

Natürlich muß darauf hingewiesen werden, daß die angeführten Erklärungen noch hypothetischen Charakter haben und daß zu ihrer Vervollkommnung oder Bestätigung weitere Untersuchungen notwendig sind.

Die mitgeteilten Ergebnisse beziehen sich auf eine Temperatur von 20 °C. Der Einfluß der Temperatur auf den Verlauf von  $\epsilon$  und  $\text{tg } \delta$  ist Gegenstand einer soeben abgeschlossenen Arbeit im Institut für Fernmelde- und Hochfrequenztechnik, die demnächst erscheinen wird.

### Zusammenfassung

Die Anisotropie und die Frequenzabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante und des Verlustfaktors von Naturholz im Frequenzbereich von  $3 \cdot 10^2 \dots 10^9$  Hz werden untersucht. Die Anisotropie entsteht durch die makroskopische Struktur des Holzes. Der Verlauf des Verlustfaktors, abhängig von der Frequenz, der ein flaches Maximum bei  $10^7$  Hz zeigt, wird durch die dielektrischen Eigenschaften der Zellulose als eines Dipolstoffes erklärt. Der Einfluß der Feuchtigkeit zeigt bei hohen Frequenzen Verschiebung des Maximums des Verlustfaktors zu höheren Frequenzen und Erhöhung seines Betrages. Dieses Verhalten wird durch Annahme einer Sprengung der Valenzbrücken der einzelnen verbundenen Zellulosemoleküle durch die Anlagerung von Wassermolekülen gedeutet.

Die Ergebnisse sind für die dielektrische Erwärmung des Holzes zur Trocknung, Verleimung, Herstellung von Holzspanplatten usw. von praktischer Bedeutung.

### Schrifttum

- [1] Helmholtz: Vorlesungen über theoretische Physik Bd. 2 (1902) S. 103.
- [2] Kröner und Pungs: Zur dielektrischen Anisotropie des Naturholzes im großen Frequenzbereich. Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft Bd. 1 (1949) S. 101.
- [3] Kröner: Über dielektrische Untersuchungen an Naturhölzern und deren mechanische und chemische Abbauprodukte im großen Frequenzgebiet. Dissertation Braunschweig 1943.
- [4] Kröner und Pungs: Über das Verhalten des dielektrischen Verlustfaktors von Naturholz im großen Frequenzbereich. Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft Bd. 4 (1952) S. 127. Holzforschung Bd. 7 (1953) S. 12 (dort auch weiteres Schrifttum).
- [5] Trapp: Das dielektrische Verhalten von Holz und Zellulose im weitem Frequenz- und Temperaturbereich. Dissertation Braunschweig 1954.
- [6] H. Staudinger: Über hochpolymere Verbindungen. Holz als Roh- und Werkstoff Bd. 1 (1938) H. 7.
- [7] H. Staudinger: Zellulose, Hemizellulose und Lignin Zellstoff und Papier Bd. 18 (1938) S. 449.
- [8] F. H. Müller und Chr. Schmelzer: Dielektrisches Verhalten im Zusammenhang mit dem polaren Aufbau der Materie. Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften Bd. 25 (1951) S. 359.
- [9] Dänzer: Über das Verhalten biologischer Körper im Hochfrequenzfeld. Ann. Phys. Bd. 20 (1934) S. 463.
- [10] H. H. Meinke: Messung sehr großer und sehr kleiner Widerstände bei dm-Wellen. ENT Bd. 21 (1944) S. 39.
- [11] Büchner: Das Mischkörperproblem in der Kondensatortechnik. Wiss. Veröffentl. aus den Siemens-Werken Bd. 18 (1939) H. 2.
- [12] Kollmann: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. II. Aufl. Bd. I (1951).

## Verfahren und Anlagen der Funkortung

Von W. Stanner, Düsseldorf

DK 621.396.663

**Einführung.** Die Technik der Funkortung hat während des Krieges und auch seit seinem Ende bedeutende Fortschritte gemacht, die zu neuen Funkmeßverfahren und -geräten für Ziele auf der Erde, auf See, in der Luft und außerhalb der Erde geführt haben. Die folgende Arbeit weist auf die Grundlagen dieser Technik hin und berichtet über Anwendungen.

### Die Grundverfahren

Alle bekannten und denkbaren Verfahren der Funkortung — also der Lokalisierung gewisser makroskopischer Objekte auf, über und unter der Erdoberfläche mit Radiowellen — lassen sich auf das Laufwegdreieck zurückführen [1], dessen Eckpunkte in *Bild 1* mit *P*, *S*, und *A* bezeichnet sind. Eine von *P* ausgehende hochfrequente Strahlung beliebiger Herkunft gelangt darin einmal auf dem direkten Weg *PA* zum Aufpunkt *A*, an dem sich der Ortungsempfänger befindet, und einmal auf dem Umweg über den Sekundärstrahler *S*, über dessen Natur keine besonderen Voraussetzungen gemacht zu werden brauchen. Meist ist die Annahme zulässig, daß das Ausbreitungsmedium homogen und isotrop ist, die Ausbreitungsgeschwindigkeit im gesamten Gebiet also als konstant anzusehen ist. Dann ergibt sich die Laufwegdifferenz *d* aus der am Aufpunkt gemessenen Laufzeitdifferenz *t* und der Ausbreitungsgeschwindigkeit *c* zu  $d = ct = PS + SA - PA$ .

