

Instrumentenlandesysteme

Eine in der Öffentlichkeit weitgehend unbekannt Funkanwendung sind die Bodennavigationsanlagen für die Luftfahrt. Dieser Artikel will dem interessierten Leser einerseits die grundsätzliche Anwendung und andererseits ein wenig technische Details darlegen. Aufgrund der Komplexität der Materie (speziell des hier beschriebenen Instrumentenlandesystem ILS) kann der Artikel im Rahmen dieses Praxisheftes leider nicht jede aufkommende Frage abschließend beantworten. Oftmals müssen Sachverhalte etwas vereinfacht dargestellt werden.

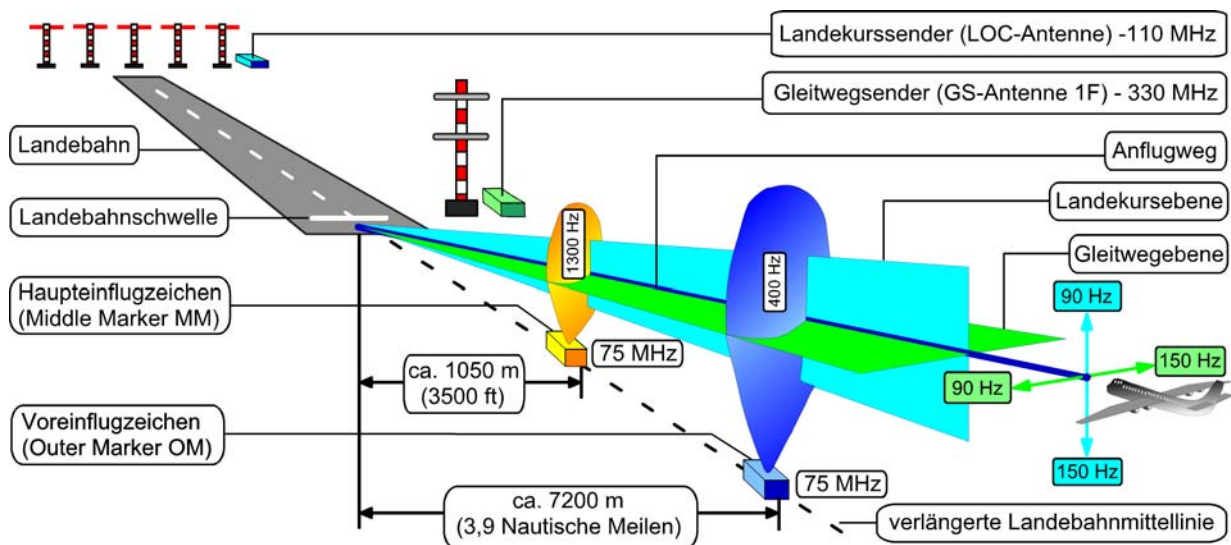
Für die Navigation eines Luftfahrzeugs stehen zahlreiche Einzelsysteme zur Verfügung. Für die Führung eines Flugzeugs zwischen Start und Landung werden die so genannten Streckennavigationsanlagen verwendet. Dazu gehören ungerichtete Funkbaken (NDB, Non Directional Beacon), Drehfunkfeuer (VOR, Very high frequency Omnidirectional Range), Dopplereffekt-Drehfunkfeuer (DVOR) und auch Entfernungsmessanlagen (DME, Distance Measurement Equipment). Alle diese Anlagen sind für die sogenannte Flächennavigation (auch 2D-Navigation) konzipiert, d.h. sie bieten keine Höheninformationen.

Diese Navigationsanlagen unterstützen, neben GPS und bordeigenen Sensoren, den Flug „über den Wolken“. Für eine Landung muss allerdings eine evtl. Wolkendecke durchstoßen werden. Mitunter liegt die Wolkende-

Das ILS liefert eine Richtungs- und Höheninformation. Zum ersten Verständnis kann man sich einen Lichtstrahl denken, der vom Kopf der Landebahn genau in Richtung der verlängerten Mittellinie und in einem Winkel von 3 Grad nach oben strahlt.

Das System besteht aus mehreren Einzelkomponenten. Für die Erzeugung der Richtungsinformation sorgt der Landekursender (Localizer, LLZ). Für die Generierung der Höheninformation, die das Flugzeug in einem Winkel von 3 Grad zum Boden leitet, wird der Gleitwegsender (Glide Path, GP) verwendet. Daneben existieren noch bis zu zwei weitere Sender, die in bestimmten Abständen vor dem Aufsetzpunkt auf der verlängerten Landebahnmittellinie (Center Line, CL) stehen. Dabei handelt es sich um senkrecht nach oben strahlende Baken. Beim Durchflug des HF-Kegels erhält der Pilot eine akustische (Morsecode) und optische (Farbe) Anzeige. Das ermöglicht die Kontrolle des Anfluges und der an den Senderstandorten benötigten Flughöhe. Die Sender werden als Marker oder Einflugzeichen bezeichnet. In Deutschland verwendet man ein Haupteinflugzeichen HEZ (engl. Middle Marker, MM) bei ca. 1050m vor dem Aufsetzpunkt und ein Voreinflugzeichen VEZ (engl. Outer Marker, OM) bei ca. 7200m.

Abb. 1: Schematische Darstellung aller ILS-Informationen



cke auf dem Boden auf bzw. liegt so tief, dass es nicht mehr möglich ist, mit den oben genannten Systemen eine Landung durchzuführen.

