

ist die genaue Ausrichtung der Anodenzyylinderachse daher weniger kritisch.

Man sorgt zunächst dafür, daß der Kanal, der Spalt und die Mitte der Eintrittsseite des Zylinderkondensators möglichst auf eine Linie ausgerichtet werden und zwar senkrecht zur Eintrittsebene des Kondensators (Abb. 1). Der hier ankommende Ionen-

Formveränderungen des Eintrittsrandes des Kanales infolge Kathodenzerstäubung kleine zeitlich veränderliche Richtungsänderungen erleidet. Daher hatte sich eine einmal erreichte gute Ausleuchtung meist nach wenigen Betriebstagen wieder erheblich verschlechtert.

Diese Schwierigkeit läßt sich vollkommen beheben durch Anordnung zweier kleiner, ebener, zu-

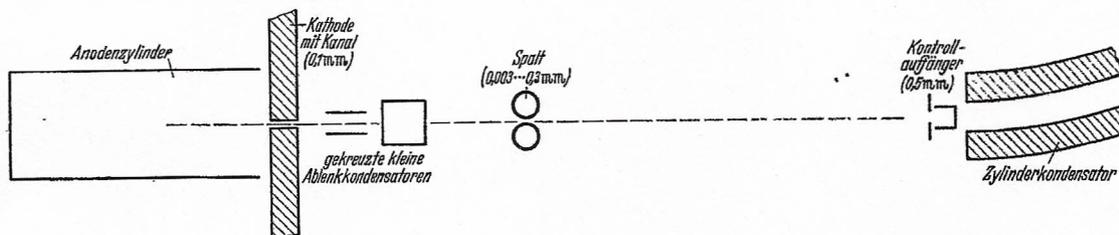


Abb. 1. Die Anordnung der gekreuzten kleinen Ablenk-Kondensatoren.

strom ist mit einem zentriert einschiebbaren Kontroll-auffänger mit 0,5 mm Schlitzweite meßbar. Die Kathodenebene ist möglichst senkrecht zur Richtung Kanal-Spalt angeordnet. Auf diese Weise erhält man aber nicht mit Sicherheit den größtmöglichen Ionenstrom durch den Spalt hindurch und in den Kontroll-auffänger, einmal weil die Genauigkeit der Ausrichtung der Kathodenfläche nicht ausreicht, zum anderen, weil der Ionenpinsel offenbar durch geringe Wandbelastungen an Kathode und Anode und durch

einander gekreuzter Ablenk-Kondensatoren zwischen Kanal und Spalt (Abb. 1). Durch potentiometrischen Spannungsabgleich an diesen Kondensatoren läßt sich der Ionenpinsel leicht vor jeder Aufnahme so ausrichten, daß maximaler Strom durch den Spalt hindurch am Kontroll-auffänger erzielt wird.

Literatur. [1] EWALD, H.: Z. Naturforschung 5a, 229 (1950). — [2] EWALD, H.: Z. Naturforschung 2a, 384 (1947).

Dozent Dr. HEINZ EWALD und GERHARD SAUERBANN,
Physikalisches Institut der TH. München.

Berichte.

Die Entwicklung der akustischen Meerestiefenmessung.

Von HELMUT DRUBBA und HANS HEINRICH RUST, Hamburg.

Mit 7 Textabbildungen.

(Eingegangen am 2. Mai 1953.)

Die Messung der Schallgeschwindigkeit im Wasser durch COLLADON (1826).

Die Geschichte der akustischen Messung der Meerestiefe beginnt mit der Ausschreibung des 'Grand prix de Mathématique pour l'année 1824' der L'Académie royale des Sciences, Paris im Jahre 1822 [1]:

1. Déterminer par des expériences multipliées la densité qu'acquière les liquides et spécialement le mercure, l'eau, l'alcool et l'éther sulfurique, par des compressions équivalentes aux poids plusieurs atmosphères;

2. Mesurer les effets de la chaleur produit par ces compressions.

Der Preis bestand aus einer Goldmedaille im Wert von 3000 francs; als Termin zur Einreichung der Arbeiten war der 1. Januar 1824 festgesetzt. Diese Frist mußte jedoch einmal [2] bis zum 1. Januar 1826 und ein zweites Mal [3] bis zum 1. März 1827 verlängert werden, da man die vorgelegten Arbeiten des Preises nicht für würdig befand. — In der öffentlichen Sitzung der Akademie am 11. Juni 1827 wurde die mit dem LAPLACESchen Ausspruch: „Si les observations précises font naître les théories, la précision des théories provoque à son tour la précision des observations (Méc. céleste)“ eingereichte Arbeit als die mit

dem Preis ausgezeichnete verkündet [4]. Autoren waren die beiden jungen Schweizer J. D. COLLADON (1802—1893) und J. K. F. STURM (1803—1855). — Sie veröffentlichten alsbald ihre Untersuchungen unter dem Titel: „Sur la compression des liquides“ in den Annales de Chimie et de Physique [5], in deutscher Übersetzung auch in den Annalen der Physik und Chemie (POGGENDORFFS Annalen) [6].

Die Bedeutung dieser Untersuchungen für die akustische Tiefenmessung liegt nun darin, daß von COLLADON erstmalig die Schallgeschwindigkeit im Wasser exakt gemessen wurde. An sich war diese Messung in der Preisaufgabe gar nicht gefordert, sie wurde aber von COLLADON durchgeführt (STURM nahm an diesen Untersuchungen, die bekanntlich im Genfer See stattfanden, nicht teil), um die im Laborexperiment gefundenen Werte der Kompressibilität des Wassers, anhand der bekannten Formel für die Schallgeschwindigkeit¹

$$c = \sqrt{\frac{1}{K \cdot \rho}}$$

(K = Kompressibilität und ρ = Dichte) nachprüfen zu können. — COLLADON berichtet von Versuchen zur

¹ COLLADON gibt diese Formel in einer etwas anderen, von POISSON abgeleiteten Form an.