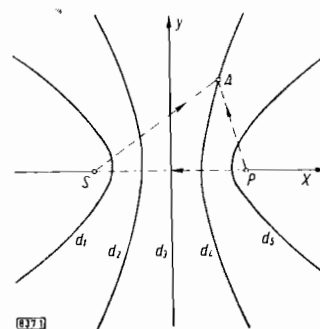
Für die Ortung läßt sich das Laufwegdreieck dann ausnützen, wenn von den Koordinaten seiner drei Eckpunkte bereits zwei bekannt sind, während die des dritten gesucht werden. Dieser muß auf dem geometrischen Ort gleicher Laufwegdifferenz liegen, der wiederum aus einer Messung der Laufzeitdifferenz nach der wiedergegebenen Grundgleichung zu ermitteln ist.

Stehen in *Bild 1* *P* und *S* fest, dann kann sich *A* auf der zur Laufwegdifferenz  $d_4$  gehörigen Hyperbel bewegen, ohne daß sich die gemessene Laufzeitdifferenz ändert. Ein Verkehrsteilnehmer, dessen Ortungsempfänger die Laufwegdifferenz  $d_4$  anzeigt, muß sich also irgendwo auf der zu  $d_4$  gehörigen und in einer Navigationskarte bereits eingezeichneten Hyperbel befinden. Auf diesem Prinzip bauen sich alle Verfahren der „Hyperbel-Ortung“ auf. Der Abstand der Basisendpunkte *P* und *S* liegt dabei zwischen 100 und 2000 km.

Rücken die beiden Endpunkte sehr nahe aneinander, so kann man die Hyperbeln durch ihre Asymptoten ersetzen

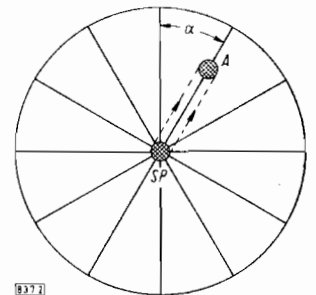
und erhält dann den in *Bild 2* gezeigten Strahlengang. Die Strecke *PS* schrumpft nun auf einen Punkt zusammen und die beiden Strahlen dürfen so eingezeichnet werden, als ob sie von diesem parallel zum Aufpunkt *A* laufen. Die Auswertung führt zum Azimut  $\alpha$  oder zu einer Richtungsangabe gegen eine andere, beliebig auswählbare Richtung. Derartige Anlagen nennt man Dreh- oder Richtfunkfeuer. Die tatsächliche Länge der Strecke *PS* beträgt zwischen 1 m und 10 km. Beide Endpunkte werden meist in mancherlei Variationen zu einer funktionellen Einheit zusammengefaßt, die das Grundverfahren aber nicht beeinflussen.

Zwei weitere wichtige Grundverfahren gewinnt man durch Vertauschen des Punktes *A* entweder mit *P* oder *S* in dem entarteten Laufwegdreieck von *Bild 2*. In *Bild 3* gehen beispielsweise von der Bordstation eines Flugzeuges, die hier als Primärstrahler *P* wirkt, hochfrequente Wellen zur Anlage *SA*, bei der zwei oder mehr strahlungsaufnehmende Antennenelemente konstruktiv zu einer funktionellen Einheit zusammengeschaltet sind, die man Peiler nennt [2]. Die Auswertung ergibt den Winkel  $\alpha$  gegen eine beliebig festzulegende Bezugsrichtung. Ein solches Vorgehen nennt man



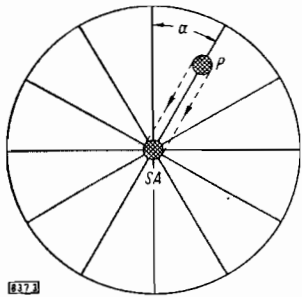
*P* primäre Strahlungsquelle (Leit-, Haupt- oder Muttersender)  
*S* Sekundärstrahler (Neben- oder Tochtersender)  
*A* augenblicklicher Standort des Verkehrsmittels mit dem Ortungsempfänger (Aufpunkt)

*Bild 1.* Grundverfahren der Hyperbelortung.



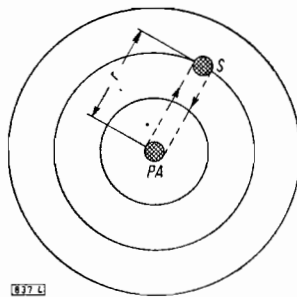
*SP* Richtbasis mit funktionell zusammengeschalteten strahlenden Antennenelementen (Richtantenne)  
*A* augenblicklicher Standort des Verkehrsmittels

*Bild 2.* Grundverfahren der Ortung mit Richt- und Drehfunkfeuern. Die Laufwegdifferenz zwischen den beiden parallel anzusehenden Laufwegen ermöglicht die Bestimmung des Winkels  $\alpha$  zum Funkfeuer.



**Bild 3.** Grundverfahren der Peilung. Die Laufzeitdifferenz zwischen den beiden parallel anzusehenden Laufwegen ermöglicht die Bestimmung des Winkels  $\alpha$  zur primären Strahlungsquelle.

**P** Primäre Strahlungsquelle (beliebiger Boden- oder Bordsender)  
**SA** Richtbasis mit funktionell zusammengeschalteten strahlungsaufnehmenden Antennenelementen (Peiler)



**Bild 4.** Grundverfahren der hochfrequenten Entfernungsmessung. Die Laufzeit für Hin- und Rückweg liefert die Entfernung  $r = 0,5 ct$ .

