

# Modul 12L

## Funkgerät/ ELT/ Transponder/ Instrumente



## Vorwort

Diese Lernunterlage dient zur Vorbereitung für Personen, die bei EASA Teil-66 Prüfungen für freigabeberechtigtes Personal in der Kategorie L antreten möchten.

Die Unterlage enthält grundlegende Informationen über Prinzipien, Grundlagen und technische Verfahren und dient dem Selbststudium. Im Allgemeinen folgt dieses Handbuch den geforderten Inhalten der Vorschrift zur Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit EASA (EU) 1321/2014 Annex III Appendix VII.

Die behandelten Themen erfolgen von einem allgemeinen Standpunkt aus und sollten durch Herstellerhandbüchern oder anderen Lehrbüchern ergänzt werden. Es besteht keine Garantie auf vollständiger Abdeckung aller Inhalte.

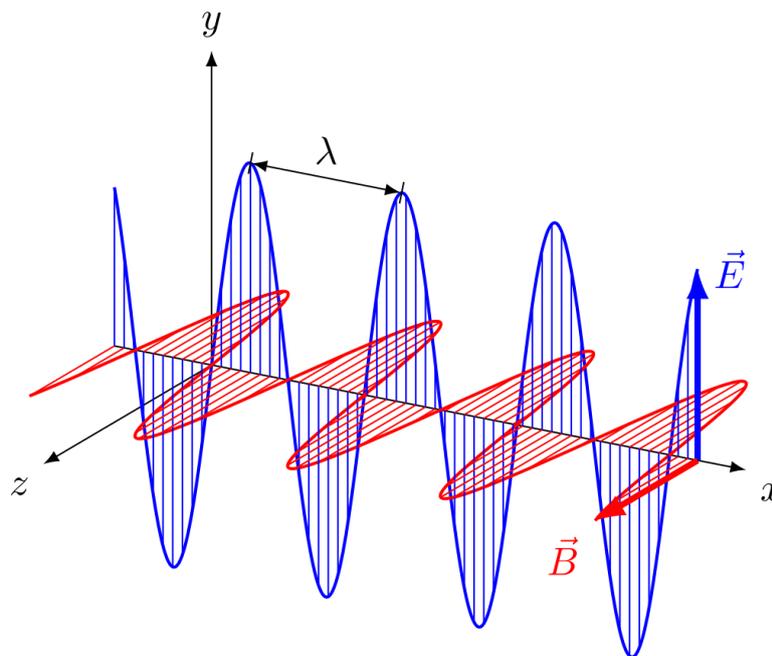
Diese Lernunterlage ersetzt keine offiziellen Vorschriften oder die von Herstellern veröffentlichte Anweisungen.

<b>12L.1 FUNK/ ELT</b>	<b>4</b>
Grundlagen der Funkwellenausbreitung, Antennen, Übertragungsleitungen, Kommunikation, Empfänger und Sender.	4
Funktionsprinzip von Notsendern (Emergency Locator Transmitter ELT)	11
Funktionsprinzip von Kommunikation im sehr hohen Frequenzbereich (VHF)	14
<b>12L.2 TRANSPONDER UND FLARM</b>	<b>17</b>
Air Traffic Control Transponder, Secondary Surveillance Radar	17
FLARM	22
Anforderungen an Tests und Wartung	25
<b>12L.3 INSTRUMENTE</b>	<b>27</b>
Staudruck (Pitot-static)	27
Höhenmessung	28
Fahrtmesser	30
Variometer	31
Gesamtenergiesonde	33
Kreiselinstrumente	34
Künstlicher Horizont	36
Flugrichtungsanzeiger	37
Wendezeiger	38
Scheinlotanzeiger	39
Neigungsmesser	40
Kompass, direkt anzeigender Kompass	41
Anstellwinkel-Anzeige und Überziehwarnanlage System	43
Glas und Analog Cockpit	45
<b>12L.4 ALLGEMEINE AVIONIKPRÜFGERÄTE</b>	<b>48</b>

## 12L.1 Funk/ ELT

### Grundlagen der Funkwellenausbreitung, Antennen, Übertragungsleitungen, Kommunikation, Empfänger und Sender.

Funk ist in der heutigen Zeit alltäglich. Pionier auf diesem Gebiet war Heinrich Hertz, dessen Name heute noch als Einheit für die Frequenz genutzt wird, kurz Hz. Funk ist im wesentlichen eine drahtlose Übermittlung von Information von einem Sender zu einem Empfänger. Die Information wird mittels elektromagnetischen Wellen übertragen. Diese sind Schwingungen eines elektrischen und eines magnetischen Feldes, die sich kugelförmig mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Wenn ein hochfrequentes AC (Wechselstrom) Signal durch einen Oszillator an eine Antenne angelegt wird, entstehen zwei Felder, ein elektrisches Feld ( $E$ ) und ein magnetisches Feld ( $B$ ). Beide Felder stehen 90 Grad zueinander



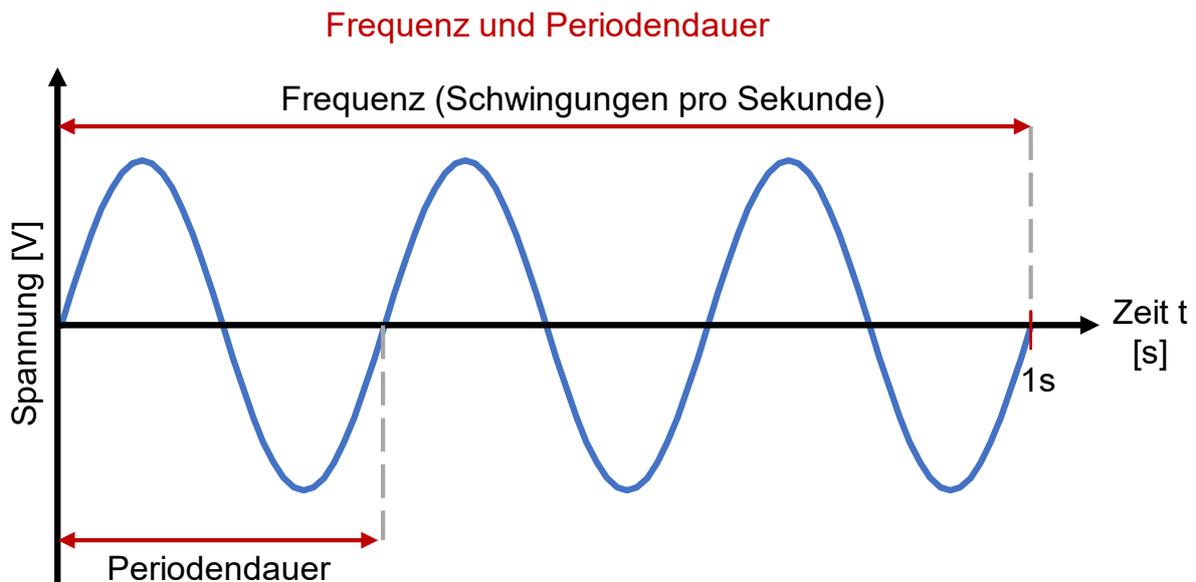
Die Frequenz, die vom Oszillator erzeugt wird, ist noch keine Information und wird als Trägerfrequenz bezeichnet. Die Information, die übertragen werden soll, muss erst auf die Trägerfrequenz gebracht werden. Dieses Verfahren nennt sich Modulation.

Die bekanntesten Modulationsverfahren sind:

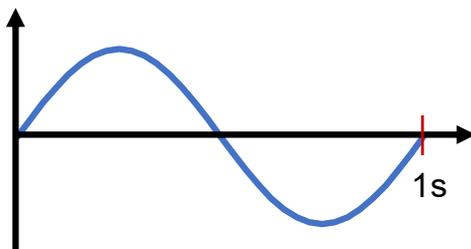
- Amplitudenmodulation (AM)
- Frequenzmodulation (FM)
- Phasenmodulation (PM)

Die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde wird als Frequenz ( $f$ ) mit der Einheit Hertz (Hz) angegeben.

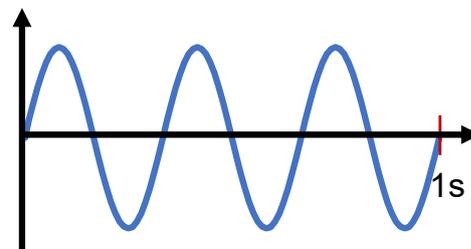
$$f = \frac{1}{T} \text{ [Hz]} \quad T = \frac{1}{f} \text{ [s]}$$



**1 Schwingung = 1 Hz**



**3 Schwingungen = 3 Hz**



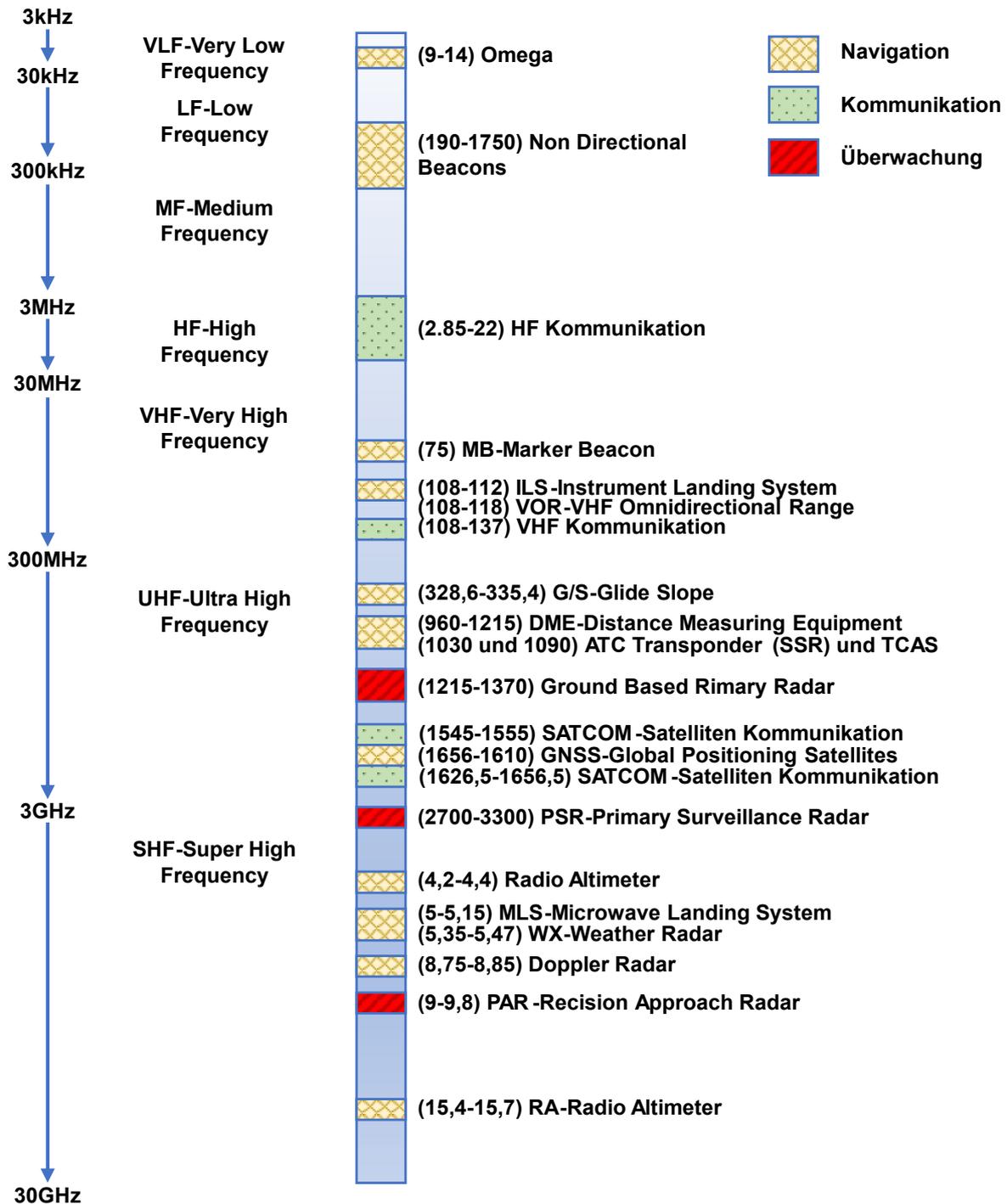
Die Reichweite eines Signals ist abhängig von der Wellenlänge einer Frequenz und von der Signalstärke. Die Signalstärke wird durch die Sendeleistung bestimmt. Die Wellenlänge  $\lambda$  wird in Meter angegeben und ist abhängig von der Lichtgeschwindigkeit ( $c$ ) und der Frequenz ( $f$ ). Dafür gilt folgende Formel:

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [m]}$$

Mit zunehmender Frequenz nimmt bei gleicher Sendeleistung die Reichweite des Signals ab.

Folgende Frequenzbereiche werden in der Luftfahrt verwendet:

- 3kHz – 30kHz VLF Very Low Frequency
- 30kHz – 300kHz LF Low Frequency
- 300kHz – 3MHz MF Medium Frequency
- 3MHz – 30MHz HF High Frequency
- 30MHz – 300MHz VHF Very High Frequency
- 300MHz – 3GHz UHF Ultra High Frequency
- 3GHz – 30GHz SHF Super High Frequency



### Ausbreitung der Funkwelle

Wenn eine Radiowelle ausgesendet wird, verlässt sie die Antenne in Abhängigkeit der Frequenz über unterschiedliche Wege. Diese Wege sind:

- Die Bodenwelle
- Die Raumwelle

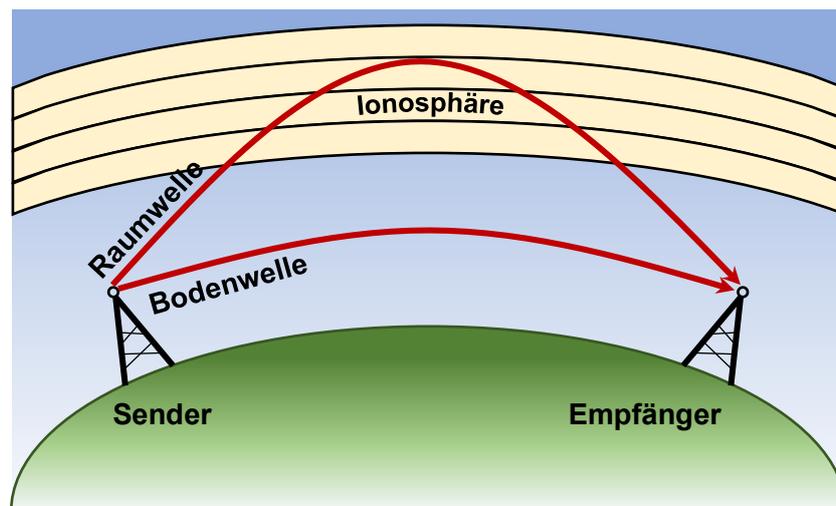
#### *Bodenwelle*

Jede Aussendung erzeugt eine Bodenwelle, die sich entlang der Erdoberfläche ausbreitet und eine Raumwelle, die halbkugelförmig gegen den Himmel ausgesendet wird.

Die Radiowellen, die sich entlang der der Erdoberfläche ausbreiten und ihrer Krümmung folgen nennt man Bodenwelle. Da die Reichweite von der Frequenz abhängt eignen sich Funkwellen mit langer Wellenlänge (niedriger Frequenz) am besten zur Verbreitung.

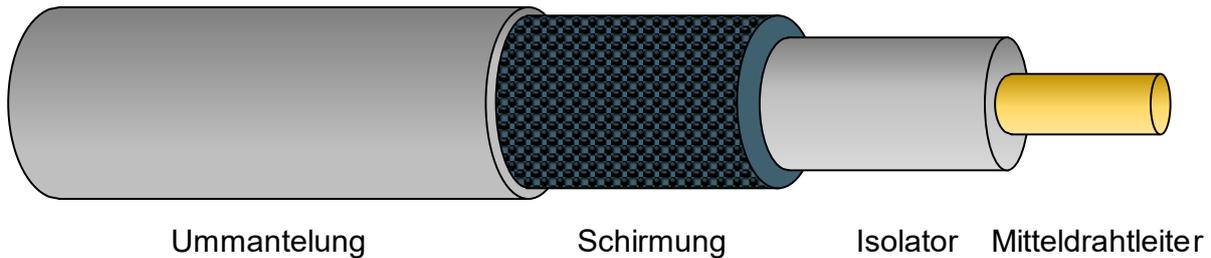
#### *Raumwelle*

Die Raumwelle breitet sich geradlinig wie Licht aus. In bestimmten Frequenzbereichen bei gewissen Aufprallwinkeln gelangen Raumwellen nach großer Distanz durch Reflexion an der Ionosphäre wieder zur Erde zurück. Die Raumwelle ist bei Kurzwellenfunk von Bedeutung.



### Übertragungsleitungen

Sender und Empfänger müssen über einen leitfähigen Draht mit der Antenne verbunden sein. Diese Übertragungsleitungen sind Koaxialkabel und bestehen aus einem Mitteldrahtleiter der von einem Isolator umgeben ist. Der Draht und das Isolationsmaterial sind von einem leitenden Drahtgeflecht umgeben. Dieses Geflecht schirmt den Innenleiter gegen äußere Felder ab, die zu Störungen des Signals führen können. Schließlich wird eine wasserdichte Ummantelung um die geflochtene Abschirmung gelegt, um die die gesamte Baugruppe vor den Elementen zu schützen.



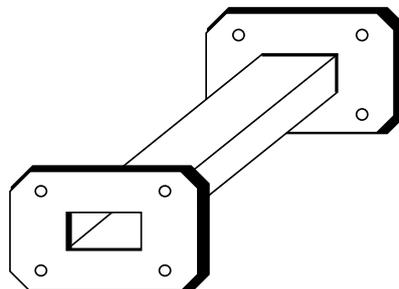
Koaxialkabel sind relativ robust, trotzdem muss darauf geachtet werden, dass sie nicht geknickt werden oder in einem zu engen Radius verlegt werden. Auch zu großer Hitze dürfen diese Kabel nicht ausgesetzt werden.

Es sind immer die Anweisungen des Herstellers im Bezug auf die Verlegung zu beachten. Generell gilt, dass die Anschlusslänge so kurz wie möglich gehalten werden soll.

Um eine optimale Übertragungsleistung zu erzielen, sollte die Impedanz (Widerstand) der Übertragungsleitung der Impedanz der Antenne entsprechen. In der Luftfahrt sind dies normalerweise 50 Ohm.

