

ORTUNG UND NAVIGATION IN DER LUFTFAHRT

Andi Franke, Kai Grogger, Dalibor Iljkić, Steven Kroiher
TM11
02.11.2011

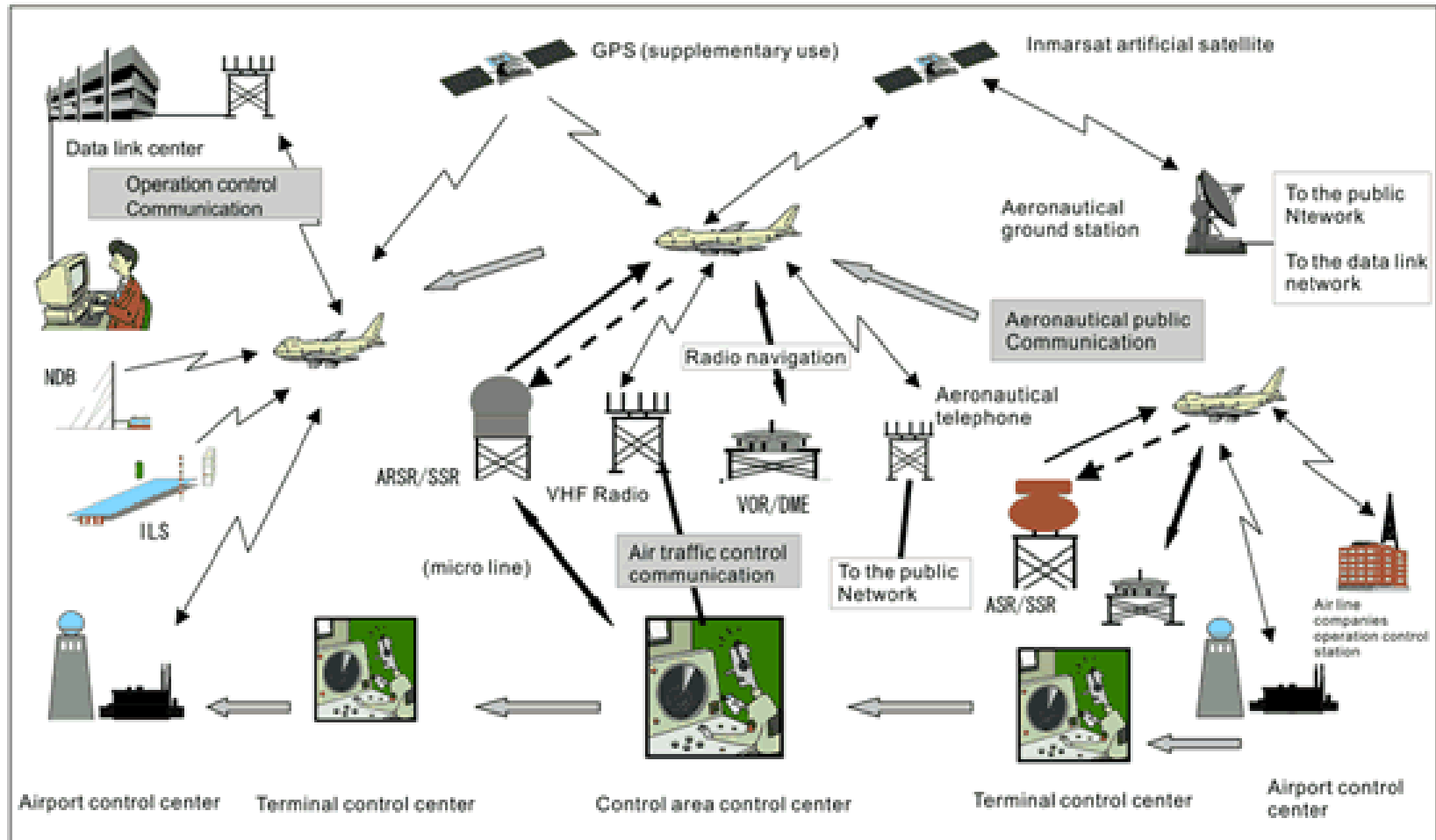
Gliederung

- Einführung in das Thema
- Geschichtlicher Umriss
- Zweck der Ortung und Navigation in der Luftfahrt
- Arten der Flugnavigation
- Systeme für die Flugnavigation
- Zukunftsaussichten
- Quellen

Luftfahrt Navigation [I]

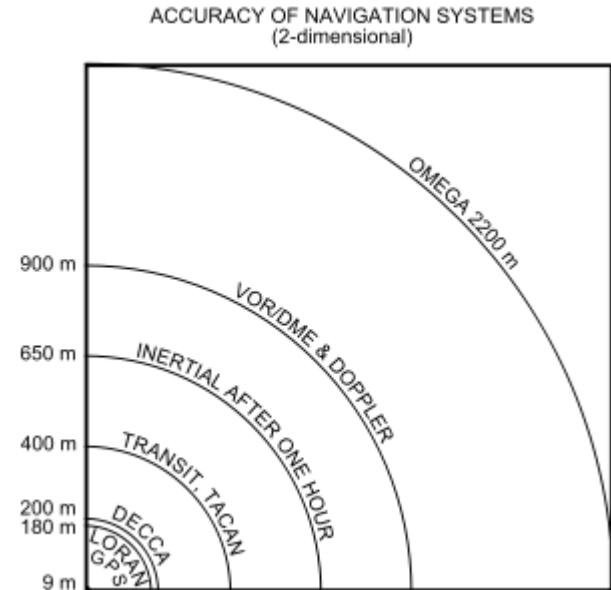
- Maßnahmen, Vorgänge und Verfahren um ein Luftfahrzeug von einem Ort zu seinem Ziel festzulegen
- Flugplan (Steuerkurs)
- Während des Fluges:
 - Standort (position)
 - Verbleibende Restflugstrecke
 - Geschwindigkeit über Grund (ground speed)
 - Verbleibende Restflugzeit
- Mehrere Navigationsverfahren
- Höchste Anforderungen an die Anflugs- und Landephase

Luftfahrt Navigation [II]



Navigationsverfahren [I]

- Gute Piloten benutzen alle möglichen Verfahren
- Viele Luftfahrzeuge sind heutzutage sehr gut ausgerüstet (Automatic Direction Finder (ADF), Inertial Navigation Compasses, Radar Navigation, VHF Omnidirectional Range (VOR) and GNSS)



Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/88/Accuracy_of_Navigation_Systems.svg/300px-Accuracy_of_Navigation_Systems.svg .png

Geschichte der Navigation in der Luftfahrt [I]

- 1920 > die Piloten navigierten das Flugzeug ohne Geräte (VFR)
- 1920
 - Einfache Geräte (altimeter, compass)
 - The Artificial Horizont (Gyroscope principles)
 - Radio Navigation
 - Erster Sender-Empfänger
 - Morsecode Kommunikation
 - Erster Flughafen Kontrollturm (Cleveland Hopkins International Airport)

Geschichte der Navigation in der Luftfahrt [II]

- 1930
 - Die „Basic Six“: Fluglageanzeiger, Variometer, Fahrtmesser, Turn- and Bank-Koordinator, Kursanzeiger und Höhenmesser
 - Low frequency radio range (LFR)
 - Ultrakurzwellen-Landefunkfeuer – Zeitstrahl (LFF)
- 1940
 - Very High Frequency Omnidirectional Radio Range (VOR)
 - Instrument Landing System (ILS)
 - Radar
 - Ground-Controlled Approach (GCA)
 - Inertial Navigation System (INS) und Inertial Guidance System (IGS)

Geschichte der Navigation in der Luftfahrt [III]

- 1950
 - Doppler Radar
 - Distance Measuring Equipment (DME)
- 1970
 - Global Navigation Satellite System (GNSS / GPS)
 - Emergency Locator Transmitter (ELT)

Zweck der Ortung und Navigation in der Luftfahrt [I]

- Flugzeuge fliegen schnell
- Die Flugzeuge können in der Luft nicht anhalten
- Limitierte Menge des Treibstoffs
- Es gibt keine Rettungsaktion während des Fluges
- Unfälle sind in den meisten Fällen fatal

Arten der Flugnavigation

- Visual Flight Rules (VFR)
- Instrument Flight Rules (IFR)
- Koppelnavigation (dead reckoning navigation)
- Barometrische Navigation (Druckflächennavigation)
- Astronomische Navigation
- Trägheitsnavigation (Inertialnavigation)
- Funknavigation (Radio-Navigation)
- Satellitennavigation (Navstar-GPS, Glonass, Galileo)

Visual Flight Rules (VFR) [I]

- Fliegen nach Sicht
- Orientierung an Landmarken
- Nur bei guten Sichtbedingungen am Tag möglich
- Anwendung: bei Kleinflugzeugen, Luftsportgeräten, militärischen Tiefflügen



Instrument Flight Rules (IFR) [I]

- Instrumentenflug (auch Blindflug)
- Kontrolle erfolgt ausschließlich durch Instrumente oder den Fluglotsen
- Fast bei jedem Wetter und jeder Tages- und Nachtzeit möglich
- Anwendung: bei Verkehrsflugzeugen (alle werden als IFR-Flüge durchgeführt)
- Vor einem IFR-Flug muss Flugsicherung rechtzeitig durch Übermittlung eines Flugplans informiert werden.