Hinzu aus Zeitschrift für angewandte Physik
IV. Band Heft 10 - 1953 Seiten 388, 392-394, 398, 399

Überwasser-Sirenen- und Unterwasserglockensignalen bei Nebel und unsichtigem Wetter aufgenommen. Infolge Herstellung eines **brauchbaren Mikrophonempfangers** durch den **französischen Offizier BANARÉ** wurde die Unterwasserschalltechnik ebenfalls wesentlich gefördert. In England beschäftigten sich LAKE und Kapitän M. T. NEALE (1895 auch **Versuche auf dem Wannsee bei Berlin**) mit dem Unterwassersignalverfahren. Abbildungen der in der Frühzeit der Unterwasserschalltechnik verwendeten Apparate finden sich z. B. bei **AIGNER [22]**.

Aber auch dieser Gedanke wurde nicht weiter verfolgt, obwohl dieses Verfahren wesentliche Vorteile gegenüber der Echolotmethode bietet. Einmal wird der Schall in voller Stärke erst am Meeresboden erzeugt, wobei die Schallschwächung beim Hinweg des Schalls und infolge eines mehr oder weniger großen Reflexionsgrades am Meeresboden nicht vorhanden ist. Zum zweiten bedeutet diese Methode eine sehr wesentliche Vereinfachung der Zeitmessung, besonders bei den für die Navigation wichtigen Tiefen, etwa bis zu 200 m. Nimmt man etwa eine Wassertiefe von 50 m

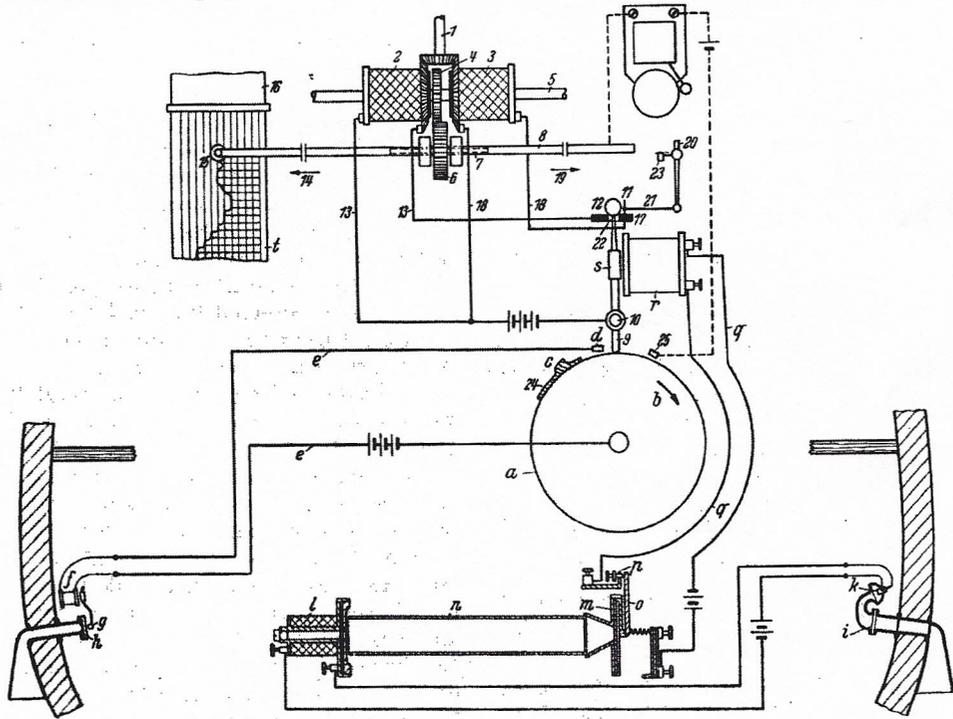


Abb. 1. Das BERGGRAFSCHE Bathometer.

Die Ausendung des Schallimpulses durch den Geber f, g, h erfolgt durch Schließen des Stromkreises $e-e$ mittels Nocke c auf der rotierenden Scheibe a . Die Nocke c stößt dann an den um den Punkt 10 drehbaren Hebel 9, wodurch die Kontaktrolle 11 auf die Platte 12 geschoben wird und Stromkreis 13-13 sich schließt. Nr. 1-8 ist eine elektromagnetische Schaltkupplung. Die mit konstanter Geschwindigkeit umlaufende Achse 1 versetzt über ein Kegelrad die mit Friktions Scheiben versehenen Elektromagnete 2 und 3 in zueinander entgegengesetzte Drehung. Zwischen beiden ist auf der Achse 5 das Ritzel 4 frei verschiebbar, welches sich an den jeweils stromführenden Magneten als Anker anlegt und so dessen Bewegung auf das Zahnrad 6 überträgt, welches die Schreibspindel 8 mit Schreibstift 15 nach rechts oder links bewegt. Ist also Stromkreis 13-13 geschlossen, so wird die Spindel 8 in Richtung des Pfeiles 14 geschoben. — Der vom Meeresboden reflektierte Impuls gelangt über den Empfänger k, i und das Telefon t zur Resonanzröhre n , die auf den Ton des abgesandten Impulses abgestimmt ist und so das Echo herausfiltert. Die schwingende Membran m schließt den Stromkreis $q-g$, wodurch der Hebel 9 angezogen wird; dabei öffnet sich Stromkreis 13-13, während Stromkreis 18-18 geschlossen wird. Die Spindel 8 bewegt sich nun in Richtung des Pfeiles 19, bis sie an den Knebel 20, 21 stößt, der die Kontaktrolle 11 auf das isolierte Feld 22 schiebt, womit der Lotvorgang einmal abgelaufen ist. Eine kontinuierliche Aufzeichnung ist durch eine dauernde Rotation der Scheibe a möglich. — Kommt das Echo zurück, während die Spindel 8 noch auf dem Kontakt 23 gleitet (also bei sehr geringer Tiefe), so wird über das Kontaktstück 24, den Hebel 9 und 21, 20 der Stromkreis der Alarmglocke geschlossen.

Nach: Teknisk Ugeblad (Kristiania) 22, 405 (1904).

Das Frei- oder Fall-Lot.

