

# NEDERLANDS AKOESTISCH GENOOTSCHAP

## HISTORISCHE ONTWIKKELING OP HET GEBIED VAN GELUID ONDERWATER

Ir. M.W. van Batenburg

Physisch Laboratorium TNO, 's-Gravenhage

---

### Summary

A short historical survey is given on the development of underwater acoustics starting with the experiments of Beudant in 1807, till the end of the first world war. Passive devices are not discussed.

---

De eerste pogingen om de geluidssnelheid onder water te meten werden gedaan door Beudant (1787-1850) in 1807 nabij Marseille. Als geluidsbron werd een klok gebruikt, die aangeslagen werd. De ontvanger was het oor van een zwemmer, die zich op 'een bekende afstand van de bron bevond. Een vlag werd gezwaaid als de klok werd aangeslagen en de zwemmer gaf een teken aan een man in het hem begeleidend bootje, zodra hij de klok onderwater hoorde. Met het tijdsverschil tussen het zien van het zwaaien van de vlag en het horen van de klok kon de geluidssnelheid bepaald worden. Beudant vond 1500 m/sec.

Een dergelijke proef werd gedaan door een Zwitser, Jean-Daniél Calladon (1802-1893), die in Parijs studeerde. Hij dong mee naar de Grand Prix de Mathématique pour l'année 1824, de l'Académie Royale des Sciences de Paris. De prijs werd gedurende 3 jaar niet uitgereikt, daar de inzendingen onvoldoende geacht werden. De opgave was het bepalen van de compressibiliteit van vloeistoffen. Calladon deed dit te zamen met de mathematicus Charles Sturm.

Teneinde de compressibiliteit van water te bepalen, met hij de voortplantingssnelheid van geluidsgolven in water.

In 1826 werden de metingen uitgevoerd in het meer van Genève. Na enkele voorbereidende proeven, die veel leken op die van Beudant, besloot Calladon de zaak serieus aan te pakken. Hij had een klok met een gewicht van 65 kg, die aangeslagen werd door een hamer, waarbij tegelijk een lont in een hoeveelheid buskruit gestoken werd (fig.1). Dit lichtsignaal werd waargenomen door een medewerker, die zich op een afstand van ruim 14 km bevond en die zijn oor aan een grote blikken "toeter" had, die onder water stak, afgesloten door een membraan (fig.2). De tijd tussen het zien van de lichtflits en het horen van de klok werd met een stopwatch gemeten, die tot op 1/60 sec. nauwkeurig was. De metingen moesten, om de lichtflits te kunnen zien, 's nachts worden uitgevoerd. Het resultaat was  $C = 1437,8$  m/sec. bij  $8,1^{\circ}\text{C}$ .

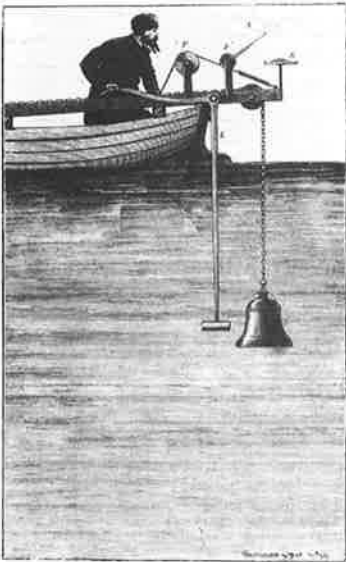


fig.1

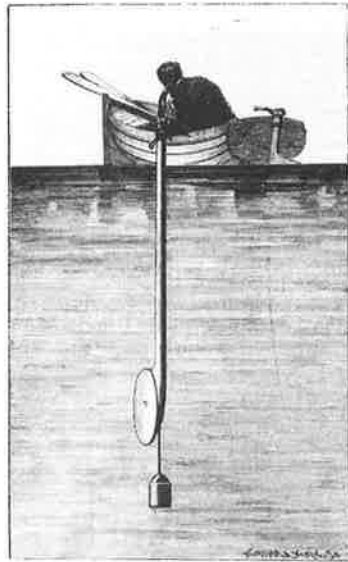


fig.2

De proeven van Calladon in het meer van Genève (1826)

De eerste toepassing van onderwatergeluid werd gemaakt door Charles Bonnycastle (VS), die, nadat hij van de proeven van Calladon had gelezen, in 1838 op het idee kwam waterdiepte te gaan meten door middel van echo's. Als ontvanger gebruikte hij iets dergelijks als Calladon. De geluidsbron was een explosief. De resultaten waren slecht want hij had last van allerlei reflecties en van de z.g. bubble puls, het in elkaar klappen van de gasbel die ontstaat na de explosie.

