

Radionavigation

Diese Unterlagen sind für das eigenständige Einarbeiten in die Radionavigation, also die Navigation mit Hilfe von Funksignalen, gedacht. Die Lektionen sind darauf ausgelegt, nacheinander an verschiedenen Tagen durchgearbeitet zu werden.

Die Ausarbeitung wurde mit bezug auf den Microsoft Flight Simulator X erstellt, lassen sich aber weitgehend auf alle Flugsimulatoren übertragen.

Bei diesen Unterlagen handelt es sich um eine angepasste Kopie des seiner Zeit von mir bei FamilyAir durchgeführten Seminars. Die damaligen Lektionen wurden einzeln in etwa wöchentlichem Abstand geschrieben, was vielleicht hier und da in den Texten noch auffallen könnte.

Fragen können jederzeit per eMail an mich gerichtet werden; ich bemühe mich stets um eine zeitnahe Antwort. Lucas.Sichardt@posteo.de

Ich bitte darum, aufkommende Fragen ohne Scheu zu stellen. Meiner Meinung nach ist dies für jede Lektion sinnvoll, bevor man die nächste Lektion beginnt!

Los gehts:

Lektion 1: Einführung

In diesem Navigationslehrgang soll es sich primär um die Radionavigation drehen, also um die Navigation mit Hilfe der zahlreichen am Boden stehenden Funksender. Zuerst einmal ein grober Überblick, was es da so alles gibt:

- * NDB --> Non Directed Beacon --> "Ungerichtetes Funkfeuer"
- * DME --> Distance Measuring Equipment --> "Entfernungsmessgerät"
- * VOR --> VHF Omnidirectional Radio --> "UKW Drehfunkfeuer"
- * ILS --> Instrument Landing System --> "Instrumentenlandesystem"

Wir werden all diese Navigationshilfen genau behandeln und die Möglichkeiten, die sich aus ihrer Benutzung ergeben, aufzeigen. Doch beginnen möchte ich mit dem, was jeder wissen sollte, um überhaupt mitdenken und ausprobieren zu können: Es handelt sich bei allen Radionavigationshilfen um Funksender am Boden. Um sie nutzen zu können, muss man ähnlich wie beim UKW-Radio erstmal das richtige Signal im Cockpit empfangen. Dazu stellt man die entsprechende Frequenz eines Funksenders ein. Hier als Beispiel ein Bild einer typischen "Funkgruppe" (Radiopanel), wie man sie in einem Flugzeug vorfindet:



Das Instrumentenbrett Funkgruppe findet sich so oder so ähnlich in jedem Flugzeug (je nach Ausstattung des Flugzeuges fehlen ggf. ein paar Elemente). Im Microsoft Flight Simulator kann man die Funkgruppe meist über ein kleines Symbol (roter Pfeil!) oder einer Tastenkombination [Shift]+[Zahl] (wobei die Zahl je nach Flugzeug variiert -durchprobieren- und NICHT auf dem Nummernblock gedrückt wird) aufrufen. Im 3D-Cockpit findet man die Funkgruppe natürlich am selben Platz wie auch im echten Flugzeug. Bei modernen Flugzeugen ist das meist in der Mittelkonsole, gleich neben den Schubhebeln. Bei älteren Maschinen gab es bekanntlich einen ganzen Arbeitsplatz für den Navigator...

Auf dem Bild ist nun zunächst oben der Abschnitt für die Frequenz Comm 1 zu sehen. Hier wird die Frequenz für den Sprechfunk eingestellt. Links die gerade aktive Frequenz und rechts die Standby-Frequenz, die man mit den Stellrädchen verändern kann. Hat man sie entsprechend verändert, kann man die beiden Frequenzen mit dem kleinen Kippschalter zwischen den Anzeigen tauschen. Genauso funktioniert das auch bei der Frequenz für Comm 2, dem zweiten Sprechfunkkanal.

Der dritte Abschnitt wird nun für uns interessant. Hier wird die Frequenz für NAV1 eingestellt. Wie beim Sprechfunk auch, gibt es hier eine aktive und eine passive (Standby) Frequenz - beide

können wieder per Schalter in der Mitte getauscht werden. Im vierten Abschnitt dann die Frequenz für NAV2. NAV1 und NAV2 sind die Frequenzen für die VOR-Empfänger. Ein Flugzeug hat in der Regel zwei VOR-Empfänger, weshalb es die beiden Kanäle NAV1 und NAV2 gibt.

Der fünfte Abschnitt dient der Einstellung für den Transponder. Die angezeigte Zahl ist der sogenannte Squawk, über den der Fluglotse ein Flugzeug auf dem Radar identifizieren kann. Der Transponder interessiert uns aber auch weniger - er ist für die Abwicklung des sicheren Luftverkehrs unabdingbar, aber für die Navigation eigentlich irrelevant.

Der letzte Abschnitt dient der Einstellung der Frequenz eines NDBs. Das ADF (Automatic Direction Finder) ist das Gerät, welches die Signale des NDBs verwertet - im Deutschen auch Radiokompass genannt.

Ganz unten sind noch einmal kleine weiße Schalter. Hier kann man die akustische Ausgabe der Morsecodes des jeweiligen eingestellten und empfangenen Funkfeuers ein- oder ausschalten. Über den Morsecode, den ein Funkfeuer ausgibt, kann man es eindeutig identifizieren - denn die Frequenzen, auf denen die Funkfeuer senden, sind keineswegs nur einmal vergeben. Mitunter gibt es sogar zwei Funkfeuer, die auf der gleichen Frequenz senden und sich so nah sind, dass sich ihre Sendebereiche geografisch fast überschneiden.

Soweit die erste Lektion für heute. Mir ist klar, dass man damit noch nicht viel ausprobieren kann. Aber diese Kenntnisse sind unabdingbar für das, was folgen wird. Auf diese Weise brauche ich später beispielsweise nur davon sprechen, dass man die Frequenz X nun im ADF einstellt und dann das Signal empfängt. Jeder weiß dann, wo er die Frequenz einstellen kann. Jeder kann nun in seinen Flugzeugen die Funkgruppe suchen und mit den Frequenzen rumspielen, vielleicht schonmal die Frequenzbereiche ausloten usw.

Beginnen werden wir in den folgenden Lektionen zunächst mit den NDBs, da diese auch historisch gesehen die ersten Funknavigationshilfen waren, die heute noch aktiv sind. Trotz der simplen Technik, gibt es mit den NDBs zahlreiche nützliche Möglichkeiten...

Lektion 2: NDB und ADF

Es soll nun im Folgenden um den Umgang mit dem Radiokompass (ADF) und den NDBs gehen.

Zunächst mal die allgemein wissenswerten Dinge:

Der Frequenzbereich, in dem NDBs senden, liegt zwischen 190kHz und 1750kHz. Daher ist die Anzeige der Frequenz im Flugzeug vierstellig plus mindestens eine Nachkommastelle.

Die Reichweite eines NDBs ist je nach Sendeleistung sehr unterschiedlich und auf guten Karten mit angegeben. Die Reichweite schwankt in der Praxis je nach Zweck des NDBs zwischen 13nm und 113nm...

In Karten werden die NDBs als mehrere konzentrische Kreise (oft auch gestrichelt) dargestellt; ist die Karte farbig, sind sie oft in einem Signalgrün dargestellt. Hier drei Beispiele des Schönefeld NDBs:



Zusammenfassung:

NDB - Empfang durch ADF

Reichweite: 13nm bis 113nm

Frequenz: 190,0kHz bis 1750,0kHz

Man sieht in der größten Darstellung die, die auf den offiziellen ICAO-Karten benutzt wird. Hier ist auch gleich noch der Morsecode des NDBs angegeben.

Auf dem Bild habe ich gleich noch das Instrument des ADF (Radiokompass) untergebracht.

Der Radiokompass besteht immer aus einer Kompasskala (je nach

Bauart dreht sie sich nach Norden oder ist starr) mit einem Zeiger für das in der Funkgruppe eingestellte NDB. In diesem Fall hat der Radiokompass sogar zwei Nadeln, sodass auch zwei NDBs gleichzeitig eingestellt werden können.

Je nach Ausstattung des Flugzeugs gibt es sehr verschiedene Ausführungen des Radiokompasses. Einige haben nur eine Nadel und so kann nur ein NDB empfangen und angezeigt werden. Oft kann man in der Funkgruppe zwei NDBs einstellen und empfangen. Dann hat man entweder zwei Radiokompassse im Cockpit oder zwei Nadeln in einem Radiokompass.

