

2450?

Delgentia 47.28

## DE ONDERWATER-ACOUSTIEK EN HAAR TOEPASSINGEN

door

Ir M.W. van Batenburg

Met enige schroom heb ik het verzoek aanvaard om te spreken over onderwater-acoustiek, aangezien dit onderwerp slechts van belang is voor een betrekkelijk kleine groep mensen, nl. de zeelieden van marine, koopvaardij en visserij.

Over onderwater-acoustiek wordt verstaan: de leer der voortplanting van acoustische trillingen onder water, waarbij onder acoustische trillingen hier verstaan wordt: sonore ofwel hoorbare trillingen (frequenties van 20 tot 15.000 trillingen per seconde) en super-sonore trillingen, welke door het menselijk oor niet meer gehoord kunnen worden (frequenties van 15.000 tot 100.000 trillingen per seconde).

Vele toepassingen van de onderwater-acoustiek zijn in de periode tussen de eerste en de tweede, maar vooral tijdens de tweede wereldoorlog ontwikkeld tot zeer bruikbare apparatuur. Als voorbeelden noem ik:

het echolood, een apparaat om de diepte van het water onder het schip te meten, tevens in gebruik om visscholen op te sporen, diverse navigatiesystemen.

Verder speciaal voor de marine:

Asdic\* en Sonar\*, apparaturen om de richting en afstand van onderzeeboten te bepalen, onderwater-communicatie-middelen, geruispijler, acoustische mijnen, acoustische torpedo, sonobuoy, havenbeveiligingsinstallaties, enz.

Ik kom later nog terug op deze apparatuur, maar wil U eerst een overzicht geven van de historische ontwikkeling van de onderwater-acoustiek.

Het schijnt, dat reeds in 1807 de Franse physicus Arago voorstelde om de geluidsgolven onder water te gebruiken om afstanden en diepten te meten.

Ongeveer 20 jaar later deden de geleerden Calladon en Sturm proeven in het meer van Genève, om de voortplantingssnelheid van trillingen in water te bepalen; zij vonden hiervoor 1435 meter per seconde.

Dat het nodig is, de voortplantingssnelheid van trillingen onder water te kennen, om afstanden te kunnen meten is duidelijk: Men zendt een korte stoot acoustische trillingen, ook wel puls genoemd,

\*) Allied Submarine Devices Investigation Committee  
Sound Navigation and Ranging.

uit, die zich in het water voortplant met een snelheid van  $v$  meter per seconde. Men wacht nu tot de trillingen na terugkaatsing (bv. bij een echolood tegen de bodem der zee) weer opgevangen worden (zie fig. 1); de trillingen, welke men na terugkaatsing weer opvangt, worden 'echo' genoemd; (vandaar het woord echolood). Als nu de tijd, welke verstreken is tussen het moment van uitzenden en het moment van ontvangen, gelijk is aan  $t$  seconden, dan volgt hieruit, dat de afstand  $a = \frac{1}{2} v.t.$

De factor 0,5 is het gevolg van het feit, dat de trillingen de weg tweemaal afgelegd hebben, nl. éénmaal heen en éénmaal terug. Nemen wij een getallenvoorbeeld:

$$v = 1500 \text{ meter per seconde,}$$

$$t = 1 \text{ seconde,}$$

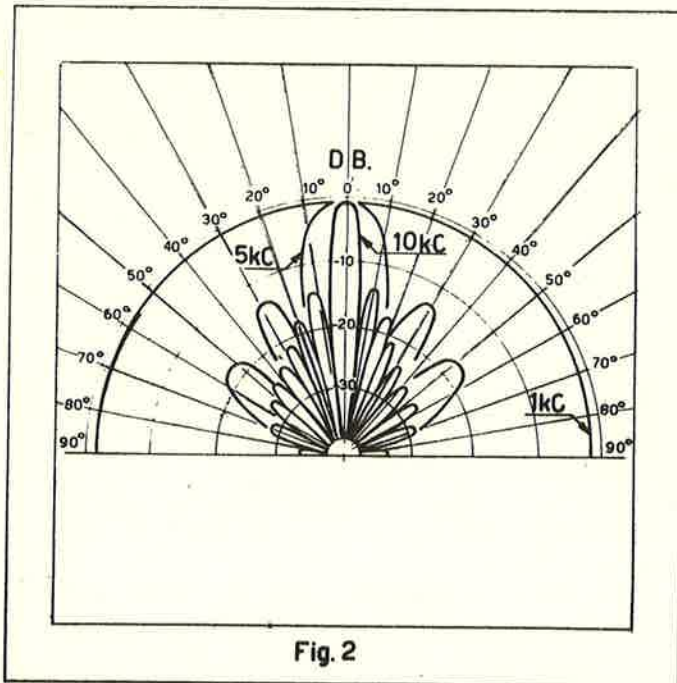
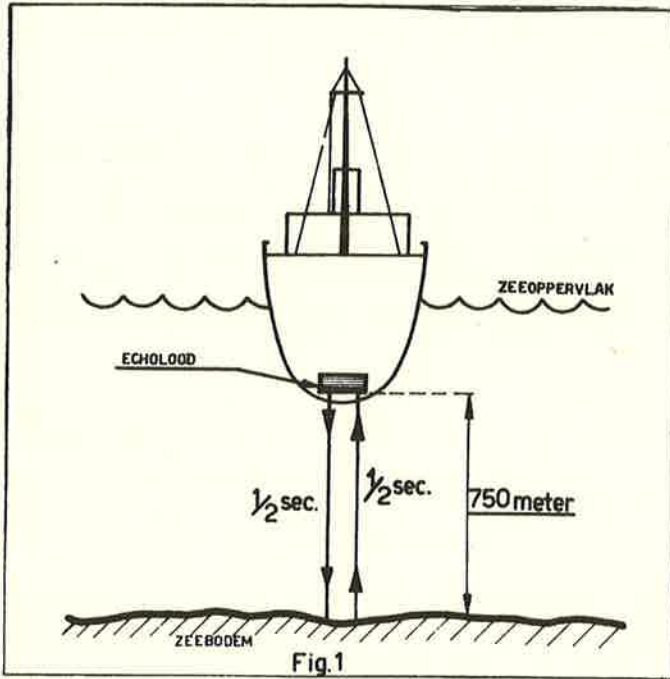
dan duurt zowel de heen- als terugweg dus 0,5 seconde; in 0,5 sec. wordt afgelegd 750 meter, de gemeten diepte bedraagt dus 750 meter. Het is dus duidelijk, waarom eerst de voortplantingssnelheid van trillingen onder water bepaald dient te worden, voor men afstanden en diepten kon meten.

Het is wel aardig om te vernemen, hoe in 1826 door Calladon en Sturm deze voortplantingssnelheid bepaald werd. De trillingen werden uitgezonden door een klok, welke onder water was opgesteld; op enige afstand van de klok bevond zich de waarnemer, die luisterde aan een buis, welke zich in het water bevond. Op het moment, dat de klok begon te luiden, werd een buskruitvlam ontstoken, zodat de waarnemer het tijdstip van het begin van het luiden kende; hij wachtte nu tot hij in zijn oren ook de klok hoorde en mat de tijd, verstreken tussen het zien van de buskruitvlam en het horen van de klok en kon hieruit, daar de afstand bekend was, de voortplantingssnelheid berekenen.

Voor het eerst werd gebruik gemaakt van onderwater-signalering in 1902 bij de onderwaterklok van Mundy en Gray. Men had nl. geconstateerd, dat tijdens mist het gebruik van de misthoorn niet altijd aanvaringen voorkwam, aangezien het geluid van de misthoorn soms afgebogen werd en dacht nu door signalering onder water de misthoorn te kunnen vervangen. Deze onderwaterklok werd pneumatisch in beweging gebracht. Een groot succes werd deze vinding niet, aangezien de klok onder het schip onhandig was en men niet beschikte over een luister-apparaat.

Het zoeken was nu eerst naar een eenvoudig apparaat om acoustische trillingen in het water te brengen en wel met een zo groot mogelijke energie.

In 1907 construeerde in Amerika professor R.A. Fessenden een electro-dynamische overdrager. Aan deze overdrager werden elektrische trillingen toegevoerd en deze werden aan het water als acoustische trillingen overgedragen, analoog, zoals dat bij een luidspreker ge-



geschiedt. De frequentie van de door dit apparaat opgewekte trillingen bedroeg 540 trillingen per seconde ofwel 540 Hertz. Nu is deze frequentie van 540 Hertz zeer laag; de tegenwoordige apparatuur om afstanden of diepten te meten werkt in een frequentie-gebied van 15.000 tot 80.000 Hertz. De redenen, welke er toe geleid hebben om op veel hogere frequenties te gaan werken, waren de volgende:

1) Men kan op deze hogere frequenties een bepaalde kleine frequentieband gebruiken, zodat men minder last heeft van het geruis, dat door het schip zelf gemaakt wordt en dat het sterkst is op lagere frequenties. Dit geruis is het gevolg van het draaien der schroeven, het lawaai der machines en het langs stromende en tegen de huid klotsende water; verder zijn er altijd geluiden in de zee zelf aanwezig tengevolge van de stromingen, golven enz.