### Hohlleiter

Ein Hohlleiter ist ein hohles, leitendes Rohr, durch das Mikrowellenenergie in Form von elektromagnetischen Wellen übertragen wird. Das Rohr führt keinen Strom in dem Sinne, wie es die Drähte einer Zweileiterleitung tun. Stattdessen ist es eine Begrenzung, die die Wellen auf den eingeschlossenen Raum beschränkt. Der Skin-Effekt an den Innenwänden des Hohlleiters begrenzt die elektromagnetische Energie im Hohlleiter, ähnlich wie die Abschirmung eines Koaxialkabels die Energie innerhalb des Koaxialkabels begrenzt. Hohlleiter werden bei hohen Frequenzen wie z.B. beim Wetterradar verwendet.



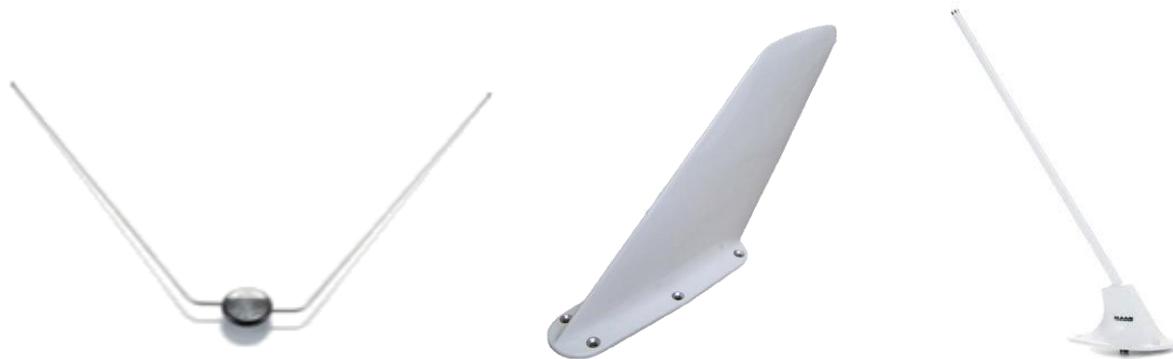
## Antennen

Antennen sind Leiter, die zum Senden und Empfangen von Hochfrequenzwellen verwendet werden.

Drei Merkmale sind bei der Betrachtung von Antennen von großer Bedeutung

1. Länge
2. Polarisation
3. Richtwirkung

Die genaue Form und das Material, aus dem eine Antenne gefertigt ist können ihre Sende- und Empfangseigenschaften verändern. Bei einigen nichtmetallischen Flugzeugen, sind die Antennen in das Verbundmaterial eingebettet.



Antennen

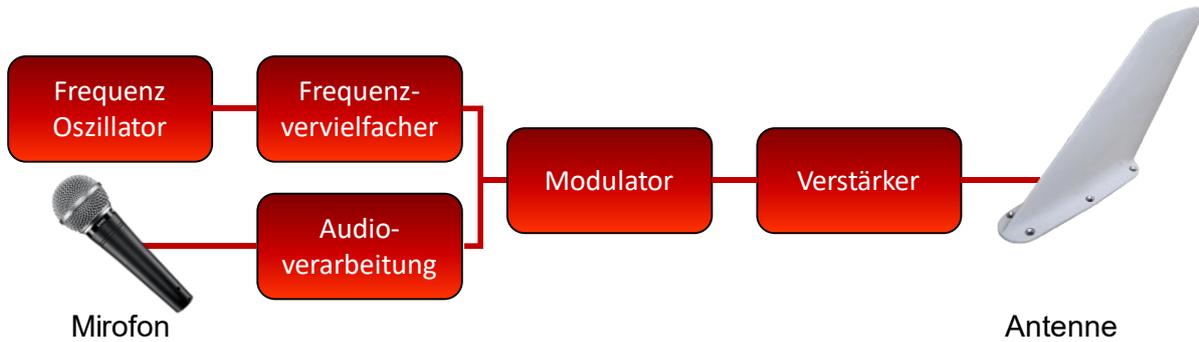
## Sender und Empfänger

Ein Sender besteht aus einem präzisen Schwingkreis oder Oszillator, der eine AC-Trägerwellenfrequenz erzeugt. Diese wird mit Verstärkungsschaltungen oder Verstärkern kombiniert. Die Entfernung, die eine Trägerwelle zurücklegt, hängt direkt mit der der Verstärkung des an die Antenne gesendeten Signals zusammen.

Andere Schaltungen werden in einem Sender verwendet, um das Eingangssignal zu empfangen, das Informationssignal anzunehmen und es für die Übertragung auf die Trägerwelle zu verarbeiten.

Der Sender bereitet die Signale vor und sendet diese an die angeschlossene Antenne, die die Wellen in die Atmosphäre abstrahlt.

Ein Sender mit mehreren Kanälen (Frequenzen) enthält eine Abstimmenschaltung, mit der der Benutzer die die Frequenz auszuwählen kann, auf der gesendet werden soll. Dadurch wird der Oszillatorausgang auf die gewünschte Frequenz eingestellt.



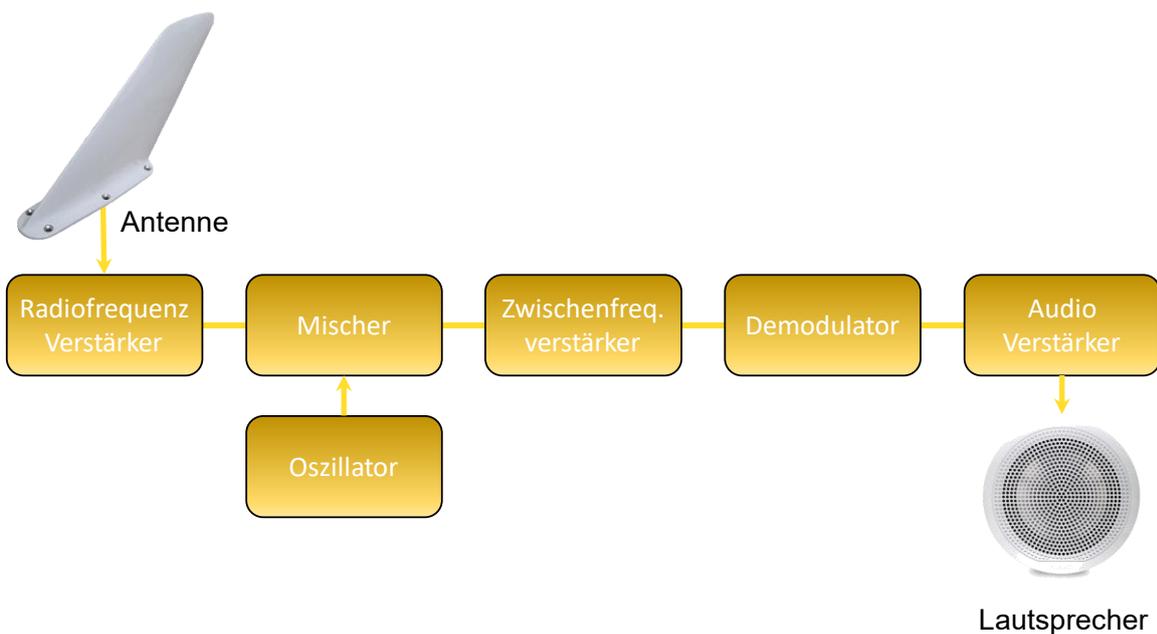
Ein Empfänger wird benötigt, um die gewünschte Trägerwelle mit ihren Informationen zu isolieren. Der Empfänger hat Schaltkreise um das Informationssignal von der Trägerwelle zu trennen.

Er bereitet es für die Ausgabe an einen Lautsprecher vor. Das Ausgangssignal ist das Informationssignal, das ursprünglich das ursprünglich in den Sender eingespeist wurde.

Der Empfänger muss die von der Antenne erfasste gewünschte Funkfrequenz verstärken, da sie auf dem Weg durch die Atmosphäre schwach ist. Ein Oszillator im Empfänger wählt die gewünschte Frequenz aus.

Die Frequenz, die sich aus der Differenz zwischen der lokalen Oszillatorfrequenz und der Trägerfrequenz der Funkwelle ergibt, wird für die weitere Verarbeitung verwendet. Bei VHF Funkgeräten liegt diese Frequenz bei 10,8 MHz.

Sie wird als Zwischenfrequenz bezeichnet und wird verstärkt, bevor sie an den Detektor gesendet wird. Der Detektor oder Demodulator ist der Ort, an dem das Informationssignal von der Trägerwelle getrennt wird. Schließlich erfolgt die Verstärkung für das Ausgabegerät.



## Funktionsprinzip von Notsendern (Emergency Locator Transmitter ELT)

### Grundfunktion

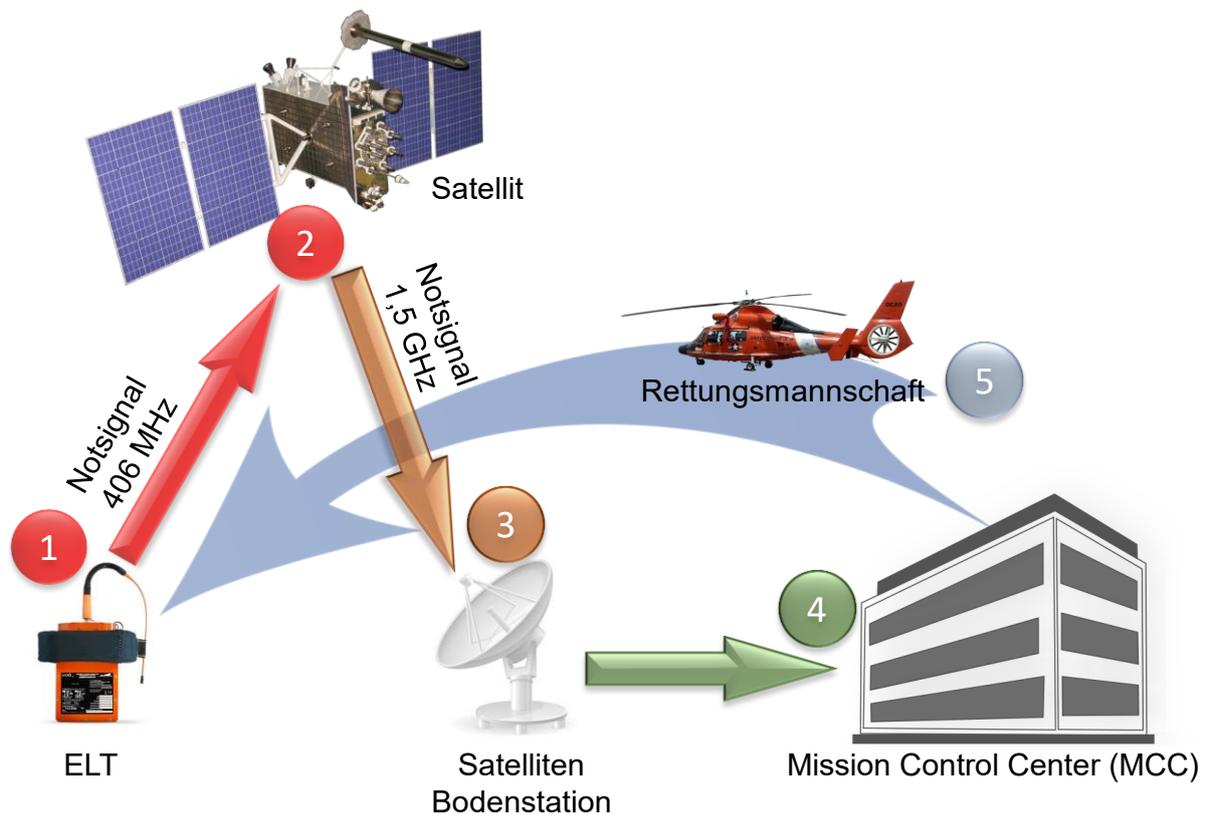
Ein Notsender (Emergency Locator Transmitter – ELT) für Luftfahrzeuge kann manuell durch den Piloten oder automatisch durch einen Aufprallsensor (G-switch) aktiviert werden. Manche ELTs sind auch mit einem Wasser Sensor ausgestattet, wodurch bei Wasserkontakt der Notsender aktiviert wird.

Ein G-Schalter im Notsender wird aktiviert, wenn eine exzessive Beschleunigung während eines Aufpralls gemessen wird. Durch die eingebaute Batterie sendet der ELT ein Notsignal für mindestens 24 Stunden auf einer Frequenz von 121,5 MHz, 243 MHz und 406 MHz. Dabei wird die GPS-Position entweder einmalig von einem Luftfahrzeugsystem oder periodisch durch einen eingebauten GPS-Prozessor übermittelt. Jeder ELT hat einen einzigartigen ID-Code. Damit kann im Notfall festgestellt werden, um welches Luftfahrzeug es sich handelt.



### Funktionsweise des ELT

1. Ein Notsignal wird vom Luftfahrzeug gesendet
2. Sender-Positionierungs-/Standortdaten werden durch Satellitenkommunikation an Satelliten-Bodenstationen oder lokale Benutzerterminals weitergeleitet
3. Die lokalen Benutzerterminals berechnen die Position bevor das jeweilige Mission Control Center (MCC) alarmiert wird.
4. Das MCC sammelt die Daten, die von den Benutzerterminals empfangen werden und übermittelt den Alarm an die jeweilige Rettungsleitstelle.
5. Die Rettungsleitstelle entsendet und koordiniert die Rettungsmannschaft.



### Batterie

In den meisten Notsendern ist eine Lithium-Mangandioxid-Batterie verbaut. Sie zählt zu den nicht wiederaufladbaren Batterien aus der Gruppe der Primärbatterien. Die Anode besteht aus metallischem Lithium und die Kathode besteht aus wärmebehandeltem Mangandioxid (MnO<sub>2</sub>). Die Lebenszeit der Batterie beträgt in der Regel 6 Jahre.

Die Batterie muss getauscht werden:

- Vor dem Ablaufdatum
- Wenn der Sender für mehr als eine kumulierte Stunde (einschließlich der Testzyklen) in Betrieb war.

### Anforderung an Tests und Wartung

Die Selbsttestfunktion sollte gemäß den Empfehlungen des Herstellers durchgeführt werden allerdings mindestens einmal alle sechs Monate.

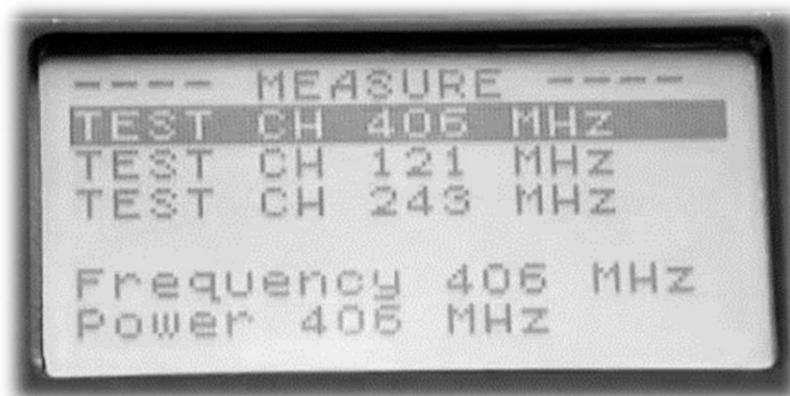
Falls es diesbezüglich spezifische Verfahren der zuständigen Behörde gibt, sind diese einzuhalten.

Der Test sollte innerhalb der ersten 5 Minuten nach jeder vollen Stunde für maximal drei Audiotönen durchgeführt werden. Der VHF-Empfänger ist auf die Frequenz 121,5 MHz zu stellen, um den Test zu überwachen.

Spätestens bei jedem Batteriewechsel sollte eine Inspektion erfolgen, sofern nicht kürzere Intervalle durch Lufttüchtigkeitsbehörden oder Hersteller gefordert werden.

Diese Inspektionen inkludiert folgende Punkte:

- Entfernung aller Verbindungen zur ELT-Antenne und Inspektion von Kabeln und Anschlüssen.
- Ausbau der ELT-Einheit und Überprüfung der Befestigung.
- Überprüfung der Batterie auf mögliche Korrosion.
- Überprüfung des Aufprallsensors (G-switch) wird empfohlen.
- Messung von Sendefrequenzen und Ausgangsleistung

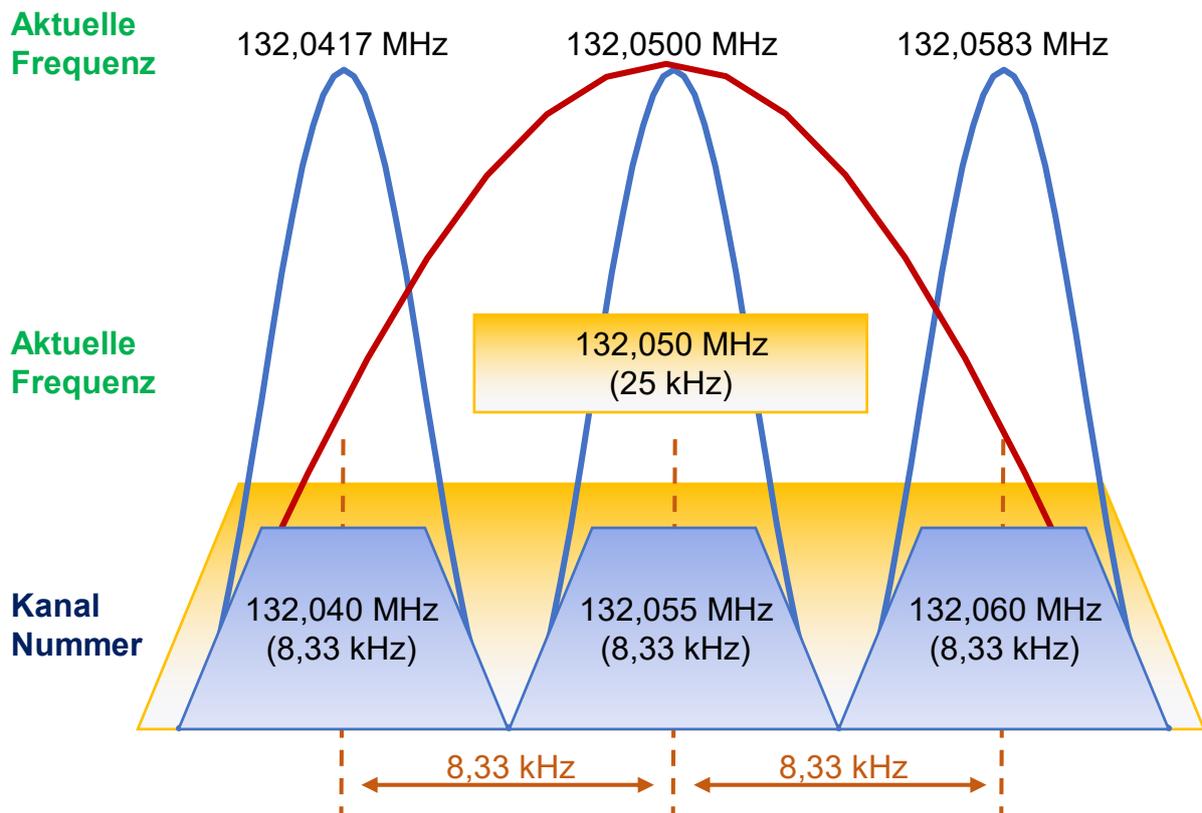


## Funktionsprinzip von Kommunikation im sehr hohen Frequenzbereich (VHF)

Für den zivilen Flugfunk wird ein Teil des VHF (Very High Frequenz) Frequenzbereichs verwendet. Die zu verwendenden Sprechfunkverfahren sind weltweit einheitlich durch den ICAO-Anhang 10 geregelt.