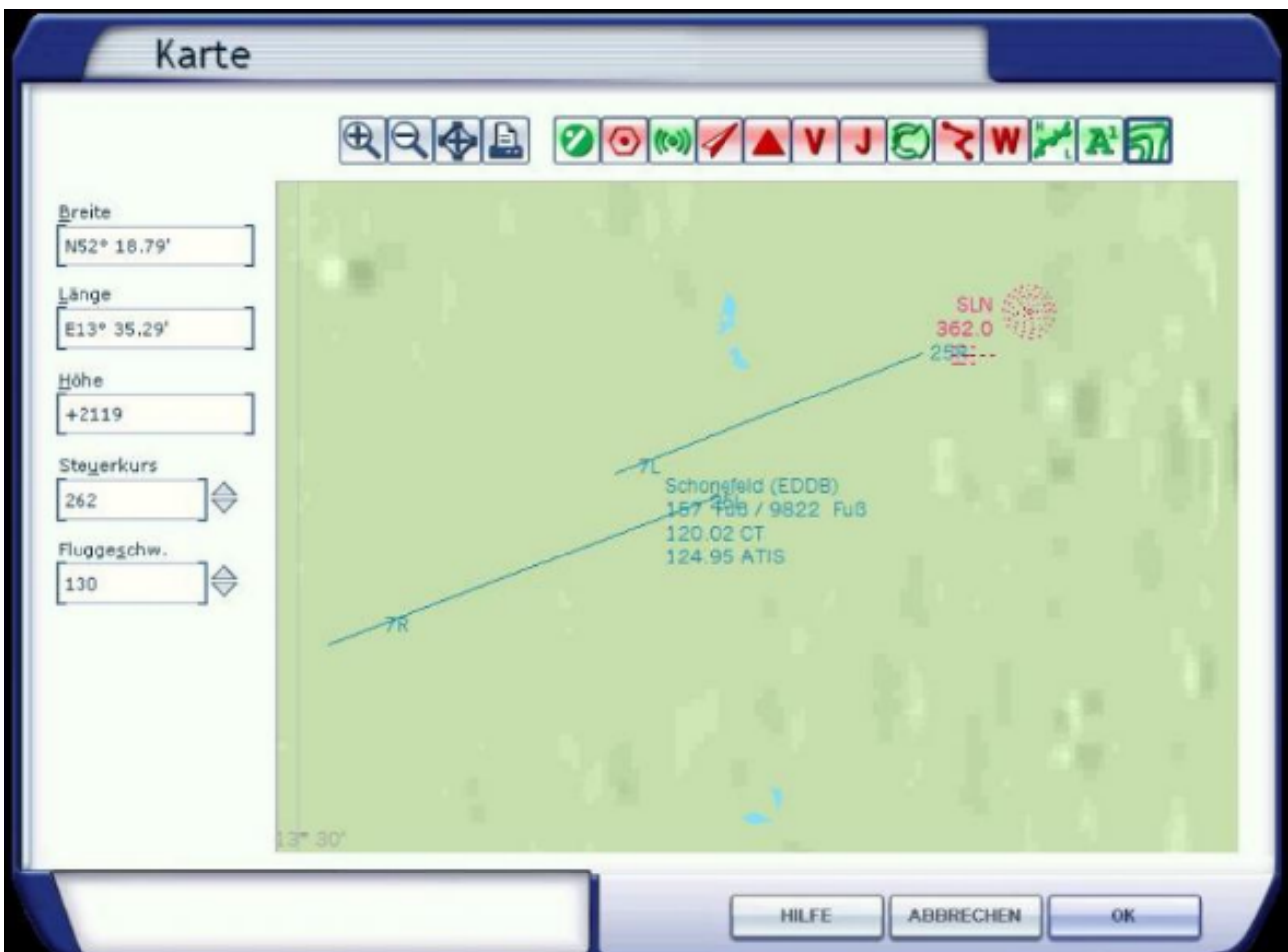
Sehr verbreitet ist aber auch ein kombiniertes Instrument mit zwei Nadeln. Dann kann man mit entsprechenden Wählschaltern in der unteren linken sowie in der unteren rechten Ecke des Instruments je ein VOR oder ein NDB auf eine Nadel schalten. In manchen Fällen gibt es auch zwei Nadeln, von denen beide VORs darstellen können, jedoch nur eine ein NDB...

Nun zur Funktion: Die ist eigentlich schnell erklärt; denn die Nadel zeigt einfach immer direkt in die Richtung, in der das NDB vom Flugzeug aus liegt. Zeigt die Nadel also nach oben im Cockpit, so fliegt man genau drauf zu.

Interessant ist aber nun die Verwendung. Natürlich kann man über ein NDB leicht einen bestimmten Ort erreichen, indem man der Nadel folgt. So findet man einen Flugplatz oder fliegt nacheinander mehrere NDBs an, sodass man trotz der begrenzten Reichweite auch lange Strecken bewältigen kann und immer weiß, wo man hinfliegen muss.

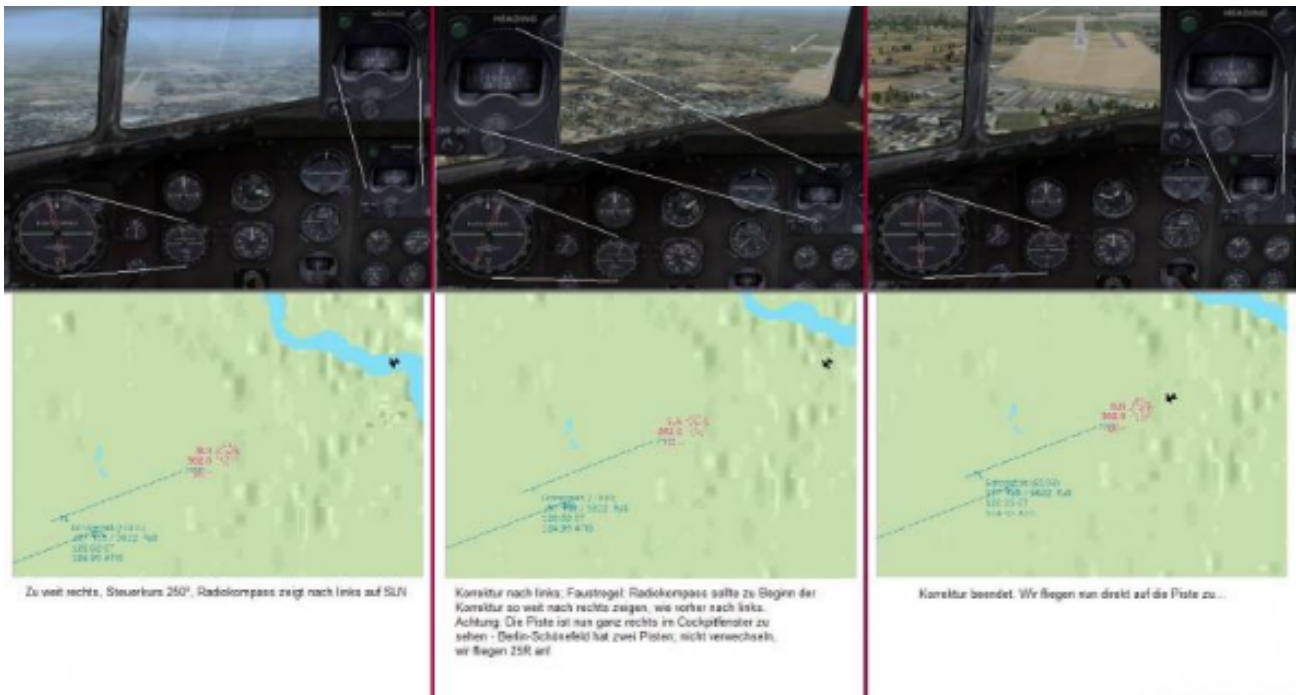
Noch viel interessanter sind aber nun zum Beispiel NDB-Anflüge auf Flughäfen.

Heute hat man in den meisten Fliegern nur noch ein ADF zur Verfügung. Daher zunächst der Anflug mit nur einem NDB auf Empfang. Dazu dient uns Berlin-Schönefeld als Beispiel:



Das NDB SLN liegt - wie fast immer an einem Flughafen - in der direkten Verlängerung der Piste - hier die 25R. Ich stelle es also im ADF ein und kann auf das NDB zufliegen. Das nutzt mir aber nur etwas, wenn ich dabei den Anflugkurs halte (ca. 250°), denn dann lande ich direkt auf der Piste.