**PA** Sende-Empfangs-Anlage (Funkmeßgerät)  
**S** augenblicklicher Standort des aktiven oder passiven Sekundärstrahlers

Fremdpeilung. Offensichtlich ändert sich außer dem Auswertevorgang selbst nichts, wenn man die Punkte SA und P untereinander nochmals vertauscht. In der Praxis bedeutet dies, daß nun das Flugzeug den Peiler SA an Bord mitführt und damit die Richtung zu einem auf dem Erdboden fest aufgebauten Sender P bestimmt; das nennt man eine Eigenpeilung. Sie stellt jedoch kein neues Grundverfahren dar.

Ein solches ist noch dadurch erreichbar, daß man eine primäre Strahlungsquelle P mit einem Ortungsempfänger A zu einer funktionellen Einheit zusammenschaltet (Bild 4). Die von P erzeugte elektromagnetische Energie wird über eine Antenne abgestrahlt, trifft auf einen aktiven oder passiven Rückstrahler S und kommt von ihm zum Empfänger A zurück. Aus der Messung der Laufzeitdifferenz erhält man den Abstand  $r$  des Rückstrahlers S von der Anlage PA, die im deutschen Sprachgebrauch Funkmeßgerät heißt. Im Ausland und gelegentlich auch im deutschen Schrifttum wendet man das Wort RADAR<sup>1)</sup> dafür an.

Der Vollständigkeit halber muß noch erwähnt werden, daß die Grundverfahren nach den Bildern 3 und 4 auch mit großer Basis möglich sind und für Spezialzwecke auch so verwirklicht wurden.

### Verbundene Grundverfahren

Jedes der beschriebenen Grundverfahren kann zur Lokalisierung eines makroskopischen Objektes nur einen Koordinatenwert beisteuern, was in den seltensten Fällen genügt. Meist werden alle drei Koordinatenwerte für eine eindeutige Lagebeschreibung im Raum verlangt, wozu unter Umständen noch Angaben über die Geschwindigkeit des georteten Gegenstandes kommen sollen. Zur Lösung dieser Aufgabe müssen die Grundverfahren miteinander verbunden werden. Berücksichtigt man, daß die technische Ausführung einer solchen Verbindung je nach Wahl des Wellenbereiches, der von den kürzesten Zentimeterwellen bis zu größten Längstwellen reichen kann, in wenigstens fünf hochfrequenzmäßig verschiedenen Mustern möglich ist und daß für die Messung und Anzeige der Laufzeitdifferenz ebenfalls wenigstens fünf verschiedene Verfahren betrachtet werden müssen, so begreift man die verwirrende Fülle der schon heute vorgeschlagenen oder ausgeführten Verfahren und Anlagen der Funkortung.

Da ähnliche Kombinationsprobleme auch in anderen Zweigen der Technik auftreten, hat F. Zwickly am California Institute of Technology eine eigene Untersuchungsmethodik hierfür ausgebildet, die „Morphologie“. Sie hat sich vor allem bei der Festlegung der Entwicklungsrichtlinien für die amerikanische Luftfahrtforschung bewährt [2]. Die Grundzüge einer analogen Betrachtungsweise für die Funkortung wurden vom Verfasser ausgearbeitet [3].

Eine umwälzende Bedeutung für mannigfache Aufgaben im Krieg wie im Frieden erhielten kombinierte Anlagen der

Grundverfahren nach den Bildern 2, 3 und 4. Sie liefern von einem einzigen Gerät aus die Entfernung und die Richtung, oft auch den Höhenwinkel eines Zieles. Das sind die eigentlichen Radargeräte.

Weitere Verbindungsmöglichkeiten ergeben sich durch die Art der Aufstellung mehrerer, funktionell miteinander verketteter Anlagen. Es sind bereits verschiedene Vorschläge bekannt [4], um beinahe für jeden denkbaren Verwendungszweck die Ortung mit den am besten geeigneten Koordinaten durchführen zu können. Die für die Funkortung benutzten Linien gleicher Ortungswerte werden bei [1] Isodromen, bei [4] Isophasen genannt.

### Anwendungen der Funkortung

Man unterteilt die Anwendungsgebiete der Funkortung zweckmäßig in

- a) Forschung,
- b) Luftverkehr,
- c) Handelsmarine,
- d) Luftwaffe,
- e) Kriegsmarine,
- f) Landstreitkräfte.

Bei b) und c) soll einer möglichst großen Zahl von Verkehrsteilnehmern eine einfache und sichere Navigation nach einheitlichen Verfahren und Geräten gewährleistet sein. Man kann diese Aufgaben als die „offene Ortung“ bezeichnen. Demgegenüber bemüht man sich bei der taktischen Ortung nach d) ... f), die Auswertung von Ortungssignalen durch einen begrenzten Personalstamm nur eigener Einheiten möglich zu machen, das Erfassen von eigenen Zielen durch den Gegner mit Tarnung, Täuschung oder Störung zu beeinträchtigen und die gegnerischen Verfahren für eigene Zwecke auszunützen. Es leuchtet ein, daß die technische Ausführung einer Anlage je nach der gestellten Aufgabe bei gleichbleibendem physikalischem Arbeitsprinzip außerordentlich verschieden sein kann. So stellt sich jede Anlage als ein Kompromiß aus einer Vielzahl einander häufig widersprechender Forderungen dar; es bleibt der Kunst des Konstrukteurs und der Einsicht der Auftraggeber überlassen, ob man einen solchen Kompromiß als wohl gelungen bezeichnen kann. Darüber hinaus muß berücksichtigt werden, daß die Vielzahl der bereits gebauten Boden- und Bordanlagen zur Zurückhaltung bei Vorschlägen für neue, abweichende Verfahren zwingt.

