

## Toepassingen op het gebied van de onderwaterakoestiek SONAR

door M. W. van Batenburg \*)

Voordracht, gehouden voor het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap  
op 8 april 1965 in Utrecht.

### Summary

A survey is given on differences and similarities between SONAR and RADAR as far as the characteristics, including those of the medium, are concerned.

On active SONAR equipment a short historical survey is given together with a description of older and newer designs.

Finally some examples are given on special techniques of using SONAR equipment in order to overcome the difficulties of short ranges obtained under conditions of strongly varying velocity of sound propagation.

### 1. Inleiding

Het woord SONAR is een verzamelnaam voor apparatuur, die gebruik maakt van akoestische trillingen om onder water informatie over te brengen, afstanden te bepalen, voorwerpen op te sporen, etc. Het woord SONAR is voor het eerst door de Amerikanen gebruikt als afkorting voor Sound Navigation and Ranging in analogie met het woord RADAR (Radio Detection and Ranging).

Door de Engelsen is hiervoor tot voor enkele jaren het woord

---

\*) Fysisch Laboratorium Rijksverdedigingsorganisatie T.N.O., 's-Gravenhage.

ASDIC gebruikt, dat een afkorting is van Anti Submarine Defence Investigation Committee.

Dat onder water voor bovengenoemde doeleinden geen gebruik wordt gemaakt van elektromagnetische trillingen, vindt zijn oorzaak in het feit, dat deze trillingen in water zeer sterk worden gedempt; zelfs bij zeer lage frequenties, bv. 10.000 Hz, is de indringdiepte van de grootte-orde van meters.

## 2. SONAR en RADAR, verschillen en overeenkomsten

Aangezien men in het algemeen beter vertrouwd is met RADAR dan met SONAR, is het wellicht interessant hier-tussen een vergelijking te maken. Laten we ons hier beperken tot de actieve SONAR, dat wil zeggen een SONAR, die een

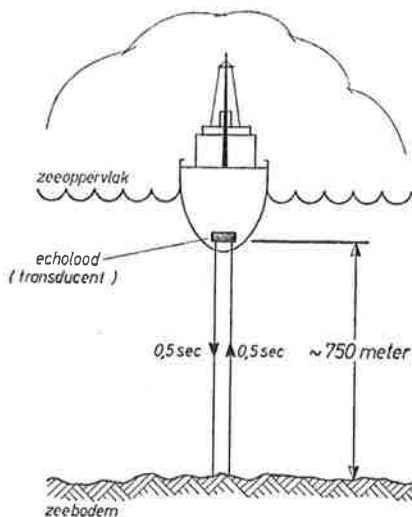


Fig. 1  
Echolood

korte puls akoestische trillingen in het water stuurt en na verloop van tijd een echo ontvangt van een object, dat getroffen is door de uitgezonden puls; dus een systeem dat geheel analoog aan de gewone RADAR werkt. De akoestische trillingen worden uitgezonden en ontvangen met behulp van een zogenaamde

transducent, die dus voor de SONAR is, wat de antenne is voor de RADAR.

Een voorbeeld van een zeer eenvoudige actieve SONAR is het alom bekende echolood (fig. 1).

## 2.1 *Golflengte van de gebruikte trillingen*

Het is interessant op te merken, dat de golflengte van de uitgezonden trillingen bij RADAR en SONAR ongeveer dezelfde is:

RADAR-golflengte: 3-50 cm; freq.: 10.000-600 MHz;

SONAR-golflengte: 3-50 cm; freq.: 50- 3 kHz.

De hoge frequenties dienen in beide gevallen in het algemeen voor nauwkeurige detectie van kleine voorwerpen op kleine afstand, de lage frequenties voor de detectie op grote afstand.

## 2.2 *Medium*

Daar voor het overdragen van akoestische trillingen het medium een essentiële rol vervult, zijn de eigenschappen hiervan hoofdzakelijk verantwoordelijk voor het grote verschil in detectie-afstanden van RADAR en SONAR.

### 1) Voortplantingssnelheid

Voor akoestische trillingen onder water is de voortplantingssnelheid ongeveer 1,5 km/sec; voor elektromagnetische trillingen 300.000 km/sec, dus 200.000 maal zo groot. Dat wil zeggen, dat voor het opvangen door een RADAR van een echo van de maan evenveel tijd benodigd is, als een SONAR nodig heeft voor het opvangen van een echo van een object op ongeveer 2 km afstand.

De voortplantingssnelheid van akoestische trillingen is overigens verre van constant, maar afhankelijk van temperatuur, zoutgehalte en druk. Een betrekkelijk eenvoudige formule, waarin deze afhankelijkheid wordt uitgedrukt, is de volgende:

$$v = 1410 + 4,21T - 0,0037 T^2 + 1,1 S + 0,018 D.$$

Hierbij is:

$v$  de voortplantingssnelheid in m/sec,

$T$  de temperatuur in graden Celsius,  
 $S$  het zoutgehalte in promille,  
 $D$  de diepte in meters.

De invloed van deze grootheden op de voortplantingssnelheid is dus niet gering (5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> voor een temperatuurverschil van 20° C, 3<sup>0</sup>/<sub>0</sub> voor zoet water en zeewater, 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> voor een diepteverschil van 4000 meter). Dit betekent dat de akoestische stralengang sterk afhankelijk is van dag en nacht, van de seizoenen, van de plaats op aarde, etc.

Hier moge worden volstaan met een tweetal voorbeelden.