2) Om een echo te verkrijgen is het natuurlijk van belang dat zoveel mogelijk energie in één richting uitgezonden wordt en wel in de richting, waaruit men een echo verwacht te krijgen. Men noemt dit bundeling der stralen (fig. 2). Om nu tot een goede bundeling te komen is het nodig, dat de afmetingen van de overdrager groot zijn ten opzichte van de golflengte van de trillingen in het water of omgekeerd, als men een overdrager van bepaalde afmetingen heeft, is het voordelig, wanneer men een goede bundeling wil verkrijgen, om een zo hoog mogelijke frequentie te kiezen. (Een hoge frequentie betekent nl. een kleine golflengte, aangezien het product van golflengte en frequentie constant is). Iets dergelijks kunt u bij Uw radio-toestel ook waarnemen. Als u naar muziek luistert, zult U overal in de kamer de lage tonen goed horen, echter zult U, als U zich op de hartlijn van de luidspreker bevindt veel meer hoge tonen horen dan op een andere plaats in de kamer.

De ramp van de Titanic, die in 1912 op een ijsberg liep was de oorzaak, dat vele wetenschapsmensen hun aandacht gingen wijden aan het vinden van een apparatuur, welke in staat zou zijn om de aanwezigheid van voorwerpen onder water aan te tonen. Het was de Amerikaan Richardson, die het eerst het idee opperde om afstanden te meten met behulp van een echo. Enige jaren later construeerden de Fransen Langevin en Chilowsky voor het eerst een overdrager, welke een flinke energie bij hoge frequentie kon leveren. De frequentie, die zij gebruikten, was 15.000 Hertz, een frequentie, die jonge mensen nog net kunnen horen, oudere mensen echter kunnen deze zeer hoge toon niet meer horen.

De overdrager van Langevin en Chilowsky maakte gebruik van het piëzo-electrisch effect van kwarts, waaraan veel onderzoekingen werden gedaan in die tijd door Jacques en Pierre Curie. Het piëzo-electrisch effect van kristallen van stoffen als kwarts, Rochelle- of Seignette-zout, tourmalijn, e.d. openbaart zich als volgt:

door druk uit te oefenen op twee tegenover elkaar gelegen vlakken van het kristal, neemt men tussen twee andere vlakken van het kristal een elektrische spanning waar; dit effect is omkeerbaar: zet men een elektrische spanning tussen twee vlakken, dan zet het kristal uit of krimpt in een bepaalde richting, afhankelijk van de polariteit der spanning (fig. 3). Als men nu op zo'n kristal een wisselspanning zet, d.w.z. een spanning, die van polariteit wisselt met de frequentie van die wisselspanning, dan heeft dit tot effect, dat het kristal dus uitzet en krimpt in het rythme van de frequentie van de wisselspanning. Plaatst men dit trillende kristal nu in het water, dan ontstaat dus periodiek achtereenvolgens een overdruk en een onderdruk in het water; het water, dat zich voor het kristal bevindt, wordt verplaatst en verplaatst daarna het volgende deel water; de verstoring plant zich dus voort.

Hetzelfde verschijnsel ziet men, als men een steen in het water gooit en de ringen steeds groter ziet worden; het verschil is echter, dat men in het eerste geval te maken heeft met verplaatsing van het water *in* de voortplantingsrichting en in het tweede geval met verplaatsing van het water *loodrecht op* de voortplantingsrichting van de verstoring. Het eerste geval noemt men een longitudinale, het tweede geval een transversale trilling.

Deze kristallen en speciaal het kwarts maakten het dus mogelijk een betrekkelijk kleine overdrager te construeren, die een flinke energie kon afgeven en een goede bundeling der stralen gaf; aangezien men een hoge frequentie kon gebruiken. De praktische uitvoering van de overdrager van Langevin bestond uit een aantal kwartsstroken tussen staalplaten geklemd.

