

Sound & Science: Digital Histories

Archives NAG: Publicatie No. 10 van de Geluidstichting, Dubois, A. [1937], Lawaai en lawaai bestrijding, Delft: Geluidstichting, 1937

<https://acoustics.mpiwg-berlin.mpg.de/text/publicatie-no-10-van-de-geluidstichting>



Scan licensed under: [CC BY-SA 3.0 DE](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/) | Max Planck Institute for the History of Science

LAWAAI
EN
LAWAAIBESTRIJDING

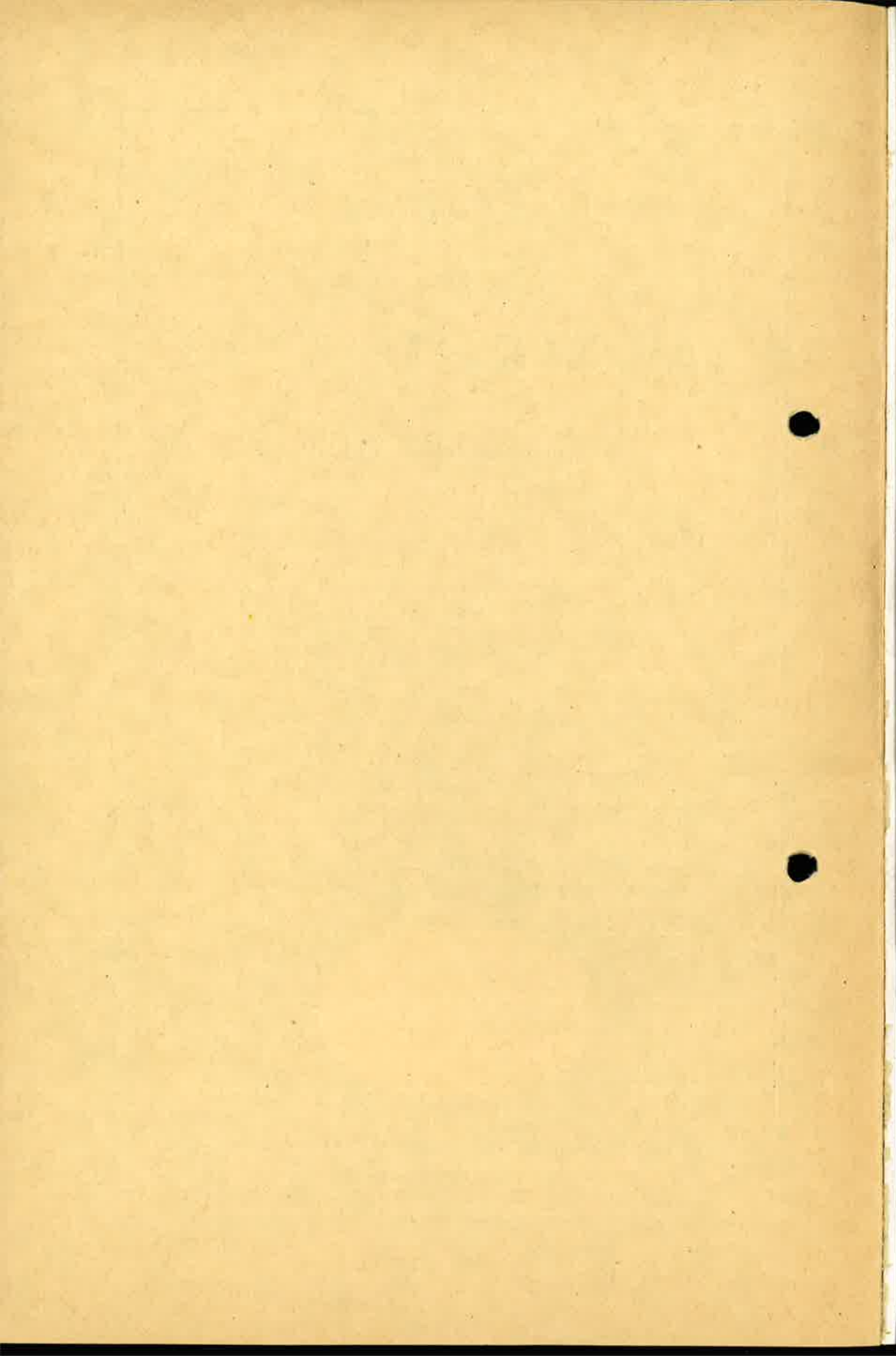
DOOR Ir. A. DUBOIS

**OVERDRUK UIT
HET TIJDSCHRIFT
BOUWBEDRIJF**

**UITGAVE VAN DE HINDERWETVEREENIGING
IN SAMENWERKING MET DE GELUIDSTICHTING**

PUBLICATIE No. *10*
VAN DE
GELUIDSTICHTING
DELFT - HOLLAND

MOORMAN'S PERIODIEKE PERS N.V., DEN HAAG 1937



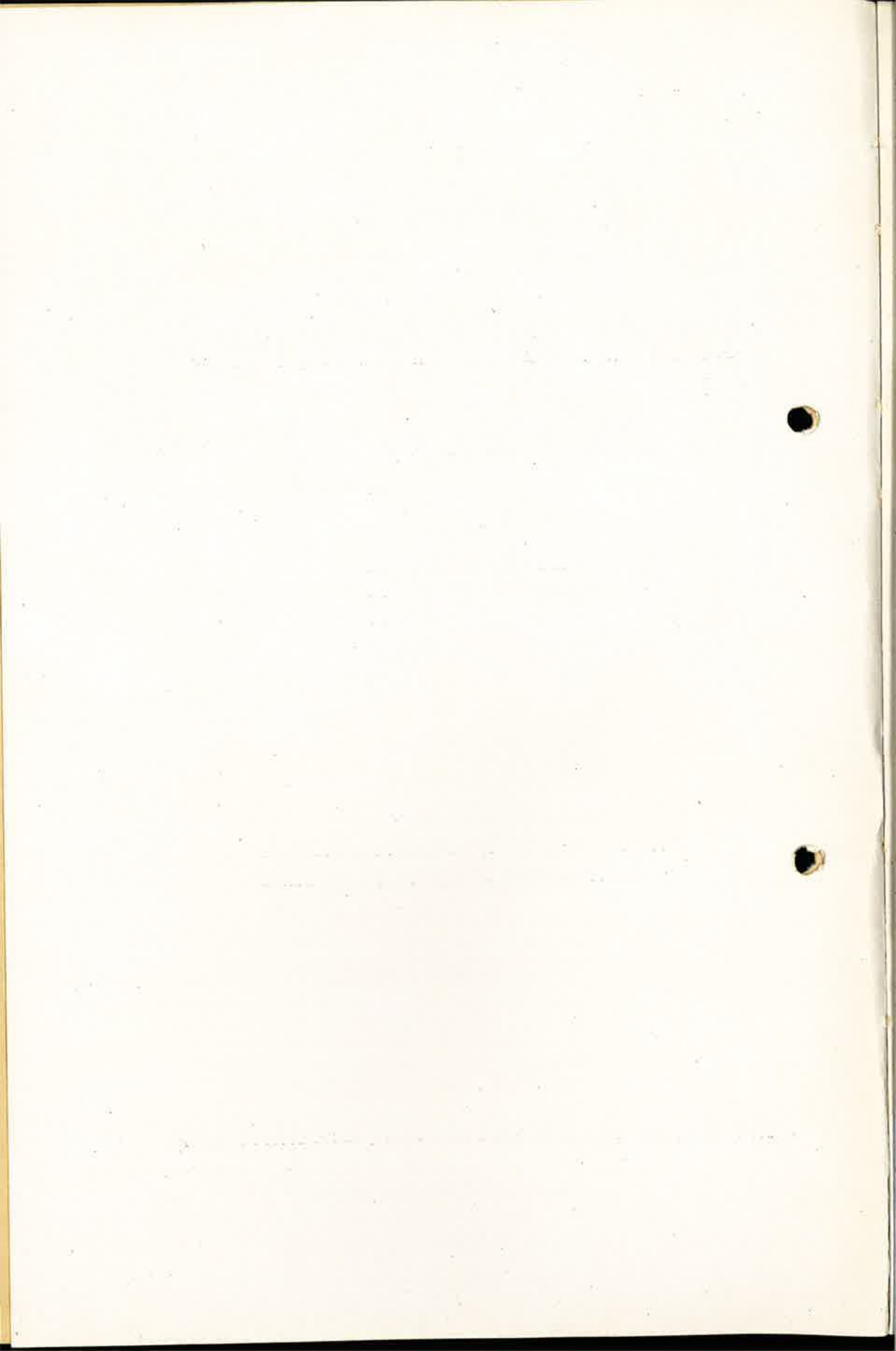
LAWAAI
EN
LAWAAIBESTRIJDING

DOOR Ir. A. DUBOIS

**OVERDRUK UIT
HET TIJDSCHRIFT
BOUWBEDRIJF**

**UITGAVE VAN DE HINDERWETVEREENIGING
IN SAMENWERKING MET DE GELUIDSTICHTING**

MOORMAN'S PERIODIEKE PERS N.V., DEN HAAG 1937



INLEIDING.

Het behoeft wel nauwelijks betoog, dat in den tegenwoordigen tijd het lawaai dusdanig in omvang is toegenomen, dat allerwege de noodzakelijkheid gevoeld wordt stelling te nemen tegen dit steeds voortschrijdende euvel. In ons land is echter tot nu toe weinig op dit gebied gedaan, hetgeen wel voornamelijk hieraan moet worden toegeschreven, dat de wijze waarop men zich in dit aanvankelijk ingewikkeld schijnend terrein een weg moet banen, nog weinig bekendheid heeft verworven.

Het lijkt dus de moeite waard om, ons spiegelend aan wat men op dit gebied in het buitenland tot stand bracht, zich een indruk te vormen, hoe dit vraagstuk zou moeten worden aangevat en wat met systematische toepassing der elders verkregen resultaten zou zijn aan te vangen.

Alvorens hiertoe echter over te gaan, lijkt het niet ondienstig enkele begrippen, zoowel op physisch als op physiologisch gebied, nader vast te stellen, teneinde zoowel in staat te zijn den omvang van het probleem scherper te begrenzen als de verschillende verschijnselen beter te doorzien.

Allereerst dient dan begonnen te worden met te trachten een definitie van „lawaai” te geven.

Onder lawaai zou ik willen verstaan elke geluidsindruk, die het oor ontvangt tegen, of zelfs onafhankelijk van den wil, van den betrokken persoon. Hieronder is dus zoowel begrepen, wat wij in het dagelijksch leven onder lawaai verstaan, zooals straatlawaai, veroorzaakt door alle soorten van verkeersmiddelen, fabrieken, natuurverschijnselen, enz., als lawaai in huizen voortgebracht door mechanische en electriche huishoudapparaten, door loopen, schreeuwen, zingen, muziek maken in welken vorm ook.

Teneinde nu met vrucht het lawaai-probleem te bestudeeren, dienen wij dit wel onder te verdeelen. De volgende verdeling lijkt hiervoor het doeltreffendst.

I. Korte behandeling van het begrip trilling, toegepast op de geluidstrilling.

II. De werking van het oor.

III. De geluidsbronnen en de aard der trillingen, die ze uitzenden.

IV. De numerieke grootheden der uitgezonden energieën en de meetmethoden.

V. Enkele meetresultaten.

VI. Toepassing in Nederland van de in het buitenland verkregen resultaten en het aangeven van enkele wegen, waarlangs een doelmatige lawaai-bestrijding zich zou dienen te bewegen.

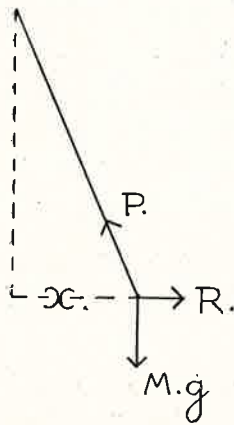
I. KORTE BEHANDELING VAN HET BEGRIP TRILLING, TOEGEPAST OP GELUIDSTRILLING.

Zoals algemeen bekend verondersteld mag worden, bestaat het „hooren” hierin, dat wij door middel van ons oor in staat zijn evenwichtsverstoringen in het ons omringende medium waar te nemen. Als regel zal dit medium gas (lucht) zijn; bij uitzondering een vloeistof (water). Wij zullen hieronder in Hoofdstuk II zien, dat niet alle evenwichtsverstoringen van het medium door middel van het oor waarneembaar zijn, doch dat deze evenwichtsverstoringen aan zeer bepaalde, zij het dan ook ruime, eischen moeten voldoen.

In het algemeen kan men zeggen, dat het medium op een bepaalde manier in trilling moet worden gebracht en dat deze trillingen ons moeten treffen. Als regel zullen deze trillingen z.g. sinusoïdale trillingen zijn, d.w.z., dat de grootte van de uitwijking van de trillende luchtdeeltjes uit hun middenstand achtereenvolgens bij een volledig heen en weer gaande beweging gelijk is aan den afstand van een met een eenparige snelheid een cirkelomtrek doorlopend punt tot een bepaalde middellijn van dezen cirkelomtrek. De lengte van deze middellijn moet gelijk zijn aan de dubbele amplitude (uitwijking) van de trilling. Het beginpunt der meting ligt dan voor het trillende deeltje bij zijn middenstand en voor het punt, dat langs den cirkelomtrek beweegt, bij het snijpunt van middellijn en cirkel.

Formule voor de sinusoïdale trilling.

Deze sinusoïdale trilling komt nu niet alleen op acoustisch gebied voor, doch in alle trillingsverschijnselen over het geheele gebied der physica. Wanneer wij de formule neerschrijven, waaraan een trilling voldoet, hangt het van de keuze der coëfficiënten af, of ze een acoustisch-, een mechanische, een electricische trilling, enz. voorstelt. De formule moge hier aan de hand van een voorbeeld afgeleid worden.



Afb. 1.

Men denke zich (zie afb. 1) een slinger, opgehangen aan een vast punt, met de massa geconcentreerd in het zwaartepunt. Zij nu de lengte van den slinger l , de massa M , de spanning in den ophangdraad P .

Nemen wij voorts aan een wrijvingskracht, b.v. den weerstand van de lucht, welke wij ons evenredig met de snelheid denken en beschouwen we een oogenblik, waarop de uitwijking van den slinger uit den middenstand gelijk is aan x .

Wij vinden dan voor de krachten, welke in het zwaartepunt van den slinger werken, de volgende grootheden: 1. de zwaartekracht, 2. de spanning in den draad, 3. de wrijving.

Wanneer wij nu aannemen slechts met kleine slingerhoeken te doen te hebben, dan mogen wij de uitwijking x beschouwen als een rechte lijn. Beschouwen wij nu de ontbondenen van de diverse krachten in de x -richting, dan dienen we alle snelheden en versnellingen in de x -richting te beschouwen.

In deze richting wordt dan de invloed van de zwaartekracht $M \frac{d^2x}{dt^2}$

De invloed van de spanning van het touw, welke spanning voor kleine uitwijkingen gelijk is aan de grootte van de zwaartekracht, is $Mg \frac{x}{l}$. De kracht, uitgeoefend door de wrijving $= R \frac{dx}{dt}$. Deze kracht is tegengesteld gericht aan de richting van beweging.

Wij vinden dus nu voor de som van deze drie krachten 0, zoodat hieruit volgt de formule:

$$M \frac{d^2x}{dt^2} = - Mg \frac{x}{l} - R \frac{dx}{dt}.$$

Stellen wij in deze formule eenvoudigheidshalve $\frac{g}{l} = n^2$ en $\frac{R}{M} = k$, dan gaat de vergelijking over in de volgende differentiaalvergelijking:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} + n^2x = 0.$$

De oplossing van deze vergelijking krijgt men nu door $x = ye^{-\frac{1}{2}kt}$ te stellen, waardoor zij overgaat in:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + (n^2 - \frac{1}{4}k^2)y = 0.$$

Indien nu de wrijving niet al te groot is en de coëfficiënt van y positief blijft ($k < 2n$), mogen we $n^2 - \frac{1}{4}k^2 = n'^2$ stellen en gaat de vergelijking over in:

$$y = A \cos. n't + B \sin. n't.$$

Vullen we deze waarde in in de vergelijking voor x , dan vinden we:

$$x = e^{-\frac{1}{2}kt} (A \cos. n't + B \sin. n't)$$

zijnde de algemeene formule voor een gedempte trilling.

Wenschen we nu een sinusoidale trilling te bestudeeren, dan dienen we de coëfficiënten zoodanig vast te stellen, dat hierdoor het sinusoidale karakter van de trilling tot uiting komt. Hiertoe kiezen we voor:

$$\begin{array}{l} A \text{ de waarde } a \cos. \varepsilon \\ B \text{ " " } -a \sin. \varepsilon \end{array}$$

De formule gaat dan over in:

$$x = a e^{-\frac{1}{2}kt} \cos. (n't + \varepsilon)$$

We zien hieruit, dat voor den tijd $t = 0$ de coëfficiënt $ae^{-\frac{1}{2}kt} = a$ wordt, zijnde de maximale amplitude, welke het systeem bereiken kan. Neemt t toe, dan wordt de coëfficiënt geleidelijk $= 0$. De trilling is dus gedempt.

Den hoek $n't + \varepsilon$ noemt men de phase van de trilling. Het valt gemakkelijk in te zien, dat $\cos. (n't + \varepsilon)$ voor veelvouden van $t = \frac{2\pi}{n'}$ steeds dezelfde waarde krijgt.

