

Peilrahmen mit Eisenkern.

A. Weis, Berlin

Empfangsanlagen von Flugzeugen, die deren Standort oder Flugrichtung aus der Einfallsrichtung der elektromagnetischen Welle eines Senders ermitteln sollen, besitzen als Empfangsantenne einen Peilrahmen. Ein solcher Peilrahmen bestand früher allgemein aus einer Drahtschleife mit einer oder mehreren Windungen. Diese Windungen liegen in einem Metallrohr, das als Halterung und als elektrostatischer Schutz dient.

In diesem Rahmen wird durch das elektromagnetische Feld der Welle eine Spannung induziert, deren Grösse von der Stellung der Rahmenebene zur Fortpflanzungsrichtung der Wellen abhängt. Die Änderung dieser Spannung bei Drehung des Rahmens um einen bestimmten Winkelbetrag (z.B. 1°) ist in der Umgebung des Spannungshöchstwertes sehr gering, dagegen sehr gross im Bereich des Kleinstwertes. Bei der Peilung wird daher diejenige Stellung gesucht, bei der die Spannung ein Minimum wird. In diesem Fall weist die Rahmennormale (Mittelsenkrechte der Rahmenebene) in die Richtung der elektromagnetischen Welle (Minimumpeilverfahren).

Die Änderung der Spannung beim Verdrehen des Rahmens aus der Minimumstellung ist umso grösser, je grösser die Effektivhöhe des Rahmens und die Feldstärke der Welle am Empfangsort ist. Eine rasche Änderung der Spannung in der Umgebung des Minimums ist erwünscht, da das hiermit verbundene scharfe Minimum die Genauigkeit der Peilung erhöht. Die Effektivhöhe ist proportional der Fläche und der Windungszahl des Rahmens. Diese beiden Faktoren sind aber auch massgebend für die Induktivität des Rahmens, die mit Rücksicht auf das Peilgerät einen bestimmten Wert aufweisen muss. Fläche und Win-

dungszahl können also nicht unabhängig voneinander gesteigert werden. Damit die Feldstärke in der Umgebung des Rahmens möglichst gross wird, hat man ihn auf der Aussenhaut des Flugzeuges, und zwar vorzugsweise auf der Oberseite, angebracht. Als herausragender Bauteil behindert er das Schussfeld bei Kampfflugzeugen, ferner verursacht er während des Fluges besonders bei den heutigen hohen Fluggeschwindigkeiten einen erheblichen Luftwiderstand. Bei Verwendung eines bisherigen Luftrahmens würde für schnelle Flugzeuge eine Geschwindigkeitsverminderung von etwa 50 km pro Stunde eintreten.

Es mussten nun neue Wege gesucht werden, um diese Bremsung durch den Rahmen zu vermeiden. Eine Verkleinerung der Rahmenfläche setzt den Wert der Rahmenspannung merklich herab. Eine solche Massnahme würde also eine erhebliche Verringerung der Reichweite zur Folge haben. Man hat nun versucht, durch einen besonderen Einbau des Luftrahmens, wie: Einbau des Rahmens in das Flugzeuginnere oder Verwendung von einziehbaren Rahmen, die genannten Nachteile zu vermindern. Diese Möglichkeiten haben sich nicht als besonders zweckmässig erwiesen. Wir haben daher einen anderen Weg gewählt.

Auf Vorschlag und in enger Zusammenarbeit mit der Fa. Telefunken wurde von uns im Jahre 1937 mit der Entwicklung von Peilrahmen mit ferromagnetischen Kernen begonnen, nachdem Vorversuche der Fa. Telefunken günstig ausgefallen waren.^{x)} Der Kernstoff muss, um im hochfrequenten Feld genügend verlustarm zu sein, gegen Wirbelströme weitgehendst unterteilt werden. Man nimmt daher sogenannte magnetische Pulverkerne. Die Kerne bestehen aus feinstem Eisenpulver; die einzelnen Eisenteilchen sind durch eine sehr dünne Isolierschicht elektrisch und magnetisch voneinander getrennt.

^{x)} Es sei hier auch erwähnt, dass bereits im Jahre 1935 von der Fa. Lorenz ein Schutzrecht über einen Peilrahmen mit ferromagnetischem Kern eingereicht worden ist.

