

# ANA

**Atomuhrgesteuerte  
Navigations- und  
Ortungsanlage für  
Flugmessungen über See**



Patente im In- und Ausland



# ANA

## Atomuhrgesteuerte Navigations- und Ortungsanlage für Flugmessungen über See

### Technische Daten

Die komplette Navigations- und Ortungsanlage besteht aus zwei Bodenstationen und je Meßflugzeug einer Bordanlage. Die beiden Bodenstationen sind konstruktiv gleich, sie unterscheiden sich nur durch die Frequenz der abgestrahlten Energie.

### Bodenstationen

#### Sender

geom. Abmessungen	Zylinder 30 cm Durchmesser 70 cm Höhe
Sendart	A 0 (Träger unmoduliert)
abgestrahlte HF-Leistung	70 W
Arbeitsfrequenz	wählbar im 1,8 MHz-Navigationsband
Frequenzstabilität	$1 \times 10^{-11}$
Frequenzbandbreite	$\pm 0$ kHz
Frequenzhub	$\pm 0$ kHz
Stromversorgung	24 V bis 28 V Gleichspannung 140 W

#### Antenne

Rundstrahler (verkürzte  $\lambda/4$  Vertikalantenne) für vertikale Polarisation, ca. 15 m hoch, zusammengesteckt aus Aluminiumrohren, in ca. 8 m und ca. 12 m Höhe über je 4 Seile abgespannt.

An den Antennenfuß ist der Sender angeflanscht. Der Antennenfuß enthält eine Blitzschutzfunkenstrecke. Um den Antennenfuß sind je acht 20 m und 40 m lange Erdungskabel sternförmig angeordnet.

#### Frequenznormal

Rubidium Frequency Standard R 20 Hersteller VARIAN Associated oder andere Normale entsprechender Genauigkeit	
Frequenzstabilität	$1 \times 10^{-11}$ / Sekundenintervall
Abmessungen	120 x 190 x 600 mm
Gesamtgewicht der zur Bodenstation gehörenden Geräte (einschl. Ersatzrüstung)	400 kg

Die Bodenstation ist arbeitsfähig bei Lufttemperaturen zwischen  $-10^{\circ}\text{C}$  und  $+50^{\circ}\text{C}$  und bis zu 95% Luftfeuchtigkeit (Frequenznormal  $0^{\circ}\text{C}$  bis  $+50^{\circ}\text{C}$ .)

### Bordanlage

Die gesamte Bordanlage ist für eine Stromversorgung mit 24 V bis 28 V Gleichstrom ausgelegt.

#### Navigationsempfänger

Abmessungen	480 x 135 x 430 mm
Gewicht	12 kg
Stromaufnahme	2 A
Empfindlichkeit	0,1 $\mu\text{V}$