Hier kommt das Instrumentenlandesystem (ILS) zum Einsatz. Das ILS ist das einzige Präzisionsanflugverfahren, das vollautomatische Landungen ohne jegliche Sicht ermöglicht. Auch ohne Wolken und bei guter Sicht wird das ILS zur Landung benutzt, da es immer die Sicherheit bei der Landung erhöht. Der Pilot kann sich während der Landung anderen wichtigen Aufgaben widmen, statt zu 100% mit der Landung beschäftigt zu sein.

Landekursender (Localizer, LLZ)

Dieser Sender dient zur Erzeugung der Landerichtungsinformation. Er ist am Kopfende der Landebahn positioniert (d.h. je nach Landebahnlänge etwa 1500m bis 4500m vom Aufsetzpunkt des Flugzeugs entfernt) und strahlt in einem horizontalen Winkelbereich von +/- 35 Grad seine Information ab. Die garantierte Reichweite beträgt 25 NM (nautische Meilen). Die Sendeleistung beträgt 25 - 50 Watt.



Abb.2: Landeskursender-Antenne

Sobald der Pilot sich im LLZ-Winkelbereich befindet, erhält er auf seinem Anzeigeelement, dem Kreuzzeiger, eine Information. Auf dem CDI (Course Deviation Indicator) beginnt die vertikal angeordnete Anzeigenadel von einem Rechts- oder Linksanschlag langsam in die Mitte der Anzeige zu wandern, je näher das Flugzeug sich seitlich der verlängert gedachten Mittellinie der angesteuerten Landebahn nähert. Befindet sich die Nadel genau in der Mitte der Anzeige, so fliegt das Flugzeug auf der Mittellinie (Centerline, CL). Hält der Pilot die Nadel nun in Position, wird er exakt die Mitte der Landebahn überfliegen. Dabei wird das Prinzip „follow the needle“ verwendet, d.h. wenn die Nadel nach links auswandert, muss der Pilot auch nach links steuern.

Gleitwegsender (Glide Path, GP)



Dieser Sender generiert eine Höheninformation, die das Flugzeug kontinuierlich in einem festgelegten Winkel nach unten führt. Die Position des Senders hängt von der Form der Oberfläche des Geländes in seinem Strahlungsfeld ab. Prinzipiell ist er in einem Abstand von 120 bis 180m neben der Landebahnmittellinie und ca. 300m hinter der Landeschwelle (dem „offiziellen“ Beginn der Landebahn, engl: Threshold, T) positioniert. Es muss sichergestellt sein, dass der Leitstrahl über der Landeschwelle eine Höhe von 15 bis 18m erreicht und mit einem Winkel von 3 Grad nach oben gerichtet ist.

Das Signal wird in einem horizontalen Winkelbereich von ± 8 Grad abgestrahlt. Die garantierte Reichweite eines GP beträgt 10 bis 15 NM. Die Sendeleistung beträgt 5 bis 10 Watt.

Ab einer bestimmten Entfernung, bei der der Pilot längst nach Anweisung der Fluglotsen auf dem Signal des Landeskursenders und damit der Landebahnmittellinie fliegt, erhält er auf dem 2. Teil seines Kreuzzeigerinstruments, dem HSI (Horizontal Situation Indicator), nun eine Höheninformation. Der HSI ist eine horizontal angeordnete Anzeigenadel, die nach oben / unten auswandert. Stellt man sich das GP-Signal als Lichtstrahl vor, der vom Aufsetzpunkt aus in einem Winkel von 3 Grad nach oben gerichtet ist, so nähert sich das Flugzeug von unten diesem Strahl.

Die Anzeige im Cockpit meldet dem Piloten nun „fliege höher“, die Anzeigenadel steht am oberen Anschlag. Der Pilot wartet aber zunächst, bis die Nadel anfängt von oben nach unten zu wandern. Sobald die Nadel die Mittelstellung der Anzeige erreicht hat, befindet sich das Flugzeug genau im Strahl und ab sofort muss das Flugzeug mit einer konstanten Rate sinken, um die Nadel auf dieser Mittelstellung zu halten. Bilden die Nadeln des CDI und HSI ein Kreuz, dessen Kreuzungspunkt sich genau in der Mitte der Anzeige befindet, so fliegt das Flugzeug exakt auf den Aufsetzpunkt der Landebahn zu.

Einflugzeichen HEZ/VEZ (Middle Marker, MM / Outer Marker OM)

Auf diese Hilfssender, die bestimmte Entfernungen zur Landebahn markieren, soll nicht tiefer eingegangen werden. Es handelt sich um Sender, die alle auf 75,0 MHz ein AM-Signal mit Morsekennung abstrahlen. Ein MM sendet eine Punkt-Strich-Folge, der OM eine Strich-Strich-Folge. Das Signal wird über eine senkrecht nach oben gerichtete Yagi-Antenne abgestrahlt. Die Sendeleistung wird so eingeregelt, dass das Flugzeug bei MM einen 300m und beim OM einen 600m breiten HF-Kegel durchfliegt. Der Empfänger im Flugzeug reagiert ab einer bestimmten Feldstärke mit akustischen und optischen Signalen.

Die Sendeleistung eines Markersenders beträgt meist 0,2 bis 0,5 Watt.

Abb.3: Gleitwegsender-Antenne

Einflugzeichensender markieren Entfernungen bis zum Aufsetzpunkt. Sie werden zunehmend durch DME-Sender (Distance Measurement Equipment, Sender zur Entfernungsmessung) ersetzt, die sich ohnehin auf jedem Flugplatz befinden.

