

50 jaar akoestiek in Nederland

Foto omslag:
microfoon (fabrikaat Siemens), zoals die in de jaren dertig en veertig werd gebruikt in de
galmkamer in het Laboratorium voor Technische Physica te Delft.

50 JAAR AKOESTIEK IN NEDERLAND

Jubileum-uitgave ter gelegenheid van het 50-jarig bestaan van de
Geluidstichting / het Nederlands Akoestisch Genootschap.

dr.ir. A. de Bruijn

met medewerking van
drs. B. Lopes Cardozo
ir. J. van den Eijk

NEDERLANDS AKOESTISCH GENOOTSCHAP
PUBLIKATIE NR. 73
oktober 1984

Uitgave: Nederlands Akoestisch Genootschap
Postbus 162
2600 AD Delft
© Alle rechten voorbehouden

Vormgeving en productie: Gebotekst, Zoetermeer

De figuren op de bladzijden 64, 65, 66, 68, 70, 72, 74 en 76 zijn overgenomen uit het Philips Technisch Tijdschrift.

Waarde lezer,

Voor u ligt een overzicht van een halve eeuw akoestiek in Nederland. Het is de pennevrucht van een toegewijd ex-secretaris, die zijn historische gegevens putte uit bestudering van de NAG-archieven en uit gesprekken met oudere akoestici die de "pionierstijd" mochten meebeleven.

Het is een boeiend verhaal geworden dat duidelijk maakt hoe, in 50 jaar tijd, de akoestiek zich ontwikkelde van een hobby van enkelingen tot een in vele specialismen vertakt vakgebied met relevantie op o.m. sociaal, cultureel, medisch en economisch terrein.

Het verhaal behelst niet alleen een terugblik op een voorbije periode. Het geeft tevens aan hoe de activiteiten in het verleden de basis hebben gelegd voor moderne akoestische technieken, zoals die op dit ogenblik worden toegepast en in de toekomst ongetwijfeld nog verder zullen worden ontwikkeld.

Daarom wil ik besluiten met twee wensen. Ten eerste, dat de akoestiek in Nederland mag blijven groeien en bloeien tot nut van velen. Ten tweede, dat u, lezer, veel plezier aan dit boekje mag beleven.

D. de Vries
voorzitter Nederlands
Akoestisch Genootschap

INHOUD

TEN GELEIDE

1

HISTORISCH OVERZICHT VAN DE GELUIDSTICHTING EN HET NAG 3

Periode voor 1934 3

Oprichting van de Geluidstichting 5

Initiatieven 5

Oprichtingsvergadering 6

Officiële oprichting 9

Eerste activiteiten 10

Van Stille-maanden, weken en dagen 10

Anti-Lawaai-Bond 14

Loonmeetdienst 14

Wetenschappelijke dagen 15

Periode 1940-1945 16

Opheffing Loonmeetdienst 17

Van Geluidstichting naar Nederlands Akoestisch Genootschap 18

Het NAG 19

NAG-publikaties 19

Van het Bestuur 20

De Delftse Leerstoel 20

Akoestisch adviseurs 22

Acustica 23

ICA-congres 23

Inter-noise 81 25

ABAV en de Hogere Cursus Akoestiek 27

NSG 28

WETENSCHAPPELIJKE ONTWIKKELINGEN IN NEDERLAND

29

Geluidabsorberende materialen en zaalakoestiek 29

Interferometer 31

Nagalmethode 32

Toepassing van geluidabsorberende materialen 34

De Doelen 35

Ander zaalakoestisch werk 38

Bouwakoestiek 39

A.V.R.O.-studio 39

Kistenmethode 41

Proefwoningen 42

Geluidwering in woningen 45

Contactgeluid 47

Flankerende transmissie 49

Geluidbeheersing 50

Enige historische kanttekeningen 50

Dosis-effect relaties 53

Meet- en rekentechnieken 55

Geluidoverdracht in de open lucht 57

Scheepsakoestiek 58

Onderwaterakoestiek 61

Elektro-akoestiek 62

Luidsprekers 62

Geluidregistratie en weergavesystemen 64

Stereofonie 67

Muzieksimulatie en elektronische muziekinstrumenten 67

Ambiofonie en elektronische ruimte-akoestiek 69

Recent onderzoek 71

Auditieve perceptie 72

Residu-effect 73

Fase-invloeden 75

Herhalingstoon 75

Het dominantiegebied 77

Het oor als frequentie-analysator 77

Spectrale opscherping 79

Cochleaire mechanica 80

Spraakverstaanbaarheid in ruimten 80

Spraaktransmissie-index 81

Spraakverstaan en slechthorendheid 82

Spraak 83

Spraakanalyse 84

Spraaksynthese 84

Automatische woordherkenning 85

Toonhoogte en intonatie 85

Muzikale akoestiek 86

Stemming 86

Kerkklokken 87

Blaasinstrumenten 89

HUIDIGE STAND VAN ZAKEN, ENKELE KANTTEKENINGEN

91

Akoestische adviesbureaus 91

Onderwijs 92

Recente wetenschappelijke ontwikkelingen 93

Akoestisch instrumentarium 93

Akoestische technologie 95

Besluit 97

TEN GELEIDE

Op 12 oktober 1984 is het precies 50 jaar geleden dat de Geluidstichting werd opgericht, d.w.z. op die dag werd de oprichtingsakte gepasseerd. Het Nederlands Akoestisch Genootschap kan gezien worden als een rechtstreekse voortzetting van deze organisatie, zij het dat het Genootschap zich op minder breed terrein beweegt dan de oorspronkelijke Geluidstichting.

De oprichters hadden in 1934 een brede maatschappelijke organisatie voor ogen. Naast de wetenschappelijke inbreng zou de Stichting ook akoestische adviezen moeten uitbrengen, middels een eigen adviesbureau: de Loonmeetdienst. Daarnaast was er de functie van Anti-Lawaai-Bond, waarvan de activiteiten zeer concreet in relatie stonden met de dagelijkse praktijk.

Kortom: één van de kernpunten in het beleid van de Geluidstichting was de inpassing van de akoestiek en toepassingen daarvan in het maatschappelijk verkeer. Men richtte zich niet primair op de zuivere wetenschap, hoewel contact met wetenschappelijke verenigingen niet uit de weg werd gegaan, zoals met de Nederlandse Natuurkundige Vereniging bijvoorbeeld. Door allerlei omstandigheden (o.a. de Tweede Wereldoorlog) kon het vooroorlogse beleid niet voortgezet worden. De Loonmeetdienst verdween en werd opgenomen in TNO.

De taak als Anti-Lawaai-Bond verdween geleidelijk na de Tweede Wereldoorlog en herleefde pas in 1970 in de Nederlandse Stichting Geluidhinder. Het wetenschappelijke deel bleef over.

In 1962 werd de Geluidstichting omgedoopt in het Nederlands Akoestisch Genootschap. Deze vereniging tracht de wetenschappelijke activiteiten in Nederland te volgen, waar nodig contacten te leggen en publikaties uit te geven om akoestici van diverse specialismen bij elkaar te brengen. Ook wordt de onderwijskundige kant niet vergeten; we denken hierbij aan de Hogere Cursus Akoestiek.

Door de activiteiten van de Geluidstichting zijn een aantal belangrijke ontwikkelingen op gang gebracht die ook internationaal bekend geworden zijn. We kunnen noemen de studie van de geluidabsorberende materialen en het 1e ICA-congres (1953).

Het Nederlands Akoestisch Genootschap als voortzetting van de Geluidstichting, behoort tot de oudste akoestische verenigingen ter wereld. Alleen de Acoustical Society of America, die in 1929 werd opgericht, is ouder.

Het doel van dit boekje is om deze vijftig jaar van het bestaan van het Nederlands akoestisch verenigingsleven in kaart te brengen. Het leek ons nuttig de grote lijnen van die activiteiten op een rijtje te zetten, mede gezien het feit dat een aantal akoestici van het eerste uur ons hierbij nog ter zijde konden staan. Een gelukkige omstandigheid was bovendien dat één van de oprichters en erelid van ons Genootschap, professor C. Zwicker, ook nog bereid was om zijn medewerking te verlenen aan de totstandkoming van dit boekje.

Het materiaal voor het samenstellen van dit boekje is voornamelijk geput uit het archief van de Geluidstichting en de publikaties van het Nederlands Akoestisch Genootschap. Er zou nog veel meer te zeggen zijn over "50 jaar akoestiek in Nederland" dan hier opgenomen, maar wij hebben ons voornamelijk beperkt tot deze bronnen.

Voor de algemene opzet van het boekje is gekozen voor een verdeling in drie hoofdpijnen.

Het eerste hoofdstuk is gewijd aan de eigenlijke verenigingsactiviteiten van de Geluidstichting en het Nederlands Akoestisch Genootschap.

In het tweede hoofdstuk komen de wetenschappelijke aspecten aan de orde. Door de veelheid van gegevens vormt dit gedeelte de hoofdmoot van het boekje. Bij het schetsen van deze historische ontwikkelingen hebben wij wel eens geschroomd namen te noemen. Het moge duidelijk zijn dat, vanwege de beperkte omvang van dit boekje, er ook nog diverse namen niet zijn vermeld en wij hopen dat degenen die niet zijn genoemd dit niet zullen opvatten als onderwaardering voor hun werk. Het derde, afsluitende hoofdstuk geeft wat kanttekeningen over de huidige stand van zaken, zij het dat het wellicht een enigszins persoonlijke visie is. Ook hier is niet gestreefd naar volledigheid, maar getracht de significante lijnen aan te geven.

Veel dank zijn wij nog verschuldigd aan de akoestici met wie verhelderende gesprekken zijn gevoerd over het rijke akoestische leven van de afgelopen vijftig jaar.

A. de Bruijn

HISTORISCH OVERZICHT VAN DE GELUIDSTICHTING EN HET NAG

Periode voor 1934

Uit de nog aanwezige publikaties in de natuurkundige en technische tijdschriften blijkt dat het onderzoek op akoestisch gebied in deze periode beperkt was. Er zijn geen aanwijzingen dat een hoogleraar van enige betekenis zich bezig hield met geluidvraagstukken. In natuurkundige kring in Nederland was de aandacht op andere gebieden gericht, zoals de lage temperaturen (Kamerlingh Onnes en Keesom) en de quantummechanica (Lorentz, Ehrenfest en Zeeman). Men kan zelfs constateren dat er een zekere onderwaardering was voor het vakgebied akoestiek. Men vond de akoestiek, bijvoorbeeld de voortplanting en isolatie van geluid, uit natuurkundig oogpunt weinig interessant en meende dat het vraagstuk in feite al opgelost was door Kirchhoff, Helmholtz en Rayleigh.

Er werd geen onderwijs gegeven in dit vak op de universiteiten of de Delftse hogeschool. Dit veranderde toen dr. A.D. Fokker in 1923 hoogleraar in de technische fysica in Delft werd. Hij introduceerde de geluidleer aan de Technische Hogeschool. Hij heeft veel belangrijke bijdragen geleverd tot de statistische mechanica en de algemene relativiteitstheorie, o.a. de bekende Fokker-Planck vergelijking en de chronogeometrische behandeling der theorie van de zwaarte. Zijn eigenlijke vakgebied, de relativiteitstheorie, werd voor de "eenvoudige"



Prof.dr. A.D. Fokker, eerste voorzitter van de Geluidstichting.

Delftse ingenieur gezien als te moeilijk. Hij was eveneens een enthousiast muziek liefhebber en daardoor ook geboeid door de zaalakoestiek. In 1927 vertrok hij weer om als curator van het Natuurkundig Laboratorium van de Teylers Stichting op te treden. Hij nam als bijzonder hoogleraar aan de Rijksuniversiteit te Leiden weer zijn oude vak op. Hij bleef echter zeer geïnteresseerd in de zaalakoestiek en hij kan beschouwd worden als de initiator van de akoestiek in Nederland.



Prof.dr. C. Zwikker, één van de oprichters van de Geluidstichting.

Zijn collega, prof. L.H. Siertsema, had geen belangstelling voor de akoestiek. In 1929 kwam Cornelis Zwikker als diens opvolger naar Delft. In tegenstelling tot Fokker was Zwikker typisch een man van de praktijk en hij begreep al gauw dat als men de akoestiek van de grond wilde brengen, er een professionele aanpak nodig was. Met ir. G.L. Tegelberg, ir. M.E.H. Tjaden en prof. A.D. Fokker vond hij het nodig dat er een stichting zou worden opgericht, die de geluidwetenschappen in al zijn facetten zou belichten. Zwikker ontpopte zich zodanig als een grote promotor van de Geluidstichting en de pionier op het gebied van de lawaai-beheersing (vooral voor de oorlog). Hij nam de draad op van het werk van Fokker en begon zich bovendien bezig te houden met de verlichtingskunde, later ook met klimaatregeling binnenshuis en de materiaalkunde.

Geboren op 5 december 1900 in de Zaanstreek, studeerde hij theoretische natuurkunde aan de Universiteit van Amsterdam o.a. bij prof. Zeeman. In 1923 ging hij naar het Natuurkundig Laboratorium van Philips. Hij deed daar eerst

optisch werk. In 1926 werd hij overgeplaatst naar de afdeling van ir. R. Vermeulen, die zich voornamelijk concentreerde op de elektro-akoestiek en met name op luidsprekersystemen. Na het hoogleraarschap tot 1945 te hebben bekleed, vertrok hij weer naar Philips. Daarna werd hij directeur van het Nationaal Lucht- en Ruimtevaart Laboratorium te Amsterdam, om uiteindelijk zijn carrière af te sluiten met een nieuwe benoeming als hoogleraar aan de Technische Hogeschool te Eindhoven. In 1971 werd hij erelid van het NAG. Ter gelegenheid daarvan heeft hij zijn ervaringen als akoesticus neergelegd in een amusant artikel in NAG-publikatie nr. 22.

Oprichting van de Geluidstichting

Initiatieven

Het is thans moeilijk om uit te maken van wie het initiatief uitging tot het oprichten van een organisatie op het terrein van het geluid. De archieven van de voormalige Geluidstichting geven op dit punt geen duidelijke aanwijzing. Zwikker meent, terugblikkend op die periode, dat hij niet de belangrijkste initiatiefnemer was. Het kwam meer voort uit mensen die zich teweer wilden stellen tegen het lawaai. De Stichting voor Materiaalonderzoek had in 1934 een commissie ingesteld voor het onderzoek van de akoestische eigenschappen van bouwmaterialen, naar aanleiding van een lezing van ir. A. Dubois, directeur NOZEMA (en raadgevend ingenieur te Hilversum) voor de Bond van Materialenkennis. In die Bond van Materialenkennis speelde ir. G.L. Tegelberg een belangrijke rol.

De commissie was als volgt samengesteld: ir. G.L. Tegelberg (voorzitter), ir. A. Dubois, ir. M.E.H. Tjaden, dr.ir. E.B. Wolff, prof.dr. C. Zwikker en ir. W.A. Slinkers. Alras bleek het, dat het geluidvraagstuk veel omvangrijker was dan het bepalen van de akoestische eigenschappen van bouwmaterialen.

Fokker en zijn opvolger Zwikker deden met hun assistenten reeds enige jaren akoestische keuringen en onderzoeken op dezelfde wijze als in het buitenland. Daar werd reeds veel op geluidgebied verricht. In Duitsland werkte prof. K.W. Wagner in het Heinrich Hertz Institut für Schwingungsforschung. Hier onderzocht men de akoestische eigenschappen van bouwmaterialen – zowel de isolerende als de absorberende – en gaf men attesten uit. Daarnaast bestond er de Fachausschusz für Lärminderung van de Verein Deutscher Ingenieure, onder voorzitterschap van Wagner. In Engeland geschiedde het wetenschappelijk onderzoek in het National Physical Laboratory en het Building Research Station. In 1933 werd daar de Anti-Noise-League opgericht, die zeer actief was. Deze had zelfs inspecteurs in dienst die de oorzaken van overlast moesten opsporen en trachten verbetering te bereiken.

In de Verenigde Staten van Amerika beschikte het Bureau of Standards over een akoestisch laboratorium en sinds 1929 was de Acoustical Society of America actief door middel van het uitgeven van een eigen tijdschrift en het houden van een halfjaarlijkse wetenschappelijke bijeenkomst.

Naar het voorbeeld van het buitenland wilden Fokker en Zwikker de zaak hier in Nederland grondig aanpakken: een professionele aanpak met een degelijke organisatie daarom heen.

De stukken uit die dagen uit het archief van de Geluidstichting geven interessante informatie over het zoeken naar wegen om tot een dergelijke organisatie te komen. In 1931 was men eigenlijk al bezig. Fokker en Zwikker waren adviseurs van het Acoustisch Technisch Advies Bureau "Acousta" in Haarlem. Vandaar uit bereidde men de oprichting voor van de Geluidstichting. De lawaaibestrijding stond heel duidelijk voorop, maar men besepte dat de geluidwetenschap een zeer breed terrein bestreek. Vooral Fokker was er voorstander van om de nieuwe organisatie een brede wetenschappelijke basis te geven.

Men omschreef het doel als volgt: "De behandeling van geluidsvraagstukken in den ruimsten zin van het woord en de verspreiding van de kennis daaromtrent". Hieronder viel niet alleen het onderzoek van het hoorbare geluid, maar eveneens trillingen met lage (infra-geluid) en hogere frequenties (ultra-geluid).

Oprichtingsvergadering

Op 30 juli 1934 werd in Den Haag de oprichtingsvergadering gehouden in het gebouw van het Koninklijk Instituut voor Ingenieurs aan de Prinsessegracht 23. Er was een comité van voorbereiding met een vertegenwoordiging van diverse maatschappelijke organisaties, zoals de Hinderwetvereniging, de KNAC, de ANWB, de Nederlandse Vereniging van Huisvrouwen, enz.

Tegelberg was voorzitter van deze vergadering en beklemtoonde het belang van een dergelijke stichting. Twee citaten uit de notulen van deze vergadering geven wij hieronder:

"Het zal niet noodig zijn omstandig aan te geven waarom de oprichting van een geluidstichting wenschelijk is. Op geluidsgebied is nog veel te bestudeeren en te populariseeren. Veel overlast wordt ondervonden door gebrek aan kennis op dit gebied. Door de toenemende bouw van groote woningcomplexen is het vraagstuk van geluidsisolatie meer naar voren gekomen. In het brandpunt van belangstelling staat ook de bestrijding van het geraas in steden. Wellicht zal men kunnen komen tot normen voor de toelaatbare gedruischsterkte in een woonwijk, een industriele wijk, een gemengde wijk en zal men komen tot een rationeele lawaaibestrijdingsmethode. Een andere kant van het geluidsvraagstuk is de acoustiek in zalen, terwijl de studio's voor radio eveneens hun problemen meebrengen".

"Het zal noodig zijn, dat ook in Nederland de geluidsvraagstukken tijdig worden aangevat, zoodat gegevens voor gemeentelijke diensten worden verkregen die praktisch zijn en niet te ver gaan".

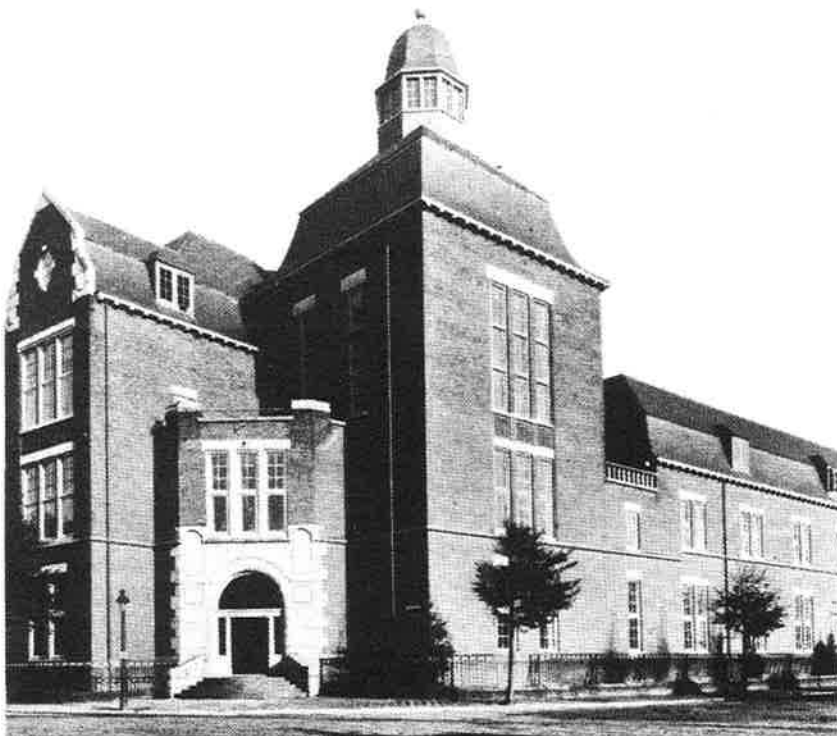
Fokker formuleert het als volgt, aldus de notulen:

"getracht zal worden contact te brengen tusschen de verschillende belanghebbende kringen. Het toenemende lawaai oefent een druk uit op het werkvermogen van de menschen en het is noodzakelijk dit euvel te verminderen. Dit is de sociale zijde van het vraagstuk. Aan de andere kant is de wetenschappelijke zijde nog niet geheel ontgonnen. Het overtoollig

lawaaï bestaat zoowel in woningen als daarbuiten". "Men zal moeten onderzoeken wat de bezwaren zijn en deze vastleggen in getallen van geluidsterkte. Toestellen als stofzuigers zijn wat lawaai betreft voor verbetering vatbaar. Wat in Amerika reeds onverkoopbaar is wordt hier nog geduld.

Men zou moeten vaststellen wat toelaatbaar is en daartoe de medewerking van physiologen noodig hebben. Voorschriften voor bouwconstructies moeten worden gemaakt. De mogelijkheid van metingen is reeds geschapen in het Laboratorium voor Technische Physica der Technische Hoogeschool te Delft. Deze werkzaamheden zullen onder de vlag van de Geluidstichting kunnen worden voortgezet. De Geluidstichting kan het organiseerend centrum worden, dat voorlichting geeft op geluidsgebied".

Mr. B.Ph. Baron van Harinxma thoe Slooten zegde onder meer medewerking van de KNAC toe. De voorzitter wees op de nieuwe Centrale Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (C.O.). Het werk van de nieuwe



Het Laboratorium voor Technische Physica, Mijnbouwplein 11, Delft, waar de Geluidstichting sinds de oprichting gevestigd was.

Stichting zal onder de wet op toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek vallen. Daarom zijn er contacten geweest met ir. A. de Mooy ACzn, die volledige steun toezei aan de Geluidstichting.

Er waren echter ook kritische geluiden. Prof.dr. A.K.M. Noyons meende dat het geluidvraagstuk zowel een medische als een technische kant heeft. Hij haalde aan dat het juist medici zijn geweest, die reeds twintig jaar geleden de eerste stappen hebben gezet op het gebied van de geluidbestrijding en daardoor al baanbrekend werk hebben verricht.

Noyons dacht bijvoorbeeld aan dr. H.J.L. Struycken, K.N.O.-arts, te Breda en zou het verkeerd achten wanneer niet meer met de medische kant rekening werd gehouden. Op zijn voorstel wordt Struycken als enig niet-technisch lid gekozen in het bestuur. De technische kant laat men echter toch prevaleren.

De geldmiddelen van de Stichting zouden kunnen worden gevormd uit jaarlijkse bijdragen en subsidies, maar ook uit honorering van eigen onderzoek en keuringen. Een probleem was hierbij dat het keuren en onderzoeken van akoestische materialen en het verrichten van onderzoeken voor opdrachtgevers enerzijds tot het gebied van de Geluidstichting behoorde, anderzijds ook een zaak was voor de particuliere adviesbureaus. Blijkbaar was dit een teer punt dat ook in de toekomst geregeld zou terugkeren in de verhouding tussen het Nederlands Akoestisch Genootschap, de ONRI en TNO.

Het eerste bestuur van de Geluidstichting bestond uit de volgende personen, zoals de oprichtingsakte toont:

- | | |
|----------------------|---|
| prof.dr. A.D. Fokker | - curator van het Natuurkundig Laboratorium van Teylers Stichting en bijzonder hoogleraar aan de Universiteit te Leiden, voorzitter |
| dr. H.J.L. Struycken | - oor- neus- en keelarts te Breda, vice-voorzitter |
| prof.dr. C. Zwikker | - hoogleraar aan de Technische Hogeschool te Delft, secretaris en penningmeester |
| ir. A. Dubois | - adviserend ingenieur te Hilversum en directeur der NOZEMA |
| prof.dr. G. Holst | - natuurkundige bij de N.V. Philips Gloeilampenfabriek te Eindhoven (N.B. directeur van het Natuurkundig Laboratorium van Philips!) |
| ir. G.L. Tegelberg | - directeur der N.V. Geveke & Co. te Amsterdam |
| ir. M.E.H. Tjaden | - directeur van Bouw- en Woningtoezicht te Amsterdam |

De leden van de Raad van Bestuur werden geacht een aantal officiële instanties te vertegenwoordigen. Iedere instantie wees één lid aan. De senaat der Technische Hogeschool te Delft: Zwikker; de afdeling Natuurkunde van de Koninklijke Academie voor Wetenschappen: Struycken; het Koninklijk Instituut voor Ingenieurs: Tegelberg; de Stichting voor Materiaalonderzoek: Tjaden; de Commissie van Bijstand: Holst; de Nijverheidsorganisatie TNO: Fokker. De op deze wijze benoemde zes leden van de Raad van Bestuur kozen zelf een zevende lid erbij: Dubois.



*Enige anti-lawaai aanhangers achter een aantal bronnen van overlast,
2e van rechts: C. Zwikker, 3e van rechts: A.D. Fokker.*

Officiële oprichting

Op 12 October 1934 werd de oprichtingsakte der Geluidstichting bij notaris A.J. Tassemeijer te 's-Gravenhage gepasseerd.

Uitvoerig wordt in het archief van de Geluidstichting aandacht geschonken aan de organisatie. Aan het hoofd van de Geluidstichting stond de Raad van Bestuur die - volgens de statuten - terzijde gestaan werd door de Commissie van Bijstand. Deze Commissie bestond uit een onbepaald aantal leden.

De Raad van Bestuur kon daarvoor personen uitnodigen, werkzaam bij officiële instanties en bedrijven, die met geluidvraagstukken direct of indirect in aanraking kwamen. Uit de Commissie van Bijstand kon een studiegcommissie worden gevormd, die al of niet aangevuld door anderen, bepaalde onderwerpen zou kunnen bestuderen en daarover verslag uitbrengen.

De eerste Commissie van Bijstand bestond uit totaal 34 leden. Als men de namen leest van deze Commissie krijgt men de indruk van een bonte mengeling van instanties en hun vertegenwoordigers. Veel gemeenten waren vertegenwoordigd, o.a. 's-Gravenhage en Haarlem. Ook instanties als KLM, KRO, ANWB, NCRV, Nederlandse Spoorwegen, Ned. Vereniging van Huisvrouwen en de Ned. Keel-, Neus- en Oorheelkundige Vereniging.

Voorts waren o.a. lid: J.H. de Man, een Majoor der Genie van het Ministerie van Defensie; dr. J.H.A. ter Heerdt, Pastoor te Vierakker en afgevaardigde van het Aartsbisdom Utrecht; mr. A.J.L. van Beeck Calkoen, Chef der Afdeling Hoger Onderwijs van het Departement van Onderwijs, Kunsten en Wetenschappen te 's-Gravenhage, enz.

Op een vergadering van 28 november 1934 werd het Huishoudelijk Reglement der Commissie van Bijstand vastgesteld. Behalve de Commissie van Bijstand had de Raad van Bestuur enige kleine commissies in het leven geroepen en een keuringslaboratorium georganiseerd, welke direct met hun werkzaamheden konden aanvangen.

Men kon donateur worden voor een bijdrage van f 10,- per jaar; voor bedrijven was dat f 25,-. Het is aardig te memoreren dat het gironummer van de Geluidstichting en het NAG door de jaren heen steeds hetzelfde is gebleven: 248358.

Eerste activiteiten

Direct na de oprichting begonnen de activiteiten. Ze waren uiteraard al voorbereid voordat de officiële oprichting had plaats gevonden. Op 8 november 1934 vond het beroemde Anti-Lawaai Congres in Delft plaats in samenwerking met de KNAC. Er traden de volgende sprekers op:

prof.dr. A.D. Fokker, voorzitter van de Geluidstichting: "Aspecten van het probleem van het geraas"

C. Bakker, Commissaris der Verkeerspolitie te Amsterdam: "De politie en de bestrijding van het straatrumoer"

mr. N.R.H. van Essen, juridisch adviseur van de KNAC: "De justitie en de bestrijding van het straatrumoer"

dr.ing. N.A. Halbersma, procuratiehouder der N.V. Philips: "Verkeerssignalen die tot vermindering van het straatlawaai kunnen bijdragen"

J. Gast: "Aan welke eischen moeten auto-signalen voldoen?" Besloten werd door prof.dr. C. Zwikker: "De oorzaken van het geluid bij automobielen".

De lezingen werden later gepubliceerd in het blad van de KNAC en als publikatie nr. 1 door de Geluidstichting verspreid.

Van Stille-maanden, weken en dagen

Van 2 april tot 1 mei 1935 werd op initiatief van Struycken een Stille-maand te Breda gehouden. De burgemeester van Breda steunde dit initiatief krachtig en daardoor kon met medewerking van de plaatselijke politie de maand georganiseerd worden. Over het algemeen konden de resultaten niet als bevredigend beschouwd worden. Voor een deel was dit te wijten aan het feit dat beambten van de Rijksveldwacht automobilisten die in de omgeving van Breda zonder signaleren kruispunten passeerden, wel bekeurden. Daar deze Stille-maand echter de eerste was in Nederland, was de ervaring welke men in Breda opgedaan had, zeer leerrijk.

ANTI-LAWAAI-WEEK

23-28 SEPTEMBER 1935

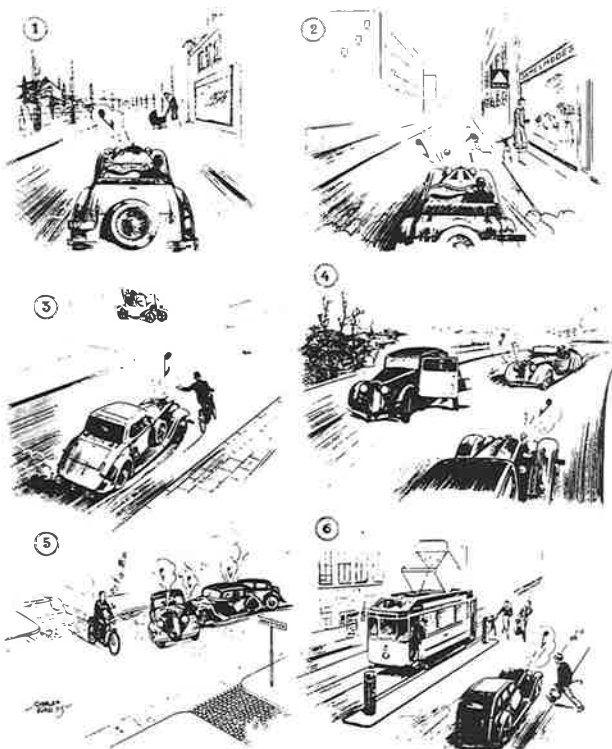


's GRAVENHAGE

VERKEERS- VERKEERS-
ORDE VEILIGHEID



ZIE PRIJSVRAAG OP DE ACHTERZIJDE



PRIJSVRAAG:

In bovenstaande teekeningen worden verschillende signalen gegeven. Deze waren niet noodig.

Wie en wat is de oorzaak van dit onnodig lawaai?

Onder de inzenders der goede oplossingen wordt een prijs van f 10,— verloot.
De Jury wordt gevormd door het Bureau der Anti-Lawaai-Actie te Den Haag en de verkeers-experts van de K.N.A.C., K.N.M.V., A.N.W.B. en B.B.N.
De oplossingen worden ingewacht vóór 8 October aan het Secretariaat der Geluidstichting, Mijnbouwplein 11 te Delft.

In de loop van 1935 werden door de Geluidstichting in Zuid-Limburg, 's-Gravenhage, Amsterdam, Haarlem, Rotterdam, Utrecht en Groningen comités gevormd, die tot taak hadden plaatselijke stilte-acties te organiseren. Het comité Den Haag zette voor de week van 23 tot 28 september 1935 een grote actie op touw, hierbij gesteund door de Geluidstichting, de Haagse Gemeentepolitie, de KNAC en drie andere verkeersverenigingen: KNMV (Koninklijke Nederlandse Motor Vereniging), ANWB en BBN (Bond voor Bedrijfsautoverkeer in Nederland). De dagbladen zorgden in de voorafgaande week voor een uitvoerige publikatie over wat er ging gebeuren. Gedurende de stilte-week werd op grootscheepse wijze propaganda gemaakt onder het motto "MEER STILTE". Er werden 25.000 pamfletten en folders verspreid. Polygoon en de Profilti Mij maakten korte filmopnamen voor het bioscoopjournaal. De VARA en NCRV stelden ieder een kwartier zendtijd ter beschikking voor een causerie, terwijl de AVRO een interview met de voorzitter van de Geluidstichting uitzond. Taxi's en reclame-auto's reden met vlaggetjes en passende reclame rond. Er werd een prijsvraag gehouden. Een direct effect van deze actie was dat er op kruispunten in Den Haag beduidend minder getoeterd werd dan voorheen (de Geluidstichting liet voor en tijdens de actie op enkele kruispunten gedurende de spitsuren het aantal geluidsignalen tellen). Belangrijker was echter dat waarschijnlijk vooral deze actie – die niet alleen groots opgezet was en bovendien in de residentie gehouden werd – vermoedelijk zeer veel heeft bijgedragen tot het scheppen van het goede klimaat, waarin anti-lawaai-passage's in het nieuwe Motor- en Rijwielreglement konden worden opgenomen.