Übersichtlicher liegen die Verhältnisse zur Zeit noch bei den Geräten der Gruppe a). Man unterscheidet die einzelnen Ortungsobjekte nach ihrem Abstand vom Erdmittelpunkt und beginnt mit der Erforschung der Erdoberfläche nach dem Rückstrahlverfahren. Genaue Einzelheiten darüber sind zwar kaum erhältlich; verschiedenen Ortes wird an diesem Problem mit solcher Intensität gearbeitet, daß ein Erfolg kaum ausbleiben kann. Über der Erdoberfläche bilden die Blitze und Wolken die nächstgelegenen Ortungsobjekte. Die Peilung von Blitzentladungen auf große Entfernungen mit Längstwellenpeilern und Sichtanzeige wird vor allen Dingen in England betrieben. Radarstationen zur Beobachtung der Gewitter-, Tornado- und Taifuntätigkeit liefern laufend wertvolle Angaben und ermöglichen vor allen Dingen eine Warnung für die von Unwettern bedrohten Zonen. Dies Problem ist jedoch in Europa weniger vorrangig. Weitgehend eingeführt hat sich die Ortung von Meßballonen, sei es durch Peilung von Radiosonden, wie besonders in Frankreich und seinen Kolonien, sei es mit Radargeräten.

In der Hochatmosphäre bilden die bei der Verdampfung von Meteoriten entstehenden Schläuche ionisierter Partikel sehr interessante Ortungsobjekte, denen sich verschiedene Forschergruppen widmen. Die Ortung der Meteoriten selbst scheint bisher noch nicht gelungen zu sein. Nach Entwicklung von Sondergeräten könnten vielleicht überdurchschnittlich große Meteoriten aufgefaßt werden.

Die ionisierten Schichten der Heavideschicht sind wegen ihrer Bedeutung für die Nachrichten- und Funkortungsdienste schon seit langem Gegenstand eingehender Registrierungen

<sup>1)</sup> Radio Detecting and Ranging (Funkmeßverfahren).

in allen Kulturländern. Historisch verdient festgehalten zu werden, daß die Ionosphärenforscher das Grundverfahren der hochfrequenten Entfernungsmessung lange vor den militärischen Stellen zur Betriebsreife entwickelt hatten.

Unter den extraterrestrischen Ortungsobjekten liegt uns der Mond am nächsten. Seine Eigenstrahlung konnte bereits registriert werden. Auch seine Rückstrahlung wurde und wird immer häufiger auf dem Bereich der Meter- und Kurzwellen nachgewiesen, neuerdings sogar schon von Amateuren. Die Planeten und Planetoiden sind für die derzeit bekannten Radargeräte noch nicht erreichbar, dürften aber mit besonders hierfür entwickelten Geräten beim heutigen Stand der Technik schon auffaßbar sein [5]. Als radiofrequente Strahlungsquelle schon störender Intensität wurde die Sonne festgestellt.

### Galaktische<sup>2)</sup> und extragalaktische Objekte

Mit zu den reizvollsten und dankbarsten Aufgaben, die der Funktortung derzeit von der Forschung gestellt werden, gehört die Entwicklung von Antennen und Empfängern für radiofrequente Strahlungen aus dem Weltall. Dabei gelingt es, bis zu Entfernungen von Millionen von Lichtjahren vorzustoßen, die bis vor kurzem der klassischen Astronomie vorbehalten waren. Die äußerst geringen Strahlungsintensitäten erforderten die Entwicklung von neuartigen Schaltungen mit Rauschkompensation; ein solches Gerät geht auch in Deutschland gerade der Vollendung entgegen. Zusätzlich werden Antennenanordnungen möglichst hohen Auflösungsvermögens verlangt, die in ihren Abmessungen diejenigen der Kriegsjahre noch übertreffen. In England ist der allseitig schwenkbare 80-m-Parabolspiegel baulich bereits weit vorangekommen, in Holland beginnt man mit dem Bau eines hochwertigen 25-m-Spiegels und in Deutschland werden sehr erfolgversprechende Anstrengungen zur Finanzierung eines ähnlichen Projektes gemacht, dessen technische Einzelheiten bereits weitgehend festliegen. Da man an diese „Radioteleskope“ Genauigkeitsforderungen von insgesamt etwa einer Bogenminute stellen muß, sind in der Entwicklung sowohl mechanisch wie elektrisch sehr beachtliche Forderungen zu bewältigen. Hinzu kommt noch der Wunsch, die Anlagen über möglichst große Frequenzgebiete verwenden zu können, was durch Auswechseln der Antennenelemente und eine gewisse Abstimmbarkeit der Empfänger erreicht werden kann.

Neben den Spiegeln existieren verschiedene, technisch sehr interessante Astropeller aus Einzeldipolen, z. B. der Seepeiler an der Küste von Dover Heights in Australien, der die Rückstrahlung von der Meeresoberfläche noch ausnützt, das Mehrstrahl-Interferometer von Potts Hill Reservoir, das eine lineare Aneinanderreihung von 32 Spiegeln auf einer Gesamtlänge von 217 m enthält, der aus 48 Spiralantennen aufgebaute Astropeller der Ohio-Universität und die Interferometer von Cambridge. Verschiedene aussichtsreiche Verfahren zur Vergrößerung der Basis auf 10 km und darüber hinaus sind bekannt, so daß man sich allmählich der durch die Inhomogenitäten der Atmosphäre bedingten natürlichen Auflösungsgrenze nähert.

