

## Flugsicherheitsmitteilung (fsm) 2/90

Technik  
Avionik I (Grundlagen)

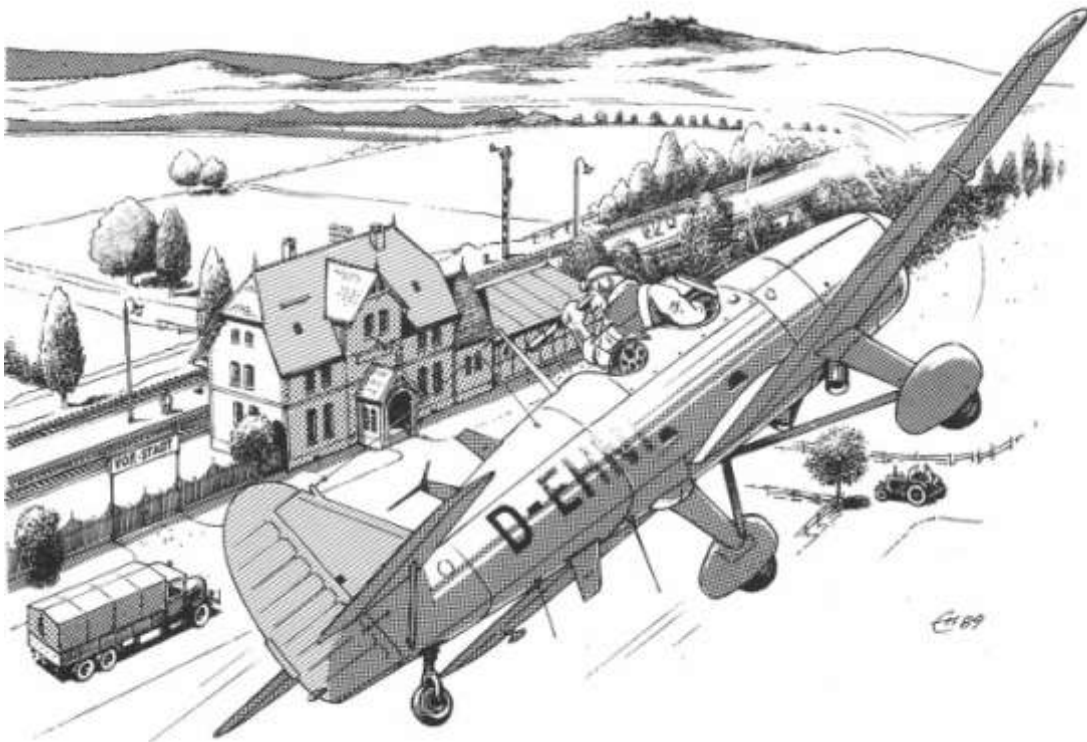
Hrsg: Luftfahrt-Bundesamt,  
Flughafen, 3300 Braunschweig

Braunschweig, Dezember 1990  
LBA 111512-985.2/90

Abdruck, auch auszugsweise, nur mit Quellenangabe gestattet

### Mit der Avionik auf Kriegsfuß?

*"Unerklärlich", so lauten oftmals die Kommentare aus Fliegerkreisen, wenn wieder einmal ein VFR-Pilot während seines Irrfluges, bei bestem Wetter, ausgerüstet mit betriebsklarem Sprechfunkgerät, VOR und ADF, Luftraumverletzungen begeht oder gar beim unbewußten Durchflug einer Kontrollzone den Luftverkehr gefährdet.*



## Nur ein Fall aus der Vergangenheit:

Der Zielflugplatz wäre eigentlich mit ungefährtem Kurs in Richtung Süden anzufliegen gewesen. Tatsächlich endete der Flug jedoch nach geflogenem Ostkurs, vorbei an mindestens vier, für Peilungen brauchbaren VOR- und NDB-Sendern und drei Flugplätzen mit Funkpeileinrichtungen, mit einem unerlaubten Einflug und einer erzwungenen Landung in der damaligen DDR.