MAURY (1806-1873) berichtet in seinem Buch „The Physical of the Sea and its Meteorology“ [31, 32] im Paragraph 678 kurz über die Versuche BONNYCASTLES, ohne jedoch dessen Namen zu nennen und erwähnt im Paragraph 680 einen anderen Vorschlag der akustischen Tiefenmessung:

„Ein alter Seekapitän schlug ein Torpedo vor, wie man sie bisweilen beim Walfischfang braucht, um die Ungeheuer der Tiefe mit Pulver zu sprengen. Der Apparat sollte in diesem Falle **explodieren, sobald er den Grund berührte**. Es wurde vorgeschlagen, zuerst durch Versuche die **Sinkgeschwindigkeit des Torpedos** zu bestimmen und **weiter die Schallgeschwindigkeit** oder die Aufstiegs geschwindigkeit des Gases und so aus dem Zeitabstand die Tiefe zu bestimmen. Proben vom Meeresboden würde man natürlich nicht erhalten können, der Anwendung des Apparates traten auch sonst Schwierigkeiten in den Weg“.

an, so würde bei der Echomethode der Schallimpuls für Hin- und Rückweg $1/150$ sec benötigen, bei einer Genauigkeit von 10% müßte diese **Zeitmessung mindestens auf $1/1500$ sec genau ausgeführt werden**. Bei einem im Meer heruntersinkenden Sprengkörper mit einer Sinkgeschwindigkeit von 2 m/sec würde die gesamte Sinkzeit bei 50 m Tiefe 25 sec betragen, die sich leicht auf ein Prozent genau messen läßt; die Hauptfehlerquelle bei diesem Verfahren liegt natürlich in der Sinkgeschwindigkeit des Sprengkörpers, die besonders durch Strömungen beeinflusst wird und dann auch nicht die richtige Tiefe unter dem Kiel gibt. Ein wesentlicher Vorteil ist allerdings, daß bis zu etwa einer Tiefe von 100 m keinerlei akustische Hilfsmittel nötig sind, um an Bord eines Schiffes den Schall zu vernehmen.

Diese sog. **Freilote oder Fallote**, wie sie ursprünglich genannt wurden, kamen in Deutschland erst nach dem 1. Weltkrieg in Gebrauch; sie wurden zuerst von

der Signalgesellschaft Kiel m. b. H. ausgebildet und später von den Atlas-Werken in Bremen herausgebracht. Das Freilot wurde auch in der deutschen Marine offiziell als Lotgerät eingeführt [33].

JOLY (1857—1933) berichtet, daß ihm bereits 1890 ein britisches Patent [34] auf dieses Verfahren erteilt wurde, welches er aber verfallen ließ, da die Admiralität kein Interesse dafür zeigte. Einige Jahre später wurde einem Offizier der britischen Marine unabhängig davon die gleiche Methode wieder patentiert. Die Versuche, welche JOLY seinerzeit ausführte, fanden an der Küste vor Dublin statt. Er benutzte kleine Metallpatronen mit etwa 15 g Schießpulver Inhalt. — In Deutschland machte BEHM (1880—1952) im Jahre 1916 ebenfalls Versuche nach der Freilotmethode [36]. WENDLER erhielt im Jahre 1916 ein Reichspatent auf ein Freilot [37].

Die moderne Entwicklung des Echolotverfahrens.

Im Jahre 1904 veröffentlichte der norwegische Ingenieur H. BERGGRAF in einer norwegischen Zeitschrift [38]¹ die ausführliche Beschreibung eines Gerätes (Abb. 1), welches er „Bathometer“² nannte und das im Prinzip auf der Echomethode beruht. Einige recht geschickt überlegte Konstruktionseinzelheiten seien besonders genannt: so z. B. eine Resonanzröhre, um das Verhältnis Signal/Geräusch zu verbessern, eine Schreibvorrichtung zur kontinuierlichen Aufzeichnung des Meeresbodenprofils und eine Alarmglocke, welche bei einer bestimmten Mindesttiefe in Tätigkeit tritt. Es läßt sich nicht feststellen, ob dieses Gerät wirklich gebaut und ob damit Versuche angestellt worden sind.

Ein Amerikaner, A. F. EELLS, erhielt vom 19. März 1907 ab ein deutsches Reichspatent (mit der U.S. Priorität vom 20. 3. 1906 [45]) mit dem Titel: „Ver-

fahren und Vorrichtung zum Bestimmen von Meerestiefen, bei dem die Geschwindigkeit des Schalles im Wasser als Maß für die Tiefe benutzt wird“. Dieses Patent kann jedoch kaum mehr als ein Ideenpatent gewertet werden, denn die technischen Angaben zur Durchführung des Verfahrens sind so dürftig, daß man eine brauchbare Ausführung anhand dieses Patenten wohl bezweifeln kann. — Sowohl das amerikanische, als auch das deutsche Patentrecht fordern eine Vorprüfung; aber es scheint, daß die Idee BERGGRAFS bei den Patentbehörden nicht bekannt geworden ist.

Entwicklungen, die durch die Titanic-Katastrophe angeregt wurden.

Ein wichtiger Zeitpunkt in der Geschichte des Echolotes ist der Untergang des englischen Passagierschiffes *Titanic* auf seiner Jungfernfahrt bei Zusammenstoß mit einem Eisberg in der Nacht vom 14. zum 15. April 1912.

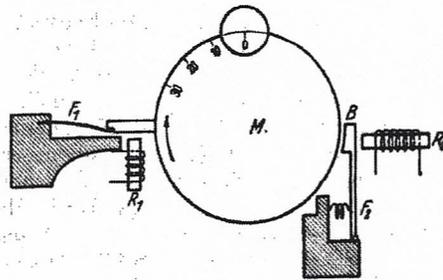


Abb. 2. BEHM-Kurzzeitmesser für Echolotung (R, Relais zur Freigabe, R, Relais zur Bremsung der um M drehbaren Scheibe, F, Antriebsfeder, B, Bremse, F, Bremsfeder).

