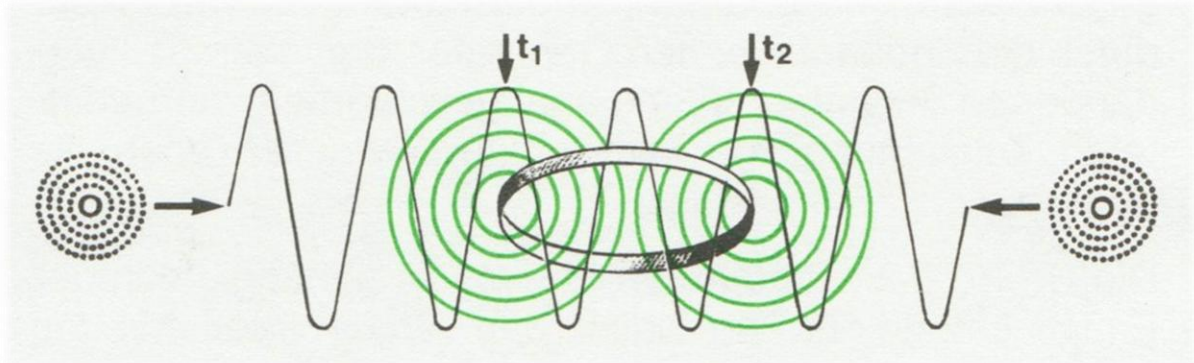


Abb. 8a Stellung der Rahmenantenne Empfangsdiagramm MAXIMUM

Liegt die Rahmenebene quer zur Richtung zum Sender, ist der induzierte Strom gleich Null, erreicht also den Wert MINIMUM (Abb. 8b).

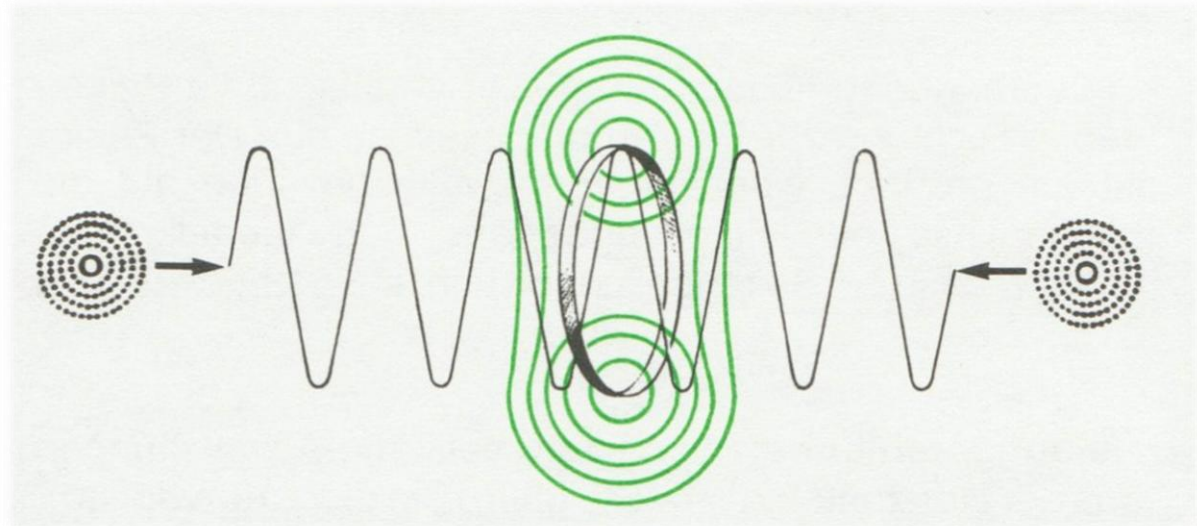


Abb. 8b Stellung der Rahmenantenne Empfangsdiagramm MINIMUM

Dies rührt daher, daß in Stellung MAXIMUM im dem Sender zugekehrten Rahmenteil die Elektronen bereits in Bewegung sind, bevor die Funkwelle dies im abgekehrten Rahmenteil zeitverzögert auslöst, mit der Folge, daß am Antennenende Spannungsunterschiede auftreten; Höchstwert der induzierten Spannung.

Steht nun die Rahmenantenne in der vorab beschriebenen MINIMUM-Stellung, so wird der gesamte Rahmen in gleichem Maße durch die Funkwelle beeinflusst und es treten keine Spannungsunterschiede auf; induzierte Spannung innerhalb der Antenne gleich NULL.