Das heißt für mich im Anflug: Ich halte den Anflugkurs von 250° und sehe mir die Nadel des Radiokompasses an. Zeigt sie, dass das NDB links von mir ist, muss ich etwas nach links steuern - zeigt sie nach rechts, muss ich etwas nach rechts steuern. Denke ich nun, genug korrigiert zu haben, steuere ich wieder auf 250° und schaue, ob die Nadel nun genau nach vorne zeigt. Ggf. muss ich die Korrektur wiederholen... (das Ganze ist im nächsten Bild nochmal für eine Korrektur nach links dargestellt).



(Bitte per Klick auf das Bild vergrößern)

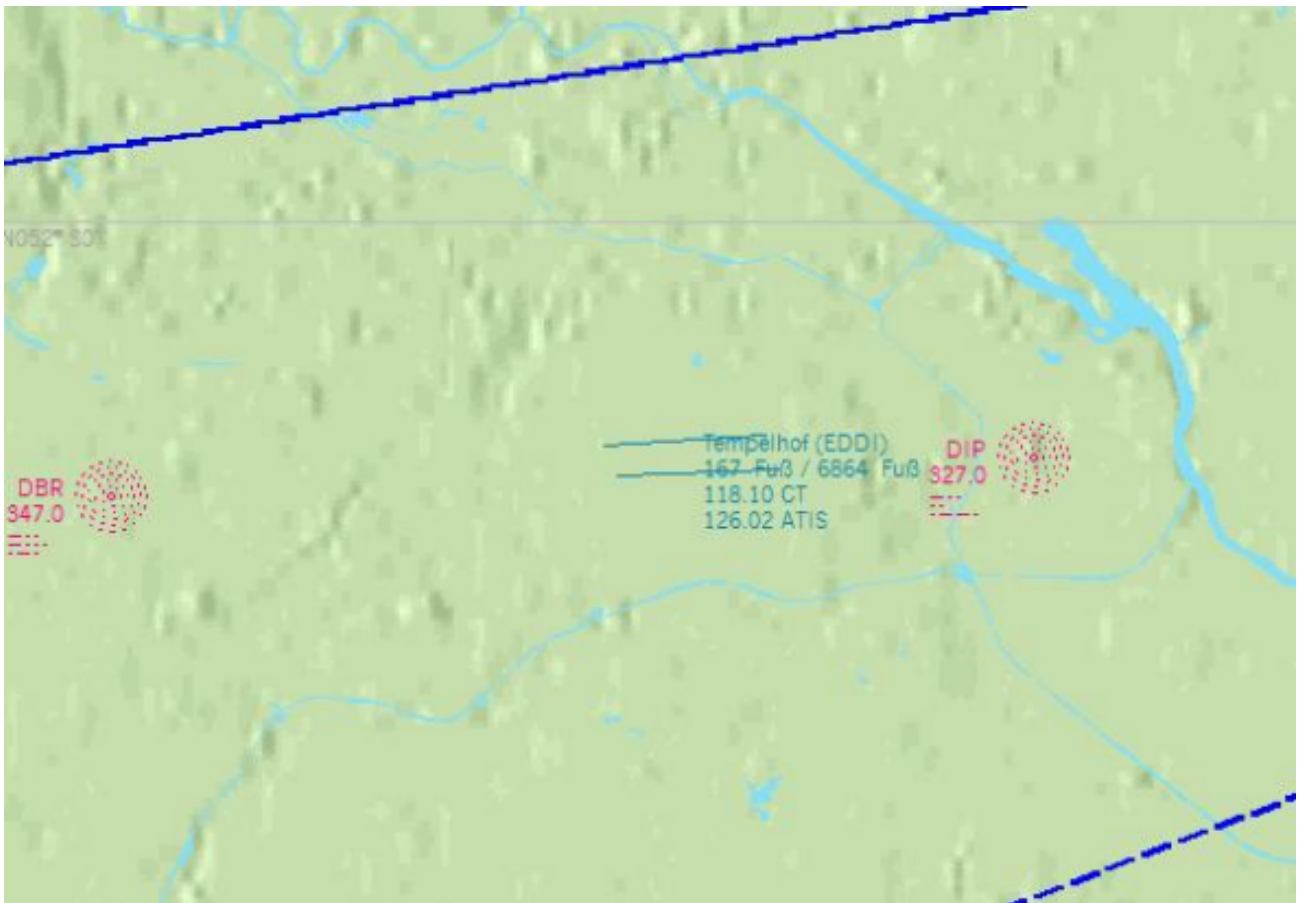
Man sollte das Beenden der Korrektur (also hier die Rechtskurve) dann einleiten, wenn der Radiokompass so weit nach rechts zeigt, wie der Steuerkurs nach links vom Landekurs abweicht. Dann dürfte man ohne weitere größere Korrekturen direkt auf den richtigen Flugweg gelangen.

Es ist außerdem zu beachten, dass die Nadel des ADF während des Überflugs über das NDB natürlich umschlägt und in diesem Moment ignoriert werden muss. Nach dem Umschlagen zeigt sie wieder korrekt an - nur zeigt die Pfeilspitze in die entgegengesetzte Richtung. Umdenken muss man nicht, man betrachtet einfach nicht mehr die Pfeilspitze, sondern die gegenüberliegende Seite der Nadel.

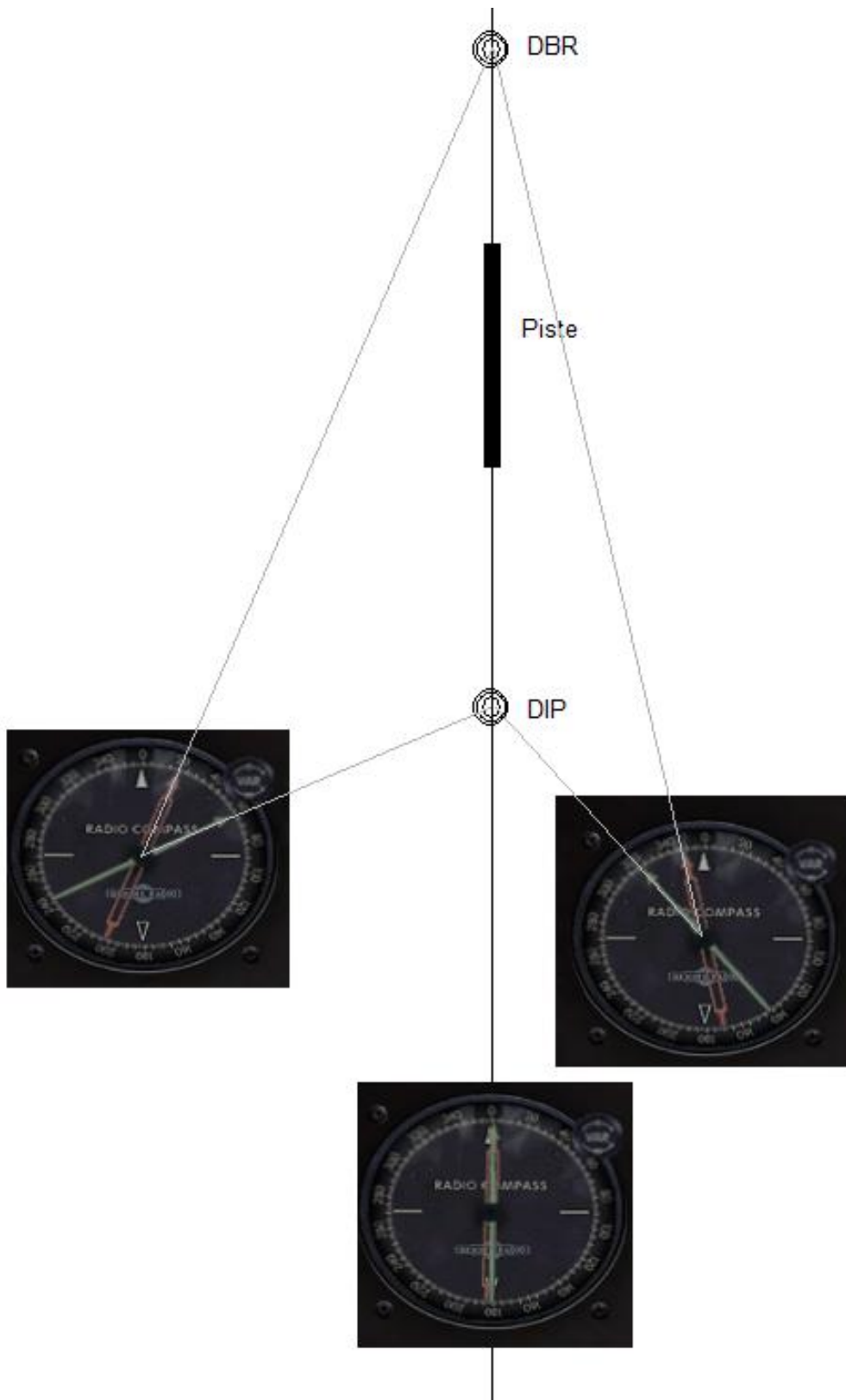
Um dem Umschlagen der Nadel während des Endanflugs zu entgehen, nutzt man - wenn vorhanden - das NDB, welches auf der anderen Seite der Piste liegt, über welches man also nur bei einem Durchstarten fliegen würde.