Nur fünf Tage später, am 20. April 1912, reichte L. F. RICHARDSON, ein Physiker aus Newcastle-on-Tyne, dem britischen Patentamt eine Patentschrift [46] ein, welche sich auf die Aussendung und den Empfang von Schallimpulsen in Luft — insbesondere zur Feststellung von Eisbergen — bezog. In einer weiteren, von RICHARDSON am 10. Mai 1912 eingereichten Schrift [47] wird dieser Anspruch auch auf Schallechos, die unter Wasser abgesandt und z. B. von dem unter Wasser befindlichen Teil eines Eisberges reflektiert und dann wieder aufgefangen werden, erweitert. Der an sich naheliegende Gedanke, mit Hilfe von Schallechos auch die Meerestiefe zu messen, wird in beiden Patenten nicht geäußert. Es wird im übrigen in physikalisch klarer Form dargelegt, daß zur Erzielung einer Richtwirkung die Wellenlänge klein gegenüber den Abmessungen der strahlenden Fläche sein muß, daß also Schall hoher Frequenz erforderlich ist. RICHARDSON schlägt eine solche von 100 kHz vor und als Schallquelle eine hydrodynamische Pfeife. PARSONS (1854—1931), der Erfinder der Dampfturbine, versuchte auch eine solche Pfeife genügend hoher Frequenz zu bauen, aber es gelang nicht, ausreichende Ultraschalleistungen zu erzielen [48].

In Deutschland wurde besonders A. BEHM durch das *Titanic*-Unglück bewogen, sich näher mit der akustischen Tiefenmessung zu befassen. — Der Weg, den er zuerst einschlug und der ihm durch ein Reichspatent [49] geschützt wurde, bestand darin, daß sich aus der Stärke eines Echos die Wassertiefe ergeben sollte, ein Verfahren, welches aber wegen des sehr

¹ Ein kurzes Referat hierüber in der ETZ [39].

² Die Bezeichnung „Bathometer“ findet man für eine Reihe gänzlich verschiedener Geräte zur Messung der Meerestiefe. Das älteste scheint das HOOKESCHE Bathometer zu sein, welches BAUMGÄRTNER [40] wie folgt beschreibt: „Es besteht aus zwei aneinander gehängten Körpern, wovon der eine spezifisch schwerer, der andere spezifisch leichter ist als das Wasser. Läßt man sie ins Wasser, so macht sich der leichtere alsogleich vom schwereren los, sobald er den Meeresboden erreicht hat und steigt in die Höhe, so daß man aus der Zeit, welche verfloß vom Augenblick des Untersinkens bis zum Empor-tauchen, die Tiefe berechnen kann“.

Das von C. W. SIEMENS (1823—1883, einer der Brüder SIEMENS) angegebene Bathometer [41, 42] beruht auf Änderung der Schwerkraft, die dadurch zustande kommt, daß auf hoher See der senkrechte Anstand zum Landmassiv ($\rho \approx 5$) durch eine Wasserschicht ($\rho = 1$) ausgefüllt ist und so die Anziehungskraft geringer wird. Ein entsprechendes Gerät ist auch gebaut und ausprobiert worden. SIEMENS schwebte sogar die Idee vor, daß sein Apparat wie ein Barometer in der Kapitänskajüte hängen könnte und so dauernd die Wassertiefe anzeigt. — Ganz abgesehen von der tatsächlich erreichbaren Meßgenauigkeit ist natürlich nur ein ungefährer Anhalt über die Meerestiefe möglich. Anlaß zu dieser Entwicklung gab die Auslegung von Unterseekabeln, für welche die Kenntnis zumindest des ungefähren Verlaufs des Meeresprofils ungemein wichtig ist. (Siehe hierzu auch die sich an den Vortrag von DOUGLAS [43] anschließende Diskussion.)

Ein von BROOKS angegebenes Tiefseelot, welches aus einer durchbohrten Kanonenkugel, die sich am Ende eines langen Stahldrahtes befindet, wobei die Kugel bei Grundberührung ausgeklinkt wird und dadurch das Erreichen des Bodens bemerkbar macht, namentlich aber das Aufholen sichert [44], wird häufig auch Bathometer genannt.

unterschiedlichen Reflexionsgrades des Meeresbodens sich als sehr unsicher erweisen mußte und schon bald aufgegeben wurde. BEHM kehrte zu dem (an sich bekannten) Verfahren zurück, die Wassertiefe aus der Laufzeit eines Schallimpulses zu bestimmen. Bekannt sind z. B. seine damit zusammenhängenden Untersuchungen über die Ausbreitung von Knallwellen eines Unterwasserfunkens in einem Glasbassin [50], wobei er sich zur Sichtbarmachung der Dvörákschen Schlierenmethode [51] bediente¹. Wie schon oben erwähnt, handelt es sich bei der Laufzeitmethode (jedenfalls bei solchen Tiefen, wie sie für die Schiffsnavigation wichtig sind) um die verhältnismäßig genaue Messung kleiner Zeitdifferenzen. Es ist der Hartnäckigkeit und der Initiative BEHMS zu danken, daß es nach jahrelangen, mühevollen Versuchen gelang, diese Kurzzeitmessung in technisch einfacher und auch bordverwendungsfähiger Weise durchzuführen. Den von BEHM angegebenen Kurzzeitmesser, der ihm in Jahre 1920 in Deutschland [53] und zahlreichen anderen Staaten patentiert wurde, zeigt Abb. 2. — Das BEHMSche Verfahren besteht bekanntlich darin, daß kurz unter der Wasseroberfläche eine Knallpatrone entzündet wird. Der Primärschall setzt über ein Unterwassermikrofon und ein Relais R_1 die Scheibe des Kurzzeitmessers frei, deren Drehung durch das Echo über ein zweites Mikrofon und Relais R_2 angehalten wird und aus dem Drehwinkel die Laufzeit liefert, wobei die Meerestiefe direkt an einer Skala abgelesen wird. Wesentlich ist, daß der Schallschatten des Schiffskörpers verhindert, daß das Relais R_2 schon durch den Primärknall in Tätigkeit tritt. — Die Grenzen des Verfahrens liegen auf der Hand: Eine kontinuierliche Anzeige ist nicht möglich; zahlreiche Lotungen erfordern einen großen Vorrat an Knallpatronen, was (abgesehen von den Kosten) insbesondere auf Handelsschiffen nicht ganz ohne Gefahr ist; zum anderen scheidet dieses Verfahren für die große Zahl von Fischereifahrzeugen, für die eine genaue Tiefenbestimmung zum Aufsuchen der Fangplätze besonders wichtig ist, wegen der Fischscheuchung beim Detonieren der Knallpatrone aus. Sehr bemerkenswert ist jedoch, daß BEHM bereits im Jahre 1928 in einer Patentschrift [54] den Gedanken äußert, das Echolot zur Feststellung von Fischschwärmen und von zum Fischen besonders geeigneten Wasserstellen zu verwenden.