Quelle: <http://www.airlink.at/wcms/Clients/122200835040814/Images/%0B46810200830071516.JPG>

Instrument Flight Rules (IFR) [II]

- Flugplan enthält:

Navigationsbezogene Daten	Auf Flug und Flugzeug bezogene Daten
<ul style="list-style-type: none">- Voraussichtliche Abflugs- und Ankunftszeit- Reisegeschwindigkeit- Gewünschte Flugstrecke- Flughöhe- Zielflugplatz und Ausweichplätze	<ul style="list-style-type: none">- Flugzeugtyp und –Kennzeichen- Anzahl der Personen an Bord- Wirbelschleppenkategorie- Höchstflugdauer- Notfunksender- Notfallausrüstung- Flugzeugfarbe

Koppelnavigation (dead reckoning navigation) [I]

- Kurs, Entfernung und Standort werden aus vorhandenen Navigationsdaten rechnerisch ermittelt
- Vor Abflug wird anhand von Karten und Wetterdaten berechnet, wie lange und mit welcher Geschwindigkeit in einem bestimmten Steuerwinkel geflogen werden muss
- War lange Zeit das einzige Verfahren, um über den Weltmeeren zu navigieren
- Position muss zur Kontrolle immer wieder neu bestimmt werden
 - Bei Abweichungen vom errechneten Kurs muss der zu fliegende Kurs neu berechnet werden

Barometrische Navigation (Druckflächennavigation) [I]

- Bestimmung des Standortes mit Hilfe von Druck- und Höhenvergleich und Höhenwindkarten
- Veraltet und heute ungebräuchlich
- Durch Ausnutzung von Höhenwinden wird die kürzeste Flugzeit anstelle der kürzesten Flugstrecke angestrebt
- Diente eigentlich nur bei Langstreckenflügen (über See) der Positionsbestimmung

Anzeigegerät: Höhenmesser

- zeigt die Druckänderung und damit die geschätzte Höhenänderung an



Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c6/Aircraft_altimeter.JPG/200px-Aircraft_altimeter.JPG

Astronomische Navigation [I]

- Prinzip: abhängig von der (bekannten) Zeit ist ein Himmelskörper (Gestirn, Planeten) an verschiedenen Orten in verschiedenen Positionen zu sehen
- Anwendung nur bei klarem Himmel und Nacht
- Nutzung nur noch (äußerst selten) bei Polflügen



Quelle: <http://forums.watchuseek.com/attachments/f275/377323d1295762012-hello-all-my-first-steinhart-question-well-b-uhr-being-used.jpg>

Trägheitsnavigation (Inertialnavigation) [I]

- Verwendung eines Sensorsystems zur Messung von Bewegungen von im Raum frei beweglicher Körper
- Beruht auf der Massenträgheit und Stabilität rotierender Körper (Kreisel) im Raum
- System unabhängig von Ortungssignalen aus der Umgebung
- Auf stabilisierter, vollkardanisch aufgehängten Plattformen sind drei Beschleunigungsmesser und drei Kreisel angebracht
- Weltweit einsetzbar / System wird mit anderen Systemen gekoppelt
- Kommt bei Lang-, Kurz- und Mittelstreckennavigation zum Einsatz

Funknavigation (Radio-Navigation) [I]

- Bestimmung von Standort und Flugweg durch Funknavigationsanlagen am Boden
- Sehr genaues, zuverlässiges, wetterunabhängiges, zu jeder Tageszeit einsetzbares Verfahren
- Pilot kann ohne Sicht nach außen eine genaue Ortsbestimmung durchführen
- Man kann zwischen Peilfunkverfahren und Entfernungsfunkverfahren unterscheiden
- Hoher technischer Aufwand

Funknavigation (Radio-Navigation) [II]

- Peilfunkverfahren:
 - Herkunftsrichtung eines Signals wird bestimmt
 - Instrument zeigt Winkel zwischen Längsachse des Flugzeugs und Richtung der Position des angepeilten Senders an
- Entfernungsfunkverfahren
 - Ermittlung der Entfernung zu einer Sendestation oder Entfernungsdifferenz zwischen zwei Sendestationen
 - Position der Sendestationen sind bekannt → geografische Position lässt sich ableiten

Funknavigation (Radio-Navigation) [III]

Abkürzung	Bedeutung
VOR	VHF Omnidirectional Range (UKW-Drehfunkfeuer)
NDB	Non Directional Beacon (Ungerichtetes Funkfeuer)
ADF	Automatic Direction Finder (Automatischer Funkpeiler)
DME	Distance Measuring Equipment (Entfernungsmessgerät)
TACAN	Tactical Air Navigation (Militärische Variante des DME, auch zivil nutzbar)
ILS	Instrument Landing System (Instrumentenlandesystem)
MLS	Microwave Landing System (Mikrowellenlandesystem)

Satellitennavigation (Navstar-GPS, Glonass, Galileo) [I]

- Navigation mit Hilfe von 24 Satelliten, die permanent GPS-Positions- und Zeitinformationen ausstrahlen
- Im GPS-Empfänger wird aus Laufzeit der Satellitensignale die Entfernung zu (min. 4) Satelliten und damit ein dreidimensionaler Standort errechnet
- Vorteil:
 - Genauigkeit (Abweichung von nur wenigen Metern)
 - Nahezu weltweit verfügbar



Quelle: <http://gpso.de/pic/GPS-Satellit.png>

Satellitennavigation (Navstar-GPS, Glonass, Galileo) [II]

- NAVSTAR-GPS-System gehört dem US-Militär
- GLONASS-System (russisches System) funktioniert ähnlich wie GPS und ist ebenfalls nahezu weltweit verfügbar
- GALILEO ist ein Europäisches System → derzeit noch in der Aufbauphase

Systeme für die Flugnavigation

- NDB (Non-Directional Beacon)
- VOR (VHF Omnidirectional Radio Range)
- DVOR (Doppler VOR)
- ILS (Instrument Landing System)
- MLS (Microwave Landing System)
- Radar (Radio Detection and Ranging)
- INS (Inertial Navigation System)
- GCA (Ground Control Approach)
- DME (Distance Measuring Equipment)
- TACAN (Tactical Air Navigation)
- GPS (Global Positioning System)

Non-Directional Beacon NDB (ungerichtetes Funkfeuer) [I]

- Rundstrahlende Sendeanlagen im Lang- und Mittelwellenbereich die von Nutzern zur Bestimmung der Relativrichtung des Flugzeuges angepeilt werden
- Mittels Kreuzpeilung zweier NDB Sender wird Standort bestimmt
- Frequenzbereich: 200 kHz bis 1750 kHz
- Reichweite: 25 NM bis 100 NM (1 NM = 1852 m)
- Antennenanlage entweder einfacher Sendemast 30 m hoch oder T-Antenne 20 m hoch und 30 m lang
- Verwendung: Streckennavigation, Pflichtmeldepunkte, Standortbestimmung, Zielflugverfahren (homing), Holding, Anflugfeuer (locator beacon)

Non-Directional Beacon NDB (ungerichtetes Funkfeuer) [II]



Quelle: <http://www.airwaysmuseum.com/navaids%20images/BLT%20NDB%2015-3-05%201.jpg>