Men noemt nu $\frac{2\pi}{n'}$ de periode van de trilling en hare omgekeerde waarde

$$N = \frac{n'}{2\pi}$$

het trillingsgetal of de frequentie van de trilling.

Wenschen we nu trillingen uit andere gebieden te bestudeeren, dan dienen we er voor te zorgen, dat voor de hierboven genoemde massa's, wrijvingen, enz. equivalente grootheden uit dit andere gebied in de plaats treden.

Onderstaand lijstje moge enkele van deze grootheden aangeven.

Electrisch.	Mechanisch.	Acoustisch.
Electromotorische kracht	Mech. kracht.	druk per cm^2
stroom	snelheid	snelheid v/d trillende deeltjes
weerstand (Ohmsche)	wrijvingscoëfficiënt	absorptie
capaciteit	1 gedeeld door de elast. modulus	*) acoustische cap. middenstof
zelfinductie	massa	*) acoustische zelf-inductie

*) Deze waarden zijn zeer samengesteld en varieeren sterk, naar mate van den aard van het trillende lichaam, b.v. een gas, een cylinder, een opening in een wand, enz., enz.

Het spreekt nu van zelf, dat het trillingsgeval op alle mogelijke wijzen is te compliceeren. Niet alleen geldt dit voor de enkelvoudige trillingen, trillingen met 1 of meerdere graden van vrijheid, doch ook voor deeltjes, welke vrij, dan wel gedwongen trillen onder invloed van een uitwendige periodiek werkende kracht.

Men kan zich meerdere van zulke krachten, met een verschillende periode werkend, voorstellen.

Men noemt dit soort trillingen „samengesteld”.

Bestaat een trilling uit een grondtrilling met b.v. een frequentie a en bovendien uit trillingen van frequentie 2a, 3a, enz., dan noemt men deze laatste „boventonen”. Zij komen zeer veel voor in de acoustiek, aangezien zuivere sinustonen zeldzaam zijn.

Zij geven, mits in goede verhouding, aanleiding tot het rijker en voller maken van de toon. Zij zijn oorzaak van het z.g. „timbre”.

Er bestaat nu een belangrijke wet: de Wet van Fourier, welke zegt, dat elke periodisch weerkerende functie te ontbinden is in

een sinus-functie, ieder met respectievelijk de tweevoudige; drievoudige, enz., frequentie van de grondfrequentie. Van deze eigenschap wordt veelvuldig bij de toonanalyse gebruik gemaakt.

Voortplanting van een trilling.

Hebben we hierboven de vergelijking van een trillend punt afgeleid, van belang is ook een inzicht te krijgen in het voortplanten van een trilling.

Zoals bekend kan een trilling zich op twee wijzen voortplanten, n.l. zoodanig, dat de trillende deeltjes bewegen in een richting loodrecht op de voortplantingsrichting (b.v. golven van een wateroppervlak). Men noemt deze trilling *transversaal*.

Een anderen vorm heeft men, wanneer de deeltjes trillen in de voortplantingsrichting. Men noemt deze trilling *longitudinaal*.

Dit is de vorm van de geluidstrilling.

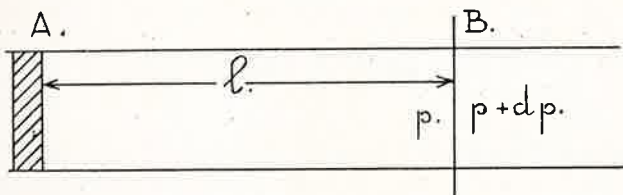
In dit geval wordt dus de lucht tijdens de trilling plaatselijk verdicht en verdund.

Indien nu geen storende invloeden als kaatsende oppervlakken, enz. aanwezig zijn, breidt een geluidstrilling zich bolvormig uit. Vlakke golven bestaan bij benadering in een punt op grooten afstand van de geluidsbron, of wel in buizen (orgelpijpen e.d.)

De snelheid, waarmede de trilling zich voortplant, noemt men de *voortplantingssnelheid* van de trilling. Voor lucht bedraagt zij: $33130 + 61 \theta$ cm/sec., waarin θ de temperatuur in graden Celsius is.

Noemt men nu deze voortplantingssnelheid c en de frequentie van de trilling f , dan is:

$$\frac{c}{f} = \lambda \text{ de golflengte van de trilling.}$$



Afb. 2.

Beschouwen we een vlakke golf, welke in een lange buis (afb. 2), die aan het einde open is, wordt voortgebracht. Dit kan b.v. gebeuren door een zuiger zoodanig te bewegen, dat ze een sinusvormige verstoring geeft.

Het is nu duidelijk, dat deze verstoring zich voortplant met een snelheid c . De vraag is nu, wat is na een zekeren tijd de toestand in een punt op een afstand l van het nulpunt gelegen. Het antwoord luidt hierop: deze is gelijk aan den toestand bij het nulpunt $\frac{l}{c}$ sec. vroeger.

Is dus de snelheid der luchtdeeltjes, resp. van den zuiger, gegeven door $v \sin. \omega t$, dan is deze in B $v_B = V \sin. (\omega t - \frac{l}{c})$; waarin $\omega = 2 \pi f$.

Noemen we voorts $\frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda} = k$. dan is

$$v_B = V \sin (\omega t - k l)$$

De oogenblikkelijke waarde der versnelling van de deeltjes is:

$$\frac{d v_B}{d t} = V \omega \cos (\omega t - k l)$$

De oogenblikkelijke waarde van den druk volgt uit de navolgende beschouwing.

Nemen we in de buis een laagje met een dikte dl en zij het drukverschil links en rechts dp . Noemen we de gemiddelde dichtheid van de lucht ρ en de oppervlakte van de buis O dan is de massa $O\rho dl$.

De resulteerende kracht is opp. \times druk $= O dp$ en dus de versnelling in de richting van de buis =

$$\frac{\text{kracht}}{\text{massa}} = - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dl} \cdot \left(- \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dl} \right)$$

Stellen we deze gelijk aan de hierboven gevonden waarde, dan volgt hieruit:

$$dp = - \rho \omega V \cos (\omega t - k l) dl.$$

Door integratie volgt hieruit: $p_B = \rho eV \sin (wt - kl) = \rho \omega v_B$ of wel omgezet in effectieve waarden: $P_B = \rho c V_B$

Golf-energie en Intensiteit.

Het is thans eenvoudig de energie in de golf te berekenen.

Hiertoe bedenken we, dat in de buis de golf met een snelheid van c cm per sec. voortschrijdt. Per sec. doordringt de geluidsenergie dus een volume Oc .

De zuiger nu, waar de druk in phase is met de snelheid, geeft per sec. een hoeveelheid energie af van OPV , waarin P en V resp. de effectieve waarden van druk en snelheid zijn. (Energie = kracht \times weg en snelheid = weg per sec. afgelegd).

De energie per cm^3 of wel de energiedichtheid is nu:

$$E = \frac{OVP}{cO} = \frac{VP}{c}$$

of wel, daar hierboven is gevonden, dat $P = \rho cV$ en dus $V = \frac{P}{\rho c}$,

de energiedichtheid in $E = \frac{P^2}{\rho c^2}$.

We vinden dus hier het belangrijke resultaat, dat de energiedichtheid evenredig is met het kwadraat van den effectieven druk ter plaatse.

Veelal wordt nu gebruik gemaakt van het begrip intensiteit. Onder

intensiteit wordt verstaan de hoeveelheid energie, welke per sec. door een eenheid van doorsnede stroomt. Aangezien de voortplantings-snelheid gelijk c is, is

$$I = \frac{p^2}{\rho c^2} \times c = \frac{p^2}{\rho c}.$$

Het spreekt van zelf, dat de formules voor de dichtheid en de intensiteit ook slaan op een bolvormig zich uitbreidende golf, mits men het beschouwde volume element maar klein genoeg neemt om de golf daar ter plaatse als vlakke golf aan te zien.

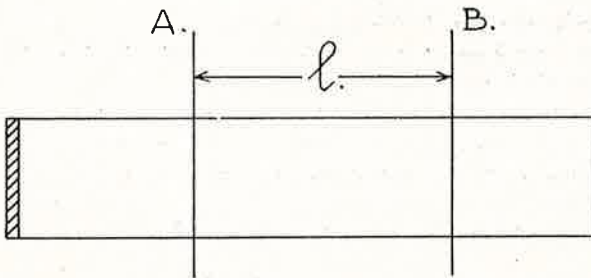
Staan de Golven.

Een enkel woord moge nog gewijd worden aan de „staande golven”.

Deze ontstaan, als een voortschrijdende golf tegen een kaatsend oppervlak botst.

Nemen we als voorbeeld weer de vlakke golf in de buis en denken we de buis aan zijn oorspronkelijk vrije uiteinde afgesloten.

Noemen we nu de reflectie-factor van de afsluiting, d.w.z. de factor, die aangeeft welk percentage van de golf wordt teruggeworpen g .



Afb. 3.

Nemen we nu twee vlakken A en B op een onderlingen afstand l . Denken we nu de snelheid in A te zijn $v_a = V \sin. \omega t$, dan is het duidelijk, dat ze, evenals hiervoor uiteengezet, in B gelijk is aan $v_b = V \sin. \omega(t - kl)$.

Gaan we in onze beschouwing niet uit van den toestand in A ten opzichte van B, doch van B ten opzichte van A, dan dient $-l$ vervangen te worden door $+l$ en wordt dus:

$$v_b = V \sin. (t + kl).$$

Indien nu bij A een reflecteerend vlak wordt aangebracht, dan zal een gedeelte der energie, komende in de richting BA teruggeworpen worden, m.a.w. A wordt een nieuwe geluidsbron.

Deze golf zal ten opzichte van de vorige kunnen weergegeven worden door de formule:

$-g V \sin. \omega t$ (waarin $g =$ de fractie van het gereflecteerde deel).

In B wordt dan de toestand: $-g \sin. \omega (t - kl)$ en in totaal wordt

$$V_b = V \sin. \omega (t + kl) - g V \sin. \omega (t - kl)$$

of anders geschreven:

$$V_b = V (1 - g) \sin. \omega (t + kl) + V g \{ \sin. \omega (t + kl) - \sin. \omega (t - kl) \}$$

Het eerste gedeelte, nl. $V (1 - g) \sin. \omega (t + kl)$ stelt nu het gedeelte van de golf voor, dat niet gereflecteerd, dus geabsorbeerd wordt, het tweede gedeelte de combinatie van heengaande en gereflecteerde golf.

Dit gedeelte kan geschreven worden als:

$$2 V g \cos \omega t \sin. kl.$$

Indien g gelijk is aan 1 (totale reflectie) wordt dus:

$$v_b = 2 V \cos. \omega t \sin kl,$$

welke vergelijking de vergelijking van de staande golf voorstelt.

Een korte interpretatie moge het volgende leeren.

Bij het reflecteerende oppervlak, dus voor $l = 0$, is $\sin. kl = 0$, dus $v_b = 0$, d.w.z. de snelheid der deeltjes is te allen tijde $= 0$

Deze zelfde omstandigheid doet zich voor overal waar $\sin. kl = 0$, d.w.z., daar $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, overal waar l een veelvoud van de halve golflengte is.

Hier treft men dus de knooppunten.

Overal waar k een oneven veelvoud van $1/4 \lambda$ is, d.w.z. $kl = 90^\circ$, 270° , enz., vindt men $\sin. kl = \pm 1$ en dus:

$v_b = 2 V$, dat wil zeggen de dubbele amplitude van de loopende golf.

Voor het geval nu $\cos. \omega t = 0$, is over de geheele buis de snelheid der deeltjes gelijk aan nul, d.w.z. de buis is in den toestand, alsof ze in rust was, terwijl voor $\cos \omega t = \pm 1$ de snelheid voor ieder punt in de buis een maximum is, namelijk $\pm 2 V \sin. kl$.

Analogie met elektrische trillingen.

Tot slot moge hier nog gewezen worden op een analogie, welke aan de elektrische trillingen ontleend wordt en welke in de acoustiek bij verschillende berekeningen zeer nuttig is.

Indien men de spanning van een electrischen wisselstroom E noemt, de stroom zelve I , dan noemt men, als het aanleggen van de spanning E aan een stroomkring een stroom I tengevolge heeft, het quotient der twee grootheden de impedantie van den kring. Zij wordt meestal aangeduid door een letter Z . Aldus is

$$Z = \frac{E}{I}.$$

Noemt men de Ohmsche weerstand van den kring R , zijn zelf-inductie L en zijn capaciteit C , dan is

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$$

waarin $\omega = 2 \pi f$, en f de frequentie van den wisselstroom voorstelt.

Gebruikt men de complexe schrijfwijze, dan is $Z = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)$

Men ziet dus, dat de impedantie uit een reëel en een imaginair deel bestaat. Electricch wil dit zeggen, dat de stroom in R in phase is met de opgedrukte spanning in L en C resp. 90° achter of 90° voor.

De phaseverschuiving tusschen stroom en spanning wordt gemeten door een hoek, zoodanig, dat

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{L\omega - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

Vormt men de uitdrukking $Z = \frac{E}{I}$ om tot $I = \frac{E}{Z}$, dan zal deze een max. waarde hebben wanneer Z een minimum is. Dit is blijkbaar het geval als $L\omega - \frac{1}{\omega C} = 0$ of wel $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Men spreekt in dit geval van resonantie. Aangezien nu soortgelijke verschijnselen zich ook voordoen bij acoustische trillingen, ligt het voor de hand soortgelijke begrippen ook voor de acoustiek in te voeren. Vele voorstellen zijn hiertoe door verschillende schrijvers als Kennely Crandall, Webster e.a., gedaan, doch een uniform systeem is hierbij nog niet aangenomen.

Gaat men nu uit van de formules $Z = \frac{E}{I}$, dan definieeren b.v. Kennely en Crandall deze als kracht gedeeld door een snelheid en Webster als een druk, gedeeld door verplaatsing per volume eenheid.

De lezer zal bemerken, dat indien men de teller en noemer van de tweede schrijfwijze door een oppervlakte-eenheid deelt, men op de eenheden van de eerste formule uitkomt.

Dit wil zeggen, dat voor beide schrijfwijzen, die aan verschil in physisch inzicht toe te schrijven zijn, de dimensie-formule van de impedantie weer dezelfde is.

Deze impedantie splitst zich nu weer evenals dit bij electriche trillingen geschiedt, in twee gedeelten, n.l. een reëel gedeelte, waarbij druk en snelheid in phase blijven, en een imaginair gedeelte, waardoor phaseverschuiving tusschen druk en snelheid der trillende deeltjes optreedt.

II. DE WERKING VAN HET OOR.

Bouw van het gehoororgaan.

Teneinde in de werking van het oor, waaromtrent overigens lang niet alles bekend is, een beter inzicht te krijgen, is het onmisbaar den anatomischen bouw van het gehoororgaan aan een kort overzicht te onderwerpen. (Zie afb. 4).

Het gehoororgaan dan bestaat uit drie hoofdgedeelten en wel het buitenoor, het middenoor en het binnenoor.

Onder het buitenoor wordt als regel verstaan de oorschelp R en de gehoorgang G tot aan het trommelvlies. Dit gedeelte, dat direct

in verbinding staat met de buitenlucht, dient om de geluidstrillingen, welke ons oor bereiken, te verzamelen en verder te leiden naar het inwendige gehoororgaan.

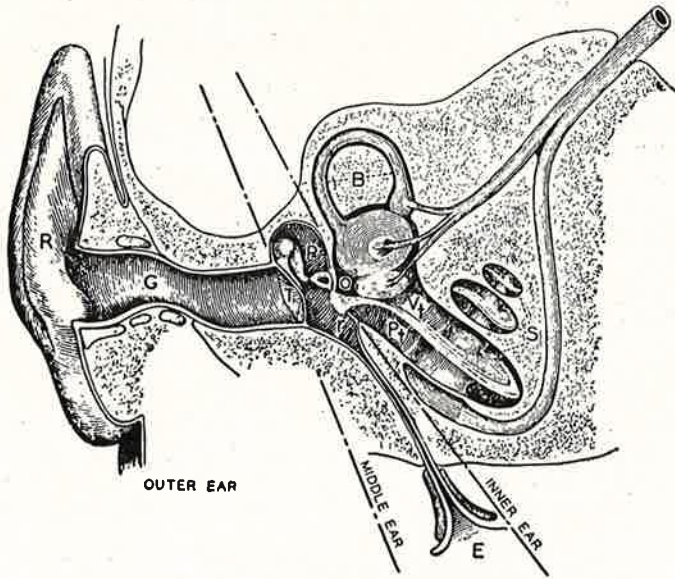
Het middenoor, dat aan de buitenzijde aanvangt met het trommelvlies T, wordt door dit trommelvlies van de buitenlucht afgesloten. Door het trommelvlies nu worden, doordat het door de luchttrillingen in trilling wordt gebracht, deze luchttrillingen omgezet in mechanische trillingen, welke door middel van een stelsel van beentjes bekend als hamer, aambeeld en stijgbeugel (p) verder geleid worden. De hamer, welke aan het trommelvlies vergroeid zit, is door middel van een hefboomstelseltje uiteindelijk met den stijgbeugel verbonden. De oppervlakte van het stijgbeugeltje, die ongeveer $\frac{1}{20}$ is van de oppervlakte van het trommelvlies bedraagt, is zoodanig, dat het, gecombineerd met de overbrengingsverhouding van het hefboomstelsel, den druk welke op het trommelvlies komt, ongeveer 60 maal grooter doet zijn dan die oorspronkelijk op het trommelvlies.