In Rotterdam voerde de politie in de week van 21-29 oktober 1935 een doeltreffende actie tegen het geven van geluidsignalen door automobilisten.

Op 21 april 1936 werd te Delft en wederom in samenwerking met de KNAC, een 2e Anti-Lawaai-Congres georganiseerd. Drie van de vier sprekers concentreerden zich vrijwel geheel op het verkeerslawaai; de vierde echter: ir. J.M. de Casseres, hoofd van de technische dienst der Noordbrabantsche Streekplannen, hield een meer algemene beschouwing onder de titel: "Streekplan en uitbreidingsplan als hulpmiddel in de strijd om de stilte".

De laatste anti-lawaai-actie vond van 11 mei tot 23 mei 1936 plaats in Zuid-Limburg.

Mede dankzij de bovengenoemde acties werd in het nieuwe Motor- en Rijwielreglement, dat in 1937 van kracht werd, het verkeerslawaai enigszins aan banden gelegd:

- a. voor de hoorns en claxons werd een maximaal toelaatbare geluidsterkte vastgesteld
- b. het toepassen van geluidssignalen werd nog slechts onder enkele omstandigheden toegelaten
- c. het uitlaatlawaai mocht een bepaalde geluidsterkte niet overschrijden

Anti-Lawaai-Bond

De "Commissie ter bestrijding van geluidshinder" van de Geluidstichting bereidde de oprichting voor van de "Nederlandsche Bond ter Bestrijding van Geluidshinder in Nederland", kortweg "Anti-Lawaai-Bond" genoemd. Deze vereniging werd opgericht op 16 april 1937 voor de tijd van 29 jaar en 11 maanden, aanvangend met de dag van oprichting en eindigend dus op 15 maart 1967. Bij Koninklijk Besluit van 27 november 1937 no. 33 werden de statuten Koninklijk goedgekeurd.

Zoals uit de statuten blijkt was de ALB sterk gekoppeld aan de Geluidstichting. Belangrijk was vooral dat de voorzitter en de secretaris door de Geluidstichting werden benoemd. De eerste voorzitter werd ir. A. Dubois (lid van de Raad van Bestuur van de Geluidstichting) en de eerste secretaris werd mr. H.J. Schölvink (advocaat en procureur te Den Haag).

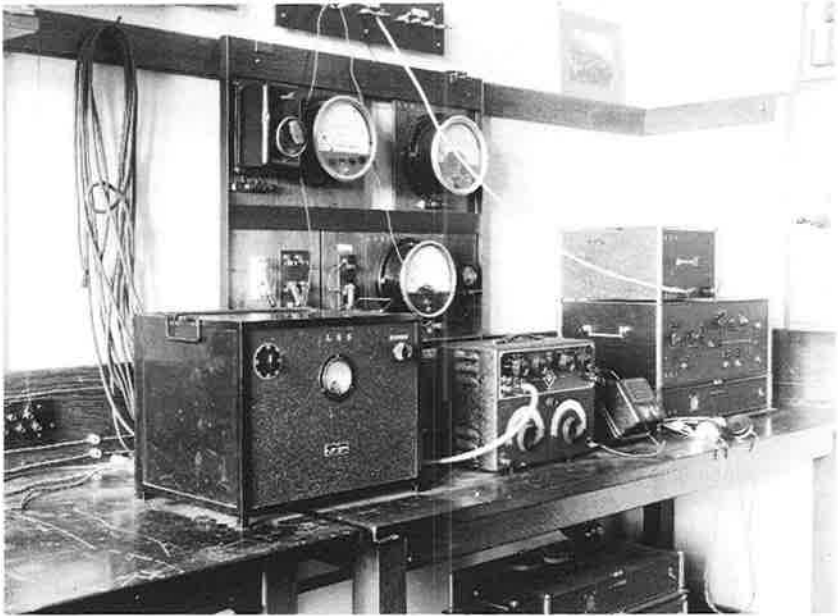
De activiteiten werden op 14 oktober 1937 gestart met een persconferentie te Utrecht. Het resultaat was een aantal opvallende artikelen in diverse dagbladen, waarin een ieder werd opgewekt om lid te worden van de ALB. Het resultaat was teleurstellend: begin 1938 had de vereniging nog pas 87 leden en eind 1938 was dat opgelopen tot 135 leden.

In mei 1938 verscheen het eerste – en waarschijnlijk tevens het laatste – nummer van "Stilte", officieel orgaan van de ALB (een exemplaar hiervan is in het archief van het NAG aanwezig). Een zin willen we citeren uit dit nummer: "Ideaal zou het onzes inziens zijn, indien de Rijkswetgever er toe zou kunnen besluiten een "Anti-Lawaai-Wet" in het leven te roepen, waarin het probleem van den geluidshinder in zijn vollen omvang kon worden geregeld".

Moeilijkheden met het vinden van een secretaris en de in verband met de toenemende oorlogsdreiging afnemende belangstelling voor geluidshinderproblemen, maakten dat de vereniging nooit van de grond kwam. In februari 1940 besloot de Raad van Bestuur van de Geluidstichting dan ook de activiteiten van de ALB voorlopig te stoppen. In het jaarverslag over 1941 van de Geluidstichting wordt nog eenmaal gesteld dat de ALB nog niet uit zijn tijdelijke sluimer was gewekt, daarna wordt er niet meer gerept over de vereniging.

Loonmeetdienst

De Loonmeetdienst was direct na de oprichting van de Geluidstichting in 1935 krachtig van start gegaan. De eerste directeur ir. C. Boot – in feite assistent van prof. Zwicker – deed veel belangwekkend werk op het gebied van keuring van absorptiematerialen, bellen, toeters en ook geluidisolatie. Een publikatie van de Geluidstichting in 1938 geeft daarvan een boeiende beschrijving. Dit boekje was geschreven door ir. A.C. van den Bergen, die Boot als assistent van Zwicker was opgevolgd. In dat boekje catalogiseerde hij – met jaartal en al – de diverse isolatiemetingen en absorptiemetingen met de daarbij behorende resultaten. Een andere rubriek handelde over de metingen betreffende claxons, oliebranders en sirenes. Op één van de volgende bladzijden komen wij nader terug op de veel toegepaste "kistenmethode" voor geluidisolatiemetingen.



Instrumentatie voor het uitvoeren van nagalmexperimenten, zoals die werd gebruikt in het Laboratorium voor Technische Physica in Delft.

Wetenschappelijke dagen

Allerlei wetenschappelijke bijeenkomsten werden georganiseerd. Op 28 november 1935 werd een Bouwakoestiek-dag gehouden. Dit was de eerste van een reeks bijeenkomsten die gewijd waren aan de bouwakoestiek. Velen zouden er nog volgen in de geschiedenis van de Geluidstichting en het Nederlands Akoestisch Genootschap.

Een – in onze ogen – merkwaardige bijeenkomst moet "Hotelacoustiek-dag" geweest zijn (29 oktober 1936). Blijkbaar waren de akoestische problemen in de hotels nijpend. Er was een hele reeks van voordrachten. Zo was er een voordracht van Dubois over de akoestiek van hotels gezien vanuit het standpunt van de toerist en een voordracht van E.G. van Stigt over het verschil in de akoestische eisen tussen hotel en woonhuis. Een andere interessante voordracht moet geweest zijn: J.F. van Luur, "Wat kan de bedrijfsleiding doen, opdat de gasten een minimum aan geluidshinder ondervinden?" Waarschijnlijk was de voordracht van Boot nog de beste: "Technische beschouwing over het voorkomen van onnodig lawaai in hotels".

advieswerk uitvoerde. Hij stelde zelfs de subsidie aan de Geluidstichting ter discussie. Het Bestuur van de Geluidstichting zag deze activiteiten echter met geheel andere ogen. Begrijpelijkerwijze meende een aantal bestuursleden dat de Loonmeetdienst een groot deel van de vitaliteit van de Geluidstichting vormde en het middel bij uitstek was om de contacten met de industrie te behouden en donateurs aan te trekken. Andere leden van het Bestuur, o.a. Fokker en ir. R. Vermeulen, waren wel voorstander van deze overgang. Zij meenden dat het gewenst was dat er een economische verdeling kwam en dat het ongewenst was twee akoestische instanties naast elkaar in Delft te laten bestaan. Bovendien meende Fokker dat de Geluidstichting toch niet in staat geweest zou zijn om op de lange duur het akoestisch laboratorium te kunnen blijven bekostigen.

Op 10 juni 1942 werd er een overeenkomst getekend, waarin de opname geregeld werd van de Loonmeetdienst van de Geluidstichting in de Technisch Fysische Dienst van TNO en TH. Ondertekenaars waren de hoogleraren Dorgelo en Zwikker. De regelingen zouden later als volgt worden geëffectueerd: de TPD zou het akoestisch keurings- en advieswerk overnemen van de Geluidstichting, terwijl de Geluidscommissie van OCG-TNO het speurwerk zou gaan uitvoeren. Op 1 juli 1943 werd het researchwerk van de Geluidstichting daadwerkelijk overgenomen door voornoemde Geluidscommissie.

Van Geluidstichting naar Nederlands Akoestisch Genootschap

Na de overdracht van de Loonmeetdienst aan TNO-instanties kwam de Geluidstichting na de oorlog in een impasse. Men twijfelde aan het nut van de Stichting nu er geen duidelijke taakstelling meer was via de Loonmeetdienst. Ook voor de Anti-Lawaai-Bond was weinig animo. In dit verband is het interessant dat er in het financieel verslag over het jaar 1948 vermeld wordt dat de Geluidstichting een bijdrage van f100,- verstrekke aan het Permanent Anti-Lawaai-Comité. Dit was een in 1947 opgericht samenwerkingsverband tussen de KNAC, de Tucht-Unie en de Geluidstichting, waarin tot 1956 Dubois, de oud-voorzitter van de Anti-Lawaai-Bond, actief was. Een en ander wijst er op dat men zeer bewust de Anti-Lawaai-Bond geen nieuw leven heeft willen inblazen. De snelle wederopbouw na de oorlog gaf geen tijd tot "gezeur" over vermindering van lawaai: opbouwen was het devies!

Zwikker verliet Delft om een functie bij Philips te aanvaarden. Dit was geen gunstige ontwikkeling. Hij was altijd de grote stuwende kracht in de activiteiten van de Geluidstichting en hij had ook het meeste gevoel voor publiciteit. Ook de Commissie van Bijstand kwam nauwelijks bijeen. Er werd in die dagen gediscussieerd over de vraag hoe de Geluidstichting omgebogen kon worden naar een zuiver wetenschappelijke vereniging. Hier lagen toch wel wat knelpunten. Na het overdragen van de Loonmeetdienst aan TNO was er namelijk nog een aanzienlijk takenpakket voor de Geluidstichting overgebleven. Wij noemen er hier een aantal:

- het opstellen van een lijst van akoestische adviseurs en de regeling van gemeenschappelijke belangen, bijvoorbeeld tarieven
- de akoestische nomenclatuur en normalisatie (de Geluidstichting was als

buitengewone normalisatiecommissie erkend en kreeg hiervoor financiële steun)

- het audiologisch werk; een werkcommissie was geïnstalleerd, de Medisch-acoustische commissie (Medaco). In die periode was juist de Nederlandse Vereniging voor Audiologie opgericht, die hetzelfde terrein als de Medaco bewerkte. Was nu ook deze commissie overbodig?

Bovendien was er de suggestie om zich aan te sluiten bij de Nederlandse Natuurkundige Vereniging, als sectie.

In een algemene vergadering besloten de leden van de Geluidstichting in 1950 door te gaan als een wetenschappelijke instelling met behoud van de oorspronkelijke naam. Het hoofddoel werd beperkt tot het uitgeven van publikaties en het beleggen van wetenschappelijke bijeenkomsten. Het onderzoek liet men over aan TNO, zonder daarbij veel sturing te geven. Men beperkte zich tot het volgen van de ontwikkelingen. Het ledental bleef beperkt tot ca. 50 à 60 personen. De toelating was selectief: alleen academici of daaraan gelijkgestellten mochten lid worden. Het Bestuur was bevreesd voor commerciële infiltratie. Zo werd een ieder met enige commerciële binding of achtergrond gewantrouwd en ook wel geweerd. Bekende namen in het bestuur waren in die dagen: C.W. Kosten, J.L. Ooms (Philips Phonografische Industrie), J.F. Schouten (Philips, later IPO), M.L. Kasteleijn (TNO, secretaris-penningmeester tot 1959), J.J. Geluk (NRU), H. Mol (PTT) en G.M. Uitermark (PTT). In 1962 werd de Geluidstichting omgezet in het Nederlands Akoestisch Genootschap. Dit was noodzakelijk geworden door een recente wetswijziging waarbij een stichting geen open-vereniging-structuur mocht hebben.

Het NAG

In de periode van de jaren zestig volgde het Genootschap de nieuwe maatschappelijke problemen omtrent de aanpak van de lawaai problemen met enige terughoudendheid. Het was en bleef een wetenschappelijke vereniging. Om tegemoet te komen aan de wens om zich meer maatschappelijk gericht op te stellen inzake de lawaaihinder, werd in 1970 de Nederlandse Stichting Geluidhinder opgericht met medewerking van het Bestuur van het NAG (zie blz. 28)

In de jaren zeventig nam het ledental bijna explosief toe. De Wet Geluidhinder bracht met zich mee dat de diverse overheden zich bezig gingen houden met de lawaaihinder en daarvoor grote aantallen deskundigen aantrokken. Ook nam het aantal wetenschappelijk medewerkers op akoestisch terrein aan de universiteiten toe; vooral ook doordat de medische faculteiten zich gingen richten op audiologische problemen. Bovendien groeiden de activiteiten van de akoestische adviesbureaus sterk, zodat medewerkers moesten worden aangetrokken. In een tiental jaren steeg het aantal leden van 160 naar meer dan 300.

NAG-publikaties

De uitgave van de publikaties staat centraal in de vereniging. Bij de omzetting van de Geluidstichting naar het NAG werd tevens een begin gemaakt met, in plaats van de losse uitgaven van de Geluidstichting, een reeks met meer structuur te

doen verschijnen. Daarom werd besloten van elke wetenschappelijke bijeenkomst de teksten op schrift te laten stellen en te bundelen in de bekende A5-formaat boekjes. Deze uitgaven vinden in het algemeen goede aftrek. In 1984 verscheen publikatie nr. 70. Diverse publikaties zijn reeds lang uitverkocht en hebben zeldzaamheidswaarde.

Van het Bestuur

In 1978 zijn de statuten gewijzigd en heeft men de categorie van "belangstellende" ingevoerd. Vasthoudend aan het uitgangspunt dat de echte leden werkzaam moeten zijn in de akoestiek en een zekere deskundigheid op dit vakgebied moeten hebben, kwam en komt men vaak in problemen bij aanmeldingen voor het lidmaatschap. Soms is het moeilijk te beslissen over dit punt. De ballotagecommissie kan adviezen uitbrengen, maar komt er soms ook niet uit. Door de categorie "belangstellende" in te voeren, worden sommige kandidaat-leden in de "wachtkamer" geplaatst tot zij lang genoeg in de akoestiek werkzaam zijn om de status van lid te verkrijgen.

Bij de keuze van bestuursleden is altijd getracht een evenwichtige keuze te maken over de diverse werkgevers die akoestici in dienst hadden: overheid, TNO, adviesbureaus, Philips, enz. De secretaris van het NAG was tot nu toe echter altijd een TPD-er (resp. W.A. Oosting, T. ten Wolde, A. de Bruijn, A. Moerkerken en E. Gerretsen). De voorzitter rouleerde vaak omdat er statutair was voorgeschreven dat éénmaal in de twee jaar een nieuwe gekozen moest worden. Dit gaf nogal eens problemen in verband met de opvolging. De opvolger van de zittende voorzitter moest nu eenmaal enige jaren zitting hebben in het bestuur om kennis van zaken te hebben. En bovendien moest hij ook nog bereid zijn het voorzitterschap te vervullen. Om dit probleem enigszins te omzeilen, heeft men bij de statutenwijziging in 1978 aangegeven dat het maximale aantal bestuursleden kon worden verhoogd tot negen en dat het voorzitterschap éénmaal met twee jaar verlengd kan worden. Het is ondoenlijk alle bestuursleden de revue te laten passeren in dit boekje.

De Delftse Leerstoel

Zoals reeds ter sprake is gekomen, werd sinds de jaren twintig het vak akoestiek in Delft gedoceerd. Eerst door Fokker, daarna door Zwikker. Er werd door deze hoogleraren een traditie opgebouwd die tot op de dag van vandaag behouden is gebleven. Over Fokker en Zwikker is al het nodige gezegd. De man die deze traditie daarna jarenlang heeft voortgezet was prof.dr.ir. C.W. Kosten.

Cornelis Willem Kosten werd in 1913 te Rotterdam geboren. Na zijn studie voor natuurkundig ingenieur, afstudeerrichting Akoestiek bij Zwikker, ging hij werken bij de Rubberstichting in Delft. Hij concentreerde zich hier op de elastische eigenschappen van rubber en schreef in die tijd zijn dissertatie (1942) "Over de elastische eigenschappen van ge vulcaniseerde rubber". In het hoofdstuk over de eigenschappen van poreuze rubbers gebruikt Kosten op originele wijze het begrip "impedantie". Het hoofdstuk over het bepalen van de elastische eigenschappen van rubber veren is klassiek te noemen. In datzelfde jaar werd hij tot



Prof.dr.ir. C.W. Kosten, hoogleraar aan de Technische Hogeschool Delft in de akoestiek en bouwphysica.

lector benoemd aan de Afdeling der Technische Physica van de TH Delft. Naast het vakgebied der akoestiek beoefende hij ook het vak bouwphysica en met name de verlichtingskunde. Op dit laatste vakgebied heeft hij buitengewoon interessante bijdragen geleverd. Hij gaf studenten-generaties lang het college bouwphysica aan civielen en bouwkundigen. In 1949 verscheen het boek "Sound absorbing materials" geschreven tezamen met Zwikker. Het is het klassieke boek over de fysica van de absorberende materialen. Het wordt nog steeds in het buitenland verkocht. Het is een nadere uitwerking van artikelen, die zijn verschenen in het tijdschrift Physica (1941, 1942).

Kosten werd in 1951 benoemd tot buitengewoon hoogleraar en in 1958 werd dit omgezet in een gewoon hoogleraarschap.

Hij had een tomeloze werkkraacht en een bewonderenswaardige nauwkeurigheid in de formulering van teksten en van wetenschappelijke problemen. Hij kon eindeloos teksten van zijn studenten en promovendi corrigeren.

Belangrijke mijlpalen in zijn wetenschappelijke loopbaan zijn geweest: oprichting van het Europees tijdschrift Acustica (1950), initiatiefnemer en leider van het eerste ICA-congres in 1953, Round-Robin's over geluidabsorberende materialen (1958), leider van een aantal ISO-werkgroepen, voorzitterschap van de vliegtuiglawaai-commissie (1962-1967) en last but not least, het akoestisch ontwerp van de concertzalen in de Doelen te Rotterdam (1966). In 1973 verscheen ter gelegenheid van zijn 60ste verjaardag een speciaal nummer van Acustica met bijdragen van leerlingen.

Het is tragisch dat de achteruitgang van zijn gezondheid hem noopte in 1971 zijn hoogleraarschap neer te leggen. Hij overleed in 1976 in droevige omstandigheden.

Enigszins in zijn schaduw werkte Dirk Willem van Wulfften Palthe. Hij betrad in 1955 het terrein der akoestiek als medewerker van Kosten. Wat betreft zijn brede akoestische kennis had hij wellicht niet zijns gelijke in Nederland en misschien ook daarbuiten. Palthe was een uiterst bescheiden mens. Hij publiceerde bijna nooit. Het gaf hem meer voldoening om anderen met vaak zeer waardevolle bijdragen ter zijde te staan bij het realiseren van verslagen, publikaties en dissertaties. In 1965 werd hij lector in Delft. Vanuit de door hem verkozen achtergrondpositie oefende hij grote invloed uit op het akoestisch gebeuren in Nederland en daarbuiten. Ook heeft hij een bijdrage geleverd aan de akoestische normalisatie als voorzitter van de commissie NEC 29/ISO43 en heeft hij een aantal jaren het voorzitterschap van het NAG bekleed. Na het terugtreden van Kosten als hoogleraar, nam Palthe de leiding van de akoestische groep in Delft over tot een nieuwe hoogleraar benoemd zou zijn. In 1981 overleed hij.

Sinds 1976 wordt de Delftse akoestische leerstoel bekleed door prof.dr.ir. A.J. Berkhout, die zich met zijn vakgroep voornamelijk toelegt op de echo-akoestiek.

Akoestisch adviseurs

In toenemende mate wendde men zich in de jaren vijftig tot de Geluidstichting met het verzoek advies uit te brengen over – doorgaans – bouwakoestische problemen. Op dergelijke vragen werd medegedeeld dat de Geluidstichting sinds 1945 niet meer zelf adviseerde, doch bemiddelde tussen adviseurs en advieszoekenden. Een kort onofficieel lijstje van namen van door de Geluidstichting erkende adviseurs werd opgegeven. Er was echter rond 1955 behoefte aan een "echte" lijst. Daartoe werd door het Bestuur een procedure vastgesteld t.a.v. de erkenning van akoestisch adviseur. De eisen voor het verkrijgen van de verklaring van deskundigheid waren kort samengevat: deskundigheid, onafhankelijkheid van leveranciers van akoestische materialen en instrumenten en zich houden aan de tarieven. Om een en ander onder controle te houden was samenwerking met de Orde van Nederlandse Raadgevende Ingenieurs (ONRI) noodzakelijk. In 1956 kwamen de Geluidstichting en de ONRI tot overeenstemming op een aantal punten en in 1959 ging men de nieuwe tarieven voor akoestisch advieswerk opstellen. Naar aanleiding hiervan verscheen het boekje "Regeling van de verhouding tussen opdrachtgever en akoestisch adviseur (R.G.-1962)", dat in 1961 gereed kwam. Het bevatte o.a. een uiteenzetting over de erkenning van akoestisch adviseur door het Bestuur. In 1966 werd echter de "RVOI 1966" betreffende tarieven uitgegeven door het Koninklijk Instituut van Ingenieurs en opgesteld in samenwerking met de ONRI. Dit stuk zou ook gelden voor het advieswerk op akoestisch gebied, waardoor R.G.-1962 in feite overbodig werd. Het instituut van erkend akoestisch adviseur heeft nooit naar wens gefunctioneerd: er was weerstand van zowel binnen- als buitenaf. Er moest door het Bestuur – of door een commissie namens het Bestuur – beslist worden wie in aanmerking kwam; dit

was een hachelijke zaak! Bovendien was er later de concurrentie van de ONRI. Aan het einde van de jaren zestig besloot men de lijst van erkende akoestisch adviseurs af te schaffen.

Acustica

Een belangrijke stoot tot de uitbouw van een Europees akoestisch leven was de uitgave van het internationale akoestische tijdschrift *Acustica*. Tot die tijd verschenen belangrijke bijdragen op akoestisch gebied in zeer uiteenlopende tijdschriften. Er was derhalve grote kans enkele te missen. Dit was Kosten een doorn in het oog en leidde tot het initiatief voor de uitgave van *Acustica* onder internationale Europese redactie. Jarenlang was hij hoofdredacteur en wie hem nog gekend heeft, begrijpt iets van zijn pijnlijke nauwkeurigheid om het peil van het tijdschrift hoog te houden. Jarenlang is het naast de *Journal of the Acoustical Society* het meest toonaangevende tijdschrift op akoestisch gebied geweest. Doordat meer akoestische vaktijdschriften in de jaren zestig gingen verschijnen, verloor *Acustica* terrein en het oorspronkelijke uitgangspunt voor een echt Europees tijdschrift is wat vervaagd, hoewel de eindredactie nog steeds breed Europees is samengesteld.

ICA-congres

Zeer belangrijk voor de akoestiek in Nederland was ook de organisatie van het eerste ICA-congres (International Commission on Acoustics) in 1953 in Delft. Reeds op 5 december 1951 werd een bespreking georganiseerd binnen de Geluidstichting over de organisatie van een internationaal akoestisch congres in 1953. Teneinde het congres in Nederland van de grond te krijgen, dacht men in eerste instantie aan een samenwerking met de Nederlandse Natuurkundige Vereniging. Men dacht hiermee ook meer kans te hebben om regeringssteun te verkrijgen. De NNV had echter geen belangstelling, maar de Geluidstichting besloot toch om door te gaan. Kosten werd naar de International Commission on Acoustics in Londen gestuurd met het voorstel om in Delft een congres te organiseren. De uitvoering van deze plannen werd gedelegeerd aan de Geluidstichting. Reeds een jaar van te voren ging men aan de slag. In die jaren had men er geen idee van hoe een internationale manifestatie als deze moest worden georganiseerd. Er waren geen reisorganisaties beschikbaar die de nodige ervaring hadden om zoveel accommodatie tegelijk te kunnen reserveren. Dit moest dus allemaal geregeld worden vanuit Delft. Kosten was voorzitter van het organisatiecomité en P.A. de Lange (TPD) was uitvoerend secretaris. De laatstgenoemde was 18 maanden lang manusje van alles en dit alles in zuiver TNO-tijd. Bovendien werd er achter de schermen nog door diverse andere TNO-medewerkers, o.a. Kasteleijn, veel tijd in gestoken. Voorts was de medewerking van het Congres Bureau van de PTT van grote waarde. Bezieet men het kostelijke foto-album van dit congres, dan is er de opening in de Ridderzaal door minister Cals zelve. Men ziet Kosten (in jacquet!) en R.H. Bolt hun redevoeringen houden in deze historische omgeving. Er waren diverse excursies, o.a. naar het Philips Natuurkundig Laboratorium in Eindhoven en naar de studio's in Hilversum. De Nederlandse Spoorwegen stelde gratis treinen ter beschikking. De KLM bood –



Het organisatiecomité van het 1e ICA-congres (1953). V.l.n.r.: ir. W. Kok, dr.ir. H. Mol, P.A. de Lange, prof.dr.ir. W.Th. Böhler, prof.dr.ir. C.W. Kosten, ir. R. Vermeulen, ir. M.L. Kasteleijn, dr.ir. J.J. Geluk, ir. G.J. (Kleinhoonte) van Os.

op verzoek – aan om enkele rondvluchten te maken boven Nederland met de deelnemers. Een diner in het Kurhaus werd besloten met een schitterend feest. De akoestiek werd hierbij niet helemaal vergeten, want Kosten had als fervent aanhanger van het MKS-stelsel, broodjes in de vorm van de letters m, k en s laten bakken, die geserveerd werden bij de soep.

Het wetenschappelijke peil van de voordrachten was hoog. De Proceedings van dit congres zijn nog steeds verkrijgbaar en geven in heldere taal aan waar de probleemgebieden in die dagen lagen (Kosten en Kasteleijn waren de redacteurs). Alle grote namen van de toenmalige akoestische wereld waren aanwezig: Cremer, Meyer, Beranek, Trendelenburg, enz. Het aantal deelnemers bedroeg 314 personen, afkomstig uit 22 landen. Merkwaardig was dat het congres was gewijd aan elektro-akoestiek: de officiële benaming was dan ook "First ICA-congress on electro-acoustics". In feite viel de nadruk op onderwerpen als sound recording, public address systems, acoustic measurements, hearing aids and audiometers, ultra-sonics en acoustics applied to musical instruments. Opvallend was dat er blijkbaar een apart klein symposium was georganiseerd dat de geluidisolatie van wanden behandelde. Men voelde blijkbaar dat het niet geheel paste in het algemener thema van het congres. Bovendien was opmerkelijk dat

geen parallelzittingen werden gehouden. Het congres was financieel zeer gunstig afgelopen, dankzij geldelijke steun van vele kanten en een zuinig beheer. Het garantiebedrag ad f 3.500,- van het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen werd niet aangesproken. Ook de Geluidstichting kreeg zijn eigen garantiebedrag ad f 2.500,- terug. Er bleef nog ca. f 2.000,- over, een heel bedrag voor die dagen. Alleen TPD en IG moesten flink bloeden. Zo werd voor de TPD een verlies van f 10.000,- à f 20.000,- gecalculeerd, vanwege de werkzaamheden van De Lange en ir. G.J. van Os. Op de directie van de TPD werd echter door de Geluidstichting een beroep gedaan om af te zien van het indienen van een rekening. De TPD-directie stemde daarmee in.

Het congres was in zo goede aarde gevallen bij de buitenlandse aanwezigen dat in 1956 een tweede congres gehouden werd, nu "On Acoustics", ditmaal in Boston (USA). Daarna is elke 3 jaar in een ander land een ICA-congres georganiseerd. Het Delftse congres is dus uitgegroeid tot een wederkerend internationaal evenement van formaat, hoewel heden ten dage een zekere splitsing van vakgebieden noodzakelijk geworden is.

Inter•noise 81

De inspanning die de Delftse groep zich had getroost, had wel zijn weerslag op latere verzoeken om iets dergelijks te organiseren in Nederland. Er was echter een zekere weerstand bij het Bestuur van het Nederlands Akoestisch Genootschap om nog eens een dergelijke onderneming op touw te zetten. Voor een organisatiecomité kost dit zeker immers een jaar van werken en welke instantie geeft hiertoe die tijd en ruimte aan zijn medewerkers? Jarenlang heeft de Nederlandse akoestische wereld wat geïsoleerd gewerkt, hoewel de deskundigen in de auditieve perceptie wel zeer actief geweest zijn in het organiseren van internationale conferenties: de Symposia on Hearing; Driebergen 1969, Eindhoven 1972 en Noordwijkerhout 1980.

Het duurde tot 1975 voordat het Nederlands Akoestisch Genootschap iets internationaal wilde organiseren. Spaanse en Engelse akoestici verzochten Nederland – vriendelijk doch niettemin dringend – het één en ander te organiseren en met enige schroom werd het Third Anglo-Spanish Netherlands Symposium georganiseerd in Rotterdam in de Doelen. (Een 2e Congres had in 1972 in Londen plaatsgevonden en over het 1e zijn geen documenten gevonden). Het geheel was een onverwacht succes. Vooral uit Nederland kwam veel respons (zie NAG-publikatie nr. 33). Er was dus blijkbaar in de Nederlandse akoestische wereld behoefte om zich internationaal te manifesteren, zeker als het symposium of congres in Nederland georganiseerd werd. Het was een krachtige impuls voor de Nederlandse akoestische wereld om zich te presenteren en te laten zien dat men zeker in staat was om mee te doen op internationaal niveau. Men kan het beschouwen als een vooroefening voor het grote Internoise congres in 1981 te Amsterdam.

Ir. V.M.A. Peutz had als voorzitter van het NAG aan het International Institute of Noise Control Engineering (I.INCE) voorgesteld om Nederland te kiezen als organisatorland van het Internoise congres. Dit voorstel werd door I.INCE dankbaar aanvaard. In 1979 werd de definitieve, positieve beslissing genomen door



Ir. V.M.A. Peutz opent het Inter-Noise 81 Congres te Amsterdam (1981).

het NAG-Bestuur en werd met de voorbereiding begonnen. De Belgische Akoestische Vereniging ABAV aanvaardde de uitnodiging om mee te werken. Dr. A. Cops van de Katholieke Universiteit Leuven heeft aan de organisatie van de tentoonstelling een belangrijk aandeel geleverd. Reeds in 1979 werden de eerste stappen gezet voor de organisatie. De conferentie droeg als thema "de praktijk van de lawaai-beheersing", om aan te geven dat de praktische aspecten een steeds belangrijker plaats gingen innemen, mede ten gevolge van wettelijke maatregelen betreffende lawaai-beheersing. Het secretariaat van de conferentie was gevestigd bij het Akoestisch Adviesbureau Peutz & Associés te Den Haag. Wie de congresboeken bestudeert, ziet een hoeveelheid van onderwerpen met als uitersten: zeer praktische gevallen van de lawaai-beheersing tot ingewikkelde statistische analyses, geluidisolatie van een telefooncel tot aan geluidbeheersing rondom industrieterreinen zoals een kolenverwerkingsinstallatie. Mevrouw J.J. Lambers-Hacquebard, staatssecretaris van Volksgezondheid en Milieuhygiëne opende de conferentie met een rede "Towards a quieter society" waarin zij een min of meer historisch overzicht gaf van de wettelijke maatregelen inzake de geluidhinder. Zij legde nogal de nadruk op het belang van geluidarm construeren. De congresvoorzitter Peutz benadrukte in zijn openingswoord dat juist in Nederland een vak als lawaai-beheersing te weinig op hoger technisch niveau wordt beoefend, zoals bijvoorbeeld blijkt uit de NAG-ledenlijst. Er was een duidelijke tendens aanwezig voor lawaai-bestrijding aan de bron, ook wel aangeduid met geluidarm construeren. De belangstelling voor de meer klassieke aanpak van het lawaai-probleem (overdracht beperken door isoleren, omkassen, dempen) was wat afgenomen: de technieken waren goed bekend, de bezwaren evenzeer.