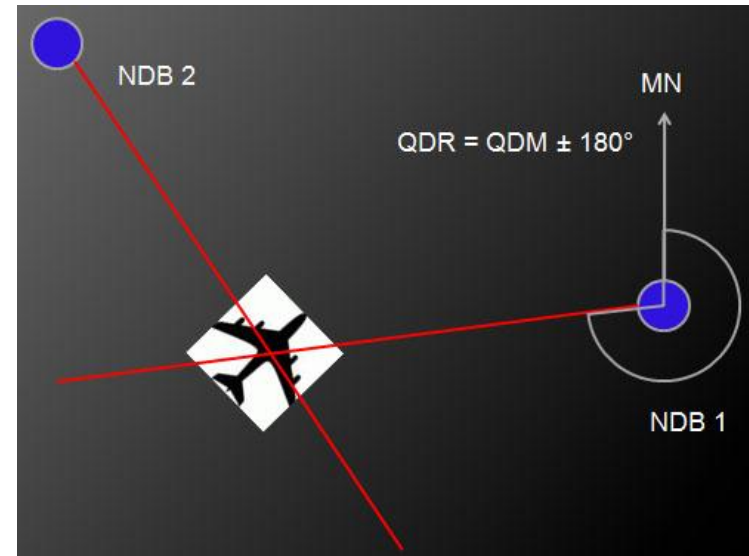
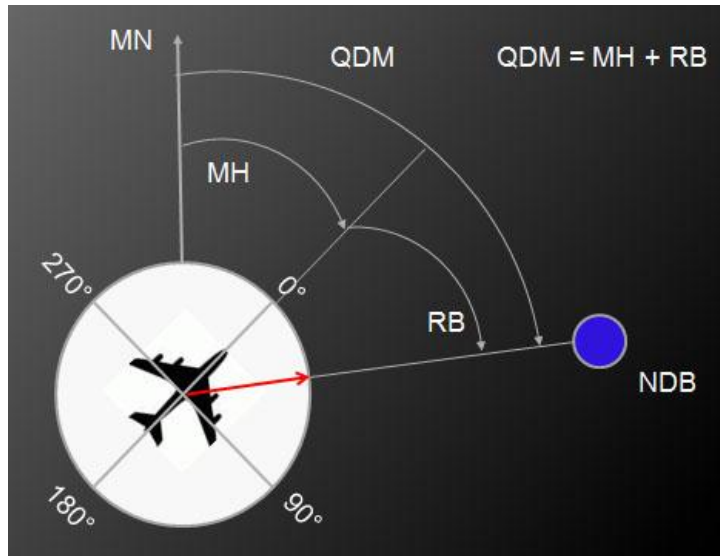


Quelle: Luftkarte

- Kennung: 3 Buchstaben bei Streckenfunkfeuer, 2 Buchstaben bei Anflugfunkfeuer
- Frequenz in kHz
- Kennung wird als Morsecode mit gesendet

Non-Directional Beacon NDB (ungerichtetes Funkfeuer) [III]

- Positionsbestimmung mit NDBs



Quelle: http://www.tm.tfh-wildau.de/~sbruntha/wiki/images/Ndb_position_1.jpg
http://www.tm.tfh-wildau.de/~sbruntha/wiki/images/Ndb_position_2.jpg

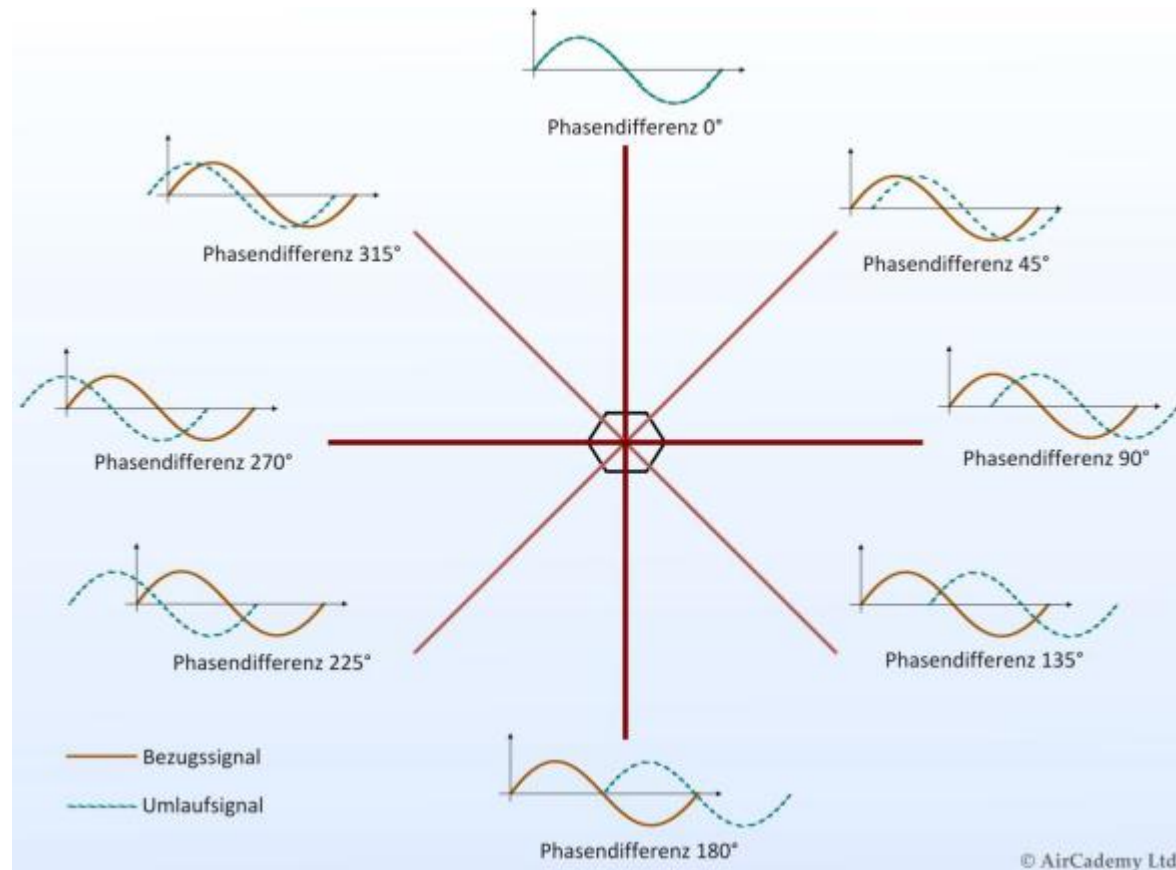
Non-Directional Beacon NDB (ungerichtetes Funkfeuer) [IV]

- Störquellen/Gefahrenquellen
 - Schweigekegel (cone of silence)
 - Elektrischer Einfluss (electrical error)
 - Küstenlinienneneffekt (shoreline error)
 - Bergeffekt/Mehrwegeausbreitung (terrain error, multipath error)
 - Dämmerungseffekt (twilight error)

VHF Omnidirectional Radio Range VOR (UKW Drehfunkfeuer) [I]

- Kurz- und Mittelstreckennavigation über Land
- Am weitesten verbreitete Art der Funknavigation
- Stellen dem Piloten Standlinien (Radiale) von 0° bis 360° vom VOR ausgehend zur Verfügung
- Radiale geben die missweisende Richtung von der VOR zum Flugzeug an
- Sendet zwei Signale aus:
 - Richtungsabhängige 20 Hz Schwingung FM
 - Richtungsunabhängige 30 Hz Schwingung AM
- Richtungsunabhängige Signal entsteht durch elektronisch simulierte Rotation des von der Antenne ausgehenden Funkstrahls mit 30 U/s

VHF Omnidirectional Radio Range VOR (UKW Drehfunkfeuer) [II]



Quelle: CVFR_100_Auszug Abb.3-53

VHF Omnidirectional Radio Range VOR (UKW Drehfunkfeuer) [III]

- Bodenanlage besteht aus:
 - Antennenanlage
 - Ultrakurzwellensender (doppelt)
 - Überwachungsanlage
- Antennenanlage besteht aus:
 - Einer Rundstrahlantenne für das richtungsunabhängige Bezugssignal (Stab- oder Rahmenantenne)
 - Einer Richtstrahlantenne für das richtungsabhängige Signal
- Reichweite: 25 bis 80 NM (Nautische Meilen)
- Frequenzbereich: 108 MHz – 117,95 MHz
- Genaue Navigationssignale nur in flachen, reflektionsfreiem Gelände
- In geographisch ungünstigen Gebieten wird Doppler-VOR eingesetzt

VHF Omnidirectional Radio Range VOR (UKW Drehfunkfeuer) [IV]



Quelle: http://www.afn-nue.de/afn_files/NUB_02.jpg

VHF Omnidirectional Radio Range VOR (UKW Drehfunkfeuer) [V]

- Verwendung:
 - Streckennavigation
 - Pflichtmeldepunkte
 - Navigationshilfe für An- und Abflüge
 - Holding Fix
 - Initial Approach Fix (IAF)
 - Standortbestimmung
- Vorteile gegenüber NDBs:
 - Genauer
 - Wetterunabhängig
 - Kann vom Autopiloten geloggt werden
 - Genaueres homing