Als we willen bezien welke consequenties deze wetenschappelijke onderzoeken hadden, speciaal voor de marine, dan gaan we terug naar de eerste wereldoorlog, waarin de onderzeeboot ook reeds een grote rol speelde. Het probleem was, de onderzeeboten op te sporen en te bestrijden. Men heeft hiertoe in het begin zelfs pogingen gedaan om met behulp van een lasso vanuit een sloep de periscoop van de onderzeeboot te "vangen" en een andere, evenmin geslaagde oplossing was het gebruik van getrainde zeehonden om de onderzeeboot op te sporen; men had nl. deze zeehonden eraan gewend, dat zij alleen voedsel konden krijgen van een onderzeeboot en men hoopte, dat de zeehond nu naar de vijandelijke onderzeeboot toe zou gaan. Al gauw kwam men tot betere oplossingen; men vond namelijk, dat een varende onderzeeboot een aanzienlijk geruisveld produceert, grotendeels afkomstig van de schroeven echter ook van geluiden in de onderzeeboot, veroorzaakt door de motoren enz. Dit geruis moest dus beluisterd worden en de richting, waaruit het kwam, bepaald worden.

In Amerika werd in 1916 een luisterapparaat geconstrueerd, be-

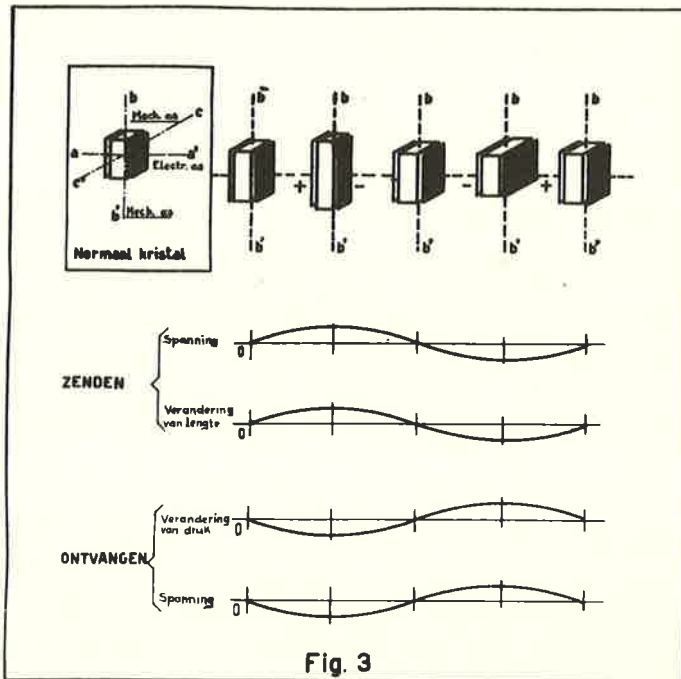


Fig. 3

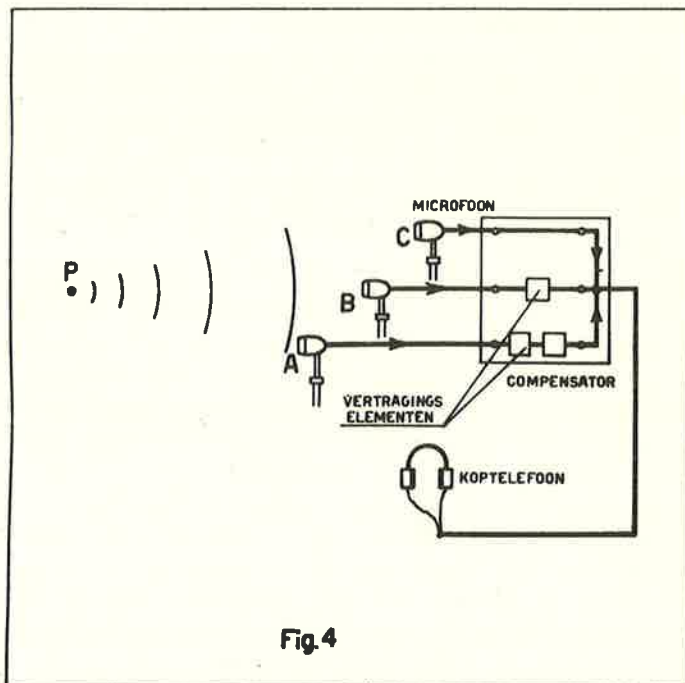


Fig. 4

staande uit een holle T-vormige buis, welke aan ieder uiteinde van het horizontale deel, op ongeveer 1,5 meter van elkaar, een rubber membraan bevatte en waarop aan het einde van het verticale deel een stethoscoop bevestigd was, zodanig dat men met het linker oor het ene membraan en met het rechter oor het andere membraan beluisterde. Hiermede was h t mogelijk, indien het eigen schip stil lag, het schroefgeruis van een onderzeeboot te horen en ruw de richting te bepalen. Met deze T-vormige buis werd de richting van het geruis bepaald door de rubberdoppen of microfoons ieder met  n oor te verbinden en dan de T-vormige buis zolang te draaien tot het geluid in beide oren even sterk was. Door dit door meer schepen tegelijk of achtereenvolgens te laten doen, kon men enigermate de plaats van de onderzeeboot bepalen. Later werd dit systeem van rubber membranen vervangen door koolmicrofoons, waarvan de uitgangsspanningen elektronisch versterkt en met behulp van koptelefoons beluisterd werden. Dat dit systeem veel beter werkte, is voornamelijk toe te schrijven aan het feit, dat zeer veel energie verloren gaat als de trillingen van het water overgaan naar de lucht in de holle buis; aan het scheidingsoppervlak tussen water en lucht wordt namelijk verreweg het grootste deel der acoustische trillingen gereflecteerd, zodat slechts een zeer gering deel van het oorspronkelijk aanwezige signaal in de stethoscoop terecht komt. Door het water in direct contact met de microfoons te brengen, verliest men slechts zeer weinig van de intensiteit van het signaal.