Dit heele stelseltje nu bevindt zich in de middenoorholte, een met lucht gevulde ruimte, welke door middel van de buis van Eustachius, die in de keelholte uitmondt, op gelijken druk gehouden wordt als de buitenlucht. De drukvereffening vindt plaats tijdens het slikken, terwijl drukverstoring zich uit door het bekende suizen of kloppen van het oor, dat men bij plotselinge groote drukveranderingen ondervindt.

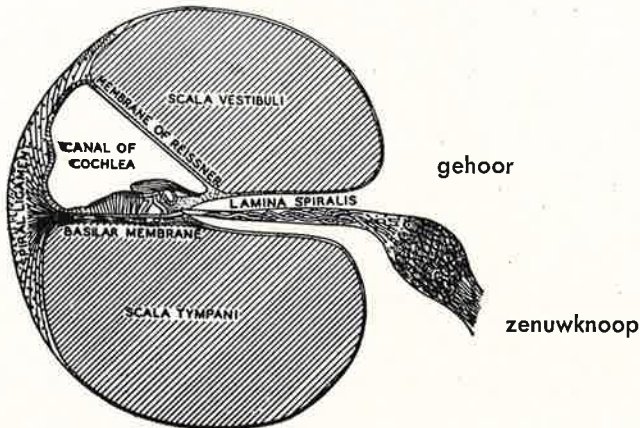
De middenoorholte is van het eigenlijke binnenoor gescheiden door twee vliezen, welke aan den schedel vastzitten en welke twee openingen afsluiten, die bekend zijn als het ovale venster o en het ronde venster r. Tegen het ovale venster sluit de stijgbeugel, waardoor dus de overdracht van het geluid verzekerd is. In den schedel zelve is verder het binnenoor opgesloten.

In dit binnenoor vindt nu de overdracht plaats van de geluidstrillingen naar het zenuwstelsel. Het binnenoor bestaat in hoofdzaak uit het z.g. slakkenhuis s, een zeer hard beenen lichaam, dat een hol kanaal bevat, hetwelk spiraalvormig gewonden is en ongeveer $2\frac{3}{4}$ windingen heeft. Terzijde van dit slakkenhuis en hiermede in verbinding ligt nog een tweede kanaal, dat op de figuur te zien is bij B en dat een gedeelte is van het z.g. evenwichtsorgaan. Dit evenwichtsorgaan wordt gevormd door drie halfcirkelvormige kanalen, welke onderling loodrecht op elkaar staan. Op de teekening is slechts één der drie kanalen zichtbaar. Wat precies de onderlinge werking van deze twee organen is, die — zooals hieronder blijkt — zeer innig met elkaar verbonden zijn, is nog niet duidelijk uitgemaakt. Het geheele inwendige van het oor en ook van het evenwichtsorgaan is met een vloeistof gevuld, waarbij echter de vloeistof van het eigenlijke gehoororgaan door een elastisch vlies gescheiden is van die van het evenwichtsorgaan.

Wanneer wij thans een doorsnede over een der windingen van het slakkenhuis (afb. 5) beschouwen, dan zien wij, dat het hooger



Afb 4. Doorsnede over het oor.



Afb. 5. Doorsnede over een der windingen van het slakkenhuis.

genoemde kanaal door twee vliezen, in de teekening aangegeven als membrane of Reissmer en Basilaire membrane, in drie deelen is gescheiden en wel de twee in de afb. aangegeven geharceerde gedeelten, aangeduid met *scala vestibuli* en *scala tympani* (in afb. 4 aangegeven met *Vt* en *Pt*) en tenslotte een derde gedeelte op de teekening aangegeven als *canal of cochlea*.

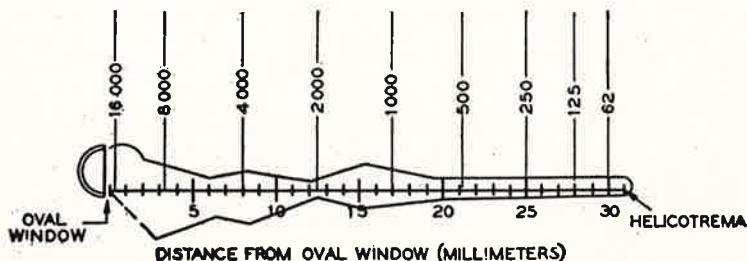
In de teekening onderscheidt men verder op de basilaire membraan het eigenlijke gehoororgaan, het z.g. orgaan van Corti. Dit vlies toch is bedekt met een weefsel, waarop tal van uiterst fijne haartjes,

welke aan het uiteinde een kalksteen verdikking of tafeltje dragen. Deze haartjes of haarcellen worden nu getroffen, wanneer een geluidstrilling ons oor treft en deze trilling op de vloeistof in de scala vestibuli — welke op het ovale venster uitmondt — wordt voortgeplant, waardoor een gehoorindruk naar onze hersenen wordt voortgeleid, via de zenuwen, welke aan de onderzijde der trilhaartjes aansluiten.

Tenslotte dient nog vermeld te worden, dat de scala vestibuli en de scala tympani onderling een verbinding hebben, heel in de top van het slakkenhuis door middel van een kleine opening van ongeveer $1\frac{1}{2}$ mm², in de afb. aangegeven als „Helicotrema”. Een en ander is te zien in afb. 6 waar een uitslag geteekend is van de slakkenhuisvormige windingen.

Hoe hoort men?

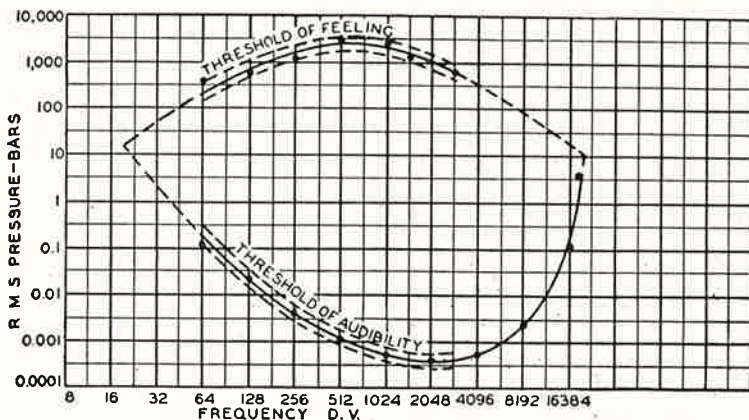
Tot zoover de hoofdzaken van den anatomischen bouw. De vraag doet zich nu voor op welke wijze precies eigenlijk het hooren plaats vindt. Volledige zekerheid bestaat hierover niet, doch wel kan men zeggen, dat met zeer groote waarschijnlijkheid het proces zich op de volgende wijze afspeelt. De kleine haartjes, welke zich op het orgaan van Corti bevinden en welke ongeveer 23.000 in getal zijn, dienen als de eigenlijke ontvangers van het geluid. Hierbij is door proeven aangetoond, dat de lage tonen het dichtst bij den top worden waargenomen, de hooge tonen het dichtst bij het ovale venster, zie afb. 6, waar de frequenties aan de bovenzijde aangegeven staan.



Afb. 6. Uitslag van de slakkenhuisvormige windingen.

Het spreekt wel van zelf, dat per slot van rekening ook mathematisch gevonden moet kunnen worden of inderdaad deze theorieën juist kunnen zijn. Als eerste merkwaardig verschijnsel treedt nu het navolgende op.

Zoals hierboven is aangetoond, is de drukoverbrenging van het trommelvlies op den stijgbeugel in de verhouding van 1 : 60. Wil de overbrenging nu aan hooge eischen voldoen, dan moet zij zich aanpassen aan het verschil in impedantie van het buitenoor en het binnenoor, dus de lucht en de vloeistof in het oor. Het blijkt nu, dat dit inderdaad het geval is, immers, de impedantie van lucht is 43, die van water 144.000. Voor de beste overdrachtsverhouding moeten de



Afb. 7. Gevoeligheid bij verschillende frequenties.

drukken zich verhouden als de wortels uit deze impedanties, welke waarde 58 is.

Op analoge, doch overigens veel meer gecompliceerde, wijze is nagegaan, hoe nu eigenlijk de gehoorwerking zou kunnen plaats vinden.

Doet men dit, dan is, hoewel men nog verre er van is, hieromtrent volledig klaarheid te hebben, toch aannemelijk te maken, dat het in werkelijkheid bestaande frequentiegebied, van het oor door de mechanische eigenschappen van den inwendigen bouw verklaard kan worden. Wanneer nu de trillingen de trilhaartjes in beweging brengen, dan doet zich nog de vraag voor of nu werkelijk voor iedere trilling, d.w.z. iedere frequentie, een of meer haartjes in het bijzonder gevoelig zijn. Dit blijkt zoo zonder meer niet het geval. Immers, denkt men zich bijv. dat ons oor getroffen wordt door een toon, welke een frequentie heeft van 7000, dan zou dus het betrokken trilhaartje 7000 maal per sec. een signaal naar onze hersens moeten doorsturen. Dit blijkt nu niet het geval te zijn. Een korte beschouwing van den bouw en de werking der gehoorzenuwen moge dit verduidelijken.

De gehoorzenuwen dan blijken een groote overeenkomst te hebben met onze moderne telefoonkabels. Nadat alle zenuwen, welke aan den voet van de trilhaartjes uitmonden zich vereenigd hebben, bevindt men zich tegenover een kabel, welke uit ca. 3000 geïsoleerde zenuwkerntjes bestaat, welke ieder door een vetachtige substantie omgeven zijn, die hen onderling isoleert.

De diameter van zoo'n kerntje bedraagt ongeveer 0,01 mm en beslaat $\pm 9\%$ van de totale middellijn van de totale zenuwkern.

Wanneer nu een zenuw getroffen wordt en de prikkel is voldoende sterk, dan vindt een soort explosieachtige beweging in de zenuw plaats, welke zich langs haar voortplant, totdat zij het eindpunt, de hersenen, heeft bereikt. Deze impulsen hebben steeds dezelfde intensiteit. Wanneer de prikkel onvoldoende sterk is, dan reageert

de zenuw niet, totdat de intensiteit van den prikkel zoodanig verhoogd wordt, dat plotseling reactie optreedt. Bij het toenemen van de intensiteit van den prikkel neemt nu niet de intensiteit van de reactie toe, doch de frequentie van de reactie, d.w.z. is de prikkel zeer sterk dan ontladde de zenuw zich eenige malen per sec. meer dan bij een zwakke impulsie. Het aantal dezer ontladingen geeft ons dan een indruk omtrent de sterkte van den prikkel. De duur van de zenuwimpuls bedraagt ongeveer 0,001 sec., terwijl de tijd, dien de zenuw noodig heeft om zich te herstellen tot den volgende prikkel, $\pm 0,003$ sec. is, dat wil dus zeggen, dat een zenuw slechts in staat is om max. ± 250 prikkels per sec. door te geven. In ieder geval — al moge er dan nog een zekere marge in dit getal zitten — blijkt wel, dat bijv. een trilling van 7000 per./sec. niet weergegeven wordt door 7000 ontladingen van de zenuw.

Hieruit volgt, dat, waar wij toch nauwkeurig in staat zijn de sensatie van een toon van 7000 per./sec. bewust te doen worden, de plaats van de trilhaartjes in het slakkenhuis een groote rol moet spelen.

Wij komen dus nu tot het algemeene beeld, dat de toonhoogte wordt aangegeven door de groep van trilhaartjes, die getroffen worden, de intensiteit wordt weergegeven door het aantal ontladingen van de getroffen zenuw per sec.

Tenslotte zij nog opgemerkt, dat een van de merkwaardigste verschijnselen van het oor wel dit is, dat het geen apparaat bezit waardoor het geluidsindrukken kan afschermen. Het is steeds op dezelfde gevoeligheid ingesteld en werkt — aangenomen dat wij niet doof worden — onafgebroken van onze geboorte af tot aan den dood. Dit is bijv. niet het geval met ons oog, dat door de veranderlijkheid van de iris alsmede door het sluiten der oogleden, hetzij minder lichtgevoelig gemaakt kan worden, hetzij zelfs totaal onvoelig gemaakt kan worden.

Het is per slot dit kardinale verschil in den bouw dezer beide organen, dat ons ook in onze slaap zoo gevoelig maakt voor geluiden en dat dus de noodzakelijkheid zoo groot maakt, om door maatregelen van buiten ons oor niet dag en nacht te prikkelen.

Nadat wij nu in groote trekken een inzicht hebben gekregen omtrent de werking van het oor en met name omtrent de twee hoofdzaken waartoe het oor in staat is, namelijk het onderscheiden van toonhoogte en intensiteit van den toon, kunnen wij er toe overgaan om de bereiken waarbinnen dit geschiedt aan een nadere beschouwing te onderwerpen.

De toonhoogte.

Sinds lange jaren is men bezig om na te gaan, welke toonhoogten door het menschelijk oor kunnen worden opgevangen. Hierbij is gebleken, dat de ondergrens voor normale ooren vrij constant is en blijft. Deze ligt namelijk bij ca. 25 à 30 per./sec. De bovengrens is sterk varieerend, ook bij normale ooren. Vooral jonge personen

kunnen zeer hoog hooren, gevallen van 16.000 tot 20.000 per./sec. zijn geen zeldzaamheid. Bij normale personen van middelbaren leeftijd echter ligt de gehoorrens bij 7000 à 8000 per./sec. (Zie afb. 7). Zijn aldus de grenzen vastgelegd, waarbinnen het gehoorgebied valt, dan doet zich nog een tweede vraag voor, namelijk deze: welk minimum geluidsverschil kan door het oor worden waargenomen. Immers, het aantal trillingen is onbegrensd. Wij zijn wel gewend eenvoudigweg te spreken van 25 trillingen per sec. of 26 trillingen per sec., doch feitelijk ligt hier nog een oneindig aantal trillingen tusschen als men maar de verdeeling ver genoeg voortzet, bijv. 25, 25,01, 25,001 etc., etc.

Wat men zich nu eigenlijk afvraagt is dit: wanneer ik op een gegeven oogenblik een toon met een frequentie x kan hooren, welke is dan nog de meest nabijliggende toon, welke ik duidelijk als een anderen toon tegelijkertijd kan waarnemen. Het gaat er dus niet om, of ik bijv. 25 en 25,0001 kan hooren, dit spreekt van zelf, doch het gaat er om of ik die beide tonen tegelijk als verschillend kan waarnemen. Het is nu gebleken, dat aan dit verschil, dat noodzakelijk is om de tonen als afzonderlijke geluidsindrukken gelijktijdig te kunnen waarnemen, een bepaalde grens gesteld is. Dit verschil wordt uitgedrukt in de formule:

$$\Delta P = \frac{100 \Delta f,}{\log_e 2f.}$$

waarin Δf de frequentie is van den tweeden toon ten opzichte van den toon met laagste frequentie f . Deze waarde nu is niet over het geheele gehoorbereik constant. Ook varieert zij iets in verband met de sterkte van den toon. Gemiddeld kan men zeggen, dat deze waarde voor tonen van 512—ca. 5000 per. 0,3 is, terwijl zij naar beneden en naar boven tot ca. 10 stijgt. In cijfers uitgedrukt wil dit zeggen, dat men bijv. een toon van 100 per. onderscheiden kan van een toon van 101, een toon van 4000 per. van een toon van 4012, enz.

Intensiteit en intensiteitsverschil.

De reactie van het oor op intensiteit en intensiteitsverschillen is van meer samengestelden aard dan de reactie op frequenties. Het spreekt van zelf, dat deze intensiteit aanvankelijk beschouwd dient te worden voor bepaalde frequenties. Teneinde ook nu weer de grenzen op te sporen, zal de eerste vraag moeten luiden: welke minimum geluidsterkte kan men nog waarnemen. Het blijkt dan, dat het oor, dat het gevoeligst is in het frequentiegebied van 500—5000 per. reageert op een geluidsenergie, welke overeenkomt met ca. 10^{-16} watt. Naar beneden en ook naar boven wordt de gevoeligheid van het oor minder, d.w.z. een grootere geluidsenergie is noodig om een gehoorindruk teweeg te brengen. Het eigenaardige feit doet zich voor, zooals trouwens te begrijpen is, dat de grootste gevoeligheid van het oor ligt in het gebied van de gewone spraakfrequenties.

Alvorens nu te bespreken of en welke bovengrens bestaat, dient

eerst te worden nagegaan, hoe het oor reageert op geluidsintensiteit. Men kan zich toch afvragen, hoe het oor bijv. 2 geluiden waarneemt, welke het honderdvoudige in intensiteit verschillen. Het blijkt nu uit proeven door verschillende waarnemers op een zeer groot aantal personen genomen, dat een geluid, dat 100 x meer intensiteit heeft, als practisch 2 x zoo sterk wordt ondervonden. Dit heeft aanleiding gegeven tot het toepassen van de physiologische wet van Weber-Fechner, welke hier uitdrukt, dat de luidheid van een toon door het oor logarithmisch wordt waargenomen in verband met tonen van andere luidheid doch van dezelfde frequenties.

Vandaar dat men thans veelal als luidheidsschaal aanneemt de tiendeelige logarithme van een verhouding van twee intensiteiten, waarvoor men dan, om aan te sluiten aan andere grootheden als minimum intensiteit neemt ongeveer de drempel van gevoeligheid van het oor in zijn gevoeligste bereik, zijnde de hierboven reeds genoemde 10^{-16} watt. De log. nu van de verhouding, welke een onbenoemd getal is, heeft men den naam „bell” gegeven naar den uitvinder van de telefoon.

