

Elektronische Distanzmessgeräte

Autor(en): **Matthias, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie**

Band (Jahr): **57 (1959)**

Heft 2

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-215205>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie

Revue technique Suisse des Mensurations, du Génie rural et de Photogrammétrie

Herausgeber: Schweiz. Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik; Schweiz. Kulturingenieurverein; Schweiz. Gesellschaft für Photogrammetrie

Editeur: Société suisse des Mensurations et Améliorations foncières; Société suisse des Ingénieurs du Génie rural; Société suisse de Photogrammétrie

Nr. 2 · LVII. Jahrgang

Erscheint monatlich

15. Februar 1959

Elektronische Distanzmeßgeräte

Von H. Matthias, dipl. Ing., Aarau

Bemerkung der Redaktion

In vielen Ländern ist in den letzten Jahren die elektronische Distanzmessung stark entwickelt und für zahlreiche praktische Aufgaben eingesetzt worden. Wenn auch in unserm Land ein unmittelbares Bedürfnis für die Anwendung der Methode nicht besteht, weil wir über sehr gute geodätische Grundlagen verfügen, so muß doch der neuen Meßmethode größte Aufmerksamkeit geschenkt werden, ist doch damit zu rechnen, daß sie in absehbarer Zeit auch bei uns Anwendung finden wird.

Um den schweizerischen Vermessungskreisen einen Überblick über die heutigen Methoden zu geben, hat im Auftrag der Redaktion Herr Ing. H. Matthias den nachfolgenden Aufsatz verfaßt. Die Arbeit bietet den Eingeweihten keineswegs etwas Neues, mag aber als Überblick nützlich sein.

1. Einleitung

Instrumente und Methoden der elektronischen Distanzmessung werden seit ungefähr zehn Jahren im Vermessungswesen erprobt und immer häufiger und in größerem Umfang angewendet. Auf Grund der Resultate und der Erfahrungen bei der praktischen Arbeit darf als Tatsache angenommen werden, daß es im geodätischen Instrumentenpark heute Geräte gibt, mit denen alle möglichen Distanzen im Bereich von 0,5 bis 50 km und darüber hinaus bis zu 300 km und noch mehr mit der erforderlichen Genauigkeit direkt gemessen werden können. Dieser Umstand erweitert die Möglichkeiten des Vermessungswesens gegenüber früher in außerordentlichem Maße.

Der vorliegende Bericht versucht, unter Vermeidung von Details, dem Leser einen Überblick über die verschiedenen Instrumente und Ver-

fahren zu geben, mit Hinweisen auf die Entwicklung, das Prinzip, die praktische Arbeit, den Meßbereich und die Genauigkeit, mit Angaben über Anwendungsmöglichkeiten und durchgeführte praktische Arbeiten sowie mit Vergleichen zwischen den einzelnen Verfahren.

2. Allgemeines

In diesem Abschnitt ist von einigen Problemen die Rede, die, unabhängig von den Methoden im einzelnen, bei der elektronischen Distanzmessung eine Rolle spielen.

Bei allen Verfahren wird auf Grund der Kenntnis der Fortpflanzungsgeschwindigkeit v elektromagnetischer Wellen, beziehungsweise des Lichtes in der Luft, die Länge der Bahnkurve dieser Wellen zwischen den beiden Endpunkten der zu messenden Strecke ermittelt. Die Generalversammlung 1957 der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik in Toronto beschloß, den Wert von $c = 299\,792,5$ km/s für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen im Vakuum zur allgemeinen Verwendung im Vermessungswesen zu empfehlen, nachdem die Internationale Union für wissenschaftliche Radiotelegraphie in demselben Jahr diesen als für sich gültig erklärt hat. Es besteht guter Grund zur Annahme, daß dieser Wert auf rund $\pm 0,5$ km/s (beziehungsweise $\pm 2,10^{-6} \cdot c$) stimmt. Noch im zweiten Weltkrieg wurde bei Radarmessungen mit $c = 299\,774$ km/s gearbeitet, einem Wert, der hauptsächlich auf die Drehspiegelmessungen von *Michelson-Pease* zurückging. Die Festlegung des neuen Wertes erfolgte auf Grund von Bestimmungen in den Jahren nach 1948, einerseits im Laboratorium durch *Essen* nach der Resonatormethode und *Froome* mit dem Radiointerferometer und andererseits durch Vergleich langer, nach klassischen Methoden bestimmter geodätischer Distanzen, mit den entsprechenden elektronischen Messungen von *Bergstrand* mit seinem Geodimeter, von *Aslakson* mit dem Shorangerät und in neuester Zeit auch mit dem Tellurometer.

Für die Auswertung der Meßresultate muß aus der Wellengeschwindigkeit c im Vakuum die Wellengeschwindigkeit v bei den vorherrschenden meteorologischen Bedingungen der Luft berechnet werden. Es gilt $v = c \cdot N^{-1}$, wobei $N = \sqrt{\mu \cdot \epsilon}$ ist. Darin bedeuten N der Refraktionsindex, μ die magnetische Permeabilität und ϵ die Dielektrizitätskonstante der Luft. Für Vakuum sind $\mu = 1$ und $\epsilon = 1$. Diese beiden Größen, insbesondere aber ϵ und damit auch N , sind abhängig von der Luftfeuchtigkeit, vom Luftdruck und von der Temperatur sowie von der Frequenz der verwendeten Wellen. (Für einen Herbsttag zum Beispiel mit einer Temperatur von $9,6^\circ$ C, einem Barometerstand von 720 mm und einer relativen Feuchtigkeit von 75 % ergibt sich $N = 1,000308$ beziehungsweise $v = 299\,700,2$ km/s.) Die meteorologischen Daten können in der Regel nur an den beiden Endpunkten der zu messenden Strecke mit Hilfe von Psychrometer und Barometer gemessen und für die Berechnung von N gemittelt werden. Selten stehen weitere, längs der Meßstrecke aus Flugzeugen bestimmte Meßwerte zur Verfügung. Im günstigsten Fall ist an

der Distanz D , infolge der Unsicherheit der Erhebung der meteorologischen Daten, mit einem Fehler von $\pm 5,10^{-6} \cdot D$ zu rechnen. Dieser Faktor ist insbesondere bei langen Distanzen von Bedeutung. Ob bei der Berechnung des Refraktionsindex bei der Distanzmessung, einerseits mit Lichtwellen oder andererseits mit Zentimeter- und Meterwellen, der Abhängigkeit von der Frequenz Rechnung getragen wird, konnte nicht ermittelt werden.

Auch die Form der Bahnkurve der elektromagnetischen Wellen ist vom Refraktionsindex der durchmessenen Luftschichten abhängig. Sie ist aber nur für sehr lange Distanzen im Bereich über 100 km von Belang. Ihre Bedeutung ist dabei eine doppelte. Einerseits wird aus der Bogenlänge auf die Länge der Sehne geschlossen. Andererseits muß, wenn die meteorologischen Daten nur an den beiden Endpunkten der Strecke erhoben werden können, für die daraus gerechnete mittlere Wellengeschwindigkeit v infolge der Bahnkrümmung und der dadurch zur Wirkung kommenden Luftschichten eine Korrektur für v ermittelt werden. Die Reduktion auf die Sehne und die Korrektur an der Geschwindigkeit haben entgegengesetzte Vorzeichen. In der Regel wird die Bahnkurve durch einen Kreisbogen angenähert. Für das Licht wird bei der trigonometrischen Höhenmessung im allgemeinen mit einem Radius der Bahnkurve gearbeitet, der dem sechsfachen Erdradius entspricht. Die Bestimmung der Krümmung von Zentimeter- und Meterwellen stößt wegen der geringen Bündelung auf Schwierigkeiten; für 3-cm-Wellen wurde der vierfache Wert des Erdradius gefunden. Für Meterwellen, mit deren Hilfe die extrem langen Distanzen gemessen werden, schwankt der Radius zwischen dem sechsfachen beziehungsweise dreifachen Betrag des Erdradius bei trockener beziehungsweise feuchter Luft. Bei einer Meßdistanz von 500 km und feuchter Luft zum Beispiel beträgt die Reduktion auf die Sehne rund 15 m.