#### Navigationsrechner

Abmessungen	235 x 207 x 516 mm
Gewicht	18 kg
Stromaufnahme	7 A

#### Bediengerät

Abmessungen	115 x 150 x 180 mm
Gewicht	2,0 kg
Stromaufnahme	/

#### Frequenznormal

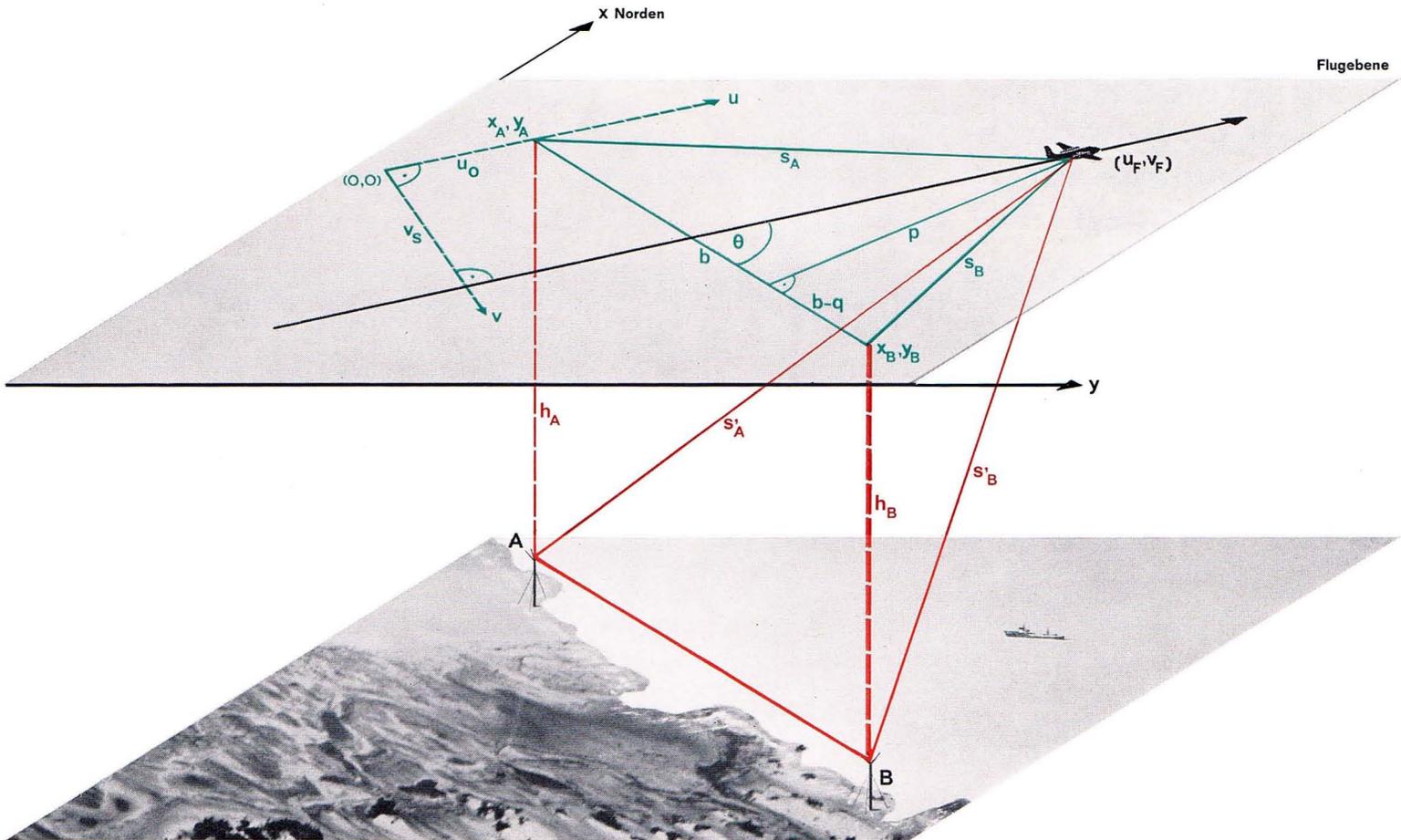
Rubidium Frequency Standard R 20 Hersteller VARIAN Associated	
Abmessungen	120 x 190 x 600 mm
Gewicht	10,5 kg
Stromaufnahme	1,2 A (2,5 A während des Anheizens)

### Reichweite und Genauigkeit

Reichweite über See	$> 400$ km
Fehler der gemessenen Schrägentfernung	$< 25$ m/Std.



Beim ANA-Navigations- und Ortungsverfahren wird der Ort des Flugzeuges durch Messung der Laufzeit der von zwei eingemessenen Sendern abgestrahlten unmodulierten elektromagnetischen Wellen durch Phasenvergleich bestimmt.



Bei Benutzung von ANA (**A**tomuhr-gesteuerte **N**avigations-**A**n-lage) wird die für die Laufzeitmessung erforderliche, sehr genaue Vergleichsfrequenz durch ein an Bord des Flugzeuges mitgeführtes Frequenznormal erzeugt. Frequenznormale der gleichen Art werden zur Steuerung der beiden Bodenstationen benutzt.