ABAV en de Hogere Cursus Akoestiek

Opvallend was de hechte samenwerking met de ABAV, de Belgische Akoestische Vereniging. De banden met onze zuiderburen stammen uit het begin van de jaren zeventig. Prof.dr. H. Myncke was hierbij de initiatiefnemer. Hij achtte het van belang voor de ontwikkeling van de Belgische akoestiek om aansluiting te krijgen met de Nederlandse akoestici. Zijn werkzaamheden aan de Katholieke Universiteit Leuven hadden de basis gelegd voor een solide ontwikkeling van de akoestiek in België.

Een eerste resultaat van de samenwerking met het NAG was een symposium in Breda in 1972 over akoestische meetmethoden.

Tweede belangrijke samenwerking was de Hogere Cursus Akoestiek die nog steeds in Antwerpen wordt gegeven. Reeds in de jaren zestig deed zich de behoefte gelden een cursus op te zetten om de lacune in de akoestische expertise in Nederland op te vullen. Het was bekend dat bijna geen van de HTS-en iets deed aan akoestiek, hetgeen een duidelijke handicap vormde om ook in bedrijven het vak van lawaaibeheersing te laten doordringen. Ing. F.J. van Leeuwen van de Nederlandse Radio Unie, die in Hilversum een cursus Akoestiek voor omroeptechnici verzorgde, schreef een soort gidsje met onderwerpen die gedoceerd zouden moeten worden in een dergelijke cursus (NAG-publicatie nr.11). Het NAG-bestuur in die jaren heeft vergeefs getracht om de cursus te organiseren in de vorm van een applicatiecursus bij een HTS. Geen enkele instantie wilde het risico nemen. Uit contacten met Myncke bleek dat er ook in België behoefte aan een cursus was. Myncke wees er op dat de Koninklijke Vlaamse Ingenieurs Vereniging (KVIV) te Antwerpen wel genegen zou zijn deze cursus te organiseren, aangezien deze instantie veel meer cursussen organiseerde en bereid zou zijn het financiële risico te nemen.

Zo kwam in 1973 de Hogere Cursus Akoestiek tot stand, die gegeven zou worden in Antwerpen. Docenten werden aangetrokken, zowel uit België als uit Nederland. Een eerste opgave was een goede syllabus samen te stellen, hetgeen de ruggegraat van deze cursus zou moeten vormen. Het bevat een vrij grondige theoretische inleiding met daaraan toegevoegd een uitgebreid overzicht van de gangbare methoden en technieken op het gebied van de bouwakoestiek en de lawaaibeheersing. Coördinator was in de eerste jaren ir. J. Rodrigues de Miranda. Tegenwoordig is Cops verantwoordelijk voor de wetenschappelijke coördinatie. De cursus is ieder jaar volgeboekt. De ca. 70 deelnemers komen veelal uit kringen van de overheid, adviesbureaus en industrie. Opvallend is dat ook veel cursisten deelnemen aan een – overigens niet verplicht – examen. Het behaalde diploma heeft zeker waarde en wordt vaak gevraagd in personeelsadvertenties voor akoestische functies.

De relaties met de ABAV zijn sedertdien zeer goed gebleven. Zo is er de stilzwijgende afspraak dat één van de bestuursleden van het NAG afkomstig is uit de ABAV-kringen. Zo was Myncke bijvoorbeeld jarenlang bestuurslid. Nu is Cops zijn Belgische opvolger.

NSG

In 1970 werd de Nederlandse Stichting Geluidhinder opgericht op initiatief van de Vereniging "het Nederlandse Congres voor Openbare Gezondheidsregeling", genomen naar aanleiding van haar jaarlijks congres dat in 1968 gewijd was aan het thema Geluidhinder. Het NAG heeft deze kant van de akoestiek bewust verlaten en overgelaten aan de daartoe aangewezen organisatie, die daardoor een veel betere armslag kreeg. Het NAG was en is een wetenschappelijke vereniging gebleven en vond het strijdig met haar belangen om partij te kiezen in de lawaaibeheersing. Wel heeft het Bestuur van het NAG de wens uitgesproken dat er een vertegenwoordiging kwam in het Bestuur van de Nederlandse Stichting Geluidhinder. De activiteiten van deze Stichting zijn gestaag gegroeid, mede door de hernieuwde belangstelling voor het bestrijden van geluidhinder. De voorbereidingen voor de Wet Geluidhinder stimuleerde het denken over de geluidhinder zeer sterk. Een belangrijk aspect hierbij is, het publiek bewust te maken van de ernst van lawaaihinder en dit was één van de uitgangspunten van de oorspronkelijke Geluidstichting.

De NSG studiedagen trokken veel aandacht, bijvoorbeeld de dagen die gewijd waren aan geluidhinder door vliegtuigen, juridische aspecten van de geluidhinder, enz. Bekend zijn ook de acties in verband met bestrijden van de geluidhinder. Slogans als "Laten we zacht voor elkaar zijn" en "Lawaai is lelijk" zijn nationaal bekend. Verder zette de Stichting specifieke cursussen op touw zoals de cursus "Meten van lawaai in de industrie".



NSG-affiche ter bestrijding van geluidhinderlijk gedrag.

WETENSCHAPPELIJKE ONTWIKKELINGEN IN NEDERLAND

In de voorafgaande pagina's hebben wij de verenigingsactiviteiten van de Geluidstichting en het NAG beschreven. Het akoestisch werk is vanzelfsprekend verricht bij de onderzoeksinstituten van TNO, Philips, de akoestische adviesbureaus, overheidsinstanties, enz. De Geluidstichting/NAG vormde binnen deze onderzoekswereld het bindmiddel en zorgde door middel van de wetenschappelijke bijeenkomsten voor de nodige contacten. Binnen deze onderzoekswereld is werk uitgevoerd dat internationaal de aandacht heeft getrokken. Nederland heeft een gedegen reputatie als akoestisch land opgebouwd. De activiteiten van Philips op het gebied van o.a. de elektro-akoestiek; de Delftse school op het gebied van geluidabsorberende materialen; de zaalakoestiek; de akoestische perceptie; de effecten van lawaai op de mens; enz. hebben de naam van de Nederlandse akoestiek ver over onze grenzen gebracht.

In de volgende hoofdstukken trachten wij een en ander te verduidelijken over de belangrijkste ontwikkelingen die door Nederlanders op gang zijn gebracht. Volledigheid is niet nagestreefd, wel is er gepoogd evenwichtigheid te betrachten.

Zoals reeds aangegeven in het "Ten geleide" is steeds geput uit bronnen van de Geluidstichting en het NAG. Buiten de kring van leden van deze verenigingen is uiteraard ook belangwekkend onderzoekswerk verricht op verwante gebieden van de akoestiek, zoals de audiologie. Het is helaas ondoenlijk binnen de beperkte opzet van dit boekje ook daaraan aandacht te schenken.

Geluidabsorberende materialen en zaalakoestiek

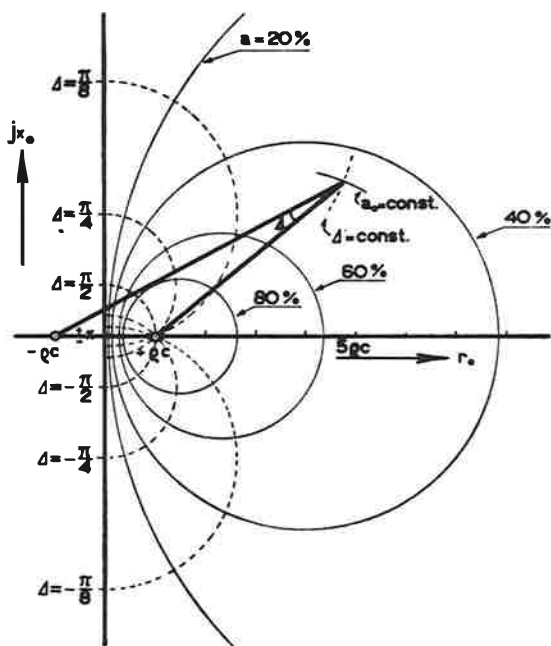
De studie van geluidabsorptie heeft sinds het einde van de 19e eeuw geruime tijd centraal gestaan in de activiteiten van de zaalakoestici. Reeds Sabine (1900) trachtte dit fenomeen te doorgronden, vooral ten behoeve van een nieuw te bouwen zaal en zocht naar het verband tussen de nagalmtijd en de geluidabsorptie in een zaal. Bekend zijn de beschrijvingen van zijn hand, hoe hij 's nachts met zitkussens uit een nabijgelegen zaal in the Fogg Art Museum van de Harvard University, de nagalm in een laboratoriumruimte kon variëren en hieruit trachtte af te leiden hoe het verband was tussen de nagalmtijd en de geschatte absorptie.

Zwicker zag reeds in 1930 de mogelijkheden van het begrip "impedantie" voor het begrijpen van het akoestische gedrag van absorberende materialen. In de jaren dertig kwam de grootheid "impedantie" sterk in zwang binnen de akoestische wereld. Men ontdekte de analogie van mechanische en elektrische netwerken. Zij hebben een gemeenschappelijke basis, in die zin dat de wiskundige vergelijkingen die de mechanische en de elektrische verschijnselen beschrijven analoog zijn. Volgens Zwicker komt de verdienste van het invoeren van het impedantiebegrip in de akoestiek toe aan de Amerikaan Arthur Gordon Webster

(1919). Deze zag de analogie tussen elektrische en mechanische trillingsproblemen en paste het begrip der akoestische impedantie toe bij de studie van grammofoon- en luidsprekerhoorns, waaruit bleek dat deze hoorns het analogen vormen van elektrische transformatoren.

Zwicker constateerde dat de impedantie de absorptiecoëfficiënt van geluid-absorberende materialen zal bepalen. De kennis van het verloop van de impedantie is dan ook onontbeerlijk voor de ontwikkeling van geluidabsorberende materialen.

De namen van Zwicker, Kosten en Van den Eijk zijn verbonden aan de ontwikkeling van de theoretische grondslagen van de absorptie van poreuze materialen op grond van de akoestische impedantie. De geluidenergie die invalt op een poreuze laag wordt door wrijving in de poriën omgezet in warmte. Het trillende medium is derhalve de lucht in de poriën. Zwicker en zijn medewerkers ontdekten het belang van de structuurfactor, de porositeit en de weerstand. De akoestische impedantie en het daarmee samenhangende akoestische gedrag van de meeste poreuze materialen blijkt voor juiste waarden der drie genoemde grootheden bevredigend beschreven te kunnen worden.



Samenhang tussen de impedantie z_0 , de absorptiecoëfficiënt a_0 , de fasesprong Δ tussen gereflecteerde en invallende golf aan het materiaaloppervlak voor normale geluidinval en de golfweerstand p_c voor geluidabsorberende materialen ($z_0 = r_0 + jx_0$).

Kosten is zich in dit verband ook gaan interesseren voor de verende poreuze materialen, al of niet met een poreus oppervlak. Hij was rondom 1940 een aantal jaren werkzaam bij de Rubberstichting en rubberen poreuze lagen hadden daar de belangstelling van dit Instituut. Een voorbeeld van een dergelijk verend materiaal is een sponsrubberen laagje, afgedekt met een zeer licht - niet poreus - oppervlaktehuidje. Deze materialen hadden nog geen toepassing van betekenis in de praktijk gegeven, maar gezien hun afwasbaarheid en verfbaarheid zouden ze alleszins de belangstelling waard kunnen zijn. Wij hebben hier te maken met twee verschillende, trillende media (de lucht en het verend skelet) in tegenstelling tot de normale poreuze materialen.

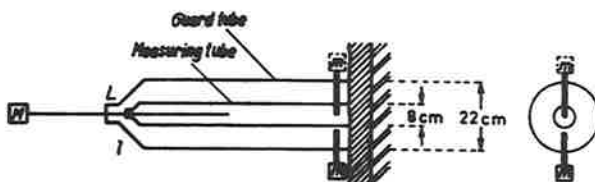
Kosten heeft deze theorieën doorgetrokken naar de resonatorabsorbers. Veel werk is in Delft verzet op het gebied van de niet-geperforeerde panelen op luchtlag en de geperforeerde panelen met daarachter absorberend materiaal. Met deze constructies kan in een vrij smal frequentiegebied een absorptie van 100% worden verkregen.

De Delftse school heeft deze verschijnselen uitvoerig bestudeerd en daarover in de literatuur enige klassieke artikelen gepubliceerd in het tijdschrift *Physica* (1941/1942). Het hoofdstuk "Behaviour of Absorbing Materials" in het boek *Technical Aspects of Sound* (Ed. E.G. Richardson) (1953) geeft een compleet overzicht van de Delftse theoretische en experimentele resultaten op dit gebied.

Interferometer

Het meten van de absorptiecoëfficiënt of de akoestische impedantie met behulp van een interferometer was een vak apart. In Delft werd veel aandacht besteed aan de bouw en de instrumentatie rondom de interferometer.

Wie ooit gewerkt heeft met een interferometer kent diens beperkingen. De inklemming van het monster was zeer kritisch en had veel invloed op het meetresultaat. Bovendien was het monster te klein om alle fysische parameters in de meetopstelling te verwerken. Dit was het gevolg van het feit dat de diameter van de buis niet groter mocht zijn dan ongeveer 0,4 maal de golflengte. Dat betekende dat de methode dus beperkt was tot monsters van zeer kleine afmetingen en dat er bovendien alleen gemeten kon worden bij loodrechte inval. Wel is getracht door middel van een schutringmethode in situ te meten met grotere monsters. Kosten heeft op het eerste ICA-congres daarover gerapporteerd. Ook is in Delft geëxperimenteerd met staande golven in scheve aanstraalrichting om de



Principe van de schutring-interferometer. Hiermee kon men de geluidabsorptie bij loodrechte inval meten zonder tot monsternamen van het te onderzoeken materiaal over te gaan.

randeffect te beperken. Dit randeffect bleef lange tijd toch iets geheimzinnigs houden. De geluidabsorptiecoëfficiënt bleek afhankelijk te zijn van de afmetingen van het monster. De oorzaak van dit effect is gelegen in de buigingsverschijnselen van het geluid, die in de nabijheid van het monster optreden en die een additionele geluidabsorptie tot gevolg hebben. Kosten en T. ten Wolde konden uit de metingen aantonen dat de additionele absorptie afkomstig was van een werkelijk randeffect en dat het geen oppervlakte-effect was. Bovendien veronderstelde men dat het iets te maken zou hebben met het effect van de absorberende zijkant en men onderschatte het werkelijke diffractie-effect. A. de Bruijn heeft theoretisch aangetoond in zijn proefschrift dat binnen de meetcondities sprake was van een werkelijk randeffect.

Het werk van de Delftse groep heeft geleid tot de norm ISO R 354 (Nederlandse norm NEN 20-354).

In dit verband moet nog vermeld worden Kosten's elegante afleiding van de gemiddelde vrije weglengte in een ruimte (dit is $4 \times$ het quotiënt van het volume en de totale wandoppervlakte van de ruimte).

Toepassing van geluidabsorberende materialen

Het bepalen van de absorptiecoëfficiënt in een nagalmkamer of met behulp van een interferometer, was natuurlijk niet het einddoel: het moest worden toegepast in de praktijk.

Het toepassen van geluidabsorberende materialen was in de na-oorlogse jaren zeker geen usance. Kosten en Zwikker schreven in 1949 hun beroemde boek met de theoretische achtergronden. Er werd wel veel gemeten, maar zoals P.A. de Lange in een NAG-publikatie stelt, was er in feite niets anders op de markt dan het vanouds bekende Acousti-Celotex. Dit was een zachtboard materiaal, dat werd gebruikt als basismateriaal voor diverse typen geluidabsorberende materialen. De firma Treetex ging produkten ontwikkelen op basis van geperforeerde zachtboard platen, ingezaagd of ingeboord. Ook geperforeerde hardboard platen met daarachter in een doosje opgesloten glaswolvulling, werden op de markt gebracht. Eveneens een bekend materiaal uit die tijd was kramfors (later kramforac geheten), een Zweeds materiaal met zeer goede geluidabsorptie en ook houtwolcementplaten werden veel toegepast.

De Lange herinnert zich uit de begintijd van de absorberende materialen dat W. Tak, destijds bekend akoesticus bij Philips, dit materiaal veel toepaste en dat men hem dan ook wel schertsend "Baron Kramfors" noemde.

Later kwamen de latten met spleten, de zgn. spleetresonatoren, in zwang. Tot op de dag van vandaag ziet men deze constructies gebruikt worden, veelal echter zonder begrip van de akoestische achtergronden. Tegenwoordig worden de produkten op glaswol- of steenwolbasis veelvuldig gebruikt, voornamelijk als vulling in spouwen, of verwerkt in zwevende vloeren of achter geperforeerde panelen. De conventionele absorberende plafonds met geluidabsorberende platen worden momenteel vaak vervangen door systeemplafonds.

De absorberende materialen hebben veel toepassingen in allerlei verband. Een opvallend voorbeeld hiervan is het gebruik ervan in de Velser tunnel. Metingen hadden n.l. aangetoond dat de nagalmtijd van de Maastunnel (Rotterdam, 1941) zeer hoge waarden vertoont en bovendien dat het geluiddrukniveau nauwelijks afneemt met toenemende afstand tot een geluidbron. Geluidabsorberend materiaal zou wellicht uitkomst kunnen brengen in de nieuw te bouwen Velsertunnel. Aan het toe te passen materiaal moesten zowel bijzondere akoestische eisen worden gesteld (aanpassing aan het spectrum van het verkeerslawaaï), als eisen ten aanzien van het schoonhouden en tegengaan van brand. Gekozen werd voor een geperforeerde plaat: 1 mm aluminium, 20% perforatie, een relatief dikke folie van polytheen van 50 μm en 50 mm steenwol van 50 kg/m³ erachter. Deze combinatie, met een absorptiepiek bij 400 Hz, paste wonderwel bij het spectrum van het verkeerslawaaï.

In NAG-publikatie nr. 3 geeft de reeds genoemde W. Tak een overzicht van het toepassen van geluidabsorberende materialen in allerlei zalen en situaties. Hij geeft waarschijnlijk voorbeelden uit zijn eigen adviespraktijk. Hij behandelt in dit artikel een aantal typische gevallen waarin het materiaal zeer vernuftig is toegepast, o.a. het Politiebureau in Den Haag, de Aula Magna in Caracas (Venezuela) en Hotel de Cocagne in Eindhoven.

Een voorbeeld is de plafondafwerking van de grote feestzaal in dit hotel. Met behulp van betrekkelijk grote meubelplaten was een soort vlechtwerk gevormd, waardoor een gebroken plafondoppervlak met vele prisma's ontstond. Achter het vlechtwerk was een dikke laag zacht poreus materiaal aangebracht. Speciaal in het hoge frequentiegebied ontstond aan het gebroken oppervlak een bijzonder goede diffusiteit, terwijl de absorberende werking voor dit gebied betrekkelijk gering was. De grote, holle ruimte achter het vlechtwerk, toegankelijk door openingen van allerlei vorm, had speciaal in het lage frequentiegebied een goede absorberende werking.

Het is te betreuren dat de kennis en werkwijze betreffende absorberende materialen sterk is afgenomen bij de huidige generatie van akoestici. Adviezen op dit gebied zijn wat buiten de belangstelling komen te staan.

De Doelen

Dit brengt ons naar een belangrijke topic waar veel akoestici zich mee bezig gehouden hebben, n.l. de ruimte-akoestiek en met name de voorspelling van de nagalmtijd in publiekszalen. Er zijn in de na-oorlogse jaren vrij veel zalen gebouwd, verbouwd en geadviseerd. Wij denken bijv. aan het Casino te Den Bosch (Peutz), De Doelen te Rotterdam (Kosten/De Lange), De Harmonie te Leeuwarden (Van Dorsser), het Circustheater te Scheveningen (De Lange), de Oosterpoort te Groningen (De Lange/Booy) en het Muziekcentrum Vredenburg te Utrecht (De Lange/Booy).

Eén van de eerste grote concertzalen die na de oorlog werd gebouwd was De Doelen in Rotterdam. Kosten werd tezamen met De Lange uitgenodigd om de akoestiek te verzorgen. In NAG-publikatie nr. 9 is door Kosten uitvoerig beschreven hoe dit in zijn werk is gegaan.

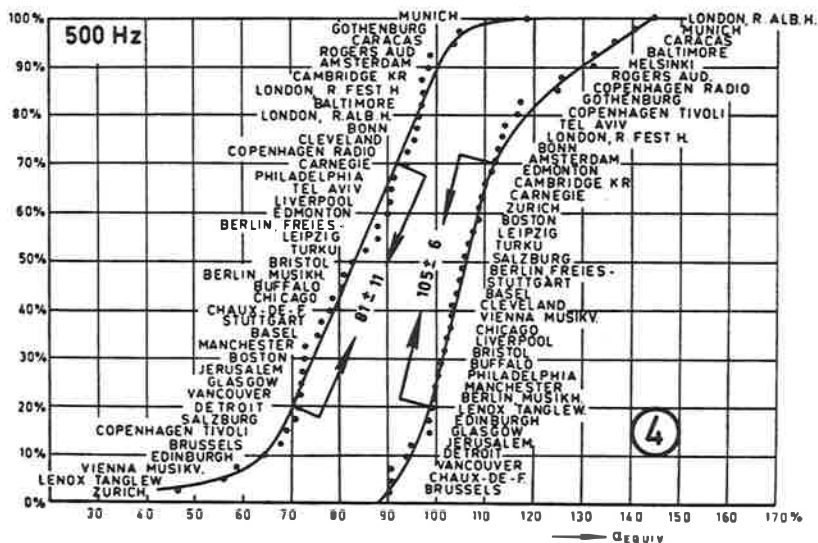
Kosten was geïnteresseerd in het voorspellen van de nagalmtijd uit de bouwteke-

ningen van het voorlopige ontwerp. De opdracht van de architecten was een nagalmtijd van ca. 2 à 2,2 sec. bij 500 en 1000 Hz te creëren.

De voorzichtigheid gebod de nagalmtijd wat lang te kiezen in verband met recente ervaringen opgedaan in de Royal Festival Hall te Londen. Dit is n.l. een klassiek voorbeeld van hoe de voorspelde nagalmtijd veel te hoog was uitgevallen voor het "lage register". Bovendien kunnen lange nagalmtijden nog wel gecorrigeerd worden door middel van het aanbrengen van additioneel absorptiemateriaal.

Maar, zoals Kosten het stelde, er was een heilige schrik voor zo'n tegenvaller als in Londen. "Ons heeft één en ander geprikkeld tot vrij veel speurwerk, overigens met een hoogst merkwaardig en simpel resultaat".

Net op tijd verscheen Beranek's "Music, Acoustics and Architecture", waarin 40 zalen uitvoerig beschreven stonden. Uit dit boek bleek dat de beste zalen een nagalmtijd van 1,8 tot 2 sec. hadden (Musikvereinsaal in Wenen en Symphony Hall in Boston). Kosten wilde een nagalmtijd van 2 seconde bereiken met een vlak verloop naar de lage frequenties toe en een minimale afloop bij hoge frequenties. Hij heeft een originele methode ontwikkeld om de nagalmtijd uit de bouwtekening te kunnen voorspellen. Hij kon op grond van empirische gegevens aantonen dat de absorptie van het oppervlak, dat bezeten is door publiek, in een gemiddelde zaal maatgevend is voor de nagalmtijd. De enige voorwaarde waaraan voldaan



Het percentage van concertzalen dat een equivalente absorptiecoëfficiënt kleiner dan een gegeven waarde (x-as) heeft bij een frequentie van 500 Hz. De rechter kromme geeft het resultaat weer voor bezette zalen, de linker de lege zalen. Kosten berekende deze krommen uit de gegevens van Beranek's boek over de akoestiek van concertzalen en gebruikte deze resultaten voor het akoestisch advies van de Doelen te Rotterdam.

moet zijn om de nagalm met deze methode te kunnen voorspellen is dat "normaal hard" wordt gebouwd, dat wil zeggen dat gordijnen, tapijten, dunne houten panelen en andere gewilde absorptievlakken niet of nauwelijks mogen voorkomen. Kosten kon uit het materiaal van Beranek deduceren dat bij 500 Hz de equivalente absorptie-coëfficiënt van het bezeten oppervlak $105 + 6\%$ en bij 1000 Hz $109 + 7\%$ bedroeg (dus groter dan 100%). Zo kon hij voor het ontwerp van De Doelen met een bezeten oppervlak van 1867 m^2 berekenen, dat de grote zaal een volume moest krijgen van 27000 m^3 . Bij lage frequenties moesten extra voorzieningen worden getroffen om de absorptie te vergroten. Dit kon worden verwezenlijkt door houten paneelconstructies met een resonantiefrequentie van 63 Hz of lager op de zijwanden aan te brengen. De zaalvorm werd zo gekozen, dat er rekening werd gehouden met de zichtlijnen en met de voorwaarde dat het publiek vrij dicht bij het podium geplaatst moest kunnen worden. Van deze zaal is een schaalmodel (schaal 1:10) vervaardigd teneinde meer inzicht te verkrijgen over de te verwachten diffusiteit. Het is waarschijnlijk de eerste concertzaal ter wereld, waarin doelbewust diffuserende elementen op de zijwanden zijn aangebracht. De reflectoren boven de orkestbak zijn ook een resultaat van modelonderzoek. Tot tevredenheid van het orkest kon men vaststellen dat het samenspel buitengewoon bevorderd werd doordat de orkestleden elkaar goed konden horen vanwege de doelmatige reflecties. Later heeft men helaas de reflectoren verwijderd in verband met de microfoonopstelling bij grammofoonopnamen, overigens zonder voorkennis van de akoestisch adviseurs.



Schaalmodel 1:10 van de Grote Zaal van de Doelen te Rotterdam.



Interieur van de Grote Zaal van de Doelen te Rotterdam ten tijde van de opening in 1966.

Het ontwerp van deze zaal heeft veel gedaan om het vertrouwen in de akoestici weer te herstellen. Daarvoor waren er nogal wat mislukkingen, bijv. de reeds genoemde Royal Festival Hall met zijn korte nagalmtijd in de lage frequenties en later de Lincolnzaal in New York.

Kosten heeft dus voor de vuurproef gestaan om te bewijzen dat de akoestiek van concertzalen geen mystiek was. Het kon wel degelijk bepaald worden uit een vastomlijnd plan met goede zichtlijnen, diffusiteit, nagalm en laterale reflecties; kortom: een vast technisch wetenschappelijk programma. Deze kennis is later weer gebruikt om een aantal goede zalen te ontwerpen in andere steden in Nederland. Wij noemen hier De Oosterpoort te Groningen en het Muziekcentrum Vredenburg te Utrecht.

Ander zaalakoestisch werk

De laatste concertzaal was een vuurproef voor De Lange en L.G. Booy, aangezien de architect H. Hertzberger wilde dat het publiek rondom het podium gegroepeerd zou worden. Vanuit zaalakoestisch standpunt was tegen een dergelijke groepering veel bezwaar te maken. De vraag was nu of het mogelijk was om de gewenste laterale reflecties te realiseren en of het galmgedrag adequaat zou zijn. Daartoe was een schaalmodel (1:20) vervaardigd waarmee akoestische proeven zijn uitgevoerd, met name het opnemen van reflectogrammen en het bepalen van het galmgedrag. Uit de reflectogrammen bleek het belang van kaatsers boven het podium. Vooral de zgn. "early decay time" (dit is de tijd voor de niveaudaling van de eerste 10 dB en geëxtrapoleerd naar 60 dB) bleek aanzienlijk gunstiger met podiumkaatsers. Er was eveneens de noodzaak een flink volume voor de zaal te

verlangen, aangezien reflecterende zijwanden en achterwand ontbraken; "overall" zag men publiek. De nodige laterale reflecties werden gerealiseerd door het aanbrengen van "keermuren" tussen de publiekstrubunes.

Een interessante opgave in de zaalakoestiek is de "variabele" akoestiek. Voor middelgrote zalen is de vraag daarnaar actueel. Schouwburgen moeten soms ook kunnen dienen als concertzaal. Hiertoe kan een variatie in de akoestische eigenschappen noodzakelijk zijn. Het Casino in Den Bosch is er een voorbeeld van hoe een concertzaal door middel van het aanbrengen van optrekbare gordijnen en een klankkaatser boven het podium, waarvan de stand gewijzigd kan worden, gebruikt kan worden als concert- en toneelzaal (akoestisch adviseur: V.M.A. Peutz).

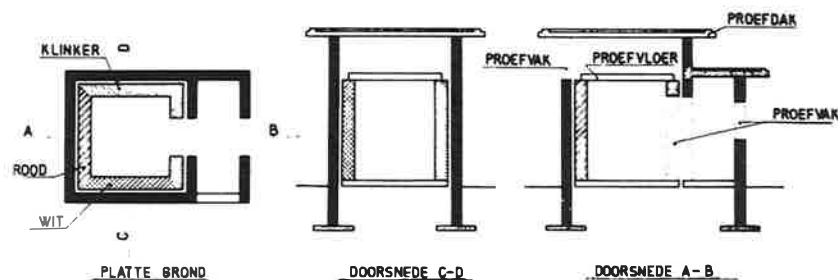
Een recent project in dit opzicht is het "Institut de Recherche et Coördination Acoustique/Musique" (IRCAM), de Espace de Projection, in Parijs. Hier gebruikte men een andere mogelijkheid om de akoestiek te variëren, n.l. elementen van wanden en plafonds, die ieder voorzien zijn van een drietal draaibare prisma's. Ieder prisma is voorzien van een vlakke reflecterende zijde, een harde enigszins ingevouwde en daardoor diffuus reflecterende zijde en tenslotte een absorberende zijde. De prisma's kunnen zo gedraaid worden dat harde reflecterende vlakken, resp. absorberende vlakken verkregen kunnen worden. Zo is binnen zeer ruime grenzen variabele akoestiek mogelijk.

Ten aanzien van modelonderzoek in de zaalakoestiek kan nog worden gememooreerd dat voor de Tweede Wereldoorlog Zwikker en R. Vermeulen bij Philips veel experimenteerden met de golfbak en met optische modellen. Later heeft Geluk veel modelonderzoek verricht betreffende de akoestiek van een concert-studio in Hilversum.

Bouwakoestiek

A.V.R.O.-studio

Eén van de eerste grote projecten die de Geluidstichting adviseerde was, de bouw van de nieuwe A.V.R.O.-studio. Zwikker heeft zich intensief beziggehouden met dit project; men leze zijn artikel in de Ingenieur van 1937: "Grepën uit de acoustische verzorging van de A.V.R.O.-studio". Bij de bouw stond vast dat de akoestisch gevoelige ruimten afzonderlijk zouden worden gefundeerd en ook – voor zover mogelijk – in het inwendige gebouw los zouden komen te staan van de rest van het gebouw. Er zou, als het enigszins kon, geen contact mogen bestaan tussen de gevoelige en de ongevoelige ruimten. Belangrijke punten waaraan men dus aandacht moest besteden, waren het ventilatiesysteem – want dit was een koppeling tussen de gevoelige en de ongevoelige ruimten –, de deuren en vooral ook de fundering. Ten aanzien van de ventilatie werd door Zwikker en Kosten de geluiddemping van suskasten berekend met een nieuwe methode. De fundering was echter een zwak punt, aangezien de gevoelige en de ongevoelige bouw beide op dezelfde aarde gefundeerd moesten worden. En de vraag deed zich voor aan welke akoestische eisen een dergelijke fundering zou moeten



Het akoestisch proefgebouw, zoals dit in 1933 werd gebouwd op het terrein van de Technische Hogeschool te Delft ter bestudering van de akoestische voorzieningen van de A.V.R.O.-studio.

voldoen. Meer concreet geformuleerd: wat is de aan te houden afstand tussen de beide funderingen en wat moest men als isolatiemateriaal gebruiken rondom of onder deze funderingen. De directie van de A.V.R.O. stelde gelden ter beschikking waarmee op het terrein van de Technische Hogeschool een proefgebouwtje kon worden neergezet. In dit proefgebouwtje, waarvoor de eerste spade op 25 augustus 1933 de grond in ging, zijn allerlei wijzen van funderingen gemeten. De klei werd tot op 1 m onder het maaiveld weggegraven en de put gevuld met scherp rivierzand en daarna ingewaterd. Hiermee was de Hilversumse bodem nagebootst. Hierop werd een rondgaande betonfundering van 1 m breed gelegd, die uit enige van elkaar gescheiden stukken bestond, zodat diverse isolatiemethoden gelijk konden worden uitgevoerd ter onderlinge vergelijking.