De volgende stap tot verbetering van het luisterapparaat was nu om een vaste opstelling van microfoons te maken en op elektrische wijze de richting te bepalen; dit systeem gaf een aanmerkelijk nauwkeuriger richtings-indicatie. Men nam daartoe in de versterkers tussen microfoon en koptelefoon compensatoren of vertragende netwerken op. De werking van deze compensatoren is het best te verklaren met behulp van fig. 4.

Nemen we aan, dat de 3 microfoons (A, B en C) door een golf front, afkomstig van een geluidsbron in P, getroffen worden, dan zal eerst A en bv. 1 seconde later B en weer 1 seconde later C getroffen worden. In de compensatoren kan men nu verschillende vertragings-elementen inschakelen, totdat het geluid in de koptelefoon zo sterk mogelijk is; dit is het geval wanneer men na A een elektrische vertraging van 2 seconden, na B een vertraging van 1 seconde en na C geen vertraging van het signaal laat plaats vinden, want dan komen alle drie de signalen tegelijk of wel in phase in de koptelefoon aan. Door middel van het instellen van de compensator, waarmee men dus de vertraging van het signaal van iedere microfoon instelt, kan men het bovenstaande bereiken. Door een bepaalde opstelling der microfoons te kiezen en de compensator hieraan aan te passen kan men bereiken, dat de compensator slechts met  n handwiel bediend be-

rect de afstand te lezen, hetgeen in principe natuurlijk ook kan geschieden met een stopwatch, zoals in de figuren is aangegeven); de *zend-ontvang schakelaar*, welke het moment van uitzenden bepaalt en slechts gedurende een zeer korte tijd (5 tot 50 milliseconden) in de stand 'zenden' staat (deze schakelaar is nodig, omdat de overdrager zowel voor zenden als ontvangen gebruikt wordt);

de *overdrager*, welke draaibaar onderaan het schip bevestigd is en soms nog omsloten is door een z.g. dom, die de overdrager beschermt en tevens door zijn stroomlijnvorm zorgt, dat geen wervels in het water ontstaan tijdens het varen van het schip, waarvoor veel geruis veroorzaakt zou kunnen worden.

Fig. 5a geeft de rusttoestand weer, in welke toestand ook geruis gepeild kan worden.

Fig. 5b geeft het moment weer, waarop de overdrager aan de zender aangesloten is en de uitzending plaats heeft. Op dit moment gaat ook de stopwatch lopen.

Fig. 5c geeft het moment weer, waarop de onderzeeboot door de uitgezonden puls getroffen wordt; de zend-ontvang schakelaar is direct na het uitzenden van de puls weer in de ontvangstand gezet.

Fig. 5d geeft het moment weer, waarop de uitgezonden puls, na terugkaatsing tegen de wand van de onderzeeboot, weer opgevangen wordt door de overdrager, die op zijn beurt het elektrisch signaal doorgeeft via de zend-ontvang schakelaar aan de ontvanger, zodat in de koptelefoon de echo gehoord of op het registratie-instrument de echo opgetekend wordt; op dit moment wordt ook de stopwatch afgedrukt en is het aantal verlopen seconden een maat voor de afstand, waarop zich de onderzeeboot bevindt.