Der Wechsel zwischen MAXIMUM und MINIMUM tritt also bei jeder Drehung der LOOP-Antenne um jeweils 90 auf. Oder anders ausgedrückt - bei jeweils zwei um 180 verdrehten Stellungen der Antenne erfolgt einmal minimaler, zum anderen dann maximaler Wert der Spannung. Beide Stellungen der Rahmenantenne würden sich eignen, um die Richtung VOM/ZUM Sender festzustellen.

Aber bei der Drehung der Antenne aus dem MAXIMUM heraus geht die Spannungsänderung nur sehr langsam vor sich, während die Spannungsänderung beim Wegdrehen von der MINIMUM-Stellung sehr rasch eintritt. Die Richtung läßt sich also im Minimumbereich am genauesten peilen.

Da, wie vorab erwähnt, gleiche Meßwerte bei der Drehung der Antenne um 180° erzielt werden, kann der Empfänger nicht unterscheiden, ob die Funkwelle von vorne oder von hinten auf die LOOP-Antenne trifft. Zur Definition der Herkunftsrichtung der Funkwelle bedient man sich zusätzlich der Spannung, die von der Hilfsantenne (E-Feld-Antenne) aus dem elektrischen Anteil des elektromagnetischen Feldes geliefert wird.

Erst durch Überlagerung der Feldgrößen beider Antennen mit 90° Phasenverschiebung läßt sich eine eindeutige Ausbreitungsrichtung der Funkwelle feststellen.

Dem achtförmigen Empfangsdiagramm der Rahmenantenne wird das kreisförmige Empfangsdiagramm der Hilfsantenne aufgelegt. Als Resultierende aus der Mischung dieser Antennensignale ergibt sich die richtungsweisende Diagrammform einer Herzkurve (Kardioid), die nunmehr ein MINIMUM aufweist, das gegenüber dem Minimum der Rahmenantenne um

90° verschoben ist (Abb. 9). Eine Synchronisationseinrichtung (Goniometer/Stellmotor) verdreht die Rahmenantenne so, daß das aus beiden Antennen kombinierte Signal das MINIMUM erreicht. Die Anzeigenadel am Radiokompaß ist mit dem Stellmotor gekoppelt, so daß ihre Stellung dem festgestellten Empfangsminimum des Antennensystems entspricht.

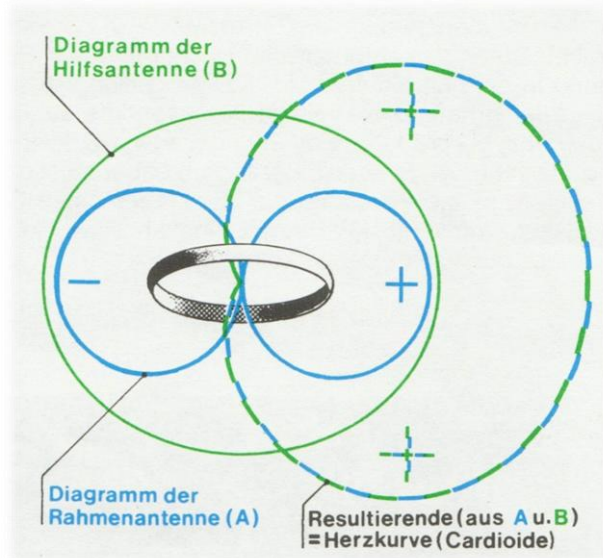


Abb. 9 Empfangsdiagramm des ADF-Antennensystems (LOOP + SENSE)

3.2 Störungen und Peilfehler

Bereits in unserer fsm 2/90 haben wir auf die Problematik schlechter Antennenanlagen hingewiesen. Optimale Empfangsleistung kann nur ein Antennensystem bringen, das technisch richtig ausgelegt und korrekt am richtigen Ort am Flugzeug montiert ist. Leistungseinbußen treten auf bei Korrosion, Verbiegen, loser Befestigung (Vibration), Abschattung durch Bauteile des Luftfahrzeuges und gegenseitiger Beeinflussung der Antennen untereinander.

Die Peilfehler, welche durch atmosphärische Störungen und Wegeablenkung über dem Boden auftreten können, im vorangegangenen Kapitel beschrieben, stehen nicht direkt im Zusammenhang mit der Funktion der Antennenanlage. Wohl aber die Fehler, die durch Feldverzerrungen in der engen Umgebung der Peilantenne entstehen und jene, die durch die Wegeveränderung der Bezugsachse des Antennensystems in verschiedenen Fluglagen hervorgerufen werden.

Fehlpeilungen bis zu $+1/-5^\circ$, zusammengesetzt aus Fehlern bei der Abstrahlung vom Sender und dem ADF-geräteeigenen Fehler sind durchaus normal und müssen toleriert werden. Es ist daher für die Praxis auch unnötig, auf Zeigerschwankungen innerhalb dieses Bereichs permanent korrigierend zu reagieren. Bei Abweichungen über 5° vom Sollwert hinaus ist aber eine unverzügliche Kurskorrektur erforderlich, will man einer Peilung genau folgen.