Wie wirkt sich nun der Einbau eines magnetischen Kernes auf die Peilleistung des Rahmens aus? Füllt man die Rahmenfläche mit einem solchen ferromagnetischen Stoff aus, dann erhöht sich einmal die induzierte Spannung um einen Faktor μ_U , zum andern ändert sich auch die Induktivität der Rahmen um einen etwas kleineren Faktor μ_L . Da die Induktivität des Rahmens, wie schon betont, einen vorgegebenen Wert aufweisen soll, muss man die Windungszahl des Rahmens jetzt verkleinern. Die auf gleiche Induktivität bezogene Steigerung der Rahmenspannung beträgt dann:

$$S = \frac{\mu_U}{\sqrt{\mu_L}} \quad \text{für } L = \text{konstant.}$$

Der Rahmen kann also in seiner Fläche soweit verkleinert werden, dass in ihm ohne Eisen eine um den Faktor $1/S$ geringere Spannung induziert wird. Der Faktor S liegt bei den von uns entwickelten Peilrahmen ungefähr bei 3.

Wenden wir uns nun den praktischen Ausführungsformen zu. Man unterscheidet Zielflugrahmen und Drehrahmen. Der Zielflugrahmen ist ein feststehender Rahmen, dessen Fläche senkrecht zur Flugzeugachse ausgerichtet ist. Er dient nur zur Richtungsbestimmung beim Anflug auf einen bestimmten Sender. Der Pilot hat beim Zielanflug sein Flugzeug so zu steuern, dass keine Spannung am Rahmen von der elektromagnetischen Welle des Zielsenders induziert wird. Für kleine Jagdflugzeuge genügen im allgemeinen diese feststehenden Rahmen. Will man jedoch eine Standortsbestimmung vornehmen, so ist hierfür ein drehbarer Rahmen erforderlich. Verkehrsflugzeuge, Langstreckenflugzeuge, die bestimmte Ziele zu suchen haben, wie z.B. Nachtbomber, werden mit Drehrahmen ausgerüstet.

In Bild 1 sind die üblichen Luftrahmen unseren ersten Eisenrahmenbauformen gegenübergestellt.