Viel genauer kann man den Anflug hinbekommen, wenn man zwei NDBs empfangen kann. Das ist meist nur in älteren Flugzeugen möglich, die aus einer Zeit stammen, in der das NDB Hauptnavigationsmittel war. Diese Flieger können zwei NDBs gleichzeitig darstellen. Verfügt die anzufliegende Piste nun auch über zwei NDBs, kann man den Anflug noch genauer durchführen.

Als Beispiel dient uns dafür Berlin-Tempelhof:



Man stellt dafür nun beide Frequenzen ein, sodass man sowohl DBR als auch DIP empfängt.
 Man fliegt dann auf die Piste zu, wenn beide Nadeln sich in Deckung befinden und man den Anflugkurs fliegt. Das folgende Bild zeigt das Verhalten der Nadeln in typischen Situationen:



Zeigen die Nadeln nach links, gilt nach wie vor, man muss nach links steuern (natürlich muss man immer den Anflugkurs im Auge behalten, auf den man immer wieder zurückkehren muss) und umgekehrt.

Doch nun hat man einen Anhaltspunkt dafür, wann man die Korrektur beenden kann. Denn wie auf dem Bild zu sehen, muss die Nadel,

welche auf das nähere NDB zeigt, beim Überschreiten der gedachten Pistenverlängerung die Nadel überholen, welche auf das entferntere NDB zeigt. Man kann also die Korrektur des Kurses dann mit einer letzten Kurve beenden, wenn die hier grüne Nadel der hier roten Nadel sehr nahe gekommen ist und sie überschreitet. Mit etwas Übung endet die letzte Kurve genau dann auf dem Anflugkurs, wenn die beiden Nadeln in Deckung sind und man trifft die Piste blind.

Ich habe nun den Umgang mit NDBs in den Grundzügen erklärt. Sie spielen in Zeiten des GPS eigentlich nur beim Landeanflug eine Rolle - und das auch nur, wenn kein ILS vorhanden ist. Aber in diesem Fall ist ein NDB-Anflug immernoch Gold wert, wenn die Sichtverhältnisse bescheiden sind.

Natürlich kann man mit etwas Kreativität noch mehr aus den NDBs herausholen. Man kann zum Beispiel aus der Richtung zu zwei verschiedenen NDBs seine Position genau bestimmen, wenn man eine geeignete Karte und ein Lineal hat - ich glaube, das leuchtet auf Anhieb ein...

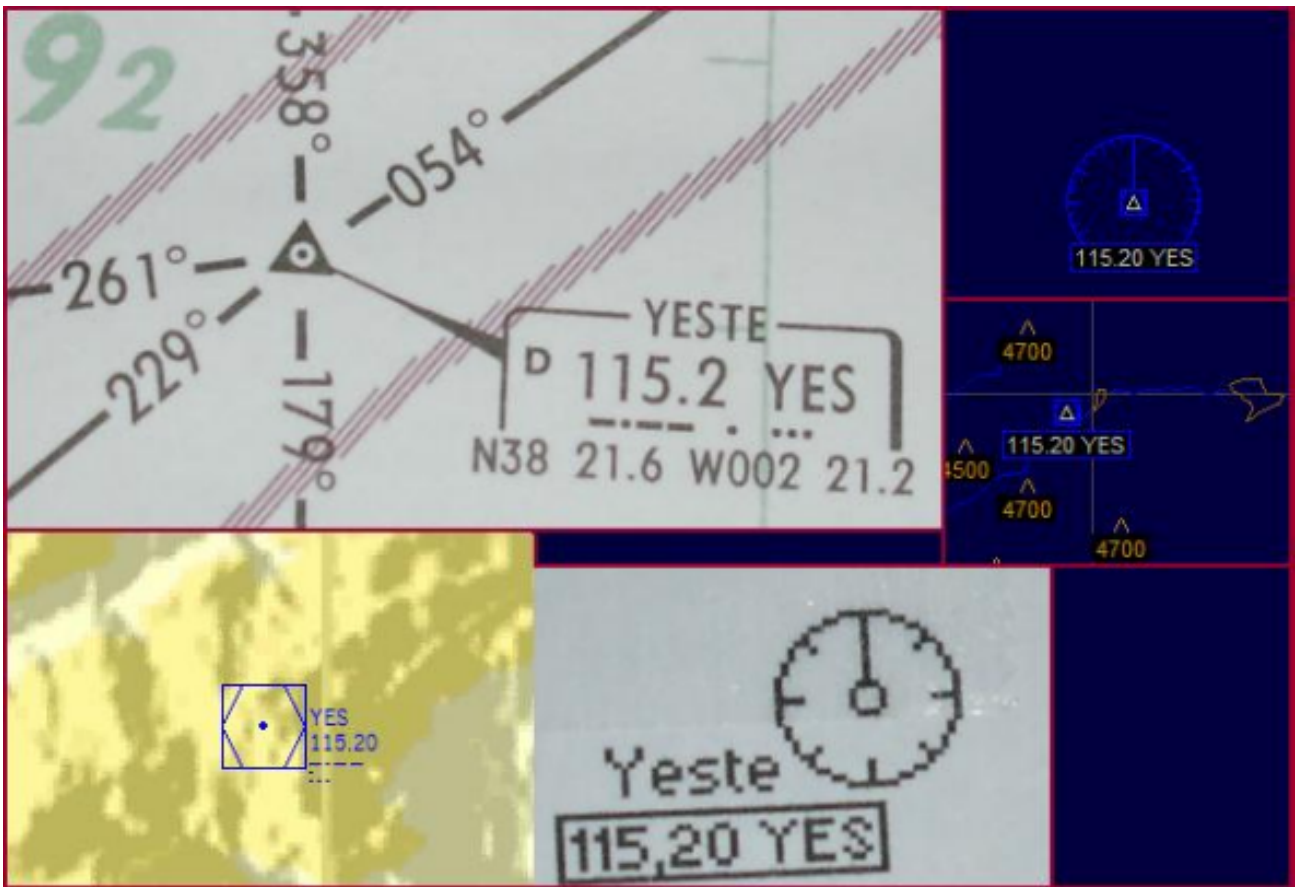
Das wars also erstmal für diese Lektion. Ich bitte darum, die erklärten Dinge auszuprobieren - erst dann tauchen oftmals Fragen auf! Nach Klärung der Fragen kann dann mit der nächsten Lektion fortgefahren werden.

Lektion 3: VOR/DME Teil 1

Beim VOR handelt es sich um ein gerichtetes Funkfeuer, was die Einsatzmöglichkeiten gegenüber dem NDB stark erweitert. Doch zu Beginn die allgemeinen Informationen:

VORs sind fast immer auch mit DMEs verbunden. Zumeist handelt es sich um einen einzigen Sender. Daher lässt sich das DME nicht vom VOR trennen. VORs senden in einem Frequenzbereich zwischen 108MHz und 117,95MHz, also direkt über dem Frequenzbereich unserer Radioprogramme Augenzwinkern .

In Karten werden VORs sehr unterschiedlich dargestellt. Das reicht von einem stilisierten Kompasskreis bis zu einem Dreieck mit Punkt in der Mitte. In der Abbildung sind alle mir momentan einfallenden Darstellungen abgebildet:



(Per Klick auf das Bild vergrößern)

Typisch für ein VOR ist jedenfalls das Sechseck und in farbigen Karten die blaue Farbe - Ausnahmen bestätigen die Regel. Man kann jedoch anhand der Frequenz immer erkennen, ob es sich um ein VOR handelt.

Die Sendereichweite von VORs ist auch unterschiedlich - in den meisten Fällen beträgt sie jedoch 195nm.

Zusammenfassung:

VOR/DME

Reichweite: meist 195nm

Frequenz: 108MHz bis 117,95MHz

Nun zur Verwendung:

In den Flugzeugen wird das VOR immer mit dem Begriff Nav verbunden. So stellt man also die Frequenz des zu empfangenden VORs unter Nav1 oder Nav2 ein.

Je nach Flugzeugtyp und hauptsächlich nach Baujahr (früher spielten VORs bei der Navigation eben eine viel größere Rolle), sind die Cockpits sehr unterschiedlich für den Empfang von VORs ausgelegt.