Auch für die Höhenbestimmung von Luftfahrzeugen aus entwickelte BEHM ein akustisches Lot. Die Königlich Niederländische Gesellschaft für Luftschiffahrt, Amsterdam, veranstaltete ein internationales Preisausschreiben für die Schaffung eines sicheren Höhenmessers für Flugzeuge im Nebel, bei dem BEHM für sein Luftlot einen Preis von 1000 Gulden

¹ Diese Versuche waren von BEHM in der Absicht unternommen worden, zu untersuchen, ob im Wasser überhaupt ein Echo wahrzunehmen ist. Allerdings wird schon in dem „Report of the Light-House Board“ vom 30. Juni 1908 (zitiert nach PROCK [52]) auf den unter Umständen sehr störenden und irreführenden Einfluß von Schallreflexions-Erscheinungen bei ungeeigneter Aufstellung von Unterwasserglocken hingewiesen. Es wird besonders davor gewarnt, diese nicht vor steilen Sandbänken oder felsigen Küsten zu placieren, da Echos zu Irrtümern Anlaß geben können.

BEHM hat auch versucht, einen Unterwasserfunken für Echolotungen im Kieler Hafen zu verwenden. Die Schallstärke war für eine direkte Echolotung (ohne Verstärker) nicht ausreichend. (Mittl. Behm-Echolot Fabrik, Kiel vom 30. Oktober 1951.)

erhielt [55]. — Von BEHM stammt auch die Prägung des Wortes „Echolot“. Im Jahre 1928 wurde er von der Universität Kiel zum Dr. med. h. c. ernannt.

Echolotversuche mit dem FESSENDEN-Oszillator.

In den USA wurden bereits im April 1914 Versuche zur Ortung von Eisbergen und auch zur Messung der Meerestiefe durchgeführt. Hierüber berichten Kapitän QUINAN vom US. Revenue Cutter (Zollkutter) MIAMI [56] und ebenso BLAKE [57]. Die Schallquelle war ein FESSENDEN-Oszillator, Abb. 3, wie er von FESSENDEN (1866—1932) für die Submarine Signal Company für Unterwasserschallzwecke entwickelt worden war [58]. Die Methode der Echomessung wird in einem amerikanischen [58a], wie auch einem deutschen Patent [58b] beschrieben. — Die Versuche waren zufriedenstellend; so konnte das von einem Eisberg zurückgeworfene Echo nicht nur über den Unterwasserschallempfänger, sondern auch in der Offiziersmesse und in einem Store-Raum unterhalb der Wasserlinie deutlich gehört werden. Auch Echolotversuche in 65 m Wassertiefe waren erfolgreich. — Es ist aber dabei zu bedenken, daß der FESSENDEN-Oszillator einige hundert Kilo wog, zu seinem Betrieb ein 500- oder 1000-Perioden-Wechselstromgenerator erforderlich war, den aber Schiffe mit Funkstation für den Betrieb der Löschfunkengeneratoren besaßen. — Die von FESSENDEN vorgeschlagene Methode der Echomessung war jedoch nicht frei von Mehrdeutigkeit. Sie wurde durch eine unlaufende Walze bewirkt, wobei die Stellung einer Bürste so verschoben wurde, bis das Echo zu hören war. Da aber, insbesondere bei kleinen Tiefen, eine mehrfache Hin- und Herreflexion des Schallimpulses erfolgt, läßt sich bei einer großen Zahl verschiedener Bürstenstellungen das Echo vernehmen, die Zuordnung ist also nicht eindeutig. Ein solches Meßverfahren, von dem letzten Endes die Sicherheit von Mannschaft und Schiff abhängt, ist aber sehr fragwürdig.

Im Herbst 1915 wurden auf dem kanadischen hydrographischen Vermessungsschiff CARTIER ganz ähnliche Versuche (auch mit einem FESSENDEN-Oszillator) durchgeführt, über die KING im Jahre 1924 berichtet [59].

Entwicklung des Ultraschall-Echolotes durch LANGEVIN und CHILOWSKY.

Ganz besonders erfolgreiche und fruchtbringende Arbeit auf dem Gebiet der Echomessung wurde während des 1. Weltkrieges in Frankreich durchgeführt. Dieser Entwicklungsabschnitt wird z. B. in der Publication Speciale No. 3 des Bureau Hydrographique International (Monaco) [60] und von KLEIN [48] beschrieben, denen wir im nachstehenden auch im wesentlichen folgen, ebenso einem mit J. B. gezeichneten Artikel in Nature [61].

Den Antrieb zu diesen Forschungen gab die deutsche U-Boot-Gefahr. Gegen Ende des Jahres 1914 erreichte der russische Ingenieur CHILOWSKY der französischen Regierung einen Vorschlag zur Ortung von U-Booten ein. Im Jahre 1912 hatte, wie schon erwähnt, RICHARDSON die Verwendung von Schall hoher Frequenz zur Erzielung einer Richtwirkung vorgeschlagen. Wenn auch zur Messung der Meerestiefe nicht unbedingt eine Richtwirkung notwendig ist,

so auf den Fahrten der Zerstörer *Breckinridge* und *Blakeley* vor der amerikanischen Atlantikküste, über die HAYES in den Proceedings der American Philosophical Society vom Jahre 1920 [74] berichtet. MAURER nimmt, insbesondere bezüglich der Genauigkeit vom Standpunkt des Hydrographen aus, in den Annalen der Hydrographie [75] zu den Ergebnissen kritisch Stellung.