Je nach der Aufgabe, der die elektronisch gemessene schiefe Distanz dient, ist diese auf die geodätische Linie eines Ellipsoides oder in ein Kartenprojektionssystem zu reduzieren. Dazu bedarf es der Meereshöhe der beiden Endpunkte oder der Meereshöhe eines Punktes und des Höhenwinkels der Strecke sowie der geographischen Breite beider Punkte oder nur eines Punktes und des Azimutes der Strecke. Für die Richtigkeit der Reduktion ist dabei besonders die Genauigkeit der Höhenelemente von Bedeutung. Bei großen Distanzen und kleinen Höhenwinkeln genügen barometrische Höhenmessungen. Bei Distanzen unterhalb von 20 km und großen Höhendifferenzen werden Höhenwinkel benötigt. In extremen Fällen kann es vorkommen, daß infolge Refraktionsunsicherheiten die Reduktionsdaten die Genauigkeit der Distanzmessung beeinträchtigen. Soll die Strecke auf das Geoid reduziert werden, so sind zudem die Komponenten der Lotabweichung und die Lotkrümmung erforderlich. Bei mangelhafter Kenntnis dieser Elemente ist eine große Meereshöhe der Streckenendpunkte nachteilig. Immerhin dürften diese Beträge nur bei der hohen Genauigkeit kurzer Strecken von Bedeutung sein.

3. Impulsverfahren

Den Grundstein zu diesen Verfahren legten Ideen und Versuche, die in der Zeit von 1925 bis 1935 in den USA und in England durchgeführt wurden und mit Namen wie *Young, Hoyt, Page, Blair* und *Watson-Watt* zusammenhängen. Dabei gelang es, ausgesandte Impulse nach natürlicher Reflexion, zum Beispiel an einem Flugzeug, wieder zu empfangen. Darauf aufbauend, erfolgte, insbesondere auch durch die Bedürfnisse der Kriegstechnik gefördert, die rasche Entwicklung der

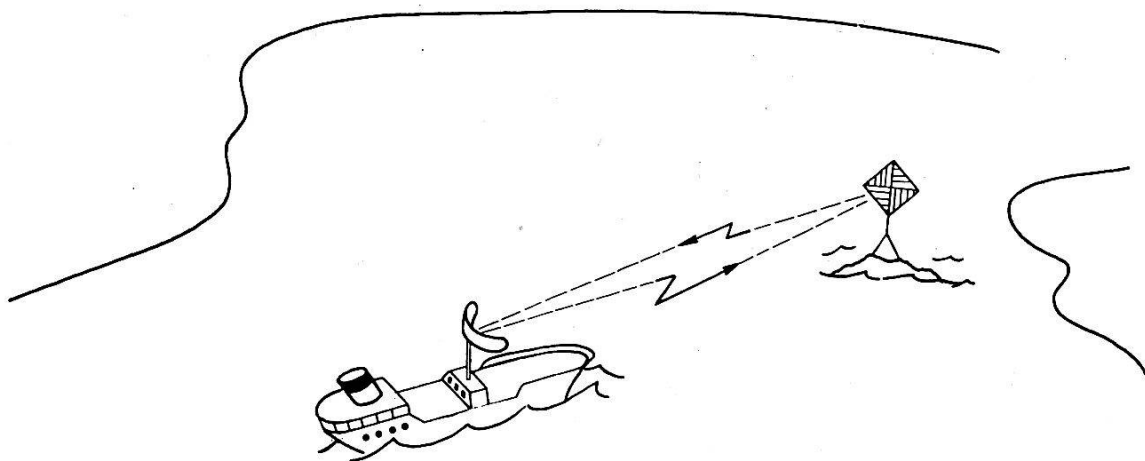


Abb. 1

A. Radarverfahren,

denen heute sowohl im zivilen als auch im militärischen Sektor, in der Technik der Navigation, der Beobachtung sowie der Fern- und Selbststeuerung zur See und in der Luft eine fundamentale Rolle zufällt. Radar ist die Abkürzung für Radio Detection and Ranging (Richtungs- und Distanzmessung mit Radiowellen). In diesem Zusammenhang interessiert nur die Distanzmessung.

Ein Sender, zum Beispiel auf einem Schiff (Abb. 1), sendet Impulse mit der Impulsfrequenz f_J aus. Diese durchlaufen, von einer Trägerwelle der Frequenz f_T getragen, den Weg zum Objekt, werden dort reflektiert und kehren zum Sender zurück. Die Laufzeit der Impulse für Hin- und Rückweg wird gemessen und damit und aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit die Distanz berechnet. Bei der Laufzeitmessung müssen sehr kurze Zeitabschnitte mit hoher Genauigkeit bestimmt werden. Bei einer Distanz von 150 km beträgt die Laufzeit für Hin- und Rückweg etwa 10^{-3} s. Soll diese Distanz auf 75 m genau bestimmt werden, so ist die Laufzeit auf etwa $2 \cdot 10^{-6}$ s genau zu erheben. Die Zeitmessung erfolgt mit Hilfe einer Braunschen Röhre (Abb. 2). Der Heizfaden emittiert Elektronen. Diese werden durch den Wehnelt-Zylinder und die Anoden angezogen und eng gebündelt auf den Leuchtschirm geschleudert, der am Auftreffort aufleuchtet. Durch Anlegen zweier um 90° phasenverschobener hochfrequenter Wechselspannungen der Frequenz f_w an je zwei Ab-

lenkplatten beschreibt der Elektronenstrahl auf dem Leuchtschirm einen Kreis, die sogenannte Zeitbasis, der pro Sekunde fw -mal umläuft. Im Impulskegel werden diesem Lichtkreis die Zacke S im Moment der Impulsaussendung und die Zacke E im Empfangsmoment überlagert. An der Skala wird der Winkel SE abgelesen, der zusammen mit der Frequenz fw ein Maß für die Laufzeit ergibt.

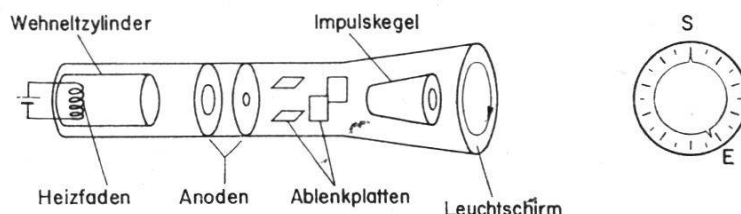


Abb. 2

Beispiel für technische Daten:

Trägerfrequenz $f_T = 200\text{--}300$ kHz, $\lambda = 1,5\text{--}1$ m,

Impulsfrequenz $f_J = 1,5$ kHz (1500 Schwingungen pro s),

Zeitbasisfrequenzen $fw = 1,5/15/150$ kHz.

Diese Frequenzen entsprechen einfachen Meßdistanzen von 100/10/1 Meilen.

f_J und fw sind so aufeinander abgestimmt, daß beim Durchgang des Lichtkreises durch den Nullpunkt der Skala ein Impuls ausgesendet wird. Nacheinander wird mit den drei angegebenen Zeitbasisfrequenzen fw gemessen. Bei $fw = 1,5$ kHz ergibt sich die einfache Meßdistanz in Bruchteilen von 100 Meilen. Die Distanzen müssen also auf 100 Meilen genau bekannt sein. Bei $fw = 15$ kHz beziehungsweise 150 kHz wird ermittelt, wie groß die Reststrecke, abgesehen von ganzen Vielfachen, in Einheiten von 10 Meilen beziehungsweise 1 Meile ist. Die Ablesungen werden dadurch immer genauer. Die Zacken S und E folgen sich so rasch auf dem Leuchtschirm, daß sie der Beobachter ständig aufleuchten sieht und damit mühelos ablesen kann.