Die Mitführung eines hinreichend genauen Frequenznormals an Bord des Flugzeuges hat den Vorteil, daß zur Laufzeitmessung

eine unmodulierte elektromagnetische Welle benutzt werden kann,

und

auf eine Rücksendung der Referenzphase und damit auf die Mitführung eines Bordsenders und die Verwendung unbequemer Richtantennen verzichtet werden kann.

Die vollständige Navigations- und Ortungsanlage ANA besteht aus:

**zwei Sendern** mit je 70 W Leistung, die für den Einsatz an den eingemessenen Bodenstationen zu installieren sind. Geringes Gewicht und kleine Abmessungen der Sender ermöglichen es, sie einschließlich des erforderlichen Ersatzmaterials und des für die Stromversorgung notwendigen Generators auch in schwer zugängliches Gelände, beispielsweise mit einem Kleinflugzeug, zu transportieren;

und

**einer Bordanlage** für jedes im Meßgebiet operierende Flug-

zeug. Diese ist so ausgelegt, daß sie auch in kleineren Flugzeugen installiert und betrieben werden kann.

Die Bordanlage enthält u. a.:

ein Bedien- und Anzeigegerät mit analoger und digitaler Kursanzeige für den Piloten sowie digitaler Anzeige des auf einem Profil zurückgelegten Weges

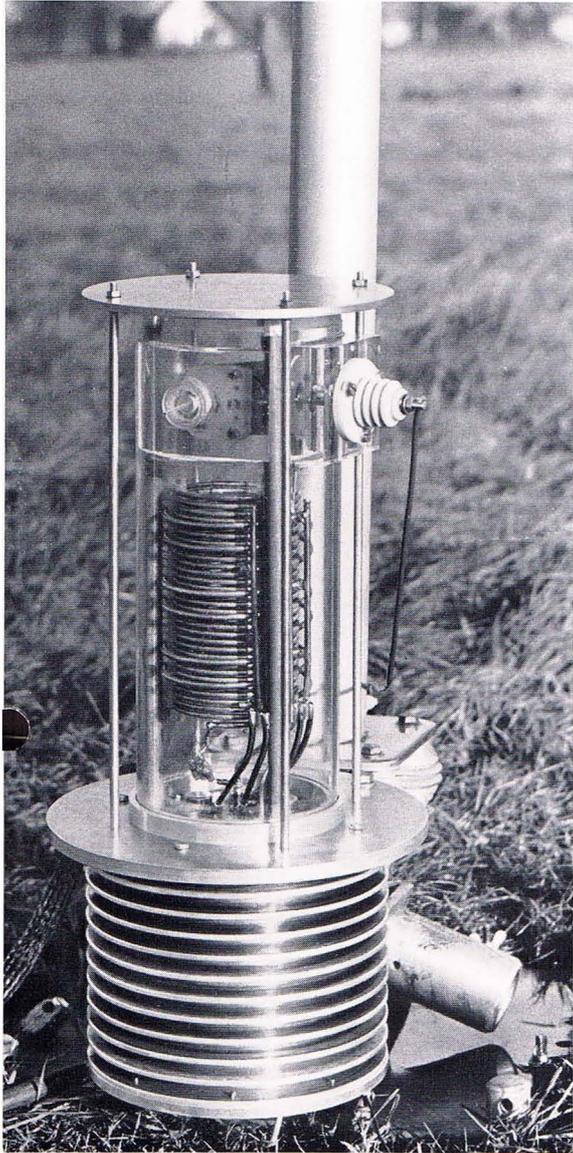
und

die Möglichkeit, die während des Fluges gemessenen Entfernungen zwischen Flugzeug und Sendern für eine spätere Auswertung der Meßergebnisse auf einem digitalen Datenträger zu registrieren.