Calladon ging weer verder met proeven in 1840. Ditmaal had hij een klok van 500 kg. Hij haalde een afstand van 35 km met een verbeterde "ontvanger", kon echter geen voortplantingssnelheidsmetingen doen, aangezien er te veel maneschijn was! Wel hoorde hij een schip op ruim 4 km afstand het anker ophalen, hetgeen hem de opmerking deed maken: "Misschien is een dergelijk systeem wel bruikbaar in een zeeoorlog". Ook trachtte hij echo's van de bodem te krijgen. Hij kreeg echter veel echo's van de oever, waaronder wellicht ook bodem-echo's, zoals hij zelf zei.

In 1870, tijdens het beleg van Parijs, trachtte Lucas contact te krijgen met de buitenwereld via een klok van 40 kg in de Seine. Hij haalde een afstand van 1800 meter.

In 1877 verkreeg John M. Batchelder, Cambridge, Massachusetts, een octrooi op een onderwater communicatiesysteem: claim: "The combination of a transmitter consisting of a steam-generator, a valved pipe extending from the same beneath the surface of the water, and a receiver having a tympanum adapted for immersion in the water to receive the sounds caused by the escape and condensation of steam as it enters the water from the transmitter and a pipe, tube or equivalent device for conveying such sound to the ear of the observer from such tympanum". Ik heb niets kunnen vinden over eventuele toepassing van dit systeem. (octrooi te vinden in de "Official Gazette", Aug. 16, 1887, blz. 726, waarin tevens een tekening van het systeem).

In 1895 begonnen de Amerikanen A.J. Mundy en E. Gray proeven te doen met onderwatercommunicatie in zee in de buurt van Boston t.b.v. de scheepvaart. In 1901 richtten zij de firma "Submarine Signal Company" op, die onderwaterklokken fabriceerde. Deze werden bevestigd aan lichtschepen en boeien om deze "hoorbaar" te maken in dichte mist. Omstreeks die zelfde tijd schijnt een frans marine-officier, Banaré, bruikbare onderwater-microfoons gebouwd te hebben. Schepen werden van koolmicrofoons voorzien, die binnenboord in een ruimte tegen de romp, gevuld met water bevestigd werden. De klokken werden tot op een afstand van 5 zeemijlen gehoord.

In 1904 gaf de noorse ingenieur Berggraf in het noors een zeer gedetailleerde beschrijving van een door hem uitgevonden zelfregistrerend echolood (fig. 3, zie Teknisk Ugeblad, Kristiania 22, 404 (1904)).