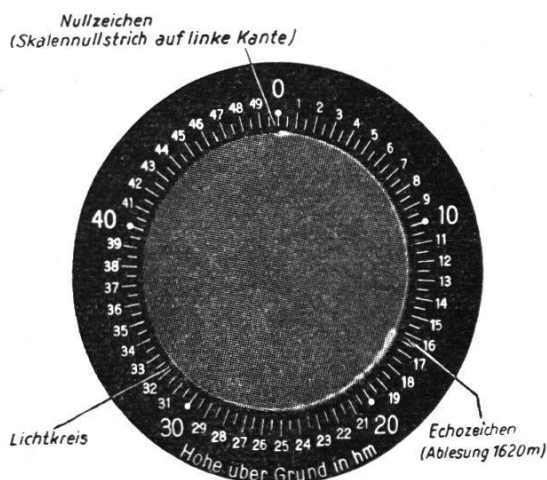


Abb. 3

In dieser Form – Objekt mit natürlicher Reflexion – hat das Radarsystem als Flughöhenmesser (Airborne Profile Recorder) in der Photogrammetrie Anwendung gefunden, wo man sich die derart gemessenen Flughöhen über Grund, zusammen mit Stoskopangaben, insbesondere bei der Aerotriangulation zu Nutzen macht.

Technische Daten

des elektrischen Höhenmessers FuG 103 von Zeiss aus dem Jahre 1938 (Abb. 3¹):

Trägerfrequenz $f_T = 25\,000$ kHz, $\lambda = 1,2$ cm,

Zeitbasisfrequenz $f_w = 30$ kHz (ein Lichtkreisumlauf entspricht einer Flughöhe von 5000 m),

Bündelung: $1,5^\circ$,

mittlere Flughöhen: etwa 3000 m,

mittlere Fehler der Flughöhen etwa $\pm 3-5$ m (hängt vom Gelände ab).

B. Das Shoran- beziehungsweise Hiranverfahren

Im Jahre 1943 wurde die Verwendbarkeit des Shoran-Blindfluggerätes für geodätische Messungen erstmals erkannt und führte 1945 zu den ersten entsprechenden Versuchen der United States Air Force im Gebiet von Denver. Shoran, die Abkürzung für Short Range Air Navigation, und Hiran, die Abkürzung für High Accurate Shoran, sind Namen für dasselbe Verfahren, wobei Hiran die Bezeichnung für ein aus Shoran weiterentwickeltes und verbessertes Instrumentarium ist. Einfachheits halber wird im Folgenden nur die Bezeichnung Shoran verwendet. Der hauptsächlichste Unterschied zwischen dem einfachen Radar- und dem genauern Shoran-Verfahren besteht darin, daß beim letzteren die ausgesendeten Impulse vom Zielobjekt nicht nur reflektiert, sondern empfangen, verstärkt und auf einer anderen Trägerfrequenz zurückgeworfen werden. Im wesentlichen gelten aber auch hier die Ausführungen des obigen Abschnittes.

Abbildung 4 zeigt die Shorananordnung zur Bestimmung der Distanz zwischen den Endpunkten E_1 und E_2 . Das Flugzeug S , in dem die Messung ausgeführt wird, trägt die Hauptstation. Die Endpunkte sind mit je einer Bodenstation (zum Beispiel Abb. 5²) besetzt. Die Hauptstation sendet Impulse auf den zwei Trägerfrequenzen f_{T_1} und f_{T_2} aus. Die Bodenstationen sind auf je eine der beiden Frequenzen abgestimmt; sie empfangen, verstärken und senden die Impulse auf einer gemeinsamen Frequenz f_{T_3} zurück, auf die nur der Empfänger der Hauptstation abgestimmt ist. Auf dem Schirm der Braunschen Röhre erscheinen drei Impulszacken, nämlich S für den Sendemoment und E_1 beziehungsweise

¹ Die Wiedergabe von Abbildung 3 erfolgt mit freundlicher Genehmigung und Unterstützung des Autors und der Schriftleitung des Aufsatzes von *K. Schwidofsky*, Elektrische und elektronische Verfahren im Vermessungswesen, Vermessungs-Technik, 1956/Nr. 7.

² Die Wiedergabe der Abbildungen 5 und 6 erfolgt mit freundlicher Genehmigung und Unterstützung des Autors und des Verlages der Publikation [4].

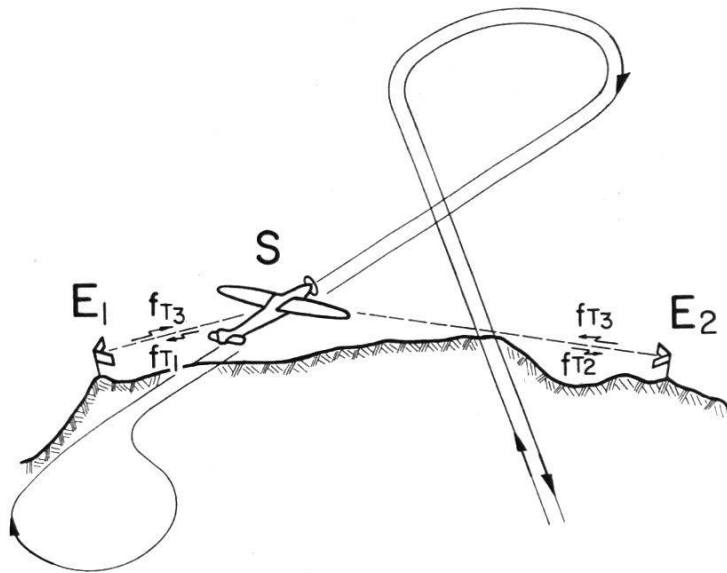


Abb. 4



Abb. 5

E_2 für die Echoimpulse von den beiden Bodenstationen. Durch Betätigen von zwei Phasenverschiebungsknöpfen bringt der Beobachter alle drei Zacken ständig zur Koinzidenz. Die Verdrehung der beiden Knöpfe ist ein Maß für die Winkel SE_1 und SE_2 auf dem Lichtkreis, und damit ist die Summe der Ablesungen an ihren Skalen, die in Längeneinheiten geeicht sind, gerade ein Maß für die Strecke $SE_1 + SE_2$.

Da das Flugzeug nicht senkrecht über der Meßstrecke stehenbleiben kann, wird diese in Achterschleifen (Abb. 4) überflogen, und zwar so, daß der Kurs mit der Meßstrecke einen Winkel von etwa 80° bildet, die eine Teilstrecke also kontinuierlich zu- und die andere Teilstrecke kontinuier-

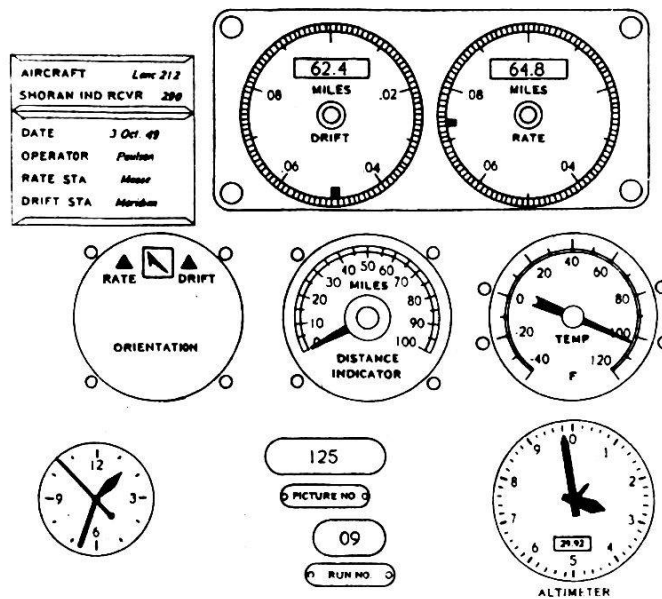


Abb. 6

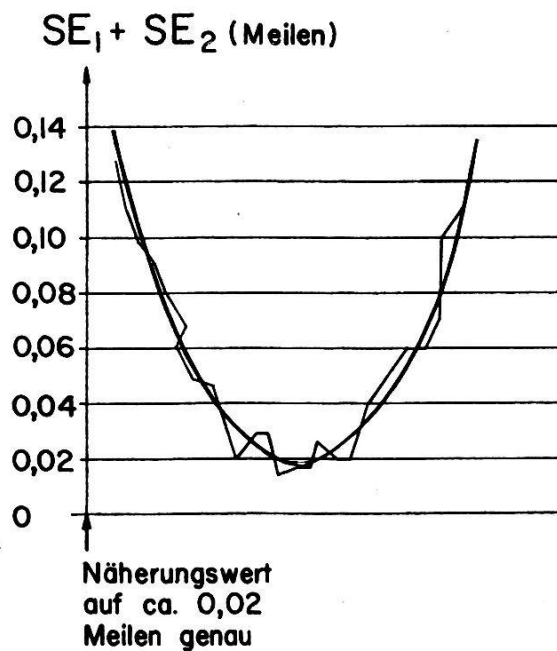


Abb. 7

lich abnimmt. Das Aussenden der Impulse erfolgt etwa während einer Zeit von 40 bis 50 Sekunden (etwa 7 km) vor und nach der Überfliegung. Der Beobachter sorgt durch fortwährendes Nachdrehen der beiden Knöpfe, daß die ihre Lage ständig verändernden Impulszacken in Koinzidenz bleiben. Alle 3 Sekunden werden die Armaturen photographisch regi-