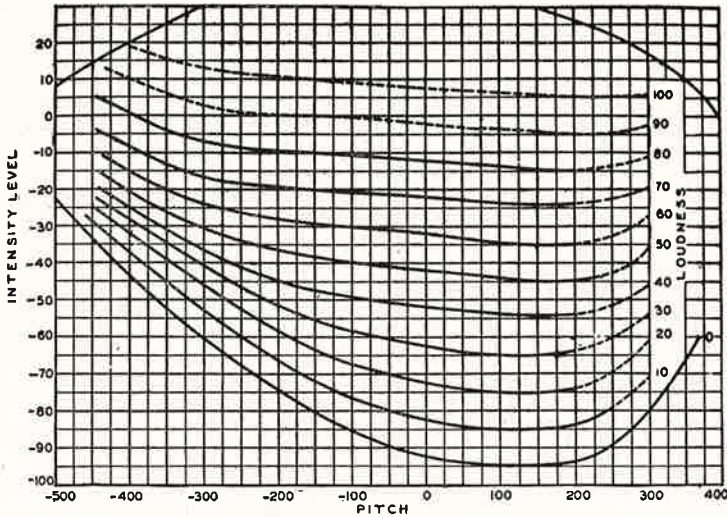
Wanneer men nu aanneemt als min. geluidsintensiteit I_0 en een ander willekeurig geluid I en de log. van deze $\frac{I}{I_0}$ blijkt te zijn δ , dan wil dit zeggen, dat de intensiteit van I miljoen maal grooter is dan die van I_0 . Dat wil dus zeggen — nemen we I_0 aan op 10^{-16} watt — dat $I = 10^{-10}$ watt.

Aangezien nu in het algemeen in verband met de fijnheid van het oor in het onderscheiden van intensiteitsverschillen de bell een te groote eenheid is, is de decibell ingevoerd, in het bovenstaande geval zou dus het intensiteitsverschil uitgedrukt worden door 60 decibell (db).

In de literatuur vindt men deze db overal ingevoerd, waarbij dan stilzwijgend verondersteld wordt, dat zij geldt ten opzichte van een bepaalde grondwaarde, welke tot nu toe weliswaar niet uniform is vastgesteld, doch welke toch practisch om de 10^{-10} watt schommelt.

In Amerika nu heeft men voor deze gevoeligheid van het oor de uitdrukking „sensation” aangenomen en spreekt men dus als regel niet meer er van dat een geluid een zekere intensiteit heeft, doch dat het een zeker aantal „sensation units” heeft. De Nederlandsche naam hiervoor zou kunnen zijn „gawaarwordings-eenheid”. Toegegeven dient echter te worden, dat dit woord in de praktijk weinig aantrekkelijk lijkt, al was het alleen maar door zijn lengte. Wellicht dat binnen niet al te langen tijd hiervoor een practisch bruikbare Nederlandsche term geijkt kan worden.

Behalve deze z.g. „sensation unit”, die mathematisch vastligt aan de intensiteit van een toon, bestaat er nog een meer subjectieve eenheid, die door de Amerikanen genoemd wordt de „loudness” van den toon, (Ned.: luidheid van toon). Men kan namelijk nagaan, hoe sterk een bepaalde zuivere toon door het oor ondervonden wordt.



Afb. 8. „Loudness levels“.

Neemt men nu een toon van een geheel andere frequentie, dan kan men door de sterkte van dezen toon te variëren, aan een aantal proefpersonen de opgave stellen om mede te deelen, wanneer zij deze twee tonen even sterk hooren. Het blijkt dan, dat wanneer de tonen belangrijk in frequentie verschillen dit niet gebeurt bij hetzelfde gewaarwordingsniveau. Inderdaad dienen tonen van lage frequentie zoowel als die van hooge frequentie grootere intensiteit te bezitten, om dezelfde luidheids-gewaarwording teweeg te brengen.

Uitgebreide proeven hebben er toe geleid, dat men heeft kunnen vaststellen z.g. „loudness levels“, welke in afb. 8 zijn aangegeven.

Teneinde nu deze loudness levels vast te leggen, is voorgesteld, om de luidheid van een toon te vergelijken met een standaard vergelijkingston, waarvoor dan zou dienen te worden aangenomen een toon van de frequentie 1000, welke naar behoefte in intensiteit gevarieerd kan worden.

Resumeerende heeft men dus bij een toon te onderscheiden:

1. zijn intensiteit;
2. zijn sensation level of gewaarwordingsniveau;
3. zijn luidheid.

Het is vooral deze laatste grootheid, welke ons in het vervolg zal bezighouden, aangezien vanzelfsprekend de luidheid van een toon voor ons van groot belang is te achten.

De vraag doet zich nu voor, wat er geschiedt wanneer de intensiteit van een toon voortdurend grooter wordt. Het blijkt dan, dat een toon zoo luid wordt, dat hij niet uitsluitend een geluidsindruk meer geeft, doch ook een gevoelsindruk. De toon gaat pijn doen aan de ooren en men zegt, dat de gevoelsdrempel bereikt is. Deze

gevoelsdrempel ligt nu weer het hoogste voor de tonen in het middengebied van het oor en neemt naar de beide buitenkanten geleidelijk af. (Zie afb. 7). In het gevoeligste bereik is de afstand van min. hoorbaarheid tot den drempel van het gevoel ± 120 db, d.w.z. dat een geluid van min. hoorbaarheid 10^{12} maal versterkt kan worden, voordat het buiten het gehoorgebied geraakt.

Op vorengaande wijze hebben wij nu begrensd het frequentiegebied, waardoor dus een gesloten figuur ontstaat binnen welke grenzen alle trillingen gelegen zijn, zoowel in frequentie als in intensiteit, welke door het oor zijn waar te nemen.

Evenals zulks nu is geschied voor het frequentiebereik, kan men zich ook voor de intensiteitsverschillen de vraag stellen, welk minimum intensiteitsverschil nog duidelijk kan worden waargenomen.

Het blijkt, dat dit minimum intensiteitsverschil zeer sterk samenhangt met het intensiteitsniveau zelve en dat in het algemeen gesproken bij het toenemen van het intensiteitsniveau de gevoeligheid van het oor voor intensiteitsverschillen voldoet, zal hier, aangezien zij vrij gecompliceerd is, niet nader worden uitgewerkt. Er zal mede worden volstaan met nog even aan te geven, dat wanneer men alle mogelijke combinaties in toonhoogte en in intensiteitsverschil neemt, het oor in staat is om niet minder dan ca. 540.000 verschillende indrukken te herkennen.

Wanneer men nu bedenkt, dat het geheele apparaat voor een dergelijk aantal verrichtingen geborgen wordt in ongeveer 3 cm^3 , dan zal men zich een flauwen indruk kunnen maken van de ongelooflijke fijnheid en gevoeligheid van het apparaat, alsmede van de dringende noodzakelijkheid dit apparaat niet noodeloos aan gevaren en technisch gesproken aan overbelasting bloot te stellen.

Tenslotte kan men zich nog afvragen, gedurende welken minimum tijd ons oor door een toon getroffen moet worden, wil men hem als zoodanig kunnen herkennen. Deze tijd blijkt uiterst kort te zijn en ligt tusschen 0,04 en 0,1 sec.

Zijn aldus enkele grondprincipes van het oor besproken, dan blijft nog met een enkel woord aan te duiden het zeer groote veld van vraagstukken, dat zich voordoet wanneer men de studie van de geluidsleer verder vervolgt.

Om maar enkele van deze punten te noemen: werkt het oor geheel vervormingsvrij?, d.w.z. geeft het oor, wanneer daarop geworpen wordt een zuivere sinustrilling, ook werkelijk een zuivere sinustrilling weer? Dit blijkt in het algemeen niet het geval te zijn. Met name is dit niet het geval als de intensiteit van den toon toeneemt. Men zegt dan, dat de werking van het oor niet meer lineair is en dat het aanleiding geeft tot het vormen van subjectieve tonen, d.w.z. men hoort tonen, die er in werkelijkheid niet zijn. Zeer sterk treedt dit op den voorgrond, wanneer het oor aan meer tonen tegelijk wordt onderworpen, die, vooral wanneer zij van goede intensiteit zijn, een belangrijk aantal combinatie-tonen in het leven roepen.

Maskeeringseffect en richtingswerking.

In verband met lawaaibestrijding en ook met de meting van een lawaainiveau is nog van belang, het z.g. maskeeringseffect. Men kan zich namelijk de vraag stellen, wanneer een bepaalde toon, dien men bijv. in een stille omgeving zeer goed kan waarnemen, zich aan waarneming gaat onttrekken tengevolge van een optredend en geleidelijk in intensiteit toenemend stoorgeluid. Het is duidelijk dat het antwoord op deze vraag zeer ingewikkeld is. Dit hangt namelijk af van het oorspronkelijke niveau van den toon, dien men wil waarnemen en van zijn toonhoogte. Bovendien hangt het sterk af van de samenstelling van den stoortoon, bijv. of deze stoortoon in frequentie gemeten dichtbij ligt, of hij enkelvoudig of samengesteld is, enz., enz. Een zeer groot aantal metingen heeft echter voor de praktijk bruikbare gegevens opgeleverd, welke nog later ter sprake zullen komen.

Zoals hierboven gebleken is, is nog slechts gesproken van „het oor” en zijn alle verschijnselen, welke behandeld zijn, eigenlijk nog maar betrokken op één van de beide ooren. In de praktijk nu wordt met twee ooren geluisterd en de vraag doet zich voor, wat dan de invloed is van de samenwerking van beide ooren.

Het blijkt dan, dat de beide ooren in het algemeen weinig bijdragen tot het luider worden van het geluid, doch dat zij als zeer gewichtige functie hebben het bepalen van de richting van het geluid. De richtingszin nu van beide ooren is lang niet zoo volmaakt als de zin voor toonhoogte en intensiteit. Vooral bij hoge tonen wordt richtingbepaling van geluidsbronnen zeer moeilijk.

Wanneer men zich de vraag voorlegt hoe men nu eigenlijk de richting constateert, dan blijkt dat zulks in hoofdzaak afhangt van het tijdsverschil, dus met andere woorden het verschil in phase, waarin de trilling het oor bereikt. Proeven zijn hiervoor genomen, doordat men proefpersonen aan ieder oor een telefoon gaf, waarin een zelfde toon werd voortgebracht, doch waarbij men de phase van de trilling van den toon in een der telefoonschelpen willekeurig kon verschuiven. Gebleken is, dat wanneer men den phasehoek tusschen de trillingen ging vergrooten, het geluid den indruk maakte rond te loopen, totdat het bijv. zuiver van links scheen te komen; vergrootte men de phase dan nog verder, dan sprong het geluid plotseling over naar rechts en maakte den indruk alsof het geleidelijk weer van voren kwam.

Soortgelijke proeven zijn ook genomen met intensiteitsverschillen. Ook hier bleek, dat bij de lagere tonen richtingswerking viel waar te nemen, zij het dan ook veel minder uitgesproken dan bij phaseverschuiving, terwijl bij hoge tonen intensiteitsverschillen weinig bijdroegen tot het verwekken van een richtingsindruk.

III. DE GELUIDSBRONNEN EN DE AARD DER TRILLINGEN, DIE ZE UITZENDEN.

Indeeling.

De geluidsbronnen zijn in het algemeen te verdeelen in twee groote groepen en wel die, welke naar haar aard tot doel hebben geluid voort te brengen en die, welke geluid als een ongewenscht nevenverschijnsel veroorzaken.

De verdeling is duidelijk; tot de eerste groep rekenen we de spraakorganen, muziekinstrumenten, signaalfluiten en bellen, claxons, enz., tot de tweede groep alle geluidvoortbrengende voorwerpen, wier bestemming als zoodanig niet geluidvoortbrenging beoogt, b.v. knalpotten, tramwagens over rails, industrieele werktuigen e.d.

Bij de eerste groep, waarbij als geluidsbron vrijwel altijd een mechanisch trillend voorwerp als oorsprong van het geluid te onderkennen is, tracht men hetzij door het opwekken van groote energieën, hetzij door het zoo gunstig mogelijk overdragen dezer energieën op de lucht, de klankwerking te versterken.

Bij de tweede groep is gelukkigerwijze een gunstige aanpassing zelden of niet aanwezig. Is dit het geval, dan is het natuurlijk zuiver toevallig.

De trillingen, welke deze bronnen in den vorm van geluid uitzenden, zijn in het algemeen naar haar aard nog in drie groote groepen te verdeelen en wel in knallen of slagen, geruischen en tonen. De eerste groep ontstaat, wanneer slechts een enkele maal een evenwichtsverstoring van de lucht plaatsgrijpt. Deze beweging is dus niet periodisch. Als voorbeelden mogen gelden: slagen met hamers, schoten uit schietwapenen, en in het algemeen contactgeluiden als loopen, motor-explosies, enz.

Geruischen zijn geluiden, waarbij de trillingsbron weliswaar voortdurend trilt, doch met een voortdurend wisselende frequentie, intensiteit, trillingsvorm, enz. Voorbeelden hiervan zijn: ritselen of kraken van papier, schudden van een bus met hagelkorrels, knarsen van trams in rails, etc.

De derde groep, die tonen voortbrengt, zijn als regel muziekinstrumenten, e.d. fluiten van locomotieven, doch soms ook voorwerpen, welke dit zeer incidenteel doen. Vooral komen zij in deze laatste groep voor als ze door den wind in beweging gebracht worden, telegraaf- en telefoondraden, touwwerk, enz.

Frequentie voorwaarden.

Wil nu een trillend voorwerp als geluidsbron kunnen werken, dan dient het tenslotte een minimum aantal trillingen per seconde te volvoeren. Dit minimum is niet afhankelijk van de grensgevoeligheid van het oor onder afdeeling II behandeld, doch van de physische eigenschappen van het medium.

In afdeeling I toch is uiteengezet, dat de voortplanting van een trilling in een gas altijd geschiedt door middel van een longitudinale trilling, d.w.z. dat het gas beurtelings ingedrukt wordt en weer uitzet. Het is duidelijk, dat dit alleen kan geschieden, wanneer de gasdeeltjes geen gelegenheid hebben permanent uit te wijken.

Hebben we nu een trilling met een zeer langzame frequentie, b.v. 1 per sec. en we denken ons een voorwerp, bijv. een snaar, die deze trilling uitvoert, dan krijgen we eenvoudig een uitwijken der luchtdeeltjes, die vervolgens langs de snaar heen stroomen en zich hierachter weer vereenigen, juist zooals bijv. het water om een varend schip stroomt. Eerst als de frequentie voldoende opgevoerd wordt, ontstaat het typische trillingsverschijnsel, dat zich voortplant.

Het is maar hoogst zelden, dat geluidsbronnen één enkelen zuiveren toon, d.w.z. een harmonische trilling van één enkele frequentie, uitzendt. Als regel geven ze behalve de hoofdfrequentie een grooter of kleiner aantal boventonen.

Vooraf bij muziekinstrumenten is dit belangrijk, aangezien deze boventonen juist een zekeren rijkdom en volheid geven, die het luisteren tot een genot maken. Deze rijkdom hangt af van een juiste intensiteitsverhouding van boventonen en grondtoon.

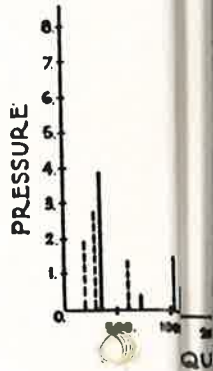
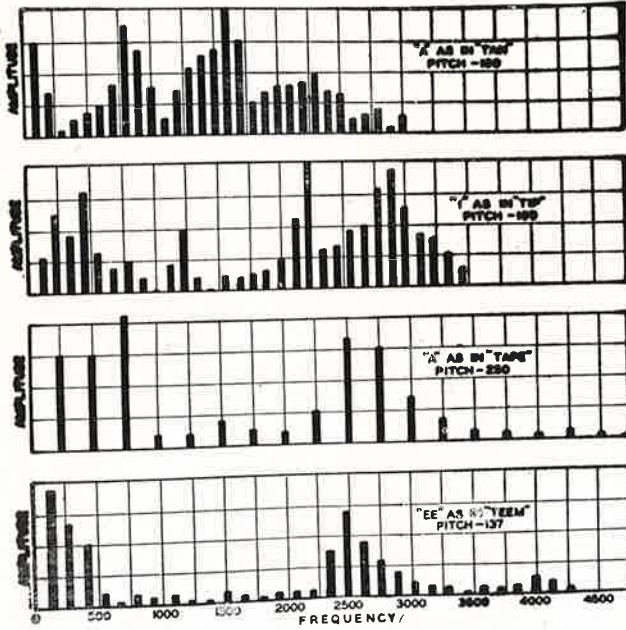
Bij lawaaibronnen wordt niet alleen een grondtoon, al dan niet vergezeld van een grootere collectie boventonen uitgezonden, doch bovendien nog een willekeurig aantal andere frequenties, die met de eerste in geen harmonisch verband staan. Hieraan is dan ook te danken het veelvuldig onaangename karakter van lawaai, dat door onmuzikaliteit ons zoo pijnlijk treft.

Men ziet hieruit, dat bij het analyseeren van lawaai men zich niet zal kunnen beperken tot de intensiteit van het lawaai. Immers door het voorkomen van een groot aantal trillingen is de intensiteit, wanneer men die voor een groot aantal frequenties afzonderlijk zou meten, voortdurend verschillend.