Bei bestimmten Fluglagen und Winkeln zwischen Flugzeuggängsachse und Welleneinfallrichtung können als weitere Fehler die

- Viertelkreis-Fehler (Quadrantel Errors) und
- Neigungs-Fehler (Dip Errors) auftreten.

Quadrantenfehler haben ihre Ursache in der Ablenkung der Funkwellen an der Außenhaut des Flugzeuges zusammen mit dem Resultat aus der Mischung reflektierter Wellen mit den neuankommenden. Hierunter fällt auch noch die Ablenkung, die die Funkwellen durch das flugzeugeigene Magnetfeld erfahren. Impulsstörungen, verursacht durch die Zündanlage, den Generator, den eventuell vorhandenen Stellmotoren und unabgeschirmten, störbehafteten Zuleitungen von Invertern beeinflussen ebenfalls negativ.

Die Größe des Quadranten-Fehlers ist abhängig von der Einfallrichtung der Funkwellen und von der Intensität des flugzeugeigenen Magnetfeldes. Dieser Fehler kann, soweit es sich um feststehende Fehlerquellen und Fehlergrößen handelt, mechanisch und/oder elektrisch kompensiert werden. Restfehlerwerte von $\pm 1^\circ$ bis 2° kann man im allgemeinen vernachlässigen.

Ein vorhandener Quadrantenfehler verfälscht die Peilungen in Richtung zur Flugzeuglängsachse hin. Der Fehler ist am größten, wenn die Funkwelle bezogen auf die Längsachse des Flugzeuges aus den Viertelkreisen kommt – also bei Seitenpeilungen von 045° , 135° , 225° und 315° .

Neigungsfehler treten im Fluge bei Lage-Abweichungen aus der Horizontalen auf (Steigflug, Sinkflug, Kurvenflug). Führt das Flugzeug nur eine Neigung der Längsachse (PITCH) oder der Querachse (ROLL) aus, ist die Auswirkung gleich der des Quadrantenfehlers in den Viertelkreisrichtungen.

Durch das "Neigen" des Flugzeuges, z. B. in der Kurve, wird die Rahmenantenne aus ihrer MINIMUM-Stellung gebracht. Durch das automatische Nachdrehen der Peilantenne in die nun aktuelle MINIMUM-Position wird die Anzeige fehlerhaft. Dieser Effekt ist besonders stark in Sendernähe; bei größeren Entfernungen vom NDB verringert sich der Fehler. Für den Flugzeugführer bedeutet das, daß er notwendige Peilungen nur im waagerechten Geradeausflug vornimmt. Man kennt eine ähnliche Handlungsweise auch beim Magnetkompaß.

3.3 ADF-Bediengerät mit Empfänger

Die technische Entwicklung hat die Arbeitsbasis der ADF-Anlagen und damit verbunden auch die Bauweisen der Antennen, Empfänger und Bediengeräte stark verändert. Denkt man noch an die "alten" Geräte, bei denen Frequenzbänder vorgeschaltet werden mußten und die genaue Frequenz über ein Tuning-Anzeigegerät abgestimmt wurde, so wird bei Betrachtung moderner Geräte die Fortentwicklung, vor allem unter dem Aspekt der Bedienfreundlichkeit, offensichtlich.

Auch im Innenleben des Empfängers gibt es Verbesserungen. Das bereits erwähnte Goniometer, die Kombination aus Feld- und Suchspule (wobei die drehbare Außenantenne ersetzt wird) und die Möglichkeit zur digitalen Rasterung der Frequenzen vereinfachen die Bedienung des Gerätes und dienen der Sicherheit dadurch, daß einige Bedienfehler vermieden werden können.

Die Vielzahl der angebotenen Radiokompaßanlagen macht es erforderlich, daß die entsprechenden Gerätebeschreibungen eingehend studiert werden müssen. Das besondere Augenmerk richte man hierbei auf die Bedienungsanweisung.

Wir meinen, daß beim Vertrautmachen mit einem anderen Flugzeug und bei der Einweisung auf ein neues Muster zum Erwerb der entsprechenden Berechtigung neben dem reinen fliegerischen Training auch das Einüben in die Avionikrüstung ein MUSS ist. Denken Sie nur

an die vielfältig unterschiedlichen, bei nachträglichen Funk-Zurüstungen oft verwirrenden, Aufschaltanlagen (Abb. 10). Und seien Sie einmal ehrlich, wie steht es um das Wissen über die Existenz eines Avionik-Notschalters, wenn die Funkausrüstung über einen Zentralschalter (Avionik-MasterSwitch) ein- und ausschaltbar ist?