Der Frequenzbereich, der für den Flugfunk verwendet wird, befindet sich zwischen 117,975 und 137 MHz. Die ursprüngliche Rasterung der Funkgeräte war mit einem Kanalabstand von 50 kHz gebaut. Dadurch waren in diesem Frequenzbereich 360 Sprechkanäle vorhanden.

In den 1970 Jahren entstanden durch einen verringerten Kanalabstand von 25 kHz 720 Kanäle. 2018 wurden die 25kHz Kanalabstände gedrittelt, wodurch zwei zusätzliche Kanäle geschaffen wurden, die jeweils um 8.1/3 kHz gestaffelt sind. Diese zusätzlichen Frequenzen (sog. Schulterfrequenzen) sitzen also jeweils 8.33 kHz neben den bisherigen Frequenzen.



Die vierstellig definierten Frequenzen der neuen 8.33 kHz-Kanäle (z.B. 118.0917 MHz) werden der Einfachheit halber auf zwei Stellen und volle 5 kHz gekürzt (z.B. Kanal 118.090).

25 kHz		8,33 kHz			
		Frequenzwahl		Echte TX/ RX Frequenz	
Frequenz	Wahl	25 kHz Frequenz	8,33 kHz Kanal	Frequenz (MHz)	Abstand (kHz)
118,000	118,000	118,000		118,0000	25
	118,005		118,005	118,0000	8,33
	118,010		118,010	118,0083	8,33
	118,015		118,015	118,0167	8,33
118,025	118,025	118,025		118,0250	25
	118,030		118,030	118,0250	8,33
	118,035		118,035	118,0333	8,33
	118,040		118,040	118,0417	8,33
118,050	118,050	118,050		118,0500	25
	118,055		118,055	118,0500	8,33
	118,060		118,060	118,0583	8,33
	118,065		118,065	118,0667	8,33
118,075	118,075	118,075		118,0750	25
	118,080		118,080	118,0750	8,33
	118,085		118,085	118,0833	8,33
	118,090		118,090	118,0917	8,33
118,100	118,100	118,100		118,1000	25
...					
132,000	132,000	132,000		132,0000	25
	132,005		132,005	132,0000	8,33
	132,010		132,010	132,0083	8,33
	132,015		132,015	132,0167	8,33
132,025	132,025	132,025		132,0250	25
	132,030		132,030	132,0250	8,33
	132,040		132,040	132,0417	8,33
	132,050	132,050	132,050	132,0500	25
	132,055		132,055	132,0500	8,33
	132,060		132,060	132,0583	8,33
...					

Die alten Frequenzen (also z.B. 122.250 MHz) gibt es also sowohl mit 25 kHz Kanalabstand ("Frequenz 122.250 MHz"), wie auch mit 8.33kHz Kanalabstand (Kanal 122.255).

Bei den neuen Kanälen stimmt die tatsächlich benutzte Frequenz nicht mehr mit der Anzeige auf dem Display überein (z.B. bei Wahl des Kanals 132.010 wird auf der Frequenz 132.0083 übermittelt), darum wird im 8.33 kHz-Kanalraster generell von Kanälen gesprochen und nicht mehr von Frequenzen. Das Wort Kanal (Channel) wird aber in der Radiophrasologie nicht verwendet.

Die neuen 8.33 kHz-fähigen Geräte stellen je nach eingestellter Frequenz/Kanal den korrekten Kanalabstand selbst ein und übermitteln auf den alten 25 kHz-Frequenzen (also z.B. wenn 122.250 im Display gewählt ist) weiterhin mit 25 kHz-Kanalabstand. Wenn die neuen 8.33 kHz-Kanäle gewählt werden (also z.B. 122.255 im Display gewählt wird), wird mit 8.33 kHz-Kanalabstand übermittelt.



© f.u.n.k.e. Avionics

## 12L.2 Transponder und FLARM

### Air Traffic Control Transponder, Secondary Surveillance Radar

Ein Flugfunktransponder ist ein Sekundärradar Transponder zur Identifizierung von Luftfahrzeugen. Der Transponder nimmt eingehende Signale auf und beantwortet diese automatisch.

Das Sekundärradarprinzip ist ein Ortungsverfahren mit Laufzeitmessung, das im Gegensatz zur herkömmlichen Radartechnik nicht mit der am Ziel reflektierten Energie, also dem passiven Echo eines Zieles arbeitet, sondern bei dem sich an Bord des Zieles ein aktives Antwortgerät (Transponder) befindet. Bei einem Sekundärradar antworten die Ziele aktiv auf ein empfangenes Radarsignal mit dem Aussenden einer Antwort auf der gleichen oder einer anderen Frequenz. Bei dem in der Zivilluftfahrt verwendeten System wird die Abfrage auf der Frequenz 1030 MHz und die Antwort auf der Frequenz 1090 MHz übertragen.

Hierzu wird der Radarimpuls mit einer Antenne empfangen und löst die Ausstrahlung eines charakteristischen „Echos“ über die gleiche Antenne aus.



Typische tragbare Konfiguration, einschließlich Antenne

Der portable Transponder besteht aus einem Display und den Bedienelementen auf der Vorderseite sowie der Elektronik und der integrierten Antenne im Gehäuse.

Betrieben wird der Transponder über eine externe 12 Volt Batterie. Gesendet wird auf einer Frequenz von 1090 MHz und empfangen auf 1030 MHz. Der Transponder kann in den Modi A, C und S operieren und ist auch ADS-B tauglich.

Eingesetzt werden kann der Transponder bis zu einer Höhe von 30.000 ft und einer Geschwindigkeit von 250 kt.



© TQ Avionics

Für den ADS-B Betrieb ist eine externe GPS Antenne erforderlich, die an der Rückseite des Transponders angeschlossen wird. Auf der Vorderseite lassen sich die einzelnen Modi auswählen.



© TQ Avionics

## Erläuterung der Modi A, C, S

### Mode A

Der Mode A dient zur Übermittlung der Identifikation auch Transpondercode oder SQUAWK genannt. Die Identifikation ist ein vierstelliger Zahlencode, den der Pilot am Transponder einstellt, sobald dieser vom Fluglotsen zugewiesen wurde. Dabei sind nur Zahlen von 0 bis 7 möglich (oktales Zahlensystem).

Auf Aufforderung des Fluglotsen muss der Pilot am Transponder den IDENT-Knopf drücken. Dadurch wird bei der Übermittlung ein zusätzlicher Impuls angehängt, wodurch das Flugzeugsymbol am Radarschirm des Lotsen hervorgehoben wird.

Folgende Squawk Codes sind fix zugewiesen:

- 7700 wird bei Luftnotlage eingestellt
- 7600 wird bei Funkausfall eingestellt
- 7500 wird bei Entführung eingestellt

### Mode C

Der Mode C dient zur Übermittlung der Flughöhe. Die unterschiedlichen Abfragen (Mode A und Mode C) unterscheiden sich technisch durch das Pulsintervall. Es werden also zwei Impulse in unterschiedlichen Abständen gesendet, wobei die Abstände fest definiert sind. Mode A wird mit einem Pulsintervall von 8 Mikrosekunden abgefragt, Mode C mit einem Pulsintervall von 21 Mikrosekunden. Da man in der Regel beide Informationen wissen möchte, werden diese Abfragen ständig abgewechselt. Der Transponder im Luftfahrzeug erkennt nun das Pulsintervall und somit den Mode und kann eine passende Antwort senden. Nun muss allerdings statt einem 4-stelligen Code eine Flughöhe in 12 Impulsen kodiert werden. Das geschieht mithilfe des Gillham-Codes, der nach einem bestimmten Schema jeder Flughöhe in Hunderter-Schritten eine bestimmte Impuls-Kombination zuweist.

Zu beachten ist, dass es sich dabei um die gemessene Standardhöhe, also Flugflächen, und nicht um die tatsächliche Höhe über dem Meeresspiegel handelt.

### Mode S

In den 1990er Jahren, als der Luftverkehr immer weiter anstieg, kam man mit dem klassischen Sekundärradarsystem an seine Grenzen. Mode A erlaubt wie bereits erklärt maximal 4096 Squawk-Codes. In vollen Lufträumen war das aber nicht mehr ausreichend. Ein Lotse hätte dann also zwei Flugzeugen den gleichen Squawk-Code zuweisen müssen, was ein erhöhtes Sicherheitsrisiko darstellen würde. Außerdem haben sich die Falschziele immer mehr gehäuft.

Daher wurde ein neuer Mode entwickelt: Mode S. Das S steht dabei für "selective", also selektiv. Wie der Name schon verrät, antworten auf einen Abfrageimpuls nun nicht mehr alle Flugzeuge, sondern nur jenes Flugzeug, welches sich "angesprochen" fühlt. Mode S ist dabei voll abwärtskompatibel zu Mode A und Mode C. Auch die genutzten Frequenzen sind die gleichen wie beim "klassischen" SSR (1030 MHz bzw. 1090 MHz).

Jedem Mode-S-fähigen Luftfahrzeug wird eine einmalige 24-Bit-Adresse zugewiesen, welche in den Transponder einprogrammiert wird. Die Adresse ist somit während der gesamten Lebenszeit eines Flugzeuges die gleiche. Dadurch sind also 16.777.214 verschiedene Adressen möglich.

Bevor ein Radar allerdings ein spezifisches Flugzeug ansprechen kann, muss es logischerweise erstmal wissen, welche Mode-S-fähigen Luftfahrzeuge, überhaupt in seiner Reichweite unterwegs sind. Dazu sendet es eine generelle Abfrage (All Call Interrogation). Auf diese Abfrage antworten nun alle Luftfahrzeuge, welche mit einem Mode-S-Transponder ausgestattet sind.

Anschließend erfolgt die selektive Abfrage an eine bestimmte Adresse, also ein bestimmtes Luftfahrzeug ("Roll Call Interrogation"). Der entsprechende Transponder erkennt dies und sendet dann sein Antwortsignal. Diese Antwort besteht zum einen aus der Adresse selbst, wodurch der Flieger eindeutig identifizierbar ist. Zum anderen sendet der Flieger aber noch zusätzliche Informationen mit. Dazu gehören:

- Squawk-Code
- Flugzeugidentifikation (Rufzeichen bzw. Flight ID)
- Flughöhe, in 25-Fuß-Schritten
- Flugstatus (In der Luft oder am Boden)

Dabei spricht man von Mode S Elementarüberwachung (Mode S **Elementary Surveillance** - ELS).

Noch etwas fortgeschrittener ist die Mode S erweiterte Überwachung (Mode S **Enhanced Surveillance** - EHS). Dabei werden zusätzliche Parameter gesendet.

Dazu gehören:

- Steuerkurs (Heading)
- Angezeigte Eigengeschwindigkeit (IAS)
- Wahre Eigengeschwindigkeit (TAS)
- Geschwindigkeit über Grund (GS)
- Machzahl
- Steig-/ Sinkrate
- Rollwinkel
- Höhenmessereinstellung
- Kurvenrate
- Eingestellte Flughöhe des Autopiloten

Die aktuell letzte Ausbaustufe ist **Extended Squitter** auch bekannt unter ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast)

Luftfahrzeuge bestimmen ihre Position über Satellitennavigationssysteme wie GPS mit European Geostationary Navigation Overlay Service und GLONASS selbständig. Die Position und andere Flugdaten, wie Flugnummer, Flugzeugtyp, Zeitstempel, Geschwindigkeit, Flughöhe und geplante Flugrichtung werden kontinuierlich – typischerweise einmal pro Sekunde – ungerichtet auf 1090 MHz abgestrahlt. Daher bezeichnet man das Verfahren als ADS-Broadcast.

ADS-B in seiner standardisierten Form benutzt den sogenannten 1090 Extended Squitter Datalink, welcher auf der existierenden Mode-S-Technologie basiert.

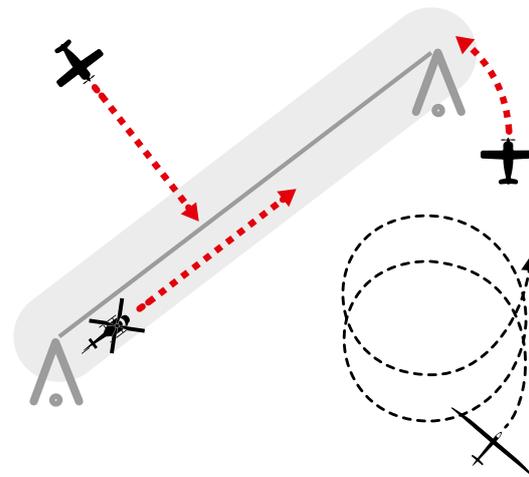
Dementsprechend teilt ADS-B damit viele Charakteristiken: Die Frequenz ist ebenfalls 1090 MHz, die Modulation eine Puls-Pausen-Modulation, die Bandbreite 1 MBit/s und die Länge der Nachrichten beträgt 112 Bit.

## FLARM

FLARM (Flight and Alarm) wurde im Jahre 2004 als Alternative zum TCAS (Traffic Collision Avoidance System) entwickelt und ist ein Kollisionsvermeidungssystem, welches in Motorflugzeugen, Hubschraubern, Segelflugzeugen und Drohnen verwendet wird.

FLARM berechnet den zukünftigen Flugweg und strahlt diesen an nahe Flugzeuge per Funk aus. Gleichzeitig empfängt FLARM die zukünftigen Flugwege von umgebenden Flugzeugen, woraus ein intelligenter prädiktiver Algorithmus für jedes Flugzeug das Kollisionsrisiko auf Basis eines umfassenden Risikomodells berechnet. Bei Gefahr wird der Pilot über gefährlichen Verkehr gewarnt und die relative Position des anderen Flugzeuges dargestellt. So kann der Pilot ausweichen.

Jedes FLARM-Gerät bestimmt Position und Höhe mit einem hochempfindlichen GPS-Empfänger. Basierend auf Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kurs, Wenderadius, Wind, Vertikalgeschwindigkeit, konfigurierbarem Flugzeugtyp und anderen Parametern kann zuverlässig ein zukünftiger Flugweg berechnet werden. Dieser Flugweg und zusätzliche Informationen wie eine Identifikation werden codiert und über einen verschlüsselten Funkkanal bis zu zweimal pro Sekunde an alle Flugzeuge in der Nähe gesendet.



© FLARM Technology Ltd

Neueren FLARM-Geräte auf Basis der verbesserten PowerFLARM-Technologie einhalten optional einen ADS-B- und Transponder-Empfänger (SSR) Mode-S. Damit werden zusätzliche Flugzeuge im Warnalgorithmus berücksichtigt werden.

Zusätzlich zur Ausgabe von Kollisionswarnungen zeigen viele Displays auch nahe, aber ungefährliche Flugzeuge an. Das unterstützt den Piloten in ihrer Umgebungswahrnehmung.

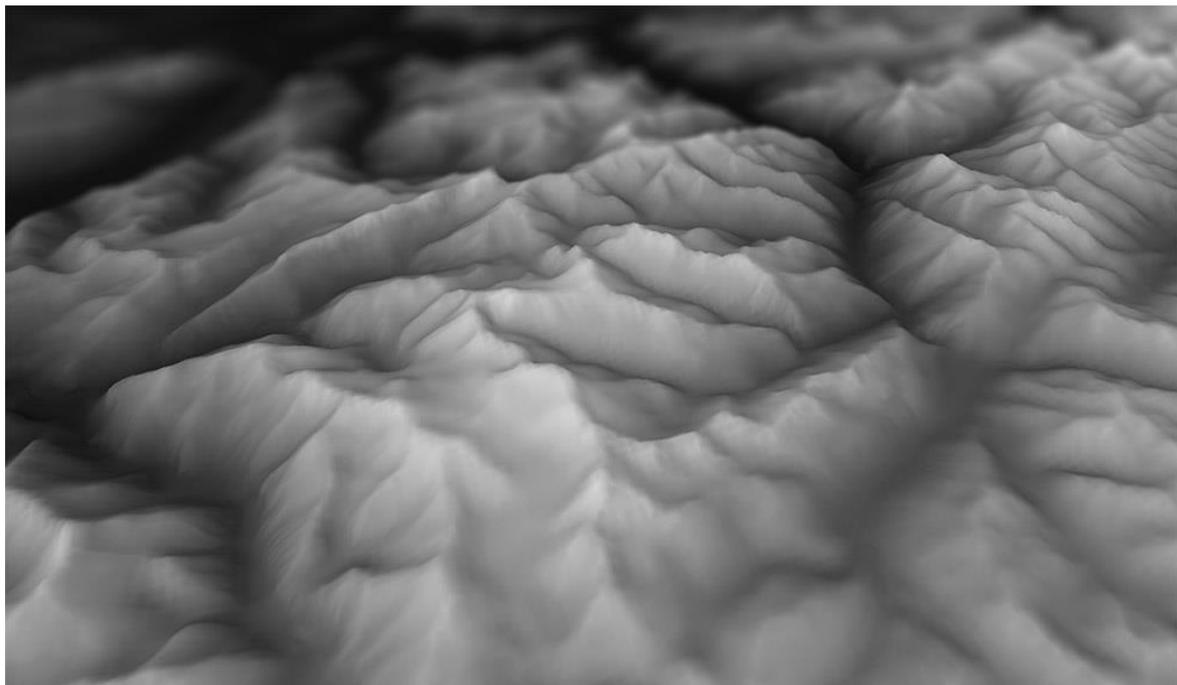
Eine weitere Option ist das Warnsystem für Hindernisse von festen Gefahren wie Stromleitungen, Seilbahnen und Funkmasten. Hindernisdatenbanken können in allen modernen FLARM Geräten installiert werden. Um das System nutzen zu können,

muss eine Hindernisdatenbank mit einer gültigen Lizenz für die entsprechende Region installiert werden.

Die Datenbanken werden einmal pro Jahr aktualisiert und können auf der FLARM Website erworben werden. Kürzere Aktualisierungsintervalle (z. B. AIRAC) sind auf Anfrage erhältlich.

Der Algorithmus nutzt eine raumzeitliche Flugbahnvorhersage, um Konflikte mit Hindernissen in Echtzeit zu erkennen. Basierend auf dem aktuellen Flugzeugtyp sowie einiger anderer Parameter werden Heuristiken angewandt, um eine optimale Vorhersage zu erstellen. Ein Segelflieger kann so zum Beispiel sicher neben einer Hochspannungsleitung kreisen, ohne störende Warnungen zu erhalten. Eine Warnung wird erst ausgegeben, sobald das Kreisen endet und eine Gefahr entsteht.