Na het einde van de eerste wereldoorlog eindigde ook de activiteit van het Allied Submarine Devices Investigation Committee en ging ieder land voor zichzelf werken aan deze problemen, waarbij het probleem van de keuze van de overdrager wel het voornaamste was.

De Amerikanen en Engelsen legden zich na de eerste wereldoorlog hoofdzakelijk toe op actieve, de Duitsers zowel op actieve als op passieve apparatuur. Eerst werd met kwarts-overdragers gewerkt, later, vanaf 1933, ook met magnetostrictieve overdragers, speciaal in Amerika en Duitsland. Evenals we bij kwarts gezien hebben, dat het uitzet en krimpt afhankelijk van de aangelegde spanning, vinden we, als we een nikkelen buis of een pakket nikkellamellen bewikkelen met draad en door deze draad een elektrische stroom sturen, dat de nikkelen buis onder bepaalde voorwaarden uitzet en krimpt, afhankelijk van de richting van de elektrische stroom.

Tegen het eind van de tweede wereldoorlog werden ook kunstmatig



gekweekte kristallen voor overdragers gebruikt, zoals seignettezout en ammonium-dihydro-phosfaat. Het voordeel van deze kristallen is, dat zij niet zoals kwarts en nikkelbuizen slechts op één scherp gedefiniëerde frequentie te gebruiken zijn, maar over een frequentiegebied bruikbaar zijn; een bezwaar is echter, dat zij mechanisch minder sterk zijn.

De systemen om richting en afstand van onderzeeboten te bepalen zijn in de laatste oorlog weinig veranderd; alleen de hulpparaatuur is sterk verbeterd, zodat de bepalingen veel nauwkeuriger werden.

Om U een indruk te geven van de prestaties van overdragers volgen hier enkele gegevens. Een energie-intensiteit van 10 watt per vierkante cm aan het oppervlak van de overdrager, ongeveer de maximum energie-intensiteit, welke het water onder bepaalde omstandigheden toelaat, betekent, dat de energie, die per tijdseenheid door een oppervlak van 1 vierkante cm gaat loodrecht op de voortplantingsrichting, 10 watt bedraagt. Ter vergelijking diene, dat een luidspreker op kamersterkte een energie-intensiteit levert van ongeveer  $2 \cdot 10^{-9}$  watt per vierkante cm en een kanonschot  $10^{-3}$  watt per vierkante cm. De energie-intensiteit bij de overdrager is dus 5 milliard maal zo groot als bij een luidspreker op kamersterkte en 10.000 maal zo groot als bij een kanonschot.

Om het afstandsbereik van de Asdic zo groot mogelijk te maken moet men zoveel mogelijk energie in het water brengen, waartoe twee middelen ten dienste staan:

ten eerste: de afmetingen van de overdrager zo groot mogelijk kiezen; deze afmetingen worden echter grotendeels vastgesteld door de scheepsbouwers

ten tweede: de energie-intensiteit zo hoog mogelijk opvoeren; hieraan wordt echter een grens gesteld door het optreden van cavitatie in het water, hetzelfde verschijnsel dat zich kan voordoen bij schroeven van schepen, waardoor zelfs gaten en putten in het schroefoppervlak kunnen ontstaan. Zodra cavitatie in het water optreedt, kunnen de acoustische trillingen zich niet meer uitbreiden, zodat de cavitatie de maximaal toelaatbare energie-intensiteit bepaalt.

Heeft men nu een zo gunstig mogelijke overdrager geconstrueerd, dan blijkt, dat met de Asdic-apparaatuur onder redelijke omstandigheden afstanden bereikt kunnen worden van ongeveer 3 kilometer; vergeleken met de afstanden, welke met Radar bereikt worden, dus slechts een pover resultaat. Wat zijn hiervan de oorzaken?

1) Aangezien de uitgestraalde energie beperkt wordt door de afmetingen van de overdrager en door het optreden van cavitatie kan men slechts werken met een maximum-energie van enkele kilowatts (bij

Radar megawatts).