Mit einem Scanner bewaffnet kann man diese Sender im Umfeld eines Flughafens leicht auffindig machen.

Das Localizersignal

Die Modulationsart aller Sender ist die gute alte Amplitudenmodulation (AM). Die Trägerschwingung im Localizer-Frequenzbereich 108,00 MHz bis 111,975 MHz wird mit einem 90Hz- und einem 150Hz-Tonsignal moduliert. Dieses Signal wird als CSB (Carrier and Side Bands) bezeichnet. Mathematisch kann man es so beschreiben:

$$s(t) = [1 + M_{90} \cdot \sin(3\omega t) + M_{150} \cdot \sin(5\omega t)] \cos(\omega t)$$

wobei ω die Kreisfrequenz des Trägers und w die Kreisfrequenz der 30Hz Grundfrequenz bedeutet. M_{90} und M_{150} sind die Modulationsfaktoren, die beim LLZ = 0,2 zu setzen sind.

Daneben wird noch ein Signal mit unterdrücktem Träger (SBO, Side Bands Only) erzeugt. Bei diesem SBO-Signal wird das 150Hz-NF-Signal gegenphasig und das 90Hz-NF-Signal gleichphasig bezogen auf das CSB-Signal aufmoduliert. Auch hier die mathematische Formel:

$$d(t) = k[\sin(5\omega t) - \sin(3\omega t)] \cos(\omega t + \epsilon)$$

wobei k der relative Pegel des SBO Signals in Bezug auf das CSB Signal, und ϵ die relative Phase des SBO Signals zum CSB-Signal bedeutet.

Die ILS-Grundsignale (CSB und SBO) werden über einen Hochfrequenz-Lastverteiler in die bis zu 21 Dipole der Sendeantenne eingespeist. Ein Lastverteiler (Antenna Distribution Unit, ADU) teilt die HF nach Betrag und Phase nach einem ausgeklügelten System auf die Einzelantennen auf, jeweils für CSB und SBO nach unterschiedlichen Gesetzmäßigkeiten. Dadurch bildet sich mittels Überlagerung der Einzelsignale das benötigte Signal im Raum.

Der wichtigste Parameter eines ILS-Signals ist der Modulationsgrad. Die beiden Tonsignale werden beim LLZ, wie oben beschrieben, mit je 20% Modulationsgrad aufmoduliert. Die eigentliche Information steckt nun in der Differenz der Modulationsgrade dieser Tonsignale. Die Differenz bezeichnet man als DDM (Difference in Depth of Modulation) und ist der Dreh- und Angelpunkt der ILS-Funktionsweise. Die Feldstärke ist nur von untergeordneter Bedeutung.

Genau in der Mitte vor der Antennenzeile befindet man sich in der Nullstelle aller Antennenpaare. Man empfängt nur noch das Signal des mittleren Einzeldipols. Dies bedeutet, dass man beide Tonsignale mit 20% Modulationsgrad empfängt. Die Differenz ist $M(150\text{Hz}) - M(90\text{Hz}) = 0\%$. Bewegt man sich nun z.B. nach rechts aus der Mitte, so tritt man aus den Nullstellen heraus und durch die Überlagerung der teilweise phasenverschobenen Modulationssignale in den Antennenpaaren beginnt das 150Hz-Signal die Oberhand zu gewinnen.

Der Modulationsgrad des 90Hz-Signals sinkt durch Phasenauslöschungen, der des 150Hz-Signals steigt durch Phasenverstärkungen. Es ergibt sich z.B. an der Stelle x $M(90\text{Hz}) = 10\%$, $M(150\text{Hz}) = 30\%$. Die Differenz der