Ein besonderer Vorteil des HAYESSchen Verfahrens ist, daß mit ihm eine kontinuierliche Anzeige der überfahrenen Tiefe möglich ist, allerdings erfordert es die dauernde Aufmerksamkeit eines geschulten Bedienungsmannes, ein wesentliches Hindernis für allgemeine Einführung, insbesondere in der Handels-schiffahrt. Eine Krönung der akustischen Messung der Meerestiefe mittels des binauralen Richtungshörers bedeutete die Fahrt des amerikanischen Zerstörers *Stewart* vom 20.—29. Juni 1922, die zu einer kontinuierlichen Aufnahme des Profils des Bodens des atlantischen Ozeans von Newport, Rhode Island auf einem Großkreis bis zu den Azoren und über die Josephine- und Gettysburg-Bänke bis nach Gibraltar führte. Es wurde eine konstante Geschwindigkeit von 15 Knoten (sm/h) eingehalten. Zu einer Lotung war etwa eine Minute erforderlich; mindestens jede 20. Minute wurde eine akustische Tiefenmessung vorgenommen, in Gebieten mit rapide sich ändernder Tiefe sogar jede Minute. — Die dabei angewandte Methode ist eine Variante des oben beschriebenen Verfahrens. Das entwickelte Gerät hatte die Bezeichnung „Sonic-Depth-Finder“ und wird von HAYES in einer im Journal of the Franklin Institute [76] erschienenen Arbeit¹ und ebenso in der Marine Review [77] ausführlich beschrieben.

Das aufgenommene Tiefenprofil des atlantischen Ozeans ist auf der Rückseite der „Pilot Chart of the North Atlantic Ocean, January 1923“ abgedruckt und auch auf einer etwa 1,20 m langen Falttafel im Band 1 der Hydrographic Review [8] enthalten.

Mit dieser Demonstration im großen Maßstab der Brauchbarkeit der akustischen Methode zur Messung der Meerestiefe können wir diesen Entwicklungsrückblick abbrechen.

In Deutschland hatte BEHM allerdings schon sein Echolot entwickelt (die erste Beschreibung des von ihm konstruierten „Behm-Echolotes“ gab er im Jahre 1921 in den Annalen der Hydrographie [50]), aber

¹ Diese Arbeit ist auch in anderer Hinsicht bemerkenswert. Nach einer Besprechung der zur akustischen Tiefenmessung von FESSENDEN, SPITZ und BEHM vorgeschlagenen Methoden berichtet HAYES eingehend über seine eigenen Untersuchungen und kommt zum Schluß auch auf andere Anwendungsmöglichkeiten der akustischen Meßmethode zu sprechen. Es heißt dort: „It should serve equally well for determining the depth below the earth's surface of abrupt changes or discontinuities in the earth's crust such as are offered by oil and coal deposits or subterrean caverns. . . . And though it may seem far fetched, there is possibility that the methods outlined may also be utilized for locating cracks and blowholes in large castings“.

Wir haben nicht versucht festzustellen, wie weit diese Bemerkungen HAYES der Anlaß zur Entwicklung der Sprengseismik zur Lagerstättenforschung gewesen sind. — Eine Verwendung der Echomethode in der Werkstückprüfung geht jedenfalls nicht von ihnen aus. Das Durchstrahlverfahren mittels Ultraschall wird erst 1929 von SOKOLOFF [78] auf Grund seiner Versuche zur Werkstoffprüfung vorgeschlagen. Eine Art Echoverfahren beschreibt MÜLLER in einer Patentschrift [79] 1931, während das Laufzeitverfahren etwa ab 1940 von FIRESTONE [80] entwickelt wurde.

infolge der Nachkriegsverhältnisse scheint darüber im Ausland wenig bekannt geworden zu sein. So hatte MARTI auch im Jahre 1919 Echolotversuche mit Knallpatronen angestellt [83], wobei aber das angewandte Verfahren wesentlich weniger leistete als das BEHM'sche Echolot. Insbesondere hatte man nicht die Wirkung des Schallschattens des Schiffkörpers ausgenutzt, wodurch das Echomikrophon von der Wirkung des Primärschalls abgeschirmt wird.

Die von LANGEVIN und seinen Mitarbeitern durchgeführten Untersuchungen führten zur Entwicklung eines Ultraschall-Echolotes unter der Lizenz LANGEVINScher Patente durch die Pariser Firma SCAM (Société de Condensation et d'Application mécaniques).

Die weitere Entwicklung der Echolotgeräte (die fast ausschließlich nach dem Laufzeitverfahren arbeiten) kann in der seit dem Jahre 1923 vom Bureau Hydrographique International in Monaco in einer englischen (Titel: Hydrographic Review) und einer französischen Ausgabe (Titel: Revue Hydrographique) herausgegebenen Zeitschrift (ab Band 24 (1947) lautet der Titel: International Hydrographic Review bzw. Revue Hydrographique International) verfolgt werden. Es werden dort laufend Gerätebeschreibungen veröffentlicht und die mit akustischen Tiefenmessungen zusammenhängenden Fragen behandelt. Der Stand der Gerätetechnik vom Jahre 1939 kann aus der Special Publication Nr. 33 [82] des oben genannten Büros ersehen werden. Eine Neuauflage dieser Veröffentlichung ist im Entstehen¹.

Es seien hier abschließend noch einige Punkte genannt, die als besondere Marksteine in der Entwicklung der akustischen Verfahren Erwähnung verdienen.

