Zeitschrift: Protar

Herausgeber: Schweizerische Luftschutz-Offiziersgesellschaft; Schweizerische Gesellschaft der Offiziere des Territorialdienstes

Band: 12 (1946)

Heft: 11

Artikel: Ein Radar-Verfahren für das Zivilflugwesen

Autor: Bosshard, Werner

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-363193

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 23.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

soll, anderseits aber die Frage des Einsatzes von ambulanten Pflegeequipen zu prüfen wäre.

Zur Arzt- oder Spitalstaffel möchte ich mich als Nichtmediziner nicht äussern. Sicher ist nur, dass sich die sogenannten Operationsbunker bewährt haben und als Rückschubspitäler erst ziemlich weit entfernte Kreisspitäler im Kriegsfall in Frage kommen. Dabei waren in Deutschland Entfernungen über 50 km keine Seltenheit.

Ebenso möchte ich von taktischen Folgerungen absehen. Sie sind eine Aufgabe der höheren Führung und werden für die Sanität noch viel mehr als bisher von der allgemeinen Beurteilung der Lage abhängen.

Zur Materialfrage lässt sich kurz sagen, dass für die Samariterstaffel ein Minimum an Material einheitlich abgegeben werden soll. Wichtigste Teile dieser Ausrüstung sind selbstverständlich Verbandspatrone und elastische Binde. Für die Sanitätsstaffel wird durch die Unterstellung unter die Armee sicher das Sanitätsmaterial des Armeesanitätsdienstes weitgehend verwendet werden. Dies käme auch der Forderung nach mobilerer Gestaltung der Sanitätspflege entgegen.

Ein Radar-Verfahren für das Zivilflugwesen

Von Hptm. **Werner Bosshard**

Vorbemerkung

Da das Radar-System immer weiter ausgebaut wird, darf es wohl zur Aufgabe der Protar gehören, unsere Leser über die technischen Fortschritte und neuen Möglichkeiten fortlaufend zu orientieren. Wir haben deshalb Herrn Dr. Bosshard, dipl. Physiker ETH., gebeten, diese Aufgabe zu übernehmen. *Red.*

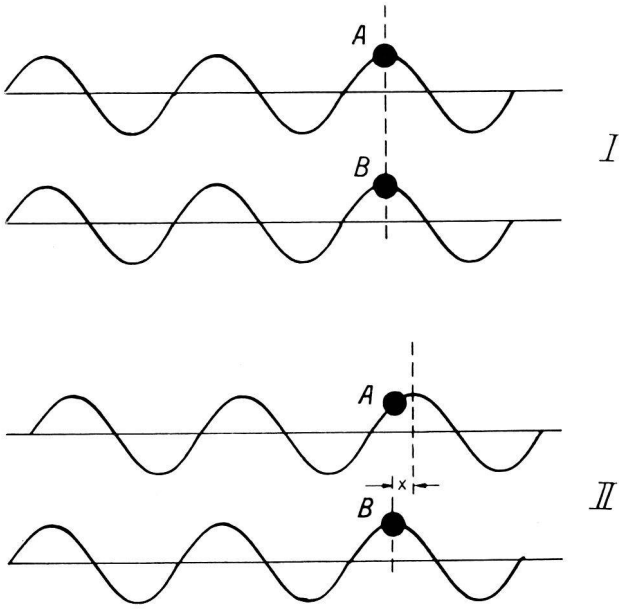
Im Laufe der Kriegsjahre sind bekanntlich auf vielen wissenschaftlichen Gebieten ganz gewaltige Fortschritte erzielt worden, indem durch die kriegführenden Grossmächte der Forschung zum Teil fast unbeschränkte Mittel zur Verfügung gestellt wurden. Besonders reich war die «Ausbeute» für das Navigationswesen für Flugwaffe und Marine. Von grösster Bedeutung sind dabei naturgemäss jene Verfahren, welche praktisch unabhängig von Witterungseinflüssen sind. Dieser Forderung genügen vor allem die Peilmethoden, welche auf der Verwendung von Radiowellen beruhen.