striert (Abb. 6³). In dieser Weise führen in der Regel zwei Beobachter je einen Satz von vier Überfliegungen durch; das Mittel solcher Sätze wird als eine Shoranmessung bezeichnet, die an demselben Tag auf einer anderen Flughöhe oder an einem anderen Tag wiederholt wird. Die Auswertung der kinematographischen Aufnahmen ergibt für das Laufzeitdiagramm (Abb. 7) einen Streckenzug, der durch eine wahrscheinlichste Parabel ausgeglichen wird, deren Ordinatenminimum die Länge der Strecke $SE_1 + SE_2$ angibt. Alle Meßpunkte des Streckenzuges sind für die Form der Parabel und damit für die gesuchte Scheitelordinate maßgebend. Das Resultat einer Überfliegung kann also bereits als das Mittel einer großen Anzahl von Einzelmessungen betrachtet werden. Zu den bereits allgemein angedeuteten Reduktionen kommt hier noch die Reduktion der Streckensumme $SE_1 + SE_2$ auf die schiefe Sehne $E_1 E_2$ in Funktion der Flughöhe über den Bodenstationen hinzu.

Technische Daten (zum Beispiel):

Senderfrequenzen $f_{T_1} = 210$ kHz, $\lambda = 1,5$ m,

$f_{T_2} = 260$ kHz, $\lambda = 1,2$ m,

Empfangsfrequenz $f_{T_3} = 310$ kHz, $\lambda = 0,9$ m,

Impulsfrequenz $f_J = 931,09$ Hz,

Zeitbasisfrequenzen $fw = 93109/9310,9/931,09$ Hz.

Diese Frequenzen entsprechen einfachen Meßdistanzen von 100/10/1 Meilen.

Impulsdauer: 0,8 s,

durchschnittlich auf einmal gemessene Distanz: 350 km,

Maximaldistanz: etwa 750 km,

mittlere Fehler: etwa $\pm 10^{-5} \cdot D$ bis $\pm 2 \cdot 10^{-5} D$ (das heißt für 400 km etwa ± 5 –10 m). Das entspricht einer Zeitmeßgenauigkeit von etwa $2 \cdot 10^{-8}$ s,

Gewicht der Hauptstation: etwa 100 kg,

Gewicht einer Bodenstation: etwa 500 kg.

Die Hauptstation kann nicht gleichzeitig Impulse aussenden und empfangen. Da die Impulsfrequenz f_J einer einfachen Meßdistanz von 100 Meilen entspricht, ist es nicht möglich, Distanzen, die angenähert oder genau 100 Meilen betragen, zu messen. In solchen Fällen kann man sich unter anderem dadurch behelfen, daß die Meßstrecke außen überflogen wird. Die Entfernung $E_1 E_2$ ergibt sich dann als Differenz $SE_2 - SE_1$ der Teilstrecken. Da ferner die größte Zeitbasis 100 Meilen entspricht, müssen die Distanzen auf 100 Meilen genau bekannt sein.

Die Shoranmethode hat sich bei vielen praktischen Arbeiten bewährt. Neben kleineren Versuchsnetzen sind vor allem die Verbindung von durch Meere getrennten Festpunkten (zum Beispiel Florida–Puerto Rico–Trinidad, Kreta–Afrika, Norwegen–Schottland–Island–Grönland–Nordamerika) und das bis heute bemerkenswerteste Shoran-Trilaterationsnetz im nördlichen Kanada zu nennen. Dieses überdeckt eine Fläche

³ Siehe Anmerkung 2.

von 5,2 Mill. km² und hat in der unglaublich kurzen Zeit von vier Jahren in diesem Gebiet die Beschaffung der notwendigen modernen geodätischen Grundlagen ermöglicht. Die Shorantrilateration erlaubt die Ausführung von Arbeiten, die vorher kaum möglich waren. Sie erreicht annähernd die Genauigkeit der klassischen Triangulation, ist jedoch kaum billiger, dafür aber viel rascher.

In der Photogrammetrie kann Shoran zur koordinatenmäßigen Bestimmung von signalisierten Neupunkten verwendet werden, ohne daß diese durch Shoranbodenstationen bezogen werden müssen. Synchron mit der photographischen Registrierung der Armaturen werden aus dem Flugzeug Senkrechtaufnahmen gemacht. Aus den Raumdistanzen nach den zwei bekannten Bodenstationen werden die Koordinaten der Kamera im Moment der Aufnahme berechnet, die – abgesehen von der Höhe – auch für den zum Beispiel aus Horizontaufnahmen ermittelten Bildnadir gelten. In der Aufnahme, deren Maßstab durch die Flughöhe bestimmt ist, wird die Distanz vom Bildnadir zum Neupunkt ausgemessen. So liefert jede Aufnahme für diesen einen Kreis als geometrischen Ort.

Das Morangerät (als Beispiel einer Ausrüstung)

wird von der Moran Instrument Corporation in Kalifornien hergestellt. Sie arbeitet nach dem Shoranprinzip, eignet sich aber vor allem für kurze Distanzen.

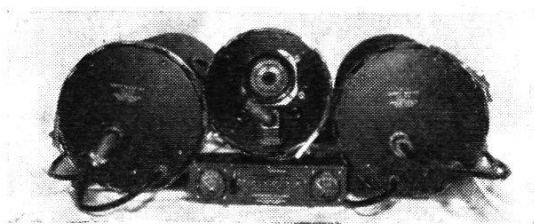


Abb. 8

Technische Daten (zu Abb. 8⁴):

Gewicht der Hauptstation mit Zeitindikator: 12 kg + 8 kg,

Gewicht der Nebenstation: 12 kg,

Behälterdimensionen: Durchmesser 25 cm, Höhe 45 cm.

Die Behälter sind aus rostfreiem Stahl. Sie sind luft- und wasserdicht abgeschlossen und mit trockener Luft gefüllt.

Leistungsaufnahme: 150 W/115 V,

Gewicht des Umformers (zum Beispiel für Flugzeug): 5 kg,

Gewicht eines Benzingenerators: 16 kg,

Arbeitsdistanzen: 5–25 km (eventuell sogar 50 km),

mittlere Fehler: etwa ± 5 m.

Abbildung 9 zeigt eine Hauptstation im Betrieb.

⁴ Die Unterlagen für die Abbildungen 8 und 9 wurden in freundlicher Weise von der Moran Instrument Corporation in Pasadena zur Verfügung gestellt.