**A** Stralengang bij negatieve temperatuurgradiënt bij verschillende domphoeken (fig. 2).

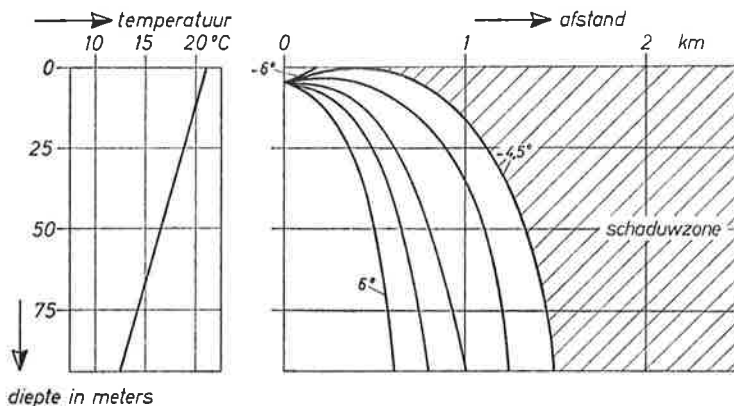


Fig. 2

Stralengang bij negatieve temperatuurgradiënt bij verschillende domphoeken

Het is duidelijk dat het onmogelijk is akoestische energie in het gearceerde deel van de figuur (schaduwzone) te brengen met een transducent, die onder het schip is aangebracht. Dit betekent, dat onder deze condities een onderzeeboot pas gedetecteerd kan worden op 1,5 km afstand.

**B** Stralengang bij een vrij grillig temperatuurverloop (fig. 3), waarbij een convergentie van de stralen optreedt.

Onder deze omstandigheden zal op diep water dus de mogelijkheid bestaan, dat onderzeeboten gedetecteerd worden op een afstand van 50 km, maar dichterbij niet. Dit is uiteraard slechts mogelijk als de

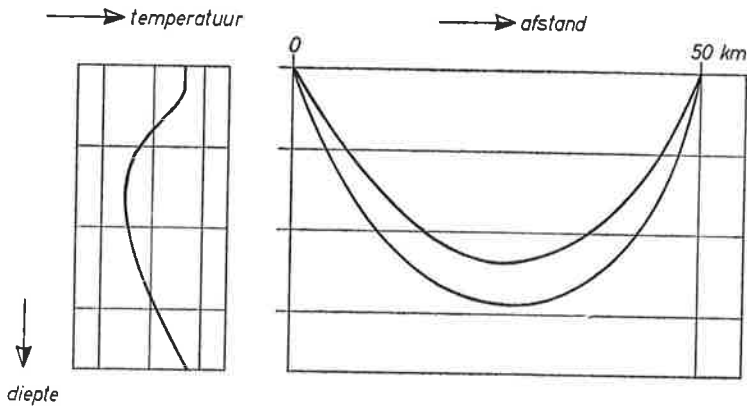


Fig. 3  
Convergentiezone

richting van de stralenbundel aangepast is aan het temperatuur- en drukverloop in het water. (Voor meer informatie over deze materie zij verwezen naar <sup>1)</sup>.)

## 2) Damping of absorptie

Aangezien de voortplanting van geluidsgolven in het water gepaard gaat met plaatselijke drukveranderingen, zal er wrijving optreden tussen de watermoleculen, waarbij verliezen optreden en akoestische energie in warmte wordt omgezet. In de praktijk werkt men met de volgende formule voor de absorptiecoëfficiënt  $a$ :

$$a = 0,22 f + 0,000.165 f^2 \quad (\text{dB/km}),$$

waarbij  $f$  de frequentie in kHz is.

freq.	$a$
5 kHz	1,1 dB/km
10 „	2,2 „
20 „	4,5 „
40 „	9,1 „
100 „	24 „

Tabel 1

Vergelijken we hiermede de absorptiecoëfficiënt waar

we bij RADAR mee te maken hebben: grootte-orde  $10^{-5}$  dB/km, dan is het wel duidelijk waarom de detectie-afstanden bij SONAR zoveel geringer zijn.

Een indruk van de wijze waarop de druk afneemt met de afstand, tengevolge van de demping en de bolvormige uitbreiding, met de frequentie als parameter, geeft fig. 4.

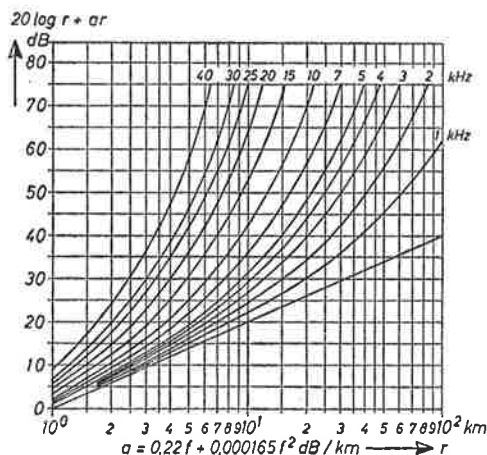


Fig. 4  
Voortplantingsverliezen

### 3) Vermogensbeperving

Als aan het water een te groot vermogen per oppervlakte-eenheid wordt overgedragen, ontstaat cavitatie. Zoals bekend mag worden verondersteld, komt dit verschijnsel ook bij schepsschroeven voor. De cavitatiegrens, d.i. die waarde van het vermogen per  $\text{cm}^2$  oppervlak, waarbij juist geen cavitatie optreedt, is afhankelijk van de druk, de frequentie van de trillingen, de tijdsduur van de impuls, de mate van verontreiniging van het water en de temperatuur. Voor een SONAR met bv. een frequentie van 5 kHz en een pulsduur van 100 m sec ligt deze grens bij ongeveer  $0,5 \text{ W/cm}^2$ , als de transducent zich enkele meters onder het wateroppervlak bevindt.