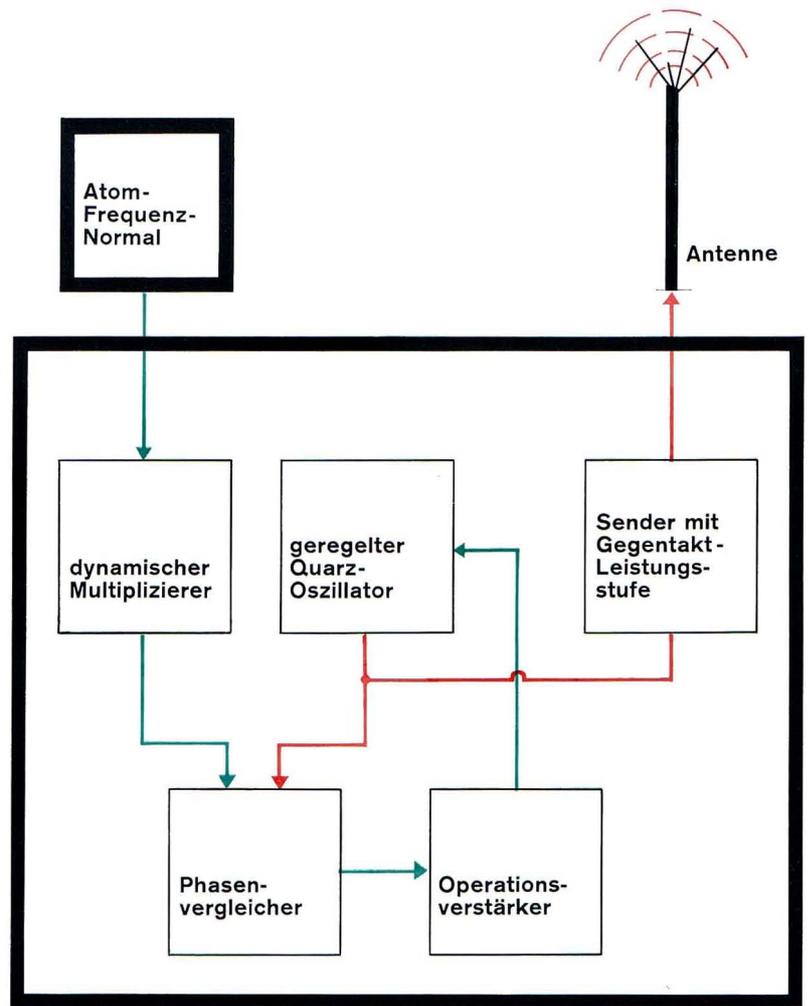
## Navigation und Ortung durch Trilateration

Bei Benutzung von ANA für die Navigation oder Ortung eines Flugzeuges werden die Entfernungen  $s'_A$  und  $s'_B$  zwischen den beiden Bodenstationen A und B sowie dem Flugzeug durch Bestimmung der Laufzeiten elektromagnetischer Wellen gemessen. Das für die Laufzeitmessung benötigte Frequenznormal wird an Bord des Flugzeuges mitgeführt. Das Ergebnis der Laufzeitmessung wird digital dem zur Bordanlage gehörenden binären Navigationsrechner zugeführt.

Neben den elektromagnetisch gemessenen Entfernungen müssen für die Navigation bekannt sein:



**Navigationssender  
volltransistorisiert 1,8 MHz 70 W**



- die Basislänge  $b$ ;
- die Abstände der Sender von der Flugebene  $h_A$  und  $h_B$ ;
- der zwischen Soll-Kurs des Flugzeuges und der Verbindungslinie der Sender gebildete Flugwinkel  $\theta$ ;
- die Wellenlängen  $\lambda_A$  und  $\lambda_B$  der von den beiden Sendern abgestrahlten Energie;
- die  $u$ -Koordinate des Senders A :  $u_0$ ;
- der Abstand des zu fliegenden Profils vom Sender A :  $v_S$ .

