

Flugfunk – Anwendungen und technische Lösungen

1 Wie alles anfing

Motorfliegerei, Zeppeline und Funktechnik sind entwicklungsgeschichtlich in der Praxis gleich alt: Anfang des 20. Jahrhunderts fing es an (der Segelflug kam erst später, nach dem 1. Weltkrieg).

Die Fliegerei hat – ganz anders als das etwas ältere Auto - von Anfang an die Funktechnik vielfältig genutzt. Am Anfang gab es Funktechnik nur auf großen Fluggeräten (mehrmotorige Flugzeuge, Zeppeline), die zusätzlich das schwere Gerät und einen Funker tragen konnten. Anfangs wurde nur gemorst, und es wurden dem damaligen Entwicklungsstand entsprechend die langen Wellen genutzt.

Als Sender gab es die Löschfunkensender, als Empfänger Kristalldetektoren. Das war an Bord nicht ideal in ruppiger Luft.

Als Antennen wurden geschleppte, lose baumelnde Drähte verwendet (statische Aufladung!!).

Der Bedarf zur Nutzung der Funktechnik ergab sich damals (und heute) aus dem Informationsmangel über die Verhältnisse im Luftraum auf der Flugstrecke und am Zielort. Der Pilot wollte wissen, wo er sich befand und wie das Wetter auf der Strecke und am Zielflugplatz war. Außerdem wollte er, um Kollisionen zu vermeiden, wissen, wo sich andere Flugzeuge in seiner Nähe befanden.

2 Ein paar Besonderheiten

- Sobald ein Flugzeug in der Luft ist, haben wir eine traumhafte Antennenhöhe über Grund: Man kommt deshalb meist mit wenig Sendeleistung und einfachen Antennen aus.
- Die Antennen sollen möglichst wenig Luftwiderstand haben.
- Die Antennen sollen unter Vereisungsbedingungen kein Eis ansammeln (Funktionsminderung, Abreißen).
- Der Pilot hat eigentlich genügend Arbeit; die Bedienung der Funkanlagen muss also einfach sein.
- Die z. T. hohen Geschwindigkeiten verbietet Modulationsverfahren, die z. B. gegen Dopplereffekte empfindlich sind.
- Jeder, der am Flugfunk aktiv teilnimmt, hat ein so genanntes Sprechfunkzeugnis in einer Prüfung z. B. bei der Bundesnetzagentur erworben.
- Die Funkanlagen werden turnusmäßig (alle drei, sechs oder 12 Monate) von Spezialbetrieben überprüft und vermessen.
- International und im Instrumentenflug werden die englische Sprache und zum Teil englische Maßeinheiten verwendet.
- Zur Erhöhung der Verständlichkeit werden Q-Gruppen (immer noch) und Sprechgruppen (Redewendungen) verwendet. Wichtige Informationen müssen durch „Rücklesen“ bestätigt werden.

3 Anwendungen

- Sprechfunk: Boden – Luftfahrzeug und Bord - Bord
- Navigation
- Datenfunk

4 Funkgeräte in einem Segelflugzeug

Beschränkungen wegen begrenzter Akku-Kapazität. Anfänge der Funkausrüstung in den 60er Jahren (damals schwere Röhrengeräte mit Zehner, nur 5 Minuten pro Stunde eingeschaltet).

- Sprechfunk auf VHF: 118 bis 136 MHz, AM, Kanalraster 25 kHz, senkrechte Polarisation, ca. 0.5 bis 2 W. Transceiver fest eingebaut, ca. 1.000 bis 4.000 Euro. Mikrofon am Schwanenhals, Lautsprecher. PTT auf dem Steuerknüppel. Lambda-Viertel-Stabantenne oder Sperrtopfantenne im Seitenleitwerk. Sprechkontakt zum Flugleiter auf dem Segelfluggelände, zu den Rückholern und zu anderen Flugzeugen.
- Zur Navigation GPS-Empfänger optional (ab Mitte der 90er Jahre), heute häufig als „Moving Map“-Anwendung. Für sportliche Zwecke: GPS-Logger.
- Optional Antikollisionssystem FLARM (ab 2005): Die GPS-Position und die Bewegungsrichtung werden auf ca. 900 MHz mit 10 mW an einer kleinen Stabantenne ausgestrahlt und in nahen anderen Flugzeugen empfangen und auf einem Display dargestellt.
- Optional ein ELT (Emergency Location Transmitter): Ein Aufschlagsender, der nach einem Absturz auf 121.5, 243 und 406 MHz mit 50 mW einen AM-Heulton ausstrahlt. Ortung von Satelliten, durch Bundesnetzagentur (früher Fuk) und SAR-Rettungshubschrauber.
- Optional (seit 2006) einen Sekundär-Radar-Transmitter: „Transponder“ genannt, um besondere Lufträume nutzen zu können.

5 Kleine Motorflugzeuge im Sichtflug

Fast alle Motorflugzeuge haben einen Akku und einen Generator (Lichtmaschine).