Hierbij een foto van cavitatie opgewekt door een transducent (fig. 5).

Bij RADAR wordt de grens voor het vermogen meestal bepaald door doorslag in de golfgeleider; hij ligt in de grootte-orde van  $1 \text{ MW/cm}^2$  doorsnede van de golfgeleider. Een

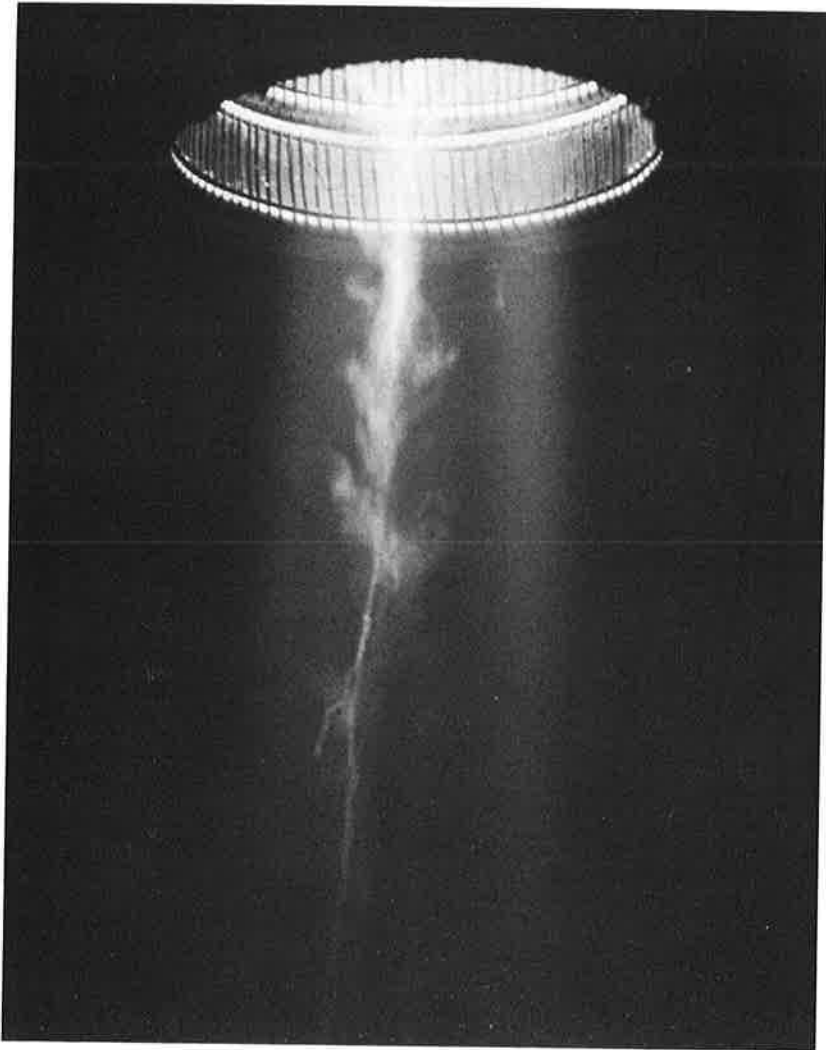


Fig. 5  
Cavitatie

enorm verschil dus, waarbij wel rekening moet worden gehouden met het feit, dat de pulslengten bij SONAR en RADAR een factor 100 tot 10.000 kunnen verschillen, zodat in het verschil in uitgezonden energie niet dezelfde factor optreedt.

### 2.3 *Stoorbronnen*

We kunnen hier onderscheid maken tussen zelfstandige en door de SONAR zelf veroorzaakte storingen. De eerste hangen

direct samen met het voortplantingsmedium en met de aard der trillingen, en zijn dus van andere aard dan bij RADAR.

### A. Zelfstandige stoorbronnen

1. Zeegeruis tengevolge van waterbeweging, golven, breken van golf toppen, etc. (fig. 6). Bij regen kunnen deze waarden nog 20 dB hoger liggen.

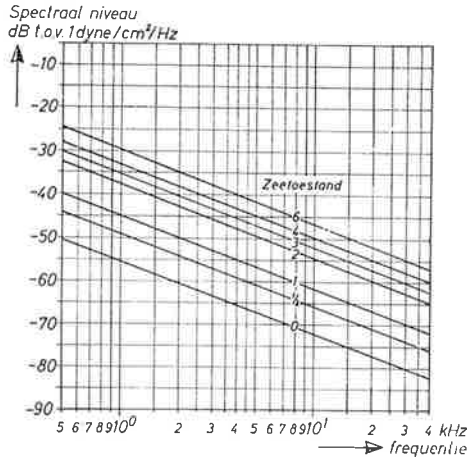


Fig. 6

Zeeroeis

2. Dierlijk geruis, dat sterk afhankelijk is van het jaargetijde en de plaats op aarde. In warmere streken kunnen bv. grote garnalen in het frequentiegebied onder 10 kHz een lawaai produceren dat enige grootte-orden boven het zeegeruis ligt (30 dB).

Ook dolfijnen, die, zoals bekend, zelf ook een zeer ingenieuze SONAR bezitten, kunnen sterke stoorsignalen geven.