Es werden zwei grundlegende Arten von Hindernissen abgebildet: Türme und Kabel. Türme werden als vertikale Zylinder modelliert. Dieser Typ wird für Antennen, Masten und Kräne verwendet. Kabel werden durch eine Folge von Türmen modelliert, welche durch 3D-Pfade verbunden sind und so eine Kette von Segmenten bilden. Die Segmente erhalten ein prismatisches Schutzvolumen.



© FLARM Technology Ltd

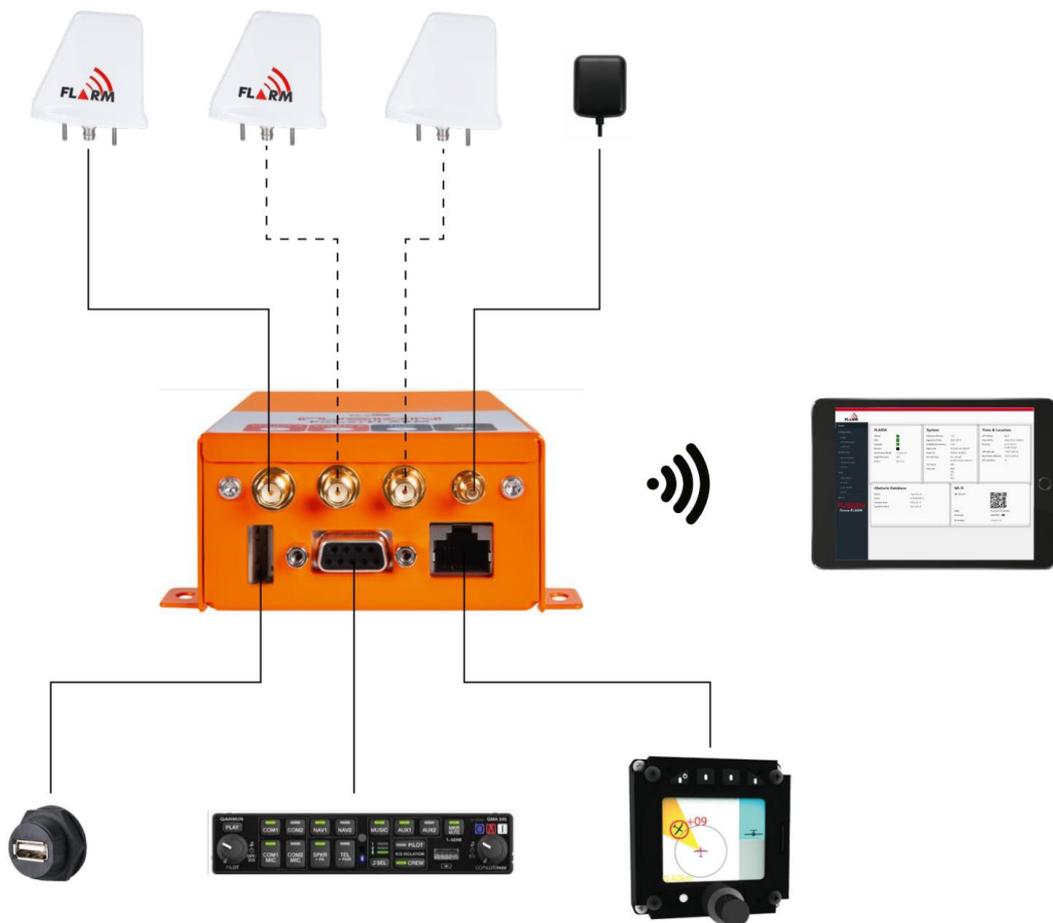
### Funktionsweise

Das FLARM System besteht auf 1 oder zwei Antennen, die entweder intern oder extern sein können. Externe Antennen werden üblicherweise oben und unten auf dem Luftfahrzeug angebracht. Zusätzlich kann noch die optionale Antenne für ADS-B/ SSR verbaut sein. Ebenfalls verbaut ist eine GPS-Antenne um den Flugweg zu berechnen.

Die Positions- und Bewegungsinformationen werden vom integrierten 16 Kanal GPS Empfänger bezogen, wobei die GPS-Antenne extern angebracht ist. Der integrierte Drucksensor verbessert die Positionsmessung zusätzlich. Der voraussichtliche Flugweg wird berechnet und über Funk als kurze digitale Meldung mit eindeutigen Identifikationscode sekundlich verbreitet. Die Sendereichweite hängt im Wesentlichen vom Einbau der Funkantenne ab und beträgt zwischen 3 und 5 km. Die Meldungen werden von allen FLARM Geräten innerhalb der Reichweite empfangen und mit dem eigenen prognostizierten Flugweg verglichen. Ebenfalls wird der eigene Flugweg mit den gespeicherten Daten fester Hindernisse verglichen.

Falls eine gefährliche Annäherung festgestellt wird, warnt FLARM den Anwender. Die erste Warnstufe bei Flugzeugen oder Hindernissen wird bei 19 – 25 Sekunden, die zweite ab 14 – 18 Sekunden, die dritte ab 6 – 8 Sekunden bis zum errechneten Zusammenstoß ausgegeben. Die Warnungen bleiben so lange aktiv, solange sie den Berechnungen zutreffen.

Zusätzlich zeichnet FLARM die Flugdaten auf. Diese Aufzeichnungen können nach dem Flug mittels SD-Karte oder Kabel heruntergeladen werden.



© FLARM Technology Ltd

## Anforderungen an Tests und Wartung

Neben den herstellerspezifischen Angaben gibt es seitens EASA eine Kundendienstmitteilung SIB No.:2011-15R.

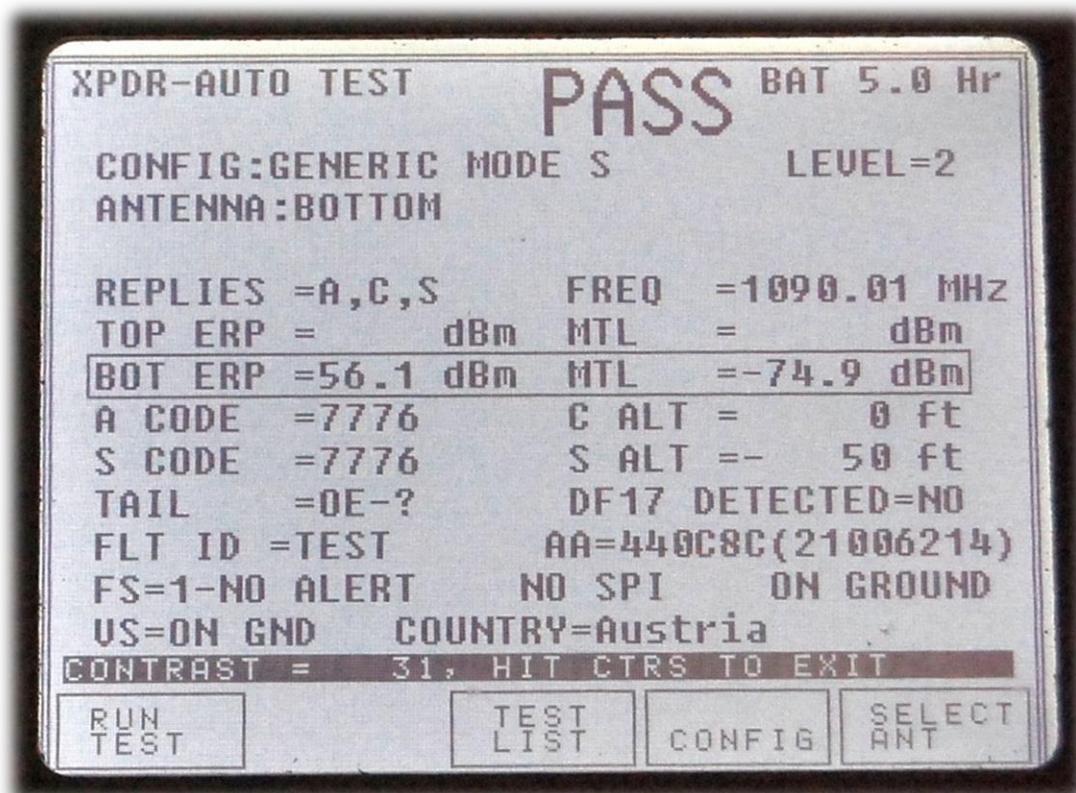
Um eine einwandfreie Funktion des Mode C oder S Transponders zu gewährleisten, soll in einem Intervall von 24 Monaten mit einem kalibrierten Testset und in Übereinstimmung mit den Wartungsangaben der Transponder getestet werden.

Während dem Test sollen folgende Punkte auf korrekte Funktion überprüft werden:

- Korrekte Funktion des Mode A Code (Squawk)
- Übermittlung der Flughöhe inklusive der Überprüfung des Höhensensors in angemessenen Intervallen vom Boden bis zur höchstzulässigen Höhe.
- Korrekte Übermittlung der Mode S Adresse

Folgende Punkte sind für den Test des Transponders zu berücksichtigen:

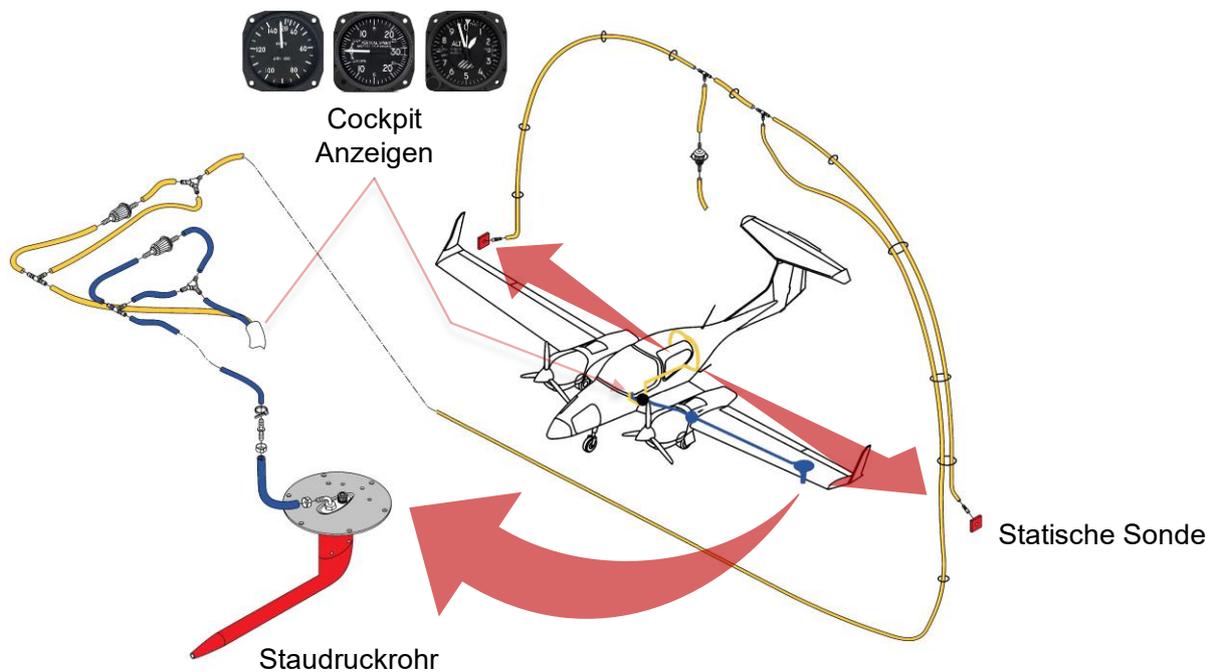
- Wenn nicht benötigt, ist der Transponder auf OFF oder Standby zu schalten
- Bevor ein Test gestartet wird, ist die lokale Luftverkehrsüberwachung (ATC) zu kontaktieren und über die Absichten zu unterrichten
- Für den Test soll der Mode A Code 7776 verwendet werden außer ein anderer wurde von ATC zugewiesen
- Für Mode S Transponder soll als Aircraft Identification (Flight ID) die ersten 8 Buchstaben der Firma, die den Test durchführt, eingegeben werden
- Fall möglich, sollte der Test in einem Hangar durchgeführt werden
- Als Vorsichtsmaßnahme sollen Antennenabdeckungen verwendet werden
- Wenn der Höhenparameter (Modus C oder S) getestet wird, strahlen Sie direkt in das Testset über das vorgeschriebene Dämpfungsglied
- Während dem Testen, soll der Transponder in Standby geschaltet werden
- Wenn andere Parameter als die Flughöhe des Transponders getestet werden, soll die Höhe auf – 1000ft oder über 60000ft gestellt werden
- Nach dem Test soll der Transponder auf OFF oder Standby gestellt werden



### 12L.3 Instrumente

#### Staudruck (Pitot-static)

Einige der wichtigsten Instrumente beziehen ihre Anzeige von der Messung des Luftdrucks. Das Sammeln und Verteilen verschiedener Luftdrücke für die Fluginstrumentierung ist Aufgabe des Pitot-Static Systems. Bei einfachen Luftfahrzeugen besteht dieses aus einem Staurohr und einer statischen Sonde. Der gemessene Luftdruck wird über Schläuche zu den Instrumenten geführt die über Druckdosen den entsprechenden Wert anzeigen.



## Höhenmessung

Die barometrische Höhenmessung basiert auf der Messung des statischen Luftdrucks. Die lokalen Luftdruckabweichungen, die durch Hoch- und Tiefdruckgebiete ständig vorkommen, müssen durch den Benutzer korrigiert werden. Diese Korrektur erfolgt anhand der Standardatmosphäre. Diese sogenannte Normalatmosphäre wurde von der ICAO für die Luftfahrt weltweit festgelegt. Sie beschreibt den mittleren Zustand der Eigenschaften der Erdatmosphäre wie Druck, Temperatur oder Dichteverteilung im Bereich der gemäßigten Breiten, wobei der Wasserdampfgehalt des Gasgemischs gleich Null gesetzt wurde.

- Temperatur: 15°C
- Luftdruck: 1013,25hPa
- Luftfeuchtigkeit: 0%
- Luftdichte: 1,2250 kg/m<sup>3</sup>

Bei digitalen Anzeigen wird über den gemessenen Druck die Höhe in Meter oder Fuß auf einem elektronischen Display dargestellt. Die Druckänderung wird als Variometer in Form einer Steig- oder Sink Rate in Metern pro Sekunde oder Fuß pro Sekunde dargestellt.



Die Anpassung des Höhenmessers erfolgt über die Änderung der Luftdruckreferenz.

Folgende Arten werden unterschieden:

### *QFE Field Elevation*

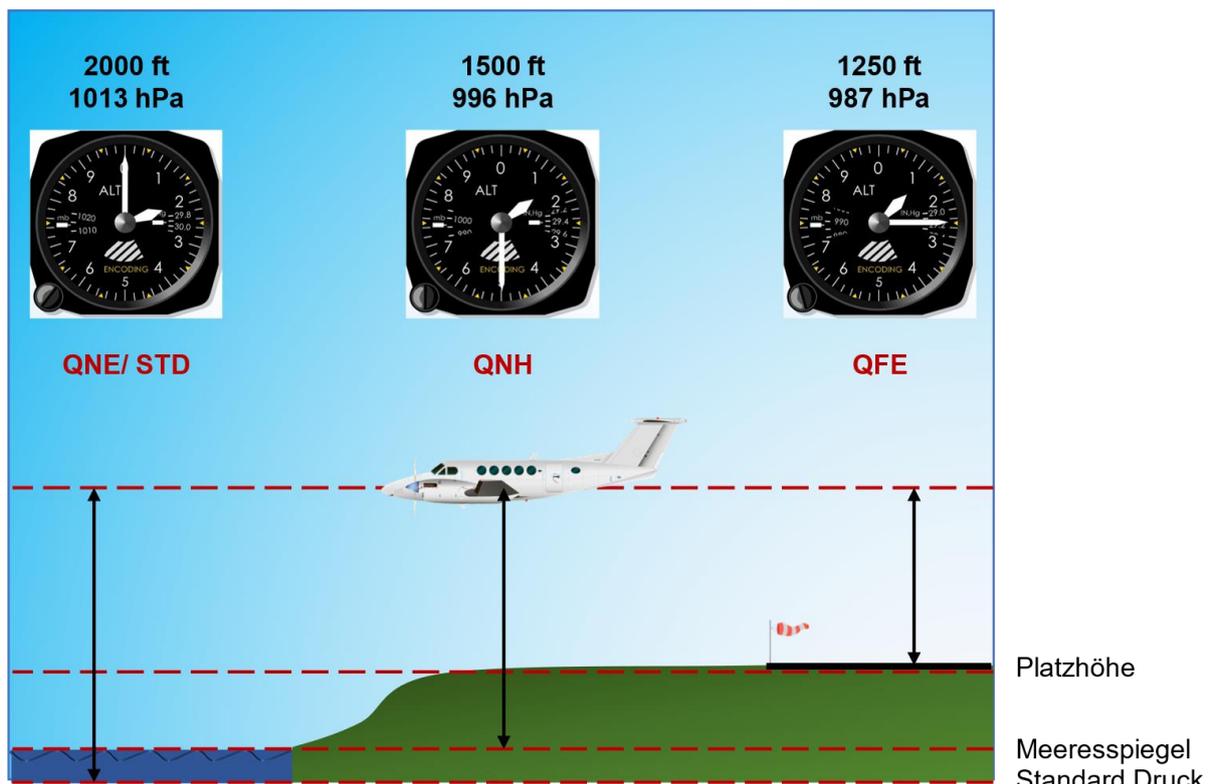
Dies ist jener Luftdruck, der am Boden gemessen wird. Wird am Höhenmesser das QFE eingestellt, zeigt der Höhenmesser am Boden 0 Meter oder 0 Fuß an. Im Flug wird die aktuelle Höhe über dem Flugplatz angezeigt.

### *QNH Normal Hight*

Dies ist der Luftdruck in Bezug auf die Meereshöhe, die am Flugplatz herrscht. Wird am Höhenmesser das QNH eingestellt, zeigt der Höhenmesser die Höhe des Flugplatzes über dem Meeresspiegel an. Dieser Druck ist daher Orts- und Wetterabhängig.