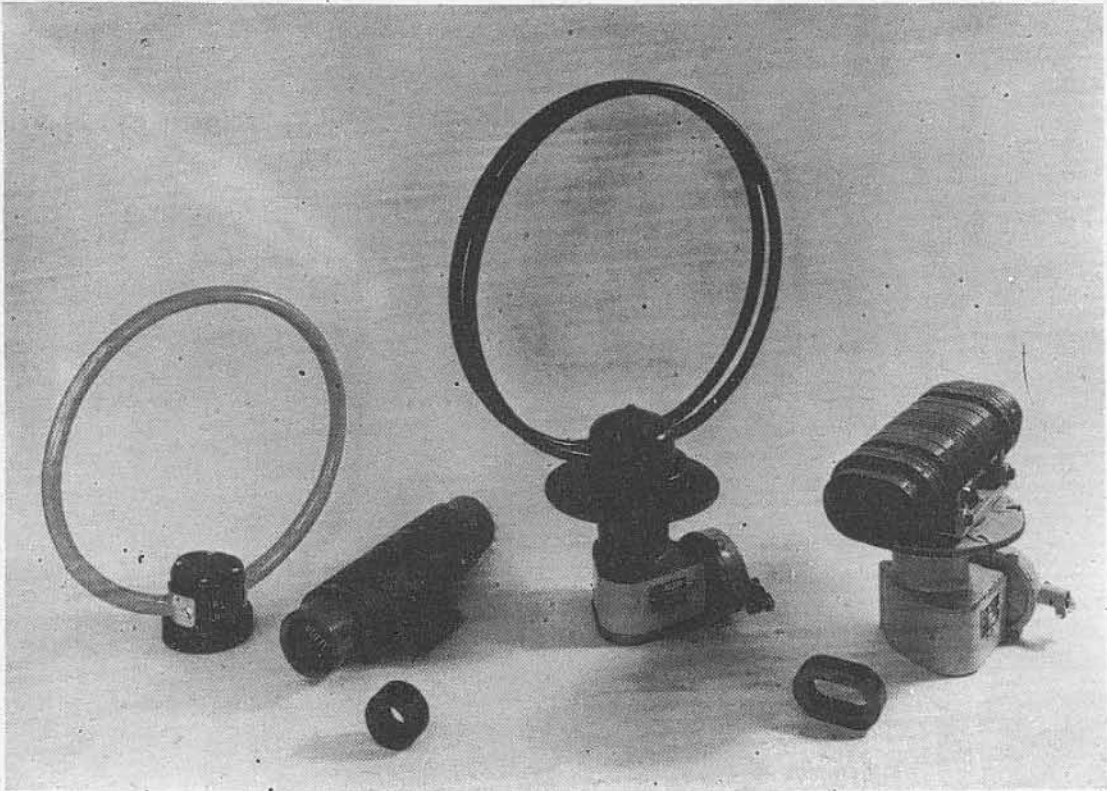


Abb. 1 Gegenüberstellung von Luft- und Eisenrahmen
(PRE III und IV)

Die Windungen beim Eisenrahmen sind auf eine Isolierstoffhülse aufgewickelt. Im Innern der Hülse befindet sich der magnetische Pulverkern. Er besteht aus einer gewissen Anzahl (12 Stück) von ringförmigen Kernlamellen (s. Bild 1). Der verwendete Kernstoff besitzt eine Anfangspermeabilität von etwa $55 \mu_0$. Einige Windungen sind auf verstellbaren Isolierstoffteilen aufgewickelt. Durch Verschieben dieser Windungen in axialer Richtung kann die Induktivität des Rahmens sehr genau auf den vorgesehenen Sollwert abgeglichen werden. Unser erster Eisenrahmen besitzt ein Gewicht von 8 kg, der entsprechende Luftrahmen hingegen weist ein Gewicht von nur 1 kg auf. Der Vorteil des verminderten Luftwiderstandes wurde jedoch als so entscheidend angesehen, dass man den

Nachteil der Eisenrahmen, nämlich das höhere Gewicht, ohne weiteres in Kauf nahm. Dieser erste Drehrahmen wurde im allgemeinen noch auf die Aussenfläche des Flugzeuges aufgesetzt und mit einer Plexiglashaube verkleidet.

Der heute verwendete Drehpeilrahmen PRE VI ist aus Bild 2 zu ersehen.

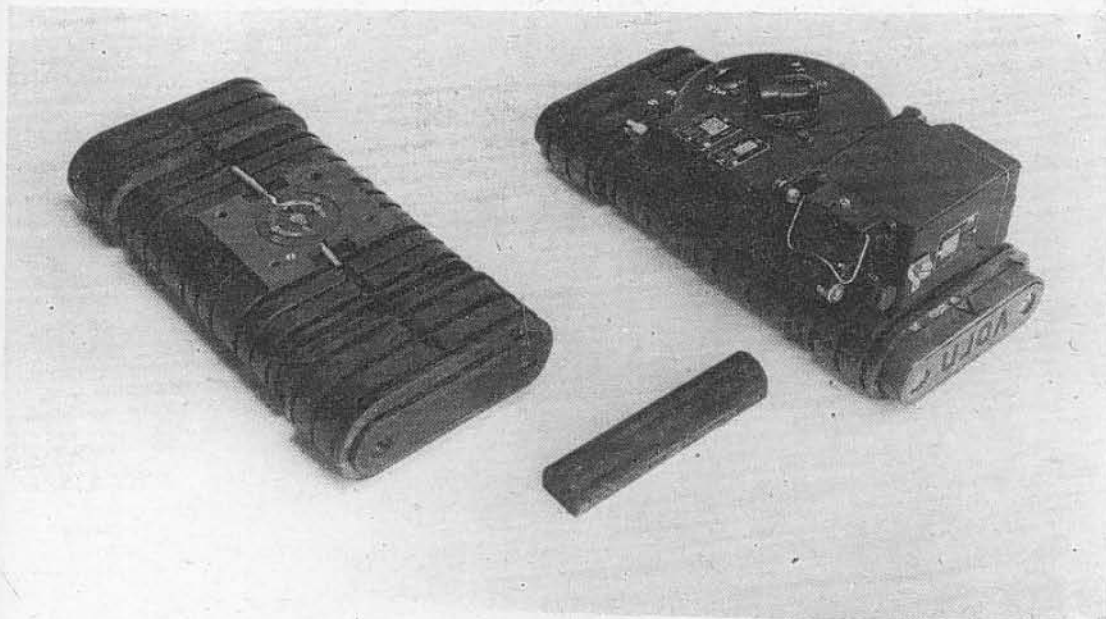


Abb. 2 Eisenrahmen (PRE VI)