3. Geruis afkomstig van stromingen en van grind, dat door getijstroomen heen en weer wordt gerold.

4. Geruis afkomstig van schepen. De sterkte hiervan is afhankelijk van het soort schip, de wijze van voortstuwing, de snelheid van het schip, etc. en kan ver boven het geruis liggen dat optreedt bij zeetoestand 6.

5. Domgeruis. Dit verdient nadere toelichting. Aangezien de transducent uit het schip moet steken en in het alge-



meen slecht gestroomlijnd is, wordt er een gestroomlijnd lichaam, een dom, omheen gezet (fig. 7).

Deze dom dient akoestisch doorlaatbaar te zijn. Ten gevolge van wervelingen, die toch nog om de dom optreden, ontstaat geruis. Bij hogere vaart is dit geruis meestal nog aanzienlijk groter dan het zeegeruis.



Fig. 7  
Transducent met dom

## B. Door de actieve SONAR zelf veroorzaakte stoorbronnen

Deze worden in principe veroorzaakt door ongewenste echo's, meestal „reverberation" genoemd, en zijn te vergelijken met „clutter" bij de RADAR. Ze worden veroorzaakt door:

- verontreinigingen in het water, algen, vissen, etc.,
- het zee-oppervlak,
- de zeebodem,
- stromingen,
- sterke temperatuurgradiënten, waarbij laagvorming optreedt,
- grote verschillen in zoutgehalte, zoals bij riviermonden.

### 3. De transducenten

De transducent vervult bij SONAR dezelfde rol als de antenne bij RADAR. Terwijl bij parabolische antennes afmetingen van 10 meter zeer wel mogelijk zijn, is het zonder meer duidelijk, dat een transducent van dergelijke afmetingen niet onder het schip is aan te brengen, zonder dat hierbij een groot verlies aan snelheid van het schip zou optreden. In het algemeen zijn dus bij RADAR aanzienlijk kleinere bundelbreedten bij dezelfde golflengte bereikbaar, dan bij SONAR.

De transducenten zijn eigenlijk de belangrijkste elementen in de onderwaterakoestiek, aangezien zij het mogelijk maken elektrische energie in akoestische energie om te zetten en omgekeerd. Van vele principes kan gebruik worden gemaakt om de energie-omzetting te bewerkstelligen, maar slechts enkele leveren een behoorlijk rendement op. Meestal wordt gebruik gemaakt van het piëzo-elektrisch of het magnetostrictieve effect.

Voorbeelden van piëzo-elektrische materialen zijn: kwarts, Seignette-zout, Ammonium Dihydro Phosfaat (ADP), bariumtitanaat, loodzirconaat.

Als magnetostrictieve materialen komen in aanmerking: nikkel en legeringen, zoals alfer, kobaltnikkel, etc., ferrieten.

We onderscheiden lijnvormige, vlakke en cilindrische transducenten. Voor actieve SONAR worden vlakke en tegenwoordig meestal cilindrische gebruikt; dit is een voorbeeld van een ontwikkeling, die bij de RADAR pas veel later is toegepast. Een

voorbeeld van een dergelijke transducent die in ons laboratorium werd vervaardigd geeft fig. 8.

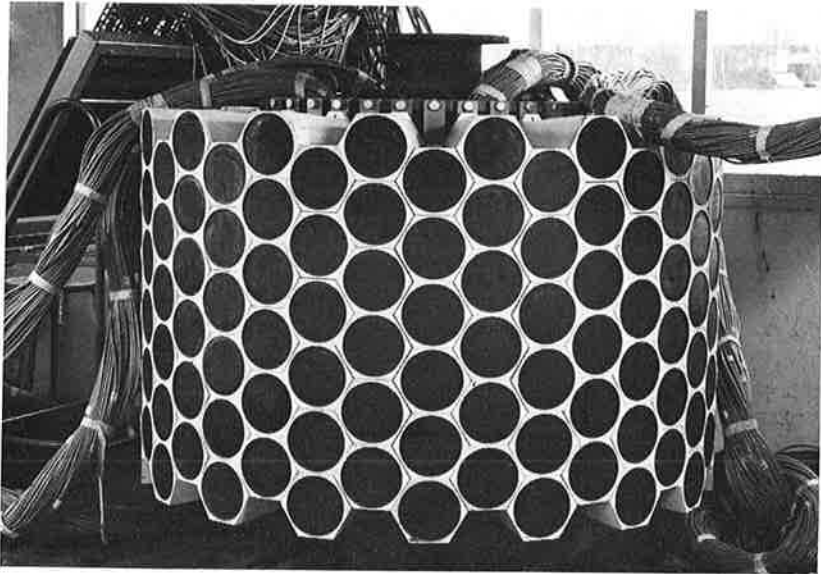


Fig. 8

Transducent, bestaande uit 36 „staven”, ieder met 6 elementen

## 4. De SONAR

### 4.1 *Korte historie*

Hoewel de bestudering van de onderwaterakoestiek omstreeks 1800 begon, heeft de eerste toepassing hiervan, voorzover mij bekend, pas plaats gevonden tijdens het beleg van Parijs in de oorlog van 1870, waarbij men door zware kerkklokken onder water in de Seine te luiden, trachtte verbinding met de buitenwereld te krijgen. De daarbij bereikte afstand schijnt ca. 1500 meter te hebben bedragen.