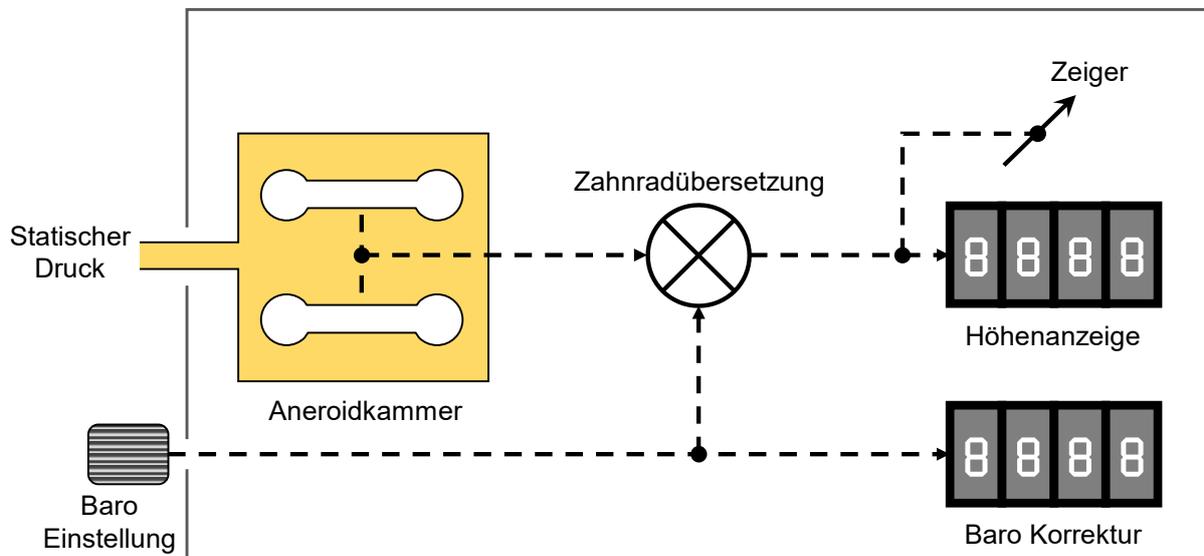
### QNE Normal Elevation

Dies ist der Standardluftdruck, der von der ICAO festgelegt wurde und entspricht somit den 1013.25 hPa.



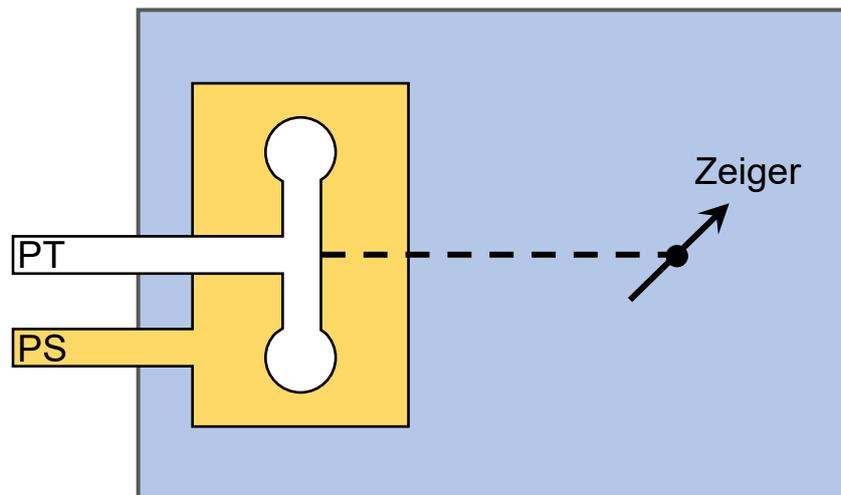
### Funktionsweise des Höhenmessers

Der Höhenmesser misst den absoluten Druck der Luft. Dieser Druck wird durch das Gewicht der Luft über dem Instrument hervorgerufen. Der Druck verändert sich konstant mit der Höhe. Wenn ein Luftfahrzeug steigt, nimmt der Druck immer weiter ab. Durch die Messung des Drucks, erhält man somit die Höhe. Als Messorgan, dient eine luftleere Membrandose (Aneroiddose) die sich unter dem Einfluss der Luftdruckänderung bei Flughöhenwechsel verändert. Die Übertagung erfolgt mittels Zahnradübersetzung auf einen Zeiger. Zusätzlich kann der Referenzdruck über die Baro Einstellung verändert werden.



### Fahrtmesser

Ein Fahrtmesser ist ein Differenzdruckmesser, der die Differenz zwischen dem Gesamtdruck und dem statischen Druck misst, also den Staudruck. Er besteht aus einem luftdichten Gehäuse, in dem eine dünne Metallkapsel montiert ist. Der Gesamtdruck ( $P_t$ ) wird in die Kapsel geleitet und die Seite des Gehäuses ist mit der statischen Druckquelle ( $P_s$ ) verbunden. Die Kapsel dehnt sich proportional zur Differenz zwischen dem Gesamtdruck und dem statischen Druck aus. Diese Ausdehnung wird durch ein mechanisches Gestänge gemessen und durch einen Zeiger, der sich über das Zifferblatt bewegt, angezeigt.



### Variometer

Mechanische Variometer funktionieren ebenfalls ohne Strom, da die Veränderung des Luftdrucks gemessen wird.

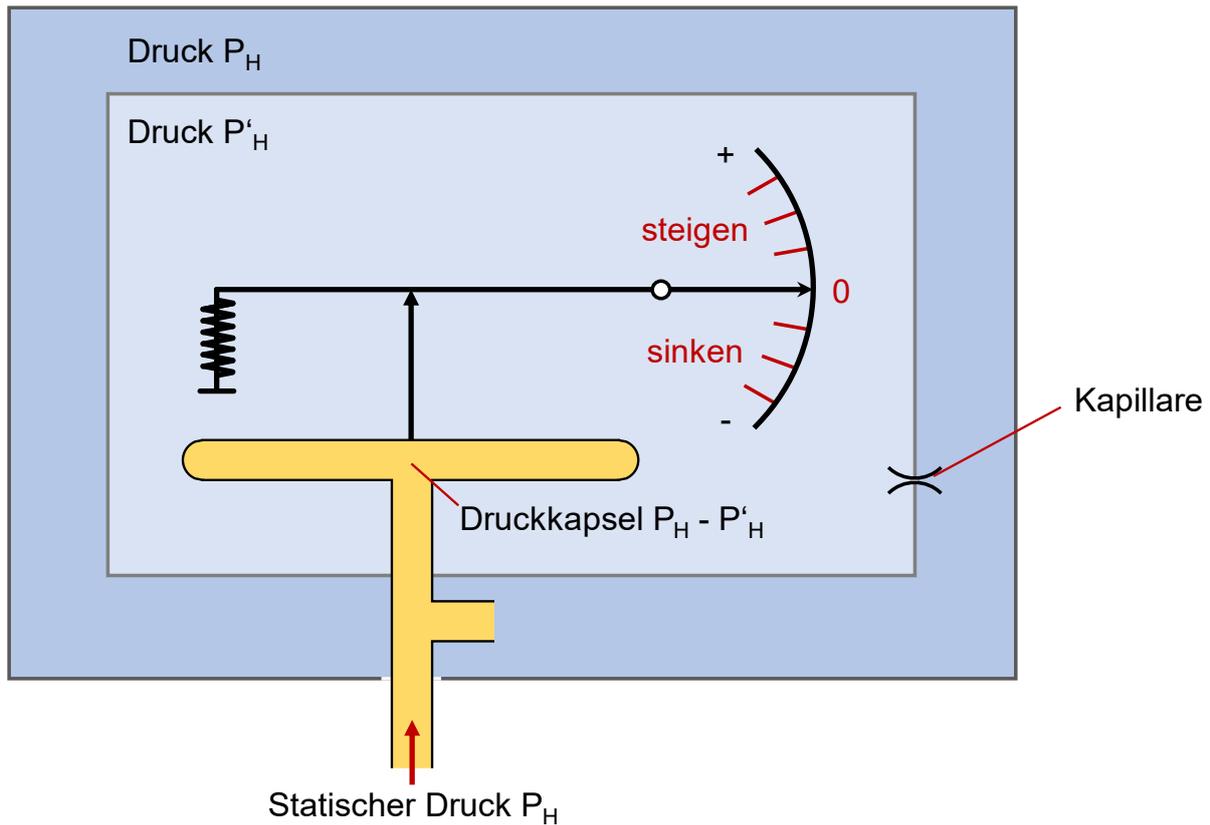
Dies funktioniert, indem auf der einen Seite der statische Druck und auf der anderen Seite ein Ausgleichsgefäß angeschlossen wird. Das Ausgleichsgefäß ist wärmeisoliert, um Störungen durch Temperatureinflüsse zu vermeiden.

Der Druck  $P'_H$  in diesem Gefäß und der damit verbundenen Kammer des Variometers wird über eine Kapillare mit Verzögerung an den statischen Außen-Druck  $P_H$  angeglichen, während der Druck des Volumens  $P_H$  ohne Verzögerung dem statischen Außendruck folgt (pneumatisches Differenzieren).

Im Horizontalflug bei konstantem Außendruck sind beide Drücke gleich, wodurch die Anzeige in der Neutralstellung (auf Null) steht. Bei Steigflug nimmt der Druck  $P_H$  schneller gegenüber dem Druck  $P'_H$  ab. Der Überdruck im Ausgleichsgefäß (gegenüber dem fallenden Außendruck) wird über die Kapillare nur verzögert durch Abströmen von Luft nach außen abgebaut. Die Druckdifferenz führt dazu, dass der Zeiger nach oben zeigt – Steigt – Anzeige. Im Sinkflug herrscht im Ausgleichsgefäß wegen des verzögerten Druckausgleichs über die Kapillare ein Unterdruck gegenüber dem Druck  $P_H$  was zu einer Sinken -Anzeige führt.

Die Luftdruckänderung, und damit der Unterschied zwischen dem statischen Druck und dem Druck im Ausgleichsgefäß, ist ein Maß für die Vertikalgeschwindigkeit.

Verbreitete Bauweisen sind das Dosenvariometer (Membrandose) als robustes, aber träges Instrument mit großem Messbereich (bis  $\pm 10$  m/s und mehr) und das Stauscheibenvariometer als schnelles Messgerät für geringe Steig- und Sinkraten.



### Elektronische Variometer

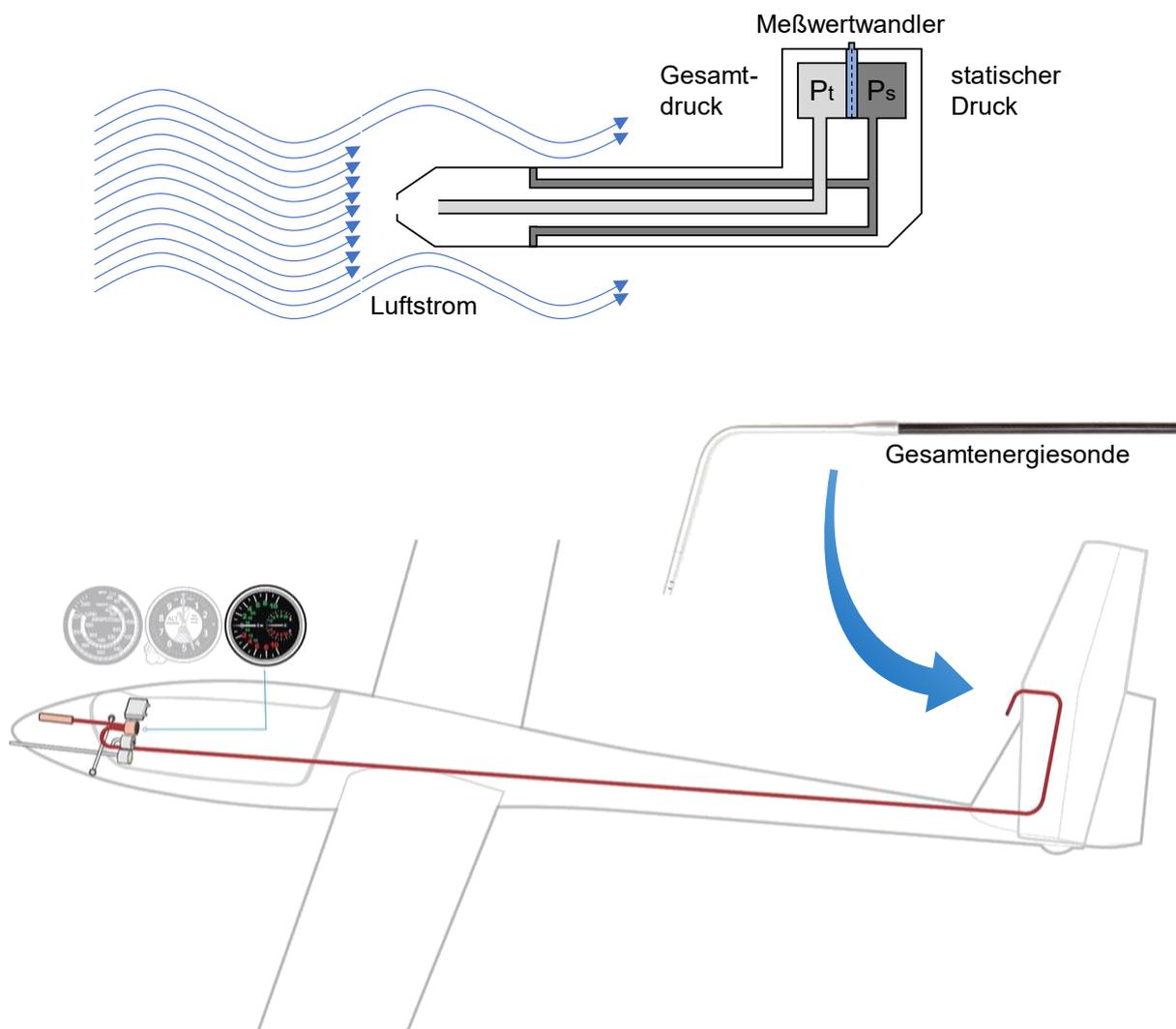
Bei elektronischen Variometern gibt es solche, die vom Prinzip her ähnlich wie die mechanischen Variometer arbeiten. Auch hier wird mittels Ausgleichsgefäß über eine Kapillare die Druckveränderung, die relativ zur Vertikalgeschwindigkeit ist, gemessen. Die Messung erfolgt über Menge und Geschwindigkeit der ausgleichenden Luftströmung mittels elektronischer Bauteile (z. B. beheizter Temperatursensoren).

Bei modernen Variometern wird der Luftdruck mittels Drucksensors gemessen (elektronischer Höhenmesser) und das Signal entweder analog oder digital differenziert. Dieses Verfahren erfordert eine qualitativ hochwertige Sensorik und Auswerteelektronik. Das Messsignal wird mithilfe von Zeigern, mit einem LCD und/oder auch akustisch angezeigt.

Da die Drucksensoren sehr empfindlich sind, ist darauf zu achten, dass sie niemals Drucküberlastungen (rapiden Druckänderungen) ausgesetzt sind, da diese dauerhaft beschädigt werden können.

## Gesamtenergiesonde

Eine Gesamtenergiesonde kann sowohl den Gesamtdruck ( $P_t$ ) wie auch den statischen Druck ( $P_s$ ) abnehmen. Dadurch kann mit einer Sonde der Fahrtmesser, der Höhenmesser sowie das Variometer mit Druck versorgt werden. Die Konstruktion der Gesamtenergiesonde ermöglicht es, Veränderungen zu kompensieren, die nicht mit der Erkennung von steigender und sinkender Luft verbunden sind. Die Sonde wird in der Regel vom Flugzeug entfernt positioniert, um sicherzustellen, dass die Messungen in der freien Luftströmung vorgenommen werden, die nicht durch das Vorhandensein von Flugflächen beeinträchtigt wird. Der Pilot kann die Stärke und Stabilität einer Thermik durch Beobachtung der Bewegung des Variometer Anzeigers feststellen.



### Kreiselinstrumente

Kreiselinstrumente sind wichtige Instrumente, die in Luftfahrzeugen verbaut sind. Sie versorgen den Piloten mit wichtigen Lage- und Richtungsinformationen und sind besonders wichtig beim Fliegen unter Instrumentenflugbedingungen. Die Energiequellen für diese Instrumente können unterschiedlich sein. Die wichtigste Anforderung ist den Kreisel mit hoher Geschwindigkeit zu drehen. Ursprünglich wurden Kreiselinstrumente ausschließlich durch Vakuum angetrieben.

Eine Vakuumquelle zog Luft über den Kreisel im Inneren der Instrumente, um die Kreisel zum Drehen zu bringen. Später wurde Elektrizität als Energiequelle hinzugefügt. Der sich drehende Anker eines Elektromotors dient gleichzeitig als Kreiselrotor.

Elektrische Kreisel haben den Vorteil, dass sie für eine begrenzte Zeit mit einer Batterie betrieben werden können, wenn ein Generator ausfällt oder ein Motor ausfällt. Da keine Luft durch den Kreisel geleitet wird, um den Rotor zu drehen, ist auch die Gefahr der Verschmutzung verringert. Außerdem spart der Wegfall von Vakuumpumpen, Rohrleitungen und Komponenten des Vakuumsystems Gewicht.

Es ist zu beachten, dass elektrische Kreiselinstrumente eine Anzeige auf dem Zifferblatt haben, die anzeigt, wenn das Instrument nicht funktioniert. Dies geschieht in der Regel in Form einer roten Fahne oder einer Markierung.

Drei der gebräuchlichsten Fluginstrumente die von Kreiseln gesteuert werden sind, der Fluglageanzeiger, der Steuerkursanzeiger und die Kurvennadel des Wendezeigers.

Ein mechanischer Kreisel oder Gyro besteht aus einem Rotor, dessen Masse um seinen Umfang herum konzentriert ist. Der Rotor ist gelagert, damit er sich mit hoher Geschwindigkeit drehen kann (Bild 1).

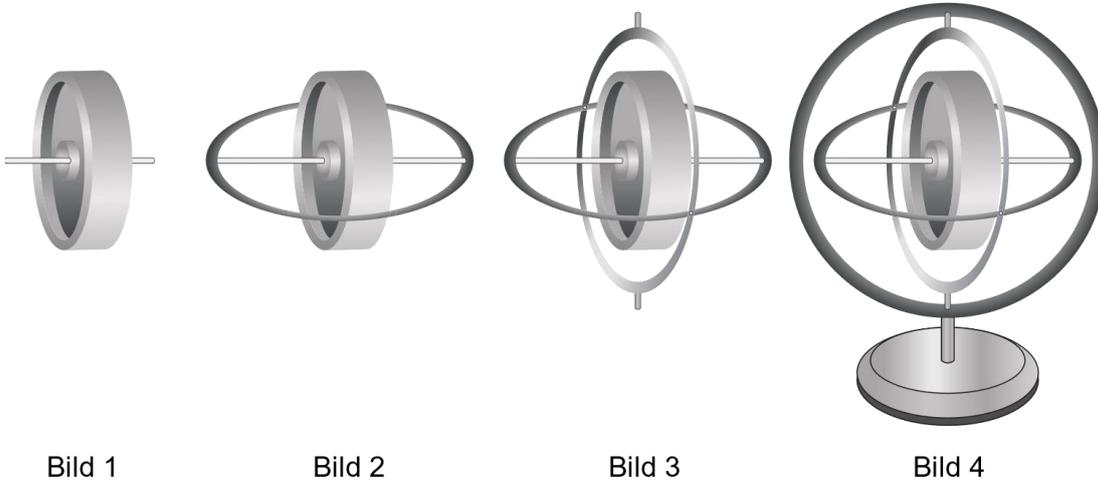
Für den Rotor und die Achse sind verschiedene Montagekonfigurationen erhältlich, die es ermöglichen, die Rotoreinheit um eine oder zwei Achsen senkrecht zu seiner Drehachse zu drehen. Um den Rotor für die Drehung aufzuhängen, wird die Achse zunächst in einem Tragrings montiert (Bild 2)

Wenn die Halterungen  $90^\circ$  um den Tragrings herum angebracht werden, können sich der Tragrings und der Rotor um  $360^\circ$  frei bewegen. In dieser Konfiguration wird der Kreisel als gefangener Kreisel bezeichnet. Er kann sich nur um eine Achse drehen, die senkrecht zur Drehachse steht (Bild 3).