De isolatie werd bepaald met als bron een hamer, die door middel van een nokkenschijf met de hand werd bediend. Eén van de eindconclusies was dat als de studio gebouwd zou worden als een doos-in-doos constructie, er tussen de funderingen een afstand van 0,60 m in droog zand moest zijn om van een werkelijke isolatie te kunnen spreken. Aldus werd gekozen voor een dubbele bouwwijze, maar het resultaat hiervan was dat de spouwruimten in de gehele A.V.R.O.-studio met elkaar in verbinding stonden. Dat gaf na beëindiging van de bouw een allerwonderlijkst en weinig vertrouwenwekkend effect. Immers, men kon elkaar beroepen van het ene eind van het gebouw naar het andere en van het dak naar de kelder. Dat kon evenwel geen kwaad indien alle gevoelige ruimten maar door voldoende dikke muren van de tussenruimten gescheiden waren. Het reeds genoemde proefgebouwtje werd ook na de bouw van de A.V.R.O.-studio nog benut voor het meten van de luchtgeluidisolatie van muren. Zo heeft het o.a. ook een belangrijke rol gespeeld bij de akoestische adviezen van de Technisch Fysische Dienst (o.a. keuringen van alarmsirenes) en van de Geluidscommissie TNO, zelfs na de oorlog.

Kistenmethode

De laboratoriummethode in Delft om de geluidisolatie van wanden en vloeren vast te stellen was tot de Tweede Wereldoorlog de zogenaamde "kistenmethode". Van de te meten vloer- en plafondconstructies werd een monster van ca. 1 m² oppervlakte uitgevoerd. Tegen dit monster werden aan weerskanten twee akoestisch zeer goed isolerende kisten geklemd; enerzijds een "zendkist", bevattende een luidspreker; anderzijds een "ontvangkist", waarin de microfoon van een geluidniveaumeter was geplaatst. (Het fabrikaat was General Radio; in de laatste oorlogswinter gestolen en na de oorlog vervangen door een van Smit Slikkerveer geleend exemplaar). De kisten sloten met viltranden zo goed tegen het monster aan, dat men kon verwachten dat het geluid slechts via dit monster van zendkist naar ontvangkist kon komen en niet buitenom. Door middel van een toongenerator plus versterker liet men nu de luidspreker tonen horen van 200 tot 2000 Hz, opklimmende met sprongen van 200 Hz; soms werden ook wobbeltönen gebruikt. Meting van het geluidsniveau bij de verschillende frequenties, respectievelijk in zend- en ontvangkist, gaf dan de luchtgeluidisolatie bij die frequenties. Contactgeluid werd opgewekt met een rawplughamer (fabrikaat: Rawlplug. Mech. Hammer, British Patent no. 338884; F4976). Aan de onderzijde van de kernvloer, recht onder het tikpunt, werd de ontvangkist met de microfoon opgesteld en men mat vervolgens het geluidsniveau in deze kist, waarbij men met een roffel tikte op het midden van de vloer zonder verdere deklagen. De aldus verkregen uitkomsten werden vergeleken met de geluidsniveaus welke men vond wanneer men bovenop de vloer wel verschillende afdekklagen had aangebracht, zodat het daarna mogelijk was voor verschillende constructies de verbetering in isolatie t.o.v. de kernvloer te bepalen. Hierbij werd als kernvloer aangehouden voor stenen vloeren: een onafgewerkte plaatvloer van 10 cm gewapend beton en voor vloeren met draagbalken: de normale hollandsse vloerconstructie (voor snelle montage vereenvoudigd tot duimsdelen, houten balken en plafonds van houtvezelplaat). Men had al spoedig in de gaten dat metingen aan de geluidisolatie in echte praktijksituaties nodig waren om werkelijk greep op de zaak te krijgen, want de metingen volgens de "kistenmethode" waren toch eigenlijk zeer onbetrouwbaar.

De methode was veel te simplistisch; bovendien realiseerde men zich destijds niet hoe groot de golflengten van het geluid blijkbaar zijn en welke gecompliceerde mechanische trillingsvormen van de wand bij geluidsoverdracht in het spel zijn.

Ter bestudering daarvan heeft de Geluidsc commissie TNO in de loop van 1948 een meetgebouwtje op de zolder van het Laboratorium van Technische Physica neergezet. Dit bestond uit vier vertrekken, waartussen verschillende typen vloeren en muren konden worden aangebracht. De metingen in dit laboratorium benaderden op deze wijze beter de praktijk. Echter door het opzetten van een complex "proefwoningen" zou men de praktijksituaties nog beter kunnen onderzoeken. Over het meten van de geluidisolatie en andere akoestische meetmethoden is vlak na de oorlog een verhelderend boekje uitgegeven als publikatie nr. 47 van de Geluidstichting. Het was samengesteld door de Geluidsc commissie TNO



Uitvoeren van contactgeluidmetingen door J.P. van Wisselingh en L.M.C. Touw.

en was getiteld: "Meetmethoden op het gebied van de akoestiek". Het geeft een overzicht van de gangbare meetpraktijk in de akoestiek, zoals die in "Delft" werd bedreven in de veertiger jaren. Een andere belangrijke uitgave was Publicatie no. 1 van de Stichting Ratiobouw (1945) "Geluidsisolatie in woningen". Dit boekje was ook voorbereid in de oorlog en bevatte aanbevelingen voor de praktijk en eisen voor de lucht- en contactgeluidisolatie. En dan te bedenken dat het nog tot 1 januari 1966 moest duren, voordat de eerste definitieve norm op dit gebied (NEN 1070, 1962) door de overheid van kracht werd verklaard.

Reeds in 1937 werd de "zwevende dekvloer" in een publikatie van de Geluidstichting genoemd als middel om de contactgeluidisolatie van steenachtige vloeren te verbeteren. In 1942 verrichtte de TPD metingen aan deze vloeren op de eigen proefvloer en in woningen te Geleen, want contact hierover met Duitsland, dat de bakermat van deze constructie heet te zijn, was er niet.

Proefwoningen

De Geluidstichting beschouwde in de jaren 1938 t/m 1942 het opzetten van een complex proefwoningen als één van haar belangrijkste initiatieven. Zwicker heeft herhaaldelijk gepleit voor verbetering van de ernstige gebreken die de toenmalige woningbouw vertoonde. Er was in die dagen weinig vooruitgang in de geluidisolatie, ofschoon er wel veel contact was met allerlei autoriteiten en architecten.

Er was zelfs een Bouwakoestische commissie binnen de Geluidstichting, maar deze boekte weinig tastbare resultaten. Particuliere bouwondernemers hadden op bescheiden schaal enige proeven genomen in samenwerking met de Geluidstichting, waarvan de resultaten in enkele gevallen zijn gepubliceerd en die de nodige aandacht hebben getrokken.

Het initiatief tot dit proefwoningen-plan was in eerste instantie afkomstig van de architectengroepen "De 8" en "Opbouw". De architect B. Merkelbach is wel te beschouwen als de ziel van het plan. De beide genoemde architectengroepen hadden zich tezamen met de Warmtestichting en de Geluidstichting gewend tot TNO met het verzoek gelden vrij te maken om de bouw van enige proefwoningen mogelijk te maken. Dit verzoek werd reeds gedaan in september 1939. De Nijverheidsorganisatie TNO reageerde hier gunstig op door gelden toe te staan nodig voor de voorbereiding van het plan. De voorbereiding was in handen gegeven van het Centraal Instituut voor Materiaalonderzoek (CIMO) waarvan Tegelberg de voorzitter was, die bovendien in het bestuur van de Geluidstichting zitting had. Tegelberg wilde ook onderzoek verrichten in bouwtechnische problemen naast de bouwfysische aspecten. Het CIMO riep een commissie van 33 leden in het leven onder voorzitterschap van de directeur van CIMO, C.A. Lobry de Bruyn. Die commissie was echter te groot om effectief te kunnen werken. Daarom kwamen er kleine werkcommissies, die de plannen verder konden uitwerken, zoals: een bouwkundigen-commissie, een warmte-isolatiecommissie, een centrale verwarmingscommissie en natuurlijk ook een commissie geluidisolatie, waarvan Zwikker de voorzitter was. De Tweede Wereldoorlog heeft al deze



Vooraanzicht van de proefwoningen TNO aan de Fazantstraat te Rotterdam.

plannen doorkruist. Oorspronkelijk zouden er 96 woningen worden gebouwd in vier verdiepingen. Voor de bouw was gekozen de gemeente Amsterdam in de uitbreiding Bos en Lommer bij de Haarlemseweg. Na de oorlog verrees het plan in een bescheidener vorm en wel in Rotterdam. Er werden slechts 48 woningen gebouwd, in drie verdiepingen, waarvan de voltooiing in 1948 een feit was. Het onderzoek kon toen aanvangen: het bepalen van de lucht- en contactgeluidisolatie van 42 verschillende vloerconstructies en 35 verschillende bouwmuurconstructies. De oriënterende, akoestische metingen moesten in niet-bewoonde huizen worden uitgevoerd. Dit kostte een jaar. De leegstand van zoveel woningen in een tijd van nijpende woningnood wekte wel wat verzet!

Voorts werden gemeten: de effecten van vloerbedekkingen op de contactgeluidisolatie; de geluiddemping in verschillende wijzen van aanleg van waterleidingen; de isolatie van verschillende enkele en dubbele ramen en de effecten van de bekleding van trappehuizen met diverse typen van geluidabsorberend materiaal. De geluidisolatie werd vastgelegd door middel van een nieuwe methode. De zogenaamde "kistenmethode" werd slechts zijdelings in het laboratorium toegepast met wat proefstukken. Ook het gebruik van de autoclaxon, die men vroeger gebruikte voor geluidisolatiemetingen, bleek totaal onvoldoende. Er werden nu twee luidsprekers opgesteld die ruis afgaven waar alle toonhoogten van hoog tot laag in voorkwamen. Verder gebruikte men octaafbandfilters om het verloop van de geluidisolatie als functie van de frequentie te kunnen vaststellen. Bij de oude methode – met behulp van de claxon – werd geen frequentieanalyse toegepast, met alle kwalijke gevolgen van dien: zoals veel te optimistische meetresultaten voor de geluidisolatie. Met het gebruik van filters bij geluidisolatiemetingen was men reeds in de oorlogsjaren gaan experimenteren. Men had toen tegen inlevering van een kilo ijzer een octaafbandfilter – fabrikaat Siemens – verkregen. Jammer genoeg werd in het laatste oorlogsjaar dit instrument weer naar het land van oorsprong "teruggebracht". Na de oorlog bouwde G.J. (Kleinhoonte) van Os, naar een origineel van de PTT, zelf een octaafbandfilter met de toen nog niet genormaliseerde octaafbanden 100-200 Hz, 200-400 Hz, 400-800 Hz enz. Onder supervisie van J. van den Eijk en M.L. Kasteleijn (Afdeling Gezondheidstechniek TNO) werden de metingen verricht door J.P. van Wisselingh (TPD) en L.H.J. Willigers (AG-TNO). In totaal waren er dus 48 woningen gebouwd, waarbij in horizontale richting aan elkaar grenzende woningen om en om drie en vier kamers bevatten. De bouwmuuren, die alle aan weerszijden afgewerkt waren met één cm dikke pleisterlaag en normaal behangen waren, konden onderscheiden worden in grote en kleine muren. Er waren drie hoofdgroepen:

- A. massieve muren van al dan niet poreus materiaal
- B. spouwmuren van al dan niet poreus materiaal
- C. gevulde spouwmuren

Als methode voor het evalueren van een muur werd een vergelijkingsmethode gekozen, n.l. de 1-steensmuur van rode baksteen van ca. 360 kg per m². Ook werden contactgeluidmetingen verricht waarvoor door het AG-TNO een contactgeluidgenerator werd ontwikkeld die ook tegen een muur of op een traprede geplaatst kon worden. Een belangrijke uitkomst van deze metingen aan een wat meer traditionele bouwconstructie was dat – in tegenstelling tot veler verwachting –



Meetbus zoals die door TNO werd gebruikt voor geluidmetingen rond 1950.

gen – de geluidisolatie slechts binnen betrekkelijk nauwe grenzen varieerde, hoewel er grote verschillen in bouwconstructies waren. Verder viel op dat de spreiding tussen de uitkomsten van isolatiemetingen aan een aantal exemplaren van eenzelfde type muur groter en soms aanmerkelijk groter was dan de meet-onnauwkeurigheid; er waren spreidingen van 6 dB gevonden bij de 28 cm kalkzandsteenmuur. Een andere conclusie was dat de spouwmuren met spouwankers (5 à 6 cm spouw) bij het uitvoeren zoals in de proefwoningen zeker niet beter waren dan massieve muren met overeenkomstig gewicht.

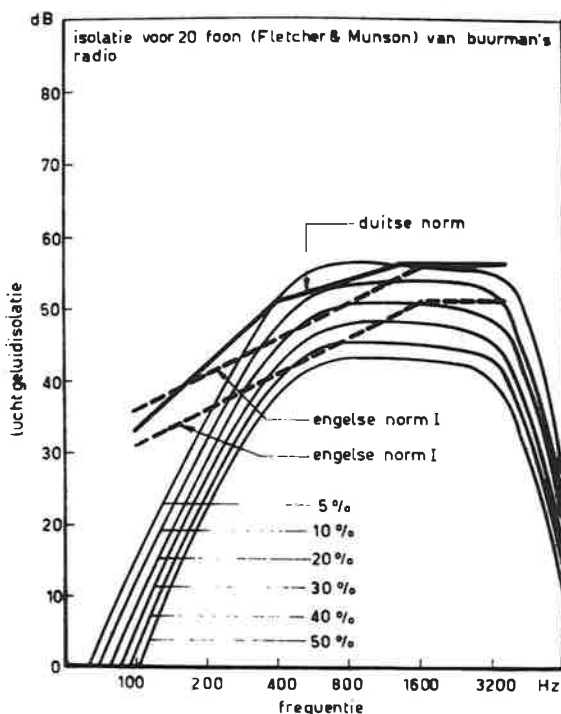
Geluidwering in woningen

Dit onderzoek heeft de basis gelegd voor normontwerp V-1070, later omgezet in de norm NEN 1070 (1962) die in 1976 weer gereviseerd is. W.P. van Leening, bekend akoesticus uit die dagen, heeft in een publikatie van de Geluidstichting de achtergronden van V-1070 geschetst. Opvallend in deze norm was de introductie van prestatienummers. Deze karakteriseerden de geluidweringseigenschappen van de verschillende constructies, in die zin dat een hoger prestatienummer duidde op een betere geluidwering zonder de pretentie deze verbetering evenredig of zelfs maar kwantitatief weer te geven. Men wilde het begrip decibel vermijden ten gerieve van al degenen die zich in deze akoestische problematiek niet al te zeer wilden verdiepen. Bij het stellen van de eisen voor de scheidingsconstructies werd ook rekening gehouden met de bestemming van de aan weerszijden gelegen vertrekken. Opvallend was ook dat de kwaliteitsklasse

"matig" blijkbaar overeenkwam met traditioneel bouwen. Dit wil zeggen een 1-steensmuur enz. De klasse "goed" was blijkbaar destijds onbereikbaar.

Er was een neiging tot steeds lichter bouwen. Bij deskundigen ontstond ongerustheid over de resulterende geluidisolatie. Een betere geluidisolatie dan bij de traditionele bouw leek niet direkt mogelijk, "maar slechter mocht het zeker niet worden", volgens J.P. Mazure, hoogleraar in de bouwkunde aan de TH-Delft. (Hij was voorzitter van de normcommissie F3 - Geluidisolatie. Andere leden van deze commissie waren o.a. H. van Bremen (Stichting Radiobouw) en voornoemde Van Leening).

Er werd in die dagen dan ook veel geklaagd door de bewoners. C. Bitter van de Afdeling Gezondheidstechniek TNO heeft in de jaren 1951-1952 een enquête gehouden, waarbij de bewoners van ca. 1200 flatwoningen in Den Haag en Rotterdam ondervraagd werden. Van deze ondervraagden had 29% hinder van



"Buurman's radio".

Uit het feitelijk niveau bij buurman en het toelaatbaar niveau in het naastgelegen vertrek komt men tot curven voor de gewenste luchtgeluidisolatie met de aanduiding van 5%, 10%, ... De betekenis van bijvoorbeeld de 10% curve is dat als de luchtgeluidisolatie is als deze, men mag verwachten dat men gedurende 10% van de tijd buurman's radio in de aangegeven octaafbanden met een "sterkte" van 20 foon of meer hoort.

verkeersgeluid en van andere van buitenaf komende geluiden. Nog meer hinder werd echter ondervonden van het lawaai van de burens (82%), "Slechts" 7% van de ondervraagden werd in de slaap gestoord door verkeersgeluid, maar dit was door burengeluid al 13%. Eveneens veel hinder ondervond men van de boven- of benedenburens (58%). 66% van de ondervraagden klaagde over hinder van het gemeenschappelijk trappenhuis. Vandaar dat bij de Proefwoningen TNO ook veel aandacht werd besteed aan de geluidhinder vanuit de trappenhuisen. Men bekleedde daartoe de wanden (boven handbereik overigens) met diverse materialen, Treetex, Kramfors en houtvezelcementplaten. Gevolg van deze methode was dat de bovenste bewoners meer profiteerden van het absorptiemateriaal dan de benedenbewoners die toch al het meeste lawaai ondervonden.

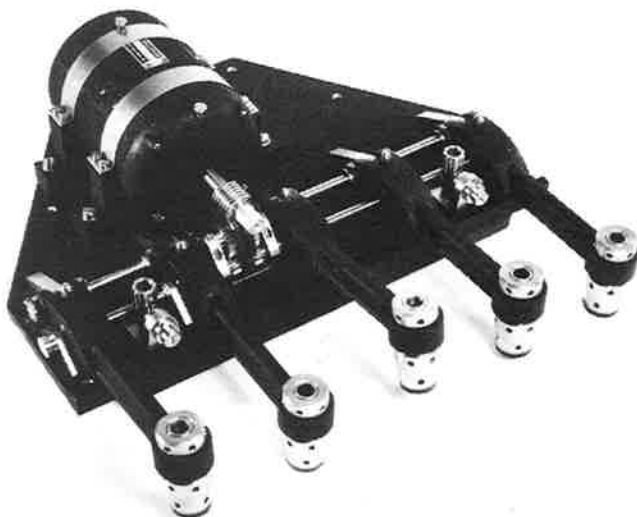
De onderhavige vorm van de normcurve was voor de geluidisolatie niet bevredigend. Zoals reeds vermeld was dit gebaseerd op de 1-steensmuur en die kon worden beschouwd als zijnde "matig".

Van den Eijk vroeg zich terecht af in welke mate dit onvoldoende was en welke geluidisolatie werkelijk nodig was. Hij voerde een onderzoek uit naar het geluidniveau van "buurman's radio" ter toetsing of de gemaakte keuze wel juist was. De hoofdlijnen van het onderzoek waren de volgende: de statistische verdeling van de geluidrukniveaus van radioprogramma's in de octaafbanden van 50 tot 3200 Hz werd bepaald. Men veronderstelde hierbij wel dat de volumeregelaar van een radio zodanig werd ingesteld, dat de geluidrukniveaus van 80 dB zelden werden overschreden. Met behulp van deze statistische verdeling werd vastgesteld welke geluidisolatie nodig was opdat de Fletcher-Munson contouren voor gelijke luidheid voor zuivere tonen van 0, 10, 20 en 30 foon in het ontvangvertrek voor niet meer dan 5, 10, 20% van de tijd zouden worden overschreden. De eindconclusie van dit onderzoek was dat het verloop van de toenmalige Duitse normkromme het beste overeen kwam met de vereiste isolatiekromme. Dit is dan ook de belangrijkste reden voor de keuze van de Duitse normkromme in NEN 1070 (1962) met dien verstande dat de normwaarde over de hele linie 2 dB lager is genomen en dit omdat in de Duitse norm een overschrijding met 2 dB werd geaccepteerd. Deze verlaging had tevens tot gevolg dat de normkromme vrij dicht kwam te liggen bij de isolatiekromme van een 1-steensmuur. In deze norm werd ook duidelijk onderscheid gemaakt tussen de geluidisolatie in de praktijk – van kamer tot kamer dus – en onder laboratoriumomstandigheden.

Contactgeluid

In de norm NEN 1070 (1962) was men over twee zaken niet tevreden: de contactgeluidbeoordeling en de invloed van de flankerende transmissie.

Voor contactgeluid bleek de beoordelingsmethode van NEN 1070 (1962) in veel gevallen niet te voldoen. Sommige vloeren die subjectief voldeden werden volgens de norm slecht beoordeeld. Voor vloerafwerkingen zoals een dunne laag kurk of linoleum e.d. werden grote verbeteringen voorspeld terwijl er subjectief niets veranderde. Daartoe was het nodig NEN 1070 te herzien. Bovendien werd het frequentiegebied uitgebreid naar de octaafband van 125 Hz, omdat er nogal wat klachten over "gedreun" waren. De onderhavige beoordelingsmethode was gebaseerd op metingen met de ISO-hamermachine en op vergelijkingen van de



Contactgeluidgenerator zoals die werd ontwikkeld door TNO.

meetwaarde met bepaalde normwaarde. De fouten van het systeem konden hun oorzaak zowel vinden in de meetmethode als in de normwaarden. Tegen de meetmethode met de hamermachine waren inderdaad reële bezwaren aan te voeren. Als meest representatieve aanstootvorm voor de in woningen voorkomende contactgeluiden, kan het lopen worden beschouwd. De hamermachine produceert echter een geluid dat zowel qua spectrum, als qua niveau weinig met loopgeluid gemeen heeft. Dat behoeft op zich geen bezwaar te zijn. Bij andere meetmethoden komt dat ook voor (bij luchtgeluidisolatiemetingen bijvoorbeeld), zonder dat daardoor fouten worden geïntroduceerd. Het verschil in spectrum tussen loopgeluid en hamermachinegeluid zou gecorrigeerd kunnen worden via de normwaarde. Het verschil in niveau is alleen dan een bezwaar wanneer de aangestoten constructie zich niet-lineair gedraagt, m.a.w. als een bepaalde toename in aanstootkracht op een laag niveau niet een gelijke geluidtoename veroorzaakt als dezelfde toename in aanstootkracht op hoog niveau. Bij vloeren komt dit laatste inderdaad voor wanneer tapijten e.d. zijn toegepast. In de nieuwe norm NEN 1070 (1976) is door een juiste combinatie van de verschillen van drie vloertypen een standaardverschil afgeleid, waarmee de hamermachinespectra kunnen worden herleid tot spectra die bij benadering dezelfde NR-waarde hebben als de overeenkomstige loopgeluidspectra. Dit onderzoek is uitgevoerd door W.A.M. Schwirtz (TPD), in opdracht van de Stichting Bouwresearch.

Flankerende transmissie

De luchtgeluidisolatie tussen twee ruimten wordt niet alleen bepaald door de scheidingsconstructie, maar door de constructie als geheel: de scheidingsconstructie en de flankerende vlakken. De invloed van de geluidoverdracht via de flankerende vlakken is echter zo moeilijk getalsmatig aan te geven, dat over het algemeen de aandacht geheel gericht wordt op de scheidingsconstructie. Vooral door het veelvuldig gebruik van lichte inbouwconstructies in een zwaar ruwbouw-frame wordt het streven naar hogere akoestische isolaties nogal eens problematisch. E. Gerretsen ontwikkelde rond 1970 een rekenmodel voor de directe en flankerende geluidoverdracht tussen vertrekken. Hij voerde hiervoor de verbindingsdemping in; dit is het trillingsniveauverschil bij min of meer starre verbindingen. Deze grootheid is een functie van de massaverhouding van de gekoppelde vlakken en Gerretsen bepaalde uit een groot aantal metingen een empirische formule voor deze verbindingsdemping. In het rekenmodel kunnen alle akoestische grootheden worden bepaald wanneer uit bestek en tekening de oppervlakte, de massa's en de materiaalsoort van elk vlak bekend is.

Mede aan de hand van dit rekenmodel zijn in de NPR 5070 Geluidwering in woongebouwen – voorbeelden van wand- en vloerconstructies afgestemd op NEN 1070 – aanwijzingen gegeven ten aanzien van bouwkundige constructies voor woningen.

In de jaren zeventig is veel onderzoek verricht naar de relatie tussen geluidhinder en geluidisolatie. H. van Bremen, J.N.M. van Rooijen en recent F. de Roo van het Bouwcentrum voerden een onderzoek uit naar de geluidhinder en geluidisolatie binnen de woning. Van oudsher waren de normen gebaseerd op resultaten van onderzoek, waarbij de relatie werd gelegd tussen de geluidisolatie van woningen en de geluidhinder die door de bewoners werd ondervonden. In de jaren zestig hebben de onderzoekers zich vooral gericht op de woningscheidende constructies in flats, terwijl later de aandacht verschoof naar eengezinshuizen. In die periode werd bovendien voor het eerst onderzoek uitgevoerd naar de geluidisolatie en de hinder binnen de eigen (normale eengezins-)woning.

Bij woningen heeft de aandacht voor geluidwering zich lange tijd beperkt tot de geluidisolatie tussen de woningen en, meer recentelijk, ook binnen de woningen. De laatste jaren is echter het beschermen tegen geluid van buiten belangrijker geworden. Daarmee was behoefte ontstaan aan een berekeningsmodel voor de geluidreductie door gevels. In het kader van het programma van de Interdepartementale Commissie Geluidhinder is onderzoek gedaan om te komen tot een dergelijk rekenmodel en om daarvoor de ingangsgegevens te verkrijgen voor wat betreft de geluidreducerende eigenschappen van de in gevels toegepaste materialen en elementen (Gerretsen). Veel aandacht is in dit kader geschonken aan geluidwerende ventilatie-openingen in de gevel. In dit verband kan ook nog het werk van W.A. Oosting gememoreerd worden betreffende de geluidisolerende eigenschappen van enkele en dubbele ruitconstructies.

Geluidbeheersing

Enige historische kanttekeningen

Gezien tegen de achtergrond van de Geluidstichting als Anti-Lawaai-Bond, is het niet verwonderlijk dat in Nederland in de loop van de jaren ruime aandacht aan de lawaai-beheersing is besteed. Trachtte men eerst de mentaliteit te veranderen door middel van anti-lawaai-campagnes (zie blz. 10), al spoedig trachtte men de technische kant te doorgronden. Men concentreerde zich vooral op de gehorigheid van woningen, omdat men meende dat die één van de grootste oorzaken van lawaaihinder was. Het reeds genoemde onderzoek van TNO aan de proefwoningen in Rotterdam was hiervan het resultaat.

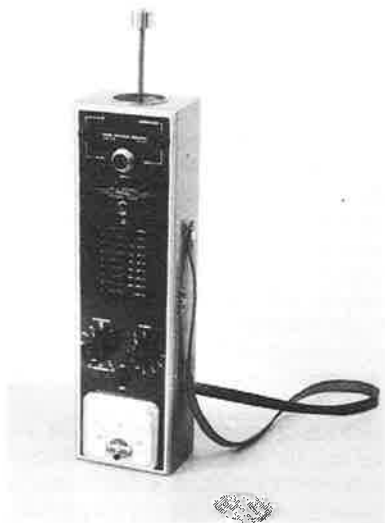
Voor controledoeleinden kregen politiefunctionarissen de beschikking over een zakapparaat, de "Silenta", die pas vanaf 80 dB ging aanwijzen. Deze grens was genoemd in het "Motor- en Rijwielreglement" (1937), zie blz. 13. De Silentameters waren kastjes die een koolmicrofoon, een zaklantaarnbatterijen en een 1 mA draaispoelmeter met gelijkrichter cel bevatten. Het was het resultaat van een afstudeeropdracht van Zwikker. Het apparaat was door de Hoge Raad als rechtsgeldig erkend.

Geluid afkomstig van industriële installaties viel toen reeds onder de Hinderwet. Het veroorzaken van ernstige geluidhinder was verboden. Potentieel-hinderlijke bedrijven dienden een vergunning te bezitten, waarin zo nodig voorwaarden waren opgenomen om de geluidimmissie bij de omwonenden binnen de perken te houden.

Na de Tweede Wereldoorlog kwam de industrialisatie op gang, met als gevolg een vermeerdering van het lawaai rondom industrieterreinen. De toenemende mobiliteit in het verkeer zorgde voor veel hinder langs de verkeersaders. In 1955 werd een "Commissie Geluidbeperking in het Wegverkeer" opgericht, die zich o.a. ging bezighouden met de jongste bron van geluidhinder, de bromfiets. Een beoordelingssysteem werd ontwikkeld en getoetst. Op basis daarvan werd een typekeuringsvoorschrift uitgevaardigd met wettelijk vastgestelde grenswaarden en met de aankondiging dat deze in de toekomst volgens een bepaald schema verlaagd zouden kunnen worden.

Het vak van lawaai-beheersing kreeg in eerste instantie veel impulsen uit het buitenland. Er was in de jaren vijftig nog geen eigen koers in Nederland, hoewel op een aantal terreinen reeds belangwekkend werk werd verricht.

Allereerst was men zeer geïnteresseerd in de invloed van lawaai op de mens. De tweede publikatie van het NAG (1963) was reeds gewijd aan dit thema. Dit is in de loop van de jaren een hoofdthema gebleven. Er was het besef dat er éérst duidelijke grenswaarden moesten worden vastgesteld om het lawaai te beoordelen. De redenering hierbij was, dat wil men de lawaai-bestrijding efficiënt kunnen uitvoeren het toelaatbare geluid duidelijk vastgelegd moest zijn, zodat de maatregelen als "redelijk" konden worden ervaren, door zowel "producent" als "consument". Hiertoe werd onderzoek geëntameerd naar de juiste "dosis"-maten wat betreft manipulatie van geluidsniveaus en frequentieweging. Een goed voorbeeld hiervan is het werk van Kosten en (Klein)hoonte van Os betreffende de Noise-Rating Curves en het onderzoek naar gehoorverlies ten gevolge van expositie



Geluidniveaumeter GRB, naar een TPD-ontwerp, zoals die in de jaren vijftig door de fa. Chr. Peekel op de markt werd gebracht. Peekel genoot bekendheid als producent van diverse akoestische instrumenten, o.a. octaafilters en audiometers.

aan lawaai door mevrouw W. Passchier-Vermeer, in de jaren zestig. In die jaren werd ook de "effect"- of "respons" kant van de lawaai-beoordeling ter hand genomen. Een klassiek project was hierbij het werk van de Advies-Commissie Geluidhinder door Vliegtuigen, de zgn. Commissie-Kosten (1962-1967), waarbij door middel van enquêtering de dosis-effect relatie voor vliegtuiglawaai werd vastgelegd. De onderbouwing van grenswaarden voor de hoogst toelaatbare geluidbelasting van de diverse te onderscheiden geluidgevoelige bestemmingen is uitgevoerd in de jaren zeventig. De beleving en beoordeling van lawaai is o.a. afhankelijk van het type geluidbron. We denken hierbij aan de hinderbeleving van wegverkeers- en railverkeersgeluid in de woonomgeving.

Daarnaast ontwikkelde men in Nederland een eigen filosofie voor de technische kant van de lawaai-beheersing. Consequent hield men vast aan het schema bron, overdracht en ontvanger voor een evenwichtige bepaling van de maatregelen. De meest principiële methode is het aanpakken van de bron, hetgeen de laatste jaren meer in de belangstelling komt te staan onder de motto's "geluidarm construeren" en "stille technologie". De klassieke aanpak (dus isoleren, omkassen en afschermen) heeft ook ruime aandacht gekregen. Vooral betreffende de overdracht in de buitenlucht is van Nederlandse zijde veel onderzoek verricht. Een vakgebied dat in Nederland zeer nauw de lijn van bron, overdracht en ontvanger heeft gevolgd is scheepsakoestiek. Juist in deze ontwikkeling is veel aandacht besteed aan een goede bronbeschrijving en geluidpadidentificatie. Het reciprociteitsbeginsel is hierbij zeer vruchtbaar gebleken.

Deze basisfilosofie is ook terug te vinden in de hoofdlijnen van de Wet Geluidhinder en de activiteiten van de Interdepartementale Commissie Geluidhinder ICG, ingesteld in april 1972.

Als één van de eerste initiatieven die tot het wetsontwerp hebben geleid, noemen we het van 13 november 1968 daterende verzoek van de toenmalige staatssecretaris van Sociale Zaken en Volksgezondheid aan de Gezondheidsraad om advies uit te brengen over de – in het belang van de volksgezondheid – te nemen maatregelen ter vermindering van de lawaaiproduktie en bestrijding van de geluidhinder. Dit advies, dat onder de titel "Geluidhinder" in 1971 gereed kwam, bevatte een aantal adviezen: o.a. het van overheidswege bepalen van de hoogst toelaatbare geluidniveaus van lawaaibronnen, het betrekken van het geluidhinder-aspect bij het ontwikkelen van bestemmingsplannen en streekplannen – door bijvoorbeeld zonering – en last but not least, het tot stand brengen van een algemeen wettelijke regeling tot het voorkomen en bestrijden van geluidhinder.

Om – in afwachting van de totstandkoming van de Wet Geluidhinder – een doelmatige toepassing van de reeds bestaande wettelijke regelingen zoveel mogelijk te bevorderen, heeft in 1973 en 1974 de minister van Volksgezondheid en Milieuhygiëne een circulaire over geluidhinder uitgebracht, met hierin voorlopig te hanteren beleidsnormen voor geluidhinder.

In 1975 werd het Wetsontwerp Geluidhinder ingediend bij de Tweede Kamer der Staten Generaal en in 1978 werd het aanvaard door deze Kamer. In 1972 besloot de regering tot een wijziging van de Luchtvaartwet en de Hinderwet.