De eerste stoot tot het ontwerpen van detectie-apparatuur werd gegeven door de ramp van de Titanic in 1912. Men ging de mogelijkheid onderzoeken om voorwerpen (ijsbergen) onder water te detecteren met behulp van akoestische trillingen. De Engelsman L. F. Richardson schijnt de eerste te zijn geweest, die hiertoe een duidelijk voorstel deed. Inderdaad gelukte het met een Fessenden oscillator (een soort elektrodynamische luidspreker) in 1914 een ijsberg op 2 mijl afstand te detecteren.

Gedurende de eerste wereldoorlog werd veel onderzoek

verricht om tot onderzeeboot-detectie-apparatuur te komen. Zo gelukte het de Franse professor Langevin en de Rus Chilowsky een transducent te construeren, die een flink vermogen bij hogere frequentie (15.000 Hz) kon leveren. Deze transducent maakte gebruik van het piëzo-elektrisch effect van kwarts, waaraan in die tijd veel onderzoeken werden gedaan door Jacques en Pierre Curie. Onderzoek, uitgevoerd vlak voor en gedurende de tweede wereldoorlog, leidde tot meer inzicht in de onderwaterakoestiek.

#### 4.2 Oudere SONAR-apparatuur

Men kon slechts kleine transducenten gebruiken, omdat men de uitsteeksels uit het schip klein wenste te houden. Om toch een nauwe bundel te verkrijgen gebruikte men vrij hoge frequenties (15-40 kHz). Als zender werden òf roterende omvormers òf buizenzenders (vaak zelfoscillerend) gebruikt. De ontvangers waren eerst rechthoek-ontvangers; later werden ook heterodyne-ontvangers gebruikt. Het eigenlijke detectiemiddel was het oor, waarbij de frequentie door middel van een mengtrap op 800 à 1.000 Hz werd gebracht, aangezien het menselijk oor in dit frequentiegebied het gevoeligst is. Hierbij speelde het dopplereffect een zeer grote rol. Het verschijnsel van de toonhoogteverandering van de claxon van een voorbijrijdende auto, of de fluit van een trein is algemeen bekend. Schematisch is het dopplereffect aangegeven in fig. 9.

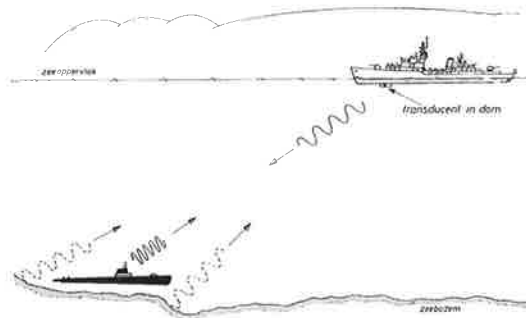


Fig. 9  
Doppler-effect

In formule :

$$\text{dopplerfrequentie} = 2 \frac{v_1 - v_2}{v} f \cos \alpha ,$$

waarbij:

$v_1 - v_2$  = snelheidsverschil tussen schip, dat uitzendt en object, dat de echo produceert;

$v$  = voortplantingssnelheid van akoestische trillingen onder water;

$f$  = frequentie;

$a$  = hoek tussen vaarrichting object en richting van zende transducent.

Voor een frequentie van 25 kHz betekent dit 17 Hz per knoop. Als de onderzeeboot 10 knoop vaart heeft dit dus een frequentieverschuiving ten gevolge van 170 Hz ten opzichte van stilstaande objecten. De onder punt 2.3 genoemde „reverberation” heeft in het algemeen geen doppler-verschuiving. Aangezien het oor in staat is tussen een vrijwel ononderbroken toon (afkomstig van reverberation) een impuls met lagere of hogere toonhoogte (afkomstig van een bewegend object) waar te nemen, ook al is deze veel zwakker (13 dB bij een frequentie-verschil van 100 Hz), is het dopplereffect hier dus van groot belang.

Ook ten gevolge van de eigen vaart treedt dit effect natuurlijk op. De grootte van deze frequentieverschuiving is afhankelijk van de eigen vaart en van de bakhoek van de transducent. De latere installaties zijn dan ook voorzien van een eigen dopplercompensatie, door de frequentie van de oscillator van de mengtrap te veranderen afhankelijk van de bakhoek van de transducent en van de eigen vaart, welke van het log wordt afgenomen.

De procedure, die met deze oude installaties werd gevolgd was zo, dat de man met de koptelefoon op zelf bakste. Tijdens het zoeken werd na afloop van elk zendinterval de bakhoek telkens met een stap van bv.  $10^\circ$  veranderd. Dacht hij een echo van een doel te horen, dan bakste hij terug over de echo heen tot deze niet meer hoorbaar was, vervolgens bakste hij weer over de echo heen tot hij de echo wederom verloor. Midden tussen deze twee hoeken in was dan de juiste bakhoek. Deze uiterst langzame en vrij onnauwkeurige procedure werd later verbeterd door de transducent in twee delen te splitsen en de fasehoek tussen de signalen van de twee helften van de transducent te bepalen (zie fig. 10).