Kaum vierzehn Tage später ein ähnlicher Fall in fast dem gleichen Luftraum.

Auch hier war das Luftfahrzeug gut ausgerüstet mit betriebsklarem VOR und ADF.

Die Presse titulierte diese Piloten als "Sportflieger" und trug damit ihren Teil zur Imagebildung für die allgemeine Luftfahrt bei.

Zahlreiche gemeldete Luftraumverletzungen wegen Orientierungsverlust – die Dunkelziffer liegt sicher wesentlich höher – legen die Vermutung nahe, daß die Bedienung der Avionik-Ausrüstung und die Interpretation der Anzeigen der Radio-Navigationsgeräte nicht beherrscht werden.

Damit wir uns richtig verstehen – und es muß ausdrücklich darauf hingewiesen werden – bei Flügen nach Sichtflugregeln dient die Verwendung der Funk-Navigationsmittel ausschließlich der Unterstützung der terrestrischen Orientierung! Allzuoft verleitet die Funknavigation zum Mißbrauch, um bei nicht mehr ausreichenden Wetterbedingungen einen Sichtflug nach "V/IFR" fortzuführen.

Mit dieser und weiteren Flugsicherheitsmitteilungen wollen wir Anregungen geben, sich mit den möglichen Störungen und Gefahren im Flugbetrieb bei Avionik-Anlagen zu befassen und sich im Gebrauch dieser Geräte zu üben. Vorab müssen jedoch, zum besseren Verständnis, die Grundlagen der Funktechnik in Erinnerung gebracht werden.

## Einleitung

Oft hört man Piloten von einem schönen Flug schwärmen, meistens dann, wenn die Avionikausrüstung für Sprechfunk und Navigation zu ihrer Zufriedenheit funktioniert hat und wenn sich keine Probleme bei deren Bedienung und Interpretation gezeigt haben.

Die Zuverlässigkeit von Motor und Zelle wird heute noch immer höher eingeschätzt als die der elektronischen Ausrüstung eines Flugzeuges. Unglücklicherweise ist diese Beurteilung, besonders bei älteren Geräten, nicht immer unbegründet. Moderne Avionik jedoch, wenn die Technik verstanden ist und wenn sie richtig bedient wird, macht selten Schwierigkeiten. Voraussetzung ist also im wesentlichen, daß der Flugzeugführer gute Kenntnisse über die zu bedienenden Systeme hat, in der Nutzung der Geräte geübt ist und, auf diese Basis aufbauend, auftretende Probleme sicher zu meistern versteht.

## Grundlagen

Es sollen die allgemein gültige Einteilung für Frequenzen und die Eigenarten der Wellenausbreitung aufgezeigt werden.

Diese Grundkenntnisse sind in der Praxis für den Flugzeugführer wichtig, um manche besonderen Effekte der Funknavigation zu verstehen.

Eine Funkwelle ist eine elektromagnetische Schwingung ( $f$ ), die sich mit Lichtgeschwindigkeit ( $c = 300\,000\text{ km/sek.}$ ) von einer Sendeantenne weg ausbreitet. Eine Welle entspricht einer Sinuskurve, wobei die Entfernung zwischen gleichen Punkten die Wellenlänge ( $\lambda$ ) definiert.

Die Amplitude ist das Maximum des Wellenberges (+) bzw. des Wellentales (-).