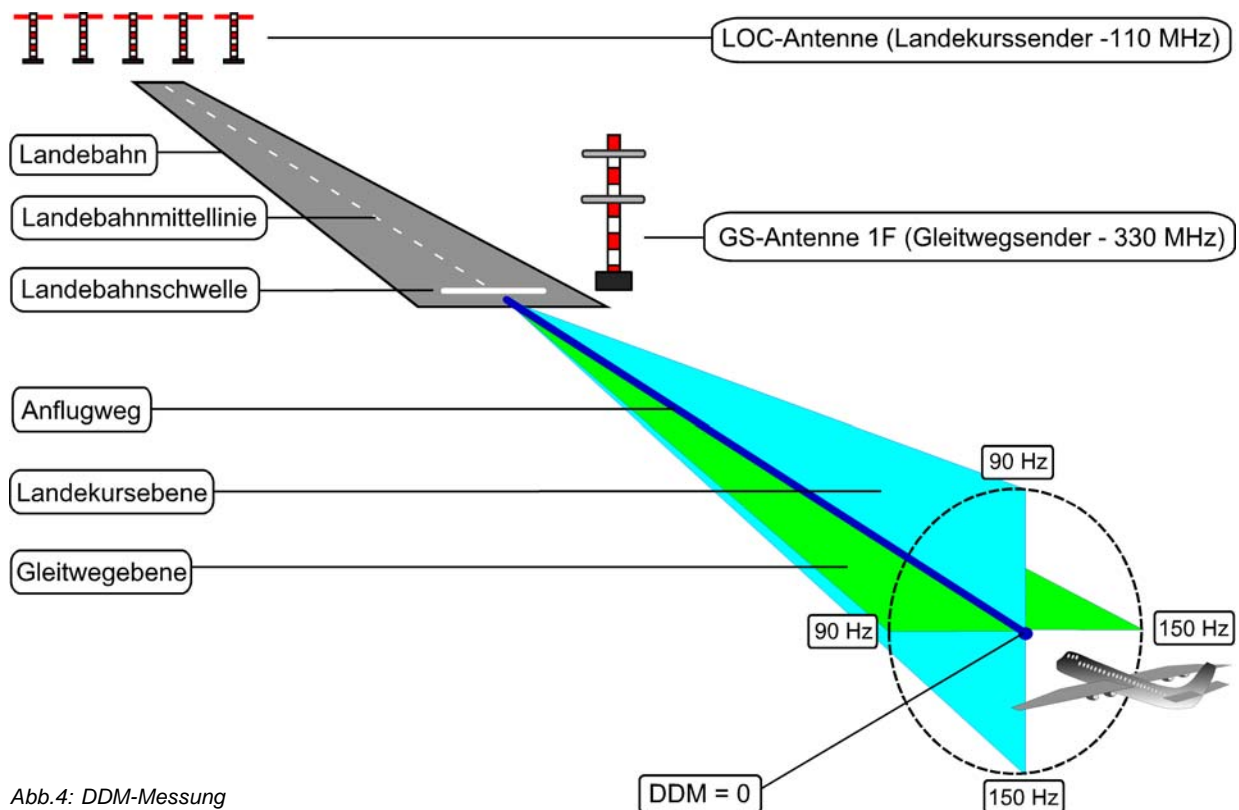


Abb.4: DDM-Messung

Modulationen beträgt hier 20%. Die Anzeige im Cockpit übersetzt dies in die Anweisung: „fliege nach links“, denn die Nadel ist nach links ausgewandert. Man praktiziert das Prinzip „follow the needle“ und um die Nadel wieder in die Mitte zu bekommen, muss das Flugzeug nach links gesteuert werden.

Das Anzeigeinstrument des ILS im Flugzeug ist, wie bereits erwähnt, ein Kreuzzeigerinstrument. Es wandelt die Differenz der Modulationsgrade in einen Gleichstrom um, ist also ein Gleichstrommessgerät. Definitionsgemäß stehen beide Zeiger bei einer Differenz von 0% = 0µA in der Mitte der Anzeige. Das Erreichen des Vollausschlags ist bei LLZ, also der vertikal angebrachten und nach links/rechts auswandernden Nadel, bei genau 15,5% DDM = 150µA definiert.

Dieser Wert korrespondiert übrigens auch mit der Einstellung der „Breite“ des LLZ-Signals am Boden. Der beschriebene Anstieg und Abfall der empfangenen Modulationsgrade bei seitlicher Positionsabweichung ist wegen der Aufteilung der Signalanteile durch den Lastverteiler der Antenne linear. Dabei ist festgelegt, dass der Wert DDM=15,5% an einem Punkt 107m seitlich der Landebahn in Höhe der Landeschwelle liegen muss. Der Wert muss bis zur Landebahnmittellinie (DDM = 0%) linear absinken und am gegenüberliegenden „107m-Punkt“ bei -15,5% = -150µA ebenfalls linear ankommen.

Dies bedeutet je nach Landebahnlänge unterschiedliche „Öffnungswinkel“ (auch Breite genannt) und damit auch unterschiedliche Empfindlichkeit (engl. Displacement sensitivity, DS) des sich linear ändernden DDM. Bei kurzen Landebahnen wird der Öffnungswinkel auf max. 6 Grad begrenzt.

Beispiel: Bei einer Entfernung LLZ -> Landeschwelle von 4000m ergibt sich ein Öffnungswinkel von $2 \cdot \text{ARCTAN}(107\text{m}/4000\text{m}) = 3,06$ Grad, bei 3000m: $2 \cdot \text{ARCTAN}(107\text{m}/3000\text{m}) = 4,08$ Grad. Beim Erreichen des Halbwinkels zeigt das Instrument immer genau 15,5% DDM = 150µA = Vollausschlag an.

Die Skala des Kreuzzeigerinstrument ist nicht in Ampere oder DDM ausgeführt, sondern in gleiche Teile, den sogenannten DOTs eingeteilt. Viele Piloten meinen auch heute noch 1 DOT sei 1 Grad Abweichung. Mit der obigen Beschreibung des Öffnungswinkels und der DS sollte dieser Irrtum erkennbar sein.

Diese „Signalbreite“ wird durch den bereits erwähnten Pegelfaktor „k“ eingeregelt. Wenn man sich mit der ILS-Signaltheorie befasst, kommt man auf das Ergebnis, dass der Wert 15,5% DDM immer dann erreicht ist, wenn das Pegelverhältnis zwischen CSB und SBO -22dB beträgt. Die mathematische Formel dazu:

$$\text{SBO/CSB} = (k \times \text{SD}(\alpha)) / \text{CD}(\alpha) = -22\text{dB}$$

wobei $\text{SD}(\alpha)$ und $\text{CD}(\alpha)$ die Abstrahlungsdiagramme des CSB und SBO beim Winkel alpha bezeichnen.