In den meisten Fällen gibt es aber tatsächlich zwei VOR-Kanäle

Nav1 und Nav2.

Ein VOR bietet grundsätzlich die Möglichkeit, wie ein NDB auch angepeilt zu werden. Daher kann man auch ein VOR auf dem Radiokompass darstellen lassen. Dazu findet sich meist ein Schalter direkt am Radiokompass oder (wie in der DC-3) im Radiopanel, der

den beiden Nadeln des Radiokompasses je den Empfang des eingestellten VORs oder des eingestellten NDBs zuordnet.

All das, was also mit dem NDB möglich ist und in der letzten Lektion beschrieben wurde, ist auch mit VORs möglich und muss nicht speziell erklärt werden.

Findet man nun im Cockpit keinen Schalter zum Umschalten des Radiokompasses, so handelt es sich vermutlich um ein moderneres Flugzeug - jedenfalls um eines mit einer festgelegten Belegung der Nadeln des Radiokompasses.

In diesem Fall zeigt die Nadel 1 immer auf das eingestellte NDB, die Nadel zwei auf das eingestellte VOR des Kanals Nav2. Der Kanal Nav1 und das dort eingestellte VOR kann dann nicht auf dem Radiokompass angezeigt werden.

Das ist auch nicht nötig, da die besonderen Eigenschaften des VORs dazu führen, dass man noch mehr Informationen aus dem Empfang des Signals bekommen kann, als nur die relative Richtung zum VOR.

Dazu dient der VOR-Empfänger oder Horizontal Situation Indicator (HSI - Anzeiger der horizontalen Lage). Dieser HSI macht den großen Vorteil des VORs aus und bietet viele aber auch komplexe Möglichkeiten der Navigation. Aufgrund der Komplexität wird dem Umgang mit dem HSI die nächste Lektion gewidmet sein und hier geht es zunächst um das DME.

Das DME (Distance Measuring Equipment) ermöglicht es, durch den Empfang eines VORs (nicht ganz alle sind mit DME ausgestattet!) im Cockpit direkt die Entfernung zum VOR als Zahl anzuzeigen. Es handelt sich im Cockpit um eine unscheinbare Anzeige, die nur aus meist drei Zahlen und ggf. einem Schalter besteht (wie im Bild zu sehen):



Mit dem Schalter in der Mitte kann man wählen, ob man das DME des VORs auf Nav1 oder des VORs auf Nav2 nutzen will. Zum gewählten VOR wird dann oben die Entfernung in Seemeilen (nautical Miles, nm), die Geschwindigkeit in Bezug auf das VOR in Knoten (Kt, Seemeilen pro Stunde) und die bei dieser Geschwindigkeit verbleibende Zeit bis zum Überflug des VORs in Minuten angezeigt. In neueren Flugzeugen kann die Anzeige auch in das Navigations

Display integriert sein und man sucht das DME als eigene Einheit vergebens. Im Display sind die Angaben aber dann mit "DME" gekennzeichnet.

Diese Informationen beziehen sich nur auf das VOR - fliegt man also nicht direkt auf das VOR zu, so hat die Geschwindigkeit nichts mit der Geschwindigkeit des Flugzeugs zu tun. Sie gibt nur an, wie schnell man sich dem VOR nähert (oder sich von ihm entfernt). Fliegt man in einem gewissen Abstand am VOR vorbei, so wird die Geschwindigkeitsangabe sehr gering ausfallen, fliegt man ständig mit gleichem Abstand des VORs (also im Kreis um das VOR herum), so wird Null angezeigt, obwohl das Flugzeug vielleicht sogar mit Überschall unterwegs ist...

Die selben Überlegungen treffen auch auf die Zeitangabe und die Entfernungsangabe zu. Die Entfernung ist übrigens die tatsächlich gemessene Größe, während sich die beiden anderen Angaben nur aus ihr berechnen lassen.

Der Nutzen dieser Angaben ist nun der, dass sie sich aus einer Messung der Laufzeit der Funkwellen zwischen Flugzeug und VOR ergeben. Die gewonnenen Angaben zu Entfernung, Geschwindigkeit und verbleibender Flugzeit hängen daher nicht vom Wind ab! Die Geschwindigkeit, die der Fahrtmesser des Flugzeugs angibt, ist dagegen die in Bezug zur Luft - also auch windabhängig. Für das Fliegen selbst eignet sich daher nur der Fahrtmesser (um Strömungsabriss usw. zu vermeiden). Für Flugzeitberechnungen kann nur das DME dienen (oder heute GPS). Die angezeigte Geschwindigkeit des DMEs ist also die Geschwindigkeit des Flugzeugs über Grund (Groundspeed), wenn man direkt auf das VOR zu fliegt. So hat man während des Fluges eine verlässliche Angabe darüber, wie lange man noch zum nächsten VOR unterwegs ist und wie weit es entfernt ist. Aus der Entfernung kann man dann auf einer Karte ungefähr die eigene Position bestimmen, wenn man den Steuerkurs zur Hilfe nimmt. Außerdem kann man den Wind abschätzen, indem man die DME-Geschwindigkeit mit der angezeigten Geschwindigkeit vergleicht - dabei muss man aber die Flughöhe beachten, da der Fahrtmesser in dünnerer Luft auch weniger anzeigt (in dünnerer Luft ist aber auch eine höhere Geschwindigkeit erforderlich, wenn man den selben Auftrieb haben will). Der Vergleich von Groundspeed und der Indicated Air Speed (Angezeigten "Luftgeschwindigkeit") des Fahrtmessers offenbart auch den erheblichen Zeitgewinn durch das Aufsteigen in höhere Flughöhen. Probiert es aus und ihr werdet staunen!

Soweit so gut. Diese Möglichkeiten von Radiokompass in Verbindung mit VORs und die Funktionen des DMEs sind damit erklärt. In der nächsten Lektion geht es dann um das Navigieren mit Hilfe des HSI, was erst die Vorteile des VORs offenbaren wird.

Lektion 4: VOR/DME Teil 2

Oft haben wir nun schon das HSI (Horizontal Situation Indicator) erwähnt. Dieses Instrument ist es, welches in Verbindung mit dem VOR ungeahnte navigatorische Möglichkeiten offenbart.

Das Instrument selbst kann in verschiedenen Flugzeugen recht unterschiedlich aussehen. Die zwei grundlegenden Darstellungen, von denen eigentlich alle anderen Darstellungen abgeleitet sind, zeigt das folgende Bild:



Das Bild zeigt zwei HSI in exakt der gleichen Situation und mit den gleichen Einstellungen. Das linke HSI gehört zu den moderneren und wird bereits auf einem Display angezeigt. Es gibt aber auch ältere HSIs dieser Form. Diese Darstellungsweise ist also nicht nur auf Displays anzutreffen. Hier zeigt es jedoch neben dem eigentlichen HSI auch noch Daten des DME und die Kennung des VORs aus dem Morsecode an (63 Knoten schnelle Entfernung vom eingestellten VOR mit der Kennung ERF auf Kanal NAV1, Position ist 19,3nm entfernt vom VOR).

Um die Anzeigen zu verstehen, muss man das VOR an sich verstehen. Das VOR ist ein gerichtetes Funkfeuer. Das bedeutet, dass es in jede Richtung ein etwas anderes Signal ausstrahlt. In der Praxis heißt das, dass auf das Sinussignal eine zweite Sinuswelle aufmoduliert wird, die in jede Richtung um 1° mehr verschoben ist (für die Physiker unter uns).

Auf Deutsch: Das VOR sendet 360 verschiedene Signale. In jede Kompassrichtung ein anderes Signal. Der Empfänger kann also anhand des Signals, welches er empfängt, feststellen, in welcher Richtung er sich vom VOR aus gesehen befindet. Diese Information ist es, die das HSI darstellt.

Doch wie wird diese Information denn nun dargestellt?

Dazu muss man sich das VOR auf einer Karte als Punkt vorstellen. Durch diesen Punkt legen wir nun eine Gerade, eine gedachte Linie in einer bestimmten Richtung. Als Beispiel wählen wir dafür eine Linie mit der Kompassrichtung 316° .

Nun stelle ich das HSI auf 316° ein, indem ich den Drehknopf CRS (in manchen Maschinen auch im Autopiloten-Panel unter der Bezeichnung Course zu finden) bzw. OBS (von engl. observe: beobachten) benutze. Dabei richtet sich bei den aufwendigen HSIs (im Bild links) der unterbrochene Pfeil (im Bild grün) aus, bei den einfacheren HSIs dreht sich schlicht die Kompassskala entsprechend (hier rechts im Bild).

