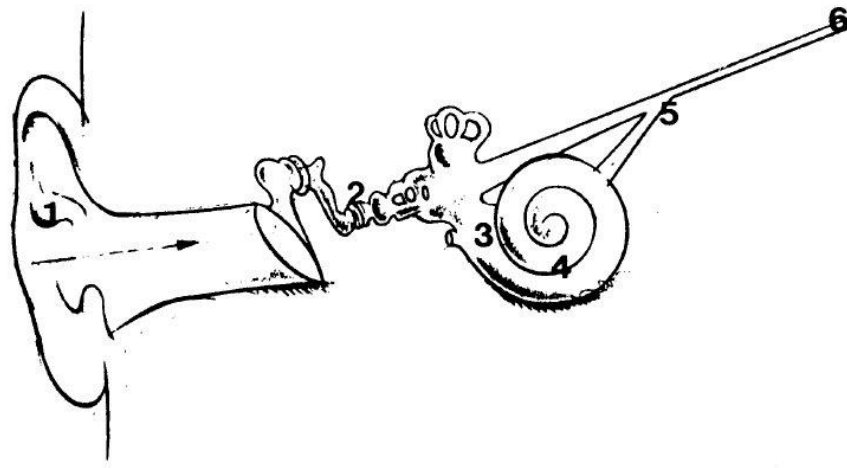


# FASEOVERGANGEN VAN GELUID NAAR GEHOOR



**Rolf KNAP**

Uitgave:  
Kunstuitgeverij Oostelijk Westfriesland (SMO 2013)

# **FASEOVERGANGEN VAN GELUID NAAR GEHOOR**

een SMO-rapportage (afdeling 9, onderzoekscentrum) naar aanleiding van mijn literatuuronderzoek daaromtrent.

Door:

**Rolf KNAP**

Concept: 5 (10 februari 2013)

Productie: Stichting Muziekcentrum (SMO)

## Inhoud

Inleiding: .....	3
Geluid kan destructief zijn en zelfs dodelijk.....	10
Een stemvorkproef .....	14
Het skeletstelsel .....	17
Geluidsperceptie .....	21
Botgeleiding .....	22
Postulaten van Bohr .....	22
Transmissie? .....	27
Het menselijk hoofd als klankkast? .....	27
Het hele menselijk lichaam als klankkast? .....	30
Oplopende weerstand en oplopende geleidingssnelheid.....	32
Aanhangsel 1:.....	37
Aanhangsel 2:.....	40
Aanhangsel 3:.....	42
Notities over zaal akoestiek: .....	47
Aanhangsel 4:.....	51
Aanhangsel 5:.....	54
Curriculum vitae .....	57

## Inleiding:

Mijn literatuuronderzoek naar de fenomenen 'geluid' & 'gehoor', leidde tot uitzonderlijke en afwijkende, bredere eindopvattingen dan de huidige en gangbare visies daaromtrent. Uiteindelijk ben ik tot een andere dan de gebruikelijke slotsom gekomen, namelijk dat het menselijk gehoororgaan niet uitsluitend dient voor de waarneming van geluidsgolven in de lucht, maar ook voor de perceptie van geluidsgolven (of zo u wilt, van trillingssensaties) die door absorptie in de weefsels vanuit het lichaam, binnendoor tot ons komen.

Vanuit de invalshoeken van muziek, anatomie, fysiologie en natuurkunde, heb ik geprobeerd de fenomenologie van geluid en gehoor te doorgronden. Daarbij heb ik mij grotendeels laten leiden door wetenschappelijke teksten. Zie de literatuurlijst (aanhangsel nummer 5) bij deze rapportage.

Uit de betreffende werken en verscheidene reacties heb ik conclusies getrokken door verbanden te leggen die mogelijk berusten op semantische onbepaaldheid. Maar juist daardoor kon ik tot mogelijk nieuwe actualisering van bepaalde gegevens komen. Bovendien kon ik daarbij mijn inzicht ontwikkelen en verdiepen, op verschillende niveaus van muziekperceptie bij de mens. Mijn proposities, conclusies en andere tekstsamenstellingen kregen daardoor wellicht een hypothetisch karakter, maar beter zo'n effect dan geen effect.

Verder kreeg ik door het literatuuronderzoek meer zicht op de volgende natuurkundige vraag: "Zou geluid eigenschappen van deeltjes kunnen hebben?" Deze vraag heeft lang door mijn hoofd gespoekt; thans kan ik hem beantwoorden. Immers de omkering van de vraag zegt het al. Namelijk, als deeltjes eigenschappen van geluid kunnen dragen, dan zal het geluid vanzelfsprekend eigenschappen van de dragende deeltjes hebben, een soort reproductie op grond van evenredigheid.

Ook andere vragen motiveerden mij, bijvoorbeeld: wat zou de oorzaak geweest kunnen zijn van de doofheid die Ludwig van Beethoven gedurende zijn carrière overkwam? En, was Robert Schumanns hersenziekte mogelijk een aandoening van de hersenzenuw die men de gehoorzenuw noemt? Zou er correlatie zijn tussen de vroege dood van de vermaarde en geliefde hoboïst Håkon Stotijn en de veelheid aan decibels die musici beroepshalve moeten doorstaan?

Of, is er verband tussen de verkeersherrie waarin Karel Mengelberg op latere leeftijd zijn compositorische arbeid verrichtte en de achteruitgang van zijn gehoor voor de verstaanbaarheid van spraak?

En, last but not least: Hoe zit het met neurovegetatieve stoornissen bij orkestmusici, en, is daarbij een connectie te maken met lawaai-belasting in het muziekvak? (Zie aanhangsel 4).

Zonder direct antwoord te geven op al deze vragen afzonderlijk, wil ik proberen het denken over geluid en gehoor te verbreden. Mijn motivatie hiertoe ligt onder andere bij mijn eigen gehoorbeschadiging, die ontstond door een onverwachte ervaring met akoestisch geweld in een symfonie-

orkest, gehuisvest in een veel te kleine repetitielokaliteit. De gevolgen zijn dramatisch te noemen: bijna chronisch oorpijn, vaak door continu ruisachtig geluid, maar vooral bij impulsvormig, laagfrequent geluid. Dat laatste geeft bij mij steeds vlijmscherp, penetrerende oorpijn. Uiteindelijk geraakte ik daardoor in een spiraal van ziekte en sociale ellende, gepaard aan ondraaglijk Kafka-achtig bureaucratisch medisch en juridisch geharrewar. Om meer inzicht te krijgen in de aard van gehoortrauma's bij orkestmusici, wilde ik weten: welk fysiologisch, natuurkundig aspect van geluid kan zo'n destructieve werking hebben, dat veel musici (vaak al op jonge leeftijd) tijdens hun arbeidzame leven geconfronteerd worden met verscheidene beroepsdeformaties aan de oren?

Ik hoop dit alles, in de loop van mijn verslag en betoog, te kunnen nuanceren middels mijn aanname, dat er zoveel golfenergie in laagfrequent geluid (< 1000 Hertz) aanwezig is, dat het menselijk lichaam gewoonweg als akoestisch open geïnterpreteerd mag worden. Daarbij hoop ik een soort ondergesneeuwde geluidsgolfmechanica van geluidstransmissie in het menselijk organisme onder de aandacht te kunnen brengen.

In het algemeen blijkt gehoorschade op te treden wanneer het menselijk organisme wordt blootgesteld aan een combinatie van geluidsniveau en een daarbij behorende expositieduur, waarbij ook de aard van het geluid een rol speelt. Als een organisme vrijwel uitsluitend wordt gepenetreerd door geluid met lange expositietijden waarbinnen geluidspieken met korte, snelle stijgtijden, terwijl onvoldoende demping of stilte heerst, dan kan de geluidsbelasting niet of onvoldoende worden verwerkt door het organisme. De dosis geluidsenergie die het lichaam onder dergelijke belastende omstandigheden krijgt te verwerken kan zo groot zijn, dat die destructief blijkt te kunnen worden. Voor de auditieve zintuigcellen in het binnenoor, gaat dat zeker op en mogelijk ook voor vele andere cellen in het betreffende organisme.

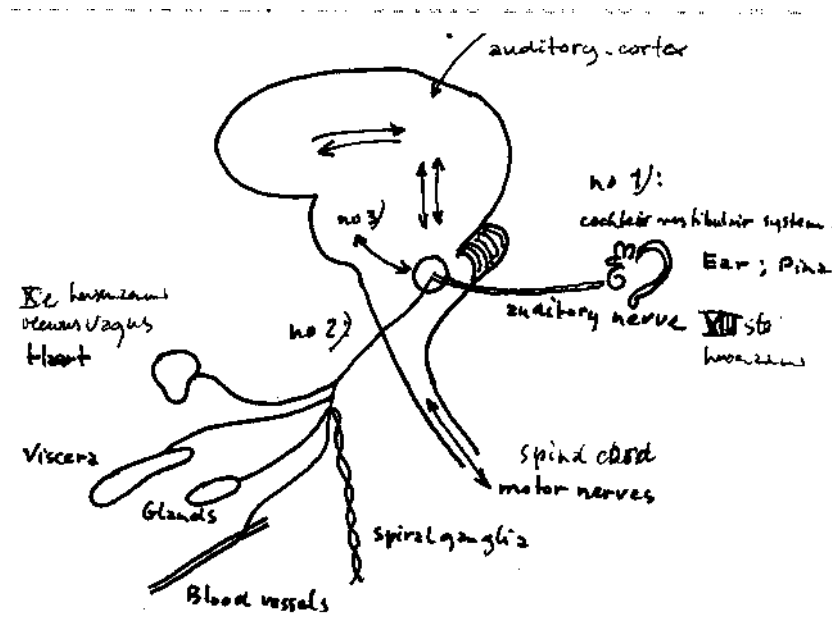
Ik wil hier nog een niet vaak gebruikt begrip, de verzamelnaam 'Audio Transmissible Diseases (ATD's)' introduceren. (red: Mijn eigen gehoorbeschadiging noem ik dus een ATD.) ATD's ontstaan niet door gewone regressie van de gehoorfuncties bij de geluidsvoortplanting in lucht, maar hoofdzakelijk door laagfrequente (< 1000 Hertz) resonanties in het gehele menselijk lichaam, inclusief het skeletstelsel.

Neurovegetatieve storingen door lawaai kunnen mijns inziens ook als ATD worden aangemerkt. Zij kunnen ontstaan door resorptie van laagfrequent geluid in de lichaamsholtes, waar die golven een prikkelende werking op de aanwezige zenuwweefsels zouden kunnen hebben. Ondanks de impedantiesprongen bij de verschillende weefsellagen van het organisme en ondanks die zogenaamde slappe energie opnemende onderdelen van ons lichaam, hebben bedoelde lagere frequenties zo'n energiewaarde, dat wij mensen onder het middenrif, in de buikholte trillingssensaties kunnen ervaren, zoals bijvoorbeeld in een danszaaltje of met een drillboor, maar ook in een auto.

Bij elke materiaal of weefselgrens wordt een deel van die geluidsgolven weliswaar gereflecteerd, maar de rest wordt blijkbaar (in zo'n danszaaltje) gewoon in het organisme geresorbeerd. Dat wil zeggen er is een soort overspraak van geluidsenergie, bijvoorbeeld op de buikholte of andere lichaamsholtes die dan als klankkast functioneren. De betreffende receptoren

en zenuwbanen daar, die bepaaldelijk voor andere doeleinden dienen, worden dan op uitzonderlijke wijze geprikkeld.

Zie: plaatje Karl D. Kryter.  
 "The effect of Noise on Man", pagina 488, fig. 245.



Toelichting:

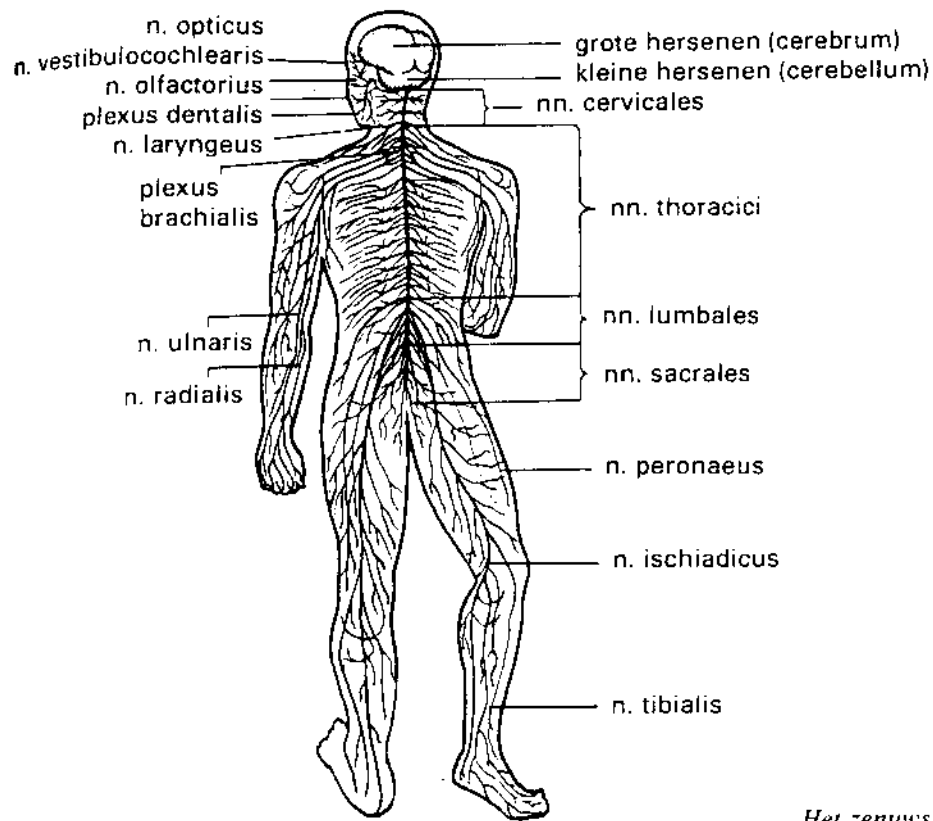
Dit plaatje geeft een cluster van synapsen in de hersenstam aan, waarmee tevens het verband tussen van het perifere, het autonome en het reticulaire zenuwstelsel is toegelicht.

Door onderlinge verbindingen tussen het neurologische van de mens, weergegeven in bovenstaand schematisch diagram, is het aannemelijk dat zelfs geluid van de kleinste intensiteit nog invloed kan hebben op het gehele zenuwstelsel. Er bestaat klaarblijkelijk, volgens Kryter, nauw verband tussen de intensiteit van verschillende geluidsbronnen om ons heen en de inwerking ervan op verschillende onderdelen van ons zenuwstelsel.

Overigens, het geluidsgebied in de hogere regionen, tussen 1000 en 10000 Hertz, zou ook riskant zijn in de sfeer van beschadigingen, onder andere vanwege de eigen resonantiefrequentie van de gehoorgang die gemiddeld zo'n 25 millimeter diep is.