Der Stützring kann auch in einem Außenring montiert werden. Die Lagerpunkte sind die gleichen wie bei der soeben beschriebenen Halterung,  $90^\circ$  um den Tragrings herum, von wo aus die Drehachse befestigt ist. Die Anbringung eines Bügels an diesem Außenring ermöglicht es dem Rotor, sich in zwei Ebenen zu drehen.

Beide Ebenen stehen senkrecht zur Drehachse des Rotors. Die Ebene, in der sich der Rotor aufgrund seiner Rotation um seine Achse dreht, wird nicht als Rotationsebene gezählt.

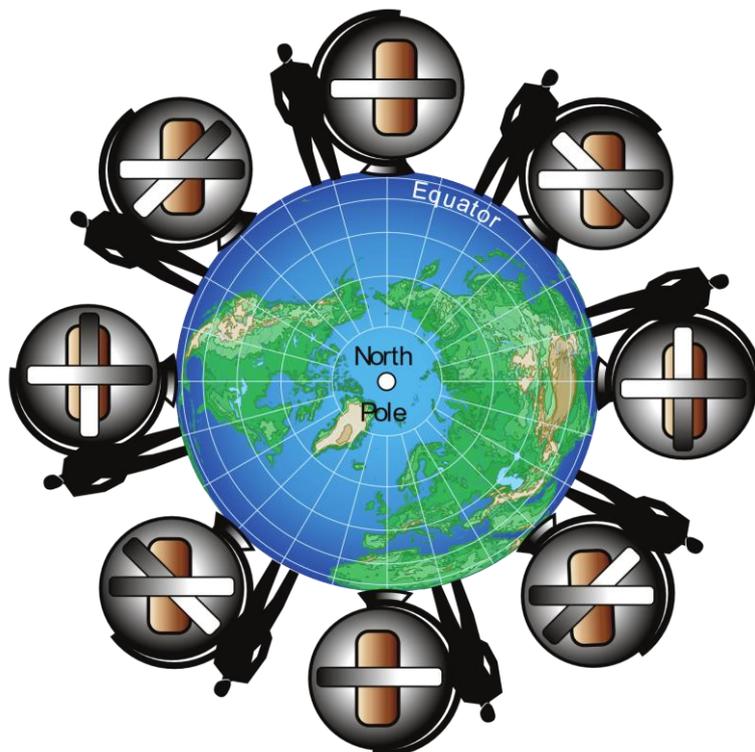
Ein Kreisel in dieser Konfiguration, wird als freier Kreisel bezeichnet, weil er sich frei um zwei Achsen drehen kann, die beide senkrecht zur Drehachse des Rotors stehen. (Bild 4)



© FAA Handbuch

Solange sich der Rotor eines Kreisels nicht dreht, hat er keine ungewöhnlichen Eigenschaften; er ist einfach ein universell montiertes Rad.

Wenn sich der Rotor mit hoher Geschwindigkeit dreht, weist der Kreisel eine Reihe einzigartiger Eigenschaften. Die erste wird als gyroskopische Steifigkeit oder Steifigkeit im Raum bezeichnet. Dies bedeutet, dass der Rotor eines freien Kreisels immer in dieselbe Richtung zeigt, unabhängig davon, wie die Basis des Kreisels positioniert ist.



© FAA Handbuch

## Künstlicher Horizont

Der künstliche Horizont dient zur Anzeige der aktuellen Fluglage im Bezug auf den Horizont.

Im Inneren des Rahmens eines elektrischen Kreisel bildet ein kleiner Elektromotor den Rotor. Er wird normalerweise durch Wechselstrom mit 400Hz angetrieben und dreht sich mit etwa 21.000 Umdrehungen pro Minute.

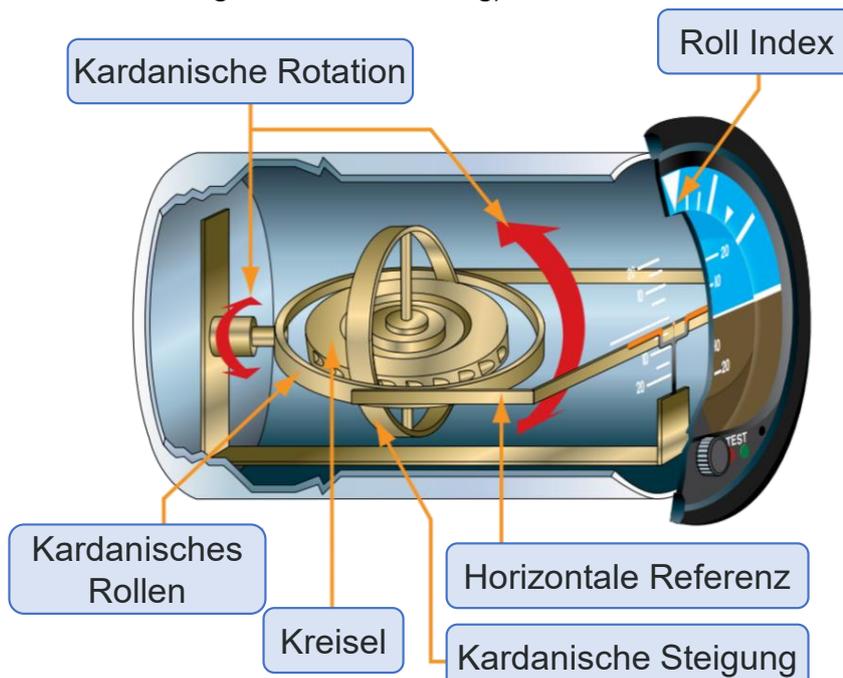
Der Rotor ist in der horizontalen Ebene ausgerichtet. Die freien Kreiselringe ermöglichen es dem Flugzeug um den Kreiselrotor zu drehen, der starr im Raum bleibt.

Trotz der kardanischen Aufhängung erfährt der Kreisel des künstlichen Horizonts (kleine) Störungen durch Reibung in der Lagerung der Kardanachsen, Unwucht, Vibrationen usw. Darauf reagiert er mit (kleinen) Präzessionsbewegungen, dem sog. "Wandern" (setzt sich zusammen aus "Drift" und "Kippen").

Neben diesem "wirklichen Wandern" tritt durch die Erddrehung "scheinbares Wandern" auf. Das bedeutet, der Kreisel hält seine Lage gegenüber dem Inertialsystem; da sich die Erde dreht, kommt es aber zu einer Relativbewegung zwischen ihr und dem Kreisel.

Um dies zu kompensieren, wird der Kreisel "gestützt". Das bedeutet, durch ein am Rahmen angebrachtes Pendel wird das wirkliche Wandern so beeinflusst, dass es sich mit dem scheinbaren Wandern weitgehend aufhebt. Die erzielbare Genauigkeit ( $\pm 5^\circ$ ) ist für die Praxis ausreichend.

In Segelflugzeugen werden Kreiselhorizonte nur sehr selten eingesetzt (evtl. als Ergänzung des Wendezeigers bei Wolkenflug).



© FAA Handbuch

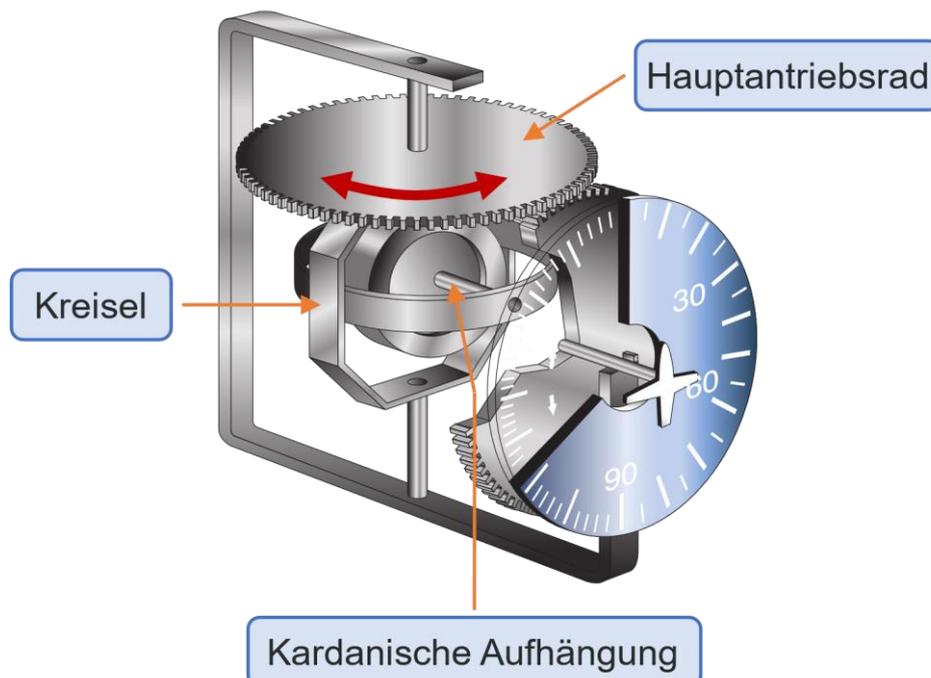
### Flugrichtungsanzeiger

Der Kurskreisel liefert eine Kursanzeige, also die Lage des Flugzeugs um eine zur Erdhorizontalebene lotrechte Achse.

Im schiefbefreien Geradeausflug wie auch im schiefbefreien Kurvenflug steht die Kugel daher immer zwischen den Markierungsstrichen in der Mitte des Glasröhrchens.

Im Gegensatz zum Magnetkompass wird seine Anzeige durch Beschleunigungs- und Kurvenfehler nicht gestört. Bei Inbetriebnahme muss der Kreisel azimutal (nach Norden) und horizontal ausgerichtet werden.

Das Wandern des Kreisels wird horizontal automatisch ausgeglichen (ähnlich wie beim Kreiselhorizont), azimutal muss manuell korrigiert werden (nach dem Magnetkompass, etwa viertelstündlich). Während des azimutalen Einstell-/Nachstellvorgangs muss der innere Kardanrahmen blockiert werden, um eine Präzession der Spin Achse aus der Horizontalebene zu vermeiden.



© FAA Handbuch

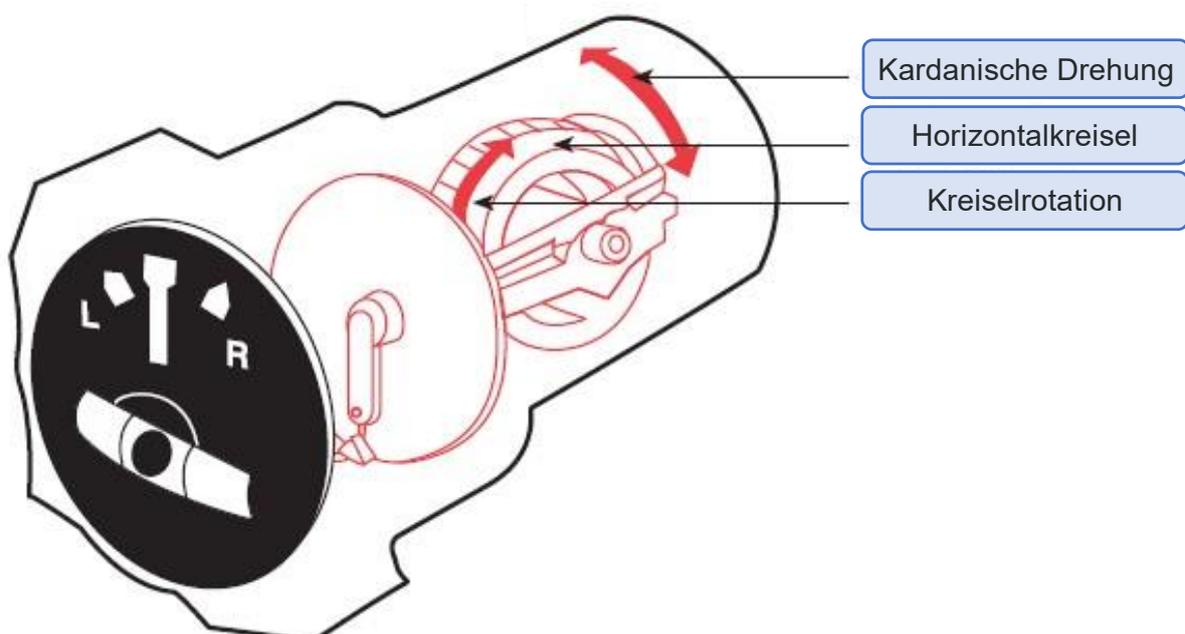
## Wendezeiger

Der Wendezeiger ist ein Kreiselinstrument, das nach dem Prinzip der Präzession arbeitet. Der Kreisel ist in einem Kardanrahmen montiert. Die Rotationsachse des Kreisels liegt in einer Linie mit der Querachse (Pitch) des Flugzeugs, während der Kardanring eine begrenzte Freiheit um die Längsachse (Roll) des Flugzeugs hat.

Wenn das Flugzeug giert, wird aufgrund des Gierens des Flugzeugs eine Drehmomentkraft auf den Kreisel um die vertikale Achse ausgeübt, die eine Präzession des Kreisels um die Rollachse bewirkt. Der Kreisel dreht sich um eine Achse, die um 90 Grad zur Richtung des aufgebrachtten Giermoments versetzt ist. Der Kreisel und der Kardan drehen sich (um die Rollachse) mit begrenzter Freiheit gegen eine kalibrierte Feder.

Die Drehmomentkraft gegen die Feder erreicht ein Gleichgewicht, und der Winkel, in dem sich der Kardan und der Kreisel positionieren, ist direkt mit der Anzeigenadel verbunden und zeigt so die Drehgeschwindigkeit an. Im Drehkoordinator ist der Kreisel um 30 Grad aus der Horizontalen geneigt, sodass er sowohl auf Rollen als auch auf Gieren reagiert.

Die Anzeige enthält Markierungen, an denen sich der Pilot während einer Kurve orientieren kann. Wenn die Nadel mit einer Markierung übereinstimmt, führt das Flugzeug eine "Standardkurve" durch, die mit drei Grad pro Sekunde definiert ist und in einigen Ländern als "Rate One" bezeichnet wird. Dies entspricht zwei Minuten pro 360 Grad Drehung (ein vollständiger Kreis). Die Anzeiger sind nach ihrer Empfindlichkeit gekennzeichnet, wobei "2 min turn" für die Anzeiger steht, deren Markierungen einer Standardrate oder einer zweiminütigen Wende entsprechen, und "4 min turn" für die Anzeiger, die in schnelleren Flugzeugen verwendet werden und eine halbe Standardrate oder eine vierminütige Wende anzeigen.

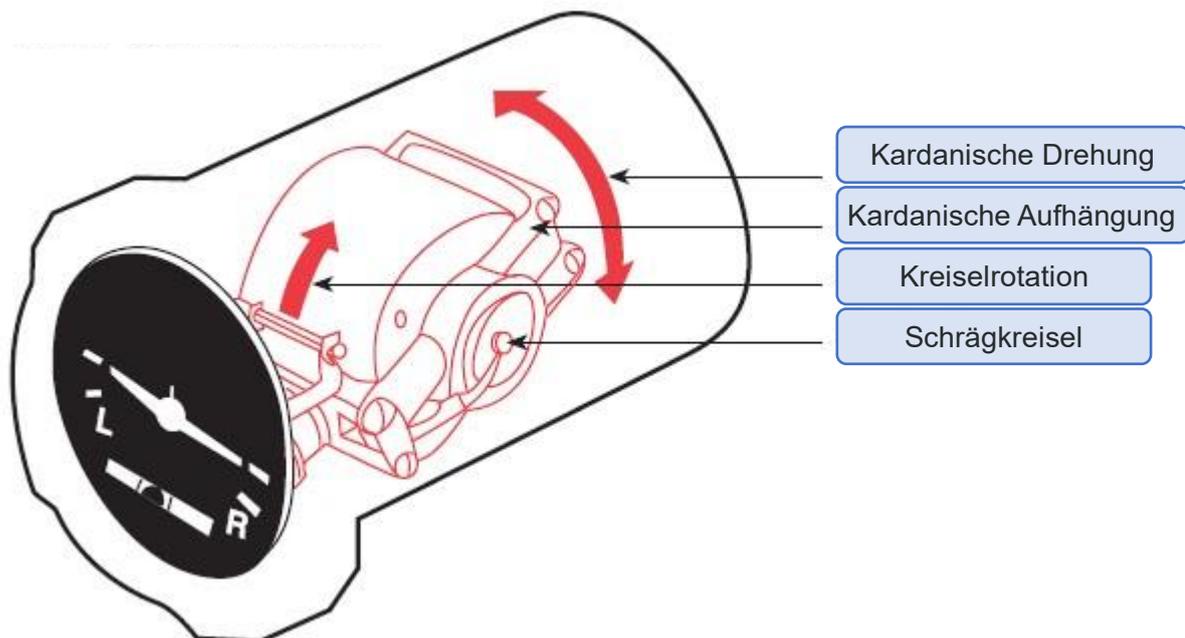


### Scheinlotanzeiger

Der Wendekoordinator ist eine Weiterentwicklung des Wendezeigers, wobei der Hauptunterschied in der Anzeige und der Achse besteht, auf der der Kardan angebracht ist. Die Anzeige ist die eines Miniaturflugzeugs, das von hinten gesehen wird. Sie sieht ähnlich aus wie die eines Fluglagenanzeigers.

Im Gegensatz zum Wendezeiger ist der Kardanring des Wendekoordinator um 30 Grad gegenüber der Querachse geneigt. Dadurch reagiert das Instrument sowohl auf Roll- als auch auf Gierbewegungen und kann eine Veränderung schneller anzeigen, da es auf die Veränderung des Rollens reagiert, bevor das Flugzeug überhaupt zu gieren begonnen hat. Obwohl dieses Instrument auf Änderungen des Rollens des Flugzeugs reagiert, zeigt es nicht die Roll Lage an.