Een eenvoudige manier om deze fasehoek zichtbaar te maken is het zg. som-verschilsysteem. De somspanning wordt toegevoegd aan de verticale platen van een kathodestraalbuis; de verschilspanning wordt, na in fase over  $90^\circ$  te zijn gedraaid,

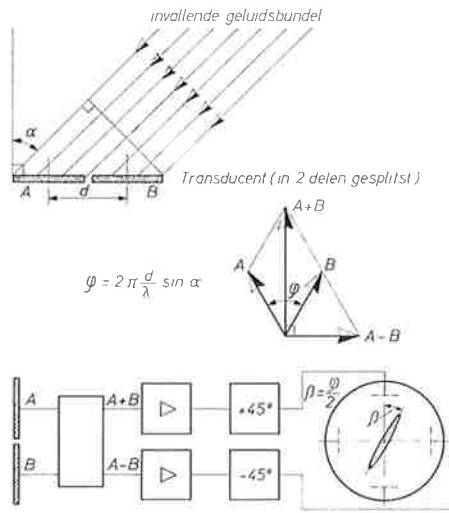


Fig. 10  
Som-verschilsystem

toegevoegd aan de horizontale platen. De hoek  $\beta$  van de lijn op het scherm van de kathodestraalbuis is dan gelijk aan de helft van het faseverschil  $\varphi$  tussen  $A$  en  $B$ . Bij een frequentie van 25

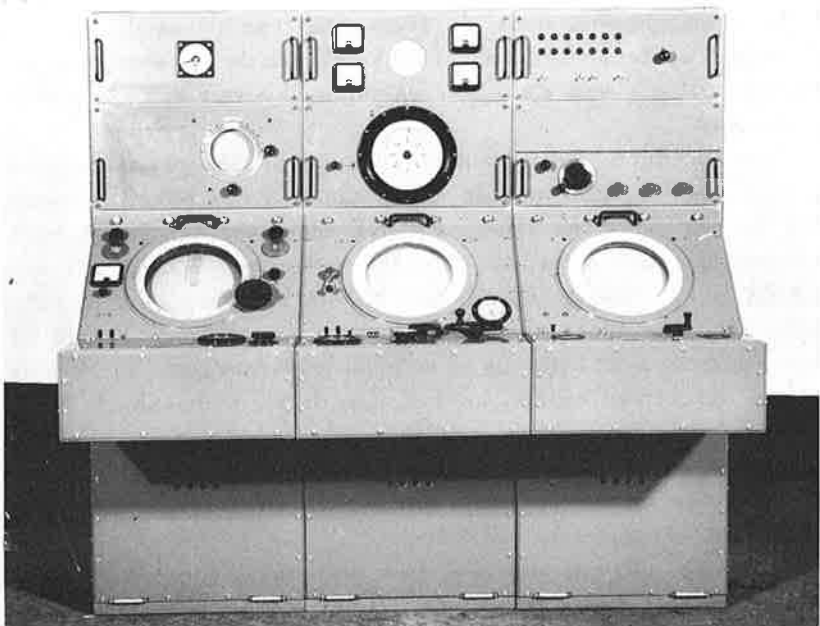


Fig. 11  
Bedienings- en indicatiegedeelte

kHz vinden we bv. voor kleine hoeken  $\alpha$  bij een transducent met een diameter van 35 cm, dat  $\beta = 8\alpha$ . Hier hebben we dus een mogelijkheid om direct de juiste bakshoek te bepalen, door de elliptische figuur rechtop te baksen.

Met dit soort apparatuur werd gedurende de tweede wereldoorlog en ook daarna nog gewerkt.

Een voorbeeld van een fabrieksuitvoering van het bedienings- en indicatiegedeelte van in Nederland ontwikkelde SONAR-apparatuur is afgebeeld in fig. 11.

#### 4.3 *Moderne SONAR-apparatuur*

Het zoeken van een doel bleef echter bij de zojuist beschreven apparatuur een zeer tijdrovende bezigheid. Het afzoeken met een SONAR met een bundelbreedte van  $15^\circ$  en een afstandsbereik van 9 km van het gebied rondom duurt:

$$\frac{360}{15} \times \frac{9000}{750} = 288 \text{ seconden} = \text{bijna } 5 \text{ minuten.}$$

Als het doel een snelheid kan ontwikkelen van 30 knoop = 15 m/sec, dan kan het zich in de 288 seconden dus 4,33 km verplaatsen, dus over bijna het halve afstandsbereik. Het is duidelijk dat men zocht naar installaties die rondom konden zoeken, zonder de transducent „stappen” te laten maken.

Ook uit technische overwegingen wenste men een beeld zoals de RADAR dat gaf met de P.P.I. Om dit te bereiken, ging men er toe over panoramische SONAR's te maken met een transducent zoals afgebeeld in fig. 8. Met dit soort transducen-ten kan rondom worden uitgezonden; voor het ontvangen van echo's moet men een inrichting maken, waarmee het mogelijk is om een peiling te bepalen.

Deze problemen waren tot voor kort bij de RADAR van weinig belang; een ronddraaiende antenne, waarmede zowel gezonden als ontvangen werd, voldeed aan de eisen, gezien de grote voortplantingssnelheid van e.m. golven. Bij het steeds sneller worden van doelen, die door de RADAR gedetecteerd moeten worden, komt langzamerhand voor RADAR ook het soort oplossing, dat voor SONAR is gekozen, in aanmerking.