In de lagere regionen, globaal aangeduid als die welke zich onder de 1000 Hertz bevinden, is geluid energierijker dan over het algemeen wordt aangenomen. Derhalve is dit het interessantste om te onderzoeken. Immers, wat zou er allemaal kunnen meetrillen bij golflengtes variërend tussen zo'n 20 meter en 40 millimeter, in de tongebieden tussen plusminus C sub contra en C zes gestreept?

Zie plaatje 'Het zenuwstelsel'.



**Toelichting:**

Slechts een klein deel van de langere geluidsgolven, bijvoorbeeld die tussen zo'n 16 en 2000 Hertz (de respectievelijke golflengtes liggen daarbij tussen ongeveer 20,88 meter en 16,3 centimeter), wordt weerkaatst door ons lichaam of afgebogen, waarbij de bovenharmonischen vermoedelijk worden waargenomen als luchttrilling.

De rest van het lagere geluid, minstens de helft daarvan doorstraalt mijns inziens het hele organisme doordat langere golven veel hogere energiewaarden vertegenwoordigen dan korte. Het geabsorbeerde laagfrequente geluid

verandert van richting door impedantiesprongen (refractie) bij het passeren van iedere materiaalgrens. Daarbij worden ook de weefsels behorend tot het zenuwstelsel gepasseerd en dus ook geprikkeld.

Volgens de Winkler Prins-encyclopedie, over actiepotentiaal, bedraagt de grootste snelheid, waarmee impulsen door het zenuwstelsel worden getransporteerd 432 km/u. Dit is het geval in de heupzenuw (nervus ischiadicus). De snelheid van de geleiding is direct afhankelijk van de dikte van de zenuw-kabel, dat wil zeggen: hoe dikker hoe sneller. De dichtheid van de stof van het menselijk lichaam vertegenwoordigt

een niet te verwaarlozen natuurkundig facet, namelijk dat van de akoestische openheid. Een dergelijke openheid lijkt een voorwaarde, wil men van trillingssensaties door laagfrequent geluid kunnen spreken. Verder is ook denkbaar, dat het totaal der zenuwbanen (of afzonderlijke banen) als een soort snaar meetrillen, aangedreven door bepaalde lage frequenties of geluidsimpulsen. Vooral golven die een grotere maat hebben dan het menselijk lichaam of gelijk zijn daaraan.

Voornoemd plaatje betreft het gewone zenuwstelsel maar iedere afbeelding van andere systemen, zoals het bloedvaten-, spier- en skeletstelsel lijkt mij inwisselbaar. Immers, globaal gezien trilt bijna alles gewoon mee bij de lagere frequenties, bij de hogere navenant minder.

Dit is evident en logisch, temeer omdat laagfrequent geluid makkelijker in materie absorbeert, terwijl hoogfrequent geluid beter door lucht wordt opgenomen. Misschien heeft geluid nog een specifieke inwerking op de elektrische eigenschappen van zenuwcellen in spierweefsels door het meetrillen ervan. Het actiepotentiaal, dat in de zenuwcellen heerst, zou misschien verstoord kunnen worden door dergelijke mechanische trilling van geluid. De zenuwweefsels in de huid zullen vermoedelijk ook een rol spelen, zodra de huid getroffen wordt door geluidsgolven (bijvoorbeeld: kippenvel bij muziekperceptie).

Hermann von Helmholtz stelde reeds, dat er íéts in het menselijk organisme zou moeten trillen, zo ongeveer als een snaar trilt, doch hij kon nog niet aangeven wáár precies. Mede gezien de uitvindingen van Charles Cros en Thomas Alva Edison, is het mijns inziens verbijsterend, dat de huidige wetenschapsopvattingen er van uit gaan, dat het menselijk organisme een passief systeem is dat geen voorkeursfrequentiegebieden zou hebben. Eveneens is het frappant te constateren, dat wetenschap en techniek er klaarblijkelijk vanuit gaan, dat de massa-elasticiteitswaarden van het menselijk lichaam garant zouden staan voor totale demping, omdat het zoveel slappe, trillingsenergie opnemende verbindingen zou bevatten, waardoor het niet in resonantie zou kunnen geraken. Hierin schuilt een aanzienlijke paradox!

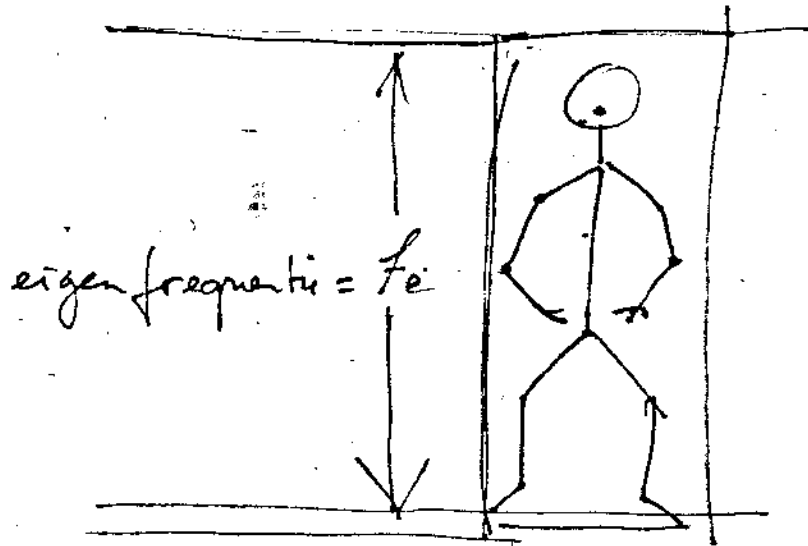
Mede gezien bedoelde uitvinding van geluidsregistratie op wasrollen en dergelijke, lijkt het aannemelijker dat geluidstrillingen onder 1000 Hertz best zo'n kracht (golfenergie) kunnen hebben, dat ze volstrekt onvoldoende in de energie opnemende verbindingen van het menselijk lichaam worden gedempt.

Vergelijkbaar aan geluidsenergie, die de naald doet trillen in de slappe warme was van de draaiende wasrol, zullen de slappe en weke delen van ons lichaam receptief zijn voor signalen van de betreffende geluidsbron(nen). Het lage geluid straalt mijns inziens gewoon dwars door het lichaam heen en daarbij zullen er dus weldegelijk resonanties optreden, dat wil zeggen op verschillende niveaus zal iets weergalmen, naklinken en/of meeklinken. Bovendien moeten we niet uitsluiten dat lagere frequenties vaak een draaggolf functie hebben voor de componenten of bijtonen. Dergelijke draaggolven manifesteren zich niet alleen in gassen, maar ook in vloeistoffen en in materie.

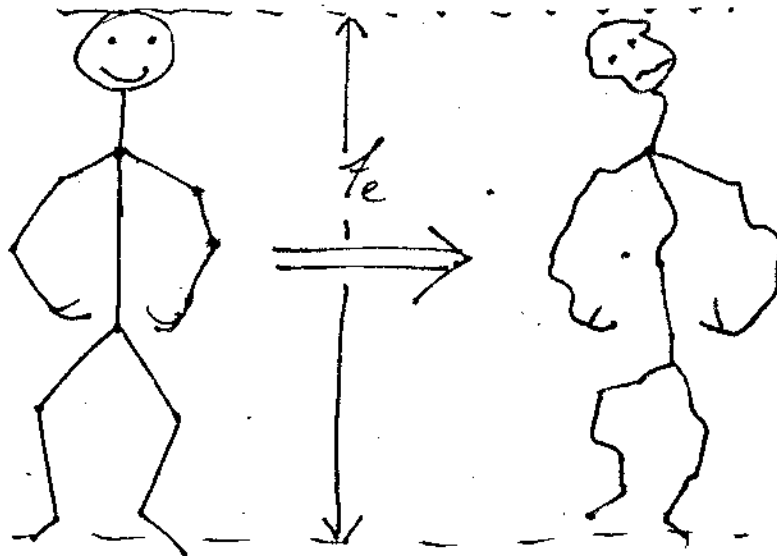
Voorwaarde voor het optreden van resonantie, is niet slechts de afwezigheid van voldoende demping, maar ook een met de resonantiefrequentie ( $f_e$ ) gelijklopende aanstootkracht (trillingsbron).



Zie plaatje 'Het dansen = trillen'.



het dansen (= trillen):



Toelichting:

Betrekkelijk weinig is er nog bekend over wat er in de hersenen gebeurt met de informatie die via de perceptie van muziek tot ons komt. Bijvoorbeeld: mensen dansen op dansmuziek en wiegen op walsmuziek. Vermoedelijk is de muziek in kwestie verantwoordelijk voor de opwekking van resonantie of meetrilling. Mijns inziens zijn herhaalde impulsvormige facetten van de muziek de ritmische patronen die uiteindelijk verantwoordelijk zijn voor (bijna) onwillekeurige reflecties in het spierweefsel (krimpreflexen).

Een ander argument voor spierinnervatie door impulsvormig geluid schuilt mogelijk in de zogenaamde autopalpaebrale reflex. Namelijk, reeds enkele uren na de geboorte is bij de meeste baby's door het knippen met de vingers ooglidopslag op te wekken.

Men kan in ieder geval heel duidelijk waarnemen dat zodra de geluidsbronnen voor het impulsvormige geluid wegvallen, bijvoorbeeld als het dansorkest stopt, dan stopt daarna het dansen. Vergelijk ook het onwillekeurig meettrommelen met de vingers of het in de maat zwaaien of knikken met het hoofd. Het vereist vaak veel concentratie om dit puppet on a string effect achterwege te laten.

Onderstaand diagram laat een toename aan spieractiviteit zien van de voorhoofds-, aangezichts- en beenspieren gedurende het luisteren naar muziek. Opvallend is dat bij luide muziek de parameters van de amplitudes enorme vormen aannemen.

Figuur 5 van onderzoekers Harrer & Harrer in Music and the Brain:

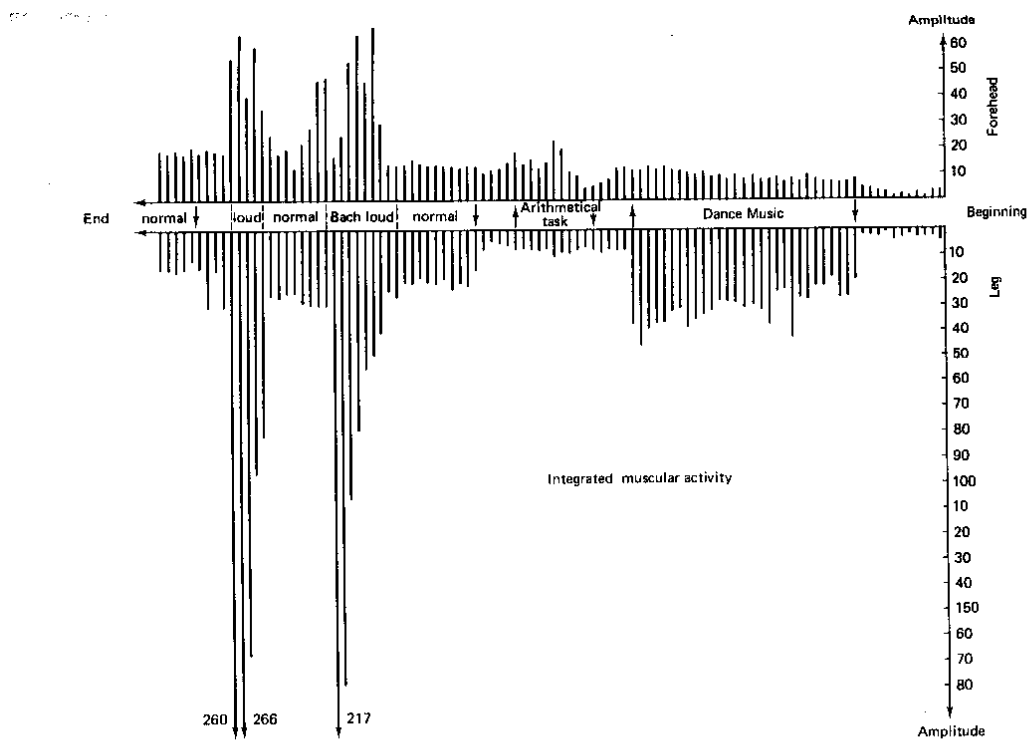


Figure 5 Integrated muscular activity shown electromyographically. Differences between the region of the forehead and of the legs while the subject is listening to dance music, during an arithmetical task; and listening to Bach's Brandenburg Concerto No. 6.

## Geluid kan destructief zijn en zelfs dodelijk

Allereerst wil ik hier een alinea uit de technische Winkler Prins citeren. Onder het begrip 'lawaaibestrijding' kwam ik de volgende formulering tegen: "Uit de resultaten van genomen proeven blijkt dat een geluid van 85 dB of hoger op den duur trauma veroorzaakt; vanaf 100 dB bedraagt de hiervoor benodigde tijd slechts uren en vanaf 115 dB is het een kwestie van minuten. Boven de ca. 130 dB treedt onmiddellijk blijvende beschadiging op." Als dit waar is, en daar lijkt het op, dan is dat wel zeer verontrustend!

Ergens in een natuurkundige voordracht zegt professor dr ir R. Plomp: "Natuurkunde is kwantitatief: je kunt nooit goed "fantaseren" over een voorwerp of onderwerp, wanneer je niet een juist gevoel hebt voor de grootte der dingen."

In verband daarmee geef ik hierna een lijstje over muzikale toongebieden, opgedeeld in octaven met bijbehorende frequenties en golflengten. Op de grootte van geluidsgolven wordt door de meeste mensen immers helemaal niet gelet, vermoedelijk omdat je ze niet kunt zien. Maar je kunt ze wel meten en berekenen (*Waves and the ear*, Van Bergeijk, Pierce and David).