De hoofdtak van de ICG was ambtelijke coördinatie van het Rijksbeleid op het gebied van de bestrijding van geluidhinder. Het onderzoek werd door deze commissie gecoördineerd in zeven onderzoeksprogramma's, waarbij de basisfilosofie was de zuivere scheiding van ontvanger, overdracht en bron. Voor Nederlandse begrippen is enorm veel onderzoek uitgevoerd naar allerlei aspecten van de geluidhinderbestrijding, t.w.: wegverkeerslawaaï, railverkeerslawaaï, industrielawaaï, luchtvaartlawaaï, toestellen, woongeluid en bijzondere geluidsonderwerpen. De uit de onderzoeken komende resultaten werden met name benut – naast scholing, voorlichting en gebruik – voor de onderbouwing van de krachtens voornoemde wetten op te stellen regelingen. De coördinatie van deze onderzoeksprogramma's was in handen van de betrokken ICG sub-commissies. De ICG concentreerde zich op de geluidhinder in het woon- en recreatiemilieu. De geluidhinder in de arbeidssituatie, dus ook de slechthorendheid door buitensporig lawaai tijdens de arbeid, kreeg pas recentelijk aandacht in verband met de nieuwe Arbeidsomstandigheden Wet.

In de volgende bladzijden zullen wij een aantal aspecten betreffende de geluidbeheersing nader belichten.

Wij menen dat de ontwikkeling van beoordelingssystemen voor geluidhinder, de meet- en rekenschema's, de geluidoverdracht buiten en met name de scheepsakoestiek, goede illustraties zijn van hoe in Nederland de lawaaibeheersing is aangepakt.

Dosis-effect relaties

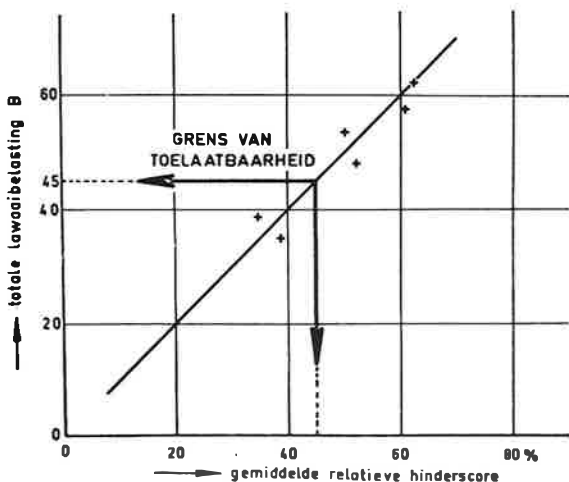
Kosten en (Kleinhoonte) van Os waren lid van werkgroep 8 van ISO-Technical Committee 43, die zich bezig hield met het opstellen van een goed beoordelings-schema (Noise-Rating System) voor geluidhinder. In een bekend artikel dat zij presenteerden bij een Symposium van de "National Physical Laboratory" in 1961, gewijd aan "The control of noise", gaven zij de achtergronden van hun werk op het gebied van het beoordelen van geluid.

Door de maskering die in het gehoor optreedt tussen naburige frequenties en bij hogere niveaus, komt het er meestal op neer dat voor stationair geluid de hinder wordt bepaald door de luidste frequentieband. Het was dus zaak om het spectrum te leren kennen, zodat het akoestisch advies kon aangepast worden op grond van het spectrum.

Dit zou een goede gedachte kunnen zijn, mede in verband met de omstandigheid dat het beoordelingssysteem in de toekomst wel eens gewijzigd zou kunnen worden, zodat het verkregen spectrum later weer informatie kon bieden. Kosten en (Kleinhoonte) van Os gebruikten een stelsel van curven, dat eerder ontworpen was in de Verenigde Staten. Zij breidden deze curven uit naar de lage frequenties en gaven rekenschap van de convergentie van de isofonen naar lagere frequenties toe. Het spectrum werd gemeten in octaaf-banden. Het NR-getal werd gevonden door het gevonden spectrum in te passen in deze schaar van curven en te bepalen welke van de curven nog juist boven het spectrum lag. Het voordeel van deze methode was dat laag-frequent geluid goed werd verdisconteerd in de beoordeling, althans beter dan in het later gebruikte dB(A)-systeem. Binnen de ISO-werkgroep werd nog vastgelegd welke correcties onder diverse omstandigheden nodig waren als bijvoorbeeld een zuivere toon waarneembaar was.

Kosten en (Kleinhoonte) van Os konden door middel van gehouden enquêtes aantonen dat de grenswaarden overeen kwamen met de subjectieve waarnemingen. Het bleek o.a. dat bijvoorbeeld grote afwijkingen van gestelde grenswaarden veel klachten opleverden. Dit artikel is de basis geworden van de bekende norm ISO 1996. In de latere revisies is het dB(A)-systeem naar voren gehaald en is het NR-systeem naar de appendix verdwenen.

Eveneens op deze wijze is door dezelfde onderzoekers het vliegtuiglawaai aan-gepakt. Door de enorme groei van het luchtverkeer was het vliegtuiglawaai rondom luchthavens een probleem geworden. Zoals Kleinhoonte van Os het in een NAG-publikatie stelt, waren in tien jaar tijd (sinds de invoering van het straalvliegtuig in 1958) het aantal vliegtuigbewegingen drie maal zo groot geworden en het geluidniveau van het gemiddelde vliegtuig was ca. 10 dB gestegen. Bovendien was er de groei van de steden naar de luchthavens toe. In 1962 werd een ministeriële adviescommissie "Geluidhinder door vliegtuigen" in het leven geroepen onder voorzitterschap van Kosten. Eerst werd een onderzoek door C. Bitter (TNO) uitgevoerd naar de vraag in hoeverre er sprake was van geluidhinder en hoe deze hinder regionaal was verdeeld rondom de luchthaven Schiphol. Men kreeg hierdoor een kwantitatieve beschrijving van de hinder. Daarna kwam de opgave om de vliegtuiglawaaigegevens te condenseren. Bij deze gegevens werd gebruik gemaakt van o.a. het baangebruik van Schiphol, vliegroutes en lawaai-



De rond Schiphol geënkquêteerde hinder uitgezet tegen de totale lawaaibelasting, afkomstig van luchtvaartverkeer, uitgedrukt in Kosten-eenheden. De correlatie is zeer goed (0,95).

productie van de diverse vliegtuigen. Ca. duizend vliegtuigbewegingen werden bestudeerd en gemeten.

Kosten werkte een nieuw recept uit om de lawaaibelasting te berekenen. Hierbij werd uitgegaan van het maximale niveau van het vliegtuig in dB(A), een factor die rekening hield met de verdeling van de vliegtuigbewegingen over één etmaal en het aantal overvliegende vliegtuigen per jaar. Zo kwam de bekende "Kosten-eenheid" tot stand. (KE). Als toelaatbare grens werd toendertijd 45 KE gesteld. Bij deze waarde ondervond toch nog 30% van de - bij de hinderenquête van Bitter - ondervraagden ernstige hinder en 12% had zelfs slaapstoornissen. Bij deze grens was de toestand dus nog verre van ideaal.

Men introduceerde tevens lijnen van gelijke lawaaibelasting rondom een luchthaven en met deze curven kon men dan zones kiezen waarbinnen geen bebouwing zou mogen plaatsvinden.

Later zijn dergelijke belevingsonderzoeken ook uitgevoerd ten aanzien van wegverkeers- en railverkeerslawaaï. Eén van de kernvragen in dergelijke onderzoeken was, in welke grootheden de geluidbelasting moest worden uitgedrukt, of anders gezegd: welke maat van geluidbelasting de hinder het best voorspelde. Uit veel onderzoek bleek dat communicatieverstoring van alle bekende hinderaspecten de duidelijkste samenhang vertoont met de geluidbelasting, in welke maat die belasting ook wordt uitgedrukt: equivalent geluidniveau, piekniveaus, kosteneenheid, enz. Het bleek uit een vergelijking met een aantal maten, dat het equivalente geluidrukniveau voor een 24-uursperiode de beste maat geeft in relatie met de hinder. Uit dit alles bleek eveneens dat spoorweglawaaï - in ieder geval bij de hogere geluidbelastingen - minder hinderlijk is dan wegverkeers-

lawaai bij gelijke niveaus. Deze belevingsonderzoeken zijn uitgevoerd in het kader van enige ICG-onderzoekprogramma's (R.G. de Jong).

Verwant met de reeds genoemde dosis effect relaties is het onderzoek betreffende de regels over gehoorbeschadiging. Mevrouw W. Passchier-Vermeer heeft onderzoek hiernaar verricht. Zij vond - gecombineerd met andere internationale resultaten - dat een continue expositie aan constant geluid van meer dan 80 dB(A) gedurende de gehele werkdag, kan leiden tot een gehoorverlies. Zij kon aantonen dat vooral in de frequentieband rondom 4000 Hz het gehoor het meest kwetsbaar is. Moeilijker te kwantificeren leek expositie aan niet-continue lawaai-belasting. In tegenstelling tot een Amerikaanse methode meende Passchier-Vermeer dat de totale geluidenergie die het gehoor treft bepalend is voor de resulterende gehoorschade op den lange duur. Wordt het geluidrukniveau verhoogd met 3 dB dan levert de halve expositietijd reeds dezelfde gehoorschade. G.F. Smoorenburg heeft uit het eigenlijke spraakverstaan het gehoorverlies onderzocht. Een opvallend resultaat van dit onderzoek was dat de fluistertest of het spraakaudiogram in stilte geen aanwijzingen gaf over de spraakverstaanbaarheid of gehoorverlies in lawaai. Ook hij kwam tot de conclusie dat voor spraakverstaan in lawaai de drempel van het toelaatbare geluidniveau wel gesteld zou mogen worden op 80 dB(A).

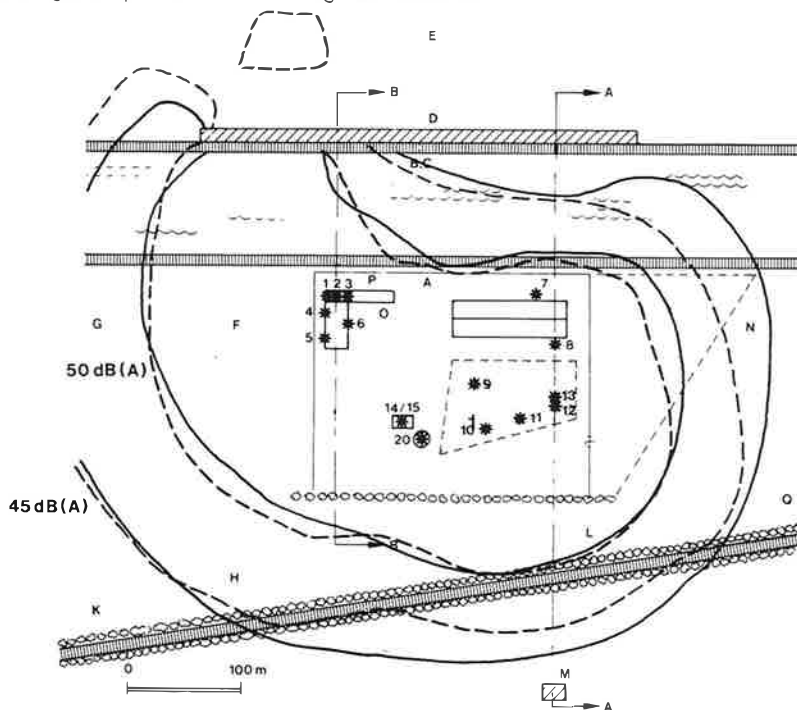
Meet- en rekentechnieken

Reken- en meetmethoden omtrent het voorspellen van geluidniveaus rondom industrieterreinen en verkeersaders zijn op de NAG-bijeenkomsten een aantal malen aan de orde geweest. Dit geeft het belang aan dat de onderzoekers hebben gehecht aan deze problematiek. De grote impuls voor het ontwikkelen van rekenmodellen is uiteraard de Wet Geluidhinder geweest. In het buitenland waren reeds enige reken- en meetmethoden in omloop, o.a. de VDI en CONCAWE. Helaas liepen in het verleden de geluidimmissie-niveaus, bepaald door verschillende onderzoekers voor dezelfde situatie, vaak sterk uiteen. Sterker nog, zelfs bij metingen van de geluidimmissie door één en dezelfde onderzoeker kwam het regelmatig voor dat de resultaten verkregen op verschillende dagen niet met elkaar overeenkwamen. In de Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai ICG-rapport IL-HR-13-01 (1981), die geschreven is door H.E.A. Brackenhoff, P.M. Buis en A. von Meier, zijn de richtlijnen voor het meten en rekenen van industrielawaai op elkaar afgestemd. In deze handleiding staat uitvoerig beschreven hoe bijvoorbeeld het immissierelevante geluidvermogen, ofwel de bronsterkte, bepaald kan worden naar gelang de aard en uitgebreidheid van de bron. Dit is nodig omdat het niet altijd mogelijk is de geluidimmissie vast te stellen op die locatie, waarvoor de beoordeling plaats vindt. De oorzaak daarvan is bijvoorbeeld omdat op het immissiepunt te veel stoorgeluid heerst of omdat de weersgesteldheid zodanig is dat dit te veel variaties geeft in het geluidniveau.

Het is dan gewenst dichtbij de bron metingen te verrichten of gebruik te maken van bekende emissiegegevens. De Handleiding geeft aanwijzing hoe te handelen in dit soort situaties; er zijn een aantal emissiemethoden aangegeven die worden aangeduid met "geconcentreerde bronvermogen", "de rondom of Stüber-

methode" en "aangepast meetvlak". De weersomstandigheden waaronder gemeten mag worden zijn in deze Handleiding precies omschreven in het zgn. meteoraam. Meewind en/of temperatuursinversie (waarvoor de bewolking een indicatie is) zijn de enige weersomstandigheden waaronder de geluidimmissie op reproduceerbare wijze gemeten kan worden.

De Handleiding geeft ook duidelijke regels over de geluiduitbreiding in de open lucht met correcties voor de bodemreflecties, afscherming, luchtabsorptie, enz. Er zijn drie klassen van meetmethoden geïntroduceerd. *Klasse A* kan worden gebruikt voor globale prognoses. In de gevallen die marginaal aan de normen wel of niet voldoen, moet nauwkeuriger gemeten worden en wel volgens *klasse B*. Voor gecompliceerde situaties geldt *klasse C*.



Geluidcontouren rondom een industrieterrein berekend volgens de Handleiding Meten en Rekenen Industrielawaai, methode IL-B (— — —) en IL-C (—). Op het terrein bevindt zich een fabrieksgebouw, dat naar één zijde geluid uitstraalt (bron 6); aan de andere zijde zijn twee uitlaatopeningen (bron 4 en 5); drie ventilatoren (bronnen 1, 2 en 3) bevinden zich op het dak van het kantoor; bronnen 7 en 8 zijn enige lage bronnen, terwijl bronnen 9 t/m 13 enige installaties zijn. Tenslotte staat op het terrein nog een installatie die in westelijke richting anders geluid afstraalt dan in de andere richtingen (bronnen 14 en 15) en een schoorsteen (bron 20).

In zijn totaliteit is deze Handleiding het sluitstuk van een lange ontwikkeling inzake de lawaai-beheersing. Voor wegverkeerslawaai zijn eveneens rekenmethoden ontwikkeld: Reken- en meetvoorschrift Verkeerslawaai en de Brochure "Berekening van wegverkeersgeluid". Ook hierin is de aanpak duidelijk: tracht eerst de relevante brongegevens te vinden en bereken daarna de overdracht op analoge wijze als in voornoemde Handleiding. Voor railverkeersgeluid is recentelijk eveneens een reken- en meetvoorschrift opgesteld.

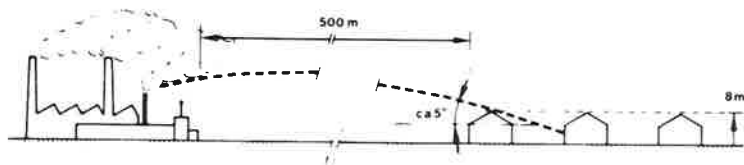
Geluidoverdracht in de open lucht

Binnen het kader van het ICG-programma is vrij uitvoerig aandacht besteed aan de door meteorologische veranderingen veroorzaakte geluidoverdrachtvariaties. Het is bij de overdracht van geluid buiten altijd een moeilijke zaak om deze variaties in te schatten. Voor een goede reken- en meetmethode is het wenselijk



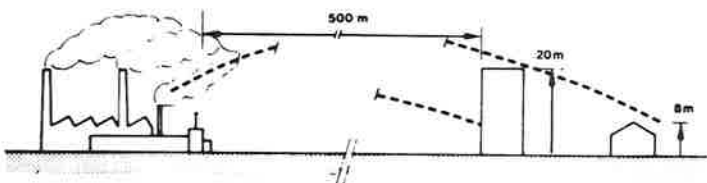
Industrie dicht op de woningbouw

- Sterke afscherming van de eerste rij huizen
- Snelle afname geluidniveau met de afstand
- Invloed geluid beperkt



Industrie en woningbouw ver uit elkaar

- Eerste rij huizen schermt minder effectief af; Geluid valt onder ca. 5° in;
- Reflecties tussen huizen verminderen effect afscherming
- Langzame afname geluidniveau met de afstand; Groot invloedsgebied



Industrie en woningbouw ver uit elkaar, aan de rand hoge flats

- De flats screenen effectief af voor de eengezinswoningbouw daarachter

Enige situaties die van belang kunnen zijn bij het bepalen van geluidcontouren in een woonwijk.

deze variaties te kennen en daarmee rekening te houden.

In de Handleiding wordt de beoordeling van de geluidssituatie gebaseerd op het A-gewogen equivalente geluidvermogen bij een representatieve bedrijfssituatie en bij een "gemiddelde" geluidsoverdracht. Met "gemiddelde" geluidsoverdracht wordt bedoeld een over een lange periode (minstens een jaar) op energie-basis gemiddelde overdrachtsverzwakking.

De variaties in de overdracht zijn voor het grootste gedeelte variaties in de bodemdemping gecombineerd met refractie van de geluidgolven door verticale wind- en/of temperatuurgradiënten.

Teneinde hier inzicht in te krijgen is er theoretisch onderzoek uitgevoerd (P.M. Buis), gevolgd door uitgebreide experimenten door de TPD (o.l.v. A. Moerkerken). Er zijn experimentele programma's uitgevoerd om de schaarse gegevens die rond 1975 voorhanden waren aan te vullen. Zo zijn er bij Strijen in de Hoekse Waard metingen verricht boven vlak weiland met diverse bron-ontvanger hoogten. Later is dit 's-nachts herhaald in de Flevopolder. Tenslotte zijn er metingen verricht langs Rijksweg 13 (Delft - Rotterdam) op een vast punt op een afstand van 200 m. Elke meting is op een andere dag uitgevoerd, gedurende negentig dagen. Tenslotte zijn er nog metingen verricht over de combinatie water en grasland in Friesland.

Uit deze berg van gegevens is een meteoraam ontwikkeld, waarbinnen metingen zich moeten afspelen. Dit is wind van bron naar waarnemer bij windsnelheden groter dan 1 à 2 m/s, omdat dan blijkbaar de meteorologische effecten minimaal zijn. Het effect van bodemdemping kon volgens Buis worden opgesplitst in drie onafhankelijke termen: waarvan één betrekking heeft op de bron, een andere op de waarnemer met als belangrijkste parameters de bronhoogte - resp. waarnemerhoogte - en de bodemgesteldheid nabij de bron - resp. waarnemer - en de derde, een minder belangrijke term, die afhangt van de gesteldheid van de bodem in het midden van het traject bron-waarnemer.

Dit model is getoetst aan de hand van praktijkmetingen boven gras- en waterland en bevestigde deze structuur van het model.

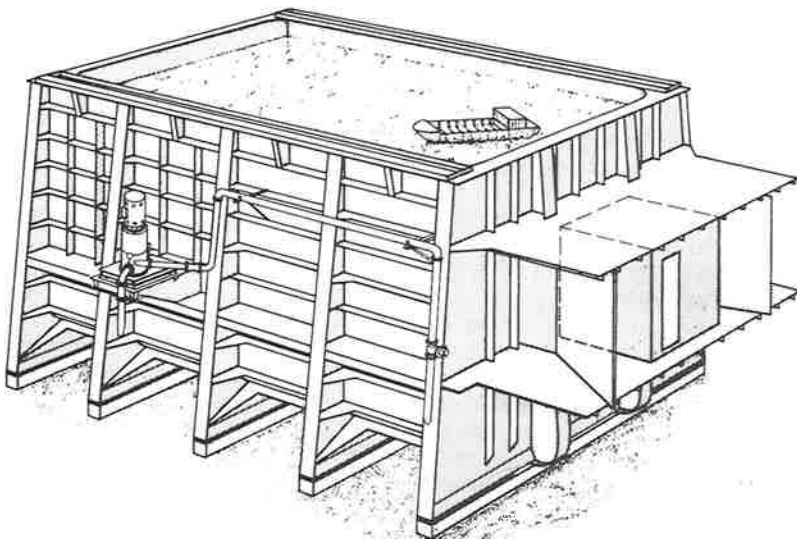
Het geluidniveau dat met metingen binnen het meteoraam wordt vastgesteld is hoger dan de beoordelingsgrootte. Hiertoe worden de meteorocorrecties ingevoerd, die alleen afhankelijk zijn van geometrische parameters.

In dit verband is nog te noemen het proefschrift van B.A. de Jong, die de geluidvoortplanting door de wind vanuit mathematisch oogpunt heeft onderzocht en de methode van golf front extrapolatie heeft toegepast.

Scheepsakoestiek

Een bijzondere tak van de lawaai-beheersing betreft de scheepsakoestiek. Scheepsakoestiek wordt als toepassing van de geluidleer in de scheepsbouw-kunde reeds meer dan 30 jaar in Nederland bij de TPD beoefend. Het begon in 1951 met enkele mooie studies in opdracht van het Studiecentrum TNO voor Scheepsbouw en Navigatie over lawaai in machinekamers en over andere onderwerpen.

De akoestische omstandigheden aan boord van schepen zijn in menig opzicht uniek. In een bouwwerk dat bijzonder ontvankelijk is voor de overdracht van



Watergalm bassin zoals in gebruik voor scheepsakoestisch onderzoek.

geluid zijn sterke geluidbronnen van uiteenlopende aard ondergebracht, terwijl het tegelijkertijd en soms langdurig moet dienen niet alleen tot werkplaats, maar ook tot slaapplek van mensen. Er was dan ook alle reden grootscheepse geluidisolatiemaatregelen te treffen, temeer daar de lawaaihinder aan boord in de loop der jaren eerder toe- dan afnam. Het bleek dat er nog veel onderzoek gewenst was. Enerzijds werd er gestreefd naar het leefbaar maken van het achterschip, waar zonder speciale akoestische isolatie eigenlijk geen accommodatie meer mogelijk was, anderzijds betrof het het optimaal dimensioneren van constructies.

In minstens één opzicht was het werk op dit vakgebied uniek, n.l. dat eerst gestreefd werd naar inzicht en technische middelen en daarna pas naar eisen inzake scheepslawaai bestrijding.

In 1968 publiceerde men de geluidvoorspelling (vóór de proeftocht!) van het m.s. Koningin Juliana, aan boord waarvan op advies en berekening 4 stuks 90 ton zware hoofdmotoren verend waren opgesteld. De voorspellingen bleken goed overeen te komen met de daarna gemeten geluidniveaus: de verende opstelling werkt thans nog zonder problemen.

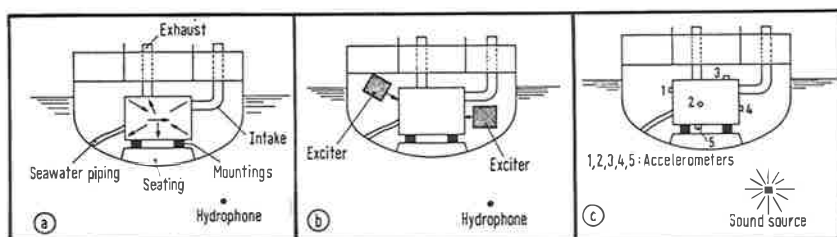
Ook werd veel aandacht besteed aan het ontwerp van grote uitlaatdempers. Uniek is het computerprogramma voor het berekenen van accommodatie geluidspectra, dat is verkregen op basis van veel eigen spoorwerkresultaten aan boord van schepen (J.H. Janssen, J. Buiten).

De afdeling Scheepsakoestiek van de TPD heeft veel werk uitgevoerd met behulp van schaalmodelproeven, waarbij allerlei akoestische varianten snel konden worden doorgemeten. Hier heeft men de beschikking over een watergalm bassin,

waardoor de principiële tekortkomingen van proeven op varende schepen kunnen worden omzeild. Het bassin vormt als het ware een binnenste-buiten-schip. Hiermee werd het mogelijk om bijvoorbeeld een proefhut aan te brengen voor het beproeven van speciale akoestische beschietingen e.d. Voor dergelijke toepassingsmogelijkheden gedraagt het bassin zich analoog aan een echt schip. Hiermee samenhangend belangrijk werk ten aanzien van schroeflawaai is ook verricht in samenwerking met het Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation (tegenwoordig MARIN geheten) in de vacuümtank. Cavitatiegeluid van schroeven is altijd één van de belangrijkste lawaaibronnen aan boord van schepen. De genoemde tank maakt het mogelijk cavitatie te simuleren en het geluid te meten en om te rekenen met hydroakoestische schaalmodelregels. A. de Bruijn heeft o.a. in enkele publikaties van het NAG over dit werk gerapporteerd.

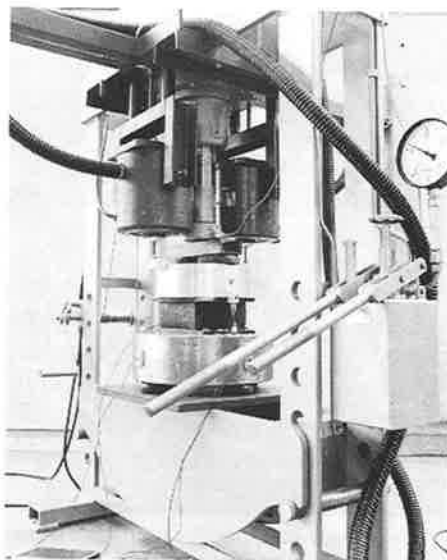
Een bijzondere methode, die vooral in de scheepsakoestiek in hoge mate is benut, is de toepassing van het reciprociteitsbeginsel. Het houdt – enigszins vereenvoudigd geformuleerd – in dat als men in een akoestisch systeem bron en ontvanger van plaats doet wisselen, de overdracht tussen beide punten dezelfde blijft. Gebruikt men nu bij een meting transducenten die zowel geluid kunnen uitzenden als geluid kunnen ontvangen, zoals elektrodynamische luidsprekers die als microfoon gebruikt kunnen worden of trillingsexcitatoren die tevens trillingsopnemers zijn, dan kan men vaak op zeer efficiënte wijze geluidsoverdracht meten. T. ten Wolde heeft dit in zijn proefschrift in 1973 nader uitgewerkt.

De geluidpadkwantificatie is een op zichzelf logisch verlengstuk van de reciprociteit. Het intrigerende probleem hierbij is dat men in de meeste praktijksituaties geen gebruik kan maken van de meest voor de hand liggende oplossing: onderbreek alle paden op één na en meet dat pad door. Motoren werken nu eenmaal niet als leidingen onderbroken zijn. Een interessant voorbeeld van dit onderzoek is de luchtgeluidsoverdracht van de platte ruimte onder een verend opgestelde machine. J.W. Verheij is op dit onderwerp in 1982 gepromoveerd.



Toepassing van het reciprociteitsbeginsel; geluidpadidentificatie tussen een dieselmotor in een schip en een plaats in het water.

- Experiment met diesel in bedrijf, nauwelijks mogelijkheden om de aansluitlangen en pijpen te onderbreken*
- Gebruik van trillingsexcitatoren is onpraktisch door gewicht en grootte*
- Reciprook experiment: gemakkelijk uit te voeren om de invloed van slangen en verende elementen op de geluidsoverdracht te onderzoeken*

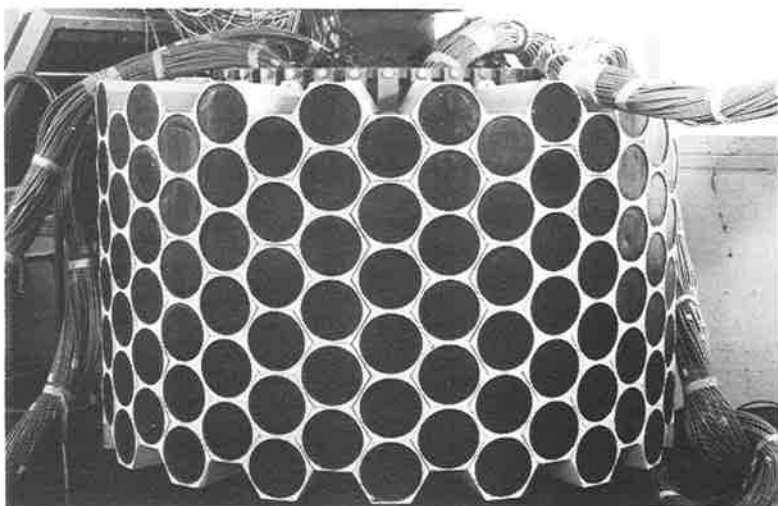


Verenproefbank voor het bepalen van de akoestische overdachtsfuncties van verende elementen onder statische voorlast.

Onderwaterakoestiek

Er zou nog veel te vertellen zijn over de werkzaamheden op onderwaterakoestisch gebied, maar het is duidelijk dat veel onderzoek alleen van toepassing is in de marine-sfeer en zich daarom niet zo leent voor een uitvoerige behandeling in dit overzicht. Toch zijn er diverse artikelen over deze materie opgenomen in NAG-publicaties.

Met name H.A.J. Rijnja (Fysisch Laboratorium TNO) heeft een aantal malen gerapporteerd voor een NAG-forum over het ontwerpen van onderwaterakoestische transducenten. Hij gaf hierin een overzicht van zijn activiteiten betreffende marine-projecten. Een interessante Nederlandse vinding is het toepassen van het akoestisch Doppler-principe voor het meten van watersnelheden. Hierbij is de frequentieverschuiving van het aan kleine verontreinigingen verstrooide geluid een maat voor de watersnelheid, aannemende dat deze kleine deeltjes de watersnelheid volgen. Een toepassing hiervan is het meten van het sediment-transport. Rijkswaterstaat heeft met succes deze methode benut voor metingen in onze Nederlandse wateren.



Sonartransducent, zoals ontwikkeld door het Fysisch Laboratorium TNO. Dit is een samenstel van 216 hydrofoons voor optimale bundelvorming.

Elektro-akoestiek

Wanneer wij spreken over de ontwikkelingen in de elektro-akoestiek is het wellicht gewenst de schijnwerpers te richten op de activiteiten van de Philips Gloeilampenfabrieken en met name van het Natuurkundig Laboratorium. In deze ontwikkelingen is altijd het kernpunt geweest een technisch bruikbaar en verkoopbaar apparaat te produceren. Daardoor is de akoestiek en speciaal de elektro-akoestiek in eerste instantie onverbrekkelijk verbonden met het radiogebied. Wij hebben bij het samenstellen van deze bladzijden veel gebruik gemaakt van het Philips Technisch Tijdschrift.

Het is hier de geschikte plaats aandacht te schenken aan de figuur van R. Vermeulen. Hij was jarenlang de stuwende kracht van het elektro-akoestisch onderzoek bij Philips. Hij trad in 1925 in dienst van het Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven, waar hij gedurende 32 jaar het akoestisch werk leidde. Vermeulen was een man met veel verdiensten voor de Geluidstichting en het NAG. Hij was jarenlang actief in de Raad van Bestuur van de Geluidstichting als secretaris-penningmeester (1939-1947) en als voorzitter (1951-1953). Hij werd erelid van het NAG op 16 februari 1966. Zijn wetenschappelijke belangstelling ging vooral uit naar de akoestische problemen bij muziekregistratie- en weergave.

Luidsprekers

In 1925, toen men bij Philips met het vervaardigen van luidsprekers begon, berustten deze op het elektromagnetische principe, d.w.z. het overbrengen van de beweging van een anker op een membraan. Daarna kwam de elektrodynamische luidspreker. Hierbij is aan het conusvormige membraan een cilindrisch

spoeltje verbonden waardoor de variabele signaalstroom loopt en dit was geplaatst in een radiaal magneetveld. Dit magneetveld werd oorspronkelijk verkregen met een door gelijkstroom bekrachtigd ijzeren magnetisch circuit. Bij Philips is men er spoedig toe overgegaan dit circuit te vervangen door een permanente magneet. Aan deze ontwikkeling is een uitgebreid onderzoek op het gebied van magneetstaal verbonden geweest. De nieuwe magnetische materialen vereisten tevens een nieuwe vormgeving van de magneten. Daarom werd ook de nodige aandacht besteed aan het ontwerpen van magnetische circuits. Met name het werk van A.Th. van Urk en J. de Boer was belangrijk, aangezien zij helder en overzichtelijk het principe van de elektro-mechanische vervangings-schema's toepasten.