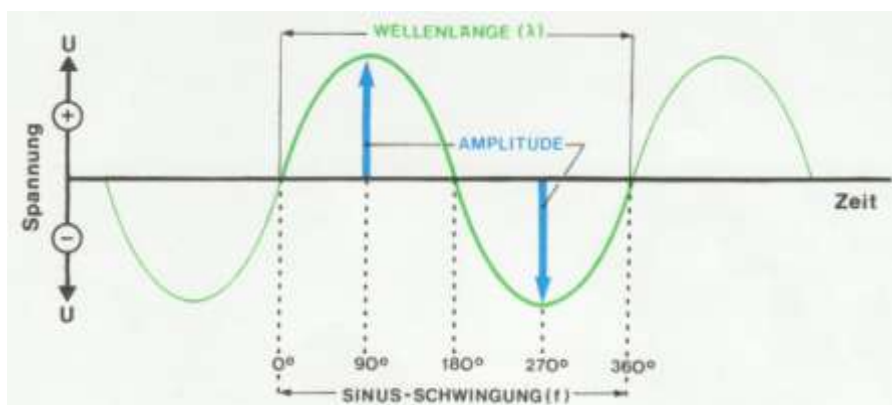


Abb. 1: Bild einer Schwingung

Die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde ist die Frequenz und wird in Hertz (Hz) ausgedrückt.

Frequenzeinheiten

Hz = Hertz = 1 Hz

KHz = Kilohertz = 1 000 Hz =  $10^3$  Hz

MHz = Megahertz = 1 000 000 Hz =  $10^6$  Hz

GHz = Gigahertz = 1 000 000 KHz =  $10^9$  Hz

Beziehung Frequenz (f) zu Wellenlänge (X) Wellenlänge (in m) =

$$\frac{\text{Ausbreitungsgeschwindigkeit (km/sek.)}}{\text{Frequenz (KHz)}}$$

$$\frac{c}{f} = \lambda$$

**Beispiel:**

Wellenlänge der Notfrequenz 121,5 MHz.

$$\frac{300\,000 \text{ km/sek.}}{121\,500 \text{ KHz}} = 2,469 \text{ m}$$

## Einteilung der Frequenzen

Bei grober Unterscheidung spricht man über

- niederfrequente Schwingungen (NF)  
(für das menschliche Ohr hörbar, etwa bis 16 000 Hz) und
- hochfrequente Schwingungen (HF).

In der Funktechnik werden die Bereiche wie folgt eingeteilt:

Frequenz	Bezeichnung	
- 30 KHz	VLF Very Low Frequency	Längstwelle
30 KHz - 300 KHz	LF Low Frequency	Langwelle (LW)
300 KHz - 3 MHz	MF Medium Frequency	Mittelwelle (MW)
3 MHz - 30 MHz	HF High Frequency	Kurzwelle (KW)
30 MHz - 300 MHz	VHF Very High Frequency	Ultrakurzwelle (UKW)
300 MHz - 3 GHz	UHF Ultra High Frequency	Dezimeterwelle
3 GHz - 30 GHz	SHF Super High Frequency	Zentimeterwelle

## Ausbreitung der Funkwellen

Je nach technischer Auslegung der Sendeantenne breitet sich eine Funkwelle kugelförmig nach allen Seiten mit gleicher Intensität in den Raum oder gerade in eine bestimmte Richtung aus.

Zum Empfänger gelangen Funkwellen

- auf direktem Wege,
- nach Reflexion am Boden entlang der Erdoberfläche und
- nachdem sie an der Tropopause, an hoch gelegenen atmosphärischen Schichten abgelenkt und zur Erde zurückgeleitet werden.

Man spricht in dieser Reihenfolge auch von

- direkter Welle,
- Bodenwelle und
- Raumwelle.

Alle Funkwellen werden je nach Abstrahlungsart und Frequenz auf vielfältige Weise von der Erdoberfläche und von bestimmten Schichten der äußeren Atmosphäre beeinflusst.