In früheren Artikeln *) wurden in dieser Zeitschrift die Grundlagen der Ortsbestimmung mit elektromagnetischen Wellen erläutert und die wichtigsten Radarverfahren erwähnt. Die Zivilluftfahrt stellt nun an die Navigationsmethoden zum Teil andere Anforderungen als das Militärflugwesen; so können unter anderem rein wirtschaftliche Ueberlegungen von ausschlaggebender Bedeutung dafür sein, ob sich ein Verfahren für die Zivilaviatik eignet oder nicht. Eine wirklich zweckmässige Peilmethode muss so arbeiten, dass der Flugzeugführer — ohne die Mithilfe eines besonderen Navigators im Flugzeug — in kürzester Zeit die Ortsbestimmung vornehmen kann; ausserdem sollen die im Flugzeug mitzuführenden Geräte möglichst leicht sein. Im weiteren ist eine grosse Reichweite erwünscht, und das erfasste Gebiet soll lückenlos sein.

Die früher beschriebenen Radar-Verfahren vermögen nun nicht allen diesen Bedingungen zu genügen; vor allem erfordern die meisten eine gründliche Spezialausbildung der Bedienungsmannschaft. In England wurde nun eine Methode ausgearbeitet, welche mit sehr leichten, einfach zu handhabenden Geräten eine Messgenauigkeit ermöglicht, wie sie bisher von keinem der anderen Systeme erreicht wurde.

Das neue Navigations-System unterscheidet sich von den üblichen Radar-Methoden dadurch, dass nicht Laufzeiten oder Laufzeitunterschiede, sondern *Phasenunterschiede* von Radiowellen gemessen werden. Die Sender müssen damit auch nicht mehr kurze Impulse, sondern kontinuierliche Radiowellen ausstrahlen. Die folgenden Ueberlegungen mögen zum besseren Verständnis des Begriffes des Phasenunterschiedes dienen.

Man denke sich zwei auf einer Wasseroberfläche schwimmende Körper, etwa Holzstücke. Wasserwellen, welche an diesen Körpern vorbeiziehen, heben und senken die Klötze periodisch; die Zeit für eine volle Schwingung (z. B. die Zeit vom Erreichen einer höchsten Lage bis zur nächsten) ist für beide Körper gleich, beide Körper



mit Phasenverschiebung X

*) Protar *11*, (1945), 243—248 (Dezemberheft); Protar *12*, (1946), 28—34 (Februarheft).

schwingen mit der gleichen Frequenz. Trotzdem brauchen die beiden Klötze nicht genau miteinander zu schwingen; liegt der eine Körper A näher beim Wellenzentrum, so wird er von der Welle

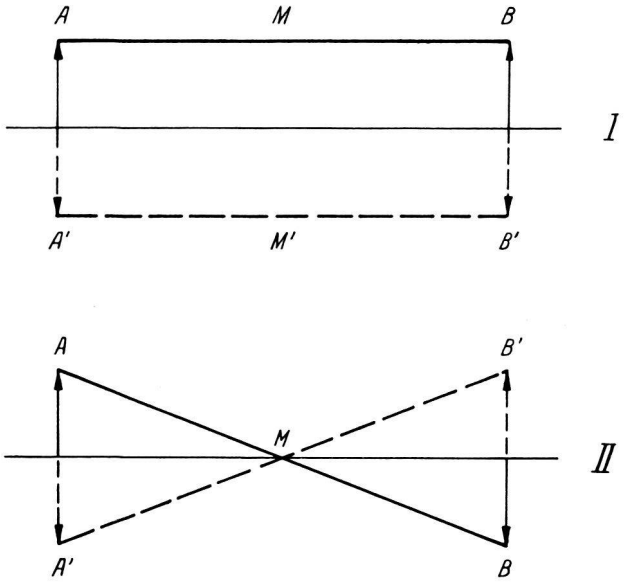


Abb. 2.

zuerst erreicht, der zweite Körper B macht also die Wellenbewegung gegenüber dem ersten stets mit einer gewissen, immer gleichbleibenden Verzögerung mit. Dieses Hintennachhinken nennt man nun eine *Phasenverschiebung*. In Abb. 1 sind die beiden Klötze einmal in gleicher Entferung vom Wellenzentrum angenommen (I), sie schwingen