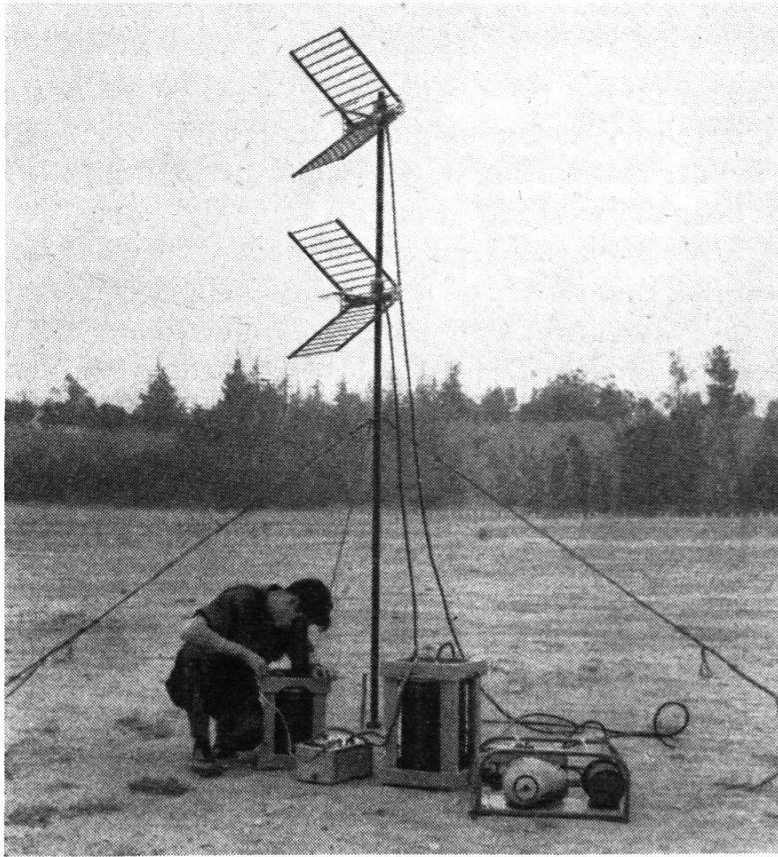


Abb. 9

C. Die Sonicmethode

Hier werden zur Positionsbestimmung bei geophysikalischen Messungen auf dem Meer Distanzen nach festverankerten Bojen gemessen, deren Koordinaten bekannt sind. In unmittelbarer Nähe des Schiffes wird eine Unterwasserexplosion erzeugt. Die Druckwelle läuft zur Boje und löst dort über eine Membran einen elektromagnetischen Impuls aus, der zum Schiff zurückgesendet wird. Die Distanz ergibt sich aus der Laufzeit und den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Druckwelle im Wasser und des Impulses in der Luft.

D. Die EPI-Methode

Das Electronic-Position-Indicator-Verfahren wurde für Seevermessungen bei großen Distanzen entwickelt. Es ist eine Kombination von Shoran- und Lorantechnik (Long Range Air Navigation). Grundsätzlich arbeitet es wie Shoran. Die Besonderheit besteht darin, daß die Laufzeiten der Echoimpulse, die von den nach Koordinaten bekannten Festpunkten zum Schiff, dessen Position zu bestimmen ist, zurückkommen, an demselben Indikator ohne die Gefahr von Verwechslungen ausgemessen werden können.

4. Phasenverschiebungsmessung im Mittel-Langwellenbereich

Bei diesen Verfahren interessiert nicht so sehr die Distanzmessung als die aus mehreren Distanzen möglichst direkt durchgeführte Positionsbestimmung bei der Navigation in der Schifffahrt und im Flugwesen. Obwohl die hier normalerweise geforderten Genauigkeiten für geodätische Zwecke nicht ausreichen, sind solche Methoden verschiedentlich derart modifiziert worden, daß sie für geophysikalische Kartierungsarbeiten zur See und für die Navigation von photogrammetrischen Bildflügen über kartographisch wenig erforschten Territorien Bedeutung erlangt haben.

A. Das Deccaverfahren

wurde in England für die Navigation und das Vermessungswesen entwickelt. Zwei Sender, L und N , befinden sich in einem Abstand, der einem

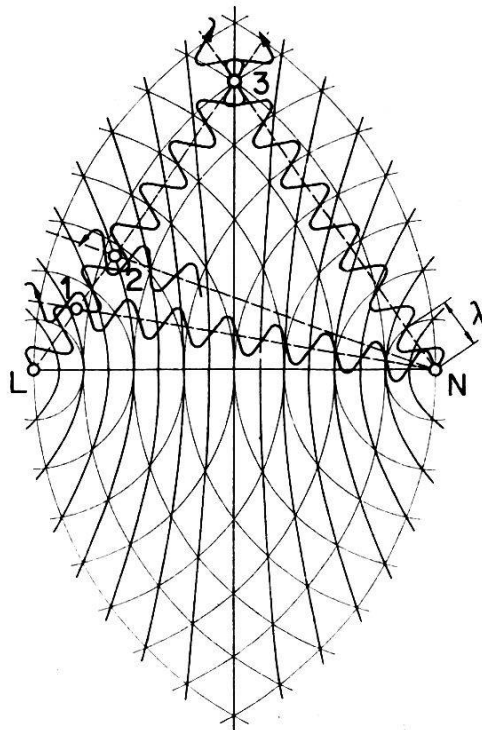


Abb. 10

ganzzahligen Vielfachen der verwendeten Wellenlänge $\lambda = v \cdot f^{-1}$ entspricht. Beide senden kontinuierlich gleichphasige elektromagnetische Wellen derselben Frequenz f aus. In einer Ebene, die die beiden Sender L und N enthält (Abb. 10), sind die geometrischen Örter aller Punkte, in denen sich die beiden gegeneinander laufenden Wellenzüge zu jeder Zeit in Phase, das heißt in demselben Schwingungszustand befinden, durch eine Hyperbelschar gegeben, in deren Brennpunkten L und N liegen. Eine elektronische Phasenverschiebungsmessung – die ganz ähnlich der Laufzeitmessung immer eine Zeitmessung ist und mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit v in eine Länge umgerechnet werden kann – ergibt längs diesen Hyperbeln den Wert Null; sie heißen deshalb Nullhyperbeln.

Beim Übergang von einer Nullhyperbel zu einer anderen wächst die Phasenverschiebung zwischen den beiden Wellenzügen von 0° bis 360° beziehungsweise im Zeitmaß von 0 bis zur Schwingungsdauer $T = f^{-1}$. (In Abbildung 10 ist erkenntlich, daß im Punkt 1 die Phasenverschiebung nicht Null ist, da er nicht auf einer Nullhyperbel liegt; in den Punkten 2 und 3 hingegen sind die beiden Wellenzüge in Phase.) Gelingt es, erstens die Phasenverschiebung zu messen und zweitens anzugeben, zwischen welchen Nullhyperbeln sich der Standort befindet, so ist für diesen ein geometrischer Ort in Form einer Hyperbel gegeben. Damit der Standort eindeutig bestimmt ist, braucht es also mindestens einen Leitsender L und zwei Nebensender, NR und NG, derart, daß der Leitsender mit je einem Nebensender eine Hyperbelschar erzeugt. Zwei Phasenverschiebungsmessungen ergeben dann die Lage des Standortes als Schnittpunkt zweier Hyperbeln.

Abbildung 11⁵ zeigt zwei Senderpaare aus der südostenglischen Deccakette mit dem Leitsender L und den Nebensendern NR (Rot) und NG (Grün). Diese Bezeichnung wird gewählt, weil die entsprechenden Hyperbelscharen mit den genannten Farben in die Karten eingetragen werden. Die rote Schar ist in die Zonen AO bis JO mit je 24 Nullhyperbeln