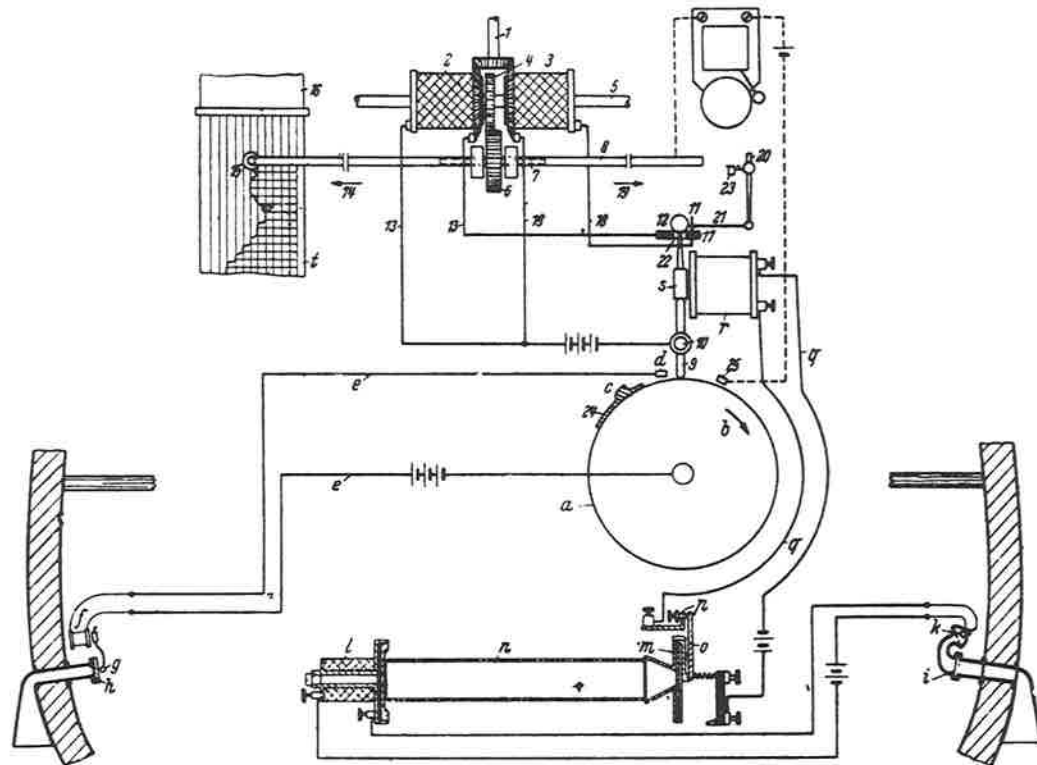


fig.3 Bathometer van Berggraf (1904)

Hij noemde dit de "Bathometer". Het is mij niet bekend of dit apparaat ooit gemaakt of toegepast is. Het was een uitstekend ontwerp, waarbij b.v. de signaal/ruisverhouding verbeterd werd door een resonantieholte en een alarmsignaal werd gegeven indien de diepte onder het schip te gering werd.

Zoals zo vaak in de geschiedenis moest een ramp en wel die van de Titanic, die in de nacht van 14 op 15 april 1912 op een ijsberg liep en verging, de grote stoot geven tot de versnelde ontwikkeling van toepassingen op het gebied van de onderwaterakoestiek. Onmiddellijk na de ramp diende de engelse fysicus Richardson een patent-aanvraag in om met behulp van HF-onderwatergeluid (hij dacht aan een onderwaterfluit van 100 kKz, teneinde een goed gerichte bundel te krijgen) de afstand tot een voorwerp te bepalen door middel van een echo.

Parsons trachtte zo'n stoomfluit te maken, hetgeen echter niet lukte en daarmee eindigde dit ontwerp.

De eerste redelijk bruikbare onderwatergeluidsbron werd door de Amerikaan R.A. Fessenden gemaakt (fig.4). Het was een soort membraan-luidspreker, die met een 50 à 100 watt een signaal opwekte van 1000 Hz. Hiermede detecteerde hij in 1914 een ijsberg op een afstand van 2 zee-mijlen. Later schijnt hij hiermede in 1917 ook schepen gedetecteerd te hebben, maar door de lage frequentie had de "oscillator" (de toenmalige benaming) slechts zeer weinig richteffect.

De Fessenden Oscillator kan opgevat worden als een transformator, waarbij de secundaire wikkeling een starre, kortgesloten

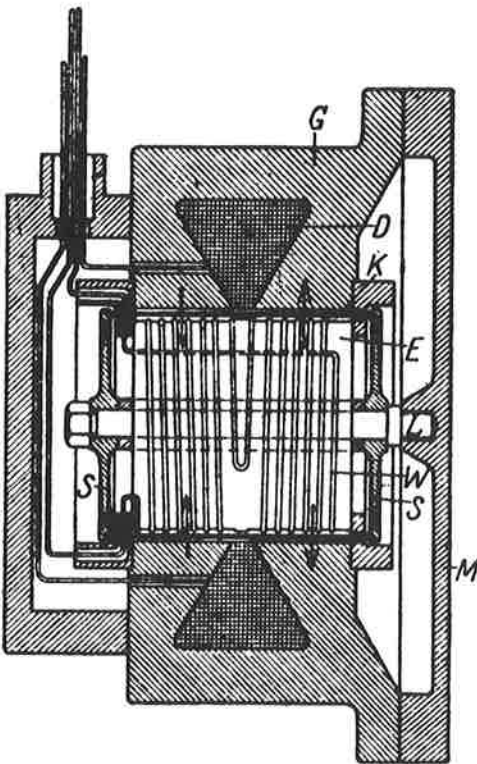


fig.4 Fessenden Oscillator (± 1914)

winding (koperen cylinder K) is, die met de bout L aan het membraan M bevestigd is en waarbij de primaire winding W uit 2 tegen-  
 gestelde, op de magneetkern E gewikkelde, in serie geschakelde  
 delen bestaat. G is een ijzeren huis, waarin zich de gelijkstroom-  
 wikkeling D bevindt.