TOON:	FREQUENTIE:	GOLFLENGTE:
C subcontra-oktaaf	16,37 Hertz	20,88 meter
C contra-oktaaf	32,74 Hertz	10,44 meter
C groot-oktaaf	65,5 Hertz	5,22 meter
c klein-oktaaf	131 Hertz	2,61 meter
c ' (prime)	262 Hertz	1,30 meter
c '' (double prime)	524 Hertz	65,3 centimeter
c ''' (triple prime)	1048 Hertz	32,6 centimeter
c '''' (quadruple prime)	2096 Hertz	16,3 centimeter
c ''''' (quintuple prime)	4192 Hertz	81,6 millimeter
c '''''' (sextuple prime)	8384 Hertz	40,8 millimeter

---

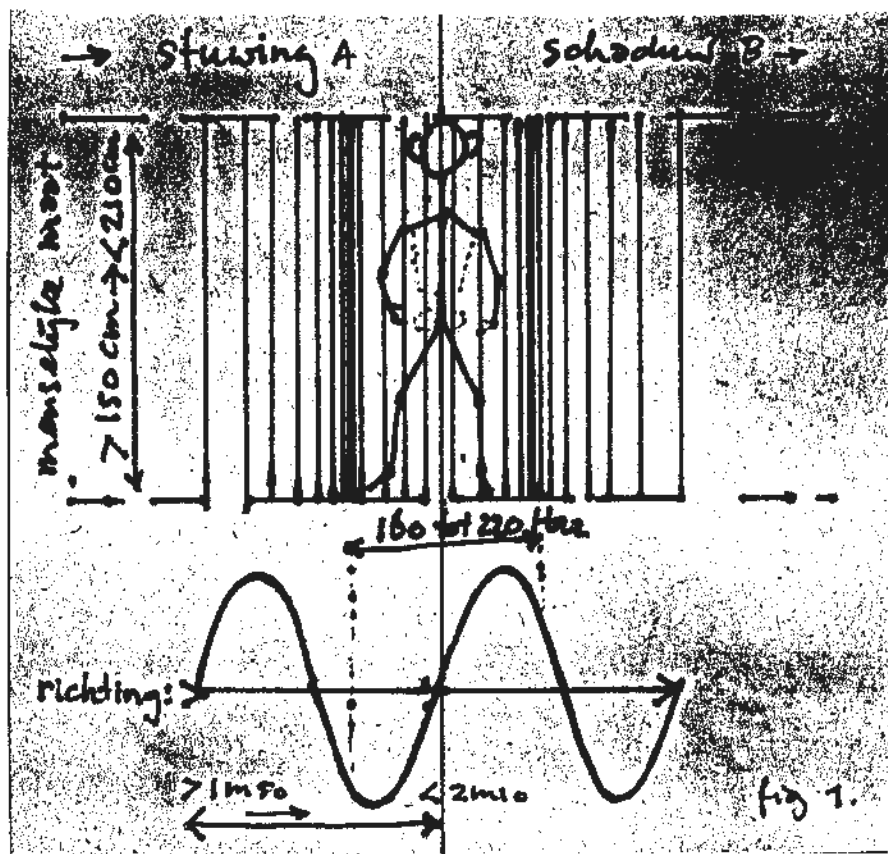
Wordt de lengte van het volgroeide menselijk lichaam globaal geschat tussen de 1,50 en 2,10 meter, dan liggen de frequenties van de zuivere tonen die hiermee overeenkomen, tussen zo'n 160 en 220 Hertz. Geluiden van dergelijke golflengten passen precies op de menselijke maat voor trefvlak van geluidsgolven, immers deze golven zullen niet licht om ons heen buigen en een groot deel ervan wordt niet weerkaatst.

Qua geluidsgolfgrootte en de daarbij behorende trillings- of voortplantings-energie, lijkt de kans op traumatisering door geluid uit deze regionen het grootst omdat het totale menselijk lichaam een eigen resonantiefrequentie bezit die even groot kan zijn als die van de genoemde frequenties.

Dit is ook geldig voor onderdelen van ons lichaam. Lengtematen van een organisme of een onderdeel ervan maken hoofdzakelijk uit of het, al dan niet, makkelijk kan meetrillen met de bron. Breedte of dikte doen er ook toe.

Bijvoorbeeld, als de ene mens (of een snaar) bij een bepaalde lengte dikker is dan de andere, dan valt de eigenfrequentie van de dikkere mens (snaar) lager uit dan die van de dunneren.

Zie: figuur 1.



Toelichting:

Het schematische figuurtje bevindt zich in een omgeving waar de deeltjes van de media zich voorwaarts en achterwaarts bewegen, langs de lijn welke het geluid bij voortplanting volgt. In die richting waarin het geluid zich voortplant, ondervindt het lichaam aan de ene zijde een geluidsstuwung (A) en aan de andere zijde een geluidsschaduw (B). De golflengten corresponderen met de menselijke maat, waardoor het figuurtje makkelijk in (gedwongen) trilling geraakt.

Concluderend kan men stellen dat als een lichaam (of wat voor organisme dan ook) in gedwongen trilling of resonantie geraakt dan kan het stuk trillen. *Immers, zonder voldoende demping treedt destructie op doordat dan de trillingsenergie in het organisme groter is dan de zwakste cellen kunnen verdragen (zie ook het plaatje Kryter).*

Dat wil zeggen niet specifieke geluidsreceptoren zoals receptoren in de botten, de spieren, de huid of andere organen, kunnen door geluid geprikkeld worden tot disfunctioneren. In zo'n geval is dat een soort oneigenlijke, overdadige prikkel.

*In vroeger jaren werd deze wetenschap gebruikt in het oude China. Daar was een bepaalde doodstraf in zwang: men sloot de veroordeelde op in een houten ton, waarna men op de ton ging slaan en trommelen totdat de betrokkene zou sterven. Intussen dansten de beulen en het publiek om de ceremonie te vieren in casu te compenseren. Meestal stierf de veroordeelde binnen vierentwintig uur, soms duurde het iets langer, maar binnen drie dagen was men gegarandeerd dood.*

Overigens, bij een bevolkingsonderzoek uit 1979 is gebleken dat door een volstrekt overmatige hoeveelheid lawaai in de maatschappij, steeds meer mensen auditief gehandicapt raken, wat zich vaak uit bij de verstaanbaarheid van spraak. "Het aantal mensen met gehoorverlies van 24 dB bij stilte, bedroeg 7,5%, waarbij 4,1% van de onderzochte personen jonger was dan 67 jaar. De resterende 3,5% was ouder dan 67 jaar. Het aantal jongere personen met gehoorschade is de laatste jaren blijkbaar ernstig toegenomen!", aldus professor dr ir R. Plomp, in een natuurkundige voordracht op 10 maart 1980 (*Natuurkundige Reeks*, nummer 58). Nu, twintig jaar later, zal dit beeld door de toename van het lawaai in de wereld zeker niet verbeterd zijn.

Als de intensiteit van geluid verdubbelt dan neemt de luidheid toe met 23%, uitgedrukt in decibels. Dit geeft een frapperend en significant verschil in intensiteit weer tussen de mate van luidheid van geluiden van 60 dB (is piano) en geluiden van 79 dB (80 dB is forte). Het verschil is groot en bedraagt zowat het honderdvoudige! Zie onderstaande tabel:

Plaatje geluidsintensiteiten (pagina 113 van *Klank en Muziek*).

Geluidsintensiteiten in decibels.

	Intensiteit ( $\text{W}/\text{m}^2$ )	Verhouding $I/I_0$	Niveau (dB)
<b>Pijngrens</b>	$10^0 = 1$	$10^{12}$	<b>120</b>
<i>fff</i>	$10^{-2}$	$10^{10}$	<b>100</b>
<i>f</i>	$10^{-4}$	$10^8$	<b>80</b>
<i>p</i>	$10^{-6}$	$10^6$	<b>60</b>
<i>ppp</i>	$10^{-8}$	$10^4$	<b>40</b>
<b>Gehoordrempel</b>	$10^{-12}$	<b>1</b>	<b>0</b>

Toelichting:

De eerste kolom geeft de muzikale notatie van de geluidsintensiteiten weer in de rangorde van pianissimo possible (zo zacht mogelijk) tot fortissimo (zo sterk mogelijk). De tweede kolom geeft de natuurkundige notatie van de geluidsdruk weer, in watts per vierkante meter. De derde kolom geeft de verhoudingen weer tussen de intensiteitsniveaus in watts en die in decibels, zie de vierde kolom. Dit plaatje van de auteur van bovengenoemd boek, John R. Pierce geeft onder andere aan dat een gewoon symfonieorkest een intensiteit bereik kan hebben van 40 tot 100 dB. (zie de eerste kolom ten opzichte van de vierde). Ik wil hierbij aantekenen dat de ervaring heeft geleerd dat symfonici in het orkestvak vaak meemaken dat genoemde geluidsintensiteiten langdurig worden overschreden.

*Sinds Skrjabin wordt al vier keer forte (fff) gecomponeerd. Dat is dus nog dichterbij de pijngrens.*

Situaties van intensiteitsbereik zijn derhalve mede afhankelijk van repertoirekeuze maar ook van de grootte van het repetitielokaal of van de orkestbak. De geluidsintensiteit hangt samen met de hoogte/laagte van de pieken en dalen van een geluidsstoot/-aanzet. De pieken geven een maat voor drukverdichting, de dalen een voor drukverdunding.

Een en ander wordt gemeten in watts per vierkante meter. De pijngrens ligt nabij de 1 Watt per vierkante meter. Vermindert de geluidsintensiteit tot een miljoenste (tien tot de min zesde) van de oorspronkelijke waarde, dan neemt de logaritme van de geluidsintensiteit zes eenheden af en het intensiteitsniveau met zes Bell of 60 decibel.

In de Elsevier *Technische W.P. Encyclopedie*, staat bij het begrip 'lawaaibestrijding' onder meer het volgende over geluidsintensiteiten geschreven: De gegevens over het verband tussen de geluidsterkte en het optreden van akoestisch trauma zijn zeer onzeker wegens grote individuele verschillen die de proefpersonen vertonen. Doorgaans bestaat zelfs bij een en dezelfde proefpersoon aanzienlijk verschil in gevoeligheid van beide oren. Uit de resultaten van de genomen proeven blijkt dat een geluid van 85 dB of hoger op den duur trauma veroorzaakt; vanaf 100 dB bedraagt de hiervoor benodigde tijd slechts uren en vanaf 115 dB is het een kwestie van minuten. Boven de ca. 130 dB treedt onmiddellijk blijvende beschadiging op. Dit alles doet mij ervan overtuigen, dat het geluidsgebied en vooral dat onder de 1000 Hertzgrens gezien de energierijkdom daar, aan een ernstig onderzoek naar de faseovergangen van geluid naar gehoor onderworpen zal moeten worden. Immers, de muziekindustrie en haar componisten, uitzonderingen daargelaten, moeten nog leren met de pijngrens en de gehoordrempel op een verantwoorde manier om te gaan. Wetenschappelijk onderzoek kan componisten helpen bij de vraag: hoe muziek te componeren die niet kan beschadigen, zonder dat het stom vervelende muziek wordt?

## Een stemvorkproef

De akoesticus Hayes A. Newby (Universty Maryland, USA) stelt in een van z'n geschriften vast, dat geluidstrillingen boven de 1000 Hertz onvoldoende intensiteit zouden hebben om het benige schedelbot in resonantietrilling te brengen. Dit lijkt mij plausibel. Derhalve komt het gebied onder de 1000 Hertz, dat van de grote, lange golven – die meer energie of kracht hebben dan kleintjes – in aanmerking voor het omgekeerde van wat Newby stelde. Temeer omdat de pieken en dalen van de amplitude van geluidstrillingen onder de 1000 Hertz-grens hoger en dieper zijn.

Op grond van de golfgroottes en de menselijke maten ga ik nog iets verder en neem aan dat geluidsgolven feitelijk worden opgevangen door het menselijk lichaam als geheel. Of, afhankelijk van golflengten in casu groottes, door een gedeelte daarvan. Daarbij neem ik aan dat er veel geluidsenergie door het hele lichaam tot ons komt en dat dit een zodanige geluidssensatie kan veroorzaken zoals die bedoeld wordt met het – in de wetenschap mijns inziens ten onrechte tot bijna residu verklaarde – fenomeen van het z.g. botgeleidingsluisteren.

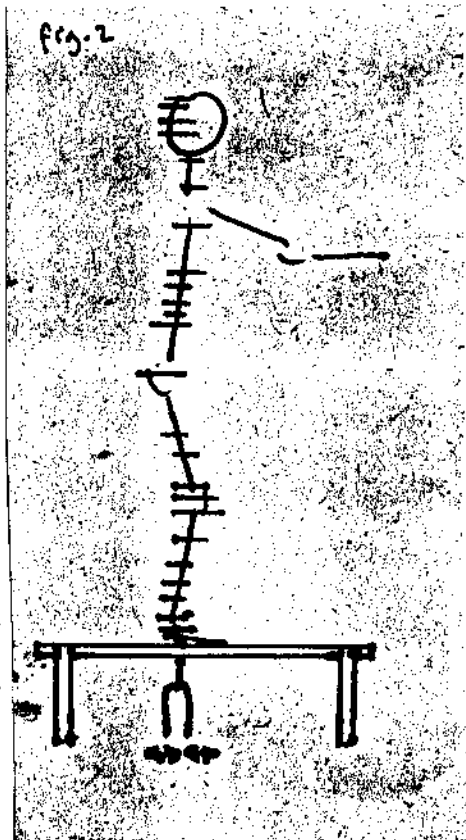
*In mijn opvatting dient het menselijk gehoororgaan niet slechts voor de waarneming van geluidsgolven in het medium lucht, maar ook voor de waarneming van trillingssensaties uit het lichaam zelf; trillingssensaties die ontstaan door contact met de trillende lucht en/of materie. Bijvoorbeeld een contrabas op een houten vloer geeft door de puntstandaard ook nog trillingen af die zich als transmissiegolven door de vloer voortplanten met een snelheid van zo'n 3400 m/s. Met de hand aan een houten stoelleuning kan men de daarbij behorende trillingssensaties als zodanig goed waarnemen. Dit draagt ook bij aan de ruimtelijke ervaring bij muziekperceptie!*

Trillende materie, bijvoorbeeld van zo'n houten podium en zaalvloer met stoel, of van een stemvork, van een danszaaltje, maar bijvoorbeeld ook van een drillboor, kan extra makkelijk golven in het hele menselijk lichaam veroorzaken door het directe fysieke contact met zo'n trillingsbron. *Dit produceert materie-trillingen in het menselijk lichaam die zich als krimp- en rekbewegingen in het skeletstelsel manifesteren. De gebieden met verdichtingen en verdunningen in de celstructuur van de botten, lijken ideaal voor dit geluidstransport. De geluidsvoortplantingssnelheid in bot of been, laat zich vergelijken met die in hout.* Deze snelheid bedraagt, zo'n 10 x de geluidssnelheid in lucht. Verder zijn de impedantie en de massa-elasticiteitswaarden van het materiaal in kwestie van belang, maar ook de zogenaamde akoestische openheid van een stof.

Afgezien van wat ook nog bekend is uit het onderwijs aan dove en doofstomme kinderen, is dit geluidstransport eenvoudig aantoonbaar met een stemvorkproef die ik heb bedacht en uitgevoerd, om de hypothetische effecten en eventuele semantische onbepaaldheid van mijn redeneringen af te pellen.

Allereerst monteren we een stemvork van 256 Hertz met de benen van de stemvork naar beneden gericht en de voet ervan omhoog, trillingvrij in een tafeltje met een cirkelvormig gat van zo'n 4 centimeter diameter. We monteren de vork zo dat hij bij aanslag vrij kan trillen, zonder dat het tafeltje gaat mee resoneren. Vervolgens plaatsen we een proefpersoon (met een scherp gehoor, bijvoorbeeld een pianostemmer of een musicus) op dit tafeltje, in een akoestisch dode kamer.

Zie figuur 2.





Toelichting:

De stemvork veroorzaakt na aanslag door de onderzoeker onder meer drukfluctuaties in lucht, met voor het trommelvlies minimale snelheidseigenschappen. De boventonen bij het aanslagmoment zijn wel gewoon hoorbaar.

Wanneer de proefpersoon op blote voeten gewoon gestrekt op het tafeltje gaat staan, zonder dat met de voeten (hielen) contact wordt gemaakt met de in trilling gebrachte stemvork, dan kan de proefpersoon door de betrekkelijk grote afstand tussen zijn oorschelpen en de trillende vork in kwestie, de toon (256 Hertz) van de stemvork via de luchtgeleiding niet horen. Immers, na de aanslag produceert een stemvork in de vrije lucht maar weinig geluid, omdat de twee benen door hun vorm gemakkelijk door lucht glijden, zonder al te veel fluctuaties te veroorzaken.