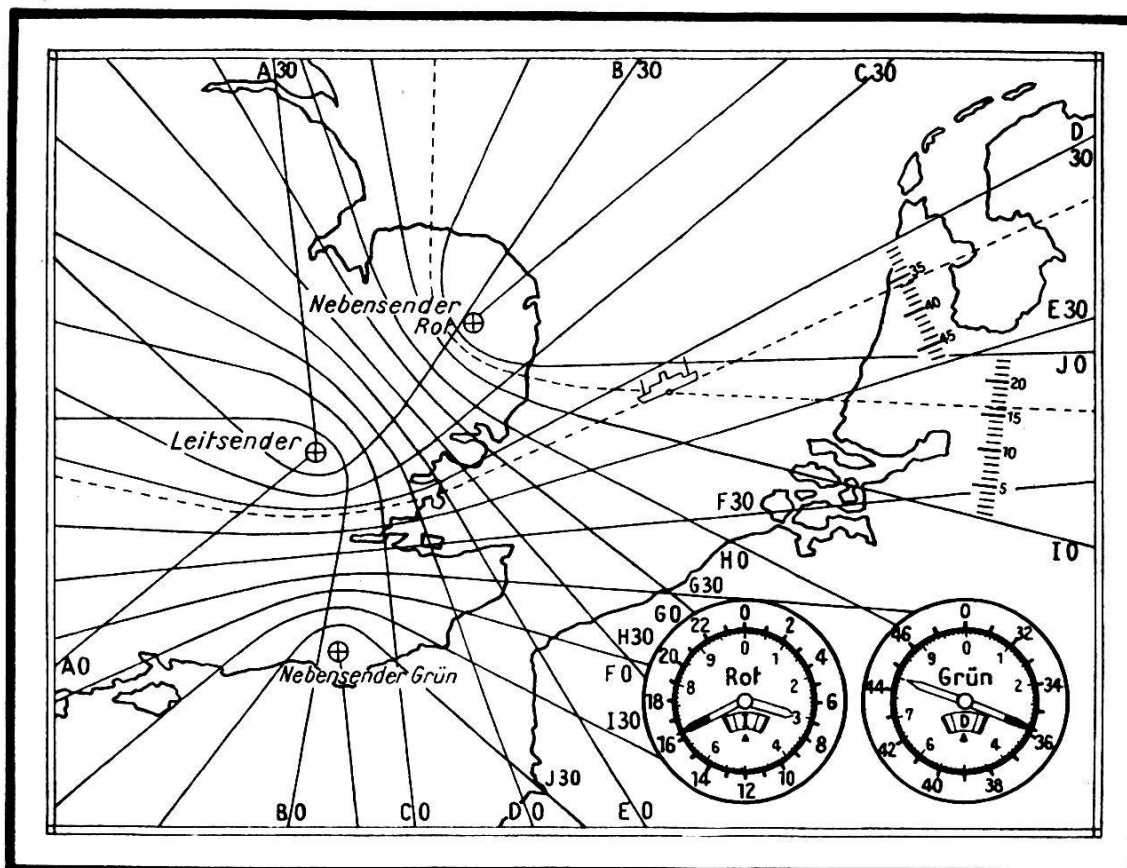


Abb. 11

⁵ Die Wiedergabe der Abbildungen 11 und 12 erfolgt mit der freundlichen Genehmigung des Autors und der Schriftleitung des Aufsatzes [5].

(0 bis 24) und die grüne Schar in die Zonen A 30 bis J 30 mit je 18 Nullhyperbeln (30 bis 48) eingeteilt. Die beiden Zifferblätter sind die Decometer, die einerseits angeben, zwischen welchen Nullhyperbeln der Standort liegt (Grobortung; Fenster in Zifferblattmitte und großer Zeiger), und andererseits die Phasenverschiebung an einer hundertteiligen Skala anzeigen (kleiner Zeiger). Im Beispiel ergibt sich mit den Ablesungen für Rot I 16,30 und für Grün E 35,80, der Standort des Schiffes aus der Detailseekarte. Die Grobortungsanzeiger laufen, wenn sie einmal richtig eingestellt sind, selbsttätig weiter. Zur Kontrolle werden sie aber fortwährend durch einen automatischen Streifenanzeiger überwacht, der alle Minuten für jedes Senderpaar die gültige Nullhyperbel unabhängig bestimmt. Wegen der Unmöglichkeit, mehrere Wellen gleicher Frequenz getrennt zu empfangen, strahlt jeder Sender auf einer anderen Frequenz aus, die sich aber alle auf derselben Grundfrequenz aufbauen. Der automatische Phasenverschiebungsmesser vergleicht diese Wellen nach Umformung auf eine gemeinsame Vergleichsfrequenz. Aus Abbildung 11 ist deutlich ersichtlich, daß in großer Entfernung von den Sendern die Maschenweite des Hyperbelnetzes rasch zu- und damit die Genauigkeit der Standortbestimmung abnimmt. Deshalb bestehen die Deccasysteme in der Regel aus drei Senderpaaren, *L-NR*, *L-NG* und *L-NV* (Violett mit der Zonenunterteilung, zum Beispiel A 50 bis J 50, zu je 30 Nullhyperbeln), wobei für die Standortbestimmung immer das Netz der beiden günstiger gelegenen Senderpaare benützt wird. Damit ist im gesamten Wirkungsbereich eine recht gleichmäßige Genauigkeit erreichbar. Abbildung 12⁶ zeigt die europäischen Deccaketten.

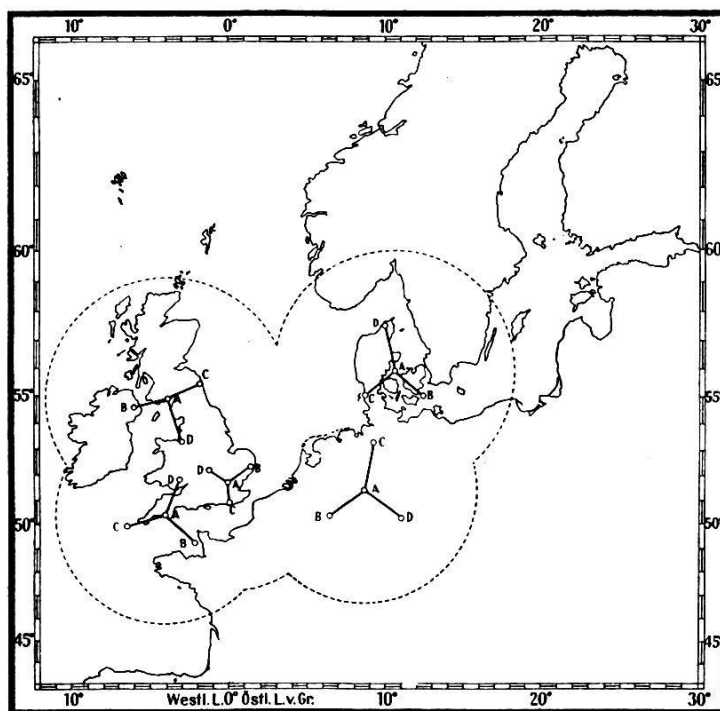


Abb. 12

⁶ Siehe Anmerkung 5.

Die Berechnung der Hyperbelnetze unter Berücksichtigung der Tatsache, daß es sich eigentlich um Durchdringungen von Hyperbeloiden mit dem Erdellipsoid handelt, deren kartographische Darstellung und die Berücksichtigung von örtlichen Anomalien der Ausbreitungsgeschwindigkeit der verwendeten langen Wellen infolge des stark veränderlichen Bodenleitvermögens beim Übergang vom Wasser auf Festland, stellt einige geodätische Probleme, auf die hier hingewiesen sei.

Technische Daten:

Decca für Navigationszwecke:

Verwendete Frequenzen $f = 250$ bis 420 kHz; also Wellenlängen von $\lambda = 1200$ – 710 m,

Entfernung der Sender voneinander: etwa 200 km,

Reichweite: 400 – 500 km,

mittlere Fehler einer Standortsbestimmung: etwa ± 80 – 100 m.

Decca für geodätische Zwecke zur See:

Leichte, transportable Geräte,

Reichweite: Fläche 60×80 km²,

mittlere Fehler der Standortsbestimmung: etwa ± 5 – 8 m.

B. Das Raydist- und das Loracverfahren

sind dem Deccaverfahren ganz ähnlich. Der Unterschied besteht darin, daß Leit- und Nebensender nicht synchron zu arbeiten brauchen. Bei Raydist wird der Phasenunterschied der beiden Senderwellen in einer speziellen Relaisstation, bei Lorac durch die Nebenstation für je ein Senderpaar L – N bestimmt und dem Decometer auf einer besonderen Frequenz übermittelt und dort automatisch bei der Phasenverschiebungsmessung berücksichtigt. Beide Verfahren haben den Vorteil der freieren Disponierung bezüglich Instrumentarium und geometrischer Anordnung.

5. Elektrooptische Distanzmeßverfahren

A. Allgemeines

Die Methoden und Geräte, von denen in diesem Abschnitt die Rede ist, beruhen auf dem Prinzip der Phasenverschiebungsmessung modulierter elektromagnetischer Wellen im Frequenzbereich des sichtbaren Lichtes. Zu dieser Entwicklung hatte *Fizeau* im Jahre 1849 durch seine Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit mittels des rotierenden Zahnrades den Grundstein gelegt. Während *Fizeau* und später *Michelson* die Modulation des Lichtes mechanisch erzeugten, verbesserten *Karolus* und *Mittelstaedt* im Jahre 1925 die Methode durch Verwendung von Kerrzellen für die Modulation und *Hüttel* im Jahre 1940 durch den Ersatz der visuellen Beobachtung durch die Photozelle. *Michelson* und *Bowie* erwähnten im Jahre 1927 erstmals die Möglichkeit, die Aufgabe umzukehren und mit Hilfe der bekannten Lichtgeschwindigkeit Distanzen zu messen. Es ist das Verdienst des schwedischen Geodäten *Bergstrand*, in den

Jahren um 1948 erstmals Geräte entwickelt zu haben, mit denen auf Grund dieses Prinzips Distanzen gemessen werden konnten. Zur Erläuterung des Prinzips der elektrooptischen Distanzmessung sollen an Hand der folgenden Schemata zuerst einige Bauelemente besprochen werden.