Als de primaire (dubbel) spoel gevoed wordt met wisselstroom, dan  
 worden in de secundaire (kortgesloten) winding zeer grote wissel-  
 stromen geïnduceerd, die in combinatie met het magnetische veld  
 de cilindervormige, kortgesloten winding in axiale trilling brengt,  
 aangezien de krachten, als gevolg van het tegelijkertijd tegenge-  
 steld stroom- en veldverloop in de beide spleethelften, voor de  
 cylinderhelften zich bij elkaar optellen.

De volgende ramp, de eerste wereldoorlog, gaf wederom een  
 grote stoot aan de onderwaterakoestiek.

In Duitsland werd door Hahnemann en Hecht een electro-magne-  
 tische oscillator ontwikkeld, waarmede Duitse onderzeeboten morse-  
 signalen konden uitzenden op 1000 Hz. Een dergelijke transducent  
 is weergegeven in fig.5. Als ontvangers werden koolmicrofoons ge-  
 bruikt.

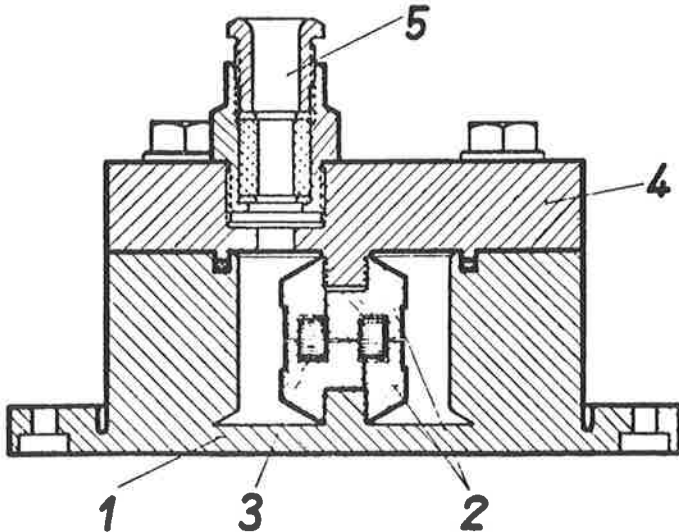


fig.5 Electromagnetische membraantransducent (+ 1916)

- |                   |                |
|-------------------|----------------|
| 1. membraan       | 4. deksel      |
| 2. elektromagneet | 5. kabelwartel |
| 3. spoel          |                |

In Frankrijk deed de (oorspronkelijk russische) ingenieur Chilowski in 1915 het voorstel aan de franse regering om actieve onderzeeboot- en mijn-detectieapparatuur te maken. Als transducent wilde hij een electromagnetische transducer gebruiken. Het Ministerie van Marine haalde Prof. Langevin erbij om het voorstel te beoordelen. De laatste zag geen heil in de transducent van Chilowski en ontwikkelde een transducer gebaseerd op de electrostatische aantrekkingskracht tussen condensatorplaten, waarbij het diëlectricum mica en de 2e plaat het zeewater was. Hiermede werd een output van  $1/3$  watt/cm<sup>2</sup> verkregen, waarbij de transducent gevoed werd met een 100 kHz wisselspanning van 2,5 - 3 kV, die geleverd werd door een HF-booggenerator, die in het leger gebruikt werd voor een telegrafiezender. Een kool-microfoon diende als ontvanger; om de ontvangen echo's hoorbaar te maken was het nodig een super-heterodyne ontvanger te bouwen (vermoedelijk de oorsprong van de super-heterodyne ontvanger).

In 1915 werden de eerste proeven in de Seine genomen; het bleek echter niet mogelijk signalen van de ene oever naar de andere over te brengen; wel over ongeveer 100 meter.

In 1916 gingen de proeven in Toulon verder. Een afstand van 500 m werd overbrugd en later 2000 m, nadat de "microfoon" in een parabolische reflector van 35 cm diameter was geplaatst. Vervolgens werd getracht echo's te ontvangen; een zend-ontvangschakelaar werd ontworpen en de eerste echo's werden ontvangen van een plaat van 2 m<sup>2</sup> en van een zeemijn op 100 m afstand.