VHF Omnidirectional Radio Range VOR (UKW Drehfunkfeuer) [VI]



VOR



VORTAC



VOR DME

Quelle: Luftkarte

- Kennung: 3 Buchstaben
- Frequenz in MHz
- Kennung wird als Morsecode mit gesendet

Doppler-VOR (DVOR) [I]

- Signalstabilisiertes Drehfunkfeuer, das auf Grundlage des Dopplereffektes arbeitet
- Dieser entsteht dadurch, dass bei Abstandsänderung zw. Sender und Empfänger eine Frequenzverschiebung am Empfangsort stattfindet
- Simulierte Antennenrotation von 30 U/s entsteht durch Aufschaltung des Senderausgangssignals auf eine Vielzahl von kreisförmig angeordneten Einzelantennen
- Durch Rotation entsteht im Empfänger wegen des Dopplereffektes eine Frequenzmodulation
- Darin enthaltenen 30 Hz Schwingung ist richtungsabhängig und wird mit dem fest im Raum stehenden Signal verglichen

Doppler-VOR (DVOR) [II]



Quelle: http://www.easypedia.gr/el/images/shared/f/fe/D-VOR_PEK.JPG

Instrument Landing System (ILS) [I]

- Ein bodenbasiertes Landungssystem
- Signal kommt vom Boden
- Am 26. Jan. 1938 wurde erstmals die Praxistauglichkeit bewiesen
- Pilot wird mit zwei Leitstrahlen (Landekurs und einem Gleitpfad) unterstützt
 - Landekurs = Information über Kurs
 - Gleitpfad = Information über Höhe
- Pilot kann an dem Anzeigegerät das an einem ILS-Empfänger angeschlossen ist (ähnlich wie VOR – mit einem horizontalem Zeiger) das Signal verfolgen

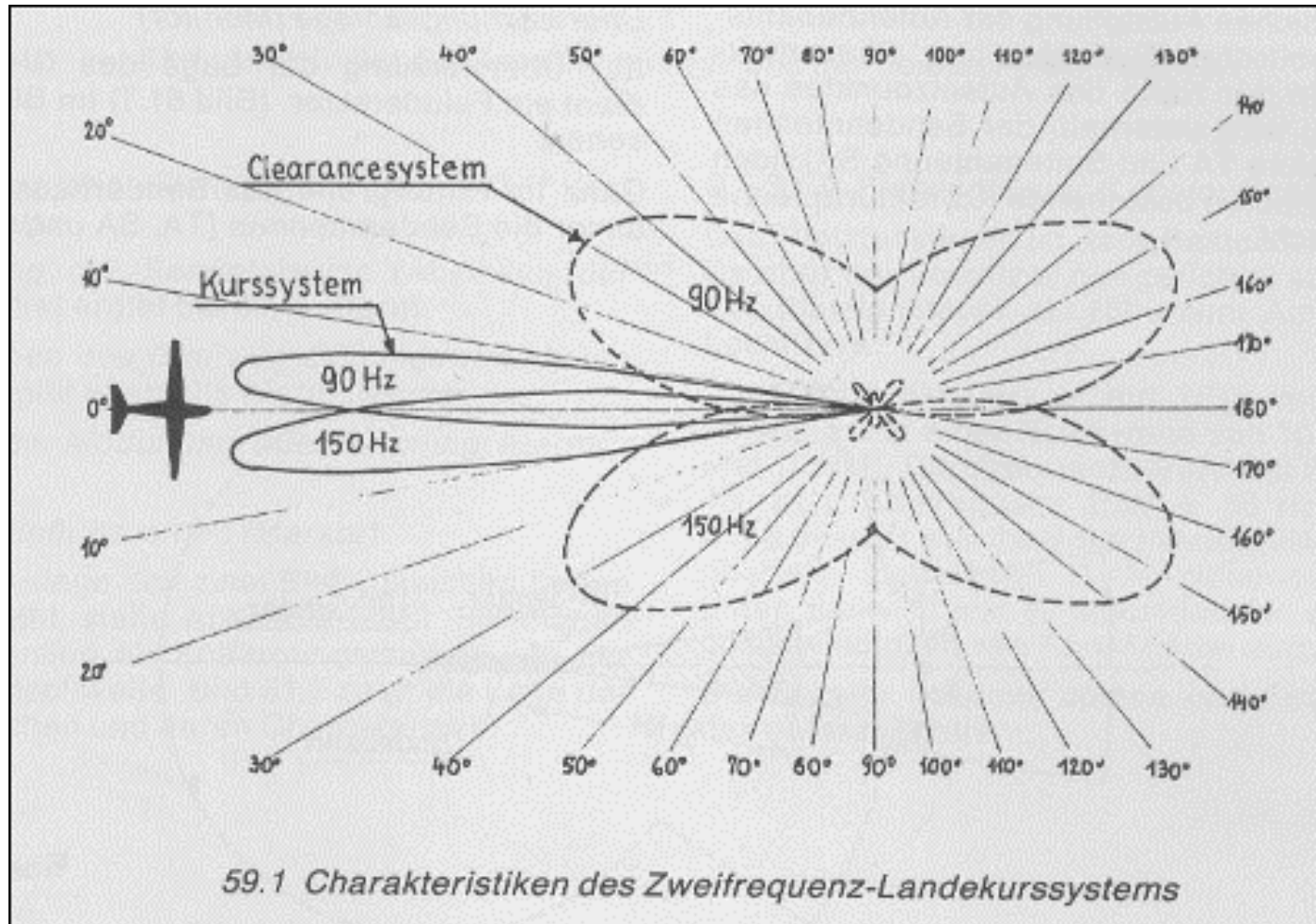
Instrument Landing System (ILS) [II]

- Kategorien
 - CAT I, CAT II, CAT IIIa, CAT IIIb und CAT IIIc
- Localizer besteht aus vier unabhängigen Systemen:
 - Localizer
 - Glideskope
 - Outer Marker
 - Middle Marker
- Pilot benutzt auch VASI (Visual Approach Slope Indicator)

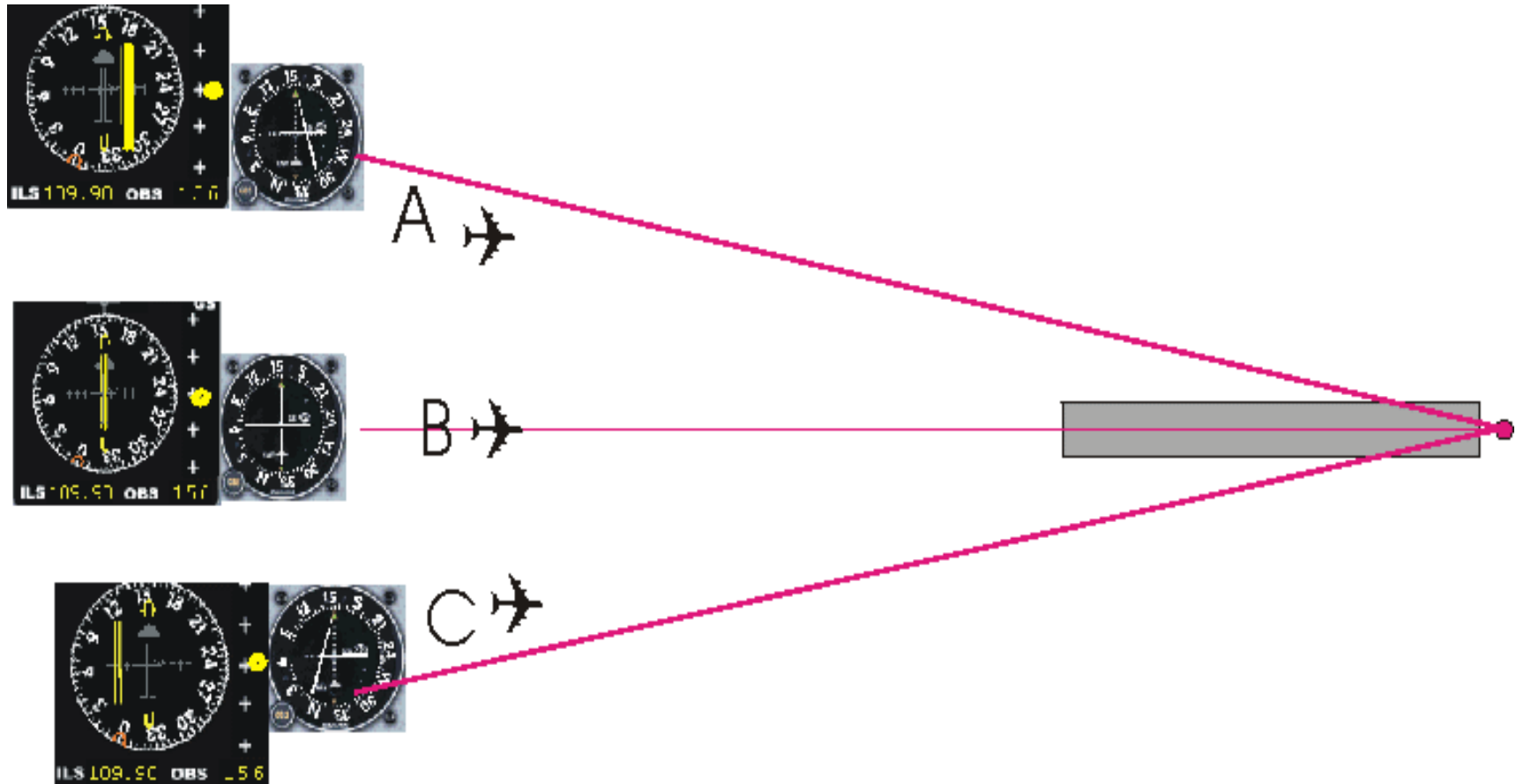
Instrument Landing System (ILS) [III]