Die Aussendung und der Empfang von Ultraschallimpulsen unter Ausnutzung des magnetostriktiven Effektes (eine heute fast überall für Echolotzwecke angewandte Methode) scheint, zumindest für die Aussendung, zuerst von GERDIEN² in einem Patent [85] vom 19. I. 1927 (Anspruch: Unterwasserschallsender, gekennzeichnet durch die Ausnutzung der Magnetostraktion zur Erzeugung mechanischer Schwingungen) vorgeschlagen worden zu sein (Abb. 7). — Das erste Echolot mit magnetostriktivem Geber und Empfänger wurde bei der Britischen Admiralität von WOOD, SMITH und McGEACHY [87] entwickelt und von der Firma Henry Hughes & Sons, London, in Lizenz gebaut. WOOD schreibt, daß die Ausnutzung dieses Effektes auf Versuchen beruht, die 1925 von E. P. HARRISON und ihm durchgeführt wurden. Einen ersten Versuch mit einem magnetostriktiven Echolot nahm man im Februar 1930 bei Sherness vor. Versuche im tiefen Wasser begannen am 20. Juni 1932.

Ein sehr wichtiger Entwicklungsabschnitt, insbesondere auch für die Anerkennung des Echolotes

¹ Das kürzlich erschienene Buch von GAWWAY [84]: 'Echo Sounding at Sea' ist kaum mehr als ein Bedienungshandbuch für britische Echolotgeräte.

² Durch Anfrage bei der Siemens & Halske A.G. konnte nur festgestellt werden, daß Versuche mit diesem Geber und auch mit einer von GERDIEN vorgeschlagenen akustischen Tiefenmeßmethode [86] seinerzeit im Wannsee stattfanden. Ein magnetostriktiver Unterwasserempfänger wird bereits im Jahre 1908 in einer britischen Patentschrift [93] von GARRATT und LUNA beschrieben. Auch das Tonpulsgerät [99] wird hier schon angewendet.

als zuverlässigem Meßgerät, beginnt mit der Einführung eines **schreibenden Gerätes**, welches fortlaufend auf einem Papierstreifen die überfahrene Tiefe aufzeichnet und so in sinnfälliger und geradezu faszinierender Weise ein Bild des Tiefenprofils des Meeres gibt. Ein **schreibendes Echolotgerät** wurde etwa im Jahre 1931 von der britischen Admiralität herausgebracht [88] (Hersteller: Henry Hughes & Sons, London), **wenig später** erfolgte die **Entwicklung des Echographen der Atlas-Werke in Bremen** [89].

Im Augenblick der Einführung schreibender Echolote war noch gar nicht abzusehen, daß das so gewonnene Echogramm für den Hydrographen, den Ozeanographen, den Hydrobiologen, den Fischereiwissenschaftler, den Geologen und Geophysiker einmal neue Aufgaben zur Lösung geben würde, zum anderen auch zur Klarstellung wichtiger Fragen beitragen könnte. Die **Analyse** der neben dem reinen Tiefenprofil auftretenden oft rätselhaften Zeichen, ihrer Artikulation und Form, ist ein Problem, dessen Beherrschung noch aussteht. — Es seien in diesem Zusammenhang nur die kommerziell bedeutungsvolle Ortung von Fischschwärmen [100] und die Erkennung von Schichtungen des Meeresbodens erwähnt [101, 102]; diese beiden Anwendungen des Echolotes benötigten eigenartigerweise lange Zeit bis zur Anerkennung und Nutzung.

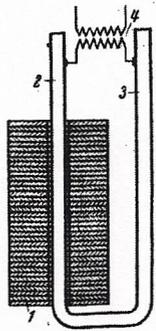


Abb. 7. Magnetostruktionschallgeber nach H. GARDIN, DRP 449 862 vom 19. 1. 1927. — 1 = Biechring aus ferromagnetischem Material, 2, 3 = elektrischer Leiter, — 4 = Transformator.

Die Entwicklung des Echolotes ist also aus dem Bemühen und Forschen vieler Männer der verschiedensten Nationen hervorgegangen und bietet daher ein klares Beispiel einer wahrhaft internationalen Erfindung¹.

Nachwort.

Während die in Deutschland auf dem Gebiet der Funkmeßtechnik (Radar) im 2. Weltkrieg geleistete Forschungs- und Entwicklungsarbeit schon eingehend dargestellt wurde [91–93], ist über den deutschen Beitrag zur Unterwasserschalltechnik so gut wie gar nicht bisher berichtet worden².

Lediglich Holtz [94] beschreibt in einer amerikanischen Zeitschrift das deutsche Gruppenhorchgerät (GHG); ein italienisches Buch von Federici [95] enthält einiges über die deutschen (und britischen) Unterwasserortungsgeräte. — Über die während des 2. Weltkrieges in den USA durchgeführten, z. T. sehr umfangreichen Forschungen geben die Nachkriegsjahrgänge des Journal of the Acoustical Society of America hinreichend Aufschluß. Das amerikanische SONAR (Sound Navigation And Ranging)-Gerät behandeln besonders die Veröffentlichungen von Keller [96, 97]. Das britische Ortungsgerät trägt

¹ Der kürzlich aufgestellten Behauptung, das „Echolot sei eine rein deutsche Erfindung“ [90], kann offensichtlich nicht beigegeben werden.

² Anmerkung bei der Korrektur:

In einer soeben erschienenen Monographie [103], die zahlreiche Beiträge über die Entwicklung des deutschen Funkmeßwesens enthält, wird in einem von W. Kunze verfaßten Aufsatz auch über deutsche Schallmeß- und Ortungsverfahren berichtet.

den Namen ASDIC (Anti-Submarine Defence Investigating Committee) und wird in dem oben erwähnten Buch von Federici [95] näher beschrieben, während die Monographie von Vigoureux [100] über Quarzoszillatoren auch eine kurze Beschreibung, insbesondere des Gebers, welcher dem Langevinschen Dreischichtenträger nachgebildet ist, enthält.