Er ist wesentlich flacher gehalten als sein Vorgänger der PRE III. Auch ist sein Aufbau sehr vereinfacht worden. Er enthält nur noch 4 Kernteile, dessen Form ebenfalls aus Bild 2 zu ersehen ist. Dieser Rahmen wird in eine flache Blechwanne eingebaut, die in das Flugzeugdeck eingelassen ist. Die Wanne wird mit einer Scheibe aus Plexiglas abgedeckt (Bild 3).

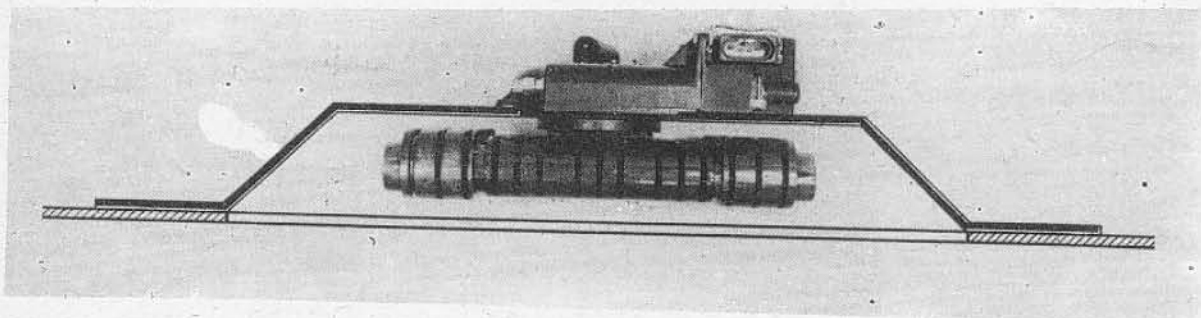


Abb. 3 Einbau des PRE VI im Flugzeug (schem.)

Der Rahmen selbst wiegt nur noch 4 kg. Während man beim ersten Eisendrehrahmen ein verhältnismässig hohes Lager, in den Abmessungen genau wie beim Luftdrehrahmen, verwendete, wurde für den Peil-VI-Rahmen ein besonders flaches Lager von uns neu entwickelt. Die Peilleistung des neuen Rahmens liegt im eingebauten Zustand allerdings etwa 20 % unter der des ersten Modells. In Anbetracht der grossen praktischen Vorteile, die die Verwendung dieser flachen Rahmenform bietet, hat man diese Verminderung zugelassen, zumal sie z.T. auch durch die bessere Güte des dazugehörigen Peilempfängers wieder ausgeglichen wird.

Die hier gezeigten Peilrahmen dienen zur Funknavigation im Wellengebiet zwischen 200 ... 2000 m. Neuerdings werden von uns Eisenpeilrahmen für das K.W- und

U.K.W.-Gebiet entwickelt. Es ist ein Versuchsrahmen für das Wellengebiet bis 6 m herab aufgebaut worden, der bei gleicher Dämpfung und gleicher Peilleistung nur etwa $1/3$ so hoch ist wie der entsprechende Luftrahmen (Gewicht dieses Rahmens: 4 kg). Hierfür wurde von uns ein besonders verlustarmer, magnetischer Pulverkernstoff geschaffen.