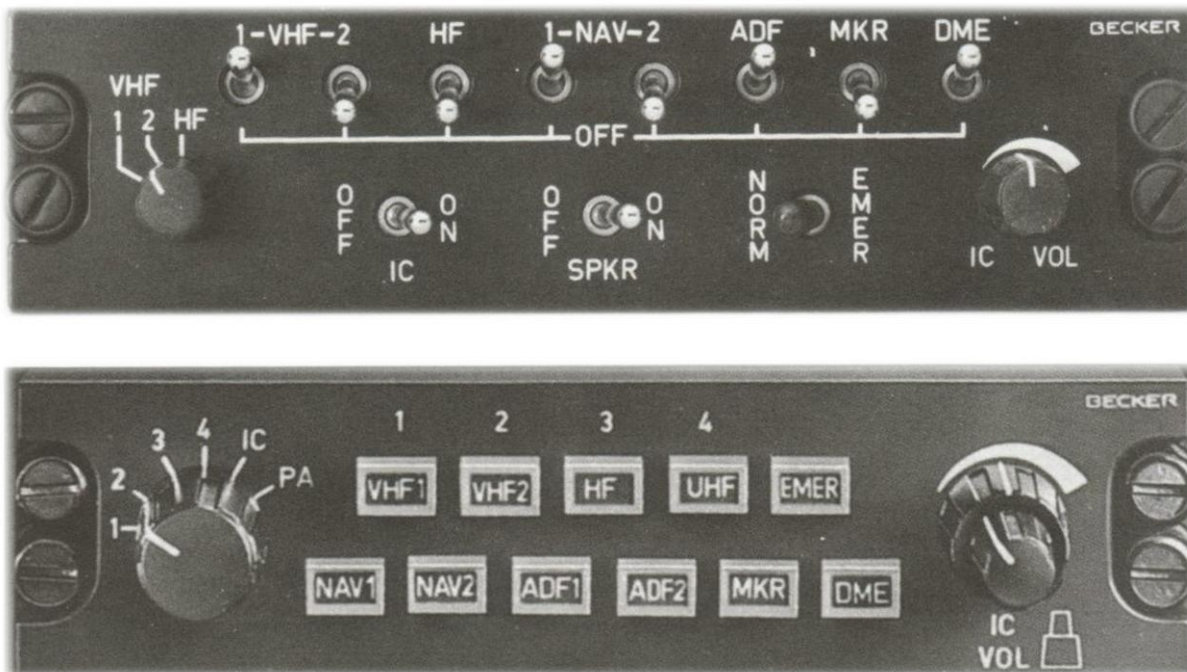


Abb. 10 Aufschaltanlagen

Das ADF-Bediengerät (control box) weist mindestens drei Bedienelemente auf (Abb. 11):

A =EIN/AUS-Schalter mit Betriebsarten-Schalter (function switch)

B =Frequenzwahl-Schalter (frequency selector)

C =Lautstärkenregler (volume control)

Manche Geräte sind noch mit einer separaten Testeinrichtung ausgestattet.

A Neben der EIN- und AUS-Schaltmöglichkeit bewirken die Rastungen auf die Stellungen ANT/REC, ADF und BFO ganz bestimmte Funktionen.

ANT/REC Das Gerät ist nur auf Empfang über die Hilfsantenne geschaltet. Es kann keine Peilung erfolgen. Oft auch kombiniert mit System-Testfunktion.

Im Prinzip kann man bei dieser Stellung nur "Radio hören", das heißt, die Kennung des NDB's empfangen.

ADF Hierbei wird zur o. a. ANT-Schaltung noch der Empfang über die Rahmenantenne aufgelegt. Bei älteren Geräten auch mit COMP bezeichnet, liefert der Radiokompaß dann die automatische Peilanzzeige.

- BFO** Bei älteren Geräten auch mit CW gekennzeichnet. Beim Empfang unmodulierter Funkwellen (AO/A1) wird ein Schwingungserzeuger (Überlagerungssoszillator = **Beat Frequency Oscillator**) zugeschaltet, der der Trägerwelle somit einen hörbaren Ton aufprägt.
- TEST** Wenn nicht im Betriebsartenwahlschalter kombiniert mit der Stellung ANT/REC, als separater Drucktastenschalter ausgelegt, zur Prüfung der einwandfreien Funktion der Anlage vorgesehen. Die Rahmenantenne oder das Goniometer im Anzeigergerät werden aus ihrer augenblicklichen Lage gedreht. Nach Rückschaltung auf ADF oder Loslassen der Taste muß sich die Anzeigenadel am Radiokompaß wieder auf den Sender ausrichten.