Literatur. [1] Ann. Chim. et Phys. 19, 328 (1821). — [2] Ann. Chim. et Phys. 26, 198 (1824). — [3] Ann. Chim. et Phys. 32, 98 (1826). — [4] Ann. Chim. et Phys. 35, 194 (1827). [5] COLLADON und STURM: Ann. Chim. et Phys. (2) 36, 113 und 225 (1827). — [6] COLLADON und STURM: Ann. Phys. 12, 39 und 161 (1828). — [7] Proc. Amer. Phil. Soc. 1, 39 (1838). — [8] Journ. Frankl. Inst. 24, 351 (1839). — [9] Phil. Mag. (3) 14, 538 (1839). — [10] Amer. Journ. of Science and Arts (Häufig als „Silliman's Journ.“ zitiert) 38, 160 (1840). — [11] L'Institut. Journal générale des sociétés et travaux scientifiques de la France et de l'étranger. 1. Section = Sciences mathématiques, physiques et naturelles. 8, 25 (1840). — [12] Bibliothèque universelle de Genève (Nouv. Sér.) 22, 380 (1839). — [13] BLOCHMANN, R.: Marine Rundschau 9, 197 (1898). [14] EWING, M. u. a.: Bull. Geologic Soc. Amer. 57, 909. (1946). — [15] FRIEDMAN, B.: Comm. Pure and Appl. Math. 3, 177 (1950). — [16] ARONS, A. B. u. a.: Journ. Acoust. Soc. Amer. 20, 271 u. 277 (1948). — [17] COLE, R. H.: Underwater Explosions, Princeton, 1948. — [18] COLLADON: Compt. Rend. Acad. Sci., Paris 13, 439 (1841). — [19] COLLADON, D.: Ann. Phys. 54, 130 (1841). — [20] TYNDALL, J.: Der Schall, 3. Aufl., Braunschweig, 1897. — [21] EWING, M. und J. L. WÖRZEL: Memoir 27 of the Geologic. Soc. of Amer. (15. Oktober 1948). — [22] AIGNER, F.: Unterwasserschalltechnik, Berlin, 1922. — [23] STIFLER, W. W. und W. F. SAARS: Electronics 21, 98 (Juni 1948). — [24] Historisch-Biographisches Lexikon der Schweiz, 2 Neuenburg (1924), S. 601. [25] COLLADON: Compt. Rend. Acad. Sci. Paris 15, 800 (1842). — [26] LUCAS, M. F.: Compt. Rend. Acad. Sci., Paris 75, 204 (1872). — [27] THERLFAHLL, R. und J. F. ADAIR: Proc. Roy. Soc. (London) 46, 496 (1889). — [28] WOOD, A. B.: A Textbook of Sound, 2. Aufl., London, 1946, S. 299. — [29] KEYS, D. A.: Phil. Mag. (6) 42, 473 (1921). — [30] KRAUSS, J.: Ann. Hydrograph. 48, 18 (1920). — [31] MAURY, M. F.: The Physical Geography of the Sea. An Entirely New Edition, London, 1856. — [32] MAURY, M. F.: Die physische Geographie des Meeres. Deutsch bearbeitet von C. BÖTTGER, 2. mehrf. veränderte u. verm. Aufl. Leipzig, 1859. — [33] KUNZE, W.: Seeschiffahrtstag Berlin, 1927, S. 214. — [34] JOLY, J.: Brit. Pat. Appl. No. 14 373/1888 vom 6. 10. 1888. — [35] JOLY, J.: Phil. Mag. (6) 36, 1 (1918). — [36] SCHULZ, B.: Ann. Hydrograph. 52, 254 u. 289 (1924). — [37] WENDLER, A.: DRP. 300 285 v. 25. 3. 1916. — [38] BERGGRAF, H.: Teknisk Ugeblad (später T. Ukeblad), Kristiania, 22, 404 (1904). — [39] ETZ 26, 150 (1905). — [40] BAUMGARTNER, A.: Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande, 3. umgearb. u. verm. Aufl., Wien, 1829, S. 671. — [41] SIEMENS, C. W.: Phil. Transact. Roy. Soc. (London) 166, 671 (1876). — [42] SIEMENS, C. W.: Die Eisen- und Stahlindustrie in England. Der Bathometer. Vorträge, Berlin, 1878. — [43] DOUGLAS, H. P.: Geographical Journ. (London) 74, 47 (1929). — [44] LUEGERS Lexikon der gesamten Technik, 3. Aufl. 4, 762, Leipzig, 1928. — [45] ELLS, A. F.: DRP. 194 381 vom 19. 3. 1907; U. S. Patent 848 092 v. 26. 3. 1907. — [46] RICHARDSON, L. F.: Brit. Patent 9423 (1912). — [47] RICHARDSON, L. F.: Brit. Patent 11 125 (1912). — [48] KLEIN, E.: Journ. Acoust. Soc. Amer. 20, 601 (1948). — [49] BEHM, A.: DRP. 282 009 v. 22. 7. 1913. [50] BEHM, A.: Ann. Hydrograph. 49, 241 (1921). — [51] DVÖRÁK, V.: Ann. Phys. 9, 502 (1830). — [52] PECK, F.: Ann. Hydrograph. 37, 103 (1909). — [53] BEHM, A.: DRP. 367 202 v. 1. 6. 1920. — [54] BEHM, A.: DRP. 507 942 v. 18. 12. 1928. — [55] BRUNS, R.: Zeitschr. f. Feinmech. und Präzision 33, 67, 85 und 94 (1925). — [56] QUINAN, J. H.: Hydrographic Office Bulletin (Washington) vom 13. Mai 1914. — Auch als Anhang zu einem Vortrag von R. A. FESSENDEN: Long Distance Submarine Signaling by Dynamo Electric Machinery. Published by the Lawrence Scientific Association, June 1914. — [57] BLAKE, R. F.: Transact. Amer. Inst. Electr. Engrs. 33, 1549 (1914); Proc. Amer. Inst. Electr. Engrs. 33, 1569 (1914). — [58] Submarine Signal Company, DRP. 289 427 v. 23. 8. 1913. — [58a] FESSENDEN, R. A.: US. Patent 1 217 585 v. 2. 4. 1914. — [58b] Submarine Signal Company, DRP. 312 430 v. 12. 12. 1914. — [59] KING, L. V.: Nature 114, 122 (1924). —