Der aufmerksame Leser fragt sich sicherlich: wenn der Pilot korrekt auf der Mitte fliegt, erhält er 0% DDM bzw. 0µA Messtrom. Woher weiß er, dass sein Instrument nicht schlicht defekt ist? Nun, neben der Differenz der Modulationsgrade, wird auch die Summe der Modulationsgrade (SDM) überwacht. Das Instrument hat sogenannte „Flags“, die die Summe der Modulationsgrade auswertet. Das SDM ist immer ca. 40%. Unter 38% und über 42% markieren diese Flags die Anzeige als ungültig. Das Flag ist eine farbige Markierung im Display, die bei Störungen ins Sichtfeld „fällt“. Ein Signalausfall macht sich als SDM=0% bemerkbar, die „Flagge fällt“.

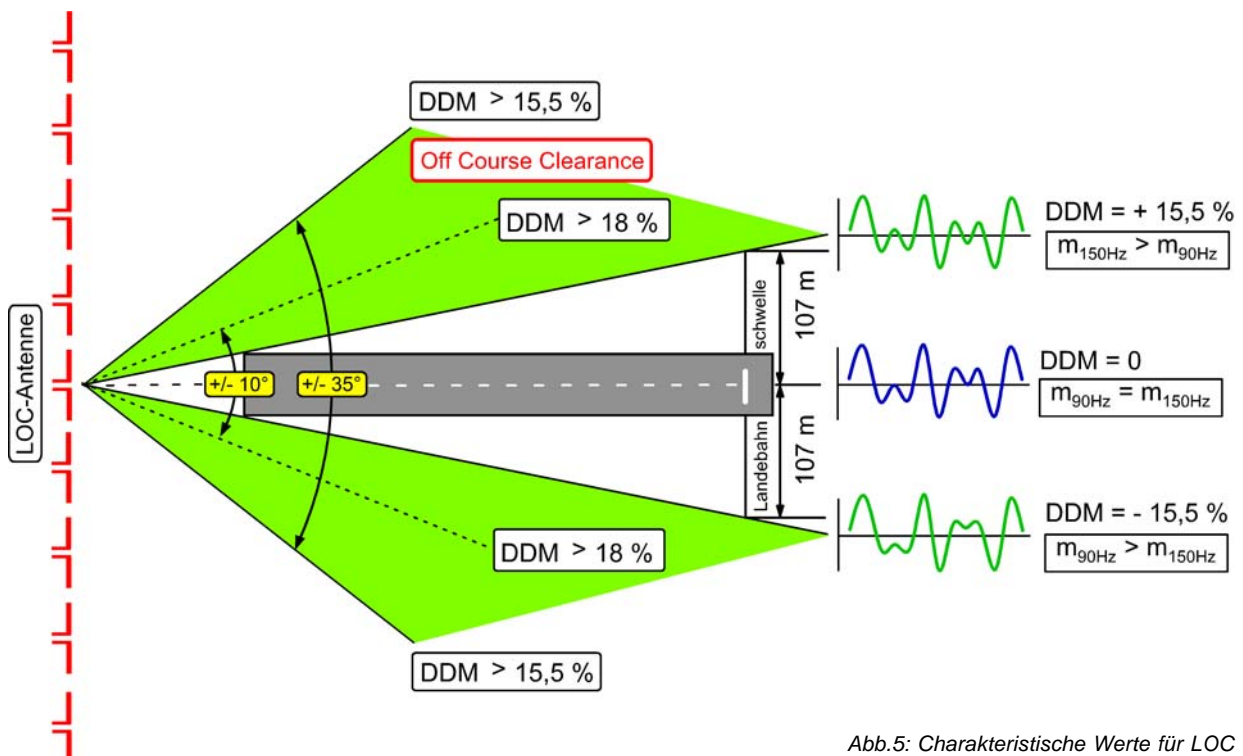


Abb.5: Charakteristische Werte für LOC

In der Praxis findet man meist Antennen mit 6, 12, 16 oder auch 21 nebeneinander angeordneten Einzelantennen. Die Auswahl ist zum einen von der zu erreichenden Genauigkeit und zum anderen von der Randbebauung der Landebahn abhängig. Sind nahe der Landebahn Gebäude mit langen, ebenen Fassaden errichtet, so können die von dem Localizersignal stammenden Reflexionen von den Gebäuden in das unreflektierte Signal einstrahlen und es durch Überlagerung verfälschen. Dies kann dazu führen, dass das ILS unbrauchbar wird. Abhilfe schafft dann bis zu einem gewissen Grade die Wahl einer grösseren, schärfer gebündelten Antenne, die weniger Strahlung an die Gebäude abgibt. An vielen Standorten aber funktioniert auch dies nicht.

Durch topographische Gegebenheiten oder auch durch Neuerrichtung von Gebäuden, bei denen nicht auf die Einflüsse auf das ILS geachtet worden ist, kann auch eine Normalanlage mit der besten Antenne Probleme bekommen. Bei der Verwendung einer grossen Antenne wird das Signal so scharf gebündelt, dass die geforderte Signalabdeckung in den Randbereichen (also bei grösseren Winkeln) nicht mehr gegeben ist. Aus dieser Situation heraus wurde das 2F-System entwickelt. Hier wird zusätzlich zum Normalsignal noch ein zweites HF-Signal auf einem eigenen Träger (ca. 8 kHz Offset) erzeugt und über den Lastverteiler der Antenne auf ganz bestimmte Einzelantennen (jeweils mit genau abgestimmter Amplitude und Phase) gegeben. Dieses Zusatzsignal (Clearance) füllt die Raumbereiche, die durch das scharf gebündelte Hauptsignal nicht mehr ausreichend abgedeckt wurden.