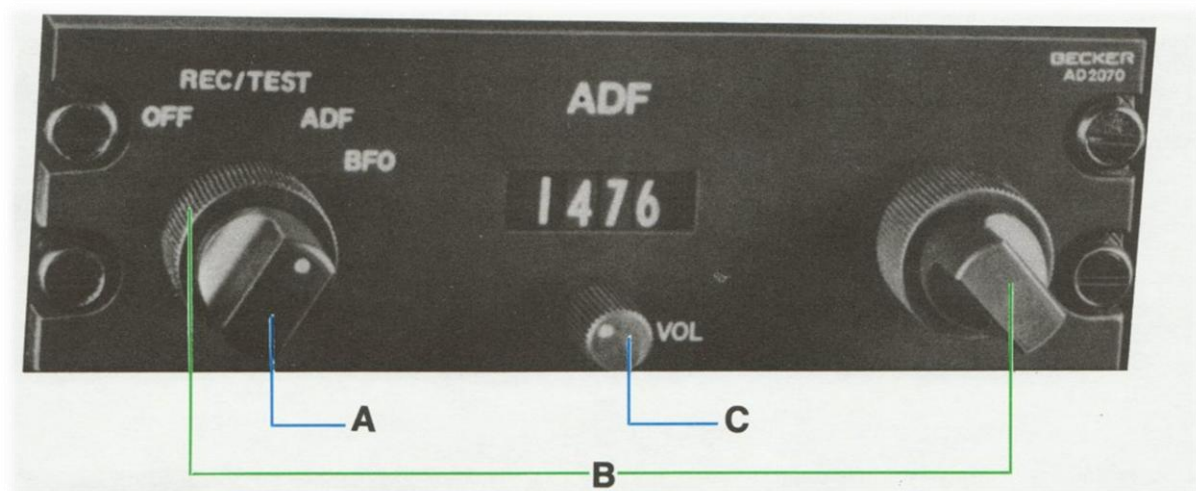


Abb. 11 ADF-Bediengerät

B Mit dem Frequenzwahlschalter wird der Empfänger auf die gewünschte Frequenz abgestimmt. Die digitale Anzeige ist in ihrer Einstellung der 1er-, 10er- und 100er-Teilung mit jeweils einzelnen Drehschaltern zu wählen.

Bei älteren Geräten, bei denen die Frequenz über eine Abstimmmanzeige eingestellt werden muß, ist ein weiterer Schalter eingerichtet, mit dem das entsprechende Frequenzband vorgewählt werden muß. Hierbei sind drei Einstellungen üblich: 200 – 400 kHz, 400 – 800 kHz und 800 – 1700 kHz. Die Frequenzwahl innerhalb der Bereiche erfolgt kontinuierlich mit einem Drehknopf.

C Der Lautstärkereger wählt stufenlos die Lautstärke des Audiosignals, das vom Empfänger zum Lautsprecher oder Kopfhörer geht.

Moderne Geräte sind anstelle des Drehknopf-Bedienschalters mit Drucktasten-Automatik und oft mit der Möglichkeit der Frequenz-Vorwahl ausgestattet (Abb. 12).

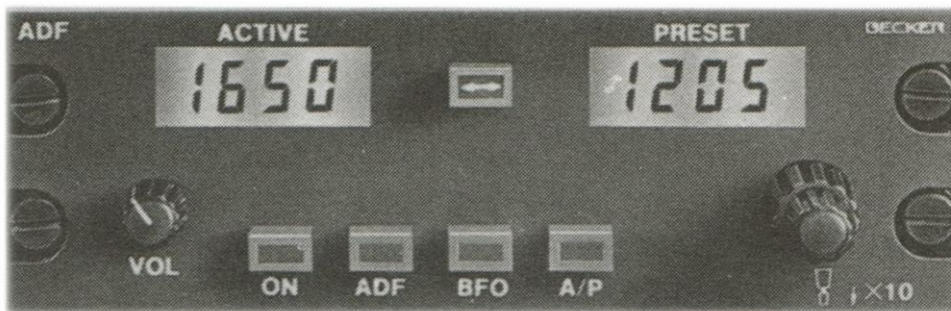


Abb. 12 ADF-Bediengerät neuer Technologie

3.4 ADF-Anzeigegerät, Radiokompaß

Verschiedene Anzeigegeräte können zusammen mit dem ADF-System benutzt werden. Alle zeigen eine Peilung (Bearing) bezogen auf den im Bediengerät eingestellten Sender (NDB). Die Spitze der Anzeigenadel deutet, über einer Gradrose drehend, in die Richtung zum Sender.