Men zegt in analogie met het licht, dat het lawaai een zeker frequentie-spectrum vertoont, evenals alle samengestelde lichtbronnen. In het volgende hoofdstuk zal beschreven worden, hoe men zoo'n spectrum ontleedt en de intensiteit der verschillende frequenties vaststelt. In afb. 9 zijn een viertal voorbeelden van frequentiespectra gegeven.

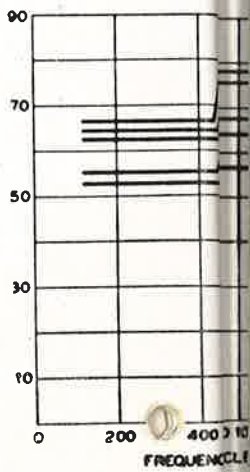
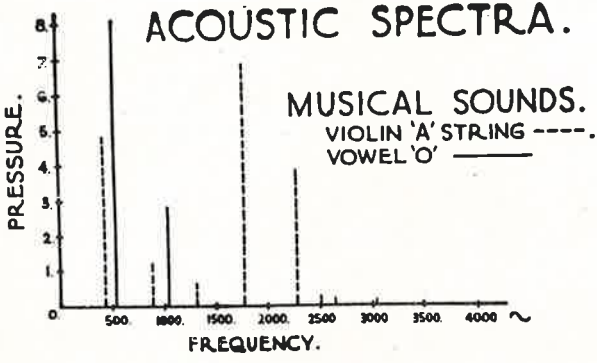
Zoo stelt afb. 9a voor het spectrum der verschillende letterklanken è, i, e en ie; afb. 9b een viooltoon, afb. 9c een claxon en een autohoorn, afb. 9d verschillende lawaaibronnen, als klinkhamer, enz.

Men ziet hieruit duidelijk het verschil tusschen een toon en lawaai. In afb. 9b toch volgen de samenstellende frequenties elkander octaafsgewijs op (iedere hogere frequentie is de dubbele van de voorafgaande). Bij lawaai zijn de frequenties volkomen willekeurig. Dit neemt niet weg, dat men toch bij verschillende spectra van lawaai een uitgesproken maximum kan waarnemen voor bepaalde frequen-



PHYSICAL - WEST.

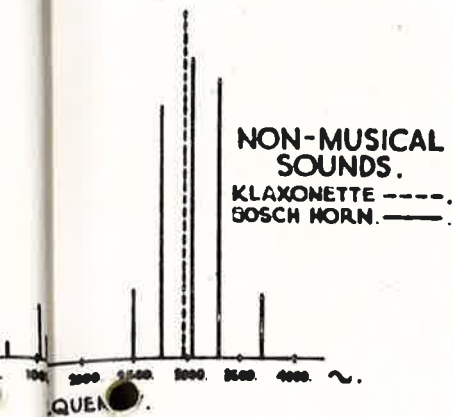
PHYSICAL - WEST.



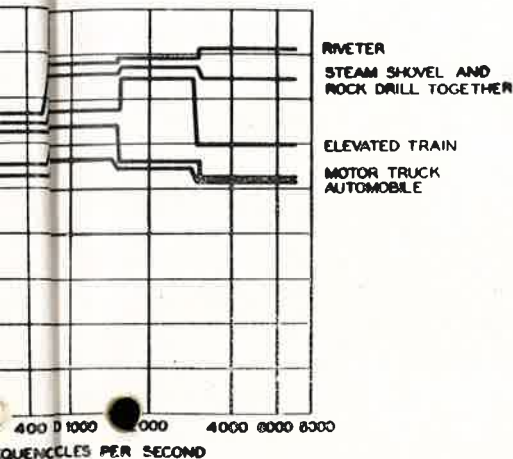
Bovenste rij: afb. 9a en 9c.
 Benedenste rij: afb. 9b en 9d.

ties. Zoo ziet men b.v. in afb. 9e, dat de grootste intensiteit van het geluid bij een schrijfmachine op een andere plaats ligt dan dat van een fluitje of van een bepaald type straatlawaai.¹⁾

1) De aandacht wordt er op gevestigd, dat in afb. 9e aangegeven is het z.g. Hearing loss, d.w.z. het omgekeerde van de intensiteit. Het minimum in de kromme geeft dus b.v. de grootste intensiteit van het lawaai aan, enz.



PHYSICAL ANALYSES OF VARIOUS SOUNDS



Absorptie- karakteristieken.

Hieruit volgt dus, dat men wel degelijk met den aard van het spectrum rekening moet houden bij de bestrijding van het lawaai — voor zoover deze niet mogelijk is aan de geluidsbron zelf — en deze geschiedt door het maken van een geluidpendende omgeving. Dit verkrijgt men door het aanbrengen van materialen, welke de bijzondere eigenschap hebben, geluid in verhoogde mate te absorbeeren. Deze materialen hebben alle een zoogenaamde absorptie-karakteristiek, welke aangeeft, welke hoeveelheid geluid van verschillende frequenties onder gelijke intensiteitsverhoudingen worden geabsorbeerd.

Beschouwt men deze karakteristieken, dan ziet men, dat het vermogen voor de absorptie van verschillende frequenties niet gelijk is. Sommige materialen hebben een voorkeur voor lage, andere voor middelfrequenties, nog andere voor hoge frequenties. De kennis van het geluidsspectrum is dus noodzakelijk voor de toepassing van het meest afdoende materiaal.

IV. DE NUMERIEKE GROOTHEDEN DER UITGEZONDEN ENERGIEËN EN DE MEETMETHODEN.

De groote moeilijkheid, waarmede de bestudeering van het geluidsvraagstuk heeft te kampen gehad, is wel de betrekkelijk zeer geringe energie, welke door de geluidsbronnen wordt uitgestraald.

De normale energieën toch, waarmede men in de techniek te doen heeft en waarvoor dus een uitgebreide serie van meetmethoden en meetinstrumenten ontwikkeld zijn, zijn vele tientallen malen grooter dan de normaal voorkomende geluidsenergieën. De buitengewone gevoeligheid, welke de instrumenten voor directe meting van geluidsenergieën moesten hebben, maakte bouw en toepassing dier instru-

menten praktisch ondoenlijk. Eerst de geleidelijke ontwikkeling van de telefontechniek, welke ons leerde de verschillende frequenties in het spraakgebied en daarmede ook in het algemeen in het gehoorgebied van elkander te scheiden, alsmede de ontwikkeling van de radiolamp, welke ons in staat stelde om versterkers te bouwen, gaven ons toegang tot het tot nu toe gesloten geweest zijnde gebied der praktische waarneming. Vooral het laatste middel, de radiolamp, ingebouwd in versterkers, welker versterkingsgraad men nauwkeurig beheerschte, stelde ons in staat zeer kleine energieën, welke op microfonen werden opgevangen, om te zetten in elektrische energieën van zoodanige sterkte, dat zij voor onze normale meetinstrumenten toegankelijk werden en dus voor verdere experimenteële waarneming bruikbaar weden.

Om nu een indruk te geven van de grootte der energieën, welke door verschillende geluidsbronnen worden afgegeven, mogen hier enkele voorbeelden volgen.

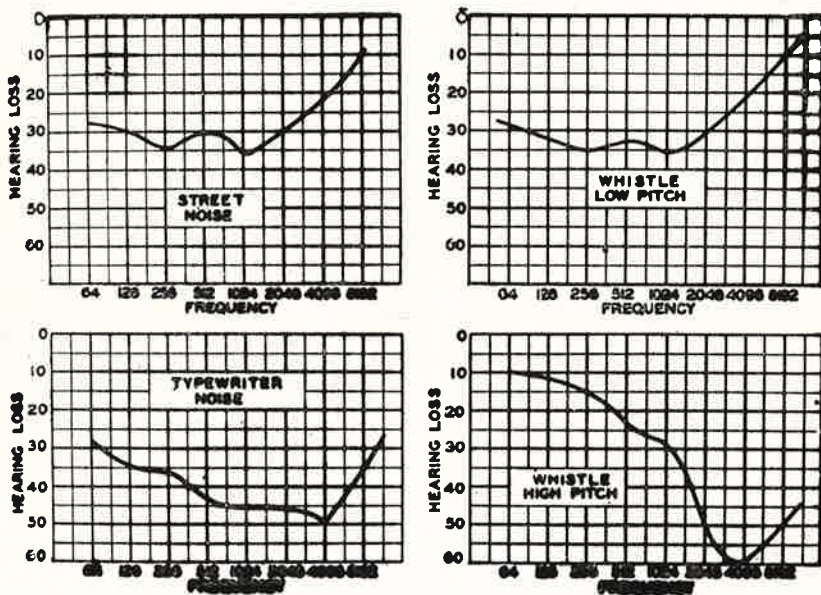
Geluidsbron	Afstand in voeten	Totaal vermogen in microwatts (miljoenste watt)	Niveau in db boven hoorbaarheidsdrempel
Zachte fluisterton	3	0,001	17
Normale spraak	3	10	57
Zeer luide spraak	3	1.000	77
Fortissimo van zanger	3	30.000	91,8
Een zachte viool in orkest	10	4	43
Maximum van een orkest van 75 personen	15	66×16^6	113

Hoe gering deze energieën zijn, kan men zich indenken, wanneer men uit bovenstaande tabel als voorbeeld neemt de energie, voortgebracht bij normale spraak, namelijk 10 microwatts. Hieruit valt toch af te leiden, dat wanneer 4 miljoen menschen gelijktijdig spreken, zij juist genoeg energie produceeren om een gloeilampje van 40 watt te doen branden.

Ook op andere wijze is nog duidelijk te maken met welke geringe grootheden de onderzoeker op acoustisch terrein te werken heeft.

Neemt men bijv. een geluid van 512 per./sec., dat een luchtdruk voortbrengt van 5 dyne per cm^2 , dan is dit geluid wat men noemt goed hoorbaar en het niveau bedraagt pl.m. 80 db boven de minimum hoorbaarheids grens. In dit geval bedraagt de maximum druktoename 5 miljoenste atmosfeer. De energiestrooming door 1 cm^2 loodrecht op de voortplantingsrichting is pl.m. 0,06 microwatt, de maximum snelheid der trillende luchtdeeltjes is 0,17 cm/sec. en de maximum amplitude 0,000053 cm.

Wanneer we deze grootheden bezien, dan is het duidelijk, dat het probleem weinig uitzicht op oplossing biedt, wanneer we het langs



Frequency.

Afb. 9e.

Frequency.

directen weg, d.w.z. door directe meting der bovengenoemde grootheden benaderen moeten.

De mogelijkheid, die ons is gegeven, is — zooals aangegeven — de meting langs electrischen weg, d.w.z. men zet de te meten acoustische energie in electrische energie om door middel van een microfoon en meet verder electrische grootheden, die weer als acoustische verschijnselen geïnterpreteerd kunnen worden.

Meetapparaten.

De meetapparaturen, waarvan men zich bedient om de sterkte van het lawaai te meten, berusten in het algemeen op twee principes.

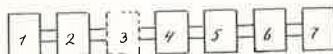
Bij apparaten gebouwd volgens het eerste principe wordt het te meten lawaai vergeleken met een standaardgeluid, terwijl bij die volgens het tweede principe gebouwd, direct een absolute waarde gemeten wordt. De laatste soort apparaten vindt thans vrijwel uitsluitend toepassing. Volledigheidshalve moge echter een voorbeeld van de eerste soort beknopt beschreven worden.

Voor vergelijking van het te meten lawaai wordt uitgegaan van een zoemer. Het geluid van dezen zoemer wordt zoodanig versterkt, dat, in een telefoon afgeluisterd, het geluid van dezen zoemer sterker is dan de geluiden, welke men wenscht te meten.

De aansluiting aan de telefoon geschiedt nu niet rechtstreeks, doch door tusschenschakeling van een aftakinrichting, bijv. een potentiometer, waarmede men dus de aan de telefoon afgegeven zoemertoon in wijde grenzen der sterkte regelen kan.

Tevens is een inrichting aanwezig, waarmede men de toonhoogte

Afb. 10. Schema van een electrisch geluids-meetapparaat.



Legenda: 1. microfoon; 2. 1e versterker; 3. bandfilters; 4. dempingsweerstand voor gevoeligheidskromme van het oor; 5. afzwakker door middel van weerstanden; 6. 2e versterker; 7. gelijkstroommeter.

(aantal frequenties per seconde van de toon) kan regelen. Bij eenvoudige apparaten bereikt men dit, door meerdere zoemers met verschillende toonhoogten in te bouwen; bij meer ingewikkelde door den zoemer te laten werken op een af te stemmen electrischen kring, welke continu veranderlijk kan zijn, bijv. tusschen 100 en 5000 per.

De gehoorschelp van de telefoon is van speciale constructie. Behalve de centrale opening, waardoor het geluid van de trilplaat op het oor overgebracht wordt, heeft de verhoogde rand van de gehoorschelp eenige gaten, welke met de buitenlucht in verbinding staan en waardoor dus het te meten lawaai het oor bereiken kan.

Men werkt nu met het apparaat als volgt: De telefoon wordt aan het oor gehouden en nu wordt de zoemertoon zooveel mogelijk wat de toonhoogte betreft, in overeenstemming gebracht met die van het te meten lawaai.

Vervolgens wordt met den potentiometer de sterkte van den zoemertoon zoodanig geregeld, dat het te meten lawaai juist gemaskeerd wordt.

Alsdan zijn beide geluiden ongeveer gelijk in intensiteit. Heeft men nu van te voren de verschillende geluidsterkten van den zoemer met bekende standaard-geluiden gemeten, dan is aldus direct de intensiteit van het gemeten lawaai vast te stellen.

Uit het bovenstaande blijkt, dat deze meetmethode geheel langs acoustischen weg verloopt, d.w.z. het te meten geluid wordt met het standaard-geluid zuiver op het gehoor vergeleken.

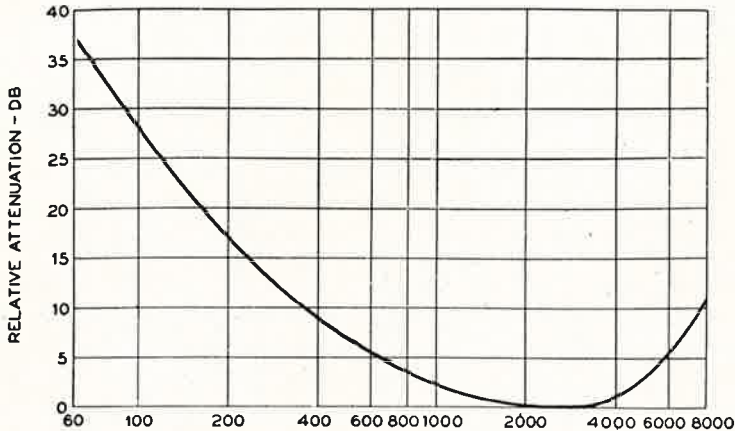
Hoewel deze methode niet zeer nauwkeurig is schijnt zij toch vrij bevredigende uitkomsten te hebben gegeven. Evenwel is het begrijpelijk, dat vooral wanneer het te meten lawaai en de zoemertoon belangrijk in frequentie verschillen, de resultaten onzeker worden.

Bij de tweede soort apparaten verloopt de meting geheel electrisch. Ook hier bestaan weer verschillende varianten in de uitvoering. Een enkel type moge als voorbeeld beschreven worden.

De algemeene opbouw is te volgen aan de hand van afb. 10, waar de verschillende onderdeelen in blokvorm zijn voorgesteld.

Van links naar rechts zijn de volgende onderdeelen geteekend. Allereerst de microfoon, welke bestemd is het te meten geluid op te vangen. Daarna een versterker. Deze versterker dient om de in de microfoon opgewekte wisselstroompjes, wanneer zij door geluidsgolven getroffen wordt, zoodanig te versterken, dat zonder bijzondere moeilijkheden uifilteren van bepaalde frequenties enz. kan plaats vinden.

Vervolgens — gestippeld geteekend — een combinatie van bandfilters. Deze bandfilters maken het mogelijk, om wanneer dit voor



Afb. 11. Frequentie in perioden per seconde.
 Frequentie-karakteristiek van geluidsmeter. Belastingsnetwerk gebaseerd op gelijke luidheidscurve voor normaal oor.

een analyse van een bepaald geluid gewenst is, slechts bepaalde frequentie-gebieden door te laten en de geluidsintensiteit in deze gebieden te meten. Van deze bandfilters is gebruik gemaakt bij de metingen weergegeven in afb. 7.

Vervolgens passeeren de stroomen een kast met weerstanden, welke het geluid in bepaalde trappen verzwakken kan, welke trappen zoodanig gekozen zijn, dat het apparaat direct in decibels afleesbaar is.

Vervolgens is in den keten geschakeld een apparaat, dat zoodanig is ingericht, dat het de verschillende erdoor passerende frequenties ieder op een bepaalde wijze verzwakt. De mate waarin dit gebeurt is weergegeven in afb. 11.

Dit verzwakken geschiedt door een systeem van elektrische filters, welke zoodanig zijn gekozen, dat zij gezamenlijk de verzwakkingskromme van afb. 11 geven.

Men zal in deze kromme oogenblikkelijk de kromme voor de minimum hoorbaarheidsgrens herkennen van afb. 7. Hierdoor wordt tevens de functie van het apparaat-onderdeel, dat wij nu bespreken, duidelijk. Het doel is het navolgende.