Der Frequenzoffset zwischen dem Hauptsignal (Course) und dem Füllsignal (Clearance) ermöglicht es dem Empfänger im Flugzeug sich auf den Träger einzurasten, der für den gerade durchflogenen Raumbereich zuständig ist. Dies ist notwendig, da ja das Course-Signal trotz der schwächeren Leistung immer noch Signalanteile in den Clearance-Bereich abstrahlt, die der Bordempfänger aber nicht auswerten darf.

Das Glide Path Signal

Für das Gleitwegsendersignal gilt prinzipiell das Gleiche wie für den Localizer. Im Grunde ist er nur ein senkrecht aufgebauter Landekursender. Natürlich gibt es hier einige Besonderheiten, die den Gleitwegsender ungleich komplizierter als den Landekurs machen.

Der Frequenzbereich des GPs erstreckt sich von 328 MHz bis 336 MHz. Dabei sind LLZ und GP-Frequenzen in bestimmten Kombinationen fest zu Kanälen verknüpft. Damit wird verhindert, das evtl. Harmonische des LLZ das GP-Signal stören. Ausserdem stellt der Pilot seinen Empfänger nur auf die Localizerfrequenz ein und rastet damit automatisch die korrekte Gleitwegfrequenz. So werden auch mögliche Verwechslungen von ILS-Anlagen bei parallelen Landebahnen verhindert.

Aus Sicherheitsgründen ist es nicht möglich an der Position eines Gleitwegsenders einen Mast höher als ca.

16m zu errichten. Ein GP-Antennenmast ist das einzige Objekt, das im Sicherheitsstreifen einer Landebahn getuldet wird.

Eine Gleitwegantenne besteht aus 3 übereinander angeordneten Antennen mit horizontaler Polarisation. Die spiegelbildlichen virtuellen 3 Antennen im Erdboden ergänzen das Antennensystem. Die Überlagerung der realen und virtuellen Antennen bilden einen HF-Kegel, dessen Kegelspitze im Fußpunkt aller Antennen liegt. Alle Punkte auf einem Kegelschnitt haben gleiches DDM. In der Praxis haben wir es aufgrund bestimmter Effekte mit einem Kegelschnitt (Hyperbel) zu tun. Darauf soll hier aber nicht näher eingegangen werden.

Durch die Anpassung der Höhen der Antennen über dem Erdboden kann der Winkel des Kegelmantels beeinflusst werden. Man stellt die Antennen so ein, dass der Kegelschnitt, auf dem sich das $DDM = 0$ befindet, den erforderlichen Landewinkel von 3 Grad ergibt.

Im Unterschied zum LLZ werden die beiden Modulationsfrequenzen 90Hz und 150Hz hier mit je 40% Modulationsgrad aufmoduliert.

Die mathematischen Formeln für die CSB- und SBO-Signale entsprechen denen des LLZ. Nur der Modulationsfaktor ist hier 0,4 und die Kreisfrequenz des Trägers höher.

Wie eingangs erwähnt bedient sich das GP-Antennensystem auch der spiegelbildlichen virtuellen Antennen. Daher hängt die Neigung des HF-Kegels stark von der Form des Geländes vor der GP-Antenne ab. Sofern Antennenmast und Gelände in einem exakten rechten Winkel zueinander stehen, wird die Mittelachse des HF-Kegel auch exakt senkrecht zum Erdboden ausgerichtet sein.

In der Praxis findet man jedoch selten ideale Verhältnisse. Da man aus statischen Gründen einen Antennenmast niemals „schief“ montiert, muss man eventuelle Geländeabweichungen auf andere Art ausgleichen. Ist das Gelände zum Mast geneigt, so neigt sich auch der HF-Kegel in gleichem Maße.

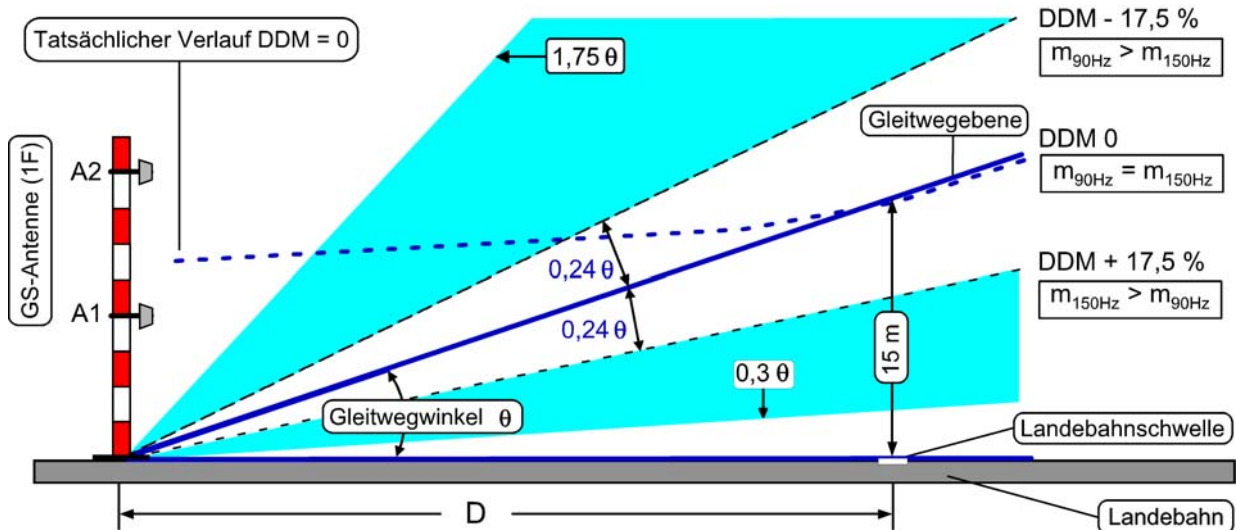
In einem solchen Fall kann man die Position des Mastes auf die Bedingungen ausrichten. Man verschiebt den Mast soweit aus der Idealposition, dass der Kegelschnitt, auf dem $DDM = 0\%$ herrscht, wieder durch den Bereich 15m-18m über der Landeschwelle der Landebahn führt. Weiterhin werden auch die einzelnen Antennen relativ zueinander im Zentimeterbereich verschoben, wodurch gewisse Signaleffekte ausgeglichen werden.