- Localizer ist zur Unterstützung für die Horizontale Lenkung vorhanden
- Viele Localizer übertragen das Signal auch an die andere Seite (back course)
- Localizer-Antenne ist mit zwei Sendern ausgerüstet
- Zweifrequenzen Landekurssystem (90Hz und 150Hz)
- Clearance-Antenne verbessert das Diagramm in dem Nachbereich

Instrument Landing System (ILS) [IV]

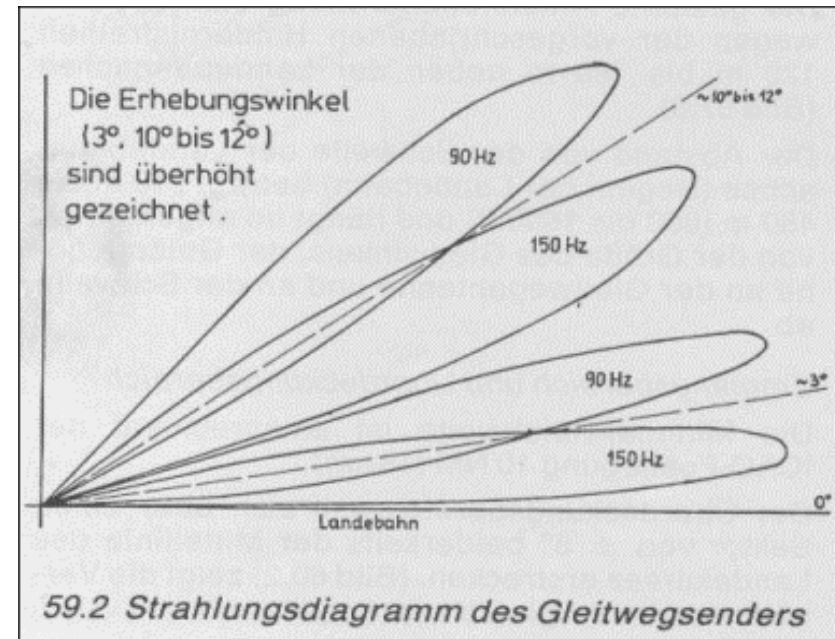


Instrument Landing System (ILS) [V]



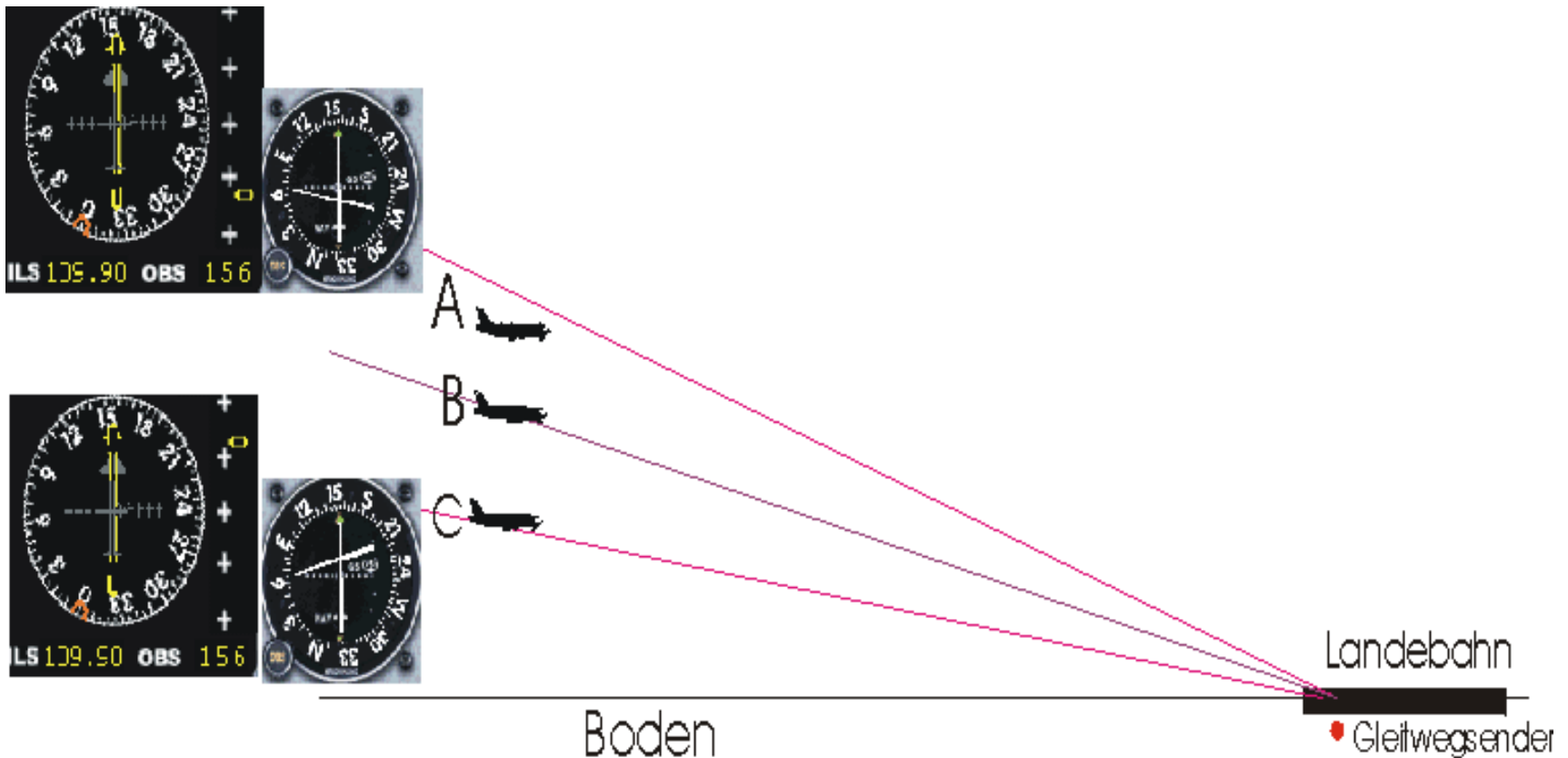
Instrument Landing System (ILS) [VI]

- 2 Strahlungsfelder die sich in der Gleitebene unterscheiden
- Gleitwinkel 3° - 6° gegenüber den Horizontalen
- Antennenanlage aus zwei Dipolen
- Korrekturantenne aus drei Dipolen