We gaan weer even terug naar de jaren twintig en wel naar 1926, het jaar waarin Zwikker zich voegde bij de afdeling van Vermeulen. Het lag voor de hand dat hij zich ging bezighouden met de akoestische eigenschappen van luidsprekers en microfoons, waarbij de spectrale gevoeligheid en het optreden van hogere harmonischen werden bepaald. Ook wijdde hij zich aan de richtingskarakteristiek van luidsprekers, die hij bepaalde op een open stuk heidegrond. Hij voerde het begrip "richteffect" in, waarmee in één getal de luidspreker werd gekarakteriseerd als richtingstraler. In dit verband geeft Zwikker nog de volgende anecdoten in zijn artikel "50-jaar akoestiek" (zie blz. 5). Philips had een luidsprekerinstallatie geïnstalleerd langs de ballustrade in de Effectenbeurs te Amsterdam voor het omroepen van berichten. Het directe geluid van de luidsprekers werd op de plaats van de makelaars echter overstemd door de galm, aangezien de richtingskarakteristiek van de luidsprekers zeer onvoldoende was om de verstaanbaarheid werkelijk te verbeteren. De makelaars ontstaken zo in woede, dat zij Zwikker lijfelijk uit de beurs op het Damrak "deponeerden". In deze vooroorlogse jaren verrichtte men ook veel onderzoek naar luidsprekersystemen en de toepassing daarvan in zalen. J. de Boer deed hiervan verslag op de reeds genoemde "Zaalacoustiekdag" in 1939.

Wij nemen een reuzensprong naar het einde van het buizentijdperk, ca. 1960. Philips komt dan met een hoog-ohmige luidspreker ($800\ \Omega$) op de markt, waarmee zonder uitgangstransformator in een eindversterker gewerkt kan worden. J. Rodrigues de Miranda was de geestelijke vader hiervan.

Een belangrijke ontwikkeling was ook de mechanisch teruggekoppelde laagfrequent luidspreker (motional feedback), waardoor het niet-lineair gedrag van luidspreker onderdrukt kon worden. K. Teer leidde dit onderzoek.

Naar aanleiding van deze ontwikkelingen voerde F.J.M. Frankort een fundamentele studie uit naar de eigenschappen van luidsprekers. Uiteraard was er over het elektro-dynamisch gedrag van luidsprekers reeds enorm veel bekend. Er ontbrak eigenlijk nog maar een schakel: dit was het mechanische gedrag van de conus. In zijn studie concentreerde Frankort zich op het gedrag van die conus, die hij niet – zoals in voorgaande studies – star veronderstelde. Bij hogere frequenties veroor-

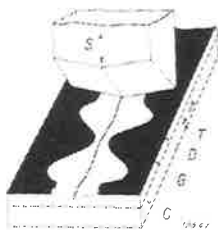
zaakt de aandrijfkraft mechanische golven, die zich op het conusoppervlak voortplanten (het zgn. opbreken van de conus). Er kunnen zowel transversale als longitudinale golven optreden, die een ingewikkeld stralingspatroon genereren. Frankfort heeft een numeriek programma opgesteld waaruit de luidsprekers karakteristiek konden worden berekend. Hij verifieerde zijn berekeningen met holografische opnamen van de conustrillingen. A.J.M. Kaiser heeft later enige vereenvoudigingen aangebracht in deze numerieke aanpak, zodat een luidsprekersysteem met bijv. een zakrekenmachine kon worden doorgerekend. Een recente ontwikkeling op dit gebied is het bepalen van het tijd-frequentiegedrag van luidsprekers door middel van de Wigner-distributie. Deze distributie van een signaal kan worden beschouwd als een verdeling van de signaal-energie in tijd en frequentie. Het kan een veelbelovend gereedschap worden om het transiënt gedrag van een luidspreker te analyseren.

Uiteraard heeft men zich bij Philips uitvoerig beziggehouden met de ontwikkeling van hoogwaardige (condensator)-microfoons. Namen als A. Rademakers en D. Kleis zijn hiermee verbonden. Een belangrijke stap was ook de ontwikkeling van de elektreet-microfoon in samenwerking met J. van Turnhout (TNO).

Geluidregistratie en weergavesystemen

Behalve in de ontwikkeling van luidsprekers is ook veel werk gestoken in versterkers, waaruit weer activiteiten op het gebied van lijntelefonie voortvloeiden. Verder legde men zich toe op de ontwikkeling van diverse typen microfoons, groeftasters en motoren van grammofoons en eveneens op geluidreproductie voor de sprekende film en voor omroepstudio's. Hierbij speelde het Philips-Miller procédé een belangrijke rol.

Bij het Philips-Miller systeem werd evenals bij de fotografische methode een geluidspoor op een film geregistreerd, maar nu niet langs optische weg, doch langs mechanische weg. Het filmmateriaal, het "philimilband" bestond uit een celluloid laag die i.p.v. de gebruikelijke fotografische emulsie eenvoudig met een doorzichtige gelatinelaag van ca. 60 micrometer dikte bedekt was en waarop weer een zeer dunne ondoorzichtige deklaag was aangebracht. Loodrecht op het vlak van de band werd in het ritme der geluidtrillingen die men registreren wilde, een beitел bewogen die wigvormig was. Deze beitел nam een spaan af van de er



Snijtechniek bij het Philips-Miller systeem.



De Philips-Miller-machine met een gedeelte der versterkerrekken enz., zoals die opgesteld stonden in het Concertgebouw te Amsterdam.

onderdoor getrokken gelatinelaag. Werd de beitel onbeweeglijk vastgehouden dan sneed hij in de band, wanneer die er onderdoor getrokken werd, een groef van constante breedte. In deze groef was de dunne deklaag verwijderd en men verkreeg een doorzichtig spoor op een ondoorzichtige achtergrond. Werd nu de beitel dieper in de band gebracht, dan werd de uitgesneden groef breder. Liet men de beitel met het ritme der geluidtrillingen die geregistreerd moesten worden op en neer bewegen, loodrecht op de band, dan ontstond op de voorbijgaande band een doorzichtig spoor, waarvan de breedte wisselde met het ritme van de geluidtrillingen. De weergave van het geregistreeerde geluid geschiedde nu geheel op dezelfde wijze als bij optische geluidfilmsystemen. De band met het geluidspoor werd tussen een fotocel en een smalle, intensief lichte spleet doorgetrokken (spleet dwars op de richting van de band). De op de fotocel vallende lichtstroom varieerde overeenkomstig de wisselende breedte van het geluidspoor; de hieruit voortkomende stroomvariaties in de fotocel werden versterkt en naar een luidspreker toegevoerd. Philips maakte furore met dit systeem, aangezien het voor die dagen een bijna perfect systeem met goede geluidweergave was. Er waren goede opnamen gemaakt met het Concertgebouworkest onder leiding van Willem Mengelberg en die zijn nog steeds interessant materiaal voor de liefhebbers. Een ander voordeel van dit systeem was dat er ook sprake kon zijn van stereofonische reproductie, aangezien het heel goed mogelijk was om twee sporen te introduceren. Ook was het mogelijk om een compressiesignaal mee te geven, zodat men een grote dynamiek kon verkrijgen.

De na-oorlogse tijd werd in eerste instantie gekenmerkt door de ontwikkeling van de magnetofoon, of de magnetische bandregistratie. D. Kleis construeerde de eerste magnetofoon, waarmee opnamen werden gemaakt van het Metropole-orkest o.l.v. Dolf van der Linden in het Hof van Holland te Hilversum. W.K. Westmijze ontwikkelde de theoretische achtergronden van de opname- en weergavekoppen. Het registreren van geluid langs magnetische weg op een band van ferro-magnetisch materiaal, leek een hopeloze taak als men zich rekenschap gaf van het niet-lineaire karakter van het ferro-magnetisme en de hysteresis. Toch wist men al in een beginstadium een behoorlijk getrouwe weergave te bereiken door de band van te voren te magnetiseren. Westmijze verwezenlijkte hetzelfde door op de signaalstroom een hoog-frequente wisselstroom te superponeren. Een juiste toepassing van dit principe vereist een nauwkeurige studie van het magnetisatieproces in de band. Het daardoor verkregen inzicht leidde tot een beter begrip van allerlei details van het opname- en weergaveproces van de frequentiekarakteristiek, vervorming, geruis en andere verschijnselen die een grens stellen aan de getrouwheid van de reproductie. Westmijze heeft hierover een voortreffelijk proefschrift geschreven (1952), dat beschouwd kan worden als een standaardwerk op dit gebied.

Wellicht een ontwikkeling die wat zijdelings verband houdt met het onderwerp van deze bladzijden, was de uitvinding van de delta-modulatie door J.F. Schouten e.a. voor de registratie en transmissie van spraak. Door deze techniek was het mogelijk spraak vast te leggen met veel minder geheugenruimte dan voorheen. Ook kon storingsruis vrijwel geëlimineerd worden.



Kunsthof van K. de Boer als akoestisch hulpmiddel voor een slechthorende. Door gebruik van twee in een kunsthof geplaatste microfoons, die elk één telefoon voeden, is ook het richtingshoren mogelijk gemaakt.

In de jaren vijftig leidden L. Alons en J.L. Ooms de ontwikkelingen op het gebied van de Hi-Fi langspeelgrammofoonplaat. Vooral de snij- en perstechnieken werden sterk verbeterd.

Een belangrijke uitvinding van Philips was de compact-cassette voor magnetische geluidregistratie. Hiervan was de reeds genoemde Teer de geestelijke vader. Door een vernuftige keuze van bandsnelheid, breedte van het bandje en door een juiste dimensionering van de opname- en weergavekoppen kon een zeer behoorlijke geluidweergave worden bereikt. Het is bekend dat dit systeem thans zo is geperfectioneerd dat het kan wedijveren met de beste grammofoonplaat.

Een recente ontwikkeling is de compact-disc.

Stereofonie

Een hoogtepunt uit de voor-oorlogse jaren was het onderzoek van K. de Boer naar stereofonische geluidweergave. In zijn proefschrift trachtte hij de mogelijkheden voor stereofonische geluidoverdracht te beschrijven. Teneinde bij de elektrische overbrenging van geluid de richtingsgewaarwording te behouden, moet het geluid – volgens De Boer – aan de oren van de luisteraar op dezelfde wijze worden toegevoerd als bij het natuurlijk horen het geval zou zijn. De Boer vond uit dat dit te verwezenlijken was door in de opnameruimte in plaats van de niet aanwezige luisteraar een kunsthoofd op te stellen, waarin ter plaatse van de oren twee microfoons waren aangebracht. Interessant zijn de experimenten betreffende het normale richtingshoren en betreffende de samenhang tussen het verschil in druk en tijdsverschillen tussen beide signalen op de oren.

Een belangrijke mijlpaal in het werk van het Philips Natuurkundig Laboratorium was de dissertatie van N.V. Franssen over het richtingshoren. Die bouwde voort op het werk van K. de Boer over stereofonische geluidwaarneming. Uit proefnemingen bleek dat, zowel door intensiteits- als tijdsverschillen de richting kan worden bepaald, dat deze zelfs additief zijn en dat het zelfs mogelijk is om een richtingsindruk verkregen door intensiteitsverschillen, weer te compenseren met tijdsverschillen in de omgekeerde zin. Franssen kon aantonen dat het begrip tijdsverschil een bijzonder aspect vertoont: dat de richting van een geluid in belangrijke mate bepaald wordt bij en door de inschakelverschijnselen. Hij ontwierp een elektrisch analoon, dat op dezelfde wijze als ons eigen gehoor de richting van een geluid kon onderkennen.

Muzieksimulatie en elektronische muziekinstrumenten

Zoals Kleis memoreert wilde Vermeulen op een bepaald moment weer eens wat anders onderzoeken. Hij was wat uitgekeken op de ontwikkeling van allerlei elektro-akoestische apparatuur. Hij meende dat voor een goede weergave van zaalconcerten in de eerste plaats een grondige kennis van de fysische parameters betreffende de weergaveprocessen onontbeerlijk was. Vermeulen wilde aldus naar een nieuwe aanpak van de elektro-akoestiek, n.l. simulatie van het muziekgebeuren. In een artikel in het Philips Technisch Tijdschrift (1948) "Multiplificatie van concerten" schreef hij:

"Er heerst bij velen een diepgeworteld besef dat kunst een zodanig esoterisch karakter bezit, dat de technische hulpmiddelen die men moet gebruiken om haar tot het grote publiek te brengen het wezen zelf van de kunst dreigen te veranderen. Toegegeven dat dit zo is: wie zal voorspellen of de verandering een aantasting en verschrompeling, dan wel juist een ont-plooiing zal meebrengen? De troubadour, die oude mythe en nieuw epos bracht aan de ridders in hun burchten, verloor na de uitvinding van de boekdrukkunst veel van zijn betekenis. Maar niemand zal – zelfs bij de vele minderwaardige lectuur tot welker verspreiding de boekdrukkunst heeft geleid – willen beweren dat de druktechniek een schadelijke invloed op de Westerse cultuur heeft gehad. Voor de muziek vinden wij evenzeer de verwachting gewettigd dat de toepassing van de nieuwe technische middelen geen hinderpaal zal zijn voor het bereiken van nieuwe, onvermoede hoogtepunten. Ja, misschien geven deze nieuwe middelen zelfs de aanleiding daartoe".

Als start voor zijn ambitieus programma ontwierp hij een systeem voor het getrouw dupliceren van concerten. Hij meende dat dit zinvol was in verband met het tekort aan concertzalen, die vaak overvol waren. Het geluid van het orkest in de zaal werd opgevangen door een kunsthoofd voor stereofonische weergave. De signalen van de microfoons werden geleid naar de andere zalen, waar een aantal luidsprekers waren opgesteld die het geheel weer reproduceerden. Vanuit onze hedendaagse visie op muziekreproductie lijkt dit plan onzinnig, maar het geeft een idee waarover in die dagen Vermeulen c.s. filosofeerden.



Multiplicatie van concerten. Eduard van Beinum dirigeert het Concertgebouworkest. Boven het orkest het kunsthoofd.

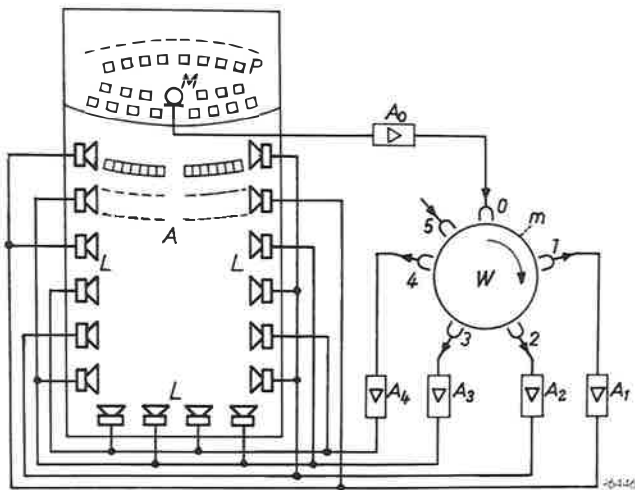
In dit kader stimuleerde hij het onderzoek naar de mogelijkheden van elektro-mechanische en elektrostatische aftasting van trillingen in muziekinstrumenten, met als doel een pure weergave van de klank. Een ander uitvloeisel van dit programma was de klavierinstrumenten op elektronische basis. Franssen heeft hiervoor iets origineels bedacht. Hij benutte één toongenerator voor het afleiden van elk van de twaalf tonen in het octaaf. Het voordeel van deze vinding was een besparing van het gebruikelijke aantal generatoren van twaalf (voor elke notennaam één); bovendien was het stemmen van een apparaat bij fabricage en service overbodig. Het apparaat bevatte een frequentiedeler van 20 en een opteller van de diverse gegenereerde frequenties. Dit leidde tot de frequenties van alle noten van het klavierinstrument binnen hoge nauwkeurigheid. Ook stimuleerde Vermeulen het componeren van elektronische muziekstukken, o.a. met H. Badings, op het Philips Natuurkundig Laboratorium. Later is dit voortgezet op het Instituut voor Sonologie in Utrecht.

Een heel apart project was het Philips-paviljoen op de Expo 1958 te Brussel. In dit paviljoen, naar een ontwerp van Le Corbusier, werd een licht- en muziekspel uitgevoerd met de modernste elektronische hulpmiddelen.

Ambiofonie en elektronische ruimte-akoestiek

Om een zaal met een te korte nagalmtijd geschikt te maken voor muziek moet men indirect geluid toevoegen. Daarbij is het probleem dat het natuurlijke, indirecte geluid is samengesteld uit een groot aantal reflecties van alle delen van de wand, terwijl langs elektro-akoestische weg slechts geluid kan worden opgewekt door een beperkt aantal luidsprekers. Teneinde dit te ondervangen ontwikkelde men de nagalminstallatie (D. Kleis).

Boven het orkest hing de microfoon. Het signaal hiervan werd door een opneemkop magnetisch geregistreerd op de omtrek van een draaiend wiel, het vertragingswiel. De registratie passeerde achtereenvolgens een aantal weergeefkoppen en een wiskop. Deze laatste zorgde ervoor dat de magnetiseerbare laag telkens weer schoon onder de opneemkop kwam. De signalen die in de weergeefkoppen werden geïnduceerd waren ten opzichte van het microfoonsignaal in verschillende maten vertraagd, afhankelijk van de snelheid van het wiel en van de afstand gemeten langs de omtrek tussen de opneemkop en de beschouwde weergeefkop. Elk van de weergeefkoppen was over een eigen versterker aangesloten op een groep luidsprekers die op een geschikte wijze over de zaal waren verdeeld. De luidsprekers hadden tot taak diffuus geluid te leveren. Om deze reden waren ze rondom in de zaal aangebracht, zodanig dat ze zo weinig mogelijk direct op het publiek straalden. Door ieder van deze groepen de juiste intensiteit en klankkleur in de juiste vertraging te geven en door elektrische terugkoppelingen van de weergeefkoppen naar de opneemkop aan te brengen, kon men het gewenste effect bereiken. Het aldus opgewekte diffuus en vertraagde geluid vormde de nodige aanvulling op het indirecte geluid dat door de zaalwanden in onvoldoende mate werd verschaft. Deze installatie is met redelijk succes aangebracht in zalen als bijv. het Gebouw van Kunsten en Wetenschappen te Den Haag en het Teatro alla Scala te Milaan.



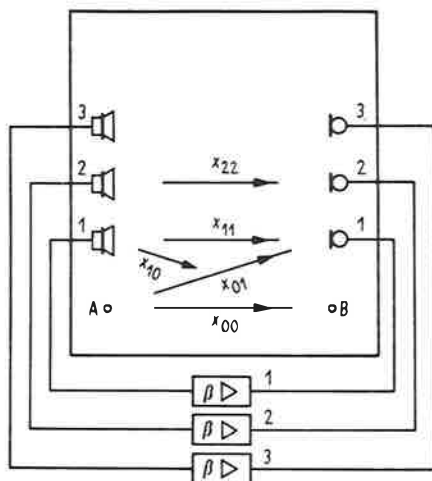
Stereo-nagalininstallatie. A auditorium. P podium. M microfoon, W vertragswiel, langs de rand waarvan magnetiseerbaar materiaal m is aangebracht.

O opneemkop. 1...4 weergeefkoppen. 5 wiskop. A_0 ... A_4 versterkers. L luidsprekers. Vanaf de weergeefkoppen kan een elektrische terugkoppeling naar de opneemkop worden aangebracht (niet getekend).

Franssen hield zich in de jaren zestig bezig met de versterking van het geluidveld. De geluidversterking die men in een zaal kan bereiken met behulp van een microfoonversterkende luidspreker, wordt vaak beperkt door de akoestische instabiliteit van het totale systeem. Deze instabiliteit vindt zijn oorzaak in de terugkoppeling via de zaal van de luidspreker naar de microfoon waarbij de zaal een praktisch onhanteerbaar selectief filter is. Nu is het bekend dat de overdracht tussen een luidspreker en een microfoon – beide in dezelfde ruimte geplaatst – sterk verandert zowel in amplitude als in fase, wanneer men de microfoon of de luidspreker of beide van plaats verandert of wanneer men een andere frequentie kiest.

Hierop nu zijn methoden gebaseerd die men in de loop der jaren bedacht heeft om de akoestische terugkoppeling te verminderen. Zo zijn alle methoden die gebruik maken van slingerende of omschakelbare microfoons of luidsprekers in feite terug te voeren op een octrooi van Zwikker (1928).

Een andere oplossing voor dit probleem bedacht nu Franssen. Hij stelde dat als men een microfoon via een versterker met een luidspreker verbindt, dat er dan bij de terugkoppeling via de zaal bepaalde frequenties bevoorreed worden. Kiest men de versterking zo laag dat deze frequenties niet opvallen (d.w.z. de rondgaande versterking in de lus is kleiner dan 1), dan heeft men de versterking correct ingesteld. Plaatst men een tweede combinatie van microfoon, versterker en luidspreker in de zaal, dan zal deze nauwelijks last ondervinden van de aanwezigheid van de eerste, aangezien deze tweede geen essentiële wijzigingen



Koppeling van microfoons en luidsprekers met gescheiden versterkersystemen voor het verhogen van de geluidenergie in een zaal zonder "rondzing"-problemen.

in de transmissie karakteristiek zal veroorzaken. Beide kanalen kunnen dan op een even grote versterking afgeregeld worden als wanneer ieder slechts alleen aanwezig was. Daar echter de aanwezigheid van de andere de energiedichtheid in de zaal en dus de overdracht via de zaal verhoogt, moet de versterker van ieder kanaal zo ver terug geregeld worden als overeenkomst met deze energieverhoging. Vervolgens kan men een derde, een vierde, enz. overdrachtskanaal aanbrengen tot een willekeurig aantal toe, overeenkomend met de energieverhoging die men wenst. Het systeem gebaseerd op dit idee, is later door Philips met veel succes op de markt gebracht.

In NAG-publikatie nr. 28 heeft Franssen nog een ander vernuftig idee beschreven: de elektronische klankkaatser. Hij bereikte dit door een richtingsgevoelige microfoonzuil te gebruiken tezamen met een luidsprekerzuil, waarvan elke luidspreker verbonden was met een overeenkomstige microfoon en versterker. Het uiteindelijke resultaat was dat de luidsprekerzuil zal afstralen in die richting van waaruit de microfoons het geluid hebben opgevangen. Kortom: het werkte als een klankkaatser.

Recent onderzoek

De laatste jaren is op het Philips Natuurkundig Laboratorium ook veel onderzoek verricht naar het beheersen van lawaai veroorzaakt door huishoudelijke apparaten (J.J. Crucq). Daartoe is een galmkamer ontwikkeld waarvoor een evenwichtige verdeling van de eigenmodes in de frequentieschaal is berekend. Men heeft dit bereikt door de ontwikkeling van een numeriek rekenprogramma, waarin de geluidsdrukverdeling in de kamer werd berekend door middel van een eindige elementenmethode (J.M. van Nieuwland).

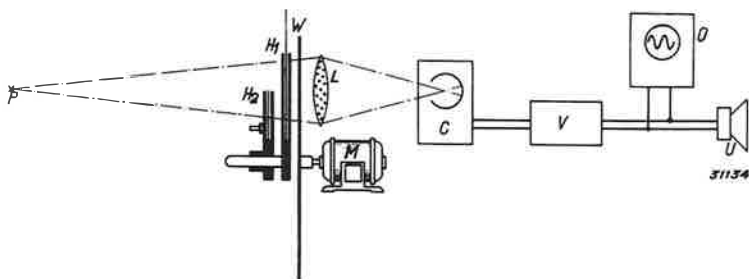
Auditieve perceptie

Er is reeds eerder gewezen op het feit dat bij de keuze van de onderwerpen voornamelijk uitgegaan is van publikaties van de Geluidstichting en het NAG. Vooral over het onderhavige onderwerp is buiten de NAG-kring in Nederland zoveel belangwekkend onderzoek verricht, dat niet alles hier aan de orde kan komen.

Het vakgebied auditieve perceptie heeft in Nederland een grote onderzoeks-inspanning te zien gegeven, die bijvoorbeeld kan worden afgemeten aan het aantal posities binnen de universiteiten. In overeenstemming hiermee is de rol van Nederland in de internationale wetenschap relatief groot.

De perceptie omvat "de verrichtingen van de geest, waardoor de waarnemingen bewust worden" (Van Dale-woordenboek) en ligt daarmee op het terrein van de psychologie. De voornaamste bijdragen in ons land op het gebied van de auditieve perceptie zijn evenwel niet afkomstig van psychologen maar van fysici, die bij de bestudering van akoestische problemen zich op dit gebied waagden. Voor de auditieve perceptie zijn de subjectieve grootheden luidheid, toonhoogte en timbre van fundamenteel belang en hun relatie tot de objectief-akoestische grootheden geluiddruk, periodiciteit van het geluid en het spectrum ervan vormen het onderwerp van studie. Daarnaast kan men ook het verstaan van spraak, de hinder ten gevolge van geluid en de waarneming van muziek tot het gebied rekenen. De grote concentratie van perceptief onderzoek op dit gebied van de toonhoogte gaat terug op het onderzoek, dat Schouten kort voor de Tweede Wereldoorlog verrichtte op het Natuurkundig Laboratorium in Eindhoven.

Volgens de akoestische Wet van Ohm wordt een complexe, periodieke toon door het gehoor ontbonden in fouriercomponenten. De frequentie van de laagste



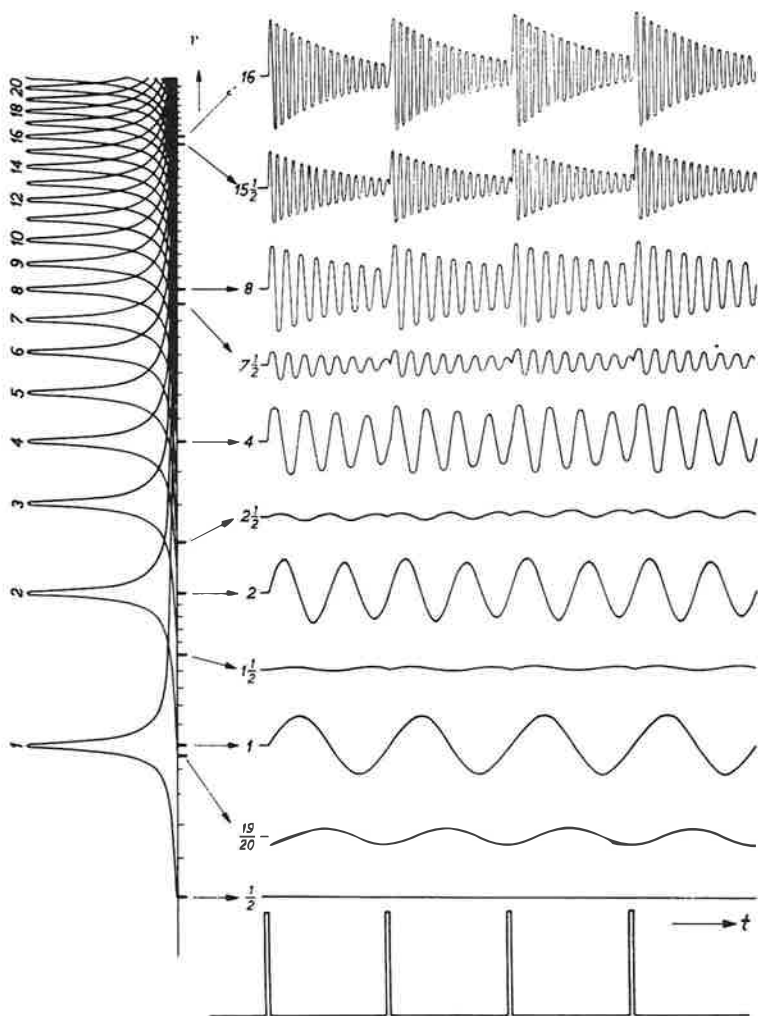
Apparatuur voor het maken van synthetisch geluid, zoals door J.F. Schouten gebruikt voor het onderzoek naar het residu-effect. De in een mal uitgesneden trillingsvorm wordt in de houder H_1 geplaatst en door de op grote afstand opgestelde puntvormige lichtbron P homogeen verlicht. De motor M drijft de spleetenschijf W aan. Het door deze doorgelaten licht wordt door de lens L op de fotocel C geconcentreerd. De fotostromen worden via de versterker V en een luidspreker U in geluid omgezet. De trillingsvorm wordt met behulp van de kathodestraaloscillograaf O gecontroleerd. Voor speciale onderzoeken is vóór de houder H_1 nog een tweede houder H_2 aangebracht, die een tweede mal kan bevatten en die gedraaid kan worden.

component, de grondtoon, zou de gehoorde toonhoogte bepalen. Reeds in 1840 had Seebeck met een speciale sirene een geluid geproduceerd, waarvan de toonhoogte overeenkwam met een grondtoon, die in het spectrum niet of slechts heel zwak aanwezig was. Helmholtz loste deze paradox op, door aan te nemen dat door niet-lineaire processen in het oor de grondfrequentie werd versterkt als verschiltoon tussen hogere harmonischen.

Residu-effect

Schouten was in 1940 in staat met opto-akoestische signaaltechnieken definitief aan te tonen dat de toonhoogte van een complex signaal (bijvoorbeeld een periodieke puls) weliswaar overeenstemt met de frequentie van de grondtoon component, maar dat deze fysisch mag ontbreken. Een verzameling van hogere harmonischen, ontstaan door uitfilteren van de lagere harmonischen, brengt nog steeds een toonhoogtesensatie teweeg, corresponderend met de niet aanwezige grondcomponent. Dit werd door Schouten het residu-effect genoemd. Voor de verklaring van dit effect baseerde Schouten zich op de interne periodiciteit van het signaal. Het perifere gehoor kan immers worden opgevat als een reeks bandfilters, met nagenoeg constante Q, waarbij door samenwerking van een aantal hogere harmonischen binnen één filter de periodiciteit van het signaal behouden blijft. De residu-toonhoogte is van primair belang voor de perceptie van klinkers in spraak en de perceptie van muziekklanken. De artikelen van Schouten zijn wat onopgemerkt gebleven tot na de oorlog; zij waren n.l. gepubliceerd in de Verhandelingen van de Koninklijke Academie van Wetenschappen en dit blad werd in het buitenland nauwelijks gelezen. Bovendien werd de opvatting van Schouten inzake het residu-effect bestreden door een aantal Nederlandse onderzoekers. Zoals o.a. door G.A. Hoogland, die de klassieke theorie verdedigde dat een sinusvormig geluid essentieel was om een toon te horen met overeenkomstige toonhoogte, waarbij het waarnemen van een grondtoon bij een complex hogere harmonischen werd verklaard door niet-lineaire effecten in het oor: door vervorming zou de grondcomponent in het oor ontstaan.

Een belangrijke gebeurtenis vond plaats in Utrecht in 1955, toen de Amerikaanse onderzoeker J.C.R. Licklider een demonstratie op geluidband gaf van een overtuigend experiment. Aangetoond werd dat de waargenomen toonhoogte bij een residu van hogere harmonischen niet werd aangetast door laag-frequente, maskerende ruis, waardoor de (eventueel door vervorming ontstane) grondcomponent geheel werd gemaskeerd. R. Plomp herinnert zich heel duidelijk dat de demonstratie op deze geluidband zeer indrukwekkend was en eigenlijk afdoende was om voor eens en altijd het residu-effect te bevestigen. De onhoudbaarheid van een verklaring gebaseerd op een door vervorming ontstane grondcomponent werd bovendien aangetoond in de dissertatie van E. de Boer (1955). In zijn experimenten met inharmonisch samengestelde tonen, kon hij aantonen dat bij tonen van bijvoorbeeld 1430, 1630, 1830, 2030, 2230, 2430 en 2630 Hz er geen toon werd waargenomen van 200 Hz, de verschilfrequentie, maar van ca. 203 Hz. Dit effect kon helemaal niet worden verklaard uit niet-lineaire vervorming. Met het stellen van de residu-hypothese werd een duidelijk onderscheid gemaakt tussen



Verklaring van J.F. Schouten voor het residu-effect.

Links op een logaritmische frequentieschaal de excitatiekrommen, welke voor elke harmonische van de op het model werkende kracht (periodieke impuls) aangeven welke resonatoren (eigenfrequentie ν) in beweging worden gebracht en in welke mate. De ontstane beweging is hier voor een aantal resonatoren (relatieve eigenfrequentie $\frac{1}{2}$, $\frac{19}{20}$, 1, $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$, 4, $7\frac{1}{2}$, 8, $15\frac{1}{2}$ en 16) getekend. Men ziet dat in het gebied der hogere harmonischen, waar de excitatiekrommen sterk over elkaar vallen, de trilling van alle resonatoren duidelijk de periodiciteit van de grondfrequentie vertoont.