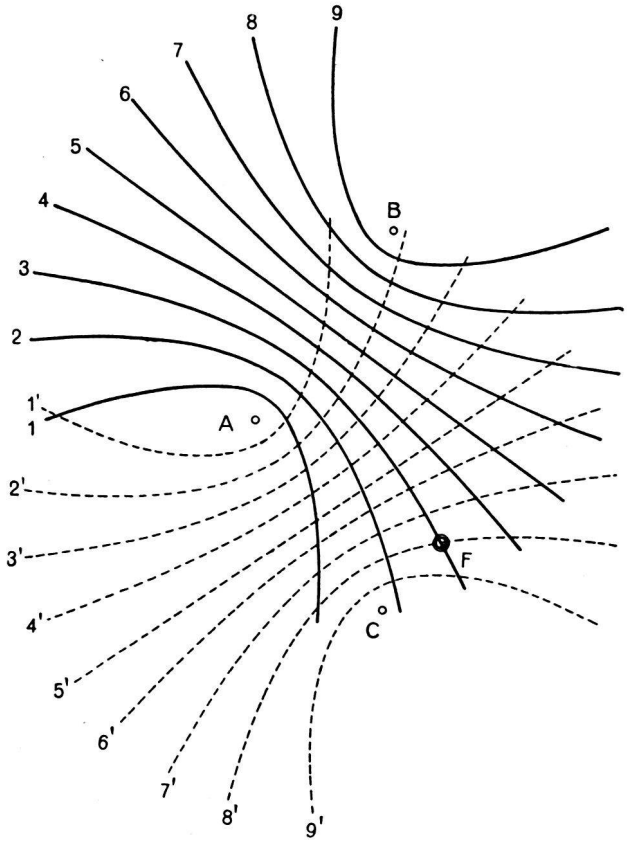


Abb. 3.

dann «in Phase», d. h. genau miteinander. Fall II deutet die Bewegung an, wenn sich infolge verschiedener Entfernungen eine Phasenverschiebung einstellt. Beträgt die Phasenverschiebung eine volle Schwingung, so schwingen beide Klötze wieder genau miteinander, wie wenn sie «in Phase» wären.

Denkt man sich nun die beiden Körper A und B durch einen Stab verbunden, so schwingt die Stabmitte M dann besonders stark, wenn jeweils beide Klötze gleichzeitig gehoben oder gesenkt werden (I in Abb. 2). Hinkt ein Ende in der Schwingung dem andern um eine halbe Schwingungsdauer hintennach (Schwingen in «Gegenphase», II in Abb. 2), so führt die Stabmitte bei gleichen Ausschlägen der Stabenden überhaupt keine Schwingungen aus. Aus den Schwingungsweiten (Amplituden) der Stabmitte lässt sich also erkennen, wann die Enden in Phase und wann in Gegenphase schwingen.

Technische Phasenmessgeräte für Radiowellen können nun sehr klein und leicht konstruiert werden und haben trotzdem eine grosse Empfindlichkeit. So zeigen die speziell für Navigationszwecke entwickelten Geräte noch Phasenunterschiede an, welche weniger als $^1/_{100}$ einer vollen Schwingung betragen. Das Anzeige-System dieser Geräte soll weiter unten noch näher erläutert werden.

Das Prinzip der Ortsbestimmung durch Messung von Phasenunterschieden lässt sich am besten vergleichen mit dem Radar-«Gee»-System. Auch dort wird der Unterschied der Entfernung von festen Punkten (Sendern) gemessen; das eine Mal (Gee) geschieht dies durch Bestimmung der Laufzeitunterschiede von kurzen Impulsen, das andere Mal durch Messen der Phasenunterschiede, d. h. also durch Ausmessen der Distanzen in Wellenlängen. Punkte mit gleichen Entfernungsunterschieden von zwei festen Punkten liegen auf Hyperbeln; durch das Gelände können geringe Störungen verursacht werden, so dass sich die Hyperbeln unter Umständen leicht verformen, wir wollen die entsprechenden Kurven wie beim Gee-System *Isochronen* nennen. Das Phasenmessgerät erlaubt nun festzustellen, auf welcher Isochrone sich das Flugzeug befindet. Soll auch der Ort auf der Isochrone im Gelände bestimmt werden, so muss ein zweites Isochronensystem zu Hilfe genommen werden, das Gelände ist dann also mit einem Netz von hyperbelartigen Kurven überdeckt, wie dies in Abb. 3 gezeichnet ist.