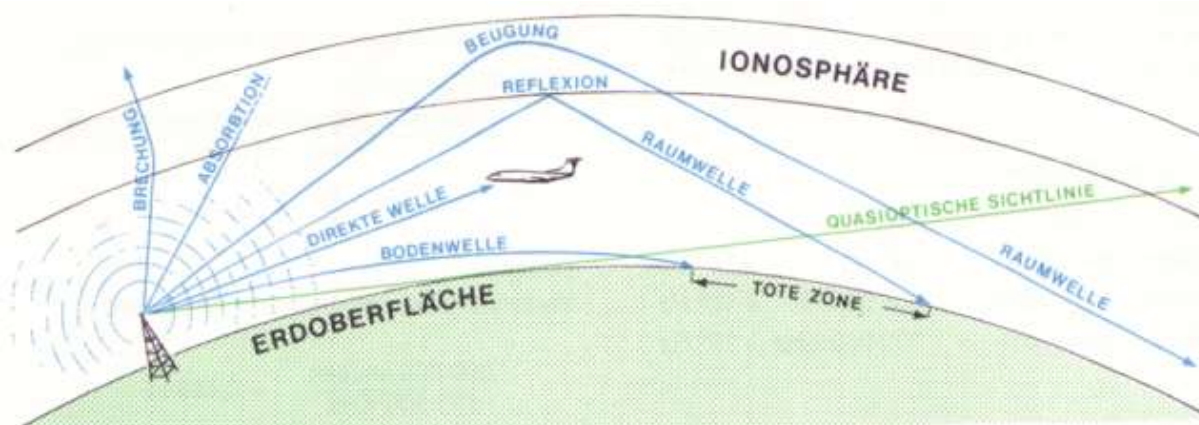


Abb. 2: Ausbreitung der Funkwellen

In dem Bereich, in dem die Bodenwelle nicht mehr empfangen werden kann, die Raumwelle aber noch nicht einfällt, entsteht eine „Tote Zone“ (skip zone).

**Lange Wellen** und zum Teil auch noch die Mittelwellen können sich im wesentlichen entlang der gekrümmten Erdoberfläche ausbreiten, sie wandern also über den Boden. Sie sind wenig störanfällig.

Wellen des **Mittelwellen**bereiches breiten sich als Bodenwelle und gleichwohl als Raumwelle aus. Während des Tages, wenn der Raumwellenanteil durch die stark ausgeprägten Schichten der Ionosphäre (D- und E-Schicht) stark gedämpft wird, kommt empfangsseitig nur die Bodenwelle zur Wirkung. Nach Sonnenuntergang sind die D- und E-Schicht aufgelöst und die Ausstrahlung wird von den darüberliegenden F-Schichten reflektiert und erreicht als Raumwelle die Erde wieder. Bei Zusammentreffen dieser Raumwelle mit der Bodenwelle können Phasendifferenzen entstehen, die Empfangsstörungen und Fehlpeilungen erzeugen.

**Kurzwellen** verhalten sich bezüglich ihrer Ausbreitungscharakteristik im verstärkten Maße ähnlich wie die Mittelwellen. Zusätzlich kann die aus dem Raum zurückkehrende Kurzwelle wieder von der Erdoberfläche reflektiert und erneut von der Ionosphäre zurückgeworfen werden. Diese Mehrfachreflexion kann zu Störungen des Empfanges führen.

**Ultrakurzwellen** und die Wellen des UHF- und SHF-Bereiches sind bereits so kurz, daß sie mit Zunahme der Frequenz nicht mehr der Erdkrümmung folgen können und gestreckt (quasi - optisch) verlaufen. Für den Flugzeugführer ist es wichtig zu wissen, daß in diesem Frequenzbereich die Strecke zwischen Sender und Empfänger hindernisfrei sein muß, um Funkverbindung zu erhalten (Abb. 3).

Im VHF-Bereich unterliegen die Funkwellen noch einer gewissen Beugung. Dies bedeutet, daß die Reichweite dieser Sender, abhängig von der Sendeleistung, im wesentlichen von der Flughöhe beeinflusst wird. Die theoretische Reichweite läßt sich berechnen nach der Formel

$$\text{Reichweite (NM)} = 1,23 * \sqrt{\text{Flughöhe(ft)}}$$

Physikalisch mögliche Reichweite für VHF(UKW-) Sender:

Höhe über GND (ft)	Reichweite (NM)
500	28
1 000	39
2 000	55
3 000	67
5 000	87
10 000	123

Das Luftfahrthandbuch (AIP Band 1) gibt im Teil COM-2 (**Anmerkung: heute Teil ENR**) detaillierte Auskunft über die installierten Flugfunkanlagen für den Fernmeldeverkehr und die Navigation in der Bundesrepublik Deutschland, unter anderem auch über festgelegte Betriebsentfernung und -höhe, festgelegte Betriebsüberdeckung und nutzbare Entfernung oder Höhe.