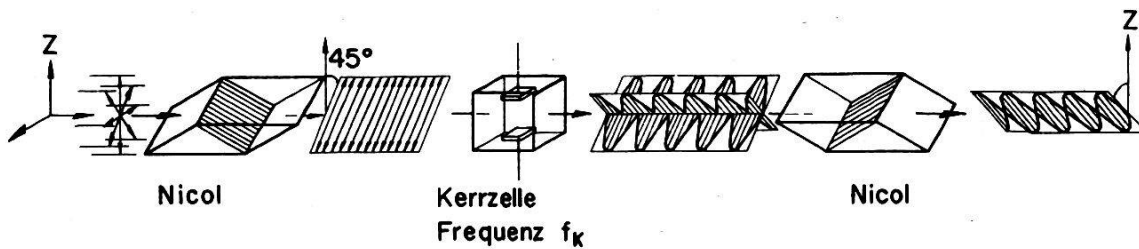


Abb. 13

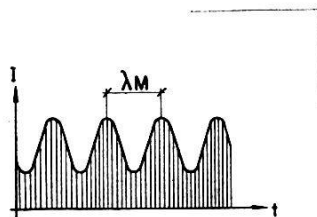


Abb. 14

Ein Lichtstrahlenbündel (Abb. 13) fällt in einen Polarisator, zum Beispiel ein Nicolsches Prisma, das so angeordnet ist, daß das Licht in einer zur Z-Achse um 45° geneigten Ebene polarisiert wird. Hierauf tritt das Licht in einen Modulator, zum Beispiel eine Kerrzelle. Sie besteht aus einer gläsernen Küvette, die mit gereinigtem Nitrobenzol ($C_6 H_5 NO_2$) gefüllt ist, in das in Richtung der Z-Achse zwei Polschuhe hineinragen. Wenn die Polschuhe nicht unter Spannung sind, läßt die Kerrzelle das Licht unverändert passieren. Wird an die Polschuhe aber eine Spannung angebracht, so erzeugt das Nitrobenzol Doppelbrechung, das heißt, das vorher linearpolarisierte Licht wird in Komponenten zerlegt. Handelt es sich zudem um eine Wechselspannung, so schwingen die Intensitäten der beiden austretenden Komponenten periodisch, wobei sie in ihrer Phase um 90° versetzt sind. Nach dem Durchtritt durch das zweite Nicolsche Prisma, das gegenüber dem ersten in seiner Längsachse um 90° gedreht ist, bleibt nur noch ein linearpolarisierter Anteil übrig, dessen Intensität periodisch schwingt und der die für die Meßanordnung benötigte modulierte Lichtwelle darstellt.

Die Kerrzelle braucht für den Betrieb Hochspannung. Um sie in ihrem günstigsten Wirkungsbereich zu benützen, wo die doppelbrechenden Eigenschaften in ungefähr linearer Abhängigkeit von der Spannung stehen, wird sie mit einer Gleichspannung vorgespannt und dieser Vorspannung eine Wechselspannung überlagert. Die modulierte Welle sieht dann etwa gemäß Abbildung 14 aus. Bei einer Kerrzellenfrequenz $f_K = 8 \text{ MHz}$ zum Beispiel ist die Modulationswellenlänge $\lambda \sim 37 \text{ m}$.

In der Regel wird die visuelle Beobachtung durch die Anwendung der Photozelle ersetzt. Photozellen sind elektrooptische Bauelemente, mit denen Lichtmengen gemessen werden können. Die Lichtquanten lösen aus der Photokathode Elektronen heraus, die den Photostrom erzeugen. Die Photostromstärke ist abhängig von der Anzahl der Elektronen und diese wiederum von der Anzahl der Lichtquanten und damit der Lichtmenge. Die Verstärkung des Photoeffektes, die bei der elektrooptischen Distanzmessung infolge der geringen zur Verfügung stehenden modulierten Lichtmenge notwendig ist, geschieht durch einen sogenannten Sekun-

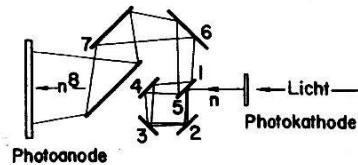


Abb. 15

därelektronenvielfacher SEV (Abb. 15). Die ursprünglich zum Beispiel durch 10 Lichtquanten aus der Photokathode herausgelösten ($n = 3-4$) Elektronen werden durch geeignet angelegte Spannungen der Reihe nach von allen Hilfsanoden 1-8 angezogen, wobei jedes Elektron bei seinem Auftreffen auf jede Anode je wieder n neue Partner herauslöst, so daß aus den n ursprünglichen n^8 Elektronen geworden sind, was eine gleiche Verstärkung des Photostromes zur Folge hat.

Als Reflektoren kommen Planspiegel, sphärische Reflexsysteme oder Tripelprismen in Frage. Der Planspiegel hat die unangenehme Eigenschaft, daß seine Spiegelnormale mit hoher Genauigkeit auf die Meßstation orientiert sein muß. Er ist also mit einem gut justierten Zielfernrohr auszurichten und dauernd zu überwachen, um Stativdrehungen ständig auszugleichen. Demgegenüber haben das sphärische Reflex-

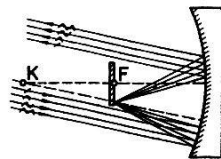


Abb. 16

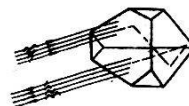


Abb. 17

system (Abb. 16) und das Tripelprisma (Abb. 17 und 18⁷) die angenehme Eigenschaft, Licht, das in irgendeiner Richtung einfällt, in genau derselben Richtung – allerdings um einen kleinen Betrag parallel versetzt – wieder zurückzuwerfen. Diese Reflektoren müssen deshalb – nebst anderen Vorteilen – nur äußerst grob auf die Meßstation ausgerichtet sein. Die Tripelprismen haben den Vorteil, daß sie äußerst stabil bleiben, wogegen die beiden Spiegelflächen des sphärischen Reflektors gewissen Dejustierungen ausgesetzt sind.

⁷ Die Unterlagen für die Abbildungen 18, 20 und 21 wurden in freundlicher Weise von der Firma AGA Svenska Aktiebolaget Gasaccumulator in Stockholm zur Verfügung gestellt.

Die grundsätzliche Funktionsweise eines elektrooptischen Distanzmeßgerätes ergibt sich aus Abbildung 19. Der Glühfaden einer Lampe L wird mittels des Kondensators K zwischen den Polschuhen des Modulators M abgebildet. Vor und nach dem Modulator M durchläuft das Licht die beiden gekreuzten Polarisatoren P_1 und P_2 , um nachher als linear-