Indien wij het apparaat zonder deze dempingsinrichtingen gebruiken, is het zoodanig gebouwd, dat het alle binnenkomende frequenties, welke binnen een bepaald frequentiebereik — zeggen wij b.v. van 50—10 000 per./sec. — vallen, gelijkmatig versterkt.

Lezen wij nu door middel van een meter de energie van het binnenkomende geluid af, dan is het duidelijk, dat alle binnenkomende frequenties in onderling gelijke intensiteitsverhoudingen gebleven zijn.

Wordt dus de meter uiterst rechts in afb. 10 geijkt in db, dan kan men dit doen t.o.v. een bepaald minimum geluid en is dit minimum geluid voor alle frequenties hetzelfde. Men meet dus de intensiteit van het lawaai uitgedrukt in db.

In vele gevallen, waar het gaat om een indruk te krijgen van de hinderlijkheid van het lawaai voor den mensch, is het echter interessant te weten, hoe het oor op het binnenkomend lawaai zou reageren.

Brengt men dus nu een belasting in den keten, welke de gevoeligheidskromme van het oor nabootst, dan heeft men niet langer op den meter een aanwijzing voor de intensiteit van het geluid, doch voor de „luidheid" van het geluid.

Bijvoorbeeld geeft de kromme van afb. 11 aan, dat een frequentie van ± 75 per./sec. minimaal een intensiteit moet hebben van 35 db boven de laagste drempelwaarde van het instrument bij 300 per./sec. om den meter te laten beginnen aan te wijzen.

Wijst de meter in dit bepaalde geval dus 5 db aan, dan wil dit zeggen, dat de luidheid voor ons oor 5 db zou bedragen en de intensiteit t.o.v. de minimum drempelwaarde 35 db.

Teneinde nu behoorlijk duidelijke aanwijzingen te krijgen, is achter dit „kunstmatige" oor nog een extra versterker geschakeld, waarin een gelijkrichtlamp aan het uiteinde, welke de versterkte wisselstroomen gelijkricht en dus geschikt maakt voor de aanwijzing door middel van een gelijkstroom-instrument.

Te bereiken resultaten.

Een enkele toelichting over het gebruik en de nauwkeurigheid der te bereiken resultaten, moge nog volgen.

In het bijzonder dient hierbij het volgende overwogen te worden. De nauwkeurigheid van de meting stijgt naarmate het instrument meer getrouw de te meten geluiden, zoowel wat frequentie als wat intensiteit betreft, aangeeft.

Indien men zich nu in de herinnering roept, dat de intensiteitsverschillen bij ca. 3000 per./sec. een verhouding hebben van ongeveer 1 op 10^{12} , dan wil dit zeggen, dat de versterkers enz. — wil de meting betrouwbaar zijn — voor signalen, welke 10^{12} in intensiteit uiteenloopen, dezelfde versterkingsgraad moeten hebben niet alleen bij alle tusschenliggende intensiteiten, doch ook bij alle voorkomende frequenties, waarvoor het instrument is ingericht.

Ieder, die met versterkertechniek vertrouwd is, zal beseffen, hoe zwaar deze eisch is. Ofschoon hij te verwerkelijken is, zou hij een zoodanig kostbare en ook omvangrijke apparatuur noodig maken, dat alleen voor laboratorium-doeleinden dergelijke instrumenten als „standaardinstrumenten" zin hebben.

In de praktijk zal men zich dus te vergenoegen hebben met instrumenten van geringere nauwkeurigheid.

Er is echter nog een tweede moeilijkheid en wel die van het aanwijsinstrument. Indien dit zoo gebouwd werd, of kon worden, dat het zuiver de gelijkgerichte stroomkromme van den laatsten versterker volgde en dus — aannemende dat het overige gedeelte van de apparatuur juist werkte — een zuivere weerspiegeling gaf van het te meten geluid, dan zou het voor de praktijk onbruikbaar zijn. Immers de wijzer zou als regel zoo snel slingeren, dat aflezing onmogelijk was.

Vandaar dat men den meter moet „dempen”, d.w.z. men maakt hem ongevoeliger voor korte stroomvariaties, waardoor hij eerst nadat gedurende eenigen tijd een zekere stroomsterkte aanwezig is, deze volledig aangeeft en ook weer eerst na een zekeren tijd, nadat de stroom opgehouden is, op nul terugzinkt.

Men bouwt nu meter en bijkomende apparaten zoodanig, dat de meter betrekkelijk snel oploopt en betrekkelijk traag afloopt. Hierdoor heeft de meter dus de neiging plotselinge pieken, zoowel in de toename als in de afname van het geluid, af te vlakken.

De tijd, waarbinnen de meter op zijn eindwaarde komt, kiest men van 2 tot 5 sec.

Betrekkelijk continu lawaai, b.v. het passeeren van een trein, geeft dus een juist maximum; betrekkelijk plotselinge geluiden, als bijv. de stoot op een claxon, kan te lage uitkomsten geven.

Men zal dus goed doen, afhankelijk van de omstandigheden, rekening te houden met een zekere marge van nauwkeurigheid in de uitkomsten. Veel ervaring kan hier een inzicht geven omtrent de mate van nauwkeurigheid.

Metingen.

Is aldus eenig inzicht verkregen over de werking der meetapparaatuur, thans kan men trachten eenig inzicht te krijgen omtrent datgene, wat men wensch te meten en hoe men alsdan moet te werk gaan.

Allereerst vallen dan de te meten objecten uiteen in twee groote groepen en wel die, waarbij ons het geluid in hoofdzaak interesseert in verband met de geluidsbron en die, waarbij ons het geluidsniveau in hoofdzaak belang inboezemt in verband met de plaats, waar dit niveau heerscht.

Voorbeelden van de eerste groep zijn bijv. de sterkte van het geluid van een claxon, de sterkte van het geluid van de uitlaatgassen van een auto.

Als voorbeelden van de tweede groep mogen gelden het geluidsniveau in een straat op bepaalde uren, dat in een fabriek, kantoor, woonhuis, enz.

Bij de eerste groep nu dienen wij goed in het oog te houden onder welke omstandigheden de metingen gedaan worden. Allereerst valt natuurlijk op, dat de afstand tot de geluidsbron van groote beteekenis is. Voorts is van belang of de geluidsbron een zekere richtwerking heeft, m.a.w. in de eene richting meer geluid produceert dan in de andere. In dit geval is het van belang de geluidsintensiteit op verschillende punten van een cirkelomtrek met de bron als middelpunt te meten.

Voorts is het zeer belangrijk, waar gemeten wordt. Bijvoorbeeld zal men bij een claxon op het open veld geheel andere waarden vinden dan op een binnenplein, dat aan alle kanten door hooge goed reflecteerende steenen muren omgeven is.

Tenslotte zijn ook de weersomstandigheden van veel invloed. Droge of natte lucht, enz., beïnvloeden de geluidsintensiteit, evenals wind e.d.

Men zal goed doen zich van al deze factoren rekenschap te geven en degene, die de literatuur op dit gebied volgt, zal ervaren, hoe incompleet de gegevens nog zijn, vooral omtrent de omstandigheden, waaronder gemeten wordt.

Dit maant tot voorzichtigheid en doet bijv. de vraag rijzen, hoe gewenscht dit overigens moge zijn, of de tijd al rijp is, om voor claxons e.d. reeds maximum intensiteiten vast te stellen zonder dat nauwkeurig de wijze van meting wordt omschreven.

Voor de tweede groep van metingen, die waarbij dus min of meer constante niveaux gemeten worden, gelden al deze overwegingen in veel mindere mate en kan men dus met meer vertrouwen in de nauwkeurigheid, de resultaten der metingen tegemoet zien.

V. ENKELE MEETRESULTATEN.

Hiertoe in staat gesteld door de in de vorige afdeling omschreven meetinstrumenten en meetmethoden, is men nu meer en meer systematisch metingen gaan verrichten, zoowel omtrent het lawaai voortgebracht door verschillende oorzaken, — vooral door mechanische hulpmiddelen, waarvan de mensch zich in toenemende mate ging bedienen —, als ook van de geluidsniveaux, welke als gevolg hiervan voortgebracht worden in de ruimten, waarin de mensch gedwongen is te verkeerem.

Het eerst is dit in 1929 en 1930 op groote schaal en zeer systematisch in New-York geschied. Deze proeven geschieden onder leiding van de New-York City's Noise Abatement Commission.

De resultaten der metingen werden in drie hoofdafdeelingen ondergebracht en wel:

- I. Straatlawaai.
- II. Lawaai in gebouwen.
- III. Middelen om het lawaai te verminderen.

Wat de metingen van het straatlawaai betreft, vermeldt het rapport het volgende:

Allereerst werd getracht om gegevens te verkrijgen omtrent het lawaai, dat door speciale bronnen werd voortgebracht, zooals deze bronnen zich in de dagelijksche samenleving in een groote stad voordoen. Als zoodanig gelden auto's, vrachtwagens, trams, treinen, fluiten van zeeschepen, pneumatische boren en hamers, enz. enz. De resultaten der metingen dezer enkele bronnen worden in de navolgende tabel vermeld.

Ter toelichting moge dienen, dat voor verschillende geluiden, waarnemingen op verschillende afstanden zijn gedaan, teneinde een denkbeeld te krijgen van den indruk, dien deze geluiden maken op personen, welke loopende op straat, deze geluiden betrekkelijk willekeurig om zich heen hooren ontstaan.

Het is hierbij tevens gebleken, dat zoolang zich geen bijzondere hindernissen voordoen, op den weg tusschen geluidsbron en waar-

Lawaai voortgebracht door verschillende
geluidsbronnen.

Bron en omschrijving van het lawaai	Gemiddeld niveau	Afstand v. d. bron tot de microfoon
Hameren op een stalen plaat, 4 slagen per seconde	113	60 cm
Klinker vlakbij	97	12 m
" zoals men hen op straat hoort	79.5	65 "
Station ondergrond, voorbijrijdende trein	94	5-8 "
Fluit van een stoomboot	93	40 "
Idem door open raam op de 10e verd.	61	500 "
Autoclaxon (gemidd. van 34 exemplaren) vlak bij	91	8 "
Idem als gewoonlijk op straat	71.5	8-33 "
Heimachine	87	7-28 "
Brullende leeuw	87	6 "
Brandspuit sirene en bel	83	33 "
Politiefluit vlakbij	82	5 "
Radioluidspreker op straat	79	10 "
Vrachtauto, uitlaat gedempt	77.5	5-15 "
" overschakelend	74	5-15 "
Tram in snelle vaart	76.5	3-5 "
" op kruising	74	13 "
Sneeuwschepper	75	5 "
Paard en wagen op klinkerbestrating . .	74.5	5-16 "
Idem op asfalt	61	5-16 "
Auto, knarsen van remmen	71	5-16 "
" , rijdend normaal	65.5	5-16 "
Onweer	64	2-6 km
Blaffende hond (op straat)	63	7 m
Kerkklokken	57.5	400 "

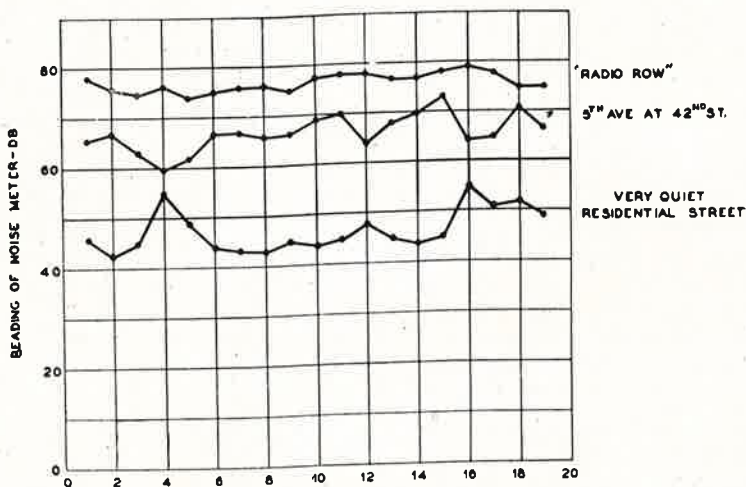
nemer, de wet, welke bij voortplanting in de vrije ruimte geldt, nl. afname van de intensiteit evenredig met het kwadraat van den afstand, met groote benadering blijft gelden. Onder deze omstandigheden kan men, zonder al te groote fouten te maken, dus aannemen, dat bij verdubbeling van een der in de tabel opgegeven afstanden de intensiteit van het lawaai met ± 6 db ($\log 2^2 = 0,602 \dots$) afneemt.

Naast de meting van de sterkte dezer enkelvoudige geluidsbronnen zijn nog uitvoerige metingen verricht omtrent het lawaai in straten, tengevolge van het verkeer ter plaatse.

Hieronder volgen enkele reproducties van resultaten dezer metingen.

Allereerst wordt gewezen op afb. 12, waar een serie metingen is weergegeven over een totaal tijd van 10 minuten en wel midden in

VARIATION OF NOISE METER READING FROM INSTANT TO INSTANT
 DAY-TIME OBSERVATIONS AT THREE DIFFERENT LOCATIONS



Afb. 12. Wisselingen in geluidsmeter van oogenblik tot oogenblik; dag-observaties op 3 verschillende plaatsen.

de stad, in een rustige straat in het centrum en ten slotte in een zeer rustige woonwijk.

Men ziet hieruit, dat over een betrekkelijk kort tijdsverloop de intensiteit van het geluid betrekkelijk constant is, doch dat het verschil tusschen minimum en maximum — zooals trouwens te verwachten is — met het afnemen der verkeersintensiteit toeneemt.

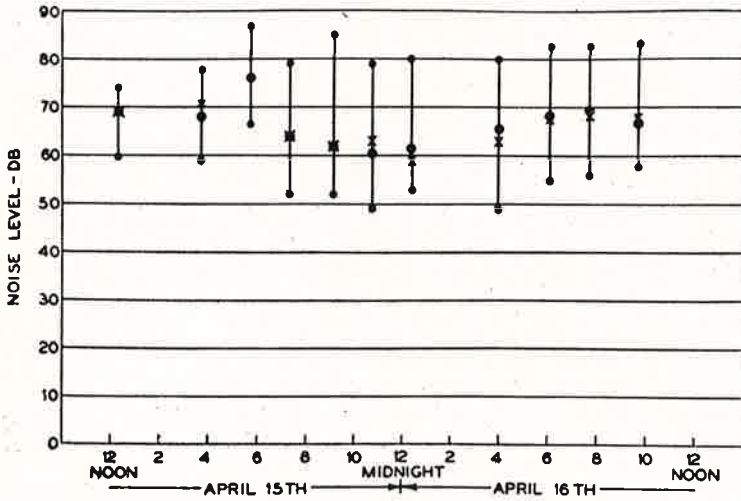
Ter vergelijking van het niveau in de rustige straat moge dienen, dat twee rijdende auto's in een open ruimte op ± 200 m afstand een zelfde lawaai produceeren als in de rustige straat overdag normaal voorkwam.

Vermeld moge worden, dat vooral in drukkere straten tengevolge van het passeeren van bijzonder veel lawaai makende voertuigen (luchtsporen e.d.) tijdelijk belangrijk hogere pieken kunnen voorkomen.

In afb. 13 wordt een indruk gegeven van de maxima, minima en daaruit afgeleide gemiddelde lawaai-niveaux, gemeten over een periode van 15 tot 20 minuten, gedurende ieder uur. De maxima, minima en gemiddelden zijn aangegeven door punten.

De plaats van meting is de kruising van twee hoofdverkeersaders, waar vrijwel dag en nacht een zeer intensief autoverkeer plaats vindt. Dientengevolge geven de metingen aan, dat de gemiddelden gedurende de gemeten 24 uur slechts weinig varieeren. Zondert men de meting te 5 uur n.m. — blijkbaar in een spitsuur in het verkeer — uit, dan is dit verschil ± 10 db.

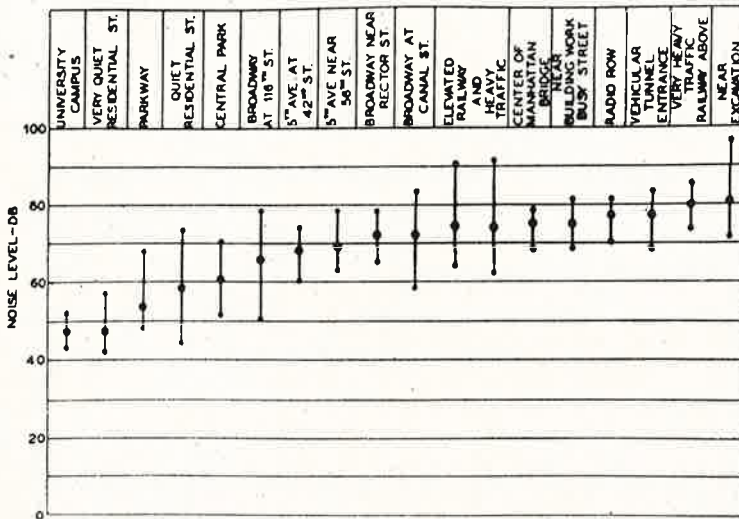
Voor een algemeen overzicht van het lawaaibeeld over de geheele



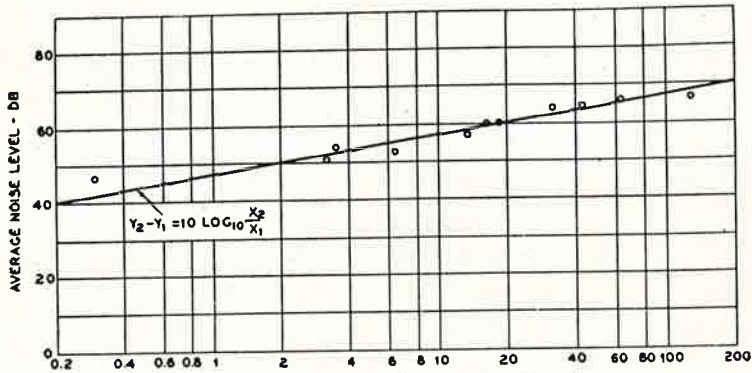
Afb. 13. Lawaai-niveau gemeten gedurende 24-uur proef in Canal-street en Broadway in New-York City. Ordinaten geven aan het lawaai-niveau. De punten geven minimum, gemiddeld en maximum lawaainiveaux, die gedurende elke 15 minuten proeftijd werden bepaald. Kruisjes toonen het uit de verkeersstelling afgeleide gemiddelde niveau.

stad, moge hier nog volgen afb. 14, waar de maxima, minima en gemiddelden voor een 17-tal plaatsen in New-York gegeven zijn.