Im wesentlichen sind drei Anzeigegeräte zu unterscheiden. Ältere Ausführungen besitzen eine feststehende 360-Gradskala. Dabei steht die 07360-Marke in oberster Position; die gedachte Linie von 180 zu 00 entspricht der Lage der Flugzeuggängsachse. Bei diesem Gerät handelt es sich um das RBI (Relative Bearing Indicator). Die unter der Nadelspitze abzulesende Gradzahl repräsentiert eine relative Peilung (Abb. 13).



Abb. 13 RBI; Relative Bearing Indicator

Bei einer anderen, verbesserten Geräteausführung läßt sich die Gradrose mit einem Verstellknopf, mit HDG (Heading) bezeichnet, verdrehen, so daß sich ein bestimmter Kurs unter die oben befindliche feste Kursmarke (Heading Index) einstellen läßt. Bei diesem Anzeigegerät, dem MDI (Moving Dial Indicator), ergibt sich der Vorteil, daß direkte Peilungen abgelesen werden können (Abb. 14).



Abb. 14 MDI; Moving Dial Indicator

Wird die Gradrose des Anzeigergerätes durch einen Fernkompaß automatisch nachgeführt spricht man vom RMI (Radio Magnetic Indicator). In den meisten Fällen sind diese Geräte mit zwei Anzeigenadeln ausgerüstet, wobei sich dann zwei ADF-Empfänger oder zwei Empfänger für UKW-Drehfunkfeuer (VOR) oder ein ADF und ein VOR aufschalten lassen. Auch diese Anzeigen liefern dann direkte Peilungen bezogen auf die eingestellten Sender (Abb. 15).



Abb. 15 RMI; Radio Magnetic Indicator

Kurse, Peilungen, Standlinien

Auch für die Radio-Navigation hat die ICAO Standardbegriffe für bestimmte Peilungen und Standlinien festgelegt. Um diese Bezeichnungen zu verstehen ist die Kenntnis der Kursbegriffe und die Fähigkeit zu Kursumrechnungen wichtige Voraussetzung. Diesbezüglich erinnern wir an unsere fsm 2/86 "Kursbuch".

Peilungen werden, wie Kurse auch, in Winkeln ausgedrückt. Genannt wird hierbei ein Winkel, der sich zwischen zwei Bezugsrichtungen darstellt. Diese können sein,

- a) die Richtung rechtweisend Nord (TN),
- b) die Richtung mißweisend Nord (MN),
- c) die Richtung der Flugzeuglängsachse und
- d) die Richtung der Standlinie (LOP).

Die Standlinie ist immer die Verbindungslinie von der Station (Funkfeuer oder Peiler) zur augenblicklichen Position des Luftfahrzeuges.

Je nachdem, ob die Peilung (Bearing) von rechtweisend Nord (TN) oder magnetisch Nord (MN) als Ausgangslinie betrachtet wird, spricht man von rechtweisender Peilung (TB) oder von mißweisender Peilung (MB).

In der Radio-Navigation spielt bei der Winkelbegrenzung als zweite Bezugsrichtung die Standlinie (LOP) eine wichtige Rolle, da sie ja die Richtung ZU oder VON der Station darstellt.

Betrachten wir nun die sich ergebenden Winkel im einzelnen und wenden wir uns zuerst den rechtweisenden Peilungen (TB) zu, so lässt sich folgendes, auch im Vergleich mit Abb. 16 ableiten und die übliche Q-Gruppen-Bezeichnung für Peilungen zuordnen:

Das Luftfahrzeug befindet sich südwestlich (225°) vom NDB.

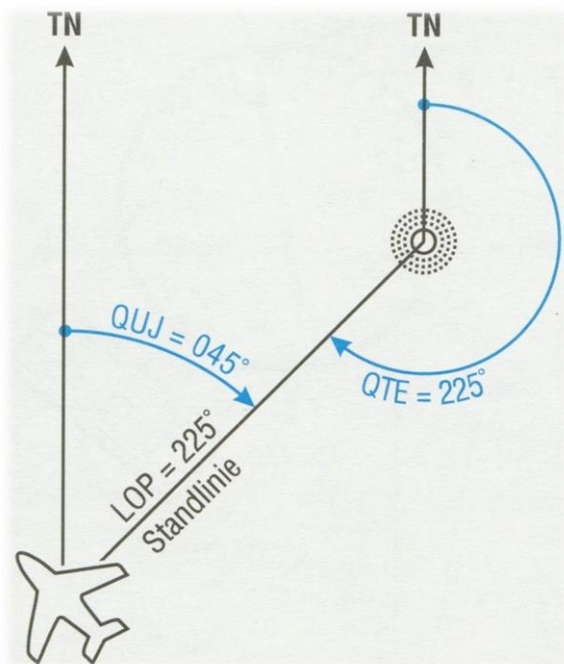


Abb. 16

a) Der Winkel zwischen dem geographischen Meridian (TN) der Position des Flugzeuges und der Verbindungslinie Flugzeug-NDB ist die rechtweisende Peilung ZUR Station (NDB) = QUJ.

b) Der Winkel zwischen dem geographischen Meridian (TN) der Station (NDB) und der Verbindungslinie NDB-Flugzeug ist die rechtweisende Peilung VON der Station = OTE (= LOP).