Der Wendekoordinator kann als Leistungsinstrument verwendet werden, wenn der Fluglageanzeiger ausgefallen ist.



### Neigungsmesser

Für die Anzeige des koordinierten Fluges wird ein Neigungsmesser verwendet. Ein Neigungsmesser enthält eine Kugel, die in einem gebogenen Glasrohr eingeschlossen ist, das außerdem eine Flüssigkeit enthält, die als Dämpfungsmedium dient. Die ursprüngliche Form des Neigungsmessers ist im Grunde eine Wasserwaage, bei der das Rohr in die entgegengesetzte Richtung gebogen ist und die Kugel durch eine Blase ersetzt wird. In einigen frühen Flugzeugen bestand der Neigungsmesser lediglich aus einem Pendel mit einem Dämpfer. Die Kugel zeigt an, ob das Flugzeug schiebt, schmiert oder sich im koordinierten Flug befindet. Die Bewegung der Kugel wird durch die Schwerkraft und die Zentripetalbeschleunigung des Flugzeugs verursacht. Befindet sich die Kugel in der Mitte des Rohrs, so befindet sich das Flugzeug im koordinierten Flug. Befindet sich die Kugel auf der Innenseite (mit dem Flügel nach unten) einer Kurve, ist das Flugzeug im Gleiten. Befindet sich die Kugel auf der Außenseite (Flügel oben) der Kurve, kommt das Flugzeug ins Schleudern.



Koordinierter Kurvenflug



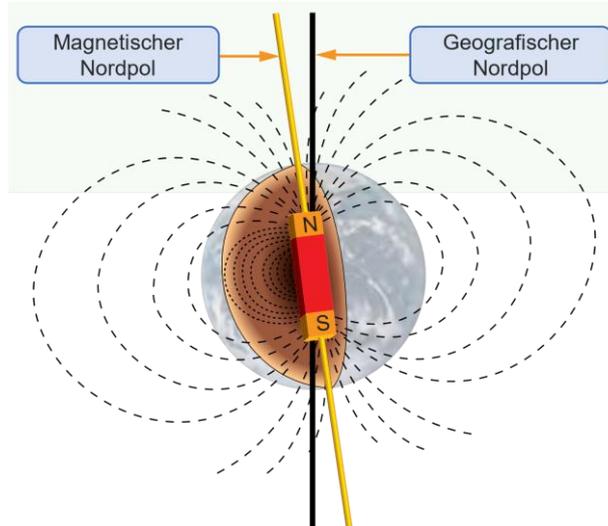
Schiebekurve



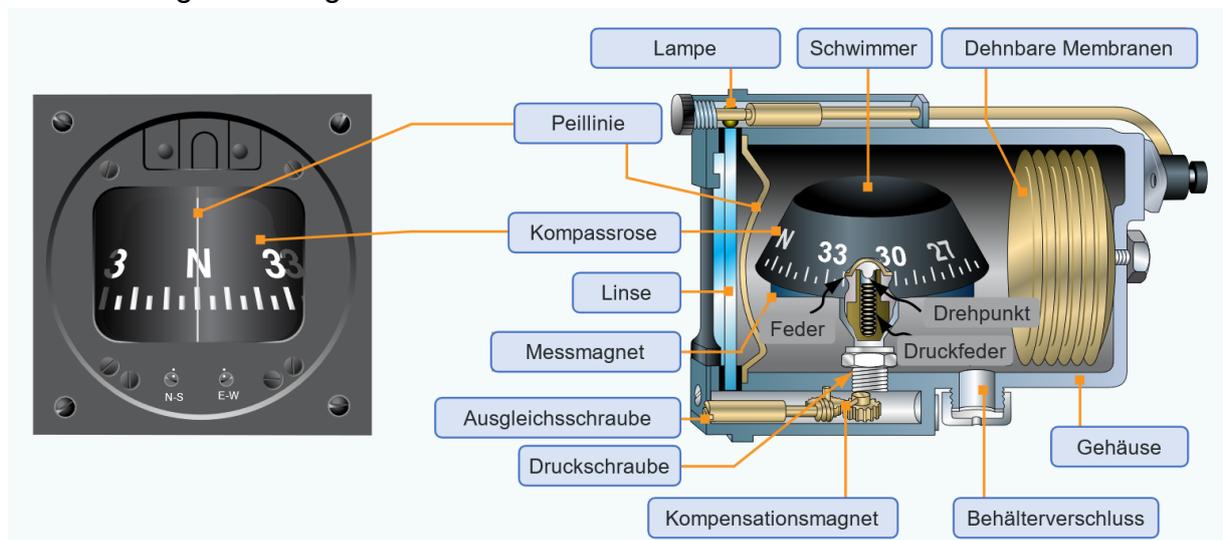
Schmierkurve

## Kompass, direkt anzeigender Kompass

Der Kompass ist ein Instrument, das die Richtung anzeigt, in das sich das Luftfahrzeug bewegt. Der magnetische Kompass nutzt das Erdmagnetfeld zur Richtungsbestimmung. Der magnetische Nordpol liegt sehr nahe dem geografischen Nordpol aber nicht genau darauf. Ein gewöhnlicher Dauermagnet, der sich frei bewegen kann, richtet sich immer nach der Richtung des Erdmagnetfelds aus.



Genau nach diesem Prinzip funktioniert auch der magnetische Kompass. Kleine permanente Magneten sind unter einem Schwimmer angebracht, der auf einem Drehpunkt montiert ist und sich so frei in der horizontalen Ebene drehen kann. Eine numerische Kompassrose ist um den Schwimmkörper angebracht und dient als Zifferblatt des Instruments. Die gesamte Baugruppe ist in einem dichten Gehäuse untergebracht. Innen befindet sich eine Flüssigkeit die Vibrationen und Schwingungen der beweglichen Schwimmeinheit dämpft. Auf der Vorderseite befindet sich eine vertikale Peillinie mit der der aktuelle Kurs abgelesen werden kann. Da die Flüssigkeit im Inneren sich mit Höhen- und Temperaturschwankungen ausdehnt oder zusammenzieht, ist eine dehnbare Membran verbaut diese Schwankungen auszugleichen.



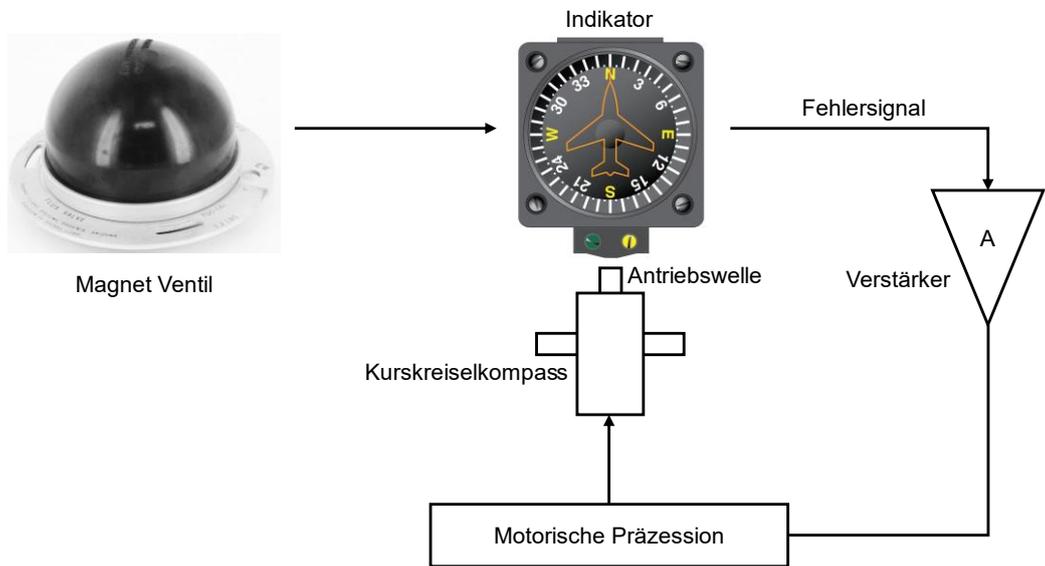
© FAA Handbuch

Bei der Verwendung des Magnetkompasses gibt es aber auch Probleme in Bezug auf die Genauigkeit. Die Magnete im inneren, richten sich nicht nur nach dem Erdmagnetfeld aus, sondern werden auch von anderen magnetischen Quellen beeinflusst. Diese sind zum Beispiel elektromagnetische Einflüsse von Boardanlagen, die elektrische Versorgung, oder metallische Strukturen in der Nähe des Kompasses. Um diese Einflüsse zu eliminieren, gibt es Ausgleichsschrauben, die kleine Dauermagnete im Kompassgehäuse bewegen und somit die magnetische Abweichung ausgleichen. Die zwei Stellschrauben sind mit N-S und E-W beschriftet. Sie positionieren die kleinen Magnete, um die lokalen Einflüsse auf den Hauptmagneten auszugleichen.



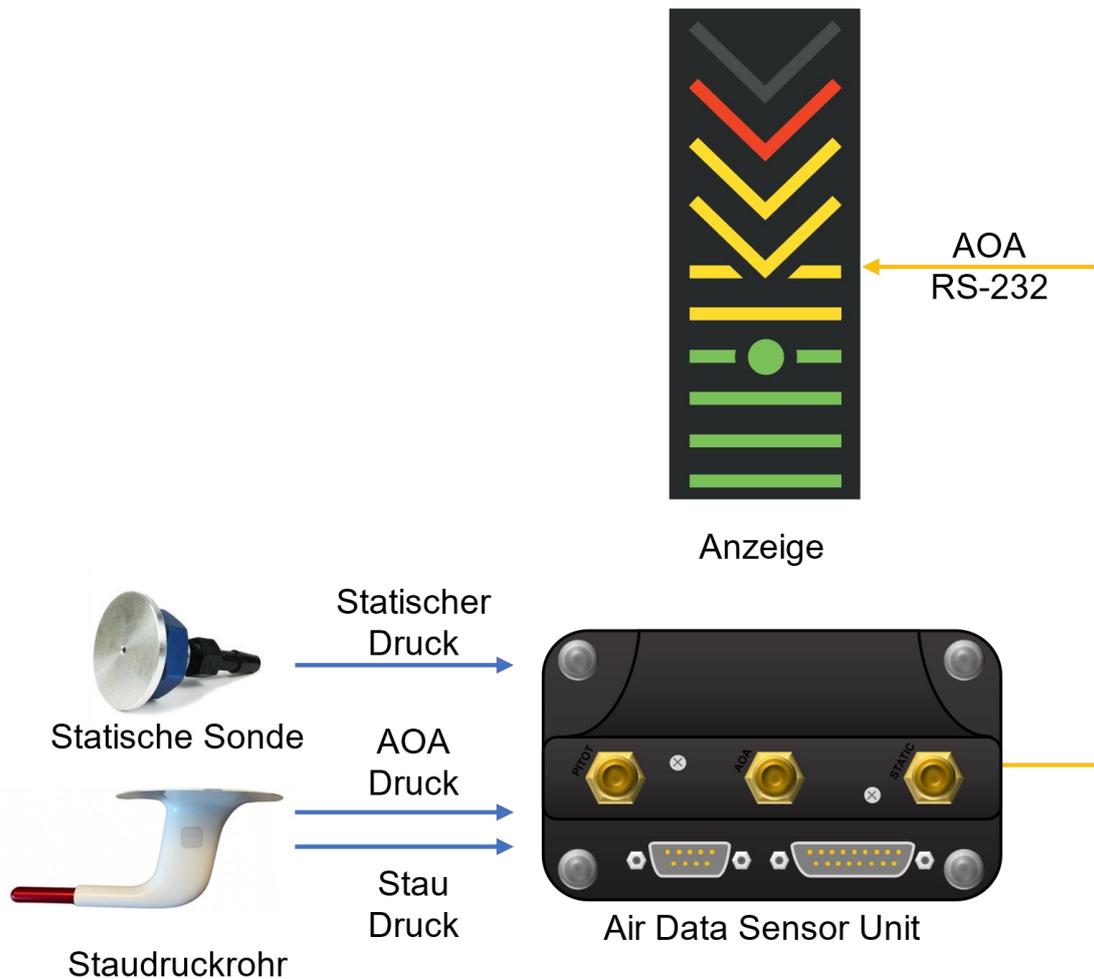
Fernkompass

Um die magnetischen Einflüsse so gering wie möglich zu halten, ist es besser, den Magnetkompass in der Flügelspitze oder im Seitenleitwerk unterzubringen. Durch die Verwendung eines Synchro Fernanzeigesystems kann der Magnetkompassschwimmer als Rotor des Synchro-Systems fungieren. Während sich der Schwimmer dreht, um sich dem magnetischen Feld auszurichten, wird im Sender ein variabler elektrischer Strom erzeugt. Dadurch ändert sich das Magnetfeld in den Spulen der Anzeige, wodurch sich diese dreht und relativ abweichungsfrei den Kurs darstellt.



## Anstellwinkel-Anzeige und Überziehwarnanlage System

Eine Möglichkeit den Anstellwinkel im Cockpit darzustellen ist über den Luftdruck der an eine Air Data Sensor Unit (ADSU) geliefert wird deren Berechnungen auf einer Anzeige dargestellt werden. Die ADSU empfängt Druckinformationen vom Staudruckrohr und einer statischen Sonde. Das System zeigt den Anstellwinkel während der kritischen Flugphasen an. Wenn die ADSU mit einem Lautsprecher oder einem kompatiblen Audiosystem verbunden ist, werden akustische Warnungen ausgegeben wobei die Frequenz bei Erreichen des kritischen Anstellwinkels ansteigt.

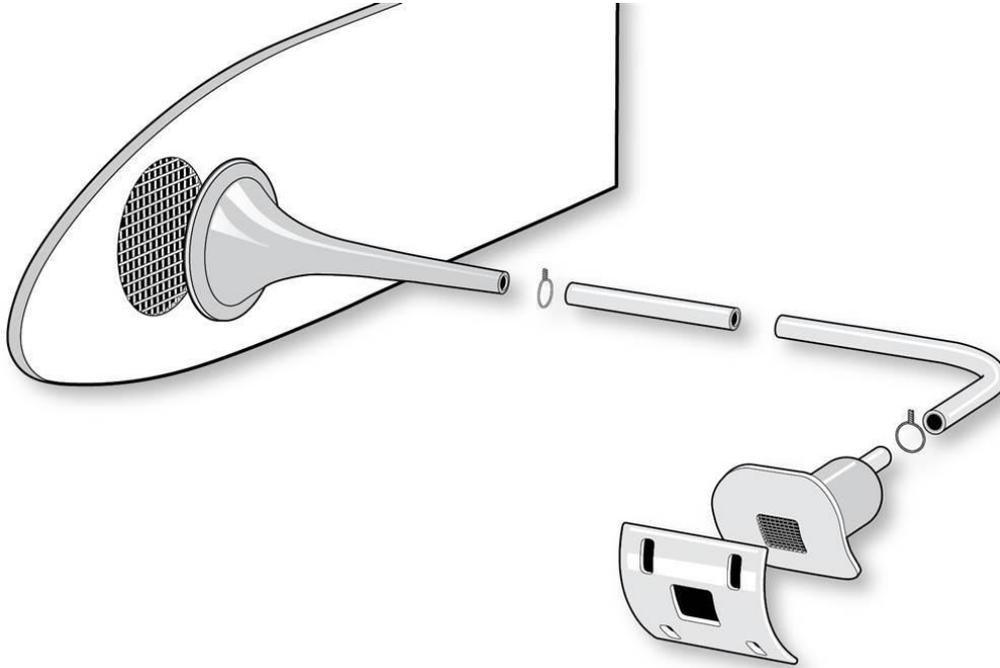


Wenn der Anstellwinkel der Tragfläche über das kritische Maß steigt, entsteht ein Strömungsabriss. Bei den meisten Flugzeugen liegt dieser Anstellwinkel zwischen 16 und 18 Grad. Um vor einem möglichen Strömungsabriss gewarnt zu werden, gibt es Systeme, die diesen Zustand erkennen und eine optische, akustische und oder haptische Warnung ausgeben. Die Warnanlage reagiert bei Erreichen der 1,1-fachen Überziehgeschwindigkeit, bevor es zu einem kritischen Flugverhalten kommt.

Bei kleinen Maschinen kommt ein Resonanzrohr oder ein Horn im Cockpit zur Anwendung, das mit einem Bohrloch an der Flügelvorderkante verbunden ist. Wenn der Anstellwinkel den kritischen Punkt erreicht, streicht der Luftstrom über das Loch und es entsteht ein Unterdruck. Dadurch strömt Luft aus dem Loch und löst somit die

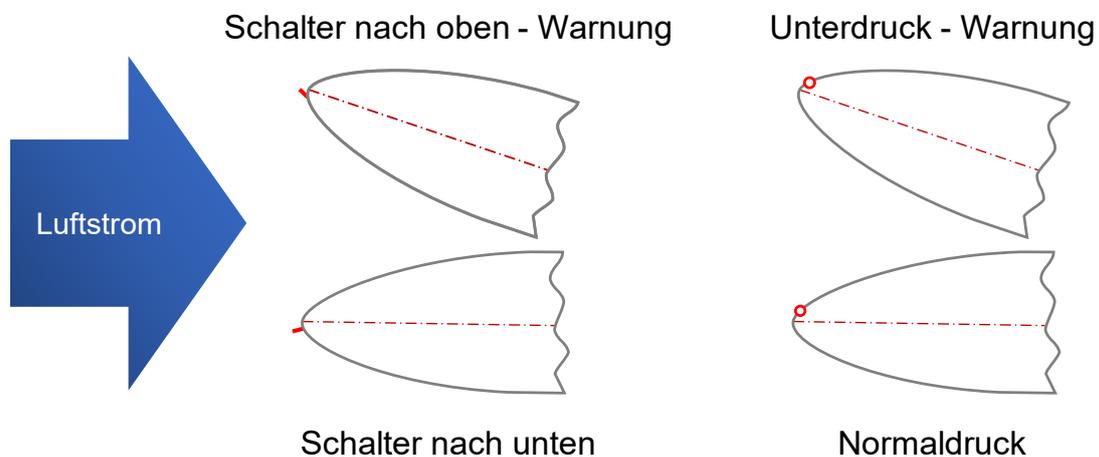
Hupe aus. Da diese Art der Installation rein pneumatisch funktioniert, bedarf es keiner elektrischen Stromversorgung.

Um dieses System am Boden zu testen, muss ein Unterdruck vor dem Loch erzeugt werden.



Eine weitere Möglichkeit ist die Erkennung des kritischen Anstellwinkels durch eine Metallzunge an der Flügelvorderkante. Im Normalflug wird dieser Schalter nach unten gedrückt. Bei Gefahr des Überziehens drückt der Luftstrom die Metallzunge nach oben wodurch ein elektrischer Kontakt geschlossen wird und im Cockpit eine Warnung ausgegeben wird. Bei Flugzeugen mit elektronischen Bildschirmen wird meist eine Warnmeldung gemeinsam mit einem akustischem Signal oder einer synthetischen Stimme ausgegeben.