De transducenten waren het zwakke punt; daarom ging Langevin in 1917 kwarts gebruiken. Eerst alleen voor de ontvang-transducent; al spoedig ook voor de zend-transducent. Toen werd de klassiek geworden "Triplet Transducent" ontwikkeld, bestaande uit een mozaïk van kwartsstrippen van 4 mm dik, gelijmd tussen 2 ijzeren schijven van ieder 30 mm dik. Het geheel had een resonantiefrequentie van 40 kHz (fig.6). De lijm was het grootste probleem, dat pas na vele jaren goed werd opgelost. De transducent werd afgestemd met een zelfinductie en men haalde in het laboratorium zelfs een output van 10 watt/cm<sup>2</sup>. Eerst werden proeven gedaan met onderwater-telefonie nabij Toulon, waarbij toen reeds opgemerkt werd, dat het 's ochtends om 5 uur het beste ging (het was vermoedelijk zomer zodat er een sterke temperatuurgradiënt was).

Het duurde nog tot 1918 voor een echte sonar gemaakt was met de Triplet Transducer, gevoed door een buizen-zender, waarbij op 800 m echo's van een onderzeeboot ontvangen werden; met telefonie werd 8 km overbrugd. Eind 1918 werd besloten een 6-tal sonars te gaan fabriceren, die echter niet meer operationeel dienst hebben gedaan.

Ook Engeland en Amerika waren in 1917 reeds op de hoogte gebracht van het "Langevin Supersonic Apparatus". Zij zonden wetenschapslieden, o.a. Rutherford, naar Toulon om de proeven mee te maken. Vele intergeallieerde besprekingen vonden plaats. Op één van deze zei Langevin in 1918 o.a.:

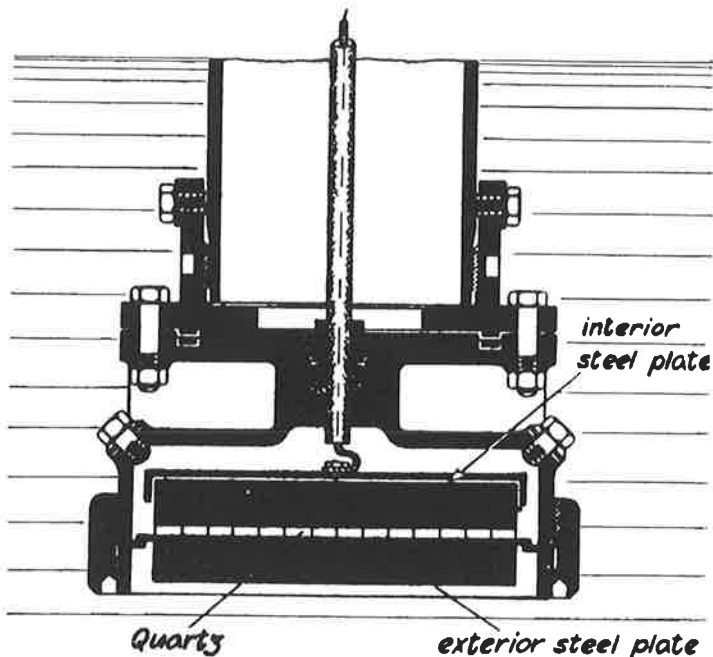


fig.6 Triplet Oscillator van Langevin (+ 1918)

- 1) "Als men aanneemt dat zowel de bundelbreedte als het aantal watts/cm<sup>2</sup> constant moet blijven is het wenselijk de frequentie te verlagen en de afmetingen te vergroten. De totale "gevoeligheid" zal dan met de vierde macht van de golflengte toenemen en verder is ook de demping in het water kleiner. We zijn nu bezig met 20 kHz i.p.v. 40 kHz, alleen de zaak is 8 maal zo zwaar.
- 2) Het is goed mogelijk om horizontaal en verticaal verschillende richtingsdiagrammen te maken, teneinde b.v. minder last te hebben van het zeeoppervlak, of om het contact met een onderzeeboot te houden op korte afstand. Dit zou door omschakelen van delen van de transducent kunnen gebeuren.
- 3) De lijm, waarmee het kwarts en het ijzer verbonden worden, moet verbeterd worden.
- 4) In de afstemspeel moet Litze-draad gebruikt worden.
- 5) De ontvang-circuits moeten met rood koper afgeschermd worden.
- 6) De invloed van het medium zeewater moet in detail bestu-



deerd worden wat betreft:

- absorptie
- stralenbuiging t.g.v. variaties in temperatuur en zoutgehalte, die een grote rol hierin spelen
- golfbeweging
- luchtbellens in de oppervlakte laag

Om dit alles te onderzoeken moet men vaste meetstations, voorzien van ultrasone apparatuur, oprichten en continu geluidsdrukken registreren, onder alle mogelijke condities. Ook zullen dergelijke stations in verschillende zeeën opgericht moeten worden, die klimatologisch zoveel mogelijk verschillen".