Hieruit valt de conclusie te trekken, dat zelfs in zeer rustige gedeelten het niveau nimmer onder de 40 db daalt.



Afb. 14. Lawaai-niveaux op verschillende plaatsen in New-York City.



Totaal aantal voertuigen per minuut.

Afb. 15. Lawaai-niveaux vergeleken met verkeersdichtheid voor verkeer van constante samenstelling, waarvan personenauto's 90 tot 100 % van het totaal uitmaken.

Vergelijkt men dit met de laagste niveaux, gemeten in zeer rustige buurten in L o n d o n, afb. 16, dan blijkt het niveau te N e w - Y o r k over het algemeen nog zeer hoog.

Een andere serie metingen, welke nog zeer belangwekkende gegevens geeft, vooral met het oog op de mogelijke besparing in het aantal te verrichten metingen, is de navolgende.

Gemeten is het lawaai-niveau in verband met het aantal per minuut passerende voertuigen. Gaat men van de aanname uit, dat alle auto's ongeveer evenveel lawaai produceeren, dan zou, indien men het lawaai in db meet, het resultaat moeten zijn, dat het niveau in db stijgt met de logaritmie van het aantal voertuigen.

Afb. 15 geeft aan, dat dit inderdaad met groote benadering het geval is.

In dit verband is het nu mogelijk terug te grijpen naar afb. 13, waar men bij de verschillende gemiddelden nog een punt aangegeven vindt door een kruisje. Deze kruisjes nu geven de gemiddelden aan, zooals zij berekend zijn aan de hand van het aantal per minuut gepasseerde voertuigen onder aanname van de resultaten van afb. 15. Men ziet dat inderdaad deze aanname praktisch toelaatbaar blijkt.

Tenslotte moge hier nog een vergelijkende tabel gegeven worden, afb. 16, waarin enkele resultaten van de metingen van lawaaibronnen van straatlawaai van de Noise Abatement Commission worden gegeven met metingen elders in Amerika en in L o n d o n verricht. Deze metingen spreken overigens voor zichzelf.

Wat nu betreft het lawaai in gebouwen, hieromtrent vermeldt het rapport in hoofdzaak het volgende.

Allereerst wordt opgemerkt, dat de metingen in het geheel geen compleet beeld geven van alle soorten van lawaai, welke in gebouwen en woonhuizen voorkomen. Ook wordt medegedeeld, dat het aantal plaatsen waar gemeten is (een 70-tal) betrekkelijk zoo gering is, dat de resultaten meer te beschouwen zijn als richtlijnen voor een

NOISE LEVELS OUT OF DOORS DUE TO VARIOUS NOISE SOURCES				
SURVEY OF NEW YORK CITY NOISE ABATEMENT COMMISSION		NOISE LEVEL	OTHER SURVEYS	
DISTANCE FROM SOURCE	SOURCE OR DESCRIPTION OF NOISE		SOURCE OR DESCRIPTION OF NOISE	SURVEY NO
FEET		DB		
		130	THRESHOLD OF PAINFUL SOUND	4
2	HAMMER BLOWS ON STEEL PLATE-SOUND ALMOST PAINFUL (INDOOR TEST)	120	(AIRPLANE; MOTOR 1600 R.P.M.; 16 FT. FROM PROPELLER	5
		110	AERO ENGINE UNSILENCED-10 FT	4
35	RIVETER	100		
15-20	ELEVATED ELECTRIC TRAIN ON OPEN STRUCTURE	90	PNEUMATIC DRILL-10 FT. NOISIEST SPOT AT NIAGARA FALLS	4
15-75	VERY HEAVY STREET TRAFFIC WITH ELEVATED LINE	80	HEAVY TRAFFIC WITH ELEVATED LINE, CHICAGO	7
15-50	AVERAGE MOTOR TRUCK	70	VERY NOISY STREET N.Y. OR CHICAGO	1
15-75	BUSY STREET TRAFFIC	70	VERY BUSY TRAFFIC, LONDON	4
15-50	AVERAGE AUTOMOBILE	70		
3	ORDINARY CONVERSATION	60		
15-300	RATHER QUIET RESIDENTIAL STREET, AFTERNOON	60	(AVERAGE SHOPPING ST., CHICAGO BUSY TRAFFIC, LONDON	6 4
15-50	QUIET AUTOMOBILE MINIMUM NOISE LEVELS ON STREET:	50	QUIET AUTOMOBILE, LONDON QUIET ST BEHIND REGENT ST, LONDON	4 4
15-500	IN ENTIRE CITY (MIN. AVERAGE	40		
50-500	DAY TIME (MIN. INSTANTANEOUS	40		
50-500	IN MID-CITY (MIN. INSTANTANEOUS	40		
		30	QUIET ST. EVENING, NO TRAFFIC SUBURBAN LONDON	4
		20	QUIET GARDEN, LONDON AVERAGE WHISPER -4 FT	4 3
		10	QUIET WHISPER -5 FT. RUSTLE OF LEAVES IN GENTLE BREEZE	4 3
		0	THRESHOLD OF HEARING	

Afb. 16. Meetresultaten van lawaaibronnen.

verder onderzoek, dan als definitieve vaststaande gegevens, waarop men vergaande conclusies zou mogen bouwen.

Voor zoover nu betreft de woonruimten heeft men als resultaat gevonden, dat in de plaatsen waar gemeten werd, een gemiddeld lawaainiveau gevonden werd van 31 db. Het minimum (op 2 plaatsen in rustige zijstraten aangetroffen) bedroeg 22 db, het maximum 45 db. In dit laatste geval werkte in de nabijheid een pneumatische beitel voor het opbreken van de asphaltbedekking der straat.

Het maximum komt dus ongeveer overeen met het minimum lawaai op straat in eenige plaats in New-York gemeten.

In het algemeen bleek, dat in de woningen het niveau voor lage, middel en hoge frequenties resp. 16, 17 en 12 db lager was dan in de straten, waarin deze woningen lagen.

In de meeste gevallen was het lawaai in de woningen afkomstig

van lawaaibronnen in de woningen en wel: spreken, werkzaamheden, verband houdende met de huishouding, enz. In een geringer aantal gevallen was de oorzaak buitenshuis te zoeken en werd als deze oorzaak het verkeer opgegeven.

De onderzoeken in ruimten, welke geen woonhuizen waren, geschieden:

voor $\pm 50\%$ in kantoren in het hart van de stad;

voor $\pm 20\%$ in fabrieken en werkplaatsen en de rest in winkels, clubs, e.d.

De meeste metingen geschieden in verband met den aard van het gebruik dezer localiteiten gedurende den dag.

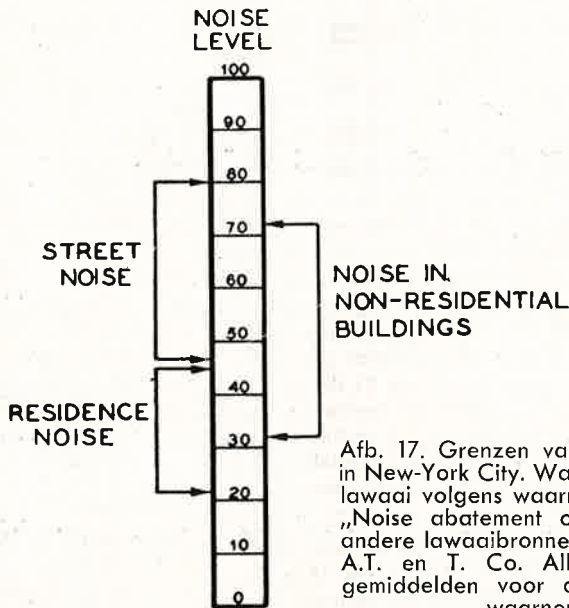
Als gemiddeld niveau werd gevonden 51 db, als minimum 32 db in een telefooncel in een winkel en als maximum 75 db in een fabriek waar een werkman bezig was een gegalvaniseerd ijzeren plaat met een hamer te bewerken.

Men ziet uit bovenstaande cijfers, dat het lawaai-niveau voor deze groep van gebouwen gemiddeld 20 db ligt boven dat van de woonhuizen. Een aanzienlijk bedrag dus.

Ook hier waren, evenals bij de woonhuizen, de oorzaken voor het lawaai in hoofdzaak te wijten aan interne lawaai-bronnen, in casu machines. Het zij dan, dat het machines in fabrieken, dan wel kantoor-machines e.d. waren.

Een algemeen overzicht der twee groepen vergeleken met het straat-lawaai is gegeven in afb. 17.

Het maskeerings-effect voor den lagen, middel en hoogen frequentie-band bedroeg resp. 37, 41 en 31 db.



Afb. 17. Grenzen van lawaai-niveaux in New-York City. Waarden van straat-lawaai volgens waarnemingen van de „Noise abatement commission” voor andere lawaai-bronnen van de N.E.L.A. A.T. en T. Co. Alle waarden zijn gemiddelden voor de plaatsen van waarneming.

De onderlinge verhouding is dus hier vrijwel gelijk aan die hierboven aangegeven voor woonruimten.

Tenslotte moge nog volgen een tabel (afb. 18), waarin een vergelijking wordt gegeven van de meetresultaten in New-York en die van soortgelijke metingen elders. De bronnen dezer metingen zijn op de tabel aangegeven.

NOISE IN BUILDINGS			
FROM JOINT D. & R. SUBCOMMITTEE SURVEY - NEW YORK DATA	NOISE LEVEL	DATA FROM OTHER SOURCES	SOURCE
	100		
	95	BOILER FACTORY	1
SUBWAY - LOCAL STATION WITH EXPRESS PASSING	90		
	85	SOME FACTORIES ARE AS HIGH AS THIS	2
	80	VERY LOUD RADIO MUSIC IN HOME	4
	75		
NOISIEST NON-RESIDENTIAL BUILDING LOCATION MEASURED	70	STENOGRAPHIC ROOM	3
AVERAGE OF 6 FACTORY LOCATIONS	65	VERY NOISY RESTAURANT	4
	60		
INFORMATION BOOTH IN LARGE RAILWAY STATION	55	NOISY OFFICE OR DEPARTMENT STORE	1
	50	MODERATE RESTAURANT CLATTER FEW PLACES WHERE PEOPLE WORK ARE BELOW THIS	4
AVERAGE NON-RESIDENTIAL LOCATION	45	AVERAGE OFFICE	1
NOISIEST RESIDENCE MEASURED	40	VERY QUIET RADIO IN HOME	4
	35	QUIET OFFICE SOFT RADIO MUSIC IN APARTMENT	1 3
QUIETEST NON-RESIDENTIAL LOCATION MEASURED	30		
AVERAGE RESIDENCE	25	COUNTRY RESIDENCE COUNTY COURT, CHICAGO, ROOM EMPTY, WINDOWS CLOSED	1 2
QUIETEST RESIDENCE MEASURED	20	QUIET GARDEN, LONDON	4

SOURCES:

1. H. FLETCHER, "SPEECH AND HEARING", P. 187. MARGINAL AUDIBILITY METHOD WITH 3A AUDIOMETER AND OFFSET RECEIVER. 17 DB. ADDED AS APPROXIMATE FIGURE TO CONVERT TO NOISE LEVEL.
2. D. A. LAIRD, SCIENTIFIC AMERICAN, DEC. 1928, P. 509. BALANCE METHOD WITH 3A AUDIOMETER AND RECEIVER WITH FLAT CAP. APPROXIMATELY EQUAL TO NOISE LEVEL.
3. W. WATERFALL, ENGINEERING NEWS RECORD, JAN. 10, 1927, P. 60 SAME METHOD AS (2) ABOVE.
4. A. H. DAVIS, NATURE, JAN. 11, 1930, P. 48. BALANCE OR MARGINAL AUDIBILITY METHOD WITH 840-CYCLE TUNING-FORK. FIGURES GIVEN IN TERMS OF SENSATION LEVEL, ESTIMATED EQUAL TO NOISE LEVEL.

Afb. 18. Lawaai in gebouwen.

Als laatste groep van metingen vermeldt het rapport nog een serie observaties van voertuigen, welke voor publiek verkeer dienen.

Deze metingen zijn weergegeven in onderstaande tabel. In het bijzonder ging het er hier om, te weten te komen, welk lawaai de reiziger in het voertuig en welk lawaai de voorbijgangers te verwerken kregen.

Bron.	Plaats van waarneming.	Niveau in db
Vliegtuig	6 m van de schroef	115
Ondergrondse trein (voorbijrijdend)	voorste ged. cabine	95
Idem	perron	94
Idem	in het rijtuig	93
Luchtspoor	5—15 m afstand	77
Idem	in het rijtuig	81.5
Vrachtauto	5—10 m afstand	77
Tram (wissel)	12 m afstand	74
Idem	5—10 m afstand	72.5
Idem	in rijtuig	72
Personenauto	5—15 m afstand	65
Trein	in rijtuig	67
Idem	Pullman	59

De resultaten in de tabel kloppen vrijwel met datgene, wat men verwachten zou. In het algemeen ziet men nl., dat zoowel de snelheid alsook de banen, waarop het voertuig rijdt, van veel invloed zijn. Zoo is bijv. het lawaainiveau van den ondergrondse trein belangrijk hooger dan dat van den luchtspoor en dat van den luchtspoor weer veel hooger dan dat van den gewone trein. Interessant is nog op te merken de invloed van de demping der materialen in het voertuig bij het Pullman-rijtuig t.o.v. het gewone rijtuig.

Een soortgelijke invloed kan men ook aantoonen t.o.v. van de baan zelve. Ieder heeft wel eens opgemerkt, dat op een met sneeuw bedekten bodem de treinen belangrijk minder lawaai maken, dan in gewone gevallen waar het ballastbed met grint is bedekt.

VI. TOEPASSING IN NEDERLAND VAN DE IN HET BUITENLAND VERKREGEN RESULTATEN EN HET AANGEVEN VAN ENKELE WEGEN, WAARLANGS EEN DOELMATIGE LAWAAIBESTRIJDING ZICH ZOU DIENEN TE BEWEGEN.

De vraag doet zich thans voor, welke conclusies uit deze metingen te trekken zijn voor de richting, waarin de bestrijding van overdadig lawaai zich zou hebben te bewegen.

Voor zoover dan het lawaai betreft, zal men moeten trachten, de

mechanische vervoermiddelen zooveel mogelijk geluidloos te maken bij hun bedrijf.

Voor de verschillende categorieën zou daarbij op de volgende punten de aandacht gevestigd moeten worden.

Voor zoover het autoverkeer betreft, valt de aandacht er op, dat met name de signalen en het overschakelen, de groote bronnen voor het lawaai zijn. Dit treft in nog sterker mate voor autobussen en vrachtauto's, waarbij vooral voor deze laatsten het rammelen van de lading nog een belangrijke rol kan spelen.

Voor zoover betreft de trams, dient aandacht besteed te worden aan het knarsen der tandradoverbrengingen, het zoemen der motoren bij het remmen en vooral het stoten der wielen op of tegen de rails. In het bijzonder is dit laatste bij kruisingen het geval.

Soortgelijke moeilijkheden doen zich voor bij het treinverkeer, waarbij het fluiten der locomotieven, vooral op rangeerterreinen, nog een belangrijke bijdrage voor het lawaai levert.

Voor zoover het lawaai in woonhuizen en kantoren aangaat, dient men op twee hoofdfactoren te letten en wel het lawaai van buiten en vooral het lawaai dat binnenshuis gemaakt wordt.

Wanneer het betreft lawaai dat van buiten komt, zal voor zoover de intensiteit der lawaaibronnen zelf niet wordt verminderd, een bescherming gezocht dienen te worden door isolatie tegen het binnendringende geluid. D.w.z. de buitenmuren met al hun openingen (deuren en vensters) dienen zoodanig geconstrueerd te worden, dat ze een redelijke bescherming geven tegen indringend geluid. Het spreekt vanzelf, dat hier de omstandigheden zeer kunnen verschillen.

In kantoren bijv., welke juist op de uren van druk straatverkeer in gebruik zijn en die bovendien meestal op punten van grootere verkeersintensiteit liggen, zal men behalve tot solide muurconstructies, al spoedig tot het permanent gesloten houden van vensters moeten komen. Dit brengt vanzelf het ventilatie-probleem zeer sterk op den voorgrond. Het laat zich aanzien — wil men althans in de kantoorgebouwen een redelijk rustige atmosfeer scheppen — dat de kunstmatige ventilatie een even belangrijk onderdeel van een bouwwerk in een stadscentrum wordt, als zijn inrichting voor centrale verwarming.