Die jeweils ein Flugprofil charakterisierende Größe  $v_S$  wird am Bedien- und Anzeigegerät, die die Aufstellung der Sender charakterisierenden Größen und der Flugwinkel  $\theta$  werden am Navigationsrechner eingestellt.

Der Navigationsrechner ist in der Weise fest programmiert, daß aus den Schrägentfernungen  $s'_A$  und  $s'_B$  zunächst die in der Flugebene liegenden Strecken  $s_A$  und  $s_B$  errechnet werden. Diese werden zur Bestimmung der Größen  $p$  und  $q$  benutzt, aus denen durch Rotation des Koordinatensystems der Ort des Flugzeuges in dem  $u$ -,  $v$ -Koordinatensystem, dessen Achsen parallel und senkrecht zu dem gewünschten Flugweg orientiert sind, ermittelt werden. Durch Subtraktion der Größe  $v_S$  von der  $v$ -Koordinate wird erreicht, daß dem Piloten im Bedien- und Anzeigegerät  $v - v_S = \Delta v$ , die Abweichung des tatsächlichen Flugweges von dem gewünschten, angezeigt wird.

Durch die oben erwähnten Größen  $p$  und  $q$  sind, da nur der Betrag von  $p$  bestimmt wird, zwei mögliche Orte des Flug-

zeuges definiert. Um trotzdem eindeutige Werte für  $u$  und  $v$  zu erhalten, wird durch einen am Bedien- und Anzeigegerät angebrachten Schalter die Lage des Flugzeuges relativ zur Basis eingegeben.

## Bodenstationen

Es werden zwei im 1,8 MHz-Band arbeitende Sender benötigt. Die Sender strahlen unmodulierte Energie ab, wobei sich die Arbeitsfrequenzen der beiden Sender um ca. 1,5 kHz unterscheiden. Für den Betrieb der beiden Stationen wird folglich nur ein Kanal mit  $\pm 750$  Hz Bandbreite oder einer zugelassenen Frequenztoleranz von  $2,5 \cdot 10^{-4}$  benötigt.

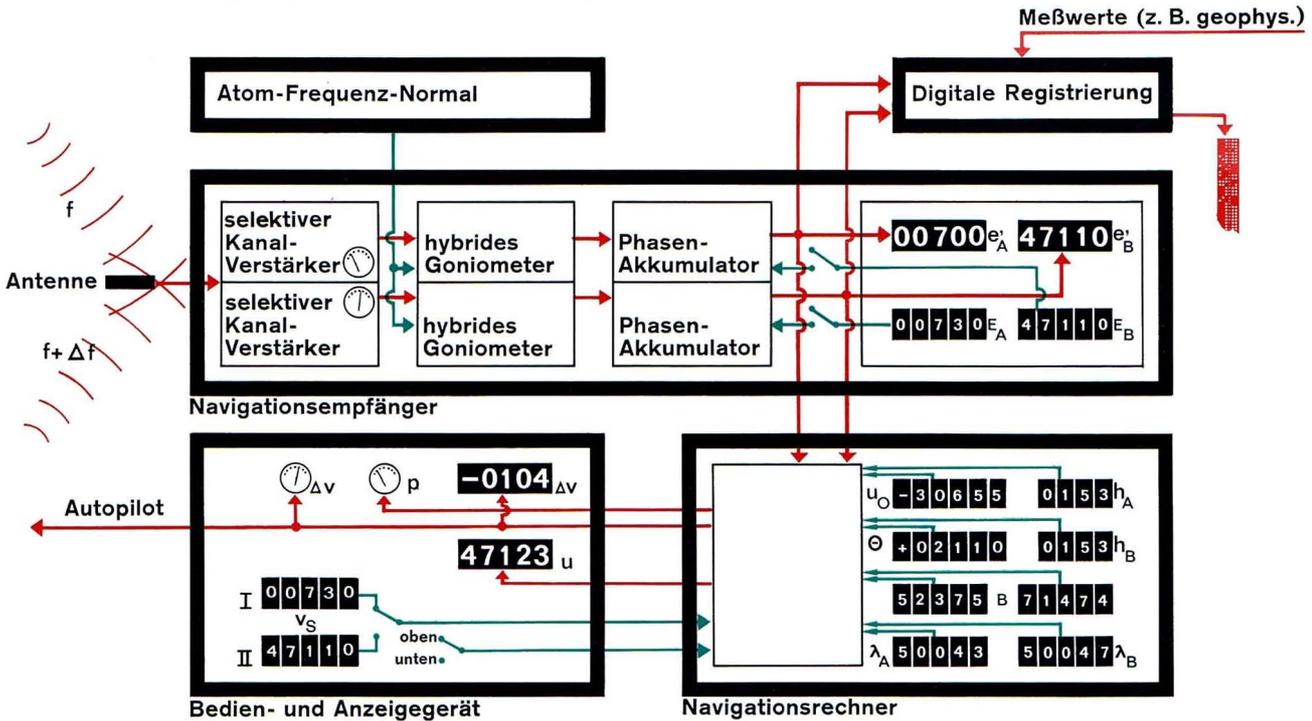
Die volltransistorisierten Sender sind in zylindrischen Behältern eingeschlossen, die zum Schutz gegen Feuchtigkeit und Staub mit einer inerten Flüssigkeit gefüllt sind. Die Behälter sind jeweils direkt am Antennenfuß angeflanscht.