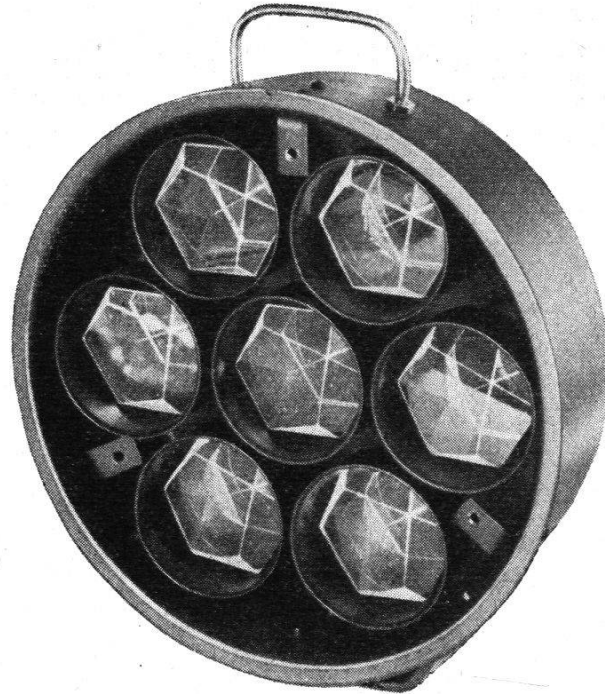


Abb. 18

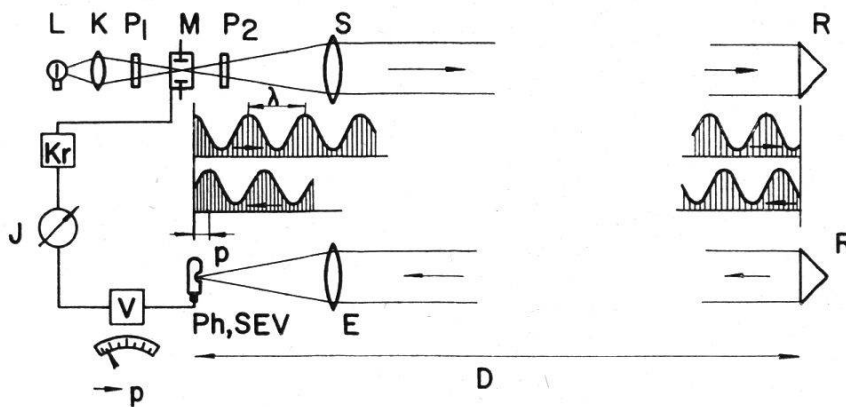


Abb. 19

polarisierte Modulationswelle mittels des Senderobjektives S auf den entfernten Reflektor R geworfen zu werden. Dieser reflektiert das Licht zum Empfänger E zurück, der es auf die Photokathode der Photozelle Ph sammelt. Dem Kristalloszillator Kr fällt die Aufgabe zu, die Frequenz des Modulators konstant zu halten. Mit dem Verzögerer V wird elektronisch die durch den SEV erzeugte elektrische Schwingung verzögert, bis der Phasenindikator J durch Vergleich der Schwingung der Kerrzellen-

steuerung mit derjenigen, die vom *SEV* geliefert wird, den Wert Null ergibt. Die Ablesung an der Skala des geeichten Verzögerers ist damit ein Maß für die gesuchte Phasenverschiebung p . Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Verzögerer wegzulassen, demgegenüber aber mittels des Oszillators die Meßfrequenz und damit λ zu variieren, bis die Phasenverschiebung p wieder Null wird und an Stelle der Ablesung am geeichten Verzögerer die entsprechende Meßfrequenz f_K zu bestimmen. Selbstverständlich ist eine Phasenverschiebungsmessung mit einer Zeitmessung gleichbedeutend; 5 cm Weglänge entsprechen dabei einer Zeit von etwa $\frac{5}{3} \cdot 10^{-10}$ s.

Natürlich sind diese Erläuterungen, insbesondere bezüglich des elektronischen Teils, äußerst vereinfacht. Es bedarf hochentwickelter Schaltungen, um zum Beispiel den Phasenvergleich am Ort der größten Steilheit der Modulation und mit der Möglichkeit der Integration über kurze Zeitabschnitte durchzuführen. Außerordentlich hohe Anforderungen werden an die Stabilität der Betriebsspannungen der Modulationsfrequenz und des *SEV* sowie an die Eichung des Verzögerers oder an die Bestimmung der Meßfrequenz unter den verschiedensten klimatischen Bedingungen gestellt. Ebenso haben optische Fragen, wie zweckmäßigste Lampen und Polarisatoren, Direktmodulation der Lampe, Homogenität der Modulation in der Kerrzelle, Ersatz der Kerrzelle durch Direktmodulation mit einem Kristall, Größe und Eigenschaften der Objektivs, Anordnung der Polarisatoren im Sender und eventuell Empfänger, Verwendung einer zweiten Kerrzelle im Empfänger, Photozelle oder visuelle Beobachtung, zu verschiedenen Lösungen und Vorschlägen geführt.

Zwischen der Distanz D , der Wellenlänge λ und der Phasenverschiebung p gilt die Beziehung:

$$2 D = n \cdot \lambda + p,$$

wobei n eine unbekannte ganze Zahl ist. Die Phasenmessung bei nur einer Frequenz genügt also nicht. Wird mit mehr als einer Frequenz gemessen, so liefert jede dieser Messungen eine weitere Beziehung für D , aber ebenso eine weitere Unbekannte n , zum Beispiel für zwei Frequenzen:

$$\begin{aligned} 2 D &= n_1 \cdot \lambda_1 + p_1 \\ 2 D &= n_2 \cdot \lambda_2 + p_2 \end{aligned} \quad (5.1)$$

Zur Ermittlung des groben Wertes der Distanz von D gibt es etwa folgende Möglichkeiten:

a) Es wird mit variabler Frequenz gearbeitet. Die beiden Frequenzen werden so verändert, daß $p_1 = p_2 = 0$ und daß zugleich zum Beispiel $n_2 = n_1 + 1$ ist. Damit ergibt sich für die Distanz:

$$D = \frac{1}{2} \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

b) Es wird mit zwei festen Frequenzen gearbeitet, die sich aber nur

sehr wenig voneinander unterscheiden. Durch Multiplikation der ersten beziehungsweise zweiten Gleichung (5.1) mit λ_2 beziehungsweise λ_1 und Subtraktion ergibt sich:

$$D = (n_2 - n_1) \cdot \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{2(\lambda_1 - \lambda_2)} + \frac{p_2 \cdot \lambda_1 - p_1 \cdot \lambda_2}{2(\lambda_1 - \lambda_2)}$$

In dieser Beziehung ist der zweite Ausdruck bekannt, der erste hingegen nicht. Der Faktor $(n_2 - n_1)$ muß demnach geschätzt werden, was aber nicht schwer fällt, weil $\lambda_1 \cdot \lambda_2 / 2 \cdot (\lambda_1 - \lambda_2)$ groß ist, wenn λ_1 und λ_2 nahe beieinander liegen. Beispiel: $\lambda_1 = 101$ m, $\lambda_2 = 100$ m; daraus folgt $\lambda_1 \cdot \lambda_2 / 2(\lambda_1 - \lambda_2) = 5050$ m.

c) In diesem Sonderfall von b) werden nur Distanzen gemessen, für die $n_1 = n_2$ ist, im obigen Beispiel also $D < 5050$ m. Damit ergibt sich für die Distanz:

$$D = \frac{p_2 \cdot \lambda_1 - p_1 \cdot \lambda_2}{2(\lambda_1 - \lambda_2)},$$

im Beispiel also $D = \frac{1}{2}(101 \cdot p_2 - 100 \cdot p_1)$.

In allen drei Fällen wird der endgültige Wert der Distanz nach den Beziehungen (5.1), in denen n_1 und n_2 nun bekannt sind, aus den Phasemessungen p_1 und p_2 mit in der Regel verschiedenen Wiederholungen berechnet.

(Schluß folgt)

Reiseeindrücke aus dem Meliorationsgebiet des Podeltas

Von Dipl.-Ing. Ed. Strebel, Bern

Der Berichterstatter hatte Gelegenheit, in Gesellschaft einiger lebenswürdiger Tessiner Kollegen eine kurze berufliche Studienreise nach dem Delta des Po durchzuführen. Es sei nachstehend versucht, in Form von kurzen Kapiteln die wesentlichsten Eindrücke wiederzugeben und die italienischen Maßnahmen der auch im untersten Teil der Poebene in Ausführung begriffenen Landreform und Bodenmelioration zu schildern.

Poebene

Viele unter uns Schweizern kennen die Poebene vom Durchfahren. Man hat sie gesehen, als man das erstemal mit der Eisenbahn nach Florenz und Rom fuhr. Man lernte andere Seiten kennen, als man dem Südrand der Alpen entlang nach Venedig fuhr und längs des Nordfußes des Apennins die Küste der Adria gewann. Man hatte den Eindruck einer fruchtbaren Weite in sich aufgenommen, wo alle möglichen Kulturpflan-