Dabei ist zu beachten, dass die aufwendigen HSIs auch den aktuellen Steuerkurs anzeigen (weißes Dreieck oben), während die einfachen das nicht tun und man zusätzlich den Kompass benötigt. Bei einer Kurve wird sich also das linke HSI komplett drehen - inkl. dem grünen, unterbrochenen Pfeil. Das rechte HSI bleibt einfach stehen.

Wir haben nun also das HSI auf 316° eingestellt, das heißt, wir beobachten die virtuelle (gedachte) Linie, die mit einem Kurs von 316° durch das VOR hindurch führt. Das HSI zeigt uns nun an, ob wir uns rechts, links von oder direkt auf dieser Linie befinden. Im oben abgebildeten Beispiel befinden wir uns links von der Linie. Das aufwendige HSI (links) zeigt das dadurch an, dass die Mitte des (hier) grünen Pfeils parallel nach rechts (auf die Pfeilrichtung bezogen) verschoben ist. Das einfachere HSI (rechts) zeigt das durch den Rechtsausschlag der weißen Linie im Innern des Instruments an. Angezeigt wird also in vereinfachter Weise, wo sich die gedachte Linie in Bezug auf die Flugzeugposition befindet. Die Mitte des HSI ist quasi das Flugzeug, die verschobene (grüne) Pfeilmitte ist die gedachte Linie.

Je nach dem, wie weit entfernt man nun von der gedachten Linie durch das VOR ist, ist der Ausschlag des HSI größer oder kleiner. Wäre die Anzeige in der Mitte, würden wir uns direkt auf der gedachten Linie befinden.

Das folgende Bild zeigt die Beispielsituation auf einer Karte:



Man sieht, dass das aufwendigere HSI die Situation viel besser darstellt. Man kann die Situation ohne großes Umdenken intuitiv einschätzen. Beim einfacheren HSI muss man zunächst unter Berücksichtigung des eigenen Steuerkurses (hier 19°) überlegen, in welcher Situation man sich nun genau befindet. Was jedoch auf alle Fälle deutlich wird, ist, dass man demnächst die gedachte Linie überfliegen wird. Dabei wird die Anzeige umschlagen. Das grüne Mittelstück des Pfeils in der aufwendigen Anzeige wird genau wie die weiße Anzeige im einfachen HSI auf die andere Seite wandern. Dieser Vorgang wird aber nicht plötzlich von statten gehen. Vielmehr geschieht dies langsam und gleichmäßig - eben genau so wie man auch diese gedachte Linie überfliegt.

Fliegt man nun zum Beispiel eine Rechtskurve genau so, dass man auf der gedachten Linie in Richtung des VORs fliegt, so hat man den Vorteil, genau zu wissen, aus welcher Richtung man zum VOR kommt. Man kann so zum Beispiel sehen, dass man die Kontrollzone von Erfurt an einer Ecke streifen wird. Dies könnte man nun verhindern, indem man das HSI auf 318° einstellt. Man sieht also: Die Navigation mit Hilfe des HSI macht viel genauere Flugwege möglich.

An dieser Stelle möchte ich einen Fachbegriff einführen: Es handelt sich um das Radial. Das Radial ist quasi die von uns erdachte Linie - viel mehr der Pfeil. Das Radial 316 des VORs ERF ist also der (unendlich lange) Pfeil in Richtung 316° auf dem Kompass, welcher durch das VOR ERF verläuft.

Fliege ich nun direkt auf diesem Radial, so weiß ich aber noch nicht, ob ich mich auf das VOR zu bewege, oder ob ich (wie in

diesem Beispiel, wenn ich nach links auf das Radial 316 schwenken würde) mich von ihm entferne. Deshalb hat das HSI das kleine weiße Dreieck, welches dem ein oder anderen vielleicht schon aufgefallen sein könnte. Dieses Dreieck zeigt entweder nach vorn (in Radialrichtung); dann bewege ich mich auf das VOR zu oder nach hinten (entgegen der Radialrichtung); dann entferne ich mich vom VOR. In manchen Flugzeugen findet sich anstatt des kleinen Dreiecks auch die Anzeige der entsprechenden Wörter TO oder FROM.

Nun ist die Funktionsweise des HSI erklärt. Was aber kann ich damit anfangen?

Erstens kann man seinen Flugweg genauer einhalten, wenn man gut plant. Das zeigt das bereits erwähnte Beispiel des Streifens der Kontrollzone Erfurt.

Aber es gibt noch mehr Anwendungen. Man denke sich einen Flugplan, der nur aus VORs besteht. Man müsste diese VORs eigentlich in einem Abstand von 195nm (Sendereichweite eines VORs) wählen, damit man immer weiß, wo man hinfliegen muss. Aber mit Hilfe des HSI, kann man nach Überfliegen des VORs ja weiter auf einem bestimmten Radial fliegen. Selbst der Wind spielt keine Rolle, da ich eine Abweichung vom Radial sofort auf dem HSI sehe und korrigieren kann. Auf diese Weise brauche ich das nächste VOR erst in Reichweite haben, wenn ich bereits weitere 195nm weit auf dem Radial vom letzten VOR weg geflogen bin. Der Abstand zwischen den VORs im Flugplan kann also auf die Doppelte Sendereichweite ausgedehnt werden, ohne dass ich zu irgendeinem Zeitpunkt ohne Navigationshilfe blind umher fliegen muss.

Eine weitere Anwendung wäre der Ersatz eines Radiokompasses. Will ich wissen, in welcher Richtung ein bestimmtes VOR liegt, so stelle ich dessen Frequenz ein und drehe den CRS- bzw. OBS-Knopf am HSI solange, bis die Anzeige (Mittelstück des Pfeils bzw. im einfachen HSI die weiße Anzeigelinie) in der Mitte ist. Wenn das kleine weiße Dreieck mir dann noch zeigt, dass ich mich auf diesem Radial auf das VOR zu bewege, brauche ich nur noch den eingestellten Kurs ablesen und kann ihm bis zum VOR folgen. Zeigt das Dreieck zunächst an, dass ich mich vom VOR entferne, so muss ich eben das Radial mit einem um 180° erhöhten Kurs wählen, also noch eine halbe Umdrehung am Knopf drehen.

Auf diese Weise kann ich die Funktion des Radiokompasses ersetzen.

Aus diesem Grund wird der Kanal NAV1, der immer standardmäßig auf das HSI geschaltet ist, nur sehr selten auf den Radiokompass geschaltet. In den meisten Flugzeugen gibt es nur ein HSI. Deshalb liegt NAV1 auf dem HSI, während NAV2 nicht auf das HSI

geschaltet werden kann und somit die zweite Nadel des Radiokompasses steuert.

Dies ist die Standardbelegung:

Radiokompass Nadel 1 = NDB/ADF

Radiokompass Nadel 2 = VOR2/NAV2

HSI = VOR1/NAV1

Diese Belegung lässt eigentlich keine Wünsche offen und lässt sich daher nur in wenigen Flugzeugen ändern - das wäre Luxus (kommt aber vor).

In einigen Flugzeugen (auch kleine Flugzeuge wie die Cessna) gibt es zwei HSIs. Dann hat der Radiokompass nur eine Nadel und zeigt immer ADF/NDB an, während die HSIs die Anzeige der VOR-Kanäle übernehmen.

Hauptsächlich in russischen Maschinen ist es üblich, dass man einen Radiokompass mit zwei völlig frei belegbaren Nadeln und manchmal auch zwei HSIs vorfindet. Oftmals haben russische Maschinen auch zwei ADF-Empfänger, was bei den westlichen Flugzeugen schon lange praktisch nicht mehr vorkommt.

Übrigens: Beim Überfliegen eines VORs spielt zunächst das HSI verrückt und man verliert dann das Signal. Auf der anderen Seite dann hat man wieder erstmal ein unbrauchbares Signal. Das HSI ist nur zu gebrauchen, wenn man ca. 5nm und mehr vom VOR entfernt ist.

So, nun hoffe ich, dass einiges klarer ist und dass der Umgang mit dem HSI viel Spaß bereitet. Kreativität bei der Verwendung des HSI kann übrigens noch viele weitere Anwendungen offenbaren!

Lektion 5: OMI



Das OMI ist ein sehr spezielles Instrument, welches keinerlei Bedienung bedarf.

Es handelt sich um einen Empfänger für ganz bestimmte Frequenzen, die einheitlich an allen Flughäfen gleich sind.

Es handelt sich um Sender, die im Landeanflug stehen. Überfliegt man den entsprechenden Sender, so leuchtet die entsprechende Lampe auf und in einigen Fliegern (kann man auch abschalten) ertönt ein Signalton. In russischen Flugzeugen ist es auch

manchmal nur der Signalton.