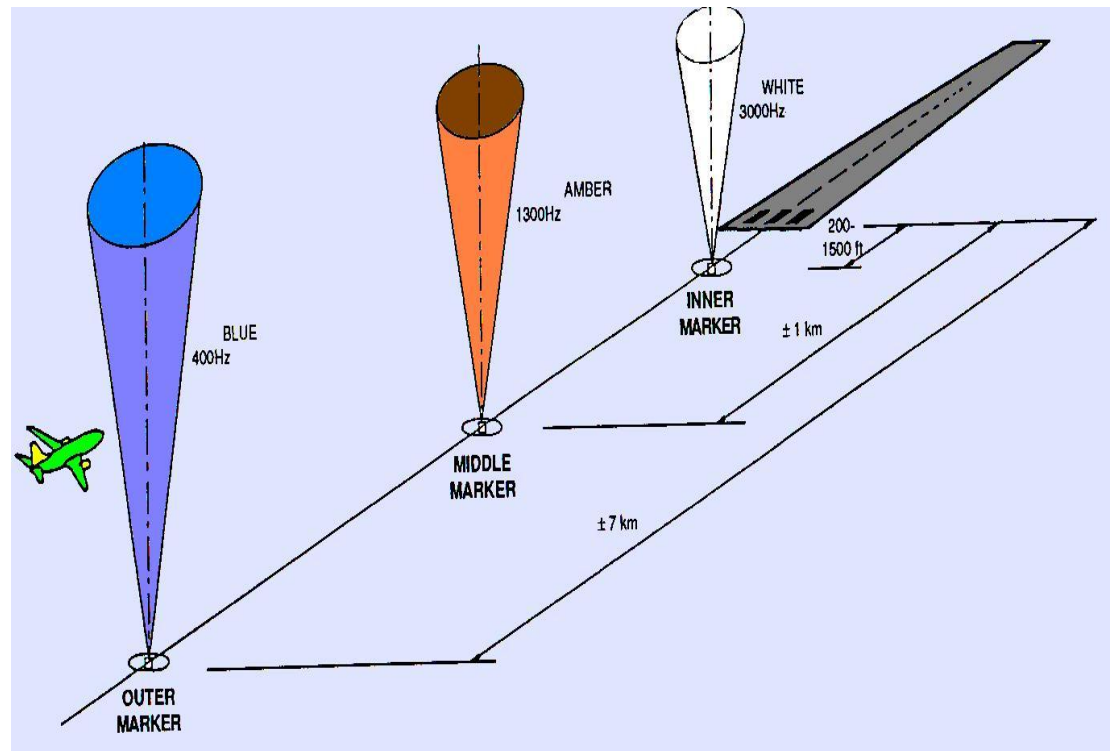
Quelle: <http://www.tm.tfh-wildau.de/~sbruntha/wiki/images/11.gif>

Instrument Landing System (ILS) [VII]



Instrument Landing System (ILS) [VIII]

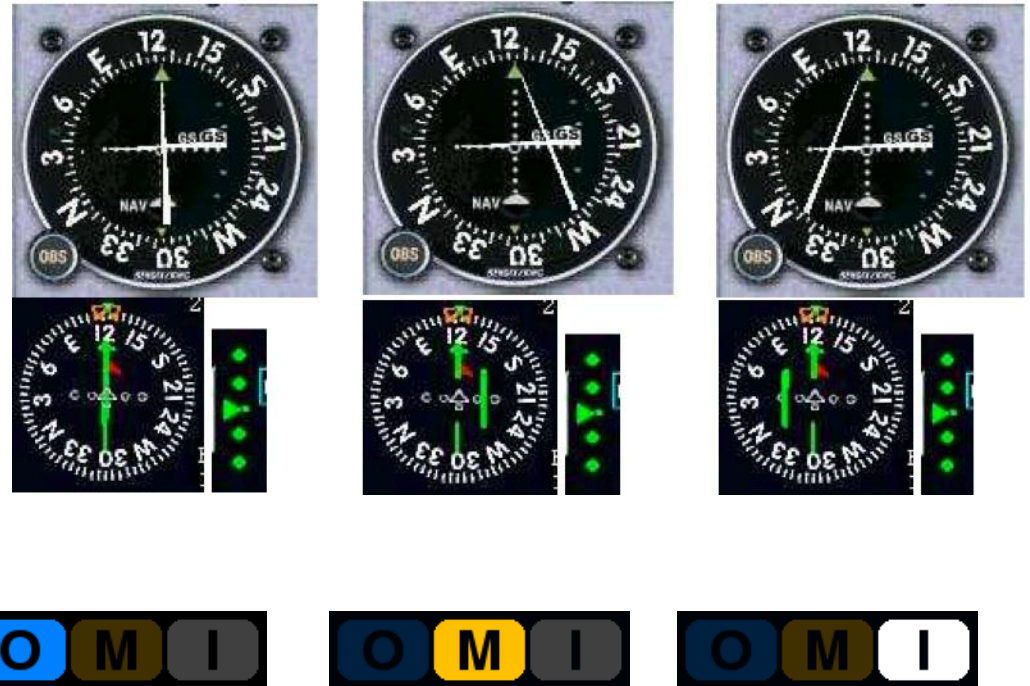
- Outer Marker –
400 Hz Ton
- Middle Marker –
1300 Hz Ton
- Inner Marker –
3000 Hz Ton



Quelle. http://users.telenet.be/dkaviation/Marker_beacons.JPG

Instrument Landing System (ILS) [IX]

- Landekursempfänger (LLZ/VOR) mit Antenne
- Gleitwinkelempfänger (GP) mit Antenne
- Fernbediengerät (Control Panel)
- Anzeigeinstrument (Kreuzzeiger)

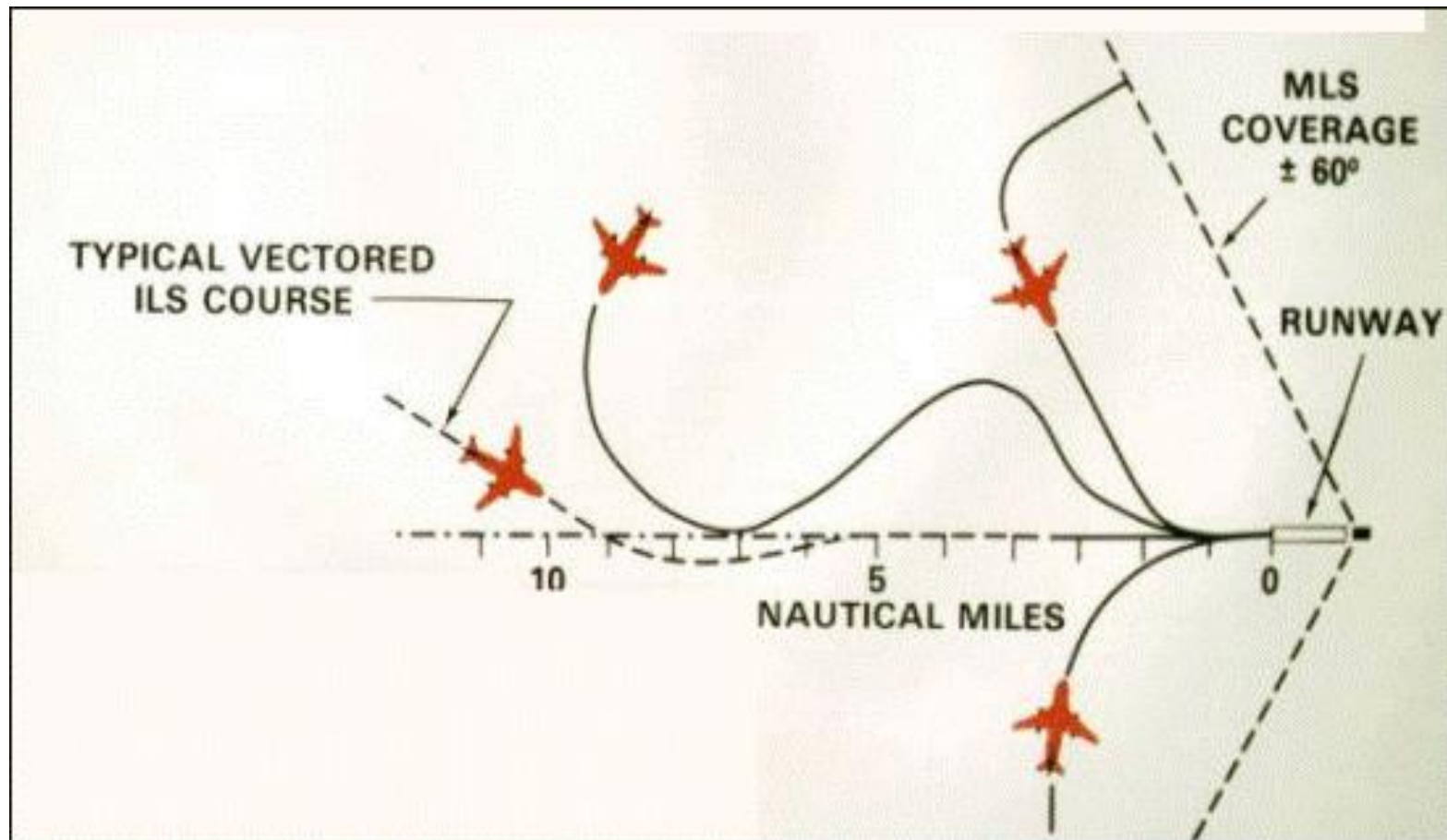


Quelle: <http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTxDG3RXSDF3yoghrPMehw eHkZ4sdKC5yIKdgtgMVZDhoAkAIM7yP6UX4g>
http://en.wikipedia.org/wiki/Marker_beacon