- VHF-Sprechfunk an Stab- oder Haifischflossen-Antenne. Leistung bis ca. 10 W. Meist Betrieb mit Headsets. PTT am Steuerhorn.

- Transponder: Sekundär-Radar. Im L-Band bis 2 GHz sendet die Bodenstation (z. B. Neunkirchner Höhe) ein meist stark gerichtetes gepulstes Radarsignal und löst eine Aussendung des Transponders an Bord aus, aus der Position, Höhe und Angaben zum Flugzeug gewonnen werden. Der Fluginformationsdienst FIS oder der Fluglotse (ATC) sieht auf seinem Display, wo sich das Flugzeug befindet und wohin es sich bewegt. Bordseitig ca. 170 bis 250 W Pulse, senkrecht polarisiert (Haifisch-Antenne). Kosten ca. 2.500 bis 8.000 Euro.

- Häufig ein VOR-Empfänger: VHF-Navigation. Empfangen wird die Aussendung einer VOR-Bodenstation (gerichtetes Drehfunkfeuer, z. B. Ried bei Pfungstadt). Es werden zwei Signale ausgestrahlt: ein Dauerträger und ein mit 30 Hz (1800 UpM) rotierendes gerichtetes Signal. Aus den jeweiligen Nulldurchgängen ergibt sich die Richtung zur Bodenstation. Genauigkeit plus/minus zwei Grad (wird genauer beim Draufzufliegen). Frequenzbereich 108 bis 118 MHz, 25 kHz Kanalraster, AM, horizontal polarisiert. Immer auch die Stationskennung als Morsezeichen übertragen, manchmal auch Sprachinformationen (ATIS, Volmet). Horizontale V-Antenne an Bord (Haifisch, Stab-Dipol im Rumpf). Gerätekosten ca. 2.000 bis 4.000 Euro.

- Optional: ADF-Empfänger. Bodenstationen (z. B. Bad König) senden ein ungerichtetes Mittelwellensignal aus = NDB. ADF ist im Prinzip ein MW-Radio mit zwei Antennen: Sense (Stab- oder Drahtantenne) und Loop (Rahmenantenne drehbar oder magnetischer Kreuz-Dipol). Daraus wird die Richtung der Flugzeugachse zum NDB ermittelt. Nicht sehr genau und störanfällig, aber: Je näher, desto genauer. Theoretisch kann man auch Rundfunksender zum Navigieren verwenden. Frequenzbereich ca. 250 bis 1600 kHz. Kein Witz: Für ADF-Empfänger mussten lange Zeit Rundfunkgebühren bei der GEZ bezahlt werden.

- Optional: GPS-Empfänger; fest eingebautes ELT

- Optional: Entfernungsmessung DME. Eine Aussendung im L-Band (ca. 900 bis 1200 MHz) wird von einer Bodenstation beantwortet, die gemessene Laufzeit ergibt die Entfernung zur Bodenstation. Nur max. 200 Flugzeuge bedienbar. Inzwischen sehr genau (-> Eichung von GPS).

6 Instrumentenflug und große Flugzeuge / Airliner

Im Instrumentenflug ist man weitgehend unabhängig von Wetter und Tageszeit. Zur sicheren Flugführung braucht der Pilot nicht aus dem Fenster schauen. Dem Piloten wird vom Fluglotsen (ATC) gesagt, wo er langfliegen muss. Der Fluglotse separiert ihn von anderen Luftfahrzeugen. Aufgabe des Piloten ist es, den Anweisungen von ATC zu folgen und dabei das Flugzeug allein nach Instrumenten richtig zu steuern (Lage in drei Ebenen, Höhe und Geschwindigkeit – dafür hat der Mensch keine Sinnesorgane). Die geforderte Funkausrüstung richtet sich nach dem Einsatzgebiet.

Bei modernen Flugzeugen gibt es den Faustwert: Die Avionic (Funktechnik und sonstige Elektronik) kostet ca. ein Drittel des Neupreises (wir reden hier über zwei- bis dreistellige Millionenbeträge in Dollar/Euro).

Die Verlässlichkeit der Funktechnik ist extrem hoch (keine Unfälle mehr wegen Versagen der Funktechnik). Alle Geräte sind mehrfach vorhanden und können unabhängig von einander betrieben werden. Bei der Navigation herrscht Demokratie: Was die Mehrheit der Instrumente sagt, gilt als richtig.

Da die großen Flugzeuge sehr viele Funkanlagen (überwiegend Transceiver und wenige Nur-Empfänger, z. B. VOR, ADF und GPS) an Bord haben (zwischen 30 bis 40!), spielen das Vermeiden gegenseitiger Störungen sowie die Einstrahlfestigkeit eine sehr große Rolle (früher Unfälle „von außen“ z. B. durch Rundfunksender sowie innerbords durch Mobiltelefone und Laptops). Wenn man einen Airliner von nahe betrachten kann: Er ist gespickt mit schnittigen Antennen auf und unter dem Rumpf sowie an Leitwerk und Tragflächen-Enden.