Bei neueren Peilgeräten soll das Eindrehen des Rahmens in das Spannungseminimum nicht nur von Hand, sondern auch selbsttätig erfolgen können. Es wurden sogenannte Nachlaufpeiler geschaffen, bei denen der Drehrahmen durch einen Motor verstellbar wird. Dieser Motor kann sowohl von Hand als auch automatisch vom Peilempfänger selbst gesteuert werden. Ein sehr rasches Nachlaufen der Rahmen in die Minimumstellung ist sowohl beim Luftrahmen infolge des hohen Winddruckes, als auch bei den Eisenrahmen infolge ihres grossen Gewichtes und des damit verbundenen grossen Reibungs- und Trägheitsmomentes nicht möglich. Bekannte Anlagen erreichen eine Nachlaufgeschwindigkeit von 10° ... 20° pro Sekunde. Diese Nachlaufgeschwindigkeit wird für viele Zwecke heute als zu gering erachtet, wie z.B. für das Anpeilen von kurzgetasteten Sendern. (Die Sender von Kriegsschiffen senden zur Erschwerung des Anpeilens zumeist ganz kurze Funksprüche). Das Anpeilen eines solchen kurzgetasteten Senders verlangt eine Nachlaufgeschwindigkeit, die mindestens eine Grössenordnung höher liegt. Wir haben vor kurzem einen sogenannten Kreuzrahmen entwickelt, bei dem mit Hilfe eines ebenfalls von uns neu entwickelten Goniometers mit Eisenkernen eine automatische Einstellung der Richtungsanzeige auf die Einfallerichtung der Welle mit einer Geschwindigkeit von 200° pro Sekunde bei schwingungsfreiem Einlauf möglich ist.

Bei einem Kreuzrahmen handelt es sich um eine Anordnung von 2 Rahmen (Bild 4), deren Flächen senkrecht zueinander angeordnet sind.