Gaat de proefpersoon daarentegen met een hiel op de voet van de trillende stemvork staan, dan blijkt dat hij/zij de sinustoon van de trillende vork duidelijk hoort. Het geluid van de vork klinkt nu versterkt, doordat de botmateriale in trilling geraakt door het gemaakte contact met de trillingsbron.

Blijkbaar geleidt het skeletstelsel het geluid helemaal naar het benige schedelbot (rotsbeenpiramide). Terwijl hier de bron slechts een laag intensiteit gehalte bezit, beschikt het menselijk lichaam klaarblijkelijk over een hoog klankkastgehalte voor dit laagfrequente geluid.

De weerstand van het lichaam wordt kennelijk helemaal overwonnen door de aandrijving met een wisselende kracht van de stemvork van 256 Hertz. Dat het weefsel van het gehoorbeen, bij beschreven stemvorkproef, helemaal vanaf de hiel wordt aangedreven en ter plekke in trilling geraakt, is niet slechts af te leiden uit de reacties van de proefpersoon. Een en ander is ook duidelijk waarneembaar voor de onderzoeker door met een stethoscoop achter de oorschelp van de proefpersoon mee te luisteren.

Een groot deel van de 206 skeletonderdelen raakt kennelijk in gedwongen trilling. Blijkbaar ontstaan in het botweefsel materiegolven die voor geluidstransmissie naar het binnenoor (cochlea) zorgen. Bedoelde golven planten zich vermoedelijk als rek- en krimpbewegingen in het lichaamsweefsel voort in de richting van de cochlea en doen daar mogelijk de modiolus trillen, zo ongeveer zoals een conus van een luidspreker.

Uit deze stemvorkproef blijkt onder andere dat het mastoïdbot van de rotsbeenpiramide, hetwelk zich rondom het gehoororgaan bevindt, geluid draagt, dat zorgt voor een luisterervaring, zonder dat de keten van trommelvlies, hamer, aambeeld en stijgbeugel hieraan deelneemt! De snelheid waarmee dat geluid zich door het skeletstelsel vanaf de hiel naar het oor voortplant, is ongeveer 10 x groter dan door lucht. Bij de omschreven stemvorkproef moet deze geluidsgolf in de lichaamsmaterie uiteindelijk een cochleaire botimpedantie overwinnen, die volgens professor drs J.J. Groen (*Leerboek KNO*, uitgave Bohn) 17000 centigram per seconde-eenheid bedraagt.

*Men kan met de stethoscoop dus heel duidelijk extern waarnemen, dat de geluidstrillingen vanuit de hiel helemaal in het mastoïdbot van de rotsbeenpiramide in de schedel achter het binnenoor aankomen. Interessant in dit kader is het feit, dat het rotsbenige botweefsel rond het labrynt klaarblijkelijk in resonantie komt, en, dat in het menselijk organisme blijkbaar*

*weinig geluidsdemping optreedt, maar veel geluidsgeleiding en zelfs versterking!*

Er is nog een ander argument voor het luisteren binnendoor:

Professor dr P.H. Schmidt (Keel-, Neus- en Oorheelkunde, uitgave Bohn, Haarlem) over fracturen van het slaapbeen: "Als men kijkt naar de manier waarop fracturen van de schedelbasis (rotsbeenpiramide) genezen, dan blijkt dat deze niet benig maar met de vorming van bindweefsel tussen de fractuurstukken vastgroeien." Hieruit valt mijns inziens heel goed af te leiden, dat de botmaterie daar door laagfrequente geluiden te veel trilt, waardoor genoemd bindweefsel ontstaat om toch nog te kunnen genezen. *Overigens, mogelijk zou een patiënt met een schedelbasisfractuur dwars door het gehoororgaan, gedurende de genezing in een akoestisch dode kamer dienen te verblijven, voor het optimaliseren van de kwaliteit van genezing van zo'n fractuur. Dat wil zeggen botbreukgenezing met zo min mogelijk bindweefsel!*

## **Het skeletstelsel**

Globaal trek ik dus de conclusie, dat alle botten in het menselijk organisme door geluid kunnen meetrillen. Daarnaast neem ik aan dat, afhankelijk van de soort prikkel of bron, het benige materiaal van zichzelf elastisch genoeg is om als snaar of idiofoon beschreven te worden. Verder ga ik er van uit dat laagfrequente geluidsgolven zich manifesteren als rek- en krimpbewegingen (van de benige materie, de voortplantingssnelheid is ongeveer 3000 m/s) die zich in het lichaam met een grotere snelheid voortplanten dan door lucht (332 m/s). Men kan feitelijk spreken van materiëtrillingen, draaggolven voor geluid in het menselijk lichaam. Waarschijnlijk is het menselijk skeletstelsel een gecompliceerd, fysisch trillingsorganisme, dat intrinsiek en qua morfologie enigszins vergelijkbaar aan een langhalsluit.

Het lijkt ook waarschijnlijk dat componenten van geluid via selectieve resonanties in de skeletonderdelen afzonderlijk bijdragen tot het totaalbeeld van de geluidspceptie. Immers, we kunnen het skeletstelsel in afzonderlijke onderdelen beschouwen, die elk een bepaalde elasticiteit als snaar bezitten of afhankelijk van de vorm en structuur een idiofonisch karakter en een natuurlijke eigen resonantie frequentie.

Hieronder wil ik de skeletstructuur eens wat nader bekijken.

Bij de geboorte van een kind bestaat dat skelet uit ongeveer 276 onderdelen. Deze losse delen vergroeien in de loop van de eerste vier levensjaren tot een hoeveelheid van 206 skeletdelen tezamen. De hardste beensoort van het geheel vindt men in het gehoorbeen, het os-temporale ofwel de rotsbeenpiramide. Dit mastoïdbot is met het vierde jaar pas helemaal gevormd en omstreeks het tiende levensjaar pas volledig uitgehard.

In verband met zo'n volgroeingsproces zou de morfologie van het bot rond het gehoororgaan van *de grootstedelijke mens* een heel ander beeld kunnen geven dan de botcelstructuur van *de buiten- of natuurmens* gezien de hoeveelheden lawaai gecombineerd met de mogelijkheid van botcelwanden om in te storten en samen met aanliggende botcellen grotere ruimtes te vormen. Verderop in mijn betoog zal ik aan de hand van de Vanderwaals-

krachten proberen een indruk te geven hoe over de aantrekkingskracht tussen (bot)moleculen kan worden gedacht.

Botten en beenderen kunnen op de volgende manier van elkaar worden onderscheiden:

A: Lange botten.

Ze hebben een centrale schacht tussen de uiteinden die uit spongieus (niet-massief) bot bestaan. De oppervlakte van het bot is van compacter benig materiaal.

B: Korte botten.

Die zijn gemaakt van spongieuze botcellen, met aan de buitenkant compact been.

C: Platte botten.

Zij bestaan uit twee platen van compacte botcellen met daartussen spongieus bot.

D: Onregelmatig gevormde en sesamoïde botten. In de gewrichtskapsels bevinden zich voor de verbindingen tussen de grotere beenderen dergelijke botten, die een vergelijkbare structuuropbouw hebben als de compacte en spongieuze cellen. Een schacht ontbreekt evenwel.

Het gehele skeletstelsel bestaat globaal uit beenderen of botten, die zich kenmerken door verdichtingen en verdunningen in de celstructuur. De grootste cellen zijn de schachten, die men diafyses noemt. De verdichtingen vindt men aan de uiteinden, de zogenaamde epifyses, en aan de oppervlakte van het bot.

Om het geluidstransport door benig materiaal beter te begrijpen, wil ik mij hierna op een dieptestructuur van de botgeleiding van geluid proberen te richten. Het is duidelijk dat in ieder geval een deel van het totaalgeluid doorgegeven wordt door resonantie van het dunste, vliezige been tussen de botcellen. Een groot aantal van deze cellen is gevuld met lucht. Dit is het zogenaamde gepneumatiseerde bot. Andere cellen zijn gevuld met vloeistoffen en weefsels. Hierbij moeten we in aanmerking nemen, dat de geluidssnelheid door bot zo'n 10 x sneller gaat dan door lucht. Door vloeistof gaat het geluid ongeveer 4 x sneller dan door lucht. Bovendien is de geluidssnelheid afhankelijk van de temperatuur die tussen twee media heerst. Het geluid gaat hetzij sneller, hetzij langzamer door het ontvangende medium heen. In lucht van 0 graden Celsius is de voortplantingssnelheid van geluid 60 meter per seconde langzamer dan in lucht van 100 graden. Dit geeft bij nul graden een voortplantingssnelheid van 328 meter per seconde en bij honderd een van 388 meter per seconde.

Aangezien in het menselijk organisme een temperatuur heerst van zo'n 37 graden en omdat de geluidssnelheid buiten het lichaam in lucht van twintig graden Celsius, 340 meter per seconde bedraagt, ondergaat de geleidingsnelheid een versnelling van ongeveer 10 meter per seconde zodra het geluid door de lichaamsbotten wordt geresorbeerd. Overigens, de aandrijvende kracht van de stemvorkproef, hiervoor omschreven, heeft een voortplantingssnelheid door de voet van de vork die bij metaal behoort en

welke zo'n 14 x die van de voortplantingssnelheid door lucht bedraagt. Door dit alles zal de golflengte zich ook steeds iets wijzigen.

De geluidsgolventransmissie in het skeletstelsel moet uiteindelijk niet alleen een weerstand op cochleair niveau van 17 000 centigram per seconde eenheid overwinnen, maar onderweg eveneens de weerstand van het bot ter plekke inclusief de impedantie van lucht, vloeistof of weefsel, dat in de botcellen zit. Ik wil mij hier beperken tot de weerstand van de lucht in zo'n botcel. Die bedraagt 44 centigram per seconde-eenheid. Als de aangevoerde geluidsintensiteit groot genoeg is, dan zijn de gasmoleculen in de luchtbel van een botcel door het golftransport voortdurend in beweging, dat wil zeggen ze verkeren in aangeslagen toestand. Deze toestand kenmerkt zich door inwendige energie en kan worden uitgedrukt in waarden van direct meetbare fysische grootheden zoals druk, volume, temperatuur en frequentie. Experimenteel is de inwendige energie nooit te bepalen, omdat het onmogelijk is van alle moleculen afzonderlijk de energie te gaan meten. Daarom meten we de veranderingen in rek- en krimpbewegingen van verdichtingen en verdunningen die optreden door transmissietrillingen van geluidsgolven. Deze veranderingen kunnen we op twee manieren bekijken.

#### 1) AFGELEIDING VAN DE EERSTE HOOFDWET WARMTE-ENERGIE

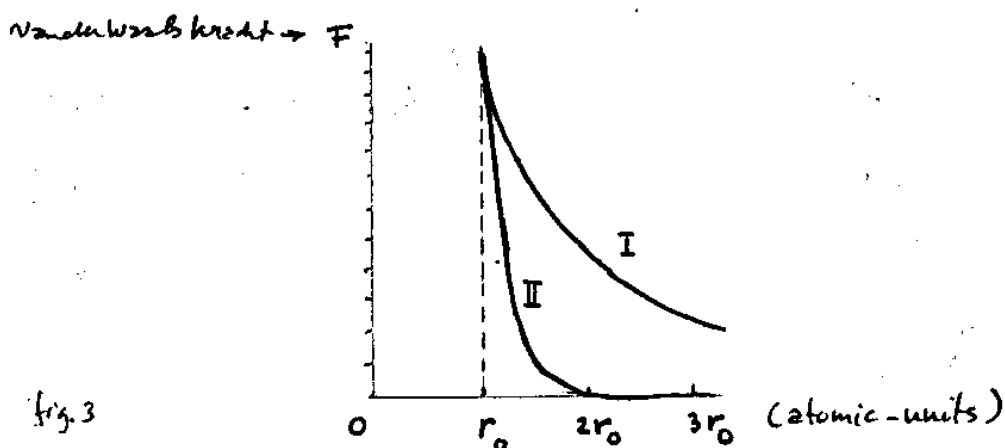
Omdat geluidsenergie als residu warmte oplevert, zou men daarmee op de volgende manier kunnen rekenen. Men kan een hoeveelheid warmte-energie ( $Q$ ) aan een systeem toevoeren of onttrekken, door aandrijving met een wisselende kracht. Eveneens kan men op het systeem uitwendige arbeid ( $W_{u\downarrow}$ ) verrichten, door toevoer van warmte-energie, dan wel het systeem zelf uitwendige arbeid laten verrichten ( $W_{u\uparrow}$ ) door het onthouden ervan (i.d.g. door stilte). Volgens de wet van behoud van energie, moet de som van de toegevoegde energie en de op het systeem verrichte arbeid, gelijk zijn aan de vermeerdering van de inwendige energie van het systeem:  $Q + W_{u\downarrow} = U_2 - U_1$ .  $U_2$  en  $U_1$  stellen respectievelijk de inwendige energie voor, voor en na de verandering. Wordt er uitwendige arbeid op het systeem verricht, doordat de (geluids- ofwel) warmtetoever in intensiteit toeneemt, dan is de op het systeem verrichte uitwendige arbeid  $W_{u\downarrow}$  negatief. De door het systeem verrichte uitwendige arbeid  $W_{u\uparrow}$  kan dan geschreven worden als:  $W_{u\uparrow} = -W_{u\downarrow}$ . Men kan de eerste hoofdwet dus ook schrijven als:  $Q = (U_2 - U_1) + W_{u\uparrow}$ . Hierbij moeten  $Q$ ,  $U$  en  $W_{u\uparrow}$  uiteraard in dezelfde eenheid worden uitgedrukt.

#### 2) VAN DER WAALSKRACHTEN

Aangaande het feit dat overmatige hoeveelheden geluidsenergie zo destructief van aard kunnen zijn dat zelfs botcellen kunnen instorten en aldus een grotere celruimte vormen, moet ik mij eerst nog richten op de krachten die de botcellen bij elkaar houden. Net als andere vaste stoffen bestaat deze materie uit zowel atomen, moleculen als ionen. In het algemeen beschouwt men de krachten tussen bouwstenen onderling als elektrische krachten. De aantrekkingskracht tussen twee moleculen noemt men Van der Waalskracht.

Volgens Van der Waals, Schweers en Van Vianen, is genoemde aantrekkingskracht omgekeerd evenredig met de 7<sup>e</sup> macht van de afstand tussen de deeltjes. In formule,  $F_w = c'/r^7$ , waarbij  $c'$  staat voor afstand tussen de afzonderlijke (bot)deeltjes en  $r$  voor het bedrag van die afstand, dat in de 7<sup>e</sup> macht is verheven.

Zie: figuur 3.