Wie beim LLZ wird auch hier eine „Signalbreite“ benötigt. Dies ist beim GP auf den Sollwinkel bezogen. Der Sollwinkel Θ ist im Normalfall 3 Grad. Die Signalbreite ist abweichend vom LLZ hier bei 17,5% DDM definiert. Dieser Wert ruft aber beim Kreuzzeigerinstrument im Flugzeug ebenso wie bei LLZ 150 μA Messstrom hervor.

Definitonsgemäß muss dieser Wert bei Q_{\pm} ($0,24Q$) erreicht werden (Q = Nominalgleitwinkel, meist 3 Grad), d.h. bei 3,72 Grad und 2,28 Grad. Innerhalb dieses Sektors muss das DDM-Signal linear verlaufen.

Dies wird wie beim LLZ durch eine spezielle Aufteilung der CSB- und SBO Signale in einem Lastverteiler bewerkstelligt.

Abb.6: Charakteristische Werte für GS



Beim GP bei dem hier vom sogenannten „M-Type“ ausgegangen wird, werden folgende Signale in die einzelnen Antennen eingespeist:

- A1 (untere Antenne): CSB (mit 12% DDM), SBO (180° phasenverschoben), Clearance (Füllsignal)
- A2 (mittlere Antenne): CSB (mit 48% DDM, 180° phasenverschoben, -6dB Pegel bezogen auf A1), SBO
- A3 (obere Antenne): SBO 180° phasenverschoben, Clearance (Füllsignal)

durch die unterschiedlichen Antennenhöhen bilden sich für die Einzelsignale auch unterschiedliche Abstrahlungsdiagramme, die alle zusammen überlagert, das benötigte Signal im Raum bilden.

Auch hier bestimmt wieder der Faktor „k“ den relativen Pegel des SBO-Signals. Da eine Herleitung an dieser Stelle zu weit führen würde, sei hier das Ergebnis $k=11,67\%$ vorweggenommen.

Ebenfalls analog zum LLZ strahlt ein M-Type Gleitweg auch ein Füllsignal aus, das in den tieferen Bereichen dafür sorgt, dass der Pilot auch bei sehr niedrigen Flughöhen immer ein „fliege höher“ Signal empfangen kann. Die mathematische Formel des Clearancesignals:

$$c(t) = [1 + 0,25 \sin(3\omega t) + 0,55 \sin(5\omega t)] \sin(\omega t)$$

Die Flugdurchführung ergibt sich wieder durch die Abweichungen vom Sollkurs, der bei $DDM = 0\%$ genau auf dem 3 Grad-Winkel liegt. Fliegt das Flugzeug unterhalb des Gleitwinkels, so erhöht sich der Anteil der 150Hz-Schwingung und somit erhöht sich das DDM und der Messtrom im Flugzeug. Das Instrument zeigt dem Piloten eine nach oben auswandernde Nadel: „fly up!“.

Monitoring

Vorausgehend wurde das abgestrahlte Signal beschrieben. Aber das alles liefert noch nicht die 100%ige Sicherheit, die man bei einem Landeanflug erreichen will. Auch wenn es etwas seltsam klingt: die eigentliche Sicherheit wird durch ein Monitoringsystem erreicht, das die abgestrahlten Signale erfasst und automatisch überwacht.

Diese Überwachung ist in den maßgeblichen internationalen Dokumenten vorgeschrieben. Allerdings ist nicht festgelegt wie und was überwacht wird. Definiert ist aber das Ziel: die Verhinderung der Abstrahlung eines Falschsignals, die unter allen Umständen sichergestellt werden muss.

Im Bereich der Deutschen Flugsicherung GmbH, für die der Autor tätig ist, wird ein hoher Aufwand für dieses Monitoring getrieben. Alle Einzelantennen besitzen Auskoppelsonden, die das HF-Signal zurück in ein Netzwerk liefern, das daraus ein „fernfeldäquivalentes“ Messsignal erzeugt. Dieses so genannte Integralnetzwerk erkennt Schäden an den einzelnen Antennen oder Fehler, die aus dem Lastverteiler und Sender stammen.

Weiter befinden sich beim LLZ und GP Nahfeldmonitorantennen im vorderen Abstrahlungsbereich. Diese erkennen Fehler, die das gesamte Antennengebilde betreffen. Als Beispiel sei angeführt, dass ein Integralnetzwerk nicht erkennen kann, ob die gesamte Antenne schlicht umgefallen ist oder ein Antennendipol abgefallen ist. Der Nahfeldmonitor erkennt dies aber durch den Empfang des abgestrahlten Summensignals, das durch eine Veränderung des Abstrahlungsdiagramms (fehlerhafte Antenne) verfälscht würde.