Aus der Reihe der Neuerkenntnisse ist die Lokalisierung von etwa 100 diskreten Strahlungsquellen hervorzuheben, von denen man einige Systemen außerhalb der Milchstraße zuordnet, die mehrere Millionen Lichtjahre von uns entfernt sind. Der untersuchte Frequenzbereich geht von 25 cm bis zu 16 m.

Die galaktische Strahlung ist vor allem durch das Auftreten der interstellaren Wasserstofflinie mit 21,2 cm Wellenlänge, also der Frequenz 1420 MHz bemerkenswert. Da es gelungen ist, an ihr den Doppler-Effekt nachzuweisen, konnte man die lange unbeantwortet gebliebenen Fragen nach der Struktur und dem Rotationssinn unseres Milchstraßensystems klären. Es hat sich ergeben, daß die vermutete Spiralstruktur im Verlauf von zwei Spiralarmen eindeutig zu erkennen ist und daß die Spiralen mit vorausgehender konvexer Seite der Spiralarme rotieren. Bei diesen

Untersuchungen hat in Holland ein mit neuen Empfangsgeräten ausgerüsteter deutscher Würzburg-Riese-Spiegel, von dem insgesamt 1500 Stück gebaut worden waren, wertvolle Dienste geleistet (Bild 5).

### Schiffsfunktortung

Tafel 1 und 2 geben eine Übersicht über die für offene und taktische Schiffs- und Flugfunktortung gebräuchlichen Anlagen, und zwar danach eingeteilt, ob mit ihnen nur die Richtung des Ortungsobjektes in bezug auf einen Bodensender festgestellt oder seine Position bestimmt wird. Weiter wird in Tafel 1 und 2 unterschieden, ob sich an Bord des Schiffes oder Flugzeuges ein für die Ortung notwendiger Sender befindet (aktives Bordgerät) oder nicht (passives Bordgerät).

Von der Vielzahl der in Tafel 1 aufgeführten Anlagen sind für die Schiffsfunktortung zur Zeit nur wenige von Bedeutung. An den Küsten steht für Anforderungen das Netz

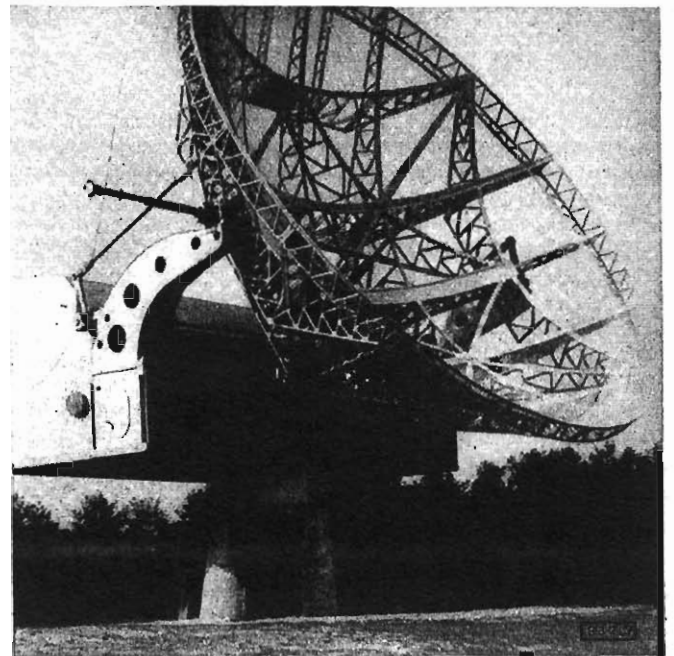


Bild 5. Holländisches Radioteleskop. Als Antenne dient der Spiegel eines ehemaligen deutschen Würzburg-Riese-Gerätes, von dem für die Nachtjagd 1500 Stück gebaut wurden (Aufnahme des Verfassers).

der Bodenpeilstationen in Bereitschaft. Kurzwellen-Adcockpeiler mit besonders günstigen Betriebseigenschaften wurden kürzlich in Deutschland entwickelt [6]. Der für größere Schiffe vorgeschriebene Bordpeiler, von dem viele tausend in Betrieb stehen, wurde in Deutschland ebenfalls verschiedentlich gebaut, wobei alle neueren Fortschritte der Hochfrequenztechnik berücksichtigt sind. Dabei zeichnet sich deutlich das Bestreben ab, von der bisher allein vorherrschenden akustischen Peilung abzugehen und auch Geräte einzuführen, die das Peilergebnis ohne Zwischenschaltung des menschlichen Ohres auf einer Skala anzeigen, tunlichst auch mit der Möglichkeit, die Qualität der Peilung beurteilen zu können. Diese Neuerungen finden nicht nur Fürsprecher, wodurch den zuständigen Behörden schwierige Entscheidungen auferlegt werden. Für kleinere Schiffe, die gesetzlich nicht zur Installation eines Bordpeilers verpflichtet wären, gibt es ebenfalls geeignete Baumuster.