Da nun in der Zivilluftfahrt die Peilstationen möglichst für alle Flugrichtungen verwendbar sein sollen — im Kriegsfall waren gewisse Richtungen eindeutig bevorzugt — so genügen zwei Isochronenscharen nicht, da dieses Netz noch Löcher aufweisen würde. In Abb. 3 würden z. B. die Gebiete links oberhalb der Linie, bestimmt durch die Punkte AB, oder links unterhalb der Geraden, bestimmt durch die Punkte AC, nur von einer Schar,

also nicht vollständig, erfasst. Erst die Kombination von drei Isochronenscharen vermag alle Richtungen um die Sendestation einigermassen gleichmässig zu berücksichtigen. Die Anordnung der Sender erfolgt dabei am zweckmässigsten so, dass drei Hilfsstationen («Sklavensender») ungefähr ein gleichseitiges Dreieck bilden, in dessen Mittelpunkt die Hauptstation («Meistersender») steht. Am günstigsten ist dann die Navigation innerhalb dieses Dreiecks, ausserhalb ist sie bei Tag weit über 1000 km möglich, wobei allerdings die Unsicherheit der Ortsbestimmung ungefähr proportional der Entfernung zunimmt. Nachts sind die Verhältnisse wesentlich ungünstiger, da dann durch die sogenannte Raumwelle bei grösseren Distanzen (etwa 500 km und mehr) unerträgliche Störungen verursacht werden. Eine Verbesserung wäre hier durch Verwendung sehr langer Wellen von etwa 20 bis 30 km Wellenlänge möglich. (Die Raumwelle ist eine an der sogenannten Heaviside-Schicht — in ca. 100 km Höhe über der Erdoberfläche — zurückgeworfene Welle; sie spielt in der Radiotechnik eine grosse Rolle, so ermöglicht sie z. B. die grosse Reichweite der Kurzwellen während der Nacht, andererseits ist auch das unerwünschte «Fading» [An- und Abschwellen der Lautstärke beim Empfang] auf ein Zusammenwirken von Bodenwelle und Raumwelle zurückzuführen.)

Zur Erklärung des Messprinzips wurde oben angenommen, dass die verschiedenen Peilsender Wellen gleicher Frequenz (also gleicher Wellenlänge) aussenden würden. Wäre dies jedoch wirklich der Fall, so könnte kaum eine saubere Bestimmung der Phasenunterschiede erfolgen, da sich die einzelnen Stationen nicht immer einfach unterscheiden liessen. Während diese Unterscheidung beim Gee-System durch geeignete Wahl der Impulsfolge der einzelnen Sender möglich wird, so müssen beim kontinuierlichen Senden verschiedene Wellenlängen verwendet werden. Um trotzdem eine gegenseitig vergleichbare Phasenlage zu erhalten, müssen sich die Wellenlängen des Meistersenders A und der Sklavensender B, C und D wie kleine ganze Zahlen verhalten, z. B.

$$A : B = 3 : 4,\ A : C = 4 : 5,\ A : D = 5 : 6.$$

Zwischen den von den Sendern A und B eintreffenden Wellen wird der Phasenunterschied dann nicht mehr in Bruchteilen von ganzen Schwingungen gemessen, sondern als Bruchteil der Zeit für $^1/_3$-Schwingung des Hauptsenders (welche Zeit mit jener für $^1/_4$-Schwingung des Senders B übereinstimmt). Die Phasenunterschiede für die Senderpaare A-C und A-D werden sinngemäss in Vierteln, bzw. Fünfteln der Hauptsenderschwingung ausgemessen.

Wir haben bis dahin nur das Verhältnis der Wellenlängen festgelegt, die Wahl der Wellenlänge selbst erfolgt im wesentlichen nach technischen Gesichtspunkten (Reichweite, Gewicht der erforderlichen Empfangsgeräte, Distanz der Sender usw.). Man gelangt so zu Wellenlängen von wenigen Kilometern. Die Distanz der Sender muss so zu den verwendeten Wellenlängen passen, dass eine bestimmte Genauigkeit der Ortsbestimmung erreicht werden kann. Praktisch wird zwar durch geographische und technische Verhältnisse die Senderdistanz mehr oder weniger gegeben sein, so dass dann also nur noch die Wellenlängen entsprechend den obigen Forderungen gewählt werden können.

Diese Forderungen nach genügender Genauigkeit sind dann erfüllt, wenn die einzelnen Isochronenscharen etwa 200—300 Kurven enthalten. Bei kleinerer Isochronenzahl würden die Fehler zu gross, vor allem in grösserer Entfernung, da ja dort die Hyperbeln auseinander laufen. Die geringste Distanz — eine halbe Wellenlänge — haben die Isochronen auf der Verbindungsgeraden der beiden entsprechenden Sender. Die Entfernung zwischen Meistersender und Sklavensender soll demnach von der Grössenordnung 100 Kilometer sein. Unter Berücksichtigung der Genauigkeit der Phasenmessung ist es dann mit dieser Methode im günstigsten Fall möglich, Ortsbestimmungen auf wenige Meter genau auszuführen. In Entfernungen von 500 km von den Sendern würde der Fehler vielleicht etwa fünfmal so gross sein, also immer noch äusserst gering.