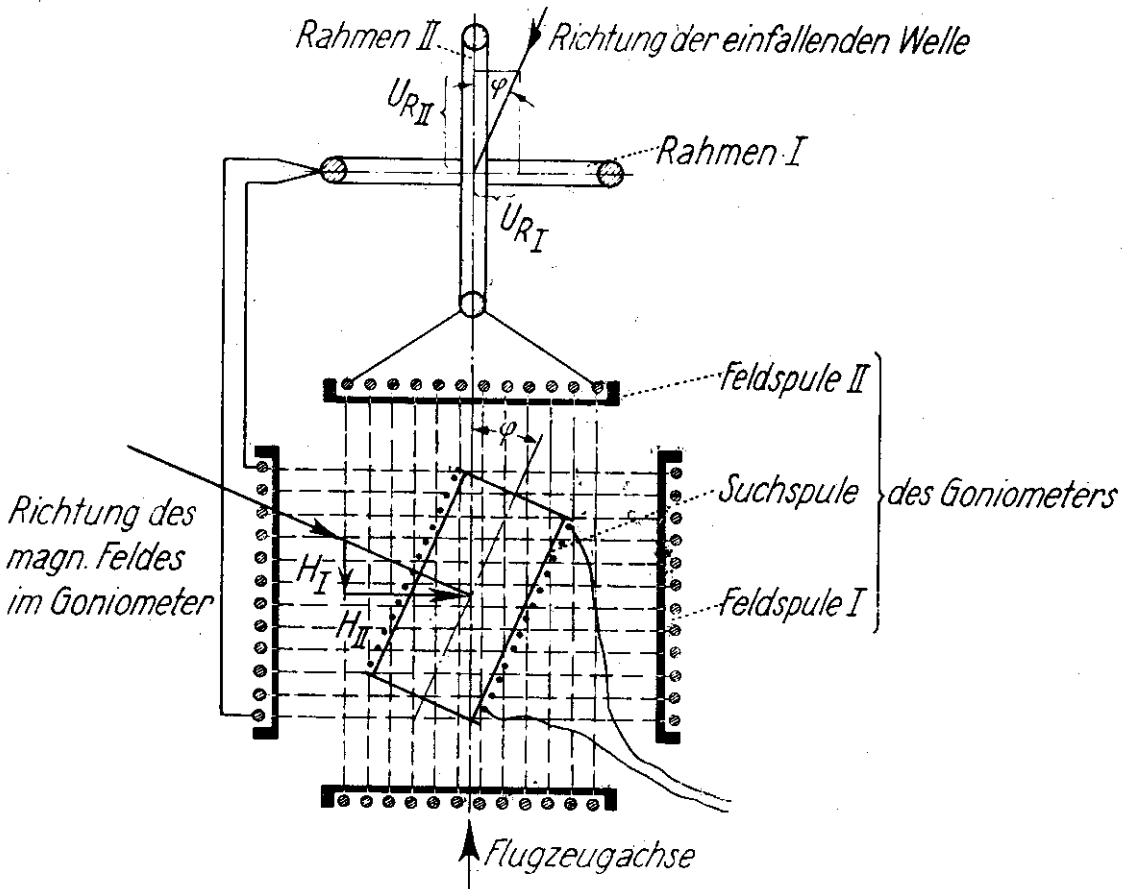


Abb. 4 Kreuzrahmen - Goniometer
Grundsätzlicher Aufbau

Läuft die Normale des einen Rahmens parallel zur Flugzeugachse, so verhalten sich die beiden in den Rahmen induzierten Spannungen zueinander wie der Tangens des Winkels φ , den die Fortpflanzungsrichtung der Welle des angepeilten Senders mit der Flugrichtung bildet. Diese beiden Spannungen liegen an zwei ebenfalls senkrecht zueinander stehenden Feldspulen des Goniometers. Im magnetischen Feld dieser Spulen ist eine sogenannte Suchspule drehbar angeordnet. Sind die Feldspulen so orientiert, dass ihre Feldachsen parallel zu den Rahmennormalen verlaufen, so wird die vom magnetischen Feld in der Suchspule induzierte Spannung null, wenn die Suchspulenachse mit der Flugzeugachse ebenfalls den Winkel φ bildet. Man kann also die Richtung der anfallenden Welle aus der Stellung der drehbaren Suchspule bestimmen.

Bisher hatman Peilanlagen mit Goniometern fast ausschliesslich bei Bodenstationen und auf Schiffen verwendet. Eine Peilanlage mit selbsttätigem Nachlauf kann bei Verwendung von Goniometern, bei denen nur eine kleine Suchspule nachgestellt wird, mit wesentlich geringerem Aufwand und erheblich grösserer Nachlaufgeschwindigkeit erstellt werden, als es bei Verwendung der bisherigen Drehrahmen möglich ist. Bild 5 zeigt den Kreuzrahmen, eingebaut in die normale Wanne.

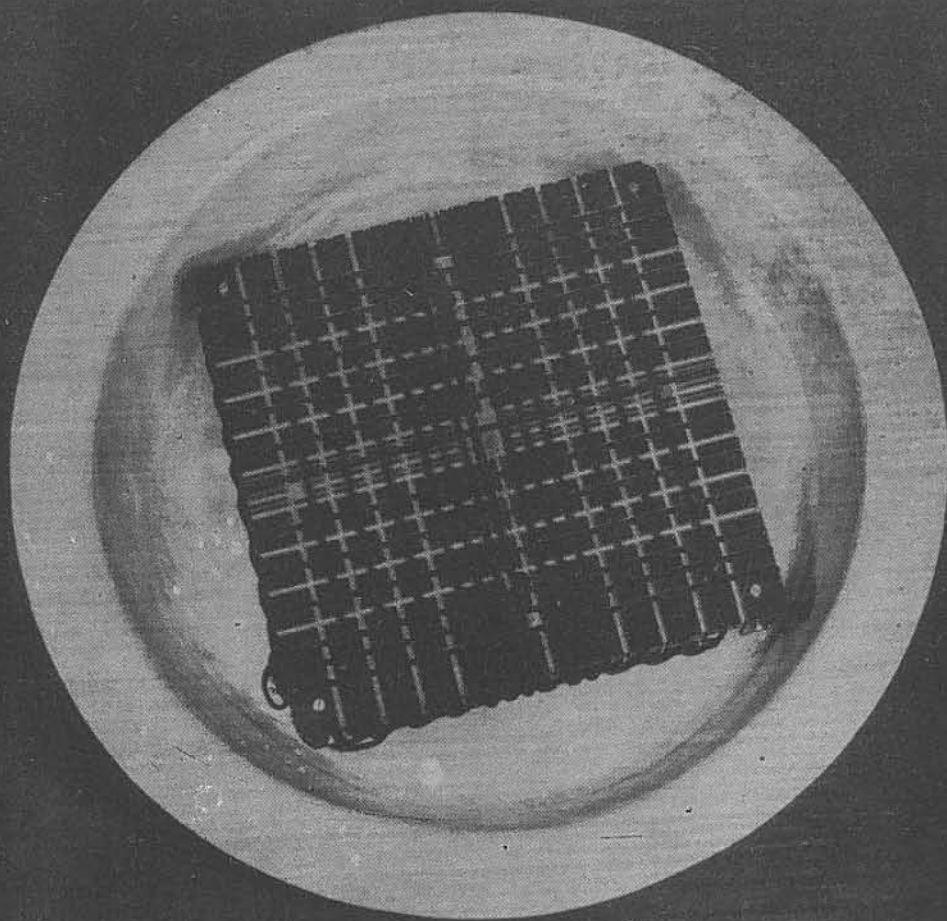


Abb. 5 Kreuzrahmen

Der Rahmen ist ähnlich dem jetzigen Drehrahmen PRE VI aufgebaut. Breite und Tiefe der flachen Isolierstoffgehäuse sind gleich gross. Die Windungsebenen der beiden aufgewickelten Rahmenwicklungen stehen senkrecht zuein-