Es wird besonders darauf hingewiesen, daß Funknavigationsanlagen nur innerhalb der festgelegten Betriebsüberdeckung mit hinreichender Genauigkeit benutzbar sind. Eine Benutzung außerhalb dieser Grenzen kann gefährliche Navigationsfehler zur Folge haben.



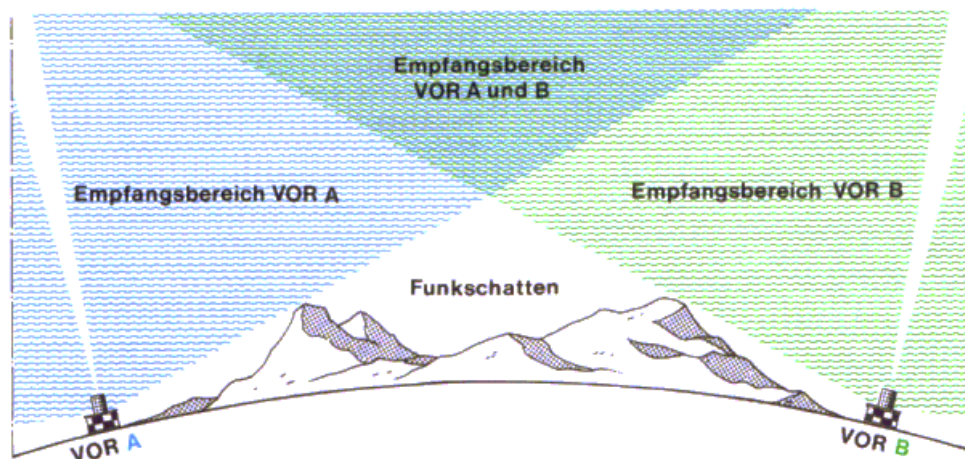


Abb. 3: Empfangsbereich der VHF-Sender (Schnitt durch die VOR-Ausstrahlung)

## Modulations- und Sendarten

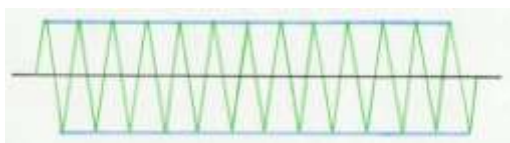
Aufgabe eines Senders ist es, eine hochfrequente Funkwelle (Trägerwelle), geformt durch niederfrequente Schwingungen (Sprache, Morsezeichen) abzustrahlen. Die Veränderung der Trägerwelle nennt man Modulation. Man unterscheidet drei Modulationsarten:

- Amplitudenmodulation (AM),
- Frequenzmodulation (FM) und
- Pulsmodulation (PM).

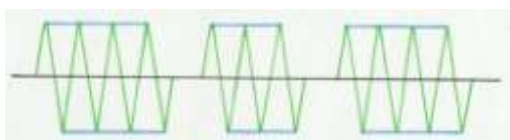
In Zusammenhang mit den Funk-Navigationsanlagen ist nur die amplitudenmodulierte Ausstrahlung von Interesse. Bei der Kennzeichnung steht "A" für Amplitudenmodulation und eine Ziffer für die Sendart.