An Bord des Flugzeuges befinden sich ausser dem Empfänger vor allem drei *Phasenmessgeräte*, welche die eigentlichen Navigationsinstrumente darstellen. Zu jeder Isochronenschar, also zu jedem Sklavensender, gehört ein Messinstrument, welches den Phasenunterschied der von diesem Sender eintreffenden Welle gegenüber der Welle des Meistersenders anzeigt. Diese Phasenmessgeräte sind eigentlich viel eher Zählwerke, sie zählen automatisch die jeweils überflogenen Isochronen der betreffenden Schar.

Damit bei der Numerierung der Kurven keine zu hohen Zahlen gebraucht werden müssen, wird jede Isochronenschar in viele Gruppen aufgeteilt, die mit Buchstaben bezeichnet werden. Innerhalb dieser Gruppen erfolgt dann gewöhnliches Zählen. Da aber auch Bruchteile von ganzen Isochronendistanzen festgestellt werden können, so müssen auch entsprechende Bruchteile (Hundertstel) am Instrument ablesbar sein. Die Anzeige erfolgt in gewissem Sinne ähnlich wie bei einer Gasuhr: In einer Oeffnung wird der Buchstabe der betreffenden Gruppe sichtbar, ein Zeiger weist auf einer Skala auf die Nummer der überflogenen Isochrone, während ein zweiter kleinerer Zeiger die Hundertstel angibt. Bei einer Gasuhr sind die beiden Zeiger nebeneinander, beim Phasenmesser konzentrisch angeordnet wie bei einer Uhr. In Abb. 4 ist die Frontseite eines solchen Instrumentes schematisch angedeutet; die Ablesung würde in diesem Beispiel «E 9,36» lauten.

Die drei Isochronensysteme werden durch drei verschiedene Farben (z. B. rot, blau, grün) unterschieden und sind auch in diesen Farben in der

Karte eingetragen. Zur Erläuterung sei mit Hilfe einer Karte mit 3 vereinfachten Systemen (Abb. 5) beschrieben, was die Instrumente z. B. bei einem Fluge von X nach Z anzeigen würden: Bei Startplatz X lauten die Ablesungen: Rot 8,2 / Blau — / Grün 4,5. (X liegt ausserhalb des Bereiches des «blauen Senderpaares A—C). Während des Fluges zeigt Rot zunächst zunehmende Werte, jene von Blau beginnen ebenfalls zu wachsen und die Ablesungen für Grün nehmen ab. Beim Punkte Y z. B. würden die Instrumente Rot 9 / Blau 3 / Grün — zeigen und das Ziel Z schliesslich wäre durch die Angaben Rot 7,4 / Blau 5,0 / Grün — festgelegt.

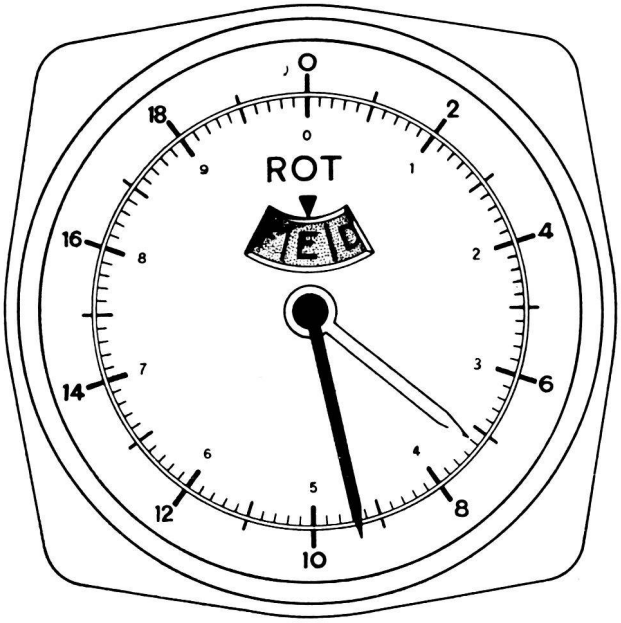


Abb. 4.