Zum Betrieb des Senders sind 24 V bis 28 V Gleichspannung, die von einem Generator über eine Pufferbatterie bereitgestellt wird, und die Ausgangsspannung eines 1 MHz Frequenznormals erforderlich. Als Frequenznormal wird das Rubidium Frequency Standard R 20 von Varian benutzt. Batterien und Frequenznormal werden in einem Zelt neben dem Sender untergebracht.

Als Sendeantenne wird ein zusammenlegbarer Vertikalstrahler benutzt.



Navigationsempfänger volltransistorisiert 1,8 MHz 0,1  $\mu$ V



## Bordanlage

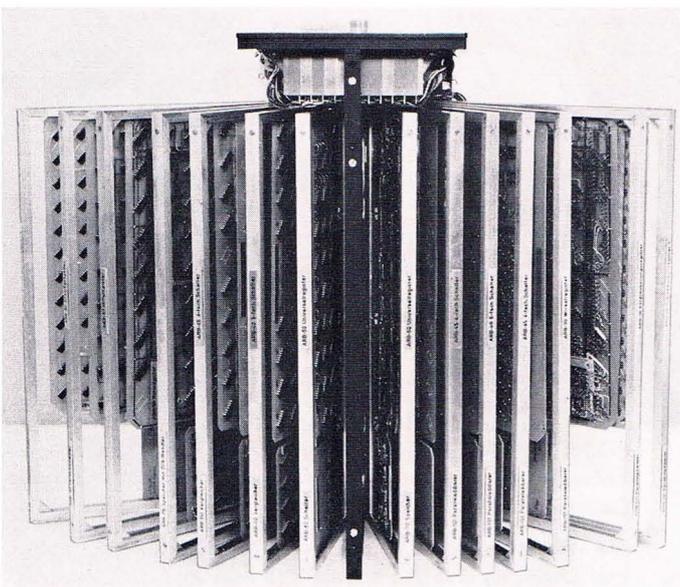
Die Bordanlage besteht aus:

dem Navigationsempfänger, der neben zwei selektiven Kanalverstärkern zwei elektronische Digital-Goniometer und zwei Phasen-Akkumulatoren enthält, dem Navigationsrechner sowie dem Bedien- und Anzeigerät.