So bedeuten

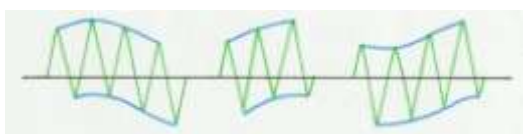
$A_0$  Trägerwelle ununterbrochen, ohne Modulation;



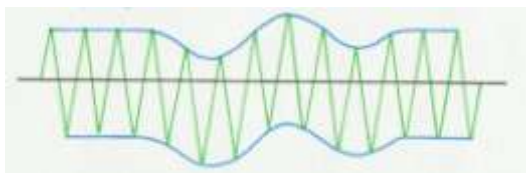
$A_1$  Trägerwelle unterbrochen, ohne Modulation;



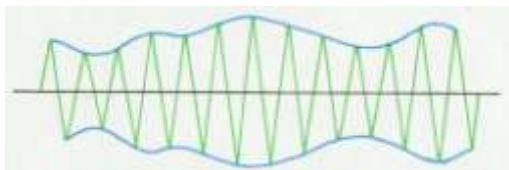
$A_2$  Trägerwelle getastet tonmoduliert;



$A_0 / A_2$  Trägerwelle, der eine Modulation in Form eines Morse-Codes aufgeprägt ist.



$A_3$  Trägerwelle mit aufmodulierter Sprache;



$A_9$  Trägerwelle mit Morse-Code und aufmodulierter Sprache.  
Kombination aus  $A_0 - A_2 - A_3$

## Senden und Empfangen

Luftfahrzeuge haben sich bezüglich Form und Technik in den letzten Jahren stark gewandelt. In noch stärkerem Maße sind neue und bessere Avionikgeräte auf dem Markt gekommen. So findet man häufig kleine Flugzeuge, deren Funkausrüstung in Technik und Qualität denen der Verkehrsflugzeuge kaum nachsteht. Hauptgrund ist die heutzutage technisch machbare kleinere Bauform und die beträchtliche Gewichtseinsparung. Mancher Halter einer kleinen Einmotorigen rüstet sein Flugzeug unter dem Aspekt der Erhöhung der Flugsicherheit mit umfangreicher, erstklassiger Avionik aus und muß dann, oft direkt nach dem Einbau, feststellen, daß die Geräte mit Interferenzen, Schwund, unterbrochenen oder zu schwachen Signalen mehr Ärger als Nutzen bringen, ganz zu schweigen von der Erhöhung des Risikos für die Sicherheit. Da die meisten Störungen böswertigerweise nur zeitweise auftreten und die Geräte dann in der Werft wieder einwandfrei arbeiten, gestaltet sich die Fehlersuche schwierig, wenn nicht sogar unmöglich. Oft sitzt der Wurm gar nicht an den Geräten selbst. Der beste Ort, um danach zu suchen, liegt meistens außerhalb des Cockpits, nämlich an den Antennen und an deren Verdrahtung. Gebrochene oder verbogene Antennen oder Kabel, lose Verbindungen und Korrosion sind die häufigsten Ursachen für Probleme mit der Funkausrüstung. Auch die Anbringung mehrerer Antennen auf engem Raume kann die Wirkungsweise einer Anlage drastisch einschränken.

Eine Antenne ist das Bindeglied zwischen Sender und Empfänger zur Überführung einer leistungsgebundenen elektromagnetischen Energie in eine freie Strahlungsenergie (Sendeantenne) oder umgekehrt (Empfangsantenne).

Die Antennenform bzw. das Antennensystem sind abhängig vom Verwendungszweck. Hier spielen Frequenzbereich, Bandbreite, Abstrahlungscharakteristik und Polarisation eine wichtige Rolle.

Die Sendeantenne soll viel elektrische Energie abstrahlen; ihre elektrischen und magnetischen Felder müssen möglichst stark sein und sich ohne Reflektion in den freien Raum ausbreiten können.

Die Empfangsantenne soll möglichst viel Energie aus dem Strahlungsfeld des Senders empfangen und diese dem Empfänger zuführen.