2) De onder water bereikbare bundeling der stralen, om zoveel mogelijk van de beschikbare energie in één richting te sturen is beduidend slechter dan de bundeling der hoogfrequent trillingen bij Radar. Zoals we reeds zagen is de bundeling der stralen o.a. afhankelijk van de verhouding van de afmetingen van de overdrager t.o.v. de golflengte der trillingen:  $\frac{1}{\lambda}$ . Maken we nu een vergelijking:

Asdic:frequentie = 15.000 Hertz.

voortplantingssnelheid  $v = 1500$  m per sec.

golflengte  $\lambda = \frac{v}{f} = 10$  cm.

afmetingen overdrager maximaal 40 cm.

dus  $\frac{1}{\lambda} = 4$ .

Radar: golflengte  $\lambda = 10$  cm, dus even groot; echter kunnen de afmetingen van de parabolen vrij groot zijn, bij grondradars bv. 5 m, zodat  $\frac{1}{\lambda} = 50$  en zelfs bij kleine radars aan boord van schepen is deze verhouding al gauw 20.

Hieruit blijkt, dat in een bepaalde gewenste richting bij de Radar veel meer energie wordt uitgestraald dan bij de Asdic, wanneer de energiebronnen evengroot zijn.

3) Het medium water blijkt een sterke demping op te leveren voor acoustische trillingen tengevolge van de viscositeit en de onvolmaakte elasticiteit, en deze demping blijkt sterk toe te nemen met de frequentie der trillingen. Metingen hebben aangetoond, dat bij eenzelfde uitgestraalde energie het energie-verlies bij 100.000 Hz over 50 meter, even groot is als bij 10.000 Hertz over 1000 meter! Door de frequentie hoger te kiezen bereiken we dus, dat de bundeling beter wordt; de intensiteit gaat echter ook sterk achteruit, zodat van winst eigenlijk geen sprake is.

4) Door het in zee aanwezig zijn van temperatuur-, druk- en zoutgehalte-gradiënten zal de voortplantingssnelheid ook niet constant zijn, waardoor de trillingen zich niet, zoals stilzwijgend aangenomen was, rechtlijnig zullen voortplanten, maar afgebogen zullen worden (fig. 6). Als bv. de temperatuur van het zee-oppervlak af naar de bodem toeneemt (een positieve temperatuur-gradiënt), dan zullen de stralen naar boven worden afgebogen, daarna tegen het zee-oppervlak terugkaatsen, weer afgebogen worden, enz. In de tropen echter heeft men meestal te maken met een negatieve temperatuur-gradiënt, zodat daar de bundel naar beneden afgebogen wordt met als gevolg, dat het afstandsbereik van de Asdic aanmerkelijk verkleind wordt. De invloed van het toenemen van het zoutgehalte en de druk met de diepte is niet zo ernstig als die van de temperatuur en heeft tot gevolg, dat de stralen iets naar boven gebogen worden, echter is er normaal meestal een kleine negatieve temperatuur-gra-