Sie benötigt eine Stromversorgung von 24 V bis 28 V Gleichspannung bei einem maximalen Stromverbrauch von 12 A und die Ausgangsspannung eines 1 MHz Frequenznormales. Benutzt wird das gleiche Frequenznormal wie bei den Bodenstationen. Während Bedien- und Anzeigerät sowie Navigationsempfänger in Griffweite des Navigators installiert sein sollen, können Navigationsrechner und Frequenznormal im Radio-Rack des Flugzeuges untergebracht sein. Als Empfangsantenne kann eine am Flugzeug angebrachte Festantenne von 2 m bis 3 m Länge benutzt werden.

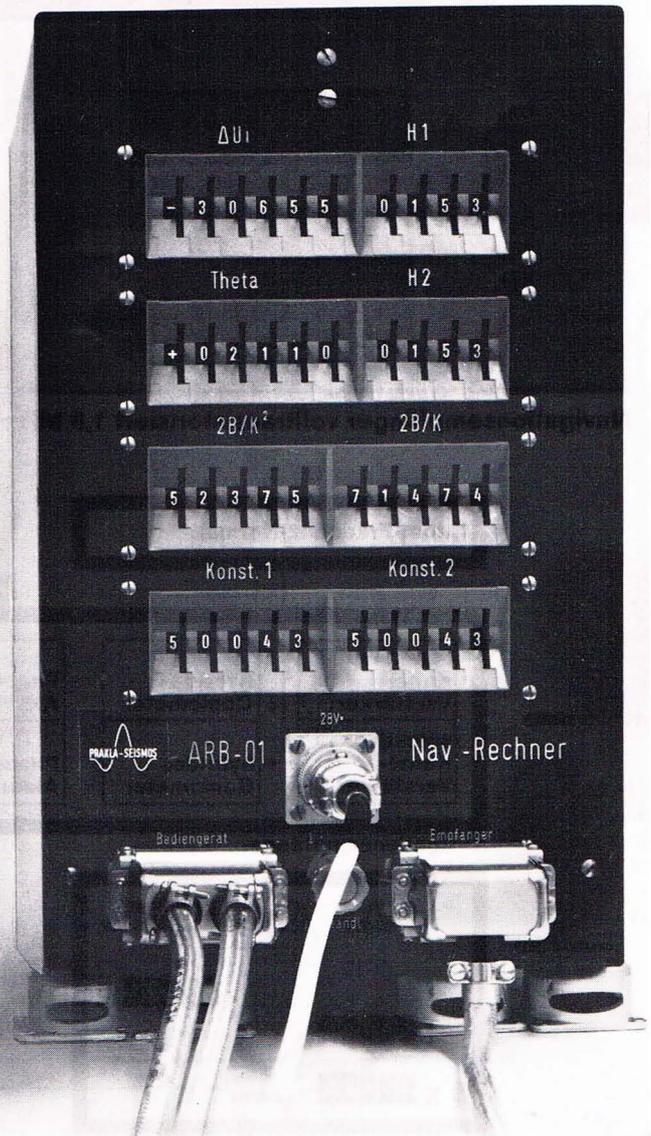
Aus der von der Bordantenne aufgenommenen Energie werden zunächst die Sendefrequenzen  $f$  und  $f + \Delta f$  der Sender A und B mit je einem Quarzbrückenfilter, dessen Durchlaßbreite 25 Hz, und dessen Dämpfung bezüglich der Frequenz der anderen Bodenstation mehr als 80 dB beträgt, herausgefiltert. Die Verwendung von Eingangs-

Navigationsrechner





**Bedien- und Anzeigegerät**



**Navigationsrechner**

filtern mit sehr schmalen Durchlaßbereichen ist möglich, weil die Empfangsenergie unmoduliert und sehr frequenzstabil ist; ihre Verwendung gewährleistet Unempfindlichkeit des Empfangssystems gegen atmosphärische Störungen.