Bei Anlagen der höchsten Sicherheitsstufe (für Insider: CAT IIIb) wird auch noch ein Fernfeldmonitor verwendet, der in ca. 3-4km Entfernung zum Landekursender aufgebaut wird. Dieser Monitor soll Signalstörungen im Umfeld einer Landebahn detektieren (z.B. durch Flugzeuge, die sich versehentlich in verbotenen Bereichen

befinden). Bei einem GP ist eine Fernfeldüberwachung nicht möglich, da man in 3-4km Entfernung beträchtliche Masthöhen (150m-200m) benötigen würde.

Sobald das Monitorsystem einen Fehler erkennt, werden die Sender augenblicklich abgeschaltet. Dies ist für den Piloten eine eindeutige Situation: Sofort durchstarten!

Ausblick

Im GPS-Zeitalter nimmt sich das amplitudenmodulierte ILS-System ziemlich altertümlich aus. Es wird immer wieder totgesagt, ist aber nun schon seit über 70 Jahren in Betrieb. Das hat auch gewichtige Gründe.

Ein ILS ist absolut autark, leistungsstark und kann nur schwer von außen gestört werden. Ein GPS-Signal ist mit einem kleinen Störsender leicht zu überdecken und würde großflächig unbenutzbar werden. Sollte wirklich einmal ein ILS-Signal vorsätzlich gestört werden, so ist das immer nur ein lokales Problem und die Flugzeuge können notfalls einen nahen Ausweichflughafen oder sogar auf der Parallelbahn anfliegen. Bei GPS wären sofort mehrere Flughäfen in einem großen Areal betroffen und komplett unanfliegbar.

Ein weiteres ungelöstes Problem ist die geforderte Zuverlässigkeit der GPS-Systeme. Die internationalen Vorschriften stellen dort die selben hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit wie beim ILS. Diese kann nur erreicht werden, wenn das gesamte Umfeld der Anlage kontrolliert werden kann. Dies ist bei Satelliten nicht der Fall, denn wer kann dem Flugzeugführer garantie-

ren, dass der Satellitenbetreiber ihm das Signal während eines Blindanflugs nicht einfach abschaltet oder z.B. Solarstürme nicht zu Ungenauigkeiten führen?

Auch die Kontrolle eines Falschsignals ist bei GPS sehr kritisch. Im Gegensatz zum ILS, das ein winkelbasiertes System mit analogen Signalen ist, das immer präziser wird, je näher man dem Aufsetzpunkt kommt, ist GPS ein digitales System mit konstanter Genauigkeit an allen Raumpunkten. Das analoge Signal kann durch direktes Monitoring sehr einfach und sicher überwacht werden. Für die Bewertung der Integrität des digitalen Inhalts eines GPS-Signals ist der Aufwand mangels lokaler Monitoring-Systeme ungleich höher.

Wie beschrieben ist der komplette Signalausfall eines ILS die Variante der höchsten Sicherheit in einer Fehlersituation. Kein Signal zu haben und durchzustarten ist besser, als mit einem falschen Signal einen CFIT zu haben. (CFIT – Controlled Flight Into Terrain = Absturz aufgrund unbemerkter Fehler). Bei GPS kann man nicht einschätzen, ob die Koordinatenanzeige richtig oder falsch ist.

In der Fachwelt werden dazu aktuell viele Diskussionen geführt. Allen Meinungen zum Trotz werden wir auch in den nächsten 20 Jahren noch ILS-Signale in den Himmel steigen.

Autor

Bernd Bündenbender , DC4DD
eMail: dc4dd@dc4dd.de

Digitale Signalverarbeitung am Beispiel von Wettersatelliten

Studenten für die (digitale) Signalverarbeitung zu interessieren, ist nicht immer einfach. Der Einsatz der Signalverarbeitung ist meist verborgen – bei einem Mobiltelefon zum Beispiel ist sich der Benutzer in der Regel nicht bewusst, welche Signalverarbeitungsalgorithmen eingesetzt werden, wie die Synchronisation, Entzerrung und Demodulation auf der physikalischen Schicht, Sprachcodec, Echounterdrückung, Spracherkennung, Bildverarbeitung oder Lokalisierung auf der Applikationsschicht, um nur ein paar Beispiele zu nennen. Um das Interesse an der Signalverarbeitung zu steigern, wurde und wird am Lehrstuhl für Systemtheorie und Signalverarbeitung der Universität Stuttgart eine Plattform für den Empfang von NOAA-Wettersatelliten im 137MHz-Band entwickelt. Die Plattform und die Möglichkeiten durch die digitale Signalverarbeitung sollen in diesem Artikel vorgestellt werden.

NOAA Wettersatelliten

Die empfangenen Wettersatelliten gehören zum POES-System (Polar Orbiting Environmental Satellites) der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) der USA. Der erste dieser Satelliten wurde 1960

gestartet, heute sind mehrere Satelliten aktiv. Die Satelliten bewegen sich in einer niedrigen Erdumlaufbahn (LEO) ungefähr 833 - 870km über der Erdoberfläche. Ein Umlauf dauert etwa 102 Minuten, die Sichtbarkeit für die Bodenstation beträgt bis zu 15 Minuten.

Abb. 1: Format der Bildübertragung