Nu, 60 jaar later, doen deze opmerkingen nog steeds modern aan.

Ook in Engeland werd gewerkt aan onderwaterakoestiek. In 1915 werd door de Admiraliteit de "Board of Invention and Research" (waaruit later de Royal Navy Scientific Service voortkwam) opgericht met als taak de toepassing van de wetenschap voor defensiedoeleinden.

In een subcommittee, dat zich speciaal met onderzeebootbestrijding bezig hield, was Prof. Rutherford de grote man. Men werkte hoofdzakelijk aan de constructie van hydrofoons voor passieve detectie van onderzeeboten en voor mijncircuits.

In 1916 kreeg men de gegevens van de Langevin kwarts-transducent en ging deze ook bouwen. Dit werk werd gedaan in het Admiralty Experimental Station, Parkestone Quay (Harwich) in de Anti Submarine Division. Het was zeer geheim en er werd alleen naar gerefereerd als ASDIGS (Anti Submarine Division-ics, in analogie met physics, acrobatics, etc). Zelfs het woord kwarts - voor transducenten - mocht niet gebruikt worden, het heette "ASDIVITE". Langevin kwam er geregeld op bezoek. Een Asdic werd gebouwd, die reeds in een intrekbare dom gemonteerd was. Men dacht over productie, toen de oorlog eindigde.

Eén van de meest kleurrijke verhalen uit de onderzeebootbestrijding, was de poging in 1917, om van een circus geleende zeeleeuwen onderzeeboten te laten opsporen. Vastgesteld werd dat de zeeleeuwen zeker even goed konden horen als de toenmalige hydrofoons en hen ook geleerd kon worden op zeer zwakke signalen te reageren. Dit geheim lekte zelfs uit naar Duitsland, waar in 1918 in een krant een spotprent was opgenomen met een zeeleeuw, die een engelse torpedojager naar een duitse onderzeeboot trok.

In 1915 werd door de amerikaanse Minister van Defensie in verband met de duidelijke onderzeebootdreiging een technische adviesgroep opgericht, geleid door Thomas Alva Edison. Deze groep adviseerde om een laboratorium op te richten; dat duurde echter nog tot 1923 toen het nog steeds zo hetende Naval Research

Laboratory opgericht werd.

Toen in 1917 Amerika in de oorlog betrokken werd, werden vele bekende wetenschappers aangetrokken. Veel werk werd verricht op het gebied van de passieve sonar. Ook in Amerika werden de resultaten van Langevin bekend en begonnen met het bouwen van de Triplet Transducenten.

Noot: De ontwikkeling van de passieve sonar is buiten beschouwing gelaten; opgemerkt moet worden dat vooral door de Duitsers, de Amerikanen en de Engelsen hieraan zeer veel gedaan is tijdens de eerste wereldoorlog.

# **ONDERWATERAKOESTIEK**

**een bijeenkomst gehouden op  
9 maart 1977 te 's-Gravenhage**

**NEDERLANDS AKOESTISCH GENOOTSCHAP**

**PUBLIKATIE NR. 41  
juli 1977**

## ONDERWATERAKOESTIEK

<u>INHOUD</u>	PAGINA
HISTORISCHE ONTWIKKELING OP HET GEBIED VAN GELUID ONDER WATER M. W. van Batenburg	1
NIET-LINEAIRE AKOESTIEK H. J. A. Rijnja	11
AKOESTISCHE DEBIETMETING IN HET BUITENWATER Ch. J. M. Wolff	29
BODEM INSPECTIE ONDER WATER MET EEN ACOUSTISCHE INTERFEROMETER A. J. van der Steld	41

Uitgave: Nederlands Akoestisch Genootschap  
Postbus 162, Delft  
juli 1977

© Alle rechten voorbehouden