Microwave Landing System (MLS) [I]

- Höhere Präzision und immun gegenüber Interferenzen und Signalreflektionen
- Führt zu besserer Platznutzung und geringeren Treibstoffverbrauch
- Lässt auch andere Anflugprozeduren z.B. „curved approach“ (unmöglich bei ILS) zu
- Erzeugt eine Information in Landerichtung (Azimut- und Elevationsstation)
- Strahl im Frequenzbereich von 5 GHz
- Kompletter Scan-Zyklus dauert 12 msec.
- Schlechte Zukunftsaussichten: lange Durchsetzungsdauer; teure Installation; hohe Verfügbarkeit von Satellitennavigationssystemen

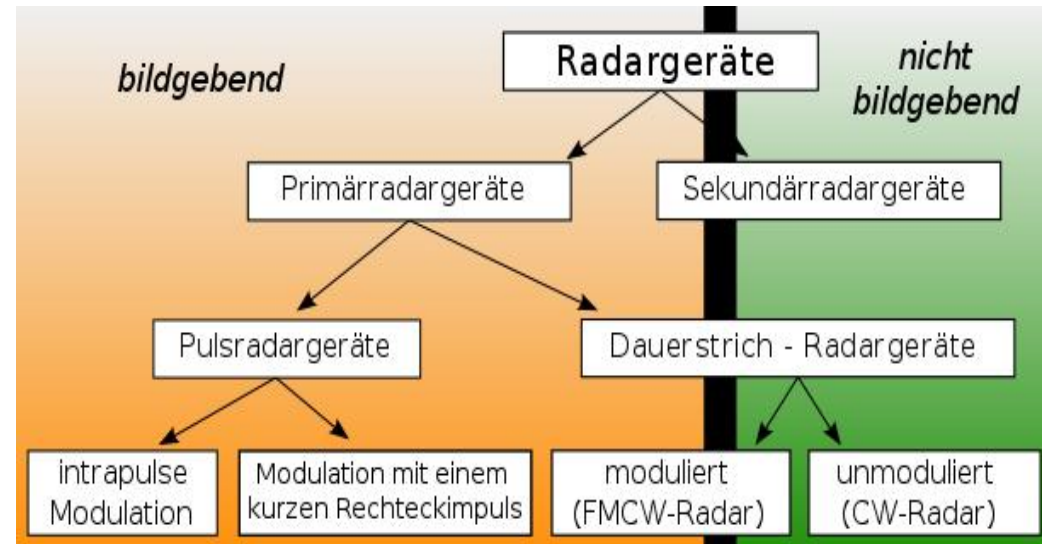
Microwave Landing System (MLS) [II]



Quelle: <http://www.tm.tfh-wildau.de/~sbruntha/wiki/images/Mls.gif>

Radio Detection and Ranging (Radar) [I]

- Bezeichnung für verschiedene Erkennungs- und Ortungsverfahren und –geräte auf der Basis elektromagnetischer Wellen im Radiofrequenzbereich (Funkwellen)



Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/4a/Structure_radar.svg/610px-Structure_radar.svg.png

Radio Detection and Ranging (Radar) [II]

- Primärgeräte
 - Pulsradargeräte, die ausschließlich das passiv reflektierte Echo des Ziels auswerten
 - Neben der Entfernung lassen sich auch die radiale Geschwindigkeit und deren ungefähre Größe ermitteln
- Sekundärradar
 - Impulsradargeräte, an den Zielobjekten befinden sich Transponder, die auf die Pulse reagieren und ihrerseits Signale zurücksenden
 - Reichweite erhöht sich
 - Objekte sind identifizierbar, können ggf. ihre Kennung und weitere Daten zurücksenden
- Passives Radar
 - Peilempfänger, die die Quelle von Funkwellen zu militärischen Zwecken orten können
 - Ist nicht anhand seiner Funkwellenaussendung zu entdecken

Radio Detection and Ranging (Radar) [III]

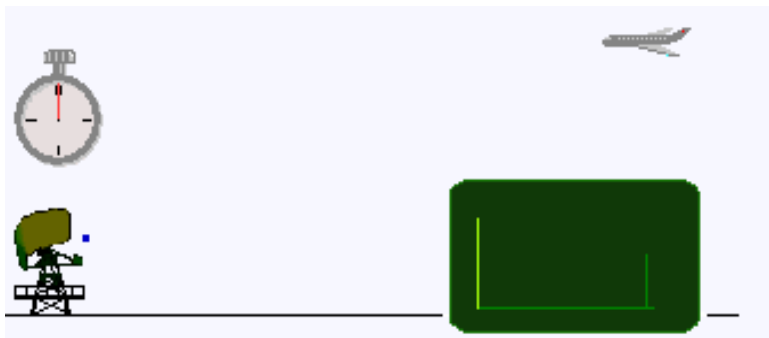
- Entfernungsbestimmung mit dem Impulsverfahren:
 - Pulsradargerät sendet Impulse mit einer typischen Dauer im unteren Mikrosekundenbereich und wartet dann auf Echos
 - Die Laufzeit Δt des Impulses ist die Zeit zwischen dem Senden und Empfangen des Echos
 - Es gilt:
$$r = \frac{c}{2} \Delta t$$
 - r = Entfernung; c = Gruppengeschwindigkeit (näherungsweise gleich der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum); t = Zeit

Radio Detection and Ranging (Radar) [IV]

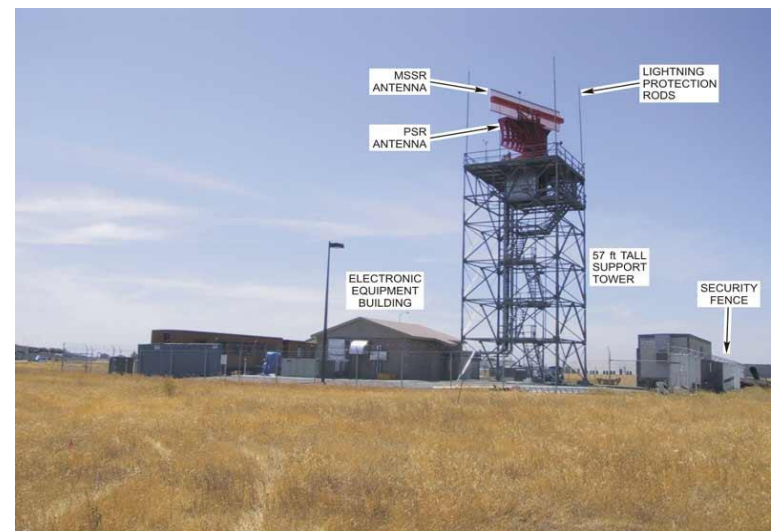
- Richtungsbestimmung:
 - Dreht man Antenne eines Pulsradars, erhält man ein Rundsiehtradar
 - Scharfe Richtcharakteristik der Antenne wirkt sowohl beim Senden aus auch beim Empfangen
 - Aus Abhängigkeit der Stärke des Echos von der Orientierung der Antenne kann sehr genau die Richtung bestimmt werden

Radio Detection and Ranging (Radar) [V]

- Flughafen Rundblick Radar (Airport Surveillance Radar)
 - Kombiniert meist ein Primär- und ein Sekundärradar
 - Allgemeine Luftüberwachung
 - Liefert den Anflugslotsen die genaue Luftlage rund um den Flughafen
 - Reichweite des ASR ist ca. 111km



Quelle: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/Radaroperation.gif>



Quelle: http://media.defenseindustrydaily.com/images/ELEC_Radar_ASR-11_Facility_lg.jpg

Radio Detection and Ranging (Radar) [VI]

- STCA – System (Short Term Conflict Alert)
 - Verwendet für Kollisionsvermeidung
 - Benutzt das Flughafen Rundsicht Radar
 - Es berechnet aus der Flugspur der Luftfahrzeuge die Wahrscheinlichkeit eines nahen Vorbeifluges oder gar Zusammenstoßes
 - Es warnt optisch und akustisch den Fluglotsen
- Anflugradar
 - Besteht aus jeweils einer waagrecht und einer senkrecht bewegten Antenne
 - Ermöglicht Bestimmung des Anflugwinkels, der Anflugrichtung und der Anflughöhe landender Flugzeuge
 - Pilot bekommt diese Informationen per Funk oder an einem Anzeigeinstrument an Board
 - Besonders bei schlechter Sicht von Bedeutung
 - Bodensicht vor der Landung erforderlich