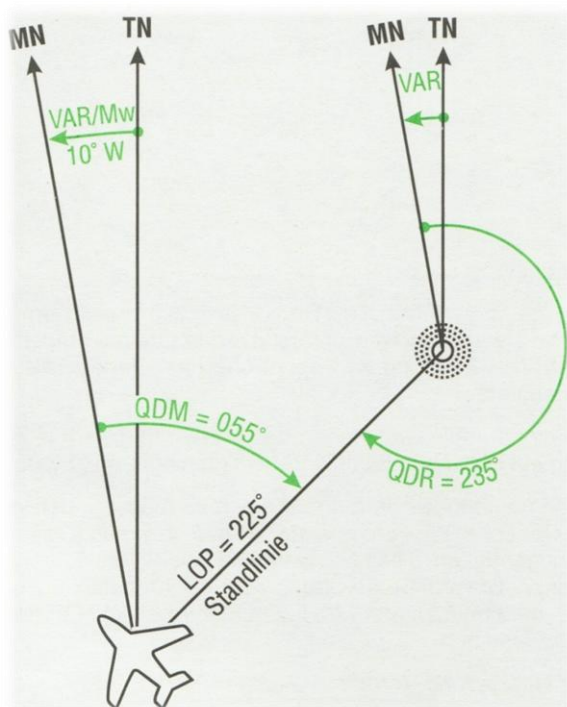


Abb. 17

Um mißweisende Peilungen (MB) zu benennen gilt folgende Zuordnung (Abb. 17):

c) Der Winkel zwischen dem magnetischen Meridian (MN) der Position des Flugzeuges und der Verbindungslinie Flugzeug-NDB ist die mißweisende Richtung ZUR Station (NDB) = QDM.

d) Der Winkel zwischen dem magnetischen Meridian (MN) der Station (NDB) und der Verbindungslinie NDB-Flugzeug ist die mißweisende Peilung VON der Station = QDR.

Peilungen mit dem ADF

Bei dem ADF-Anzeigergerät mit fester 360°-Skala liegt, wie vorab bereits erwähnt, die gedachte Linie 180° – 360° immer parallel zur Flugzeuglängsachse. Die Spitze der Anzeigennadel zeigt, parallel zur LOP, zum eingestellten NDB. Der angezeigte Winkel von 0° (Flugzeuglängsachse) immer im Uhrzeigersinn zur Nadelspitze hin abgelesen kann also nur eine **Relative Peilung** (RB) darstellen. Diese RB, auch Funkseitenpeilung genannt, ist eine Peilung in Bezug auf den Steuerkurs. Da aber in der Navigation zur Orientierung über der Erdoberfläche tatsächliche Peilwerte (überwiegend QDM und QDR) erforderlich sind, müssen diese ausgehend vom mißweisenden Steuerkurs (MH) über die Relative Peilung (RB) errechnet werden. Die einfache Berechnung sieht an einem Beispiel so aus (Abb. 18):