Toelichting:

Het verloop van de Van der Waalskrachten in bot bij vergroting van de afstand, is aangegeven door lijn II. Het figuur betreft het verschil tussen elektrische krachten (I) en Van der Waalskrachten II. Met lijn I is aangegeven hoe de grootte van de aantrekkende kracht tussen elektrisch geladen deeltjes (of tussen positieve en negatieve elektrische ladingen) afneemt naar gelang we de afstand tussen de deeltjes vergroten, te beginnen met de afstand  $r_0$  bij het absolute nulpunt, tot een veelvoud van die afstand. We zien dat deze kracht slechts langzaam tot nul reduceert. Om twee deeltjes van elkaar te verwijderen, moet dus over een vrij grote afstand een aantrekkende kracht overwonnen worden en de arbeid die hierbij verricht moet worden is dus ook vrij groot. Met lijn II is aangegeven hoe de grootte van de aantrekkingskracht tussen twee moleculen afneemt als we de afstand tussen de deeltjes of bouwstenen van de betreffende materie op vergelijkbare wijze als bij I vergroten. We zien dat de kracht pas veel later en dan zeer snel tot nul reduceert bij vergroting van de afstand. In zo'n geval is er blijkbaar nog maar weinig energie nodig om de moleculen van elkaar te doen verwijderen. *De aantrekkingskracht tussen botmoleculen is niet zo groot als deze krachten tussen ionen in een metaal. Wellicht zijn de Van der Waalskrachten in bot vergelijkbaar met die in hout, omdat de voortplantingssnelheden van geluid in die media goed overeenkomen.*

## Geluidspceptie

Hoe hoger geluid is, des te makkelijker worden de betreffende trillingen geabsorbeerd in het medium lucht. Ultrasonore geluidstrillingen worden helemaal door lucht geabsorbeerd. Menselijke oren kunnen geen geluid boven de 16000 à 20000 Hertz waarnemen. Infrasonore geluidstrillingen, onder de 16 à 20 Hertz worden helemaal door vaste stoffen geabsorbeerd, onder meer door de hogere energiewaarden van laagfrequent geluid. Van ultra- en infrasonoor geluid kan het menselijk oor de trillingen niet waarnemen, omdat ons gehoororgaan daarvoor niet op de juiste schaal is gebouwd. Bij infrasonoor geluid ondergaan we nog wel iets wat men tot de trillingsensaties rekent (zie de brief van professor Plomp, aanhangsel 3). Via het trommelvlies bereikt het menselijk oor een maximale gevoeligheid, boven de 1000 Hertz, tot zo'n 5000 Hertz. Dit geldt uitsluitend voor de gehoorketen van het buiten- en middenoor, omdat het hoofdzakelijk trillingen betreft die beter in lucht opgaan.

*Ook de oosterse opvattingen over geluid en gehoor zijn interessant. In visies van Boeddhisten, Soefi's en andere Oosterse religies schuilt de mystiek van geluid in de ervaring ervan, namelijk dat hoog geluid hoog in het menselijk lichaam binnenkomt en laag geluid, laag. Fysiologisch zou dat kunnen betekenen dat hoog geluid door luchtgeleiding via de gehoorgang en het trommelvlies bij het menselijk organisme binnenkomt, terwijl laag geluid via contact met de vloer (bron) het lichaam penetreert. Door de resorptie na het penetreren, kan de akoestische informatie langs alle denkbare wegen binnendoor, in de vorm van transmissie, uiteindelijk de oren en de hersenen bereiken.*

Afgezien van de sinustoon, draagt ieder geluid een hoeveelheid componenten in zichzelf mee. De hoogste componenten of bovenharmonischen planten zich makkelijker voort in lucht, terwijl de lagere delen van het geluid in kwestie zich voortplanten in de materie zelf, zeker bij contact met de grond of met de bron. Bijvoorbeeld een trillende bassnaar van een contrabas zendt niet alleen trillingen in lucht uit, maar ook in de vloer waarop de bas staat, en eveneens in het lichaam van de bespeler zelf. Het gaat daarbij om de impedantie van de trillende materie, aldus drs Stan Tempelaars van het voormalige Instituut voor Sonologie, subfaculteit van natuurkundefaculteit van Rijksuniversiteit te Utrecht.

Het begrip impedantie, weerstand, helpt de energie-uitwisseling tussen verschillende fysische systemen te beschrijven. Men onderscheidt daarbij een poort en twee poortsystemen, wat slaat op het aantal ingangen en uitgangen. Het menselijk lichaam kunnen we op beide manieren bekijken, links en rechts of apart. Mijns inziens is het mogelijk het trommelvlies als de ene poort (voor luchtrillingen) te beschouwen en het slakkenhuis als de andere (voor bottrillingen).

Het is daarbij aannemelijk dat alle geluid onder de 1000 Hertzdrempel minstens voor de helft in de vorm van transmissie-trillingen door ons lichaam snelt, omdat onder die trillingsgrens onvoldoende sterke demping optreedt, waarbij de weerstand tegen geluidsabsorptie te klein is.

Daarbij lijkt het eveneens aannemelijk dat de vloeistoffen in het slakkenhuis ook beroerd worden door de modiolus, aangedreven door omhullende bottrillingen in de rotsbeenpiramide, welke daarbij functioneert als een klankkastje met een soort luidsprekerconus welke de zenuwcellen op het basilair membraan doet bewegen, waardoor ze vuren. Na het vuren (volleys), wordt het trillingspatroon in de hersenen herkend, gedemoduleerd.

Eerder genoemde stemvorkproef geeft aan dat de algemeen aanvaarde theorie (dat de vloeistoffen in het slakkenhuis uitsluitend door trillende bewegingen van de stijgbeugelvoetplaat zouden worden aangedreven) feitelijk is weerlegd door deze proef. Derhalve is het logisch dat het menselijk gehoororgaan niet slechts voor de waarneming van geluidsgolven in lucht dient, maar ook voor die uit het hele lichaam.

### Botgeleiding

De botgeleiding speelt mijns inziens een veel grotere rol in de geluidsperceptie dan tegenwoordig wordt aangenomen. Als het hiervoor gestelde allemaal juist is, dan geeft dat een mogelijkheid om nog anders te denken. Namelijk op kleinere schaal, over geluid dat in dit geval trillende lichaams-materie is. Daaruit volgt dat materiedeeltjes, zoals botcellen, evenals de energiekwanta van geluidsstraling eigenschappen van golfbeweging zouden kunnen hebben.

### Postulaten van Bohr

Op grond van de postulaten van Bohr kom ik tot de volgende uitgangspunten. Een (bot)cel met lucht of weefsel (bijvoorbeeld vloeistof) verhoudt zich tot vele van dergelijke cellen, zoals atomen zich tot elkaar verhouden. Een atoom kan slechts bestaan in bepaalde stabiele toestanden die men stationaire toestanden noemt en die gekenmerkt worden door een bepaalde inwendige energie. Wanneer een atoom van een stationaire toestand met energie ( $E$ ) door absorptie of emissie van een stralingskwantum met een frequentie ( $f$ ), overgaat naar een stationaire toestand met energie  $E'$ , dan geldt:  $E' - E = hf$ . (Bij licht is ' $hf$ ' het foton, ter grootte van het stralingskwantum, ' $h$ ' is de constante van Planck). Een (bot)atoom kan slechts in bepaalde banen bewegen. Dit vertoont enige overeenkomst met de staande golfbeweging. Bij lopende golven ziet men de golftoppen zich verplaatsen, bij staande trilling verplaatsen de golven (buiken) zich niet. Een bot of been waarvan de uiteinden min of meer onbeweeglijk zijn, kan in staande trilling komen als de lengte van het bot in kwestie gelijk is aan een geheel aantal halve golflengten. Immers (uitgaande van resorptie), bewegingsenergie van transmissiegolven moet zich ergens voortplanten. In het schedelbot zou zich dan uiteindelijk een verzameling van golffronten en golfstralen voordoen in een cirkelvormig golffront waarin de trillende beweging in dezelfde fase verkeert. Immers de zeer kleine opening (het

achterhoofds gat) geeft aanleiding voor vrijwel cirkelvormige golffronten. Een grote opening geeft echter meer golfstralen de gelegenheid om niet te buigen. (De normaal op een golffront is een golfstraal.)

De energie van een trilling is evenredig met het kwadraat van de amplitude. Elk punt dat door een golfbeweging wordt bereikt, treedt op als een trillingsbron. Is een ononderbroken reeks van secondaire trillingsbronnen aanwezig, dan zijn de golffronten van de uiteindelijk resulterende beweging de gemeenschappelijke raakvlakken aan de golffronten van die golfbewegingen, die elk van de secondaire trillingsbronnen afzonderlijk uitgaan.

De afstanden tussen de overeenkomstige punten van twee golffronten, gemeten langs de golfstralen, bedragen een even groot aantal golffronten op grond van evenredigheid. Golfstralen veranderen van richting bij de randen van een opening. Zeer kleine openingen geven aanleiding tot vrijwel cirkelvormige golffronten. Een grote opening geeft echter meer golfstralen de gelegenheid om niet te buigen. Golffronten in twee media verhouden zich als de respectievelijke voortplantingssnelheden in het ene en in het andere medium afzonderlijk.

*De uiteindelijke klank in het hoofd van de proefpersoon, die mijn stemvorkproef ondergaat of die een drillboor hanteert, is onder meer afhankelijk van de amplitude waarmee elk der boventooncomponenten afzonderlijk voorkomt in de gehele verzameling skeletonderdelen vanaf de handen en de voeten.*

De klank(waarneming) is ook afhankelijk van de momentele geluidsdruk. Dat is de ten gevolge van het geluid optredende afwijking van de evenwichtsdruk in de deelverzameling(en) botcellen. De trillingssnelheid van een enkel botdeeltje is maximaal als de uitwijking nul is. De trillingstijd is nul als de uitwijking maximaal is. Voor de vlakke (longitudinale) geluidsgolf zijn druk en voortplantingsrichting steeds in fase.

*Een ander aspect van de geluidsperceptie is dit: bij bestudering van een oud anatomie-fysiologieboek (Van den Boer, Boeke en Barge) ontwaarde ik twee opvallende elementen. Ten eerste: tussen het harde hersenvlies en de zakjes bevindt zich een soort snaar. Zie onderstaand plaatje SMORK-snaar figuur x. Verderop zal ik daar op ingaan.*

Verder blijkt dat in de sulcus van het trommelvlies zich zenuwweefsel bevindt. Dit bestaat uit cellen zoals proprioceptoren met afferente en efferente banen, ter sturing van de musculus tensor tympany. Er is blijkbaar synaptische transmissie voor spierinervatie (mono synaptische reflexboog), die verloopt via de 3<sup>e</sup> trigeminustak van de 5<sup>e</sup> hersenzenuw (die rechtstreeks in de pons synapteert) en uiteindelijk via een zijtak van de nervus facialis spiertjes in het middenoor bedient. De pons is een veel hoger niveau in de hersenstam dan de synaps van de nervus cochlearis, deze komt veel lager gelegen uit, namelijk op de hoogte van de medulla oblongata en is derhalve verder afgelegen van het visuele systeem.

*Het interessante is, dat de prikkels van het zenuwweefsel van het trommelvlies een snellere baan volgen dan die van het zenuwweefsel dat de 8<sup>e</sup> en 12<sup>e</sup> hersenzenuw voedt. In die opvatting zou je kunnen stellen dat de keten trommelvlies, hamer, aambeeld en stijgbeugel mogelijk nog een soort extra actieve functie heeft die vergelijkbaar zou zijn met het functioneren van het ooglid.*



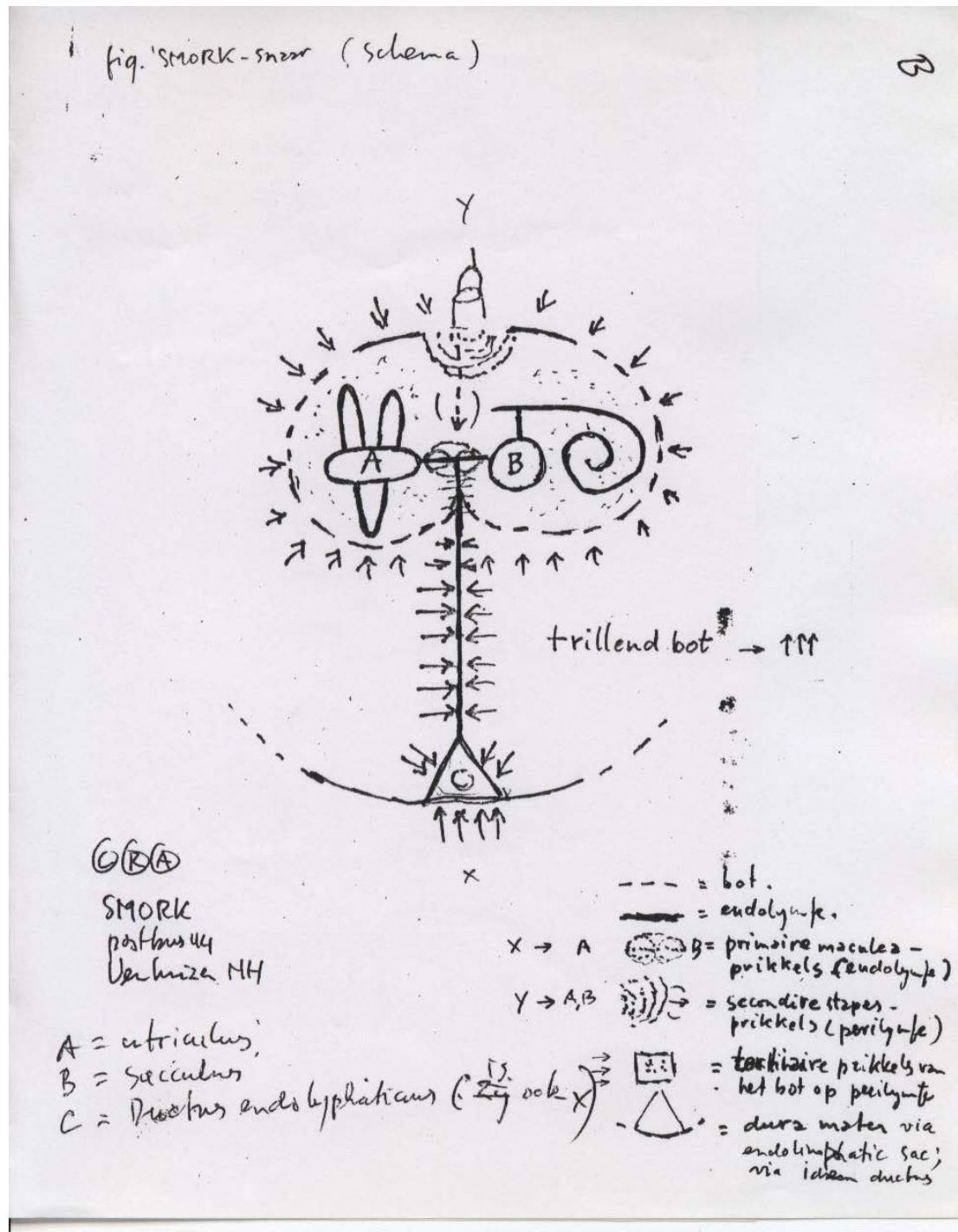
In dat geval zou er naast de gewone druktransformatiefunctie in de dunne perilymfe ook nog een soort onwillekeurige pompslag-werking van de stapedius kunnen plaats hebben, bijvoorbeeld om druk uit te oefenen op de perylymfe die de endolymfe omhult, voor het optimaliseren, ontspannen of hergroeperen van de zenuwcellen in de endolymfe-gelei, zowel in de zakjes als in de cochlea. Veel zekerheid hierover heb ik niet omdat uit de literatuur blijkt dat de keten trommelvlies, hamer, aambeeld en stijgbeugel uitsluitend als druktransformator op grond van trillingsoverdracht van geluid uit lucht wordt beschreven.