Wesentlicher Bestandteil der Bordanlage sind die für die beiden Empfangskanäle entwickelten, hybriden Goniometer, die, wie auch die übrigen Teile der Bordanlage, vollständig aus integrierten Schaltkreisen aufgebaut sind. In ihnen werden die Phasenlagen der verstärkten Empfangsenergie mit der des Frequenznormals verglichen. Die Ergebnisse dieses Vergleiches werden als Vor-Rück-Zählimpulse den Phasen-Akkumulatoren zugeführt. Jeder Impuls entspricht dabei einer Phasenänderung von  $\pi/8$  oder  $\pi/16$  ( $\lambda/16$  oder  $\lambda/32$ ). Die beiden Phasen-Akkumulatoren enthalten je ein 16stelliges Dualzählwerk, in das beim Überfliegen eines bekannten Punktes durch Knopfdruck die an Eingabewerken einstellbaren Entfernungen E zu den beiden Sendern übertragen werden können. Da durch jeden Vor-Rück-Zählimpuls ein Weiterzählen des Akkumulators unter Berücksichtigung des Vorzeichens veranlaßt wird, enthält dieser stets die Entfernung in  $\lambda/16$  oder  $\lambda/32$  zwischen Sender und Flugzeug.

Die von den Phasen-Akkumulatoren digital bereitgestellten Schrägentfernungen werden von dem fest program-

mierten Navigationsrechner ca. sechszigmal pro Sekunde abgefragt und in die Navigationskoordinaten u und v umgerechnet, die am Bedien- und Anzeigegerät digital – die Größe v auch analog – angezeigt werden. Am Flugwegrechner sind außerdem digitale Einstellwerke für die die Senderaufstellung und den Flugwinkel beschreibenden Parameter angebracht.

## Reichweite und Genauigkeit

Die ANA Ortungs- und Navigationsanlage ist speziell für Flugmessungen über See konzipiert. Es kann also davon ausgegangen werden, daß sich die für die Messung benutzten elektromagnetischen Wellen vorwiegend über Wasser ausbreiten, und daß die Möglichkeit besteht, durch Überfliegen bekannter Orte nach einigen Stunden zu vermeiden, daß sich die Ungenauigkeiten des Frequenznormals zu nennenswerten Fehlern aufsummieren.

Unter den genannten Voraussetzungen ist die Reichweite größer als 400 km und der Fehler der gemessenen Schrägentfernung kleiner als 25 m pro Flugstunde seit Überfliegen des letzten bekannten Punktes.

Die niederwertigste Stelle der oktalen Eingabewerke und Anzeigen entspricht stets  $\lambda/16$  bzw.  $\lambda/32$ , d. h. ca. 10 m bzw. 5 m.

# Atomuhrgesteuerte Navigations- Anlage

Durch die Mitführung eines Frequenznormals an Bord des Flugzeuges kann auf die Modulation der elektromagnetischen Wellen, die Verwendung von mehr als zwei Sendern oder von Richtantennen oder die Mitführung eines Bordsenders verzichtet werden.

Die Benutzung unmodulierter Wellen höchster Frequenzstabilität ermöglicht empfangsseitig weitgehende Ausfilterung atmosphärischer Störungen; dadurch Reichweite über See bis 400 km bei nur 70 W Senderleistung.

Kleine Abmessungen und geringes Gewicht der Bodenstationen sowie deren einfache Handhabung erlauben Einsatz in jedem Gelände.

Bodenstationen und Bordanlage sind voll transistorisiert und unter Benutzung von integrierten Schaltkreisen aufgebaut, dadurch lange Lebensdauer und geringe Störanfälligkeit.

Die aus zwei Bodenstationen bestehende Meßeinheit kann von beliebig vielen Flugzeugen gleichzeitig benutzt werden.



**PRAKLA GMBH · 3 HANNOVER 1 · POSTF. 4767 · RUF: 80721 · FERNSCHR. 922847 · DRAHT: PRAKLA**  
Amsterdam · Ankara · Brisbane · Djakarta · Kuala-Belait · Madrid · Rio de Janeiro · Tripolis · Wien