Allgemein eingeführt hat sich die Navigation nach Consolstationen. Derartige Anlagen sind in Betrieb bei: Stavanger (Norwegen), Bushmills (Irland), Ploneis (Frankreich), Lugo und Sevilla (Spanien). Die Consolsignale können, wenn man eine längere Beobachtungszeit in Kauf nimmt, mit dem auf jedem Schiff vorhandenen Bordempfänger aufgenommen werden. Neuerdings bietet man Hilfsgeräte an, die dem Beobachter das lästige Mitzählen der Consolsignale abnehmen oder doch sehr erleichtern. Andere Mängel, die in der nicht für zivile Zwecke entwickelten Antennenanordnung begründet

<sup>2)</sup> galaktisch = zum Milchstraßensystem gehörig.



Tafel 1. Übersicht über Funkortungsanlagen ohne Entfernungsmessung.

Reichweite	aktives Bordgerät	passives Bordgerät (kein Ortungssender an Bord)			
	Bodenpeiler	Kreisfunkfeuer	Richtfunkfeuer	Drehfunkfeuer	Hyperbelketten
Große Reichweiten	Adcock	starke Funkfeuer für Bordpeiler und Radiokompaß Zielanfluggeräte	Radio-Range	Consol Consolor	Standard-Loran LF-Loran SS-Loran Decca- Navigator Gee Rana/Lorac Dick Turpin Bodentrue Ingolstadt
	Brommy Wullenweber		Elektra	Navaglobe POPI Goldweber Orfordness Telefunken- Kompaß Komet	
Mittlere Reichweiten	Drehrahmen Kreuzrahmen UKW-Peiler für Triangulation Korfu Flammen-Freya	mittlere Funkfeuer Abwurf-sender für Zielmarkierungen: Schwan Notsender: Sarah	VAR	VOR Bernhard Erika Erich Hermine Mond Sperry John Gilpin MTR Navar	Raydist
			Knickebein X-Verfahren		
Kleine Reichweiten	ZZ-Verfahren	Platzfunkfeuer	SBA ILS ONERA Sperry		

liegen, könnte man durch deren Umbau beseitigen (Consolor), doch haben sich die zuständigen Stellen hierzu noch nicht entschließen können. Obwohl dieses Verfahren deutscher Herkunft ist, war es Deutschland nach Kriegsende nicht gestattet, eine eigene, moderne Anlage zu errichten; gleichwohl werden die Bemühungen dazu nicht aufgegeben.

Anlagen zur Positionsbestimmung sind die auf der Grundlage der Hyperbelnavigation arbeitenden Systeme DECCA und LORAN<sup>3)</sup>. Für das Decca-Navigator-System sollen in Europa 9 Ketten zu je einem Leit- und drei Nebensendern errichtet werden. In Betrieb sind die südwestbritische, nordbritische, englische, dänische, deutsche und die französische Kette.

Die Schifffahrt wendet vor allem die ersten vier Ketten an und hat bereits weit über 1000 Bordgeräte in Betrieb genommen. Die Benutzungsgebühren liegen allerdings recht hoch, und die Möglichkeit von Ausbreitungs- und Ablesungsfehlern beeinträchtigt die grundsätzlich sehr hohe Ortungsgenauigkeit, die unter günstigen Umständen wenige Meter beträgt.

Die Hyperbelketten des amerikanischen Loran-Verfahrens sind im Nordatlantik und im Stillen Ozean in Betrieb und werden allenthalben für die Ortung ausgenützt. Zu den alten Bordempfängern aus den Kriegsjahren sind zahlreiche moderne Ausführungsformen verschiedener Firmen hinzugekommen, so daß Loran unter den Hyperbelsystemen unstrittig seine führende Rolle beibehält. Für Vermessungszwecke bei Erdölbohrungen unter dem Meeresspiegel haben sich die Spezialapparaturen des auf französische Gedanken zurückgehenden Lorac-Verfahrens sehr bewährt [7].

Radargeräte aller Art sind bei Kriegsmarinen längst unentbehrlich geworden und führen sich auch in der Handels-schifffahrt immer mehr ein. Offen ist noch die Frage, ob die 10-cm- oder die 3-cm-Welle vorzuziehen sei, weshalb die größten Passagierschiffe Geräte beider Wellenlängen mitführen [8]. Land-Radarstationen zur Hafenkontrolle wurden verschiedentlich errichtet, z. B. in Liverpool, Le Havre und Ymuiden. Durch extrem kurze Impulse (0,1 ... 0,01 µs) und schärfste Bündelung erreichte man damit gestochen scharfe Schirmbilder. Dennoch legen die hohen Aufbau- und Unterhaltungskosten dieser Stationen den Hafenbehörden offensichtlich noch starke Zurückhaltung auf. In Deutschland laufen schon längere Zeit orientierende Versuche über die Betriebseigenschaften solcher Anlagen. Ein Beispiel für die Qualität von Schirmbildern bei Schiffsgeräten geben die Reihenaufnahmen (Bild 6), die man ein Radarmosaik nennt.

<sup>3)</sup> Long Range Aid to Air Navigation (Fernbereichs-Navigationsanlage nach dem Impuls-Hyperbelverfahren).

Tafel 2. Übersicht über Funkortungsanlagen mit Entfernungsmessung.