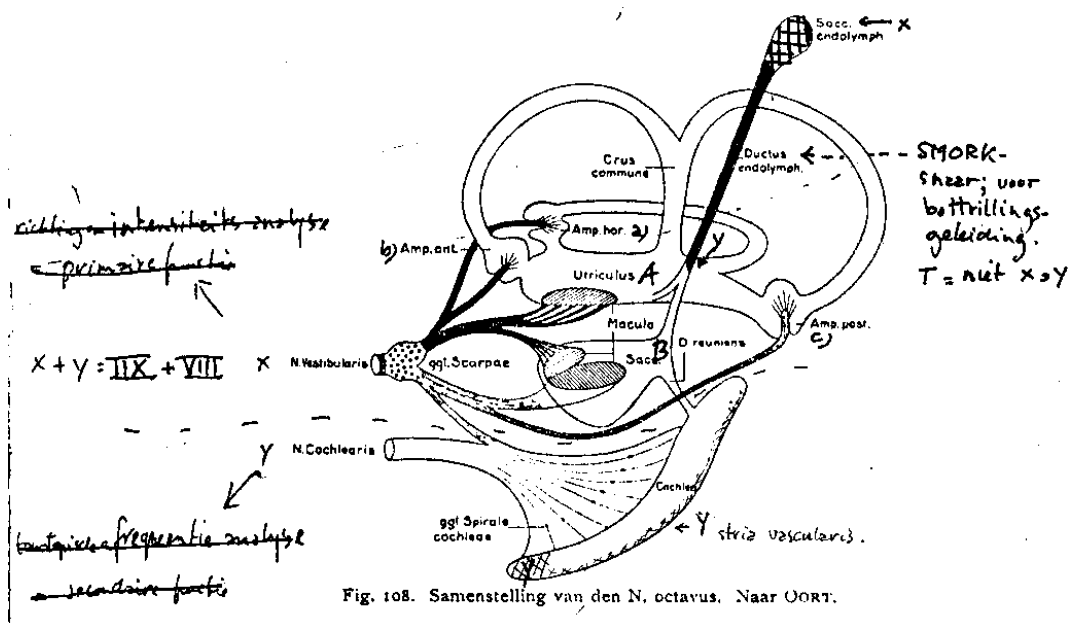
Nergens wordt van of over een dergelijke onwillekeurige pompslag in de perilymfe, met adaptabiliteits- of hersteleffecten op de zintuigcellen in de endolymfe gesproken, terwijl die middenoorspiertjes daartoe best in staat zouden kunnen zijn. De betreffende spiertjes worden kennelijk uitsluitend beschreven voor het gebruik ten behoeve van de aangespannen toestand die nodig is om de lopende golf op het basilair membraan aan te drijven. Het vasculaire systeem wordt overigens wel met hersteleffecten geassocieerd, wat mij ook logisch voorkomt, gezien de druk die in het vliezige labrynt zal moeten worden geregeld. Uiteraard werken beide systemen samen.

Hieronder treft u een toelichting op de twee plaatjes daaronder.

Toelichting:

Het eerste, figuur x, geeft schematisch weer welke soorten prikkels op het geïsoleerde labyrint van toepassing zijn. Tevens geeft het aan, de verbinding van het harde hersenvlies met de sacculus endolymphaticus, waar de ductus endolymphaticus ontspringt, om een snaarachtige verbinding te maken met de zakjes A en B.





Figuur 108 uit Van den Broek, Boeke en Barge geeft voornoemd snaareffect duidelijk weer. Het gearceerde deel verbindt zich met het dura mater, het zwartgemaakte deel loopt door het mastoïdbot en komt uit in een soort T-stuk, tussen de utriculus en sacculus en tegenover de stapedius, trillend in de dunne perilymfe. Dit endolymfekanaal, het canalis utriculo-saccularis, zou ook aangedreven kunnen worden door de stapediustrillingen. In feite gaat het hier om een circuit van de endolymfemassa's, op zeer kleine schaal. Opvallend is dat de ductus reuniens, die onder andere een verbinding vormt voor het endolymfe-vloeistoftransport tussen en het vliezig slakkenhuis en de sacculus, bij volwassenen al vaak is afgesloten door vergroeiing. Dit heeft zeker een nadelige invloed op de elasticiteit van de endolymfemassa. De aard en samenstelling van de endolymfemassa en de ophanging in het binnenoor, geassocieerd met de elasticiteit van een veer, doen het volgende veronderstellen: het endolymfestelsel van het gehoororgaan is in zijn totaliteit een veerkrachtig systeem door de aard en samenstelling ervan, vergelijkbaar aan een snaar die wordt aangezet tot meetrillen door direct contact met de trillingsbron, respectievelijk enerzijds het harde hersenvlies en anderzijds het mastoïdbot. Daarbij speelt de geleachtige substantie in het vliezige labrynt, de endolymfe, een gewillige rol voor de absorptie van de trillingen. Vergelijk het gemak waarmee een gelatinepuddinkje trilt. Net zo makkelijk trilt het endolymfestelsel en kunnen de daar gelegen zenuwcellen 'vuren'. Doordat alle endolymfe omhuld is door een vliezig stelsel dat op zijn beurt weer is

omhuld door dunne perilymfefloeistof, hangt alles goed gelagerd en beschermd tegen wrijving op zijn plaats.

Ontegengesteld is er ook een veerkrachtige ophanging van de binnenoorkakjes. De ductus endolymphaticus, blind verankerd in het harde hersenvlies, is verbonden met de beide zakjes via de canalis utriculo-sacculus, ik neem aan dat dit endolymfekanaal (T-stuk) intensief trilt, door contact met het harde hersenvlies (zie plaatje x). Anderzijds, tussen de driedimensionale booggangen en de utriculus en ook tussen de modiulus (*apical end*) en sacculus, respectievelijk het ene en het andere zakje, valt ook een snaareffect op. De *spiral hang down* doet qua vormgeving denken een stemsleutel van een vioolsnaar en aan een spiraalveer, de driedimensionale *hang down* aan het staartstuk van een viool en aan een degelijke lagering.

Transmissie?

Inmiddels jaren later heb ik in de tussentijd niet veel meer kunnen doen dan af en toe de fenomenen te overdenken, het geschrevene te herformuleren en het door zoeken naar meer informatie. Ik overweeg deze publicatie de titel *Faseovergangen van geluid naar gehoor* mee te geven.

Ik beperk mij hier nu uiteindelijk, naar aanleiding van de opmerkingen van professor R. Plomp, tot het gebied van de trillingssensaties buiten het muzikale gebied. Ik denk daarbij aan het hanteren van een drillboor met een aandrijvende kracht van bijvoorbeeld 8,185 trillingen (opeenvolgende stoten) per seconde, en hoe die als transmissiegolven (van 10,44 meter lengte) met alle componenten (deel-, boven- of bijtonen) daarop, zich door mijn lichaam verplaatsen in de richting van mijn hoofd, door direct lichamenlijk contact met de geluidsbron. Deze infrasonische bron is veel energierijker dan de geluidsbronnen uit het muzikale- of spraakgebied, dus weet ik heel zeker dat alles meertilt.

## Het menselijk hoofd als klankkast?

Ik hoop met bovengenoemde keuze voor een infrasonische geluidsbron nu letterlijk en figuurlijk meer diepgang te kunnen bereiken en ik veronderstel, globaal gesteld, dat in het totale schedelbot een cluster van laagfrequente geluidsgolven, bestaande uit golffronten en golfstralen, samenkomt, vanuit het gehele menselijk lichaam, binnendoor, ondermeer via botgeleiding. (Zie ook de 'binnendoor'-perceptie van de eigen spraak of zang.)

De binnenkant van de benige schedel bestaat qua opbouw uit grotere en kleine compartimenten: het craniale deel, de schedelbasis, het achterhoofd deel en het voorhoofdsdeel. De schedelbasis draagt de hersenmassa in zes holten, drie holten aan beide zijden. Het botweefsel bestaat uit dikker en dunner benig materiaal. Deze holtes dragen de hersenmassa als het ware. De binnenkant van het bot is bekleed met het harde hersenvlies. Daaronder bevinden zich ook vloeistofweefsels die bij bedoelde transmissie een vertraging van de golfvoortplantingssnelheid zullen geven, althans in

vergelijking met de geluidssnelheid door het benige botstelsel. De geluidsvoortplantingssnelheid door bot is vergelijkbaar aan die in hout. Hoe harder het bot, des te hoger is de geleidingsnelheid. Het hardste bot vindt men in de rotsbeenpiramide in het os temporale, waar ons binnenoer zit. Voornoemde systemen tezamen vormen een gecompliceerde klankkast (versterker) voor gewone en selectieve resonanties van laagfrequent geluid, die uiteindelijk ook worden opgenomen in de rotsbeenpiramides zelf.

*Professor drs. J.J. Groen, over de porositeit van de cochlea in het rotsbeen en de implicatie dat daar door botresonantie de zintuigzenuwcellen kunnen worden geprikkeld, waardoor ze neurale salvo's en volleys kunnen afvuren: 'Een trilling, die zich aan de schedelinhoud heeft medegedeeld, zou derhalve in de cochlea kunnen penetreren en aanleiding tot de trilling van het basilaire membraan geven.'*

Als je de benige schedel als klankkast beschouwt, dan moet je wel concluderen dat de betreffende geluidstrillingen zeker ook aan het harde hersenvlies zullen worden meegedeeld. Dit is dan te interpreteren als een uiteindelijk door het schedelbot aangedreven 'vliesklinker', die bovendien direct is doorverbonden met het binnenoer door het endolymfekanaal, de ductus endolymphaticus.

Door de verbinding van het harde hersenvlies met het harde ruggenmergvlies (dat is een beenvliesbekleding waarvan het buitenste omhulsel van het wervelkanaal dat zich op de hoogte van het achterhoofdsgeot bevindt), zullen ook langs die weg geluidsgolven hun intrede doen in het dura mater, dat door de liquor tussen het spinnenwebvies en het zachte hersenvlies betrekkelijk ongeremd kan resoneren.

Aldus, kan het dura mater gaan functioneren als een soort geluidsdrager omdat de informatie 'gelezen' kan worden. Daarbij zal het gehele gelatineachtige endolymfestelsel met de zenuwcellen in het labrynt gaan resoneren. Dit wordt enigszins af gedempt door de omhullende dunne perilymfefloeistof.

Gezien de eigenschappen van geleachtige substanties zoals de endolymfe, worden de golven uit het dura mater er vrij makkelijk in opgenomen, waardoor de zenuwcellen kunnen vuren.

Mijns inziens zou men de schedelpan en -basis met het harde hersenvlies en het spinale stelsel in feite kunnen beschouwen als een langhalsluit met drie kalebasvormige klankkasten: een grote, de buikholte (1); een kleinere, de borstholte (2) en een nog kleinere, de schedelholte (3). Daarbij is van belang te weten dat indien geluid uit grotere ruimten kleinere ruimten binnentreedt het dan telkens een intensiteits-toename ondergaat.

Een snaar van drilpudding of plastisch lichaam?

De verschillende compartimenten van het met endolymfevloeistof gevulde vliezige labrynt zijn onderling geheel met elkaar verbonden, waardoor dit stelsel beschouwd kan worden als een snaar met een zekere soort elasticiteit, gespannen tussen twee vaste punten, met enerzijds de benige modiolus en anderzijds de benige booggangen. De mate van elasticiteit en de spanning van zo'n snaar hangt af van de druk in de endolymfemassa. Die druk is variabel door de aanmaak en afvoer van endolymfe.

Vanuit de vele uitlopers van de stria vascularis wordt het vliezige labrynt gevuld met endolymfe, waardoor er hogere druk ontstaat. Zo'n endolymfesnaar, begrensd door het vliezige labrynt, wordt dan als het ware aangespannen door genoemde drukverhoging. Doordat bij oplopende druk, of ook bij kneding, gelatineachtige stoffen dunner worden en in rust weer opstijven, neem ik aan dat dit bij endolymfe ook het geval is. Door de afvoerfunctie van de saccus endolymphaticus kan de druk weer afnemen. De snaar kan weer ontspannen als de dunner geworden endolymfevloeistof in de subarachnoïdale ruimte wordt geloosd door de sacculus endolymphaticus, in de liquor aldaar,

Het reguleren van de specifieke samenstelling van de endolymfevloeistof behoort ook tot de functie van de stria vascularis. Die samenstelling is natuurlijk ook van invloed is op de elasticiteit en spanning van een dergelijk soort snaar.

Onder het motto 'er is meer', wil ik aan de bestaande fysiologische opvattingen iets toevoegen: een snaartheorie voor het vliezige labrynt, die zeker in het buitenmuzikale gebied evident aanwezig is. Immers, bij lichamelijk contact met een stemvork of een drillboor mag je wel aannemen dat aanzienlijk veel meer dan de helft, mogelijk wel 80% van de trillingsenergie door geleiding binnendoor tot ons gehoororgaan komt.

De kwaliteit van mijn proposities en conclusies uit dit monografische verslag, in casu literatuuronderzoek, thans, na verwisseling van de aandrijvende kracht van een laagfrequente stemvork vanaf de hiel voor die van een drillboor vanaf de handpalm, blijven daarbij mijns inziens volledig overeind.

*Omdat de energiewaarden zo groot zijn en de trillingssensaties onder de 1000 Hertzgrens blijven, kunnen resonanties in het menselijk lichaam mijns inziens niet meer worden afgedaan met argumenten (zie de aanhangsels 1 en 3) over slappe, energie opnemende, dempende verbindingen waar het menselijk lichaam mee vol zou zitten, waardoor resonanties niet zouden kunnen optreden... Integendeel, ons lichaam zit vol met intensiteit versterkende holttes, klankkasten, op grotere en kleinere schaal aanwijsbaar.*

## Het hele menselijk lichaam als klankkast?

Een klankkast is een resonator, dat wil zeggen een toestel om bijtonen waarneembaar te maken door middel van selectieve resonanties. Resonantie is gebaseerd op het meetrillen met de geluidsbron(nen) of met nabij gelegen ruimten. Een dergelijk toestel of apparaat is zo geconcipeerd, dat het de geluidstrillingen van de bron zo moduleert en versterkt, dat het oorspronkelijke signaal beter waarneembaar wordt. De intensiteit en luidheid van een draagtoon plus bijtonen, nemen door gebruik van een klankkast toe. Als dat allemaal zo is, dan ligt het voor de hand om het menselijk lichaam als klankkast voor laagfrequente geluidstrillingen te beschrijven. Kijk naar de biologie van het vrije veld, daar blijkt dat slangen geen uitwendige oren hebben en met hun hele lijf op de grond trillingen voelen.