In fig. 12 is een principiële opzet van een panoramische SONAR gegeven. Door middel van een roterende capacitieve schakelaar met fasedraainetwerken worden 36 discrete ontvangbundels van  $10^\circ$  bundelbreedte gevormd. De output van deze

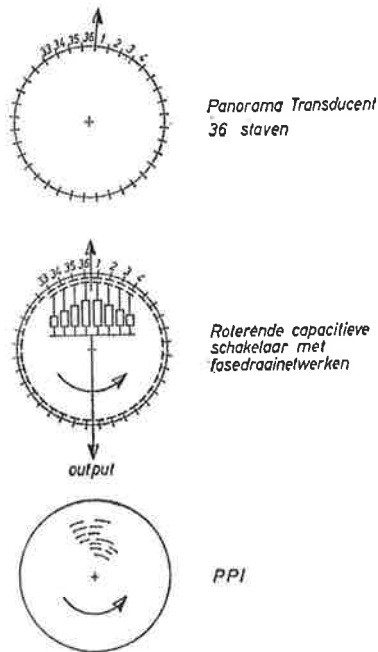


Fig. 12  
Panorama-sonar

bundels kan worden afgetast en vervolgens worden afgebeeld op het scherm van een kathodestraalbuis (P.P.I.). Hierbij wordt dus een soortgelijke presentatie als bij de RADAR verkregen. De eigenlijke afbeelding wordt echter geheel anders verkregen; bij SONAR wordt een langzaam groeiende spiraal op het scherm geschreven. Hierbij doen zich vele problemen en mogelijkheden voor:

1. De eigen-dopplercompensatie moet voor de verschillende bundels verschillend zijn. Er zijn dus 18 verschillende oscillatoren nodig, die gestuurd worden door het log.
2. Indien de schakeling wordt uitgevoerd zoals in de figuur wordt aangegeven, gaat zeer veel (35/36) van de energie-inhoud van de echo verloren ten gevolge van de aftasting. Dit kan worden voorkomen door vóór de roterende (eventueel elektronisch uit te voeren) schakelaar reeds de 36 bundels te vormen en de signalen te detecteren met een aan de pulslengte aangepaste integratietijd. De apparatuur wordt hierdoor natuurlijk veel gecompliceerder.
3. Het is ook mogelijk een nauwkeurige peiling te krijgen



door een som-verschilsysteem toe te passen zoals eerder beschreven. Hierbij komen we dan tot 72 kanalen.

#### 4.4 Ontwerpcriteria

Over de keuze van parameters bij het ontwerpen van SONAR-apparatuur is het volgende te zeggen.

In het algemeen zullen de afmetingen van de transducent bepaald worden door de mogelijkheden, die het schip biedt en zal men graag een zo groot mogelijke reikwijdte willen hebben. Het probleem is hiermede dan teruggebracht tot het bepalen van de frequentie, zoals uit het volgende zal blijken.

Bezien we eerst de SONAR-vergelijking

$$40 \log r + 2 ar = 10 \log P_{ak} + T + D_t + D_r - \\ - (N_s + N_d) - 10 \log \Delta f - R - 49,1 \text{ dB.}$$

$P_{ak}$  = uitgestraald akoestisch vermogen (watts);

$a$  = absorptiecoëfficiënt (dB/km);

$r$  = afstand (km);

$T$  = doelsterkte („target strength”);

$D$  = richtinggevoelheidsfactor („directivity index”),  $D_t$  bij zenden en  $D_r$  bij ontvangen (dB);

$N_s$  = zeeruis (spectraalniveau in dB t.o.v. 1 dyne/cm<sup>2</sup> in band van 1 Hz);

$N_d$  = eigen ruis (spectraalniveau in dB t.o.v. 1 dyne/cm<sup>2</sup> in band van 1 Hz);

$f$  = bandbreedte (Hz);

$R$  = herkenningsindex („recognition level”) (dB).

De term  $40 \log r + 2 ar$  geeft aan hoeveel dB beschikbaar is voor het doorlopen van de afstand  $r$  tot het doel en terug (zie fig. 4).

De term  $10 \log P_{ak} + D_t$  is een maat voor de sterkte van de akoestische bron.

$T$  is een maat voor de reflectie-eigenschappen van het doel.

$D_r$  is een maat voor de gerichtheid van de ontvanger, die dus de signaal-ruisverhouding beïnvloedt.

$(N_s + N_d) + 10 \log \Delta f$  geeft het ontvangen geruissignaal weer.

$R$  is een maat voor de kwaliteit van de presentatie in combinatie met het zintuig, waarmede wordt waargenomen. Deze factor drukt uit hoeveel sterker of zwakker dan het geruis het signaal moet zijn om met 50% kans te kunnen worden waargenomen.

De 49,1 dB is een constante factor, die samenhangt met de gebruikte eenheden en definities.

Vele van de in deze formule gevonden grootheden zijn afhankelijk van de frequentie, zoals  $a$  (zie tabel 1, pag. 107),  $D_t$  en  $D_r$  (indien het oppervlak van de transducent,  $S_a$ , gegeven is) en  $(N_s + N_d)$ , zie fig. 6.

Voor de andere factoren kunnen vaste waarden worden ingevuld:  $T$ : gemiddeld 14 dB;  $10 \log \Delta f$ : aangepast aan de puls-lengte;  $R$ : afhankelijk van de presentatie;  $P_{ak}$ : bepaald door het oppervlak van de transducent, indien deze tot de cavita-tiegrens wordt gedreven.

De SONAR-vergelijking is dan als volgt te schrijven:

$$40 \log r + 0,44 rf - 60 \log f = 30 \log S_a + 23,7 \text{ dB},$$

waarin  $f$ : frequentie in kHz en  $S_a$ : oppervlakte transducent in  $\text{m}^2$ .

Komen we nu terug op de oorspronkelijke vraag: hoe moet de frequentie ( $f$ ) worden gekozen teneinde een zo groot mogelijke reikwijdte ( $r$ ) te krijgen bij gegeven afmetingen van de transducent (oppervlak =  $S_a$ )?