Zur Optimierung der Leistung für das Senden und Empfangen ist es also besonders wichtig, daß die Antenne technisch richtig ausgelegt und korrekt am richtigen Ort montiert ist. Der Wirkungsgrad einer Antenne kann schnell herabgesetzt werden durch

- Korrosion an der Montagefläche,
- Vibration wegen loser Befestigung,
- Verbiegen der Form und Position,
- Übermalen mit ungeeigneter Lackfarbe,
- Abschaffung durch Anbringung an der falschen Stelle,
- gegenseitige Beeinflussung mehrerer Antennen.

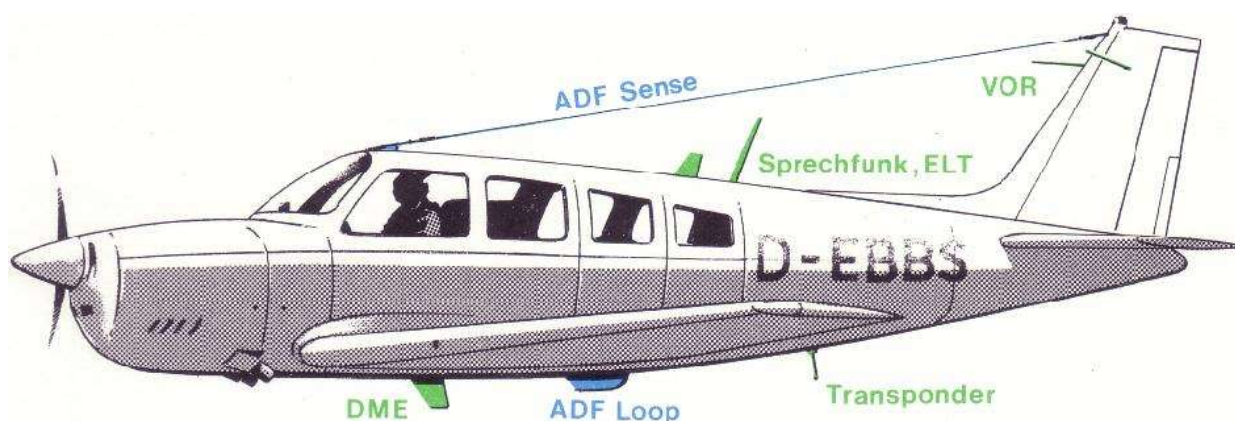


Abb. 4: Antennen an einem Flugzeug

## Nutzung der Funksprech-/ Funknavigationsanlagen

Die sinnvolle Nutzung der Avionikgeräte im VFR/Flug kann das Fliegen durchaus sicherer machen. Sie ersetzt aber, wie bereits angeführt, nicht die terrestrische Navigation. Abgesehen von einer nicht umfassenden Ausbildung des VFR-Piloten bezüglich Funknavigation und unter Umständen mangelnder Erfahrung im Umgang mit den Geräten und den Verfahren, gibt es noch eine Fülle von Problemfällen, welche direkt mit der Avionikanlage in Verbindung stehen können. Insbesondere kommt hinzu, daß die Avionikanlage und auch das Versorgungssystem mit elektrischer Energie meistens nicht wie im Airliner mehrfach (redundant) vorhanden sind, so daß Fehler im System zu nicht erkennbaren Anzeigefehlern führen können.

Sie werden erstaunt sein, wie sich die Leistung Ihrer Anlage durch oft nur kleine Korrekturen schon an diesem Bauteil verbessern läßt. Sie sollten aber hierbei einen autorisierten Avioniker zur Seite haben, zum einen dürfen Sie keine unerlaubten Wartungsarbeiten ausführen, zum anderen lernen Sie aber die verschiedenen Antennenarten und ihre Positionierung kennen (Abb. 4).

Mit dieser Flugsicherheitsmitteilung soll der Einstieg in die folgenden fsm's, zum Verständnis der Grundlagen dieser Materie, erleichtert werden.

In der Folge darauf werden wir, bezogen auf die einzelnen Gerätearten, die möglichen technischen Fehler, Bedienfehler und Interpretationsfehler von Anzeigen, mit denen Piloten konfrontiert werden können, aufzeigen und versuchen, Hilfen zu geben.