Gezien de binding van onze voeten met de grond, bijvoorbeeld in een danszaaltje, lijkt het logisch de daar binnentredende geluidstrillingen eerst te beschrijven op caudaal niveau.

### CAUDAAL

Ik ga ervan uit dat al het weefsel van de voeten en benen meetrikt. Zowel de zachtere weefsels als de hardere worden doorstraald. De geluidsabsorptiesnelheid wijzigt zich naar gelang van de kwaliteit van het weefselmedium in kwestie. Door refracties en dergelijke wordt een groot deel van de geluidstrillingen van richting verandert, ook naar boven, naar het sacrale niveau.

### SACRAAL

Het is niet ondenkbaar dat een ander deel van de geluidsenergie (trillingen) vanuit de benen wordt uitgestraald door de heupbeenderen, in de buikholte (klankkast 1), waardoor versterking optreedt (trillingssensaties). De resterende trillingen worden opgenomen door het heiligbeen en de heupbeenderen.

### LUMBAAL

Vanaf het heiligbeen worden die trillingen vervolgens doorgegeven naar het lumbale niveau van de wervelkolom om daarna, versterkt door de trillingen uit de buikholte op thoraxaal niveau, door de ribbenkast (klankkast) nog extra selectieve versterkingen te ondergaan.

### THORAXAAL

De ribbenkast (klankholte 2) doet natuurlijk al denken aan een soort xylofoonachtige morfologie. Twaalf paar ribben, smalle, platte, gebogen botstukken die min of meer evenwijdig aan elkaar lopen. Hier is het helemaal logisch om aan selectieve versterking van geluidssignalen in de botmaterie te denken.

### CERVICAAL

Het doorgeven van de geluidsinformatie, op cervicaal niveau, geeft cirkelvormige golffronten, gezien de morfologie aldaar.

### CRANIAAL

De geluidsgolven worden uiteindelijk op craniaal niveau nogmaals versterkt, onder meer vanwege de bolle kalebasvorm van de schedel (klankkast 3). Alle trillingen worden weer afgegeven aan de omliggende weefsels, waarbij het geluid dus binnendoor tot ons komt.

Op grove schaal zijn dus al drie grotere klankkasten in het menselijk lichaam aanwijsbaar: de buikholte, de ribbenkast en het hoofd. Een fijnmaziger

benadering (kleinere klankkastjes zoals botcellen, bijholtes en schachten) sluit het vorenstaande niet uit.

Ik weet niet of er samenhang is, maar de schedelbasis vertoont drie holten aan iedere kant die de hersenmassa dragen. Door hun dunne, benige botweefsel zouden die holten heel goed kunnen trillen zo ongeveer als vliesklinkers. De vorm van het achterhoofdsgeat, waar de informatie binnenkomt, is geassocieerd met cirkelvormige golfvorming.

Het hoofd (schedel met inhoud) is wellicht ook vergelijkbaar aan een eindversterker, *immers de modiolus, die door bottrillingen wordt bewogen op een manier die doet denken aan de conus van een luidspreker*, associeert niet slechts met een klankkast maar ook met de functie van eindversterker voor de signaalgolfvorming in de binnenoren. Het spinnenwebvlies speelt hier een belangrijke rol. Welke?

Wiersoorten die onder water door golfslag en branding steeds breed heen en weer uitwaaiëren, geven misschien een mooi model om aan te geven en te beschrijven hoe sommige zintuigcellen in het menselijke lichaam door golfbewegingen in vloeistof bewogen zouden kunnen worden, waardoor ze dan gaan vuren.

De natuurlijke dynamiek van geluid zal in de voorversterking meteen gescheiden moeten worden in acht, tien of twaalf octaven klankgebied (octaafiltering) zodat de grootte van het totale signaal in kleinere deeltjes door het hoofdversterkingsgebied wordt geleid. Dan ontstaat versterking met geringere klankvervorming en uitgebreider specificaties dan dat het geval is bij de gebruikelijke opsplitsing in slechts de drie klankgebieden, hoog, midden en laag.

Pezen kunnen door spierinervatie worden gespannen en dan wellicht als snaren met een geluidsbron meetrillen en daarbij hun trillingen doorgeven aan het benige oppervlak van de botten, wat op zijn beurt de trillingen weer doorgeeft aan de spongieuze botcellen, alwaar dan een intensiteitstoename van het geluid plaatsvindt, omdat het in kleinere ruimten aankomt. Blijkbaar moet ieder bot afzonderlijk als resonator voor specifieke frequenties beschouwd kunnen worden, een die overeenkomt met de eigenfrequentie van het skeletonderdeel in kwestie.

Wist u, dat als je het geluid van een zacht spelende radio uit een grotere ruimte, door een opening in een kleinere ruimte laat binnentreden, dat de mate van luidheidwaarneming dan iets toeneemt? Ook de effecten van een oortrompet zijn daarmee vergelijkbaar.

Misschien kan uit de opbouw en vorm van de cochlea worden afgeleid, dat het basilaire membraan met het zintuigepitheel uiteindelijk een opgerold zijstreepporgaan van een vis vormt? Het lijkt mij interessant om dit eens te onderzoeken via de zogenaamde kieuwboogtheorieën.

In ieder geval passen geluidsgolven van zo'n tweeduizend drukvariaties in lucht, zeg van een golflengte van 2096 Hertz, ( $C^{\text{volum}} = 16,3 \text{ cm}$ ), niet geheel in de gehoorgang, op een klein facet ter grootte van het oorgat na.

Terzijde: Interessant is ook een begrip uit de springstoffabricage. Ik doel hier op het begrip 'holle lading': een springstoflading, voorzien van een holte tussen springstof en het te treffen oppervlak. Indien deze holte de juiste symmetrische vorm heeft, is het doordringingsvermogen (kracht) van de holle lading veel groter dan van eenzelfde hoeveelheid massieve springstof. Door



dit effect neemt de penetratiediepte in de beschoten materie toe (zie de zogenaamde pantservuist, een oorlogstuig).

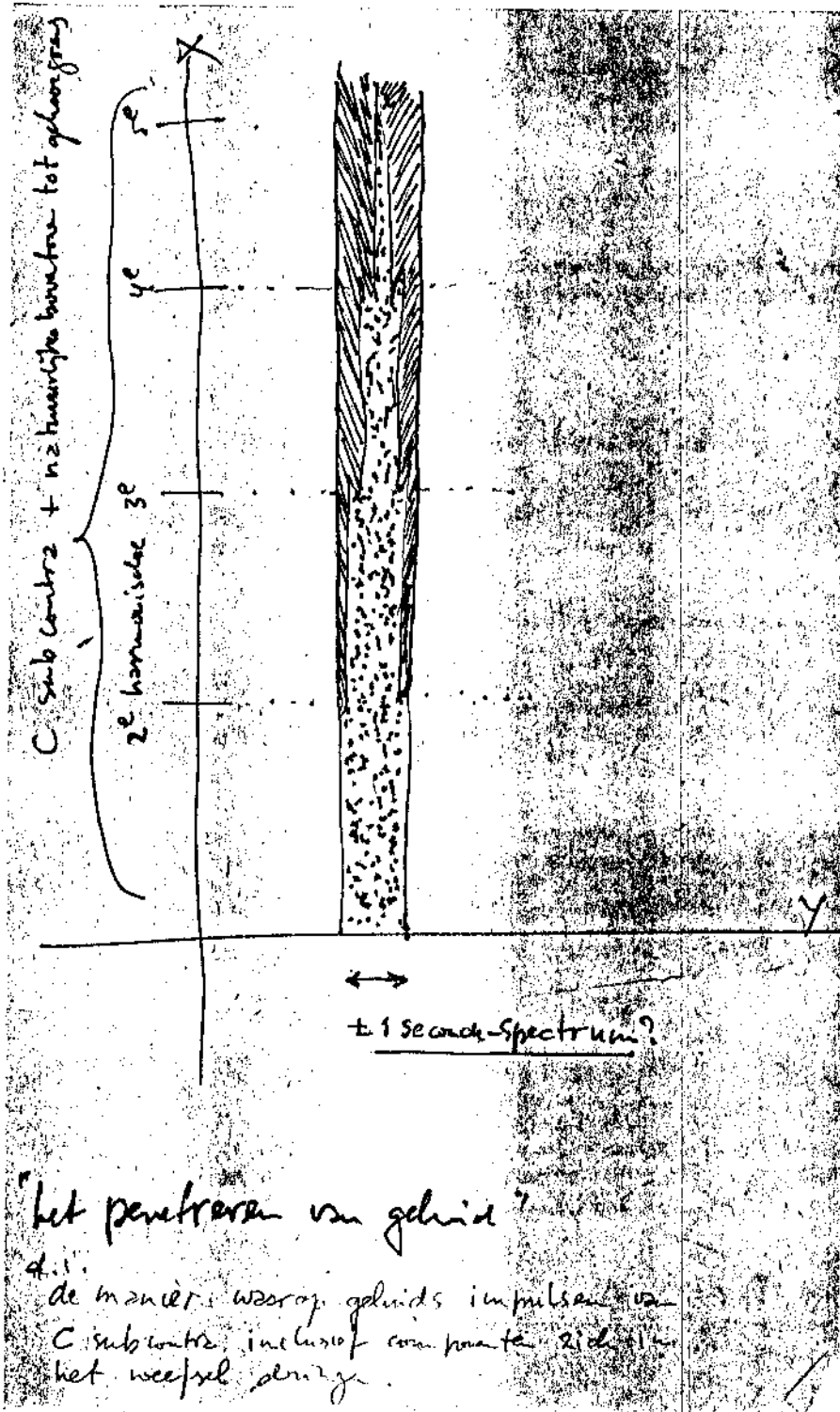
Stel, dat de hardste houtsoort overeenkomt in volumegewicht met de hardste botsoort (mastoïdbot) en de zachtste houtsoort met de zachtste botsoort, kraakbeen. Fuma (Ceiba pentandra) is het zachtst bekende houtsoort, het volumegewicht bedraagt 0,30. Pernambuco (Guilandia echinata) is de hardste houtsoort, het volumegewicht bedraagt hier 1,20 kg. Vanuit het gegeven dat het mastoïdbot een akoestische weerstand heeft van 17 000 centigram per seconde-eenheid, zou dan zijn af te leiden, o/g evenredigheid met het volumegewicht van de betreffende materie, hoe groot de weerstand in het zachtste bot is. Die bedraagt dan o/g de bekende verhoudingen van het volumegewicht, zo'n 4240 centigram per seconde-eenheid.

## **Oplopende weerstand en oplopende geleidingssnelheid**

Kennelijk is er sprake van een oplopende weerstand in de materie van het bot als de geluidsgolven zich vanaf de voeten in de richting van het gehoorbeen bewegen. *Die weerstand loopt op, gebaseerd op een toename van de stijfheid of hardheid van de botmaterie, in de richting van het temporale gehoorbeen.* Daarbij nemen geluidsintensiteit en snelheid samen steeds iets toe naarmate de tussenstof, het voortplantingsmedium, steeds harder (minder elastisch) van structuur wordt. Dan treedt versterking op, zonder klankvervorming.

Zie plaatje x/y-as 'het penetreren van geluid', voor de manier waarop geluidsimpulsen van C-subcontra inclusief componenten zich in de weefsels dringen. De keuze voor die toonhoogte impliceert een rijker boventonengebied dan dit plaatje aangeeft; het z.g. afstrooeffect:

x/y-as 'het penetreren van geluid; het afstrooeffect'



Toelichting:

Als je een atoom met een grote snelheid zou afschieten en er ontstaat een botsing, dan blijven de buitenste elektronen van het atoom achter ten opzichte van de kern. De kern penetreert dus dieper dan de buitenste atomen. Sommigen noemen dit '*het afstrooeffect*'. Het penetreren van geluid lijkt mij enigszins vergelijkbaar met dit elektrische model. Dan is de kern vergelijkbaar met de grondtoon van geluid en zijn de elektronen (schillen) vergelijkbaar aan de bijtonen (bovenharmonischen). Met bovenstaand tekeningetje heb ik mij een beeld proberen te vormen van een dergelijk afstrooeffect. In dit model geschiedt het passeren van materiaalgrenzen gelijktijdig aan het moment van refractie.

## Geluidsvoortplanting in de hersenen

Feitelijk zou ik mijn boek de volgende titel moeten meegeven:

*Faseovergangen tussen geluid en gehoor.*

Om volledig te zijn zal ik dan ook iets over de geluidsvoortplanting in de hersenen moeten toelichten.

Voorheen heb ik al aangegeven, dat de schedelbasis een botstructuur vormt die een draagfunctie heeft voor de hersenen. Dit orgaan, dat zich bevindt boven de oogkassen en tussen de rotsbeenpiramides, onder de schedelpan, in de grote schedelholte, bestaat uit de grote hersenen, de kleine hersenen en de hersenstam die aansluit op het ruggenmerg. Naast de schedelholte, die op twee hersenhelften is ingericht, zijn er nog twee voorhoofdsholten, een paar bovenkaak-holtes en idem wiggebeenholtes. De betekenis van deze holten in het hoofd, is die van een soort klankkast, voor de versterking van endogeen geluid, geluid van binnenuit. De bijholten spelen tevens een rol bij de afvoer van vocht van de slijmvliezen naar de neusholten.

Uiteindelijk gaat het natuurlijk niet slechts om de botgeleiding van geluid, maar vooral ook om het geleidingsschema van geluidsoverdracht via de hersenzenuwbanen, de zintuiglijke wegen van het geluid door de hersenen, tot in de zenuwcellen van de bijbehorende hemisferische gebieden.

Hierbij verwijs ik naar het onderstaande, vereenvoudigde schema, van de weg die het geluid nucleair gezien volgt.

Drie gekruiste pijltjes geven de zenuwbanen, vanuit het labrynt naar de hersenstam weer.

Op dat niveau heb ik de twee gehoorkernen links en rechts, gesymboliseerd in een hyperbola links en een rechts.