Am Boden kann dieses System einfach getestet werden, indem man die Metallzunge nach oben drückt.



## Glas und Analog Cockpit

Seit den Anfängen der bemannten Luftfahrt hat man erkannt, dass die Versorgung des Piloten mit Informationen über das Flugzeug und seinen Betrieb nützlich sind um einen sichereren Flug durchführen zu könnten.

Die Gebrüder Wright hatten nur sehr wenige Instrumente in ihrem Wright Flyer, aber sie hatten einen Motordrehzahlmesser, ein Anemometer (Windmesser) und eine Stoppuhr.

Von diesem einfachen Anfang an wurde eine wurde eine Vielzahl von Instrumenten entwickelt, die die Flugbesatzungen über verschiedene Parameter informieren. Heutige Instrumentensysteme geben graphisch auf Flachbildschirmen den Zustand des Luftfahrzeuges, des Triebwerks, der Komponenten, der Fluglage, Wetter, Navigation und Kommunikation graphisch aus.

Jedes Instrument oder Instrumentensystem besteht in der Regel aus zwei Teilsystemen. Ein Teil erfasst die Situation und der andere Teil zeigt sie an. Bei analogen Instrumenten sind diese beiden Funktionen oft in einem einzigen Gerät oder Instrument (Gehäuse) untergebracht. Diese werden direkt messende Geräte genannt. Bei der Fernablesung wird die erforderliche Information abgetastet oder erfasst und dann an ein separates Anzeigegerät im Cockpit gesendet. Sowohl analoge als auch digitale Instrumente machen von dieser Methode Gebrauch.



Die Sensorinformation wird über Drähte mittels elektrischer Signale in das Cockpit übertragen. Manchmal werden pneumatische Leitungen verwendet. In komplexen, modernen Flugzeugen kann dies zu einer enormen Menge an Schläuchen und Kabeln führen, die hinter der Instrumententafel enden. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um Datenbusse, die Informationen durch digitale Kodierung des Signals übertragen. Dies reduziert die Anzahl der Kabel und das Gewicht, das für die Übertragung von Daten notwendig sind.

Es gibt grundlegende Fluginstrumente, wie den Höhenmesser, der die Höhe des Flugzeugs anzeigt, den Fluggeschwindigkeitsanzeiger und den magnetischen Richtungsanzeiger, eine Form des Kompasses. Zusätzlich gibt es einen künstlichen Horizont, Kurvenkoordinator und vertikale Geschwindigkeitsanzeige.

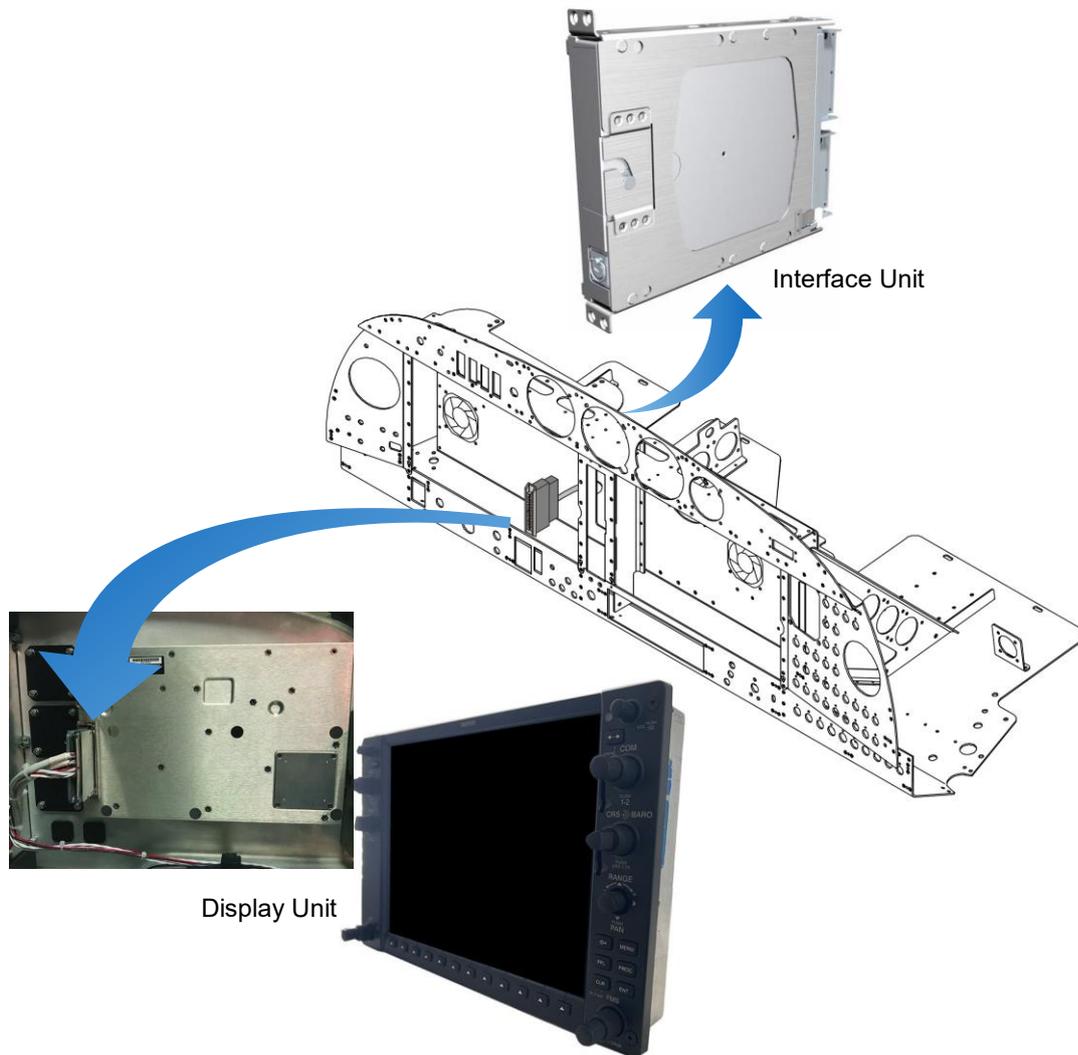
Bei diesen Instrumenten gibt es viele Variationen, wobei alle eine gleiche die selbe Anordnung im Cockpit haben. Diese grundlegende T

Anordnung beinhaltet den Fahrtmesser auf der linken Seite, den künstlichen Horizont in der Mitte, den Höhenmesser auf der rechten Seite und den Kompass darunter. Diese Anordnung ist auch auf modernen Displays nach wie vor so.

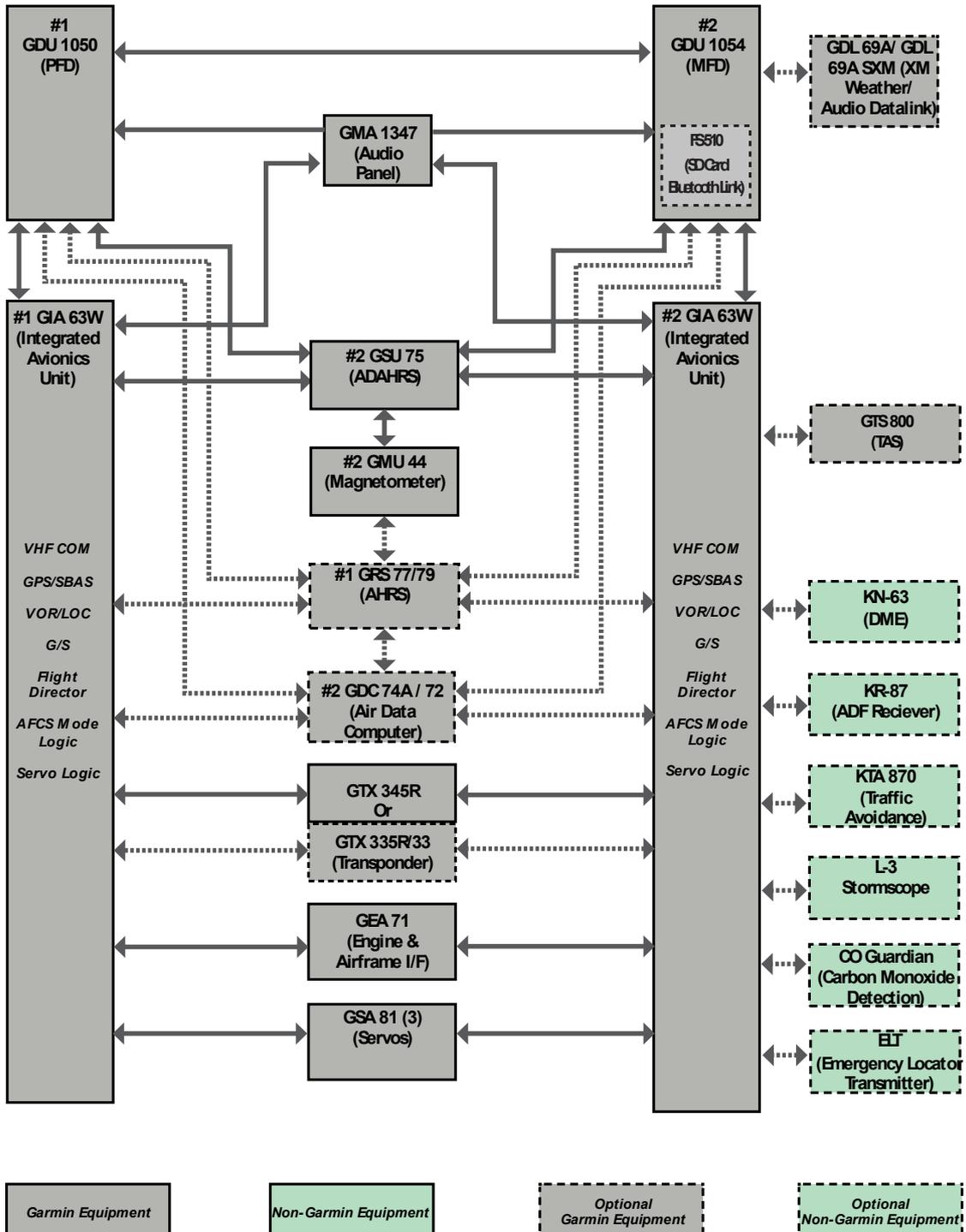
Klassische Anzeige (Basic T)



Moderne Anzeige (Garmin G1000 NXi)



Das digitale System stellt dem Piloten Fluginstrumenten Daten, Position, Navigation, Kommunikation und Identifikationsinformation über große Bildschirme zur Verfügung. Die Informationen der verschiedenen System werden mittels Datenbus an die GIA Interface Units übermittelt. Die Display Units sind mit der jeweiligen GIA über Hochgeschwindigkeitsdatenbusse (HSDB) verbunden womit es möglich ist, die jeweiligen Sensorinformationen grafisch darzustellen.



## 12L.4 Allgemeine Avionikprüfgeräte

Avionik-Testgeräte können in zwei Kategorien eingeteilt werden:

- Werkstattprüfgeräte und
- Tragbare Prüfgeräte.

Umfassende Tests an einem Gerät können im eingebauten Zustand unpraktisch oder teuer sein, wenn das Flugzeug deswegen aus dem Betrieb genommen wird.

Der Austausch von der Einheit, bei der eine Fehlfunktion vermutet wird, kann schnell durchgeführt und das Gerät zur Avionik Werkstatt geschickt werden. Dort kann die Einheit geprüft und mögliche Fehler identifiziert werden.

Allerdings kann die schnelle Prüfung eines Geräts mittels tragbarem Prüfgerät Fragen zur Funktionsfähigkeit beantworten.

Ein modularer Ansatz zum Entfernen und Ersetzen von Avionik ermöglicht eine schnelle und einfache Behebung. Der Austausch eines Teils des Gerätes löst eine gemeldete Störung nicht unbedingt. Heutzutage ist die Flugzeugelektronik Teil eines integrierten Systems, dass über einen Datenbus verbunden ist. Das Problem mit einer bestimmten Avionik Einheit tritt möglicherweise nur auf, wenn sie installiert und mit der anderen Avionik des Flugzeugs integriert ist. Tragbare Testgeräte ermöglichen es dem Techniker, die Einheit zu testen, während sie eingebaut ist.

### Oszilloskop

Ein Oszilloskop misst die Veränderungen eines Parameters als Funktion der Zeit und stellt sie grafisch auf einem Bildschirm dar. Typischerweise messen sie Spannung und andere Parameter, die durch die Verarbeitung des Spannungssignals gewonnen werden.

Da Oszilloskope den Zeitbereich umfassen, sind sie nützlich für die Anzeige schneller Schwankungen wie Wechselspannungen, Impulsen, Spitzen und komplexen Wellenformen. Sie werden hauptsächlich bei der Prüfung von Geräten auf dem Prüfstand und nur selten in Flugzeugen eingesetzt.



© Alice Messtechnik

03.09.2024

Ausgabe 1/ Revision 0

Zeitbereichsreflektometer

Die Zeitbereichsreflektometrie (Time Domain Reflectometry, TDR) ist ein Verfahren zur Ermittlung und Analyse von Lauflängen und Reflexionscharakteristika von elektromagnetischen Wellen und Signalen.

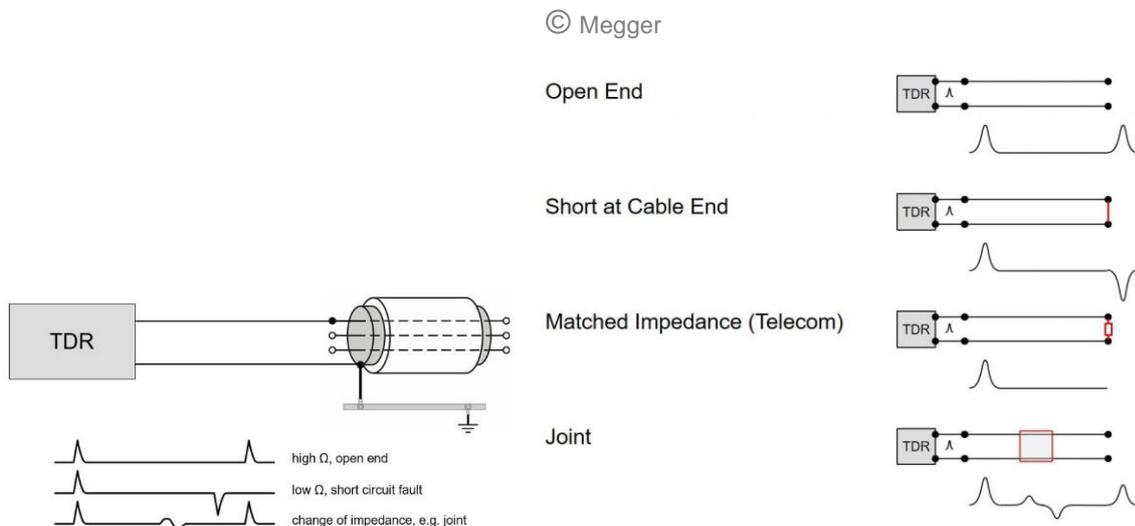
Das Gerät ähnelt im Aussehen einem Oszilloskop. Die Anzeige zeigt einen Leerlauf oder Kurzschluss sowie den Abstand entlang der Übertragungsleitung an, an dem die Unterbrechung oder der Kurzschluss auftritt.

Ein TDR kann auch anzeigen, ob ein Kabel eingeklemmt oder ausgefranst ist.

Ein Quetschungszustand erscheint auf dem Raster als Einbruch aufgrund der zusätzlichen Impedanz.



© Megger



### Air Data Test Set

Das Pitot-Statik-System muss in regelmäßigen Abständen getestet werden damit sicher gestellt werden kann, dass die Instrumentierung, die Luftdrücke verwenden, genaue Anzeigen liefern. Zu den typischen Instrumenten der Pitot-Statik-Testausrüstung gehören ein Höhenmesser, ein vertikaler Geschwindigkeitsanzeiger und Fluggeschwindigkeitsanzeiger.

Um das Pitot-Statik-System testen zu können, muss das Testgerät mit den Pitot und Statik Anschlüssen des Luftfahrzeugs verbunden werden. Über den Druck, der im Testgerät aufgebaut wird, werden die Systeme getestet.

Der Techniker muss sicherstellen, dass die Grenzen der Ausrüstung und des Flugzeugs bei der Verwendung dieses Geräts nicht überschritten werden, da sonst eine Beschädigung an den Instrumenten entstehen kann.

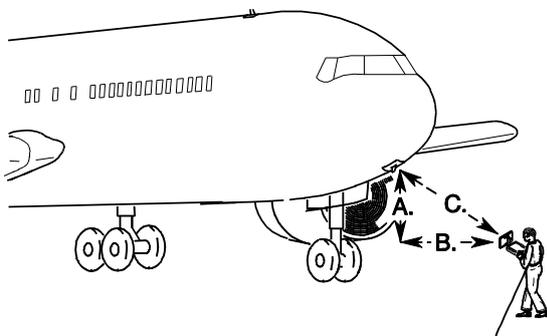


© JMCC

Transponder/ DME/ TCAS Test Set

Mit Hilfe eines IFR 6000 Test Set, welches ein Präzisionssimulator ist, kann die Funktionalität eines Transponders (XPDR) Modi A/C/S, Entfernungsmesssystems (DME), TCAS I und II, mit ADS-B ausgestattete Transponder und 1090-MHz-Sendern sowie Universal Access Transceiver (UAT) getestet werden.

Das Test Set enthält eingebaute Signalgeneratoren und Modulatoren für XPDR und ausgewählte DME-Frequenzen. Für den mobilen Betrieb wird der Frequenz Ausgang des Test Set über ein Koaxialkabel mit einer leichten Richtantenne verbunden.



SETUP-XPDR		BAT 2.5 Hr	
ANTENNA: <b>BOTTOM</b> RF PORT:ANTENNA			
	ANT RANGE	ANT HEIGHT	
TOP:	50.0 ft	10.0 ft	
BOTTOM:	50.0 ft	0.0 ft	
ANT CABLE LEN:	6 ft	ANT GAIN (dBi)	
ANT CABLE LOSS:	1.8 dB	0.96 GHz: 7.5	
COUPLER LOSS:	0.8 dB	1.03 GHz: 7.1	
UUT ADDRESS:	AUTO	1.09 GHz: 6.1	
MANUAL AA:	123456	PWR LIM: FAR 43	
DIV TEST:	ON	RAD47:OFF	
DECODER TEST:	ON	CHECK CAP: YES	
ADSB SETUP	PREV PARAM	NEXT PARAM	DIAG
			TEST DATA

© VIAVI Solutions IFR 6000 Operations Manual