Die frühere Navigation nach Sternen (bis Ende der 60er Jahre wurde bei Interkontinentalflügen per Sextant gemessen!) und Langwellen-Hyperbel-Systemem (z. B. LORAN, DECCA, Omega; bis Ende der 90er Jahre) wird nicht mehr verwendet. Bei Langstrecken werden hochpräzise mechanische oder Laserkreisel und optional zusätzlich GPS (allerdings nur als Backup, da kein Primär-Dienst in der Luftfahrt) verwendet.

Zusätzliche Funkgeräte zum „kleinen Motorflugzeug“:

- HF-Sprechfunk, wo VHF nicht mehr ausreicht (VHF-Reichweite max. ca. 600 km aus 11 km Höhe). Festgelegte Frequenzen werden täglich neu bekannt gegeben. Nur USB-Modulation. Antennen: Langdraht auf Rumpf, Stabantennen horizontal am Flügel-Ende. Inzwischen automati-

sches Antennen-Tuning. Selective Call (SELCAL): Flugzeuge werden gezielt von ATC angesprochen; die Piloten müssen nicht ständig ins lästige HF-Rauschen Reinhören.

- Instrumenten-Landesystem ILS. Es wird eine horizontale (Glide Path GP) und eine vertikale Information (Localizer LLZ) am Boden von der Landebahn gerichtet ausgestrahlt mit Tönen 90 Hz (zu weit oben oder links) und 150 Hz (zu weit unten oder rechts). Hört man keinen Ton und ist das Fadenkreuz der Anzeige in der Mitte, fliegt man genau richtig. Frequenzbereich 108 bis 112 MHz für LLZ und 328 bis 335 MHz für GP. Zusätzlich werden feste Entfernungen zur Landebahn-Schwelle besonders angezeigt; Überfliegen von senkrechten „Fächer-Ausstrahlungen“: Outer Marker OM ca. 8 km von Schwelle und Middle Marker ca. 800 m von der Schwelle (ab hier muss alles fliegerisch stimmen). Frequenz 75 MHz, Morse-Töne 400 plus 1300 Hz, außerdem Lichtzeichen.

- Radarhöhenmesser: Sender und Empfänger getrennt, ab ca. 1000 Fuß (300 m) über Grund. Antennen zwischen dem Hauptfahrwerk. Sehr genau. Höhe und Sinkrate werden angezeigt und automatisch laut angesagt. Frequenzen im S-Band ca. 4 GHz.

- Wetterradar in der Flugzeugnase: Starke gerichtete Pulse (C-Band ca. 8 GHz, ca. 50 KW!) aussenden und Reflektionen auswerten. Vermieden werden sollen Gewitter und Starkregengebiete. Stabilisierte Plattform, schwenkbar. Radom in der Flugzeugnase neigt zur Vereisung (eine Heizmatte ist wegen der Radar-Antenne nicht möglich), dann kommt keine brauchbare Anzeige.

- Kollisionswarngerät TCAS. Fremde nahe Transpondersignale werden ausgewertet und in Warnungen und Richtungsempfehlungen umgesetzt. Kosten ca. 50.000 Euro.

- Datenübermittlung über VHF und HF: Besonderheiten, Defekte, Betriebsdaten; Cockpit-Printer.

- Non Precision-Anflüge mit ADF/DME oder GPS (häufig mit DGPS)

- SatCom, SatLink: Ersatz für HF

7 Besonderheiten

- VDF: Peilung des Luftfahrzeug vom Boden auf der Sprechfunkfrequenz
- Peilung per Primärradar (überwiegend durchs Militär)
- Wetteraussendungen, z. B. ATIS, Volmet auf VHF und HF sowie auf Navigationssendern
- Bei Kontaktverlust: Blindaussendungen; andere Flugzeuge um Hilfe bitten und als Relais verwenden.
- Aeronautical Mobil: Amateurfunk an Bord ist problematisch (Störungen und Ablenkungen vermeiden; Faradayscher Käfig; große Reichweite bringt Probleme bei Funkzellen). Formal nicht einfach.

8 Probleme und Lösungen

- Überlastung von Frequenzen: z. B. Aufteilung in kürzere Verweildauer, knappe Aussendungen, präzise Verwendung von Sprechgruppen und Abkürzungen. Neue Sprechfunk-Frequenzen zwischen 136 und 138 MHz, AM, vertikale Polarisation, Kanalraster 8,33 kHz.
- Überreichweiten in VHF: Funkdisziplin
- Frequenzmangel: Mehrfach-Nutzung in Großzellen-Aufteilung
- Genaue Navigation bringt neue Gefahren: Auf den Meter genau gleiche Höhe und gleicher Pfad bringen Kollisionsgefahren

9 Trends für die Zukunft

- SatCom
- Automatischer Bord-Bord-Informationsaustausch (Antikollision; Wetter)
- Automatischer Datenverkehr Boden-Bord (Wetter; Betriebsdaten; Störungen)
- Satelliten-Navigation: Primär-Dienst