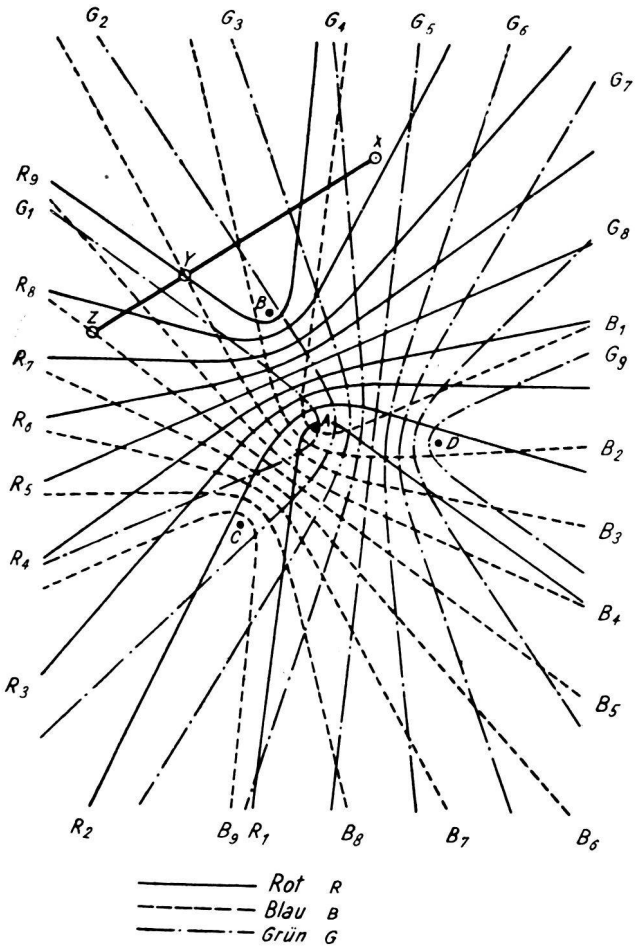


Abb. 5.

Ein besonderes Instrument ermöglicht die richtige Anzeige in jenen Fällen, wo das Flugzeug von aussen her in das Gebiet gelangt, welches von den Navigationssendern überhaupt bedient werden kann. Auf die Beschreibung dieses sogenannten Einweisungsgerätes soll hier verzichtet werden.

Mit dieser neuen Entwicklung ist nun wohl der erste Schritt getan, um die Radar-Navigationsmethoden im Grossen, im Zivilverkehr einzuführen, da jetzt die bisher zum Teil ein wenig komplizierte Bedienung ausserordentlich vereinfacht ist. Jedenfalls erfordert das Arbeiten mit diesen Geräten für den Piloten nicht mehr Spezialkenntnisse als die bisherigen Navigationsmethoden (Kompass usw.), hat aber gegenüber jenen den Vorteil grösserer Genauigkeit.

Zum Abschluss sei noch angedeutet, wie vielleicht für schweizerische Verhältnisse die Sender verteilt werden könnten, wobei allerdings noch dahingestellt sei, wie weit sich die angedeuteten Standorte aus radiotechnischen und anderen Gründen überhaupt eignen würden. Eine mehr oder weniger ideale geographische Verteilung, wie sie oben angetönt wurde, käme für uns wegen der geringen Abmessungen unseres Landes nicht in Frage. Die Distanzen müssten kleiner gewählt werden und entsprechend wohl auch die Wellenlängen. Der Meistersender könnte vielleicht in der Gegend von Burgdorf, die drei Sklavensender z. B. in der weiteren Umgebung von Basel, Zug und Payerne liegen. Damit könnte — ganz grob abgeschätzt — tags wohl ziemlich ganz West- und Mitteleuropa erfasst werden, während die Reichweite nachts vielleicht grössenordnungsweise durch die Punkte Marseille, Tours, Amsterdam, Prag angedeutet sei.

Günstiger wäre es zwar, wenn von den vier benötigten Stationen einige im Ausland aufgestellt werden könnten; mit der grösseren Basis könnten dann auch Reichweite und Genauigkeit gesteigert werden. Es wäre ja sicher auch grundsätzlich richtiger, diese Navigationsanlagen gemeinsam in internationaler Zusammenarbeit zu erstellen. Dabei bleibt allerdings vorläufig die Frage offen, wie gut sich diese Art der Ortsbestimmung im Alpengebiet und jenseits der Alpen bewähren würde.