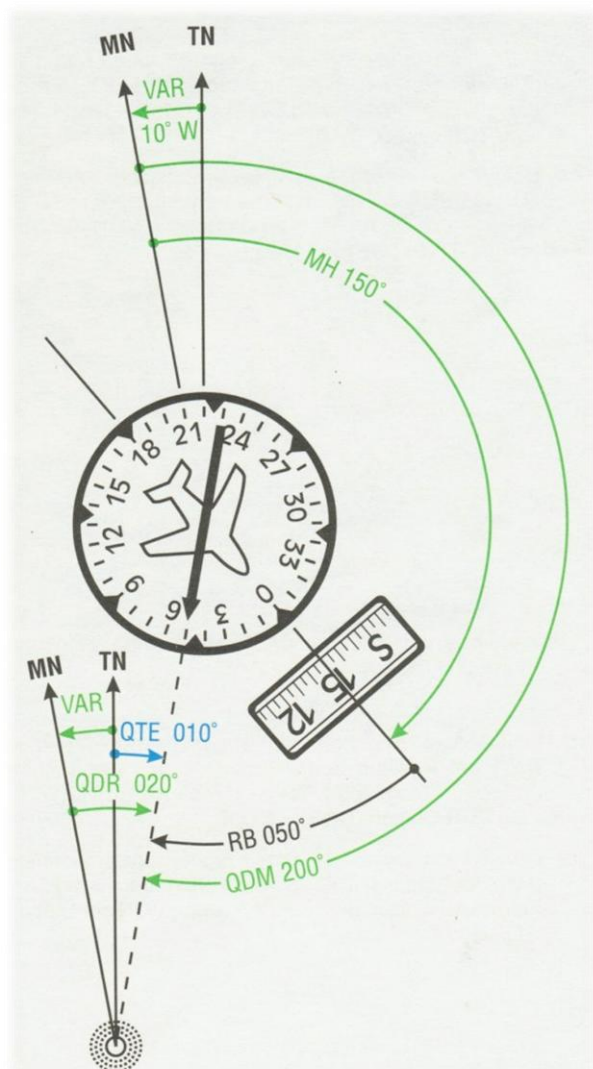


Abb. 18 Anzeige auf dem RBI

Ein Flugzeug hält einen mwSK (MH) von 150°, die RB zum Funkfeuer (NDB) beträgt 050°.

$$\text{MH } 150^\circ + \text{RB } 050^\circ = \text{QDM } 200^\circ$$

und weiter...

$$\text{QDM } 200^\circ - 180^\circ = \text{QDR } 020^\circ$$

Sind zwecks Eintragung in die "geographische" Darstellung der Luftfahrtkarte zur Standortbestimmung rechtweisende Peilungen gefragt, ist die Ortsmißweisung herauszurechnen.

Zu unserem Beispiel bei einer angenommenen Ortsmißweisung (VAR) 10° W:

$$\text{QDR } 020^\circ - \text{VAR } 10^\circ = \text{QTE } 010^\circ$$

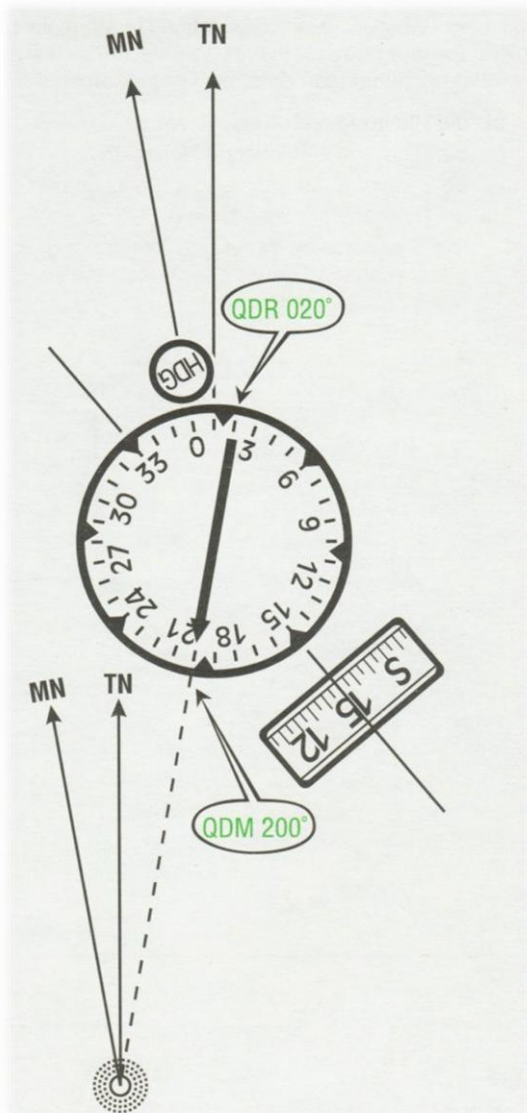


Abb. 19 Anzeige auf dem MDI

Bei den Anzeigegeräten MDI mit eingedrehtem mwSK (MH) unter die Index-Marke und bei dem RMI mit automatisch unter die Index-Marke geführtem MH kann direkt an der Nadelspitze das QDM und am Nadelende das QDR abgelesen werden (Abb.19)

Auf ein Wort noch ...

Wie bereits erwähnt ist die Radio-Navigation für die terrestrische Navigation eine unterstützende Orientierungshilfe beim VFR-Flug und im wesentlichen als Ortungshilfe zu betrachten.

In keinem Falle wird wegen der Anwendung der Funkortung ein Flug nach Sichtflugregeln zu einem IFR-Flug.

Auch glauben wir darauf hinweisen zu müssen, daß das theoretische Wissen aus der Radio-Navigation alleine nicht genügt, um diese Navigationsart sicher anwenden zu können. Die praktische Übung der Verfahren im Flugzeug oder im Simulator erst wird Ihnen Sicherheit und Fähigkeit dazu verleihen.

Die Navigations-Verfahren mit dem "Radio-Kompaß" sollen dann Inhalt der nächsten Flugsicherheitsmitteilung sein.