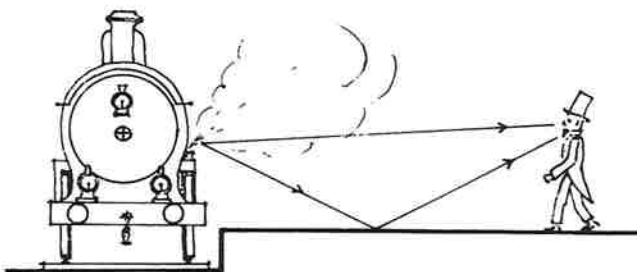
de frequentie-inhoud van een geluid en de toonhoogte daarvan. De toen gangbare toonhoogtetheorie was gebaseerd op het idee van periodiciteitsdetectie, volgens de hiervoor genoemde opvatting van Schouten: de auditieve filters zijn breed genoeg om een aantal hogere harmonischen te omvatten, waardoor een golfvorm ontstaat met een duidelijk herkenbare periodiciteit, overeenkomstig die van de grondcomponent. Hieruit kan "het oor" de toonhoogte afleiden. Tegen deze achtergronden zijn vele toonhoogte-experimenten verricht.

Fase-invloeden

In het kader van het onderzoek van stationaire, periodieke signalen is ook uitvoerig onderzoek verricht naar de invloed van de fase van signalen op de perceptie of toonhoogte. De eerste die zich daarmee bezig heeft gehouden is E. de Boer. Hij constateerde dat faseveranderingen waarneembaar zijn in een complexe toon, tenzij voldaan wordt aan de regel dat de fases van de componenten veranderen met een constant bedrag en/of een bedrag dat evenredig is met de frequentie van iedere component. In feite verandert de vorm van de omhullende van het complexe signaal dan niet als gevolg van het fasedraaien. Constante fasedraaiingen tasten de temporele fijnstructuur van het signaal aan, maar laten echter de omhullende onberoerd. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de faseregel er op lijkt te duiden dat subjectieve fase-effecten te maken hebben met detectie van de omhullende van een signaal. T.J.F. Buunen heeft het existentiegebied onderzocht voor waarneembare veranderingen in de fasedraaiingen in een driecomponent signaal en heeft een alternatieve verklaring gegeven voor De Boer's faseregels. Deze berust op de interne interactie van in het oor gegeneerde combinatietonen. Naar het ontstaan van deze combinatietonen in het binnenoer is door G.F. Smoorenburg uitvoerig onderzoek verricht.

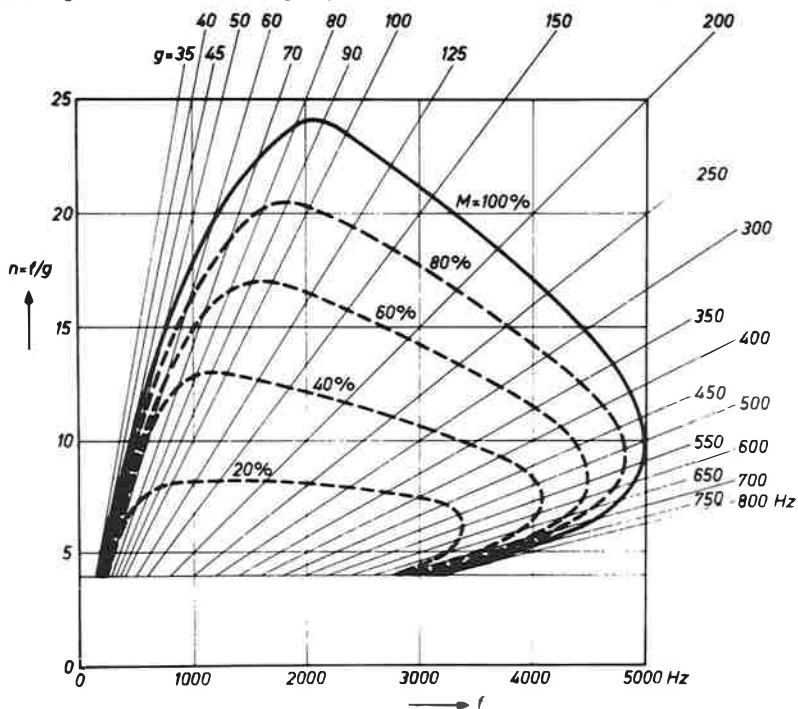
Herhalingston

F.A. Bilsen is in zijn werk weer een heel andere richting opgegaan. Hij heeft zich beziggehouden met de herhalingstonhoogte. In publikaties op het terrein van de akoestiek van het vrije veld, de zaalakoestiek en de psycho-akoestiek vindt men het toonhoogteverschijnsel beschreven, in het vervolg de herhalingston ge-



De herhalingston ontstaat door interferentie van het siggeluid van de locomotief en de reflectie van het perron.

noemd, dat optreedt wanneer een geluid en de herhaling daarvan (binnen ca. 30 millisecc.) tezamen worden beluisterd. Zo beschrijft bijvoorbeeld M. Minnaert dat de locomotief die nabij een perron stoom afblaast, een sissend geluid produceert waarin een zekere toon overheerst tengevolge van de reflectie van het geluid tegen het perron. Deze toon kan het beste worden waargenomen wanneer men naar de locomotief toeloopt. Dan bemerkt men dat de toonhoogte steeds lager wordt. Blinden maken gebruik van de herhalingstonen om voorwerpen te localiseren met behulp van gereflecteerd lawaai uit de omgeving. Ook in studio's en concertzalen kan het verschijnsel, gewenst of ongewenst, invloed hebben op de uiteindelijke kleur van spraak of muziek. Bilsen heeft dit verschijnsel uitvoerig onderzocht en hij kwam tot de conclusie dat het bijvoorbeeld een monoraal effect is dat ook de herhalingstonen het residu-effect vertoont en dat dus niet het gevolg is van vervorming in het gehoororgaan. Door omkering van de polariteit van de herhaling wordt een toonhoogtesprong omlaag of omhoog waargenomen.



Existentiegebied van de residu-ton van een complex van drie naburige harmonischen (frequentie van de middelste f , grondfrequentie g): de residu-ton wordt waargenomen in het gebied binnen de getrokken kromme. Maakt men de twee buitenste componenten zwakker (experimenteel: door de trilling f niet tot een diepte M 100% te moduleren, maar minder diep), dan wordt het existentiegebied kleiner.

Meer recent is door Bilsen en J. Raatgever onderzoek verricht aan de binaurale waarneming van witte ruis signalen met bepaalde binaurale faserelaties, verwant aan de herhalingstonen. Deze experimenten leverden interessante gegevens op over het binaurale interactiemechanisme.

Het dominantiegebied

Zowel op het Instituut voor Perceptie Onderzoek (IPO: R.J. Ritsma en B. Lopes Cardozo) als op het Instituut voor Zintuigfysiologie (IZF: Plomp) heeft men zich beziggehouden met de vraag welke harmonischen van een samengestelde toon nu eigenlijk de toonhoogte bepalen. In een reeks van experimenten waarbij bijvoorbeeld de frequentie van een deel der harmonischen iets werd verlaagd en tegelijk van het andere deel iets werd verhoogd, kon worden afgeleid dat de toonhoogte vooral bepaald wordt door de lage harmonischen (ongeveer de 3e, 4e en 5e harmonischen). Latere experimenten van Smoorenburg, die werkte met slechts twee harmonischen, onderstreepte nog eens de dominante rol van de lagere harmonischen. Dit was in conflict met de gangbare toonhoogtetheorie: de lage harmonischen zijn in principe auditief oplosbaar, terwijl het oorspronkelijk idee van Schouten was, dat toonhoogte wordt afgeleid uit de periodiciteit die ontstaat door de (hogere) harmonischen die niet door het gehoororgaan worden gescheiden. Deze experimentele bevindingen hebben belangrijk bijgedragen tot de huidige toonhoogtetheorie: bepalend is het spectrale patroon dat in het oor ontstaat als gevolg van een complexe toon, waarin juist de lagere harmonischen zich het duidelijkst manifesteren als herkenbare pieken. Dit patroon wordt natuurlijk bepaald door het frequentie-oplossend vermogen van het gehoororgaan, een onderwerp dat eveneens ruime aandacht van de Nederlandse onderzoekers heeft gekregen.

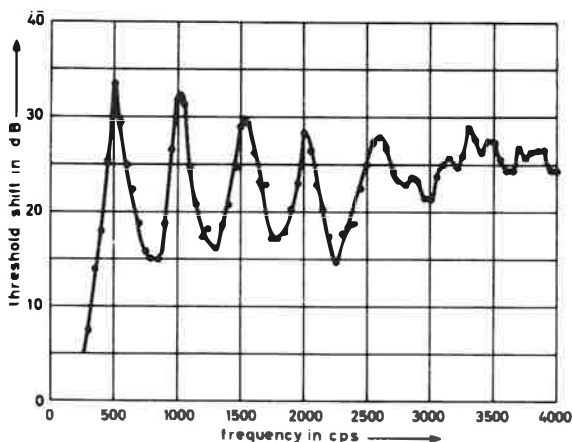
Het oor als frequentie-analysator

Een belangrijk overzicht van de stand van zaken rondom 1966 is te vinden in het proefschrift van Plomp "Experiments on tone perception". Het basisconcept van deze studies waren de ideeën van Helmholtz, namelijk hoe ziet het oor er uit als frequentie-analysator? Uit het vele wat gepresenteerd is in dit proefschrift belichten wij twee interessante experimenten. Het eerste experiment betrof het uittuisteren van tonen in een complex van harmonischen.

In het experiment had de proefpersoon een knop met drie keuzeposities tot zijn beschikking. In de middenpositie kon een toon met de vele harmonischen gehoord worden. In de andere keuzeposities werden zuivere tonen gepresenteerd, ofwel met dezelfde frequentie als één van de harmonischen van de complexe toon, ofwel met een frequentie die juist tussen deze harmonischen in lag. De proefpersoon kon – al luisterend – bepalen welke zuivere toon precies paste in de reeks van harmonischen. Uit de veelheid van materiaal kon worden geconcludeerd dat een normale persoon niet in staat is meer dan de eerste vijf tot acht harmonischen te onderscheiden. Deze grens komt ongeveer overeen met de kritieke bandbreedte. Dit wil zeggen dat harmonischen alleen kunnen worden onderscheiden als de frequentiescheiding groter is dan deze bandbreedte.

Later heeft H. Duifhuis experimenteel aangetoond dat het mogelijk is onder bepaalde stimuluscondities hogere harmonischen (bijvoorbeeld de 25e) "uit te horen", juist (en dat lijkt paradoxaal) als ze fysisch afwezig zijn. Hij verklaarde dit met het "korte-tijdsgedrag" van het gehoor.

Een tweede belangrijk experiment betrof het maskeringspatroon van een samengestelde toon. De capaciteit van het gehoororgaan om een samengestelde toon gedeeltelijk in deeltonen te ontbinden, kan ook nog op een andere wijze worden aangetoond. Er was in de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan naar de mate waarin een enkelvoudige toon door een andere toon of door bandruis werd gemaskeerd. Het resulterende maskeringspatroon, gedefinieerd als de drempelverschuiving in afhankelijkheid van de frequentie, wordt gewoonlijk beschouwd als een maat voor het verloop van het stimulatiepatroon langs het basilaire membraan. Het was daarom van belang ook het maskeringspatroon van een samengestelde toon te bepalen. De meting werd uitgevoerd door als functie van de frequentie de drempelverschuiving van een korte toonstoot te meten, die onmiddellijk na de samengestelde toon werd aangeboden. De samengestelde toon bestond uit de eerste twaalf harmonischen van 500 Hz. De samengestelde tonen werden in stoten van 200 millisecon. aangeboden, waarna de testtoon volgde met een duur van 20 millisecon. De metingen werden – evenals de vorige – met behulp van een hoofdtelefoon uitgevoerd. Uit de experimenten bleek dat de eerste vijf harmonischen als pieken in het maskeringspatroon herkenbaar blijven. Deze grens is ongeveer gelijk aan het aantal onderscheidbare harmonischen van een toon van 500 Hz, zoals gevonden in het eerste experiment.



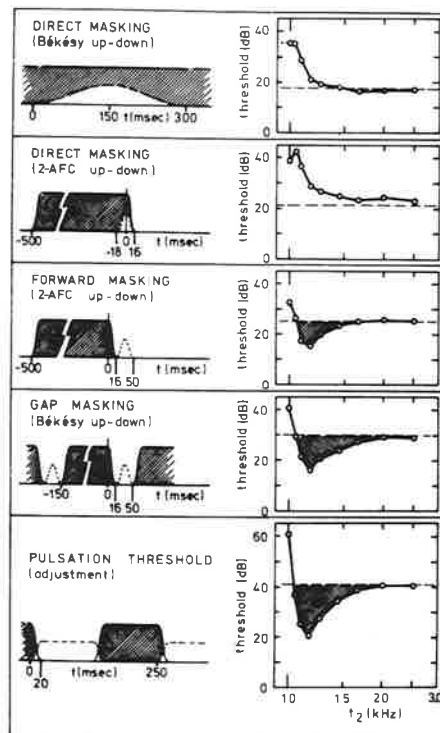
Maskering van een 20 msec toonpuls, aangeboden direct na een 200 msec. puls van een complexe toon bestaande uit de eerste 12 harmonischen van 500 Hz. De punten geven de gemiddelde waarden van vier proefpersonen.

De maskeringsproef bevestigt dus de hierbij beschreven resultaten betreffende de betekenis van de kritieke bandbreedte als maat voor het frequentie-analyserend vermogen van het gehoororgaan. Plomp heeft met deze studie belangrijk richtinggevend werk gedaan en zijn medewerkers, zoals T. Houtgast en G.F. Smoorenburg, hebben deze lijn voortgezet.

Spectrale opscherping

Houtgast heeft baanbrekend onderzoek gedaan naar het analyserend vermogen van het oor in het frequentiedomein. Hij heeft in een aantal NAG-publicaties kort samengevat wat zijn nieuwe inzichten waren en daarbij twee aspecten onderscheiden.

- Een versmearing van het akoestisch spectrum ten gevolge van de eindige bandbreedte van het auditieve filtersysteem, gevolgd door een



Onderdrukking van een toon van 1000 Hz bij 40 dB SL door een 20 dB sterkere toon f_2 , die varieert van 1000 tot 2500 Hz. In de linkerkolom stellen de gearceerde gebieden de stimulustoon voor en de gestreepte lijn de 1000 Hz testtoon. De rechterdiagrammen tonen de resultaten voor de vijf experimentele procedures.

- *opscherping* van de nog aanwezige contrasten, doordat zwakkere gedeelten in het spectrum konden worden onderdrukt door naastliggende sterkere gedeelten (zijdellingse onderdrukking).

Door het toepassen van verschillende meetmethoden kon de invloed van beide aspecten tot op zekere hoogte worden onderscheiden en in kaart gebracht. Op grond van vele meetgegevens, o.a. de originele pulsatiedrempel-methode kon hij aantonen dat de klassieke kritieke bandbreedte een te pessimistisch beeld geeft van de auditieve frequentie-analyse, omdat daar de opscherping ten gevolge van zijdelingse onderdrukking niet is in begrepen. Het frequentie-oplossend vermogen van het oor, bepalend voor de mate waarin fijne details in een frequentie-spectrum bewaard blijven, dient te worden gekarakteriseerd door een bandbreedte die een factor 2 smaller is dan de traditioneel gehanteerde waarde van de kritieke bandbreedte.

Cochleaire mechanica

E. de Boer en M.A. Viergever hebben zich recent beziggehouden met het mechanisch gedrag van de cochlea. Het was experimenteel aangetoond dat de beweging van het basilair membraan in een zekere frequentieselectiviteit plaats vindt. Aan de hand van een eenvoudig model, waarbij voor de cochlea een rechthoekige doos met een gedeeltelijk flexibel tussenschot werd genomen, kan mathematisch wel deze selectiviteit worden verklaard.

In de jaren zeventig werd het onderzoek naar de akoestische perceptie verlegd van fundamentele aspecten naar meer praktische aspecten. De onderzoekers houden zich dan meer bezig met de invloed van diverse factoren op de spraakverstaanbaarheid en dergelijke. Er zijn een aantal belangrijke onderzoeken gedaan in dit kader en wij noemen hier het onderzoek betreffende spraakverstaanbaarheid in ruimten en de relatie tussen slechthorendheid en het verstaan van spraak.

Spraakverstaanbaarheid in ruimten

Voor het evalueren van klachten ten aanzien van de verstaanbaarheid in een auditorium kan een akoesticus gebruik maken van een aantal meetmethoden, zoals het subjectief meten van de verstaanbaarheid met sprekers en luisteraars of het door fysische metingen vastleggen van bepaalde akoestische eigenschappen van de zaal. Deze laatste methode beperkt zich over het algemeen tot het bepalen van de nagalmtijd, de direct-indirect geluidverhouding en het spectrum van het stoornawaai. Met deze gegevens is het echter nauwelijks mogelijk een betrouwbare voorspelling van de te verwachten verstaanbaarheid te geven. Wel komen eventuele ongewenste eigenschappen van de zaal aan het licht en daarom heeft deze methode enige diagnostische waarde. Het meten van de verstaanbaarheid met sprekers en luisteraars geeft een veel directere en nauwkeurigere maat voor de verstaanbaarheid. Immers de grootheid waarin we direct geïnteresseerd zijn wordt gemeten. Over het algemeen wordt voor het meten gebruik gemaakt van spraakmateriaal met geen of een goed gedefinieerde redundantie, zoals bijvoorbeeld bij logatomen het geval is. Logatomen zijn meren-

deels betekenisloze woorden, die bestaan uit een medeklinker-klinker-medeklinker combinatie (het woord "logatomen" is overigens in Nederland door J.H. Janssen geïntroduceerd). Hierbij maakt men gebruik van lijsten met 50 verschillende woorden. Per lijst is er voor gezorgd dat de frequentie van voorkomen van de verschillende fonemen representatief is voor de taal. De methode is zeer tijdrovend.

Het ligt voor de hand dat gezocht is naar methoden waaraan de bezwaren van een lange meettijd niet kleven en waarbij de directheid van de subjectieve meting behouden blijft. Een belangrijke methode is de zogenaamde Articulatie-Index, waarbij de signaal-ruisverhouding in een aantal voor de spraak relevante frequentiebanden wordt beschouwd.

Een belangrijke uitwerking geeft voornoemde Janssen. Hij breidde de methode uit tot de nagalmvorming. Hij maakte onderscheid tussen een nuttig "spraak-signaal", in feite een integratie van de eerste 50 milliseconde van het geluid en het verdere nagalmgeluid. Als het nuttige geluid meer dan -8 dB boven het galmgeluid lag, bekeek hij alleen het nuttige geluid en vergeleek dit met het achtergrondniveau; in het andere geval werkte hij met het nagalmniveau en vergeleek dit eveneens met het achtergrondniveau. Hij leidde een factor af die de nagalmtijd en de verhouding tussen nuttig geluid en nagalmtijd verdisconteerde. Deze factor kon weer verwerkt worden in de berekening van de Articulatie-Index.

Peutz ontwikkelde de zogenaamde informatie-index methode of beter verstaanbaarheidverlies van medeklinkers. Uit experimenten bleek dat de verstaanbaarheid goed was uit te drukken in articulatieverlies van consonanten. Het articulatieverlies van de vocalen was nauwelijks afhankelijk van de nagalm in de ruimte. Een belangrijke conclusie was dat de logaritme van het articulatieverlies van consonanten recht evenredig was binnen de meetnauwkeurigheid aan de grootte die bepaald was op de wijze van de AI. Tevens bleek er een eenvoudig verband te bestaan met de signaal-ruisverhouding.

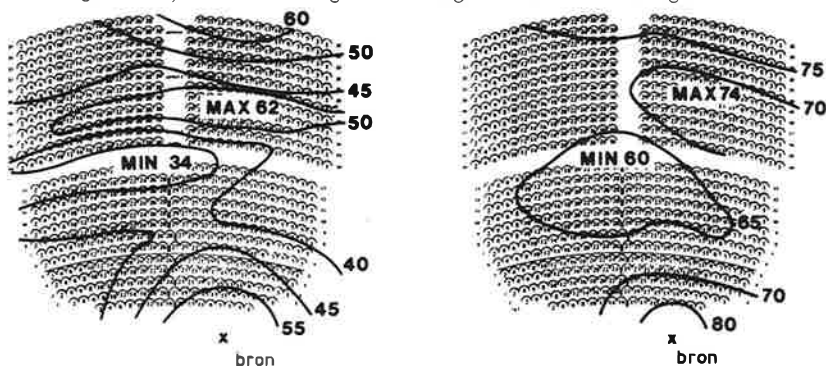
Spraaktransmissie-index

Om de spraakverstaanbaarheid in zalen te kunnen meten zonder met sprekers en luisteraars te werken is een nieuwe methode ontwikkeld, die men samenvat onder de naam spraaktransmissie-index (STI). De wel bekende nagalmcurve van een transmissieweg tussen bron en waarnemer geeft direct aan hoe een korte impuls van geluidenergie door de transmissieweg wordt vervaagd. Dit beschrijft volledig de onscherpte die door de transmissieweg wordt geïntroduceerd. Het blijkt echter in vele gevallen moeilijk om uit de nagalmcurve van een transmissieweg één getal af te leiden met een zekere voorspelkracht ten aanzien van de spraakverstaanbaarheid, vooral wanneer de nagalmcurve geen ideaal exponentieel verloop vertoont. Daarom is gezocht naar een andere wijze voor het kwantificeren van de mate van de "omhullende vervlakking" bij transmissie van dynamische signalen in een ruimte die misschien beter aansluit bij de invloed van de ruimte op de spraakverstaanbaarheid. Een alternatieve wijze voor het beschrijven van een verband tussen het intensiteitsverloop bij de bron en dat bij de waarnemer is door middel van een filterkarakteristiek: de omhullende bij de waarnemer is een gefilterde versie van de omhullende bij de bron. Daar juist de

snelle intensiteitsfluctuaties bij transmissie van een bron naar waarnemer wordt vervlakt, heeft het "omhullende filter" in het algemeen een laag doorlaatkarakter. Het is gemakkelijk te begrijpen dat het "omhullende filter", evenals de nagalm-curve, een vast gegeven is voor een bepaalde transmissieweg in een ruimte. Voor elk willekeurig signaal is de omhullende (in dit geval de intensiteit als functie van de tijd) bij de waarnemer bepaald door op de oorspronkelijke omhullende het omhullende filter toe te passen.

Houtgast en H.J.M. Steeneken hebben een meetmethode uitgewerkt om het omhullende filter af te leiden uit het effect van de transmissie op een sinusvormig gemoduleerd ruissignaal. De verzwakking van de oorspronkelijke modulatie-diepte tot de resulterende waarde M wordt uitgedrukt in de modulatietransmissie MT . Deze verzwakking als functie van de frequentie van de modulerende sinus geeft de modulatie transmissiefunctie, MTF . De MTF is dus het amplitudekarakteristiek van het bovengenoemde omhullende filter. Daarna is veel onderzoek gedaan in hoeverre het kwantificeren door de MTF van de versmerende invloed van een transmissieweg aansluit bij het effect van de transmissieweg op de spraakverstaanbaarheid.

De meting van de spraaktransmissie-index (STI) wordt uitgevoerd in de spraak-relevante frequentiegebieden met name in 7 octaafbanden met middenfrequenties vanaf 125 Hz tot 8 kHz. Voor elk van de aldus gefilterde signalen wordt de modulatie-transmissie als functie van de modulatie-frequentie F bepaald en wel in 14 1/3-octaaftappen van 0,63 Hz tot 12,5 Hz. De STI wordt dan berekend uit de 7 afzonderlijk verkregen MTF 's van de 7 octaafbanden. Deze methode heeft voor het meten van de spraakverstaanbaarheid in zalen aantrekkelijke kanten. Door met de STI -methode op regelmatige afstanden in een zaal de STI -waarde te bepalen is het mogelijk een plattegrond te tekenen met lijnen van gelijke verstaanbaarheid. Hieruit kan men dan weer conclusies trekken over de te nemen maatregelen, bijv. vermindering van stoorgeluiden en minder galm of echo's.



Iso-verstaanbaarheidscontouren gemeten in een schouwburg. De geluidbron werd geplaatst op 3 m afstand van het midden van de zaal. De linkertijger geeft de oorspronkelijke situatie weer, terwijl de rechterfiguur het resultaat toont na het aanbrengen van kaatsers tegen het plafond van de zaal en absorptiemateriaal in de toneelruimte.

Aangezien het uitwerken van de STI-methode nogal wat tijd kostte, heeft het IZF een draagbaar apparaat ontwikkeld waarmee men zalen zeer snel door kan meten en zo de spraakverstaanbaarheid kan evalueren. Dit apparaat is bekend onder de naam RASTI en dit is een aantrekkelijke methode geworden voor de zaalakoestiek. In samenwerking met de TPD is begonnen deze methode voor advieswerk te gebruiken. Een ander aspect is dat deze methode ook binnen de IEC zal worden genormaliseerd tot internationale standaard, zodat in de toekomst ieder land de spraakverstaanbaarheid in zalen op eenduidige manier kan bepalen.

Spraakverstaan en slechthorendheid

Plomp en medewerkers van de Vrije Universiteit Amsterdam hebben zich de laatste jaren voornamelijk bezig gehouden met de spraakverstaanbaarheid van slechthorenden bij stoorlawaai en nagalm. Veel slechthorenden klagen erover dat ze niet – of met grote moeite – in staat zijn een gesprek te volgen als dit gestoord wordt door omgevingslawaai. Plomp heeft een model ontworpen waarin een kromme wordt voorgesteld die kan worden beschouwd als een optelling van twee intensiteiten: een interne ruis die de verstaanbaarheidsdrempel in stilte representeert en een externe ruis die uiteraard toeneemt bij oplopend lawaai. Hij onderscheidde twee effecten van gehoorverlies die van invloed zijn op de verstaanbaarheidsdrempel:

- een gehoorverlies die als verzwakking kan worden opgevat
- een gehoorverlies vergelijkbaar met vervorming: het spraaksignaal is niet zwakker geworden maar wordt minder goed verstaan, bijv. door verlies in het oor van de hoge frequenties.

Plomp was in staat deze gehoorverliezen te verwerken in een eenvoudige formule, waarin hij de aard van de handicap in rekening kon brengen. Het aantrekkelijke van de methode is ook dat de effecten van nagalm kunnen worden teruggebracht tot een effect van signaal-ruisverhouding. Om deze nagalmeffecten te evalueren heeft hij ook met de reeds genoemde STI-methode gewerkt. A.J.H.M. Duquesnoy heeft deze ideeën verder uitgewerkt in zijn proefschrift. Hij beantwoordde de vraag in hoeverre de richting en het karakter van de stoorbron het gehoorverlies in lawaai bepalen; in een volgende studie heeft hij het STI-model uitgebreid tot het geval waarin de luisteraar ook een hoortoestel draagt.

R.J. Ritsma, A. Hoekstra, H.P. Wit en J.W. Horst hebben in dit kader recentelijk onderzoek verricht omtrent de relatie tussen de verminderde frequentieselectiviteit van het gehoor bij een slechthorende en het spraakverstaan.

Spraak

Het akoestisch verschijnsel spraak is in de afgelopen vijftig jaar met steeds grotere instrumentele inzet onderzocht. In de jaren voor de Tweede Wereldoorlog werden opname, registratie en weergave door de elektronica aanzienlijk verbeterd, terwijl de frequentie-analyse door de elektronische instrumentatie eigenlijk voor het eerst op een systematische wijze kon worden bedreven.

Na de oorlog werd met de inschakeling van de computer als instrument voor het

bewerken van het spraaksignaal de beslissende stap gezet op weg naar de moderne spraaktechnologie.

De ontwikkelingen in Nederland liepen aanvankelijk sterk achter bij die van de Amerikaanse Bell laboratoria, pioniers op dit gebied. Die achterstand is inmiddels sterk verkleind en op sommige deelgebieden is zelfs een kleine voorsprong waar te nemen.

Spraakanalyse

De frequentie-analyse, zoals die met de akoestische spectroscopie wordt uitgevoerd, is voor het spraakonderzoek van groot belang. In ons land werd een dergelijk apparaat ontwikkeld door H.G. Beljers op het Natuurkundig Laboratorium van Philips. De kern ervan werd gevormd door een bank van 88 LC-filters, waarvan de resonantiefrequenties op halve-toonsafstanden lagen. Het bestreken frequentiegebied was dat van de piano. Het in ieder filter ontvangen vermogen werd elektromechanisch afgetast en zichtbaar gemaakt op een oscilloscoop. Na de oorlog werd dit apparaat door D.J.H. Admiraal op het Instituut voor Perceptie Onderzoek (IPO) gemoderniseerd, waardoor het mogelijk werd snel in-de-tijd-variërend geluid spectraal af te beelden, wat voor spraak belangrijk is. Een akoestische spectroscopie van deze makelij is op het Evoluon geplaatst om de bezoeker een direct beeld te geven van de frequentiesamenstelling van allerlei geluid, in het bijzonder dat van zijn eigen stem.

Spraaksynthese

Spraaksynthese is de tegenhanger van spraakanalyse. Het gaat erom langs instrumentele weg spraakklanken voort te brengen. Het nut ervan is primair dat men allerlei theoretische modellen over de spraakproductie kan verifiëren, met als toekomstige toepassingen de leesmachine voor blinden en de spraakoutput van de computer.

Twee wegen worden bewandeld. De oudste weg is de zuiver akoestische, welke twee eeuwen geleden door Von Kempelen werd ingeslagen door het ontwerpen van een "spreekmachine". In Nederland werden in de jaren zestig door Franssen enkele modellen van het menselijk spraakkanaal gebouwd, waarmee op het Evoluon synthetische klinkers ten gehore worden gebracht. Van meer principieel belang is het door H. Mol ontwikkelde Twin Tube model, dat een eenvoudige en theoretisch overzichtelijke benadering opleverde voor de klank van Nederlandse klinkers.

De tweede weg is de elektronische. In het begin van de jaren zestig werd door A. Cohen en J. 't Hart een elektronisch systeem voor het voortbrengen van geluid, het filteren en vooral het op de juiste wijze in de tijd dimensioneren ervan ontwikkeld. Zij maakten handig gebruik van de eigenschappen van het menselijk gehoor. Hun resultaat, zoals o.a. gedemonstreerd op een grammofoonplaatje als bijvoegsel van het Philips Technisch tijdschrift, kon met glans de toets met de beste spraaksynthese uit het buitenland doorstaan. Een bezwaar van hun systeem was, dat ieder woord op het gehoor moest worden afgeregeld. In de opeenvolgende generaties van hun spraaksynthese werd dit steeds verder geautomatiseerd, wat bereikt werd door verder inschakelen van de digitale

technieken en de computer. Dit werk heeft uiteindelijk geleid tot een door L.F. Willems en L.L.M. Vogten ontwikkeld systeem, dat op commando spraak van behoorlijke kwaliteit ten gehore brengt. Dit systeem is verwerkt in de Philips spraakchip MEA 8000, die redelijk verstaanbare spraak produceert op basis van slechts 1000 bit/sec.

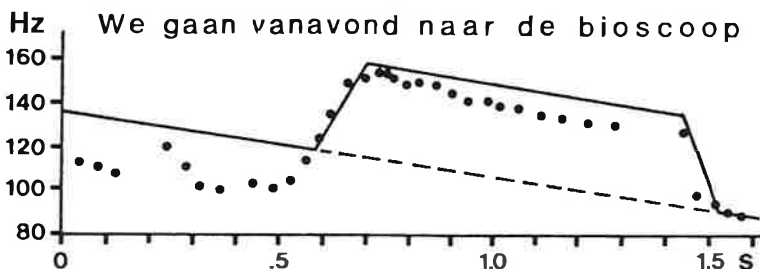
Automatische woordherkenning

Een machine die in staat zou zijn om het gesproken woord te verstaan is aanzienlijk gecompliceerder dan science fiction schrijvers zich realiseren. In veel landen, o.a. de Verenigde Staten, de Sovjet-Unie, Engeland, Frankrijk en Duitsland wordt veel overheids- en particulier geld besteed aan research op dit gebied. In Nederland heeft men de mogelijkheden echter nuchter ingeschat.

Bij het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO (L.C.W. Pols e.a.) werd de relatie onderzocht tussen klinterspectrum en klinkertimbre, waarbij bleek dat timbreverschillen goed overeenkwamen met spectrale verschillen op grond van 1/3-octaafanalyse. Dit vormde de aanzet tot automatische klinkerherkenning. Uitgaande van 1/3-octaafband-spectra bleek het mogelijk door optimale data-reductie, klinkers te beschrijven als punten in een ruimte van een beperkte dimensionaliteit. Door de positie van een willekeurig ingesproken klinker te vergelijken met de gemiddelde posities van een aantal klinkers bleek een zeer hoge graad van juiste herkenning mogelijk te zijn. Pols e.a. deden een volgende stap door ook medeklinkers en enkele woorden te betrekken in de herkenning. Als een klinker weergegeven kon worden als een punt in een klinkerruimte, dan kon een heel woord als opeenvolging van een aantal klanken weergegeven worden als een set punten in een ruimte. Ieder woord werd dan voorgesteld door een spoor in die ruimte en woordherkenning werd teruggebracht tot patroonherkenning. Uitgaande van deze grondgedachte werd een apparaat ontwikkeld dat een beperkt aantal (17) woorden uitgesproken door verschillende sprekers met een redelijke precisie kan herkennen. Dit vormde een belangrijke bijdrage tot de eerste schreden op weg naar automatische spraakherkenning; een onderwerp dat thans ook internationaal volop in de belangstelling staat.