Voor zoover betreft het inwendig voortgebrachte lawaai, zal men, behalve de pogingen, die dienen te worden aangewend om de gebruikte bedrijfsmachines en huishoudelijke apparaten zoo geluidloos mogelijk te maken, er op bedacht moeten zijn, dat door het aanbrengen van juistgekozen dempingsmateriaal een belangrijk rustiger atmosfeer verkregen kan worden. Enkele voorbeelden mogen dit verduidelijken.

In de tabel op blz. 42 zijn enkele gebouwen en localiteiten aangegeven in kolom 1. In kolom 2 wordt aangegeven welke wijze van behandeling der muren is toegepast, m.a.w. welk soort van dempend materiaal aangebracht is. In kolom 3 vindt men vervolgens de afname van de geluidsintensiteit in db en in kolom 4 de in % geabsorbeerde geluidsenergie.

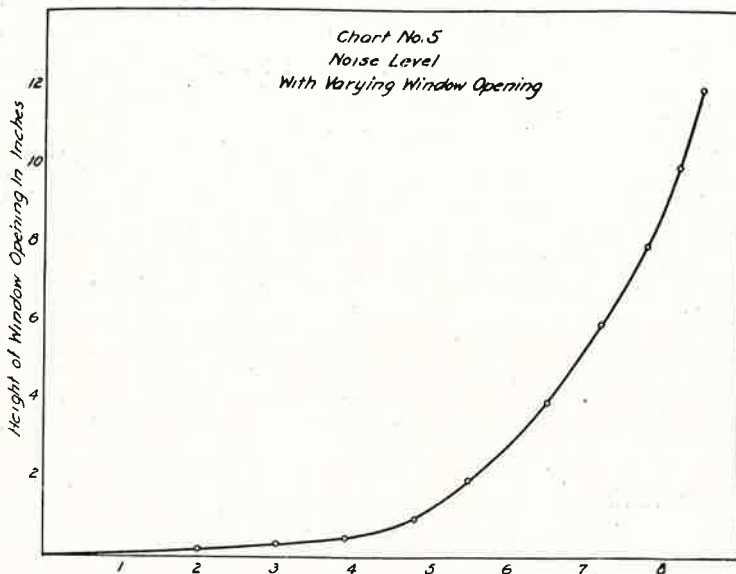
Gebouwen enz.	Soort van behandeling	Reductie in db	Reductie in % der geluidsenergie
Machinekamer	Plafond bedekt met Sanacoustic Tile	9.7	83.8
Typekamer 5-7 machines	Idem	11.3	91.2
Bureau met 150 machines	Idem	9.14	87.8
Schoollokaal	½" vezelplaat op houten ribben	7.2	81
Zaal in weverij	¾" haarvilt op wanden	8.5	86

Vooraf kolom 4, die wellicht meer tot de verbeelding spreekt, moge doen zien welke belangrijke resultaten te verkrijgen zijn.

Bijzondere aandacht dient, als boven reeds is aangegeven, besteed te worden aan het openen van ramen.

De grafiek (afb. 18) moge verduidelijken, hoe snel bij het openen van een venster, de geluidsindringing toeneemt. Het zeer vlakke verloop van het onderste deel der kromme geeft duidelijk aan hoe belangrijk het is, dat bij het gesloten zijn van een venster, dit ook werkelijk goed sluit en niet kiert.

Immers reeds bij een opening van het betreffende venster van ongeveer ¼ inch of 6 mm, blijkt het geluidsniveau 4 db in het betrok-



Afb. 19. Verband tusschen de opening van een venster en het binnendringend lawaai.

ken vertrek gestegen te zijn. Met andere woorden de geluidsintensiteit door bronnen van buiten nam met 25 % toe!

Teneinde nu aan het bezwaar van het indringen van lawaai door het openen van vensters zooveel mogelijk tegemoet te komen, heeft men tal van constructies bedacht, welke het mogelijk maken, frissche lucht binnen te laten en toch het geluid zooveel mogelijk buiten te sluiten. Ze berusten alle hierop, dat men de binnentredende luchtstroom eenige malen 90° van richting laat veranderen en op de grensvlakken of sterk absorbeerende of sterk terugkaatsende vlakken aanbrengt.

Ook economisch heeft de lawaaibestrijding zeer groote beteekenis. Deze beteekenis is tweeledig.

Voor zoover het betreft de gebruikte machines en werktuigen, is lawaai veelal het gevolg van minder zuivere of onjuiste constructie dan wel van slijtage.

Het gevolg van dit laatste is toenemend onderhoud. Het tijdig voorzien van het geconstateerde euvel heeft derhalve het dubbele voordeel van een economischer bedrijf en rustiger werking der apparatuur.

Ook op de prestaties van het personeel heeft vermindering van het lawaai een zeer gunstigen invloed. Dr. D. A. Laird, directeur van het Psychologische Laboratorium te Hamilton (N.-Y.), geeft hiervan de volgende voorbeelden.

Een groep employé's van een groote assurantie-maatschappij, werkzaam in de afdeling, waar een aantal boekhoudmachines waren opgesteld, verrichtte 12 % meer werk, toen door het aanbrengen van een dempend materiaal in het lokaal het lawaai-niveau van 45 db tot 35 db was teruggebracht. Een afdeling typistes haalde 4.3 % groter arbeidsprestatie toen het lawaai-niveau van 50 tot 40 db werd teruggebracht.

Het overbrengen van een groep werklieden, welke belast waren met het monteeren van temperatuur-regelaars, van een lawaaiige ruimte naast de ketelmakerij naar een rustig vertrek, had tot gevolg, dat het aantal afgekeurde apparaten van 75 % tot 7 % daalde, terwijl het aantal afgeleverde apparaten van 80 tot 110 steeg.

In een telefooncentrale daalde door het aanbrengen van dempend materiaal het aantal fouten met 43 %, terwijl de kosten per aansluiting met 3 % daalden.

In dit laatste geval werd het lawaai-niveau van 50 db tot 35 db teruggebracht.

Doel.

In de vorenstaande hoofdstukken is getracht een indruk te geven van het wezen van het geluid en van de wetten, waaraan de voortplanting van het geluid gehoorzaamt. Aangegeven is de invloed van verschillende media en met name de doordringing van het geluid door die media.

Voorts is verslag gedaan van de wijze, waarop de metingen van

geluidsintensiteit geschieden, alsmede van de resultaten, welke deze metingen in verschillende landen gehad hebben. In het bijzonder is de aandacht er op gevestigd, dat het geluid, dat tot ons oor doordringt, zonder dat wij dit wenschen en welk geluid wij met den naam van lawaai betiteld hebben, in onze tegenwoordige samenleving steeds grootere afmetingen aanneemt.

Aangegeven is, dat de gevolgen hiervan voor den mensch zoowel wat betreft zijn gezondheid als wat betreft zijn arbeidsprestatie ongunstig zijn.

Hieruit valt dus de conclusie te trekken, dat het gewenscht is, zoowel het voortbrengen als het voortplanten van lawaai te bestrijden.

Georganiseerd onderzoek is urgent.

Uit de hiervoren aangegeven onderzoekingen moge blijken, dat behalve algemeene en overal geldende meetresultaten het lawaai een sterk plaatselijk algemeen karakter draagt, welk plaatselijk karakter het gevolg is zoowel van den aard van de lawaaibronnen als van de omgeving, waarin het lawaai zich voortplant. Onder omgeving is dan te verstaan de bodem en de bodemgesteldheid, de bouwwijze der woningen, de bouwwijze der steden, enz. enz.

Het is dus duidelijk, dat een effectieve lawaaibestrijding in Nederland slechts zal kunnen plaats vinden, indien een belangrijke mate van plaatselijk onderzoek en dus van locale gegevens de algemeen bekende gegevens komt aanvullen. Wil men deze gegevens op systematische en praktische wijze verzamelen, dan zal het noodig zijn, dat het onderzoek systematisch geschiedt en dus georganiseerd wordt. Ook een andere overweging pleit voor de noodzakelijkheid van een dergelijke organisatie. Voor het onderzoek toch is vaak een vrij ingewikkelde apparatuur noodzakelijk, welke natuurlijk eenerzijds kosten met zich medebrengt, terwijl anderzijds het onderzoek op bepaalde plaatsen niet zoolang durend is, dat — vooral voor kleinere steden — hiervoor het aanschaffen van een eigen apparatuur gewettigd zou zijn.

Het ligt dus voor de hand, om ook om deze reden een centrale instantie met het meten te belasten en deze instantie te doen gebruik maken van apparaturen, welke zij naar wensch naar de plaats van meting kan meenemen.

Na het voorgaande is het eveneens duidelijk, dat behalve het verkrijgen van deze gegevens, het trekken van conclusies uit deze gegevens en het verbeteren van den toestand onder gebruikmaking van die gegevens, noodzakelijk zal zijn.

De verbetering nu van den toestand kan op twee wijzen verkregen worden en wel: men kan zorgen, dat er geen of althans zoo weinig mogelijk lawaai gemaakt wordt, en bovendien kan men trachten maatregelen te nemen, opdat het eenmaal voortgebrachte lawaai zoo min mogelijk doordringt tot plaatsen, waar men dit niet wenscht.

Voor al deze zaken zal alweer studie en voorlichting noodzakelijk zijn en ook hier geldt, evenals hierboven voor het verzamelen der

gegevens, dat deze studie op de meest economische wijze en dus centraal dient te geschieden.

Ook op aanverwante gebieden van de geluidsleer, welke in de voorgaande artikelen niet behandeld zijn, — ik doel hier b.v. op de acoustische behandeling van zalen, woonruimten e.d., in verband met de goede verstaanbaarheid in die localiteiten — is het noodzakelijk, dat een centraal orgaan zich met de studie dezer vraagstukken bezighoudt.

Een nuttige instelling.

Het is daarom, dat ca. twee jaar geleden de pogingen om te komen tot de oprichting van een „Geluidstichting” succes hebben gehad. Bij het oprichten van deze Geluidstichting heeft de bedoeling voorgezeten, om voor den Raad van Bestuur van deze Stichting personen te kiezen, die òf deskundig waren op het gebied van de geluidsleer, òf wel een werkkring hadden, waarin toepassing van de resultaten van de geluidsleer van belang kon zijn.

Aldus meende men er in te kunnen slagen, de Geluidstichting op een breeden grondslag op te trekken en op den duur den steun, hetzij moreel, hetzij materieel, hetzij op beide wijzen, uit de bij het geluidsvraagstuk betrokken groepen te verkrijgen.

De Geluidstichting nu, welke in Nederland werd opgericht, heeft aanstonds gemeend, dat het uitgebreide veld, dat zij wenschte te bestrijken, alleen dan met vrucht onderhanden genomen zou kunnen worden, indien zij zich door middel van commissies, welke ieder een speciaal gebied zouden behandelen, zou laten bijstaan.

Zoo werd o.m. ingesteld een commissie, welke de meer theoretische zijde van het vraagstuk zou onderzoeken en welke tevens normen en definities zou trachten vast te stellen.

Voorts werd ingesteld een commissie, welke zich zou bezighouden met het onderzoek naar de gehoorigheid in gebouwen en naar de maatregelen, welke hiertegen te nemen zouden zijn. Tevens heeft deze commissie zich tot taak gesteld, om te komen tot het vaststellen van eischen, waaraan nieuwe gebouwen zullen dienen te voldoen.

Meetdienst van belang voor de bouwkunde.

Een zeer belangrijk onderdeel van de werkzaamheden is ook toevertrouwd aan den Meetdienst van de Geluidstichting, welke in eerste instantie onderzoekt de eigenschappen van in Nederland gebruikelijke bouwmaterialen en constructies, hetzij op hun geluidabsorbeerende eigenschappen, hetzij op hun geluidwerende eigenschappen.

Het spreekt van zelf, dat dit gedeelte van de taak zeer belangrijk is. Gelukkig kan men toch vaststellen, dat er meer en meer belangstelling voor bouw-acoustische problemen begint te komen en dat door ingenieurs en architecten wel degelijk met acoustische eischen wordt rekening gehouden.

Ook de industrieën, welke bouwmaterialen vervaardigen, zitten niet stil en wedijveren in het aanbieden van tal van soorten materiaal, welke geluidwerend of -absorbeerend zijn.

De taak nu, welke de Geluidstichting en meer in het bijzonder de Meetdienst zich stelt, is zich beschikbaar te stellen, om tegen vergoeding deze materialen en constructies te onderzoeken, opdat zoowel de bouwkundige als de fabrikant met nauwkeurigheid weet, welk materiaal hij verwerkt resp. ter verwerking aanbiedt.

Het behoeft geen betoog, dat, vooral nu de neiging tot toepassing van acoustische materialen in opkomst is, vele verkeerde begrippen, vele misverstanden omtrent aard en werking dezer materialen en vele foutieve gegevens moeten worden uit den weg geruimd.

Te meer klemt dit, omdat vooral bij een dergelijke nieuwe toepassing voorkomen dient te worden, dat hetzij door onjuiste toepassing, hetzij door onjuiste opgave, het wezen van de acoustische behandeling in discrediet geraakt en daardoor een gezonde ontwikkeling van deze nieuwe en zoo nuttige toepassing zou worden vertraagd.

Een andere werkzaamheid van den Meetdienst bestaat hierin, dat hij voorlichting geeft tot vermindering van het lawaai, dat veroorzaakt wordt door bepaalde algemeene toepassingen van voorwerpen, welke lawaai-hinder kunnen veroorzaken. Ik denk hierbij bijv. aan vuilnisemmers, welke met veel geraas van deksels en stooten van emmers op vuilnisauto's, neersmijten op trottoirs, worden geledigd, aan claxons, welke noodeloos sterk of door den aard van de samenstelling van het geluid hinderlijk zijn, aan melkbussen in melkinrichtingen, welke vooral in de vroege ochtenduren hun ormelodieuw lawaai zeer ten ongenoegen van omwonenden doen weerklinken.

Bestrijding van hinderlijk lawaai.

Het spreekt nu wel van zelf, dat naast deze centrale werkzaamheid, welke door de Geluidstichting wordt ondernomen, tal van werkzaamheden te verrichten zijn, waarvoor de hulp van nog andere categorieën van personen moet worden ingeroepen.

Ik denk hierbij in het bijzonder aan het voorlichten en overreden van diegenen, welke door onoordeelkundige of onverschillige behandeling van tal van technische apparaten lawaai veroorzaken.

Als voorbeelden mogen genoemd worden radiotoestellen, welke te luide muziek voortbrengen, dan wel op uren muziek geven, welke voor nachtrust bestemd zijn; aan het gebruik van tal van huishoudelijke apparaten als stofzuigers, welke hetzij door hun constructie, hetzij door hun slijtage, te veel lawaai maken; aan noodeloos bellende fietsers en toeterende autobestuurders; aan motorrijwielen, welke in gebruik zijn zonder dat zij van een voldoende werkende knalpot zijn voorzien. Ik denk echter ook aan trams, welke op straat te veel lawaai maken, hetzij op de rails, hetzij door remmen, hetzij door de aandrijfmotoren, aan fluitende treinen op rangeer-

emplacements, kortom aan al datgene, wat lawaai voortbrengt en waarvan allermintst vaststaat, dat het zijn taak niet zou kunnen vervullen, indien met veel minder lawaai werd volstaan.

Al deze lawaaibronnen worden bediend door een zoo uiteenlopende schare van personen, dat het wel zeer moeilijk te achten is, om voldoende contact met deze schare te krijgen van een centraal punt uit.

Ook zullen de gevallen van overlast van plaats tot plaats, ja zelfs van straat tot straat, zoodanig kunnen verschillen, dat alleen een intensieve bewerking der lawaaimakers kans op verbetering zal kunnen geven.

Het is hierom, dat de Geluidstichting het initiatief genomen heeft tot oprichting van een Anti-Lawaai-Bond, welke zich ten doel stelt paal en perk te stellen aan het steeds toenemende euvel van straat- en huislawaai.

Zij meent, dat dit doel kan worden bereikt door het oprichten van plaatselijke afdelingen, welke, daartoe voorgelicht door de Geluidstichting, plaatselijk zullen kunnen werkzaam zijn tot bestrijding van uitwassen.

De Geluidstichting wordt hierbij ook geleid door de gunstige resultaten, welke met name in Engeland behaald zijn door de z.g. Anti-Noise-League.

Een eerste stap in de goede richting.

Deze artikelenreeks besluitende meen ik niet te mogen nalaten, de aandacht te vestigen op het verheugende verschijnsel, dat ook van overheidswege thans aandacht besteed wordt aan de vermindering van lawaai. De laatste wijziging van de Motor- en Rijwielwet is het levende bewijs voor deze stelling. Hier toch — zooals thans aan iedereen bekend zal zijn — vindt men voorgeschreven het nalaten van het gebruik van de claxon na tien uur 's avonds, de drang tot beperking van het gebruik van de claxon ook overdag en de grenzen, welke gesteld worden aan de geluidsintensiteit, die claxons mogen voortbrengen.

Ook ten aanzien van het lawaai, dat gemaakt wordt door motorrijwielen, vindt men voorschriften, welke beprekingen opleggen.

Moge dit reglement de eerste uiting zijn van overheidszorg op het gebied der lawaai-bestrijding en mogen nog vele volgende maatregelen er getuigenis van afleggen, dat de rust der bevolking ook beschouwd wordt als een zaak, waarvoor de Overheid te waken heeft.