Reichweite	kein Bordgerät	aktives Bordgerät (Sender an Bord)		
	Echos von Bord Anstrahlung von Boden	Echos von Bord oder Boden Anstrahlung von Bord	Abfrage von Bord zu Boden	Abfrage von Boden zu Bord
Große Reichweiten	Fernsuchergeräte für Luftverkehrs-kontrolle und Flugwarn-dienst: Thomson-Houston SFR Bendix General-Electric Wassermann Mammut Elefant	Stratoradar		Fernleitver-fahren Oboe
				Radio Mailles
Mittlere Reichweiten	Radargeräte für Jäger-führung, Zieleinwei-sung und Feuerleitung: Jagdschloß Würzburg Freya Kulmbach Marbach Mannheim Barbara SCR 584 Grüne Wiese	Schiffsradar-geräte für Navigation, Flugmelde-dienst, Jäger-führung und Feuerleitung: Seetakt, Berlin Flugzeug-Bodenbetrach-tungsgeräte: Rotterdam Meddo, Berlin Flugzeug-Auf-klärungsgeräte: Hohentwiel ASV	Shoran Ratran DME  ARL Sperry Lanac Condor  Micro-H Gee-H Rebecca-H Baldur	Y-Verfahren  Erstling-Gemse IFF  Radio Mailles
Kleine Reichweiten	GCA AMJ	Jäger-Such- und Warngeräte: Lichtenstein Neptun  Schießergeräte: Elfe Höhenmesser Näherungs-zünder	BABS	Navaglide Westing-house Teleran  Radio Mailles

**Flugfunkortung**

Der Flugfunkortung sind, wenn man von rein taktischen Forderungen absieht, folgende Aufgaben gestellt:

- Fernnavigation,
- Streckennavigation,
- Landehilfen,
- Luftverkehrskontrolle,
- Kollisionsschutz.

Zu ihrer Bewältigung können die vorstehend beschriebenen Anlagen aus Tafel 1 unter entsprechender Abwandlung mit herangezogen werden. So führen viele Flugzeuge für Eigenpeilungen den Radiokompaß mit, große Maschinen sogar zwei. Seine Abmessungen sind erstaunlich klein geworden. Für die Decca-Ketten wurde das Flight-Log (Flugwegschreiber) entwickelt, bei dem durch einen Schreibstift der zurückgelegte Weg laufend auf eine Spezialkarte eingezeichnet wird [9, 11]. Bisher standen allerdings hauptsächlich Erprobungsmuster zur Verfügung, so daß noch abzuwarten bleibt, wie stark die Nachfrage nach diesem Schreibgerät tatsächlich werden wird. Denn die aus den USA kommende Streckennavigation nach den VOR-Drehfunkfeuern<sup>4)</sup> hat bereits einen solchen Umfang erreicht, daß ihre Ablösung durch die Decca-Ketten nicht in Betracht kommt. So arbeiten in den Vereinigten Staaten von Amerika über 400 VOR-Bodenstationen, und für Europa sind etwa 70 Bodenstellen geplant. Die modernsten davon stammen aus deutscher Fertigung und sind mit der charakteristischen Käfigantenne ausgerüstet, z. B. auf den Flughäfen von Frankfurt und Düsseldorf [10]. Daß noch eine Vielzahl sonstiger Funkfeuer aller Art besteht, kann hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden [1];

<sup>4)</sup> VOR = Very High Frequency Omni-Directional Radio Range (UKW-Drehfunkfeuer).

dabei ist dem Schlechtwetter-Landeverfahren ILS<sup>5)</sup> die größte Beachtung beizumessen.

Das Gegenstück zum ILS-Verfahren<sup>6)</sup> ist GCA<sup>6)</sup>, bei dem der Pilot „heruntergesprochen“ wird. Die außerordentlich kostspieligen Anlagen bestehen aus einem Rundsuchgerät mittlerer Reichweite [SRE<sup>7)</sup>] und einem weiteren Gerät für Höhen- und Seitenpeilung [PAR<sup>8)</sup>]. Aus Sicherheitsgründen muß der PAR-Teil einen doppelten Sender-Empfänger-Satz enthalten, damit bei plötzlichen Betriebsstörungen sofort umgeschaltet werden kann. Sehr moderne Anlagen werden voraussichtlich in diesem Jahr auf zwei deutschen Flughäfen installiert werden können. Zur Zeit sind in Deutschland nur ältere GCA-Anlagen aus amerikanischen Wehrmachtsbeständen vorhanden.

Zusätzlich sollen auf Flughäfen nun auch AMI-Anlagen<sup>9)</sup> verwendet werden. Man versteht darunter Rundsuchanlagen mit außerordentlich großer Auflösung, die durch Verwendung kürzester Wellenlängen und Impulse erreicht wird. Dadurch wird es möglich, große Rollfelder auf dem Radarschirm zu überwachen. Die verschiedenen Versuchsgeräte haben bewiesen, daß man damit die einzelnen Maschinen gut unterscheiden und sogar Menschen oder auch Vögel auf dem Bildschirm wahrnehmen kann [1]. Da in der Unfallstatistik nach den Unfällen beim Landeanflug diejenigen beim Rollen und beim Start am häufigsten sind, möchte man hoffen, daß durch die Rollfeld-Überwachungs-Radargeräte die Sicherheit weiter erhöht werden kann.

Besonders große Auflösung wird auch von den Bordgeräten zum Absuchen des Luftraums in der näheren Umgebung (10 ... 25 km Entfernung) verlangt. Sie sind für die Zivilluftfahrt als Kollisionsschutz grundsätzlich wohl geeignet, werden aber aus finanziellen und Gewichtsgründen kaum irgendwo eingebaut. Bei den Luftwaffen dienen sie zum Aufspüren von gegnerischen Maschinen und sogar als Schießgeräte. Man verwendet hierfür schon Millimeterwellen und erreichte im Koreakrieg dadurch beachtliche Erfolge.