Toonhoogte en intonatie

Bij het telefoneren worden frequenties onder 300 Hz niet weergegeven, terwijl de toonhoogte van de spraak moeiteloos wordt gehoord, getuige het feit dat de intonatie van het gesprokene uitstekend doorkomt. Dit is een belangrijk feit, waarvan iedere theorie over de menselijke toonhoogtegewaarwording reenschap moet geven. In het bijzonder zal de kwantitatieve uitwerking van zo'n theorie een algoritme moeten opleveren, waarmee de toonhoogte die door het gehoor aan een geluid zonder grondtoon wordt toegekend, nauwkeurig wordt voorspeld. Onder leiding van Schouten zagen de onderzoekers op het IPO in Eindhoven de noodzaak om een dergelijk algoritme te vinden, niet alleen terwille van de theorie, maar ook vanwege het grote belang van de toonhoogte in spraak. Met een bewerkelijke vergelijkingsmethode werd op het gehoor de toonhoogte en het verloop ervan in een aantal Nederlandse zinnen bepaald. Daaruit bleek hoe snel de toonhoogte soms verandert in een klinker. Voor het meten van de



Het "hoed"-patroon bij intonatie van korte woorden.

toonhoogte in een kortdurend fragmentje van een klinker werd een computerprogramma ontwikkeld door Duifhuis en Willems, dat met redelijke betrouwbaarheid de gehoorde toonhoogte voorspelt.

De systematische bestudering van het verloop van de toonhoogte in spraak leverde een aantal verrassende uitkomsten op. Voor het verkrijgen van goed verstaanbare en natuurlijk klinkende, synthetische spraak was dit werk van eminent belang. Dit intonatie onderzoek is uitgegroeid tot een Nederlandse specialiteit, die later o.a. in de Verenigde Staten en Frankrijk is overgenomen. De centrale figuur, 't Hart, ontving hiervoor in 1981 de wetenschappelijke prijs van het Prins Bernhardfonds.

Muzikale akoestiek

Hoewel het vak muzikale akoestiek nooit als officieel vakgebied op enige onderwijsinstelling in Nederland is erkend, is er toch wel een zekere traditie op dit gebied opgebouwd; voornamelijk door hobbyisten, die vanuit hun akoestische achtergrond iets trachten te doorgronden van de muziek.

Stemming

Voor de oorlog werd binnen de Geluidstichting vrij veel aandacht besteed aan de normalisatie van de frequentie van de stemtoon a'. Cruciale vraag hierbij: moet deze toon op 435 Hz of op 440 Hz genormaliseerd worden? De Geluidstichting – met name Fokker – wilde deze kwestie met behulp van de belangrijkste Nederlandse musici regelen, omdat er hierover nogal wat verwarring bestond. Uiteindelijk heeft men zich aangesloten bij de internationale normalisatie, die de stemtoon had vastgesteld op 440 Hz.

Fokker werd bekend door zijn fervente verdediging van het 31-toons systeem. Misschien is het gewenst voor de wat minder in muzikale zaken onderlegde akoesticus een korte toelichting te geven:

Het is bekend dat de stemming van de tonen binnen een octaaf, bijvoorbeeld op een klavierinstrument, niet werkelijk zuiver kunnen zijn. Het octaaf wordt verdeeld in 12 halve tonen, waarbij de stemming zo gekozen wordt dat het mogelijk is om in alle toonsoorten te spelen.

Om dit te bereiken wordt er water in de wijn gedaan wat betreft de intervallen. Zo hebben de frequenties van tonen van een zuivere kwint een verhouding van precies 2:3. Men kan alle tonen verkrijgen door een stapeling van kwinten en deze terug te brengen binnen één octaaf door deling met factoren 2. Het probleem hierbij is dat een stapeling van 12 kwinten niet uitkomt op een stapeling van 7 octaven. Neemt men bijvoorbeeld als uitgangspunt de toon as: de 12e kwint (gis) is immers de enharmonische gelijke toon van de 7e octaaf-toon van het uitgangspunt (as). Het verschil tussen deze tonen (gis-as) is het Pythagorese komma of bedraagt ca. $1/8$ van een hele toonafstand. Een oplossing hiervoor is om deze kwinten $1/96$ ($1/12 \times 1/8$ toon) van een Pythagorese hele toonafstand te kort te nemen. Kortom: de tonen van een toetseninstrument zijn daarom bewust niet zuiver gekozen om dit dilemma te omzeilen. Een andere oplossing ontwierp Christiaan Huygens destijds al. Hij suggereerde het octaaf te verdelen in 31 tonen, zodat in alle combinaties zuivere intervallen verkregen konden worden. Fokker baseerde hierop zijn 31-toons orgel dat nog steeds staat opgesteld in het Teylers Museum te Haarlem. Hij was een enthousiast beoefenaar van de harmonieënleer. Zijn boekje "Rekenkundige bespiegelingen der muziek" verscheen in 1944. Op een bijna mathematische manier behandelde hij hierin de diverse theorieën van de stemming.

W. Kok borduurde verder op dit thema door een "elektrophonisch" orgel te construeren waarmee tonen continu verstembaar waren. Hij beschreef dit instrument in zijn proefschrift (1955).

Kerkklokken

Een mijlpaal in de muzikale akoestiek is het onderzoek van E.W. van Heuven, die de uitkomsten hiervan neerlegde in zijn proefschrift "Acoustical measurements of church-bells and carillons" (1948). Tijdens de Tweede Wereldoorlog waren er veel klokken door de Duitsers gevorderd en daardoor rees er na de oorlog de behoefte om de overgebleven klokken te inventariseren. Gelukkig waren ze niet allemaal omgesmolten en lagen er nog veel klokken opgeslagen. Zo was er een unieke gelegenheid ontstaan om deze verzameling te onderzoeken, hetgeen anders niet mogelijk geweest zou zijn wanneer ze nog gewoon in de kerktorens waren opgehangen.

In deze dissertatie werd getracht met behulp van moderne, althans voor die tijd, elektro-akoestische hulpmiddelen het verband te bepalen tussen de fysische gegevens (waardoor de klank wordt bepaald) en de mechanische, geometrische en materiaaleigenschappen van klokken. Duidelijk blijkt dat de optredende karakteristieke klankverschillen in hoofdzaak worden bepaald door de eigenfrequenties van de klokken en door de vermindering van de geluidintensiteit als functie van de tijd na de aanslag. Ofschoon de profielen van deze klokken in hoge mate gelijkwaardig zijn, bestaan er toch grote verschillen in timbre.

Aangezien betrekkelijk geringe vormveranderingen relatief grote verschillen in de eigenfrequentie veroorzaken, is het niet mogelijk – binnen zo kleine toleranties – een klok onmiddellijk door gieten de juiste vorm te geven die nodig is om een klank te verkrijgen, die aan hoge muzikale eisen voldoet. Daartoe voerde Van Heuven een onderzoek uit hoe de eigenfrequenties van een klok kunnen veran-

deren tengevolge van relatief geringe profielveranderingen op verschillende plaatsen. Deze resultaten zouden dan weer gebruikt kunnen worden om een klok, die door gieten ongeveer in de juiste vorm is gebracht, onder bepaalde omstandigheden geheel zuiver te stemmen door het verwijderen van berekenbare hoeveelheden materiaal op aan te geven plaatsen.

Voor ons is wellicht nog een aspect interessant. Stalen klokken bleken altijd minder goed dan bronzen. Waarom was niet geheel duidelijk. Van Heuven constateerde dat de stralingsweerstand of – zoals hij het noemt – akoestische demping van stalen klokken veel groter is dan bij bronzen. Bij een gelijke toonhoogte zou een stalen klok veel groter moeten zijn dan een bronzen in verband met de verschillende elasticiteitsmodulussen en soortelijke massa's. Aangezien de golfvorm van een stalen klok dan beter "past" bij de golflengte van lucht bij die bepaalde frequentie, zal deze nu uitstekend afstralen, veel beter dan de overeenkomstige bronzen klok met een kleinere golfvorm. Kortom: het akoestisch rendement van een stalen klok is groter dan die van een bronzen klok van gelijke toonhoogte. Door het aanbrengen van perforaties kan de akoestische demping van stalen klokken worden verlaagd, zodat de uitklinktijd sterk wordt verlengd.

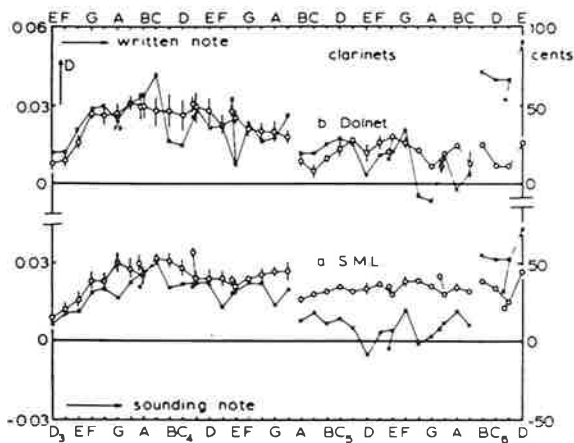
Een interessante zaak komt uitvoerig aan de orde in NAG-publicatie nr. 7 van J.F. Schouten en J. 't Hart over de slagtoon van klokken. Zij stelden dat voor degene die een beierende klok beluistert het een merkwaardige belevenis is de aandacht op deze partialen te scherpen en deze zodoende per slag opnieuw te horen. De kleine terts is vrij opvallend en daalt tussen de slagen slechts weinig in luidtijd. De grondtoon is moeilijker, omdat men zo laag moet zoeken en omdat deze bijna continu doordreunt. Het horen van de duodeciem is een muzikale verrassing omdat zij zóveel hoger ligt en ijler klinkt dan de slagtoon, dat men zich nauwelijks kan voorstellen dat ze werkelijk behoort tot het totale klokkegeluid. Het viel Rayleigh in de vorige eeuw al op dat geen der eigenfrequenties van de door hem bestudeerde klokken overeen kwam met de toonhoogte van de slagtoon. Dit is sindsdien door vele onderzoekers bevestigd en wij worden dus met een hoogst merkwaardig verschijnsel geconfronteerd: de slagtoon komt niet als partiaal in het fysisch spectrum voor. Schouten kwam tot de volgende conclusie: de slagtoon kan worden gezien als de residu van de sterke partialen, t.w. het octaaf, het duodeciem en het dubbel octaaf met de frequentieverhouding van 2, 3 en 4. Deze drie tonen vormen tezamen een residu dat hoorbaar zou zijn als een toon met een lage frequentie. Van Heuven kon echter de harmonische ligging van octaaf, duodeciem en dubbeloctaaf niet bevestigen en hij voelde meer voor de hypothese dat de slagtoon door een wisselwerking tussen klok en klepel wordt veroorzaakt.

André Lehr, de bekende klokkenkenner van de fa. Kon. Eijsbouts wimpelde overigens deze hypothese af. Zijn artikel in genoemde NAG-publicatie over de hedendaagse Nederlandse klokgietkunst is overigens zeer de moeite waard. In een later artikel pleitte hij voor het ontwikkelen van mathematische berekeningsmethoden, zoals de eindige elementen, teneinde de eigenfrequenties van klokken te kunnen bepalen.

Blaasinstrumenten

Een heel aparte plaats in het akoestisch onderzoek neemt het proefschrift van C.J. Nederveen in. Buiten alle officiële onderzoekprogramma's om, verrichtte hij – min of meer in zijn vrije tijd – studies over de akoestiek van blaasinstrumenten. Hij schreef daarover zijn bekende dissertatie "Acoustical aspects of woodwind instruments" (1969) die nog steeds wordt beschouwd als één van de standaardwerken op dit gebied en veel wordt geciteerd in de literatuur.

Wat uiterlijke verschijningsvorm betreft vertonen muziekinstrumenten veel overeenkomsten met beeldhouwwerken. Dit roept de suggestie op dat de constructie ervan overwegend een gevoelsaangelegenheid is en te vergelijken is met de schepping van een kunstwerk. Men dient zich echter te realiseren dat niet het bouwen, maar het bespelen van een instrument de kunstprestatie is en dat een muziekinstrument voor de musicus een hulpmiddel is dat dezelfde functie heeft als verf en penselen voor de schilder. Al deze hulpmiddelen moeten volgens stringente regels gemaakt worden, anders voldoen zij niet. De regels voor het construeren van muziekinstrumenten zijn in de loop der eeuwen ontwikkeld door een proces van uitproberen. Het meest bevredigende model werd in grote aantallen nagebouwd. Heden ten dage gebeurt dat nog steeds. Nederveen toonde aan dat de stemming – vooral wat betreft blaasinstrumenten – in het geheel geen kunst is, maar dat dit gewoon te berekenen is. Hij concludeerde dat de theorie een grote steun kan zijn bij het ontwerpen van houtblaasinstrumenten. Bij dit onderzoek werden een aantal houtblaasinstrumenten nauwkeurig opgemeten en de hieruit te verwachten frequenties berekend. Daarna werden deze instrumenten een aantal malen geblazen en de geproduceerde frequenties gemeten. Theorie en experiment bleken echter niet met elkaar in tegenspraak te



Stemmingsafwijkingen voor twee klarinetten, 0 gemeten, x berekend.

zijn, ondanks de onzekere factor van het aanblaasmechanisme. Een goed voorbeeld van theoretische steun is bijvoorbeeld de opgave om op een bestaand instrument een gat te verplaatsen, te veranderen of aan de hand van metingen opnieuw bij te boren. Dit soort lokale wijzigingen zijn goed te voorspellen. Een andere opvallende conclusie was dat de boring zo min mogelijk moet afwijken van een zuiver cilindrische of zuiver konische. Bij konische instrumenten mag de afknotting van de kegel niet te groot zijn anders is het einde van het tweede register te hoog, zoals zo vaak het geval is op hobo's en sopraansaxofoons. Dit laatste was een veel gehoorde klacht van saxofonisten en Nederveen kon met zijn berekeningen ook aangeven waar de oorzaak lag.

HUIDIGE STAND VAN ZAKEN, ENKELE KANTTEKENINGEN

Het is uiteraard niet eenvoudig een beeld te geven van de huidige situatie van de akoestiek in Nederland. Wellicht is dit ook niet nodig omdat de akoestisch onderlegde lezer zelf wel een indruk heeft van deze zaken. Bovendien is het buiten het bestek van dit boekje, dat immers meer naar het verleden terugblijkt, dan dat het een toekomstvisie wil geven. Toch is het nuttig enige kanttekeningen te maken. De akoestiek is gedurende 50 jaar sterk uitgewaaid. Nieuwe specialismen zijn er in de loop van de jaren bijgekomen, andere daarentegen zijn op de achtergrond geraakt.

Is alles in 1934 begonnen als een tweemanszaakje (Zwikker en Boot), met steun van enige fervente anti-lawaai activisten (o.a. Fokker, Tegelberg en Tjaden) en met Philips op het gebied van de elektro-akoestiek als ondersteuning vanuit het bedrijfsleven, thans is de akoestiek in Nederland uitgegroeid tot een bloeiende tak van technologie en onderzoek. Het oude ideaal van Fokker voor de Geluidstichting, n.l. het bestuderen van het geluid in al zijn facetten, is wel degelijk gerealiseerd. Er is bijna geen specialisme in de akoestiek, waarop geen deskundigheid in Nederland te vinden is.

Er heeft een enorme schaalvergroting plaats gevonden. Telde de ledenlijst van de Geluidstichting jarenlang ongeveer 50 personen, het huidige ledenbestand is gegroeid tot ca. 350 leden met ca. 40 donateurs.

Bovendien zijn er nog velen geen lid van het NAG, die toch bij de overheid en het bedrijfsleven in de akoestiek werkzaam zijn. Zij beoefenen daar soms full-time, soms als deelbaan, het vak van lawaai-beheersing. Eveneens zijn er in de randgebieden tallozen werkzaam, zoals werktuigbouwkundig constructeurs, planologen en bouwkundigen, die toch enige akoestische kennis moeten hebben voor een verantwoorde uitoefening van hun beroep.

Akoestische adviesbureaus

Na de Tweede Wereldoorlog was de akoestische adviespraktijk vrijwel geheel in handen van TNO en Philips. De Technisch Fysische Dienst TNO-TH had sterke bindingen met de TH-Delft en kon vanuit deze positie de resultaten van wetenschappelijk onderzoek in praktijk brengen. In deze jaren was de adviespraktijk pionierswerk. Zonder directe wetenschappelijke ondersteuning was het vaak zeer moeilijk akoestische adviezen tot een goed einde te brengen. Er kwam echter in de jaren zestig langzaam een einde aan deze pionierstijd. De kennis van bijvoorbeeld de geluidisolatie en -absorptie was zodanig opgebouwd en gedocumenteerd, dat de particuliere adviesbureaus de werkzaamheden in dit vlak konden overnemen. Na een enigszins aarzelende start breidden de adviesbureaus zich sterk uit in de jaren zeventig. Door de economische groei, de belangstelling voor milieuvraagstukken en de komst van de Wet Geluidhinder kwam de

adviespraktijk zelfs in een stroomversnelling. Er werden talloze mensen agetrokken bij de overheid ter controle van de naleving van deze wet en de industrie was zodoende genoodzaakt meer aandacht te besteden aan lawaai-beheersing. De bedrijven vroegen assistentie binnen het kader van de Wet Geluidhinder bij hun lawaai-problemen. Veel bestemmingsplannen moesten worden getoetst ten aanzien van verkeers- en industriegeluid. Zonerings rondom industrieterreinen vroegen de aandacht. Kortom er was volop werk; de adviesbureaus namen in aantal en omvang toe!

Hun werk heeft zich sterk verbreed en verdiept. Door de komst van elektronische rekentuigen en professionele meetapparatuur, kunnen metingen heden ten dage snel en efficiënt worden uitgevoerd en verwerkt. Daardoor hebben de bureaus zich ten aanzien van routine berekeningen een sterke positie veroverd.

Veel bureaus zijn actief geworden in de randgebieden bouw-fysica en energie-beheer en kunnen door hun veelzijdigheid en flexibiliteit inspringen op de eisen van efficiënt projectmanagement.

Binnen het ledenbestand van het NAG is de groep akoestici uit de adviesbureaus zeer goed vertegenwoordigd: 20% van de leden is werkzaam bij dergelijke bureaus.

Onderwijs

Zwikker begon in 1929 als eerste hoogleraar in Nederland het vak akoestiek op academisch niveau te doceren. Deze Delftse leerstoel, nu bezet door A.J. Berkhout, is in feite nog steeds de enige, volwaardige leerstoel in de fysische (niet-perceptieve!) akoestiek.

Het Nederlands Akoestisch Genootschap streeft al een aantal jaren naar een verbreding van dit onderwijs op academisch niveau. Zeer waarschijnlijk zal binnenkort een (bijzondere!) leerstoel voor geluidarm construeren aan de Technische Hogeschool Eindhoven worden ingesteld.

Daarnaast wordt het vak bouwakoestiek wel geïntegreerd onderwezen in het vak bouw-fysica aan studenten bouwkunde en civiele techniek (P.A. de Lange in Eindhoven, A.C. Verhoeven in Delft).

Heel anders ligt de zaak in de auditieve perceptie. Kennis omtrent de werking van het gehoor blijft de grondslag van de audiologie, die vooral aan de Medische Faculteiten wordt gedoceerd. Door het ruime aantal leerstoelen hierin krijgt het onderwijs en onderzoek in de auditieve perceptie relatief veel kansen.

Een zwak punt blijft het akoestisch onderwijs op HTS-niveau. Dit is er nauwelijks en kan worden beschouwd als één van de oorzaken dat in de industrie de kennis van de lawaai-beheersing en de geluidisolatie zo beperkt is.

Ook binnen deze kring wordt dit echter gezien als een tekort. Cursussen van particuliere instanties proberen deze lacune op te vullen en er wordt druk gebruik gemaakt van deze mogelijkheden. De Hogere Cursus Akoestiek in Antwerpen neemt hiertussen een eervolle plaats in.



De huidige stand van de akoestiek, een vakgebied met veel facetten.

Recente wetenschappelijke ontwikkelingen

Het diagram op deze bladzijde geeft een indruk hoe de akoestiek als samenhangend geheel kan worden ontleed in vakgebieden en specialismen.

Jarenlang werd de akoestiek beheerst door de toegepaste akoestiek en met name door de bouw- en zaalakoestiek en later de lawaai-beheersing. De laatste jaren zien wij twee andere vakgebieden een voortrekkersrol vervullen, n.l. de akoestische meettechnieken en de akoestische technologie. Zij bepalen nu het beeld en het is de moeite waard ze nader toe te lichten.

Akoestisch instrumentarium

Alle vakgebieden die reeds de revue gepasseerd hebben, maken gebruik van hulpmiddelen, "gereedschappen", hetzij in de vorm van meetinstrumenten en transducenten, hetzij in de vorm van rekenuigen en meer in het algemeen digitale technieken. De meetinstrumenten zijn voornamelijk gericht op het vakkundig meten van essentiële grootheden en versnellingen in relevante frequentiegebieden. De ontwikkeling van dit soort meettransducenten is een specialisme op zich geworden. Er zijn grote vorderingen op dit gebied geboekt, o.a. gevoelige microfoons met een breed frequentiebereik. Door de ontwikkeling van de moderne elektronica zijn ook de frequentie-analysemethoden met behulp van de "real-time" parallel-analysatoren en "Fast-Fourier" soft- en hardware-componenten sterk naar voren gekomen.

Het meten, analyseren en verwerken van akoestische grootheden heeft een stormachtige ontwikkeling doorgemaakt in de laatste tien jaar. Het is thans mogelijk veel meer metingen in een kort tijdsbestek uit te voeren dan voorheen,

veel betrouwbaarder resultaten te verkrijgen en bovendien veel meer met de meetresultaten te doen. Wellicht is hier sprake van een doorbraak, aangezien de moderne meettechnieken zoveel nieuw materiaal opleveren dat de theoretici hierdoor ook weer nieuwe inspiratie opdoen. Men kan zeggen dat in de negentiende en in de eerste helft van de twintigste eeuw de theorie op de voorgrond stond, hoewel er toch veel gemeten is (vaak primitief door gebrek aan gereedschap!), maar dat in de laatste tijd het experiment het steeds meer wint van de theorie bij het verkrijgen van nieuwe inzichten.

De digitale computersystemen worden meer en meer ingeschakeld in het akoestisch onderzoek. De computer kan gebruikt worden voor opslag, als besturingsorgaan (coördinatie van metingen) en als signaalverwerkingsinstrument. Voorbeelden van dit laatste gebruik zijn de spectrale technieken en de correlatietechnieken, waarbij men twee signalen met betrekking tot hun samenhang kan vergelijken.

Andere toepassingen van de computer zijn nog: digitaal genereren van testsignalen; digitale simulatie van geluidvelden; corrigeren voor het dynamisch gedrag van zend- en ontvangapparatuur; conditiebewaking bij machines en tenslotte kan de computer ook gebruikt worden als databank: allerlei meetresultaten kan men zo op handzame wijze opslaan. Dit geeft niet alleen perspectieven voor een veel doelmatiger aanpak van de problemen, maar tevens opent dit de mogelijkheid van onderzoek in tot dusverre hopeloze gevallen. Zoals bijvoorbeeld de situatie



De akoestische antenne Syntakan.

van een woongebied in de omgeving van een groot industriecomplex, waar men wel kon vaststellen hoe groot de totale geluidsterkte was, maar waar identificatie van de belangrijkste geluidbronnen praktisch onmogelijk was.

Een instrument dat de laatste tijd veel opgang maakt in verband met bronidentificatie is het akoestisch antennesysteem "Syntakan". Dit is een 77 m lang stelsel van 32 microfoons gekoppeld aan een minicomputersysteem. Het heeft een frequentiebereik dat de octaafbanden 125, 250, 500 en 1000 Hz omvat en een hoekresolutie van 1,5 graad binnen een totale openingshoek van 60 graden. Met dit systeem kan men in moeilijke praktijksituaties ter plaatse de richting van de belangrijkste geluidbronnen en hun bijdragen tot het geluidveld vaststellen, om aan de hand daarvan eventuele maatregelen te treffen. Een interessante toepassing van dit instrument is het identificeren van geluidbronnen aan een windturbine.

De ontwikkelingen op het gebied van de akoestische meettechnieken hebben een enorme ommezwaai teweeg gebracht in de beoefening van het vakgebied akoestiek. Konden vroeger alleen de gespecialiseerde laboratoria - zoals van Philips of TNO - geavanceerde metingen uitvoeren, dit kan nu ook geschieden door instanties die wat minder ervaring op het gebied van geluid hebben, zoals geluidhinderdiensten en niet-akoestisch gespecialiseerde ingenieurbureaus. De bediening van de apparatuur vereist niet zo'n grondige kennis van de werking van de akoestische transducenten of de elektronica. Dit feit heeft veel bijgedragen tot de verbreding van het vak lawaai-beheersing zoals bijvoorbeeld bij het vaststellen van geluidsniveaus rondom industrieën en op de arbeidsplaats. Er moet echter voor gewaarschuwd worden dat de interpretatie van de vaak vele meetresultaten een probleem blijft, waarbij de deskundige nog steeds onmisbaar is.

Akoestische technologie

In de jaren zeventig is er een sterke opkomst waar te nemen van het nuttig gebruik van geluid voor inspectie en onderzoek. Reeds in de beginjaren van de Geluidstichting waren de ultrasone trillingen een magisch begrip. Met dit soort trillingen kon van alles worden bereikt: men gebruikte het voor de meest wonderlijke zaken: brood bakken, chocolade mengen, enz.

In de jaren zestig wordt dit vakgebied min of meer volwassen. Het niet-destructieve onderzoek met behulp van ultrasone trillingen wordt uitgebreid toegepast in de industrie, o.a. bij het keuren van lasverbindingen, enz.

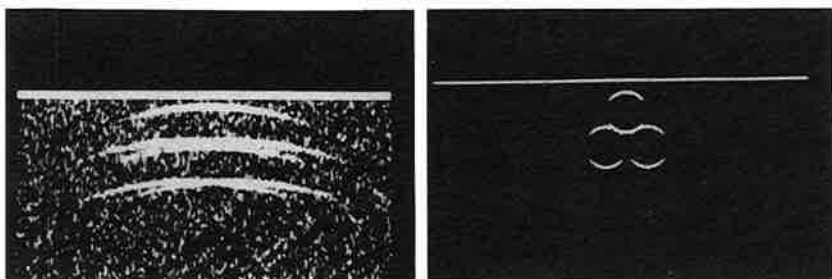
Ook de sonar voor opsporing van doelen onderwater krijgt door zijn verbeterde elektronica meer mogelijkheden. Het gebruik van ultrasone trillingen in het medisch onderzoek komt op gang aan het einde van de jaren zestig. Met name bij de Erasmus Universiteit wordt dan baanbrekend onderzoek verricht. Met de komst van Berkhout is een belangrijke vernieuwing op gang gekomen in de vorm van het beoefenen van echo-akoestiek. Zoals Berkhout het zelf stelt: "echo-akoestiek is kijken met geluid". In de echo-akoestische technieken wordt het te onderzoeken medium "belicht" met geluidgolven. De informatie over de mechanische eigenschappen van het medium zit verborgen in het teruggekaatste geluid: de echo's. Het verschil tussen een uitgezonden en een teruggekaatst signaal wordt bepaald

door de voortplanting van de geluidgolven door het medium (d.w.z. door voortplantingssnelheid en demping), door eventuele reflecties en door lokale afwijkingen ten opzichte van gemiddelde eigenschappen. De bedoeling is die lokale afwijkingen af te beelden. Men wil zowel de plaats als de aard van de afwijkingen vaststellen. Uit de aankomsttijden en amplitude van de teruggekaatste pulsen kan informatie over de inwendige structuur van het medium worden verkregen.

In deze echo-akoestische methode speelt de digitale dataverwerking een steeds belangrijker rol. Vooral bij de onderzoekgroep "Akoestische Technieken" (de voortzetting van de vroegere werkgroep "Akoestiek" der TH-Delft) is en wordt veel werk verricht op het gebied van synthetisch focuseren.

Bij conventionele systemen tracht men uit een beperkte apertuur een zo scherp mogelijke "bundel" het medium in te sturen. Men kan dit bereiken door een aantal methoden, bijv. een sferische kromming van de transducent of een elektronische focusering met behulp van een vertragingsslijn aan ieder element van de transducent.

In een synthetisch focuserend systeem wordt eerst met behulp van één klein element een grote apertuur afgetast. In de praktijk maakt men hiertoe gebruik van een lineair array bestaande uit een groot aantal kleine elementen. Ieder element wordt sequentieel als zender en als ontvanger aangeschakeld. De geregistreerde echo-signalen worden nu niet direct weergegeven op een beeldscherm, maar opgeslagen in een groot digitaal geheugen. Pas als alle datapunten zijn opgeslagen, wordt met behulp van een speciale computer de totale inhoud van het digitale geheugen gefocuseerd. Het eindresultaat van deze bewerking is een twee-dimensionale weergave, opgenomen met een synthetisch opgebouwde, grote apertuur. Aangezien bovendien ieder punt van het gefocuseerde resultaat zo goed mogelijk gecompenseerd is voor de geluidvoortplanting, toont het uiteindelijk beeld een bijzonder hoog scheidend vermogen.



Voorbeeld van een echo-akoestische afbeelding van een drietal buizen begraven in een zandlaag. De linkerfiguur geeft het resultaat met conventionele apparatuur (transducent met smalle bundel die dwars over de buizen is verplaatst). De rechterfiguur is het resultaat van golf frontextrapolatie.

Deze technieken zijn buitengewoon waardevol gebleken zowel in medische, seismische, als niet-destructieve toepassingen.

Door het verder exploiteren van deze synthetische focusseringstechnieken en het ontwerpen van speciale akoestische sensoren is de Delftse groep erin geslaagd om met een indrukwekkend programma voor de dag te komen.

Besluit

Nu we aan het einde **zijn van onze tocht** door het verleden en aangekomen zijn in het heden, is het **nuttig nog eens terug** te keren naar het uitgangspunt van de Geluidstichting. De **eerste activiteiten** waren gewijd aan het bestrijden van lawaai. Hoeveel is **daarvan terecht gekomen**?

Wij menen te bespeuren dat veel akoestici vrij terughoudend zijn op dit punt. In tegenstelling tot de huidige, stormachtige ontwikkeling op allerlei vakgebieden (zoals elektro-akoestiek, auditieve perceptie en – zoals uitgebreid behandeld in de **vorige paragrafen – de akoestische technologie en de signaalverwerking**) is er sprake van stabilisatie op het gebied van de **lawaai-beheersing**.

Er is hier ter lande sprake van een decennium met veel activiteit op geluidgebied: **te beginnen met het rapport "Geluidhinder" van de Gezondheidsraad eind 1971**, daarna de instelling van de Interdepartementale Commissie Geluidhinder, het wetsontwerp Geluidhinder gevolgd door de Wet Geluidhinder, de Circulaires, de Algemene Maatregelen van Bestuur, de vele ICG-onderzoeksrapporten en de voorbereiding van de Arbo-wetgeving.

Er gaan nu **echter stemmen op die pleiten voor een matiging, voor verlegging van de prioriteiten van milieuhygiënische maatregelen naar economische groei**.

De feiten staan echter vast: **veel gehoorschade en geluidhinder op de werkplek en veel hinder in de woonsituatie door weg- en luchtverkeer en door de industrie**.

Tot nu toe lag het accent op wettelijke maatregelen en op lawaai-bestrijding achteraf. In de toekomst moeten wij ons vooral concentreren op lawaai-preventie en geluidvermindering aan de bron door geluidarm ontwerpen.

De vooruitgang is moeilijk, de mentaliteit ligt duidelijk dwars: niemand maakt lawaai – het is altijd iemand anders; stille machines zijn moeilijk verkoopbaar – "lawaai = kracht"; niemand wenst voor stilte te betalen, wel voor geluid.

Bovendien schieten de gebruikelijke, economische wetten tekort: kosten/baten-analyses geven geen uitsluitsel, omdat de kosten voor een andere partij zijn dan de baten.

Toch moeten wij bedenken dat de afgelopen tien jaren heel wat vooruitgang hebben gebracht; denk aan de grote industriële installaties in de procesindustrie: kleppen, fornuizen, compressoren, enz. Andere voorbeelden: vrachtauto's, autobussen, straallvliegtuigen, elektromotoren en bromfietsen. Maar daardoor is onze samenleving helaas nog niet merkbaar stiller geworden. Daarvoor is blijkbaar meer nodig: prioriteitsverschuiving naar geluidarm construeren, want dat is vaak de enige, werkelijke oplossing van het geluidprobleem. Dit kan ondersteund worden door de moderne meet-, dataverwerking- en rekentechnieken. Ook hier zijn de ervaringen opgedaan in andere takken van de akoestiek weer broodnodig. Kortom: de cirkel is dan weer gesloten!

Ook op andere gebieden zien wij dat oude vakgebieden nieuwe impulsen krijgen door kruisbestuiving van moderne specialismen. Wij denken hierbij aan de toepassing van seismische technieken in de zaalakoestiek, zoals pulscompressie-technieken voor het verbeteren van reflectogrammen van zalen. Omgekeerd blijkt het oude, vertrouwde "coïncidentie-effect" uit de bouwakoestiek nuttig bij de beschrijving van het seismisch gedrag van dunne aardlagen. In de toekomst zal de nadruk moeten liggen op een integratie van specialismen, wil de akoestiek verder bloeien zoals in de afgelopen vijftig jaar.