Im Landeanflug der damit ausgestatteten Pisten befinden sich drei dieser Sender, von denen sich auch die Buchstaben O, M und I ableiten:

Outer Marker

Middle Marker

Inner Marker

Man überfliegt also beim Landeanflug die sog. Marker in der oben angedeuteten Reihenfolge und nur, wenn man relativ genau über sie hinweg fliegt, erfolgt das Signal. Auf diese Weise hat man auch bei schlechter Sicht die Kontrolle, dass man sich tatsächlich im Anflug auf einer Piste befindet (und nicht etwa auf eine Autobahn). Man kann so auch relativ sicher sein, dass man die Navigationsinstrumente richtig eingestellt hat. Eine falsche Einstellung des ILS beispielsweise (erklärt sich genauer in späterer Lektion), kann dazu führen, dass man völlig falsch fliegt. Und dann wäre es nicht besonders gut, wenn man seine Höhe erst so weit verringert, dass man zwischen den Wolken die Hausdächer erkennt, um daran zu bemerken, dass man falsch fliegt ;-)

Übrigens: Der Inner Marker liegt extrem nah an der Schwelle der Landebahn - wenn man ihn überfliegt, ist man quasi schon über der Piste...

Lektion 6: ILS

Nun wollen wir uns um das ILS (Instrument Landing System), das Instrumentenlandesystem kümmern.

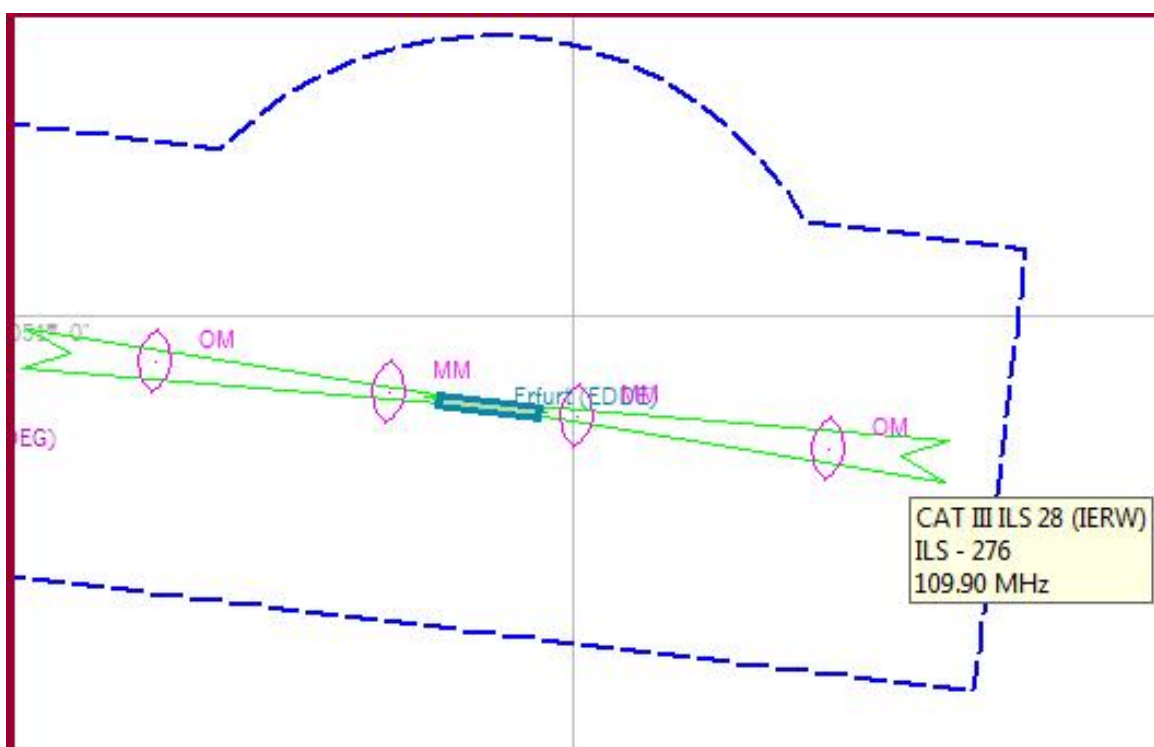
Beim ILS handelt es sich um ein System, was an eine bestimmte Piste, ja sogar eine bestimmte der beiden möglichen Anflugrichtungen der Piste gebunden ist. Auch hier handelt es sich um Funksender. Das ILS arbeitet im Frequenzbereich des VORs und arbeitet auch sonst technisch gesehen sehr ähnlich. Allerdings gibt es beim ILS grundlegend verschiedene Kategorien (grob CAT I bis CAT IIIc), die im Grunde den Entwicklungsstand wiedergeben.

Wir gehen nun zunächst von einem CAT IIIc-ILS mit entsprechend ausgerüstetem Flugzeug aus, werden also alle möglichen Funktionen durchgehen, bevor ich zum Schluss auf die älteren Kategorien eingehe.

Am einfachsten versteht man das ILS, wenn man sich ihm vom VOR her nähert. In den letzten Lektionen haben wir uns mit Radialen beschäftigt. Und beim Ausprobieren könnte der ein oder andere schon eine geniale Idee gehabt haben, durch die ich vor Jahren erst die Existenz des ILS entdeckt habe:

Wenn man mit Hilfe eines HSI ziemlich genau auf einer gedachten Linie beliebiger Ausrichtung (verlaufend durch das VOR) fliegen kann, kommt man irgendwann auf die Idee, das bei einer Landung zu nutzen. An vielen Flughäfen hat man auch noch das Glück, dass ein VOR direkt neben oder gar in der Verlängerung der Piste steht. Wenn man nun das Radial einstellt, das der Landebahnausrichtung entspricht, so kann man schon von sehr weit weg dem Radial folgen und gelangt direkt zur Piste.

Und genau darauf beruht das ILS. Heute haben fast alle Verkehrsflughäfen Pisten mit ILS. Auf Karten ist dies durch die "Einflugschneiße" symbolisiert (hier grün):



Man stellt also nun die Frequenz des ILS (hier 109.90MHz) wie ein normales VOR als NAV1 ein (Achtung: meist ist nur NAV1 für ILS geeignet). Anschließend stellt man als Radial den genauen Kurs der Piste (hier 276°) ein und erhält dann auf dem HSI die Anzeige des ILS (ILS haben eine Sendereichweite von 27nm).



(Per Klick auf das Bild vergrößern)

Logischerweise gibt die hier als Localizer benannte Anzeige an, ob sich die gedachte Verlängerung der Piste rechts oder links von einem befindet. In diesem Beispiel müsste man weiter rechts fliegen, allerdings mit dem selben Steuerkurs - erkennbar daran, dass der Landekurs 276° ist und wir auf 276° fliegen, optisch leicht erkennbar daran, dass die Nadel für das gewählte Radial genau in Flugrichtung zeigt. Es ist also eine Korrektur nach rechts erforderlich.

Man beachte, dass bei modernen Flugzeugen die Localizer-Information oftmals auch unterhalb des künstlichen Horizonts angezeigt wird, sodass man sich beim Landen auf diesen Bereich konzentrieren kann.

Neu für uns ist nun der Glideslope (Gleitpfad), welcher den optimalen Sinkflug zur Landebahn darstellt. Folgt man dem Gleitpfad, so stößt man weder mit Objekten am Boden zusammen, noch überfliegt man die Landebahn, weil man zu hoch wäre.

Angezeigt wird einem diese Information ganz ähnlich wie der Localizer. Ist die Anzeige (im ersten Beispiel die rosa Raute) oberhalb der Mittelmarkierung, muss man höher fliegen, ist sie dagegen wie hier unterhalb der Mitte, sollte man steiler sinken. Da sich auch die Glideslope-Anzeige direkt neben dem künstl. Horizont befindet, hat man tatsächlich alle ILS-relevanten Informationen und die Fluglage gleichzeitig im Blick. Trotzdem ist bei vielen modernen Flugzeugen die Glideslope-Anzeige zusätzlich nochmal in der gleichen Darstellungsform neben dem HSI (vergleichbar mit dem HSI unten links) oder als Balken im HSI (vergleichbar mit der Darstellung im russischen HSI unten rechts in der Abbildung) vorhanden.

Bei den analogen Darstellungen im unteren Teil der Abbildung gibt es noch folgende Dinge zu bemerken: Alle zeigen exakt die selbe Situation an wie im oberen Teil der Abbildung. Beim einfachen HSI in der Mitte ist zu bemerken, dass die Glideslope-Nadel sich nicht anders herum neigen kann - die Neigerichtung ist also keine Information, sondern durch den Aufbau des Instruments technisch bedingt. Man betrachte daher immer das Ende der Nadel als die eigentliche Anzeige.