Die elektrischen Höhenmesser sind selbstverständliche Ausrüstungsgegenstände aller größeren Maschinen geworden und wichtige Hilfen für die isobarische Navigation. Bodenbetrachtungsgeräte haben entgegen mancherlei hochgespannten Erwartungen in der Zivilluftfahrt keinen Eingang finden können und sind ausschließlich in Militärmaschinen vorhanden, häufig mit Einrichtungen zur Bakenabfrage. Einfache Geräte zur Entfernungsmessung von Bord aus [DME<sup>10)</sup> oder Eureka-Rebecca] führen sich dagegen zunehmend ein und werden sicherlich in einigen Jahren auch zur Standardausrüstung ziviler Flugzeuge gehören.

Ungelöst ist noch immer das Kennungsproblem, da keiner der technisch zu verwirklichenden Vorschläge sich bisher

- 5) ILS = Instrument Landing System (Instrumenten-Landeanlage).  
 6) Ground Controlled Approach System (Anlage zum Anflug unter Bodenkontrolle).  
 7) Surveillance RADAR Element (Rundsuch-Radargerät).  
 8) Precision Approach RADAR (Präzisions-Anflug-Radargerät).  
 9) AMI = Airfield Surface Movement Indicator.  
 10) Distance Measuring Equipment (Entfernungsmeßgerät).

durchsetzen konnte. Einen gänzlich neuen Gesichtspunkt zu dieser Frage bringt [4], doch ist es mangels jeglicher praktischer Erfahrungen mit diesem Verfahren fraglich, ob es in den derzeitigen weltweiten Planungen berücksichtigt werden wird.

Eindrucksvoll ist der Fortschritt auf dem Gebiet der Fernsuchanlagen. Als Beispiel sei das Gerät in Paris-Orly angeführt, das Ziele bis 300 km Entfernung mit Sicherheit erfaßt. Seine technischen Kenngrößen sind: 2700 ... 2900 MHz, im Betrieb verstimmbar; Impulsspitze 600 kW; 1 µs Impulsdauer; 10 m Antennenspiegel-Durchmesser; 6 Antennendrehungen/min. Das Schirmbild kann auf 12 Tochterrohre beliebig verteilt werden. Zur Ausblendung störender Festzeichen ist ein umfangreicher, sehr wirksamer MTI-Zusatz<sup>11)</sup> angeschlossen. Der gestellten Aufgabe genügt die Leistung des Gerätes vollkommen. Für weitergehende Ansprüche im Flugwariendienst dürfte man mit erhöhter Sendeleistung und umgestalteten Antennen bei gleichzeitig verringerter Drehzahl in Ortungsbereiche von 400 oder 500 km Radius vorstoßen können.

Auf die mit der Fernlenkung zusammenhängenden Ortungsprobleme [12] einschließlich zielsuchender Köpfe und Näherungszünder kann hier nur hingewiesen werden, ebenso auf die nahezu selbstverständliche Möglichkeit, die beschriebenen Geräte an Land für Expeditionen, Artillerievermessungsaufgaben und Vorfeldüberwachung einzusetzen.

### Zusammenfassung

Die Vielzahl der Verfahren und Anlagen der Funkortung von Zielen auf, über und unter der Erdoberfläche wurde im Hinblick auf das physikalische Arbeitsprinzip, die Arbeitsreichweite, die Geräteanordnung und die Anwendungsgebiete untersucht. Ausgewählte Problemstellungen, besonders in der Schifffahrt und Luftfahrt, wurden näher erörtert.

### Schrifttum

- [1] W. Stanner: Leitfaden der Funkortung. 3. Aufl. Elektron-Verlag, Garmisch-Partenkirchen 1953. S. 9 ... 24.  
 [2] F. Zwickly: Morphology of Aerial Propulsion. Helvetica phys. Acta Bd. 21 (1948) S. 299 ... 340.  
 [3] W. Stanner: Morphologie der Funkortung. Elektron in Wiss. u. Technik. Bd. 3 (1949) S. 327 ... 328.  
 [4] P. C. Gaudillière: Un Système de Base pour la Radio-Navigation „Radio-Mailles“. Navigation (Paris) Bd. 1953, S. 45 ... 56.  
 [5] B. Lovell und J. A. Clegg: Radio-Astronomy. Chapman & Hall Ltd., London 1952.  
 [6] A. Troost: Neuentwicklung von Kurzwellen-Adcock-Peiltern. Telefunken-Ztg. Bd. 25 (1953) S. 16 ... 27.  
 [7] G. Leifson: Hyperbolic Positioning Systems for Hydrographic Surveys. Intern. Hydrograph. Rev. Bd. 30 (1953) S. 19 ... 28.  
 [8] F. J. Wylie: The Use of Radar at Sea. 2. Aufl. Hollis & Carter, London 1953.  
 [9] The Decca Navigator Aircraft Equipment. Gerätebeschreibung der Decca Navigator Company Ltd., Brixton Road, London SW 9. Ausgabe Januar 1953.  
 [10] E. Kramar: Moderne Funknavigationsverfahren für Strecke und Landung. VDE-Fachber. Bd. 17 (1953) S. V/18 ... V/22.  
 [11] E. Roessler: Hyperbel-Navigation in Deutschland. ETZ Bd. 72 (1951) S. 567 ... 572.  
 [12] F. Müller: Fernlenkung fliegender Objekte. ETZ-A Bd. 73 (1952) S. 739 ... 744.

11) MTI = Moving Target Indication (Radar-Festzeichenlöschung).



Bild 6. Radarmosaik der Weser.