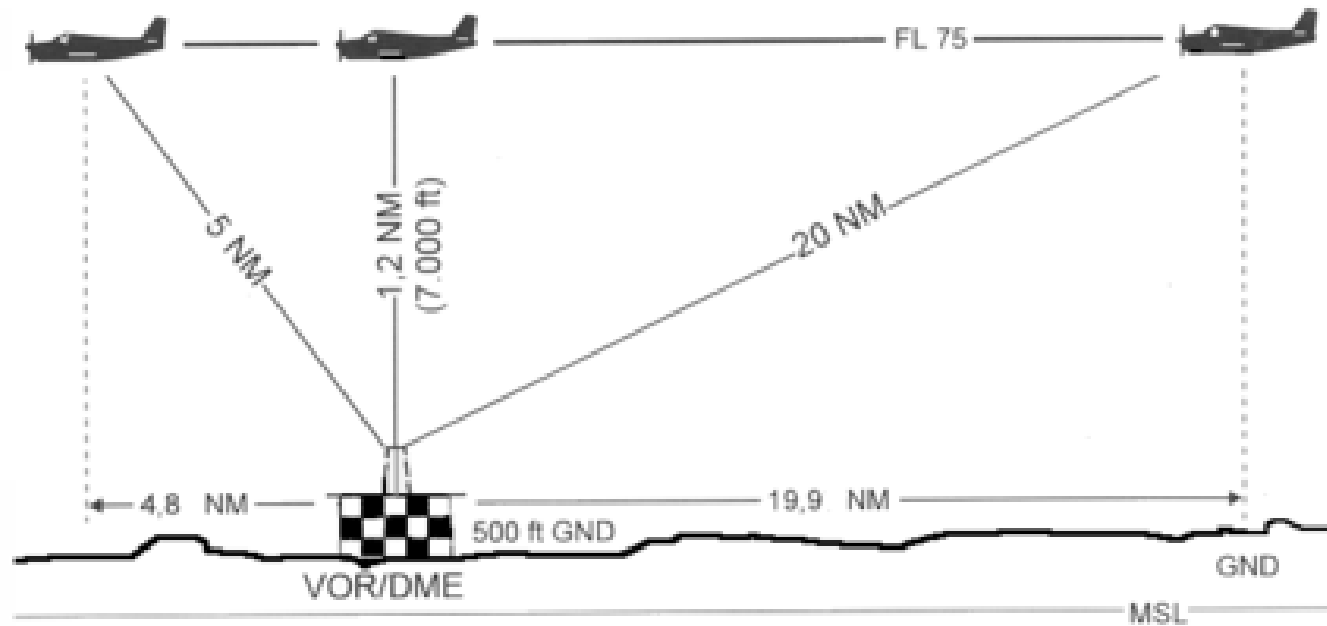
Radio Detection and Ranging (Radar) [VII]

- Dauersichtradar (continuous wave (CW) radar)
 - Kann keine Entfernung messen
 - Wird zur Geschwindigkeitsmessung genutzt
 - Über eine Antenne abgestrahlte Frequenz wird vom Ziel reflektiert und mit einer gewissen Doppler-Verschiebung wieder empfangen
 - Nur bewegte Objekte werden erkannt
- Moduliertes Dauersichtradar (FMCW Radar)
 - Sendet mit einer sich ständig ändernden Frequenz
 - Durch die lineare Änderung der Frequenz und durch das stetige Senden ist es möglich, neben der Differenzgeschwindigkeit zwischen Sender und Objekt auch gleichzeitig deren absolute Entfernung voneinander zu ermitteln
 - Radar-Höhenmesser von Flugzeugen arbeiten nach diesem Prinzip
 - Zweckentfremdete Nutzung dieser Art von Radar auf Flugzeugplätzen ist nicht möglich

Distance Measuring Equipment DME [I]

- Liefert räumlichen Abstand zur Bodenstation
- Abfragegerät im Flugzeug sendet Doppelimpulse aus, die am Boden von Antwortgeräten empfangen und beantwortet werden
- Aus Zeitdifferenz zwischen Aussendung und Empfang wird Entfernung zur Bodenstation berechnet (Laufzeit von 12 Mikrosekunden entspricht dabei 1 NM)
- Bei der Messung wird exakter Verbindungsabstand gemessen → Schrägentfernung

Distance Measuring Equipment DME [II]



Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f3/DME_overfly.png/440px-DME_overfly.png

Tactical Air Navigation (TACAN) [I]

- Militärisches Flug navigationsverfahren, ähnlich dem zivil genutzten VOR/DME
- UHF-Bereich: 962 – 1213 MHz unterteilt in 126X und 126Y Kanäle
- Richtungsinformation wird stets auf magnetisch Nord bezogen
- Richtungsinformation steht beliebig vielen Luftfahrzeugen gleichzeitig zur Verfügung
- Entfernungsmessung nur max. 100 Luftfahrzeugen (100 stärksten Signale haben Vorrang)
- Entfernungen sind grundsätzlich Schrägentfernungen

Tactical Air Navigation (TACAN) [II]

- Exakte Entfernung nur möglich, wenn die Höhe über Grund oder der Erhebungswinkel bekannt ist
- Arbeitet bei quasioptischer Sicht bis zu einer Entfernung von 390 NM
- TACAN-Station kann auch an einem Luftfahrzeug angebracht sein

Zukunftsaussichten der Luftfahrtnavigation

- Immer größere Standards bezüglich Genauigkeit, Integrität und Kontinuität
- Die Bodenstationen werden mit großer Genauigkeit synchronisiert sein
- Luftfahrtnavigation wird immer mehr auf Satellitennavigation und Augmentierungssystemen basiert
- Aus Kostengründen werden die klassischen Bodennavigationsanlagen wie NDB und VOR, und möglicherweise auch DME und ILS zunehmend außer Betrieb genommen

Quellen

- <http://home.eduhi.at/user/schatzl/flight/begriffe/instrbegr.htm>
 - http://www.dlr.de/kn/desktopdefault.aspx/tabid-7571/12814_read-32122/
 - <http://www.navfltsm.addr.com/ils.htm>
 - http://www.tele.soumu.go.jp/e/adm/system/satellit/air/_icsFiles/artimage/2009/02/01/c_air/sysp024_e.gif
 - http://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_Luffahrt
 - http://de.wikipedia.org/wiki/Airport_Surveillance_Radar
 - [http://de.wikipedia.org/wiki/Tracker_\(Radar\)#Zivile_Anwendungsgebiete](http://de.wikipedia.org/wiki/Tracker_(Radar)#Zivile_Anwendungsgebiete)
 - http://en.wikipedia.org/wiki/Air_navigation
 - <http://de.wikipedia.org/wiki/Radar>
 - http://www.dlr.de/kn/desktopdefault.aspx/tabid-7571/12814_read-32122/
 - http://en.wikipedia.org/wiki/Marker_beacon
 - <http://de.wikipedia.org/wiki/Sichtflug>
 - <http://de.wikipedia.org/wiki/Instrumentenflug>
 - <http://de.wikipedia.org/wiki/Koppelnavigation>
 - http://www.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Pouk/Astro/seminar/Integrirana_navigacija/Navigation1.4.pdf
 - <http://dielufffahrt.blogspot.com/2006/05/das-geheimnis-der-koppelnavigation.html>
 - <http://dielufffahrt.blogspot.com/2006/05/das-geheimnis-der-koppelnavigation.html>
 - <http://www.aviation4u.de/school/navigation.htm>
 - <http://de.wikipedia.org/wiki/Tr%C3%A4gheitsnavigationssystem>
 - <http://de.wikipedia.org/wiki/Kurskreisel>
 - <http://de.wikipedia.org/wiki/Funknavigation>
 - <http://www.tm.tfh-wildau.de/~sbruntha/wiki/index.php/Luftfahrtnavigation>
 - <http://de.wikipedia.org/wiki/Drehfunkfeuer>
 - http://de.wikipedia.org/wiki/Distance_Measuring_Equipment
 - http://de.wikipedia.org/wiki/Tactical_Air_Navigation
 - http://de.wikipedia.org/wiki/Ungerichtetes_Funkfeuer
 - http://www.navtec.de/personen/acf/dd/dd_inh.htm
 - <http://www.visi.com/~mim/nav/>
 - CVFR_100_Auszug.pdf
 - dd_ndb.pdf
 - drehfunkfeuer.pdf
 - Funknavigation_mit_VOR_und_NDB.pdf
 - VORNDB.pdf
 - Handbuch der Luftfahrt
- Verlag: Springer Verlag Autor: Prof. Dr.-Ing. Heinrich Mensen ISBN: 3-540-58570-2

Zeit für Fragen