Nun möchte ich noch den Radar-Höhenmesser erwähnen: Dieser zeigt immer die Höhe über Grund an und nicht die Höhe über dem Meer (wie es der normale Höhenmesser tut). Aus diesem Grund nützt der Radarrhöhemesser bei der Landung mehr (so er denn im Flugzeug überhaupt vorhanden ist). Vor allem aber ist er genauer und dient daher als Grundlage für die Lautsprecheransagen der Höhe im Endanflug (Bei modernen Jets) sowie für das Abfangen des Fliegers zum weichen Aufsetzen (sowohl manuell als vor allem auch per Autopilot - siehe spätere Lektionen). Außerdem gibt es in Anflugkarten oftmals die Angaben, in welcher exakten Höhe über Grund man sich beim Überfliegen der verschiedenen Marker (OMI!) befinden soll. Auf diese Weise kann man seinen Anflug sehr gut kontrollieren. Übrigens sind der Outer Marker und der Middle Marker in der Karte oben eingezeichnet, haben aber keine Höhenangabe.

Als letztes nun ein paar Worte zu den verschiedenen Kategorien: Die meisten Pisten sind heutzutage mit einem vollen ILS ausgestattet. Das bedeutet, dass man auf Localizer und Glideslope zurückgreifen kann. Es gibt und gab vor allem aber auch ILS, die nur mit einem Localizer dienen konnten. Vor allem aber sind die Kategorien bei den Flugzeugen relevant. Je nach dem, ob diese über die Anzeigen für Localizer und Glideslope, einen Radar-Höhenmesser, Auto-Land - Funktion des Autopiloten verfügen, werden sie in die unterschiedlichen Kategorien eingeordnet. Gerade die Fähigkeiten des Autopiloten sind wichtig zu kennen.

Sollte man nämlich mal eine automatische Landung mit einem Flugzeug ohne Radar-Höhenmesser durchführen, so wird der Autopilot den Flieger einfach ungebremst mit einem Winkel von etwa 3° in den Asphalt rammen. Der Radar-Höhenmesser ist für das automatische Abfangen unabdingbar.

Nun sollte jeder mittels ILS und einem entsprechend ausgerüsteten Flugzeug grundsätzlich in der Lage sein, ohne Sicht nach draußen zu landen. Sicherlich klappt das nicht sofort, aber mit viel Übung ist es tatsächlich möglich, ohne Autopiloten und nur durch die Informationen des ILS zu landen. Mit der Zeit beherrscht man das dann sogar zuverlässig.

Lektion 7: GPS

Nach der Auflistung vom Anfang, sind wir mit der Radionavigationsschulung eigentlich durch. Ich hoffe, ich konnte einiges an navigatorischem Wissen vermitteln. Man muss aber auch sagen, dass Übung dabei eine gewisse Rolle spielt. Je sicherer man im Umgang mit den Navigationshilfen ist, desto mehr kann man sich nur auf diese verlassen und desto leichter ist die Flugplanung und die Flugdurchführung. Wo man jetzt vielleicht noch viel Konzentration auf das Navigieren verwendet und daher vielleicht nicht mehr in der Lage ist, den Funkverkehr abzuwickeln, kann man nach einiger Übung sogar noch die Landschaft genießen.

Zum Abschluss möchte ich noch eine Empfehlung geben: Wenn man nur mit Hilfe der Funknavigation fliegen möchte, so empfiehlt es sich, wenn möglich nur VORs (mit DME) als Navigationspunkte zu verwenden. Diese haben einfach die meisten Möglichkeiten und stehen meist auch so eng, dass man lückenlos navigieren kann. Nur wenn das eben nicht möglich ist - also zum Beispiel in Russland oder so - sollte man auf NDBs zurückgreifen. Diese sind letztlich auch wegen der sehr unterschiedlichen Sendereichweiten eher die zweite Wahl (aber immernoch besser als Blindflug). Genauso verhält es sich bei der Landung: Sollte ein ILS vorhanden sein, wird dies immer die erste Wahl sein - damit kann man schließlich auch blind landen und der Umgang ist auch einfach. Dagegen ist ein NDB-Anflug doch recht anspruchsvoll und wird einen auch nur ungefähr und vor allem eben auch nur horizontal zur Piste leiten. Man braucht allein wegen der Einteilung des Sinkfluges zur Landung eine relativ gute Sicht auf die Piste. Trotzdem nützt der NDB-Anflug, wenn man sonst nichts zur Verfügung hat, weil man die Piste eben auf Anhieb findet.

Heutzutage hat natürlich jedes Verkehrsflugzeug ein GPS - und auch im Flugsimulator steht es eigentlich grundsätzlich zur Verfügung. Das GPS kann natürlich jedes VOR und NDB ersetzen. Aber im Landeanflug ist es doch zu ungenau, zu langsam (Bildwiederholrate der Kartendarstellung) und stellt keinen Gleitpfad zur Verfügung. Aus diesem Grund sind ILS-Anflüge auch bei GPS-Ausrüstung des Flugzeuges unerlässlich. Die Praxis sieht also heute so aus, dass man meist mit Hilfe des GPS die Strecke fliegt und den Landeanflug per ILS absolviert. Die Radionavigation auf der Strecke ist heute also "unüblich", da aufwendiger.

Letztlich hat das GPS auch einen erheblichen Vorteil: Ich kann jederzeit meine genaue Position auf einer Karte darstellen, ohne selbst rechnen zu müssen oder meine räumliche Vorstellung zu bemühen. Außerdem kann ich im GPS beliebige Navigationspunkte festlegen, die völlig frei positioniert sind. Da muss eben kein Funkturm am Boden stehen.

Im Flugsimulator steht vor allem das einzelne GPS-Gerät zur Verfügung. So findet man das GPS eigentlich nur in Kleinflugzeugen. Verkehrsflugzeuge haben ein integriertes GPS und das dient eigentlich als Grundlage für die Berechnungen des FMC (Flight Management Computer). Da das FMC im Flugsimulator nicht umgesetzt ist (Ausnahme sind einige gute Addons), greift man auch in einer 737 auf das GPS-Gerät zurück, wie man es in Kleinflugzeugen findet.

Das GPS kann also im Flugsimulator dazu von Nutzen sein, seine Position auf der GPS-Karte zu sehen. Will man allerdings einen Flugplan erstellen, so ist das mit diesem GPS doch recht umständlich. Schließlich muss man ja auch noch eine entsprechende Quelle für die abzufliegenden Navigationspunkte haben (Karte). Will man also einen GPS-Flug durchführen, wird man im Flugsimulator wohl fast immer auf den Flugplaner des FS zurückgreifen (dieser lädt dann auch gleich den Flugplan ins GPS) oder ein anderes Flugplanungstool nutzen.

Ich persönlich nutze das GPS im Flugsimulator nur selten. Meistens gebe ich dann einen Zielflughafen ein, für den ich einen direkten Kurs haben will.

Das geht auch noch recht einfach. Man ruft die entsprechende Menüseite über einen Button "Direct" auf (dieser Button ist manchmal durch ein Symbol gekennzeichnet, welches den Großbuchstaben "D", durchbohrt von einem horizontalen Pfeil nach rechts, zeigt).

Nun ist die Eingabezeile für die Kennung des anzufliegenden Navigationspunktes (also bei mir ein Flughafen) aktiv. Man blättert dann über das Cursorfeld des GPS (Vierwege-Kreuztaste

oder Koaxial-Doppeldreheschalter) den ersten Buchstaben, bestätigt mit der Taste "nach Unten" oder dem zweiten Drehschalter und kommt so zum nächsten Buchstaben, um ihn durchzublättern. Auf diese Weise bastelt sich die gewünschte Flughafenkennung zusammen und bestätigt letztlich mit der Taste Enter. Anschließend zeigt das GPS wieder die Karte und eine rote Linie, die von der aktuellen Position zum Zielflughafen führt. Auf diese Weise kann man sich bei einem VFR-Flug mal schnell behelfen, wenn man die Orientierung verloren haben sollte. Für die Flugplanung eines IFR-Fluges sollte man aber dann doch lieber vorher den Flugplaner konsultieren oder den Flug von Hand genau planen.

Das GPS bedient sich eigentlich recht intuitiv. Man probiert etwas herum und kommt damit zurecht. Die Schwierigkeit liegt nämlich nicht darin, irgendwelches navigatorischen Wissen zu haben, sondern höchstens darin, das Gerät richtig zu bedienen. Das wiederum weicht natürlich von Typ zu Typ ab und lässt sich daher nicht allgemeingültig erklären.