Het antwoord wordt gevonden door de vergelijking naar  $f$

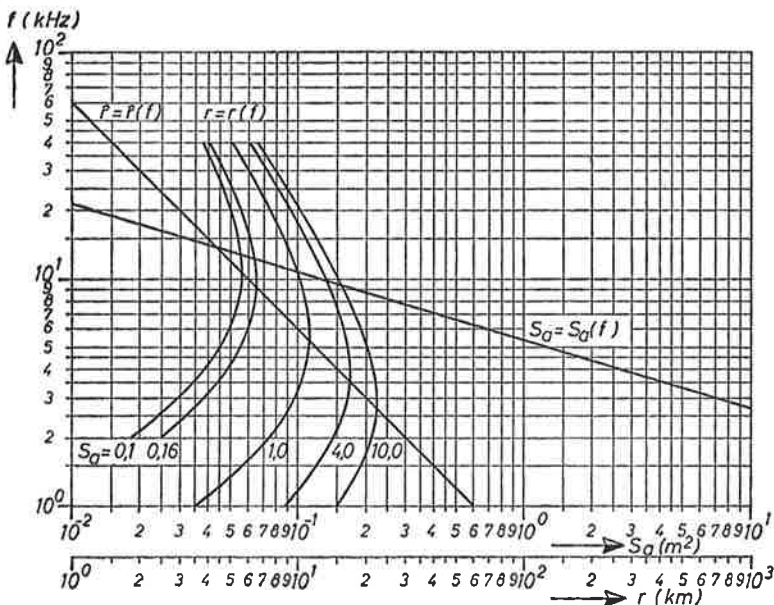


Fig. 13

Verband tussen frequentie ( $f$ ), afstand ( $r$ ) en oppervlakte transducent ( $S_a$ )

te differentiëren, waarbij  $S_a$  constant wordt genomen. We vinden dan:

$$\log f = 0,732 - 0,3 \log S_a,$$

waaruit bij de gegeven  $S_a$  de optimale frequentie wordt gevonden.

De maximale reikwijdte bedraagt dan  $\hat{r} = \frac{59,2}{f}$ . Dit resultaat is uitgezet in grafiekvorm in fig. 13.

Deze berekeningen zijn alleen geldig indien de detectie-mogelijkheid slechts wordt bepaald door de signaal-ruisverhouding. Indien ook rekening moet worden gehouden met de signaal-reverberation-verhouding, moet de theorie daaraan worden aangepast en komt men tot andere vergelijkingen.

#### 4.5 *Andere werkwijzen met SONAR*

In punt 2.2 werd naar voren gebracht, dat in vele gevallen bij het optreden van variaties in de geluidssnelheid de akoestische stralen sterk kunnen worden afgebogen. In deze gevallen wordt de reikwijdte van de SONAR sterk gereduceerd. Om hieraan te ontkomen bestaan er enkele mogelijkheden, die momenteel echter nog veelal in een onderzoekstadium zijn.

##### 1) Variable Diepte SONAR (VDS)

Hierbij laat men de transducent in een soort sleeplichaam aan een kabel neer vanuit het schip tot op een diepte, waar de voortplantingssnelheid minder varieert. Een belangrijk voordeel is, dat de transducent minder beweegt in ruwe zee, dan wanneer hij aan het schip vast zit. De installatie is wel veel gecompliceerder en kwetsbaarder.

##### 2) Helicopter SONAR

De afmetingen en het gewicht van de transducent en de daarbij behorende elektronische apparatuur moeten in dit geval aanzienlijk worden beperkt, waardoor de reikwijdte afneemt. De transducent wordt direct uit de helicopter afgevierd in het water en, nadat in „hoverende” positie informatie is ontvangen, weer opgehesen. Daarna kan de helicopter zich verplaatsen naar een volgende positie, hetgeen vele malen sneller kan dan met een schip. Ook kan de transducent afgevierd worden tot grotere diepte met alle voordelen van 1).

- 3) „Bottom Bounce” en Convergentiezone-SONAR  
Bij „Bottom Bounce” worden de akoestische stralen onder bepaalde hoeken naar de bodem gericht, alwaar zij gereflecteerd worden om vervolgens hetzij direct, hetzij via een reflectie tegen het zee-oppervlak het doel te treffen. Voor een dergelijke SONAR zijn zeer grote vermogens nodig, aangezien ten eerste de weg langer is en ten tweede in vele gevallen zeer veel energie verloren gaat bij de reflectie tegen de bodem. Ook geeft dit systeem geen garantie voor detectie over het gehele afstandsbereik. Bij gebruikmaking van het effect van het optreden van een convergentiezone (zie fig. 3) is dit effect natuurlijk nog veel sterker.
  
- 4) Explosieve Echo Ranging met behulp van Sonoboeien  
Hierbij wordt in plaats van met een transducent de akoestische energie opgewekt door middel van een explosie in het water. Met behulp van eerder door een vliegtuig afgeworpen sonoboeien worden de echo's van objecten, getroffen door de akoestische energie van de explosie, met hydrofoons ontvangen en daarna per radio doorgegeven aan het vliegtuig.

### Slotopmerking

In dit korte bestek was het niet mogelijk dieper op de verschillende onderwerpen in te gaan. Geen aandacht kon worden besteed aan de moderne systemen van signaalverwerking voor actieve SONAR's. Ook werd de passieve SONAR, waarbij uitsluitend geluisterd wordt naar schroefgeruis, uitzendingen van actieve SONAR's etc., buiten beschouwing gelaten.

### LITTERATUUR

- 1) M. W. van Batenburg, „Geluidsvoortplanting door het water”.  
Ned. T. Natuurk. 31 (1965), 22-30.
- 2) J. W. Horton, „Fundamentals of SONAR”.  
U.S. Naval Institute, 1957.