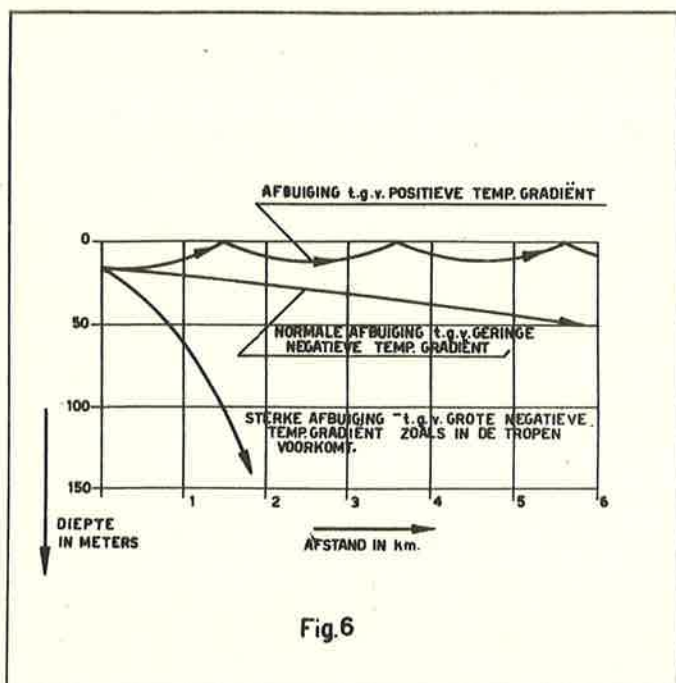


Fig.6

diënt aanwezig, zodat de stralen toch een weinig naar beneden gebogen worden. Tot nu toe is alleen gesproken over gradiënten in het verticale vlak; echter treden er soms aanzienlijke temperatuur-gradiënten op in het horizontale vlak, bv. tengevolge van zeestromingen, met als funest gevolg, dat de gemaakte peilingen niet kloppen. Ook kan het voorkomen, dat horizontale temperatuurlagen optreden met onderling sterk verschillende temperaturen; als nu een onderzeeboot zich onder zo'n laag bevindt is het niet mogelijk, hem op te sporen, aangezien de stralen gereflecteerd worden tegen het scheidingsvlak tussen de twee lagen. Speciaal de Amerikanen hebben hiervan een uitgebreide studie gemaakt en construeerden een onderwater-thermometer, waardoor het mogelijk was een indruk te krijgen van de condities, welke men verwachten kon, zowel ten behoeve van onderzeeboten als van bovenwaterschepen.

5) De invloed van onreinheden, algen e.d. en de aanwezigheid van luchtballen bederven de bundeling der stralen, aangezien verstrooiing optreedt.

Tenslotte nog iets over de vrede-toepassingen, allereerst het echolood, dat in zijn oudste vorm bestond uit een hamer, die tegen

de scheepswand geslagen werd. Het echolood is in de laatste oorlog, speciaal door de ervaringen opgedaan met ASDIC en SCNAR apparaten, belangrijk verbeterd. Kortgeleden is in Amerika een nieuw echolood in de handel gebracht, dat zeer kleine afmetingen heeft en uitstekende resultaten geeft. De frequentie, welke voor dit apparaat gekozen is, is zeer hoog, nl. 50.000 Hertz, waardoor men een zeer scherp gerichte bundel krijgt, hoewel de afmetingen van de overdrager, welke 140 ammonium-duhydro-phosphaat kristallen bevat, slechts zeer gering zijn ( $\pm 20$  cm diameter).

Het apparaat registreert continu de diepte onder het schip, twee schalen zijn aanwezig, nl. 0-120 meter en 0-750 meter (eenzelfde apparaat is verkrijgbaar voor diepten 0-60 en 0-375 meter). Met deze apparaten zijn na de oorlog de plaatsen van vele wrakken nauwkeurig bepaald. Ik heb enige van deze wrakken, welke op het registerapparaat opgetekend waren, gezien; duidelijk kon men de omtrekken van het schip, de masten en zelfs het kraaiennest in de mast onderscheiden; dat dergelijke goede resultaten bereikt werden is in hoofdzaak te danken aan de zeer scherpe bundeling der stralen. Hetzelfde echolood wordt ook veel gebruikt bij de visserij, speciaal in Noorwegen, waardoor de vangsten aanmerkelijk groter geworden zijn. De visscholen worden nl. ook op deze registratie-instrumenten opgetekend, aangezien men echo's ontvangt zowel van de luchtbellens, als van de vissen zelf. Bij de Nederlandse visserij is, voor zover mij bekend, nog geen gebruik gemaakt van een dergelijke apparatuur; wellicht omdat dit soort echoloden alleen nog maar in Amerika gefabriceerd wordt.

Een tweede toepassing is het navigatie-systeem met behulp van supersonore trillingen. Tot op heden is dit nooit uitgebreid toegepast, hoewel men het tegenwoordig steeds meer in de literatuur tegenkomt. De Duitsers hadden reeds voor de oorlog het 'Nautisches Horch Gerät' (NHG); hierbij was aan beide zijden van het schip een microfoon opgesteld; de spanningen, welke deze microfoons afgaven, indien ze een signaal ontvingen, werden versterkt en in een koptelefoon hoorbaar gemaakt. Met een schakelaar kon men òf de bakboord- òf de stuurboord-microfoon òf beide tegelijk beluisteren. Men had nu bv. boeien, welke voorzien waren van een kleine onderwaterzender, welke op karakteristieke wijze uitzond, bv. een lange en een korte stoot e.d. Op het schip werd nu op de boei gestuurd door telkens de sterkte der signalen van stuurboord en bakboordmicrofoon te vergelijken en het schip zó te sturen, dat sterkte der signalen van de beide microfoons gelijk was.

Kortgeleden is in Amerika een systeem uitgedacht, dat op dergelijke principes berust en waarbij het mogelijk is, in een kanaal of rivier twee koerslijnen uit te zetten voor in- en uitvarende schepen; een systeem, dat dus bij mist grote voordelen zou kunnen bieden.

\* \* \* \*