ander. Im Gehäuse sind 8 magnetische Pulverkerne eingelegt. Kernform und Kernwerkstoff sind gleich denen im PRE VI. Bild 6 zeigt die Wanne mit dem angebauten Goniometer und dem eingebauten Antriebmotor zum Einstellen der Goniometer-Suchspule..

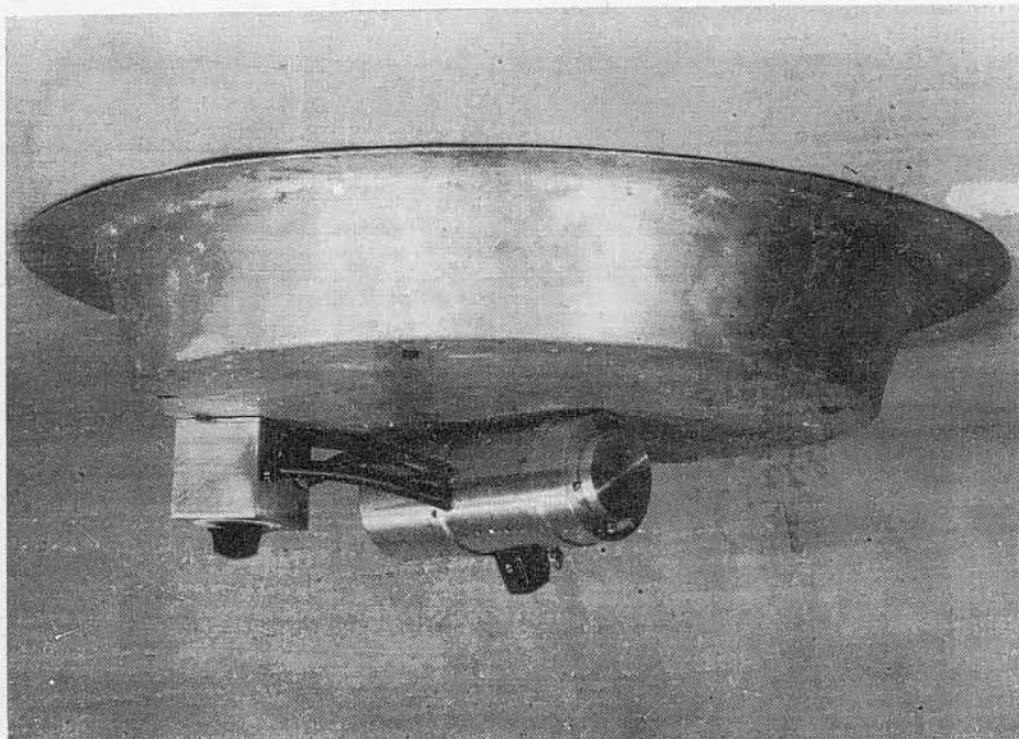


Abb. 6 Kreuzrahmeneinbau mit Goniometer

Peilfehler werden bei dieser Anlage durch eine einstellbare Verzerrung des magnetischen Feldes im Goniometer ausgeglichen (magnetischer Funkbeschicker). Diese neue Versuchsanlage weist bei gleichem Einbaugewicht auch die gleiche Peilleistung, wie sie bei Verwendung des PRE VI-Drehrahmens erzielt wird, auf.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Einbau von ferromagnetischen Pulverkernen in Luftrahmen

schon heute grosse praktische Bedeutung bei den Rahmenformen erlangt hat, bei denen es auf eine besondere niedrige Bauhöhe ankommt. Es wird in erster Linie von der Weiterentwicklung des Kernstoffes selbst abhängen, wie weit die heute schon erreichten Vorteile noch gesteigert werden können.