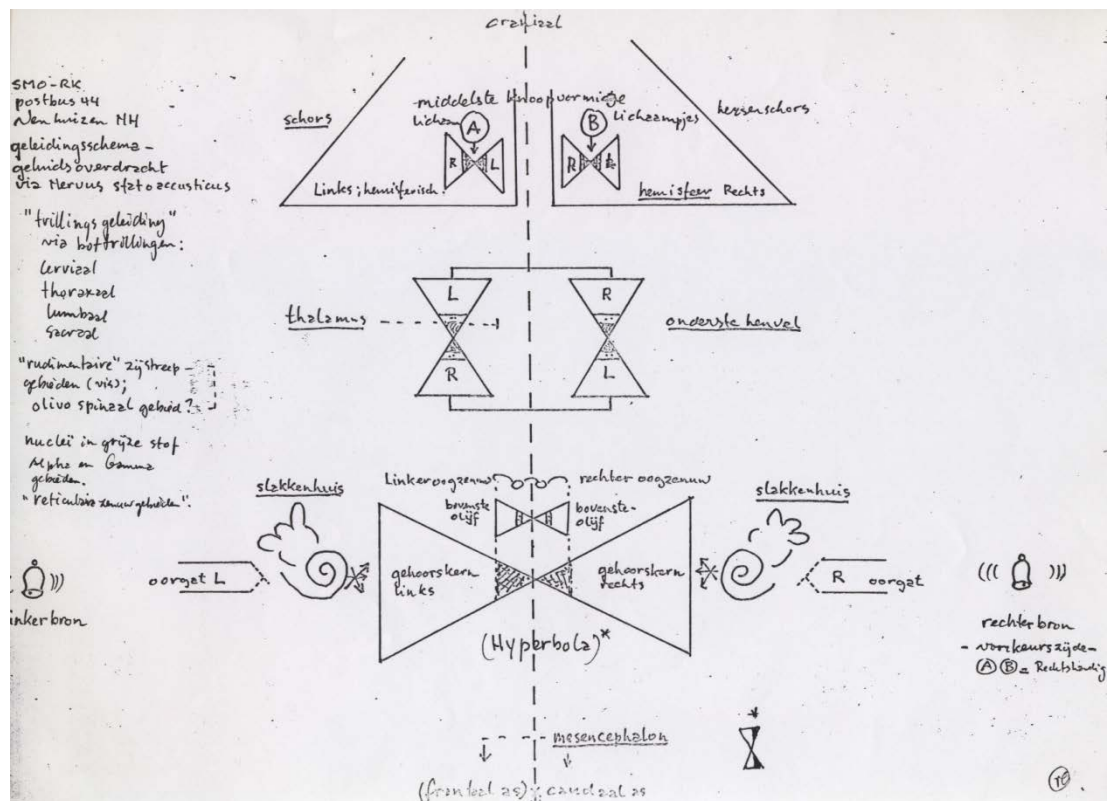
Vanuit de gehoorkernen wordt de betreffende informatie doorgegeven naar de bovenste olijf, waar ook de zenuwbanen met de ooginformatie synapteren.

Oor- en ooginformatie worden omgekeerd en naar de andere hersenhelft geleid via de onderste heuvel.

Van daaruit worden de signalen naar de middelste knoopvormige lichaampjes doorgegeven, waar weer zo'n omkering plaats vindt.

Bij de prikkeloverdracht in de hersenen, tot in de schors, zijn verschillende zenuwcellen vanuit het hele lichaam betrokken. De groeven van de hersenschors heb ik voor het gemak met een rechte lijn afgebeeld.

Het met streepjes gearceerde deel van de hyperbola betreft de informatie van de oren, het met puntjes gearceerde deel geeft de ooginformatie aan. In de onderste heuvel wordt die informatie opgeteld. De voorkeurszijde van het menselijk lichaam speelt ook een rol bij de luisterprocessen. Als men van nature rechtshandig is, dan is het rechteroor het voorkeursoor. (Bejaarden krijgen een gehoorapparaat in hun voorkeursoor als zij zo'n ding nodig hebben.)



In het kader van de neurologische wetenschap is het interessant te weten, dat de neurofysioloog professor dr P.E. Voorhoeve in zijn bekende leerboek (pagina 300, over selectieve tonotopie) schrijft: 'Een in oudere publicaties wel beschreven onderscheid tussen twee verschillende soorten vezels (bijvoorbeeld afkomstig van binnenste en buitenste haarcellen) is in uitvoeriger onderzoek niet bevestigd; de cochlearisvezels worden thans als een homogene populatie beschreven. In dit licht van de morfologie is dit nogal verrassend en nieuwe ontwikkelingen op dit punt lijken niet uitgesloten.'

Verderop zegt hij (Voorhoeve) dat de apex, het benige hart van de cochlea, de zetel is van de lage frequenties. Op pagina 303 stelt hij: "Wanneer een cochleaire zenuwvezel ge-exciteert wordt door een toon in het karakteristieke frequentiegebied bij een vrij lage intensiteit, kan deze reactie in vrijwel alle vezels onderdrukt worden door een intensere toon in een frequentiegebied, grenzend aan de frequentieresponse area. Het mechanisme van deze suppressie is onbekend; het is vrijwel uitgesloten dat hij wordt veroorzaakt

*door synaptische interactie tussen de afferenten onderling of door het efferente systeem.”*

In feite zou ik van ieder specifiek onderdeel van het menselijke organisme tot op het kleinste atomaire niveau, mogelijk met behulp van nanotechnologie en -microscopie (cellen met 1 miljardste meter diameter) de vibratie door geluid en de biofysische processen die dat oplevert moeten beschrijven. Maar ja, zo'n enorme miniaturisatie kan ik niet zonder Helmholtz-projectgroep of universiteit kunnen opzetten (zie: Aanhangsel 2).

Resonantie en penetratie

Een ander argument voor het door mij veronderstelde resonantie-effect van het gehele menselijke lichaam bij blootstelling aan geluid onder 1000 Hertz, schuilt in het luisteren onder water. Dan is er geen luchtgeleiding. Toch nemen wij daar geluiden waar! Je hoort zelfs vertellen, door duikers, die onderwaterontploffingen van de vulkaanbodem rond Hawaï bestudeerden en filmde, dat zij de knallen hoorden en voelden met hun hele lichaam. Dat wil zeggen dat het geluid resoneerde in hun hele lichaam dus een trillings-sensatie is, derhalve is er sprake van geluidspceptie zonder luchtgeleiding. Hoe warmer een medium (tussenstof) is, des te sneller vindt de trillingsvoortplanting van geluid in dat medium plaats. Bijvoorbeeld door de tussenstof atmosfeer gaat bij vorst het geluid door de vrieskoude lucht al zo'n 40 km/h trager dan door warme lucht van zo'n 20 graden Celsius. Dat geldt natuurlijk ook onder de 1000 Hertzgrens!

Overigens, geluid is geen licht maar toch lijkt het dat er met geluidsstraling een soort 'doorlichting' van het menselijk lichaam optreedt, enigszins vergelijkbaar aan doorlichting met röntgenstraling. In het geval van geluidsdoorstraling, treedt er resonantie in het menselijk organisme op. De eerder besproken zogenaamde aangeslagen toestand van een trillend botatoom (bij geluids-transmissie door het lichaamsbot), is in feite een resonantie-effect van het penetrerende geluid, in het bijzonder bij lage frequenties. Ook piekbelastingen van hogere frequenties, met snelle stijgtijden en steeds weer terugkerende, repeterende geluidsimpulsen, spelen mijns inziens bij dergelijke doorlichtingen een rol.

*Strikt genomen bestaat geluidstransport uit:*

- a) geleiding via materie, met het maximale voortplantingsenergiegebied onder de 1000 Hertz;*
- b) golving via lucht, met het (minimale) voortplantingsenergiegebied boven 1000 Hertz;*
- c) straling vanuit a + b, vanuit het gehele voortplantingsenergiegebied, tussen infrasonoor en ultrasonoor.*

Rolf Knap, Wijdenes, 01-04-2002.

Plaatjes toegevoegd:  
30-03-2003

## **Aanhangsel 1:**

### **Opmerkingen naar aanleiding van het onderzoeksrapport van afdeling 9 van de SMO de dato 07-08-1984**

#### **Inleiding:**

De vraag wordt gesteld omtrent de mogelijke oorzaak van ernstige gehoorschade bij enkele bekende musici, respectievelijk componisten. In een enkel voorbeeld wordt zelfs een mogelijke relatie geopperd van lawaaibelasting met een doodsoorzaak.

Een wetenschappelijk aangetoonde relatie ontbreekt mijns inziens echter. Ook in de akoestische praktijk is het beslist niet algemeen bekend, dat bijvoorbeeld musici of componisten een bijzondere risicogroep ten aanzien van gehoorschade vormen, zoals dit wel bekend is van schietinstructeurs, bepaalde wegwerkers, helikopterpiloten en industriële arbeiders.

Naar de gehoorschade bij popgroepen met grote geluidsinstallaties is wel onderzoek gedaan. Dit bleek tegen de verwachting in erg mee te vallen, mede doordat geluidsinstallaties geen korte stijgtijden van de geluidpieken kunnen produceren.

De geluidspieken van de genoemde personen worden echter direct opgewekt door snaar- trommel- of blaasinstrumenten op basis van een resonerend onderdeel of medium. Dit zou in principe tot bijzondere effecten bij het menselijk organisme kunnen leiden.

Om zo'n effect te kunnen onderscheiden van individuele bijzonderheden zoals levensgewoonten, ziektes, lichamelijke afwijkingen en dergelijke, is het mijns inziens beslist noodzakelijk eerst een statistisch significant effect aan te tonen volgens welke een bepaalde groep musici een extra groot gehoorschadeperscentage blijkt te hebben.

Wellicht is er in de literatuur respectievelijk vaktijdschriften hieromtrent iets te vinden. Ook kan door zelf wat enquêtes te houden onder bijvoorbeeld orkestleden, enig houvast voor een gedegen onderzoek worden verkregen.

#### **Gehoorschade:**

In het algemeen gesproken blijkt gehoorschade op te treden boven een combinatie van geluidsniveau en een daarbij behorende expositieduur. De aard van het geluid speelt hierbij ook een rol.

#### **Dosis:**

Voor een continu ruisachtig geluid blijkt circa 10% van de volwassenen een zogenaamde drempelverhoging (grens waarop dit geluid nog net waarneembaar is) van 15 decibel (A) in het frequentiegebied van 500 tot 3000 Hertz op te lopen, wanneer zij gedurende een achturige werkdag een geluidbetasting van 85 decibel (A) te verwerken krijgen, of equivalent hieraan een geluidsbetasting van 90 decibel (A) gedurende circa 3 uur per dag. In beide gevallen is de hoeveelheid geluidsenergie gelijk volgens de formule:

$$Q (\text{geluid}) = L(A) + 10 \log T.$$

Bij impulsvorming geluid moet mogelijk een soort straffactor worden opgeteld.

### **Resonantie van het menselijk lichaam:**

Er zijn in principe twee soorten resonantiemechanismen, te weten: het principe van een staande golf in een trillend medium (blaasinstrumenten) en een resonerend massa-veersysteem (resonerende machines, Helmholtzresonator). Voorwaarden voor het optreden hiervan zijn: een met de resonantie frequentie gelijklopende aanstootkracht en de afwezigheid van voldoende demping.

Het menselijk lichaam, beschouwd als trillend medium, bevat zoveel slappe, trillingsenergie opnemende verbindingen, dat het (gelukkig) niet in resonantie kan komen. Een dergelijk effect zou direct pijnlijk voelbaar en al lang in de medische en akoestische wetenschap bekend zijn.

Ook resonantie van een bepaald onderdeel van het skelet bijvoorbeeld de schedel, stuit op flinke weerstand omdat het spier- en peesstelsel welke dit onderdeel in zijn positie houdt en dempt.

De conclusie is dus dat de trillingen van en in het menselijk lichaam vanaf het aanstootpunt zo sterk gedempt worden dat resonanties niet kunnen optreden.

### **Transmissie van trillingen door het skelet:**

Het principe van transmissie van trillingen door het skelet, bijvoorbeeld vanaf de voeten tot aan het gehoororgaan, is mijns inziens zeker wel mogelijk. Indien men op een bepaalde trillende machine staat, is dit in een aantal gevallen behalve voelbaar, ook hoorbaar (bijvoorbeeld voetmassagemachines).

Bepalend in dit verschijnsel is de mate ten opzichte van de normale gehoorweg, waarin zich deze trilling voortplant.

Zoals reeds eerder gesteld, zit het skelet vol slappe, trilling absorberende verbindingen. Bovendien wordt bij elke materiaalgrens een deel van de geluidsgolf gereflecteerd (impedantiesprong) en absorbeert een bot ook energie van de doorgaande golf.

Uit de literatuur is bekend dat er proeven zijn uitgevoerd, waarbij de schedel direct bij het voorhoofd in trilling werd gebracht. Dit bleek een gehoordrempelverhoging te geven van circa 50 decibel(A). Via de voeten en of de armen zal dit dus aanzienlijk meer zijn.

Indien deze sterke demping niet zou optreden, zouden wij wel al zeer snel ernstige

hinder en gehoorschade oplopen van de vele stoten die het skelet dagelijks oploopt.

In dit verband denk ik aan lopen, voetballen, tennissen, klopboren, hameren et cetera. Met behulp van een soort proef als de beschreven stemvorkproef, is tenslotte wel objectief vast te stellen in welke mate er demping ten opzichte van de normale gehoorweg optreedt.

### **Van der Waals-krachten:**

De bijzondere rol van de Van der Waals-krachten in dit betoog is mij niet geheel duidelijk. In het algemeen spelen zij een rol bij het rekken en breken van materialen.

Om de eigenschappen van rekkende en brekende materialen te beschrijven, gaat men echter normaliter niet op moleculaire schaal te werk, maar gaat men af op materiaalproeven.

Bij gehoorschade ligt het probleem echter niet zo eenvoudig. Behalve de trekkracht op de haarcellen speelt het aantal keren dat er aan getrokken wordt ook een rol. Er treedt kennelijk een soort tijdelijke materiaalmoetheid op. Het lijkt er op alsof de haarcellen een bepaald deel van de geluidsenergie opslaan, die tijdens de rustperiode weer wegvloeit. De inwendige energie die het gehoor binnentreedt is hierbij zo laag (-10 kWh bij een 100% gehoorschade dosis), dat de hierbij optredende warmte-energie geen rol speelt.

### **Waarneming:**

Uit de vele proeven die gedaan zijn met mensen en dieren is komen vast te staan dat de geluidstrillingen die zich door het gehoororgaan voortplanten, uiteindelijk door de haarcellen, die aan het trillende basilaire membraan gehecht zijn, in een elektrisch signaal worden omgezet en aldus de hersenen van informatie voorzien.

Wat zich in de hersenen afspeelt is wellicht nog te weinig bekend, maar is bij het optreden van gehoorschade ook niet van belang. Bij medische analyses van beschadigde oren is duidelijk een fysieke beschadiging van het haarcellensysteem te zien. Ook bij directe bottrillingen worden uiteindelijk de haarcellen geactiveerd via onder andere de endolymfe vloeistof; een anders werkend gehoororgaanonderdeel, is niet bekend.

### **Samenvatting:**

Samengevat is het mijns inziens zó, dat de in genoemde artikelen beschreven werkingsprincipes bij de voortplanting en waarneming van schadelijk geluid wel min of meer juist zijn, maar zo zwak zijn, dat ze ten opzichte van de conventionele gehoorschadeverschijnselen geen rol van betekenis spelen. Of bij musici en dergelijke bijzondere effecten en risico's een rol spelen, moet mijns inziens eerst statistisch worden aangetoond.

ing. R.C.Muchall  
25.9.'84

CONCEPT 1; Was een kortere versie van het onderzoeksrapport van afdeling 9 van de SMO, de dato 07 augustus 1984, te Amsterdam, was overgelegd aan de volgende deskundige:  
Ingenieur R.C. Muchall, hoofd Bureau Geluidszaken van de gemeente Amsterdam, de dato 25 september 1984:

M.i. een enigszins bemoedigend commentaar, op de in mijn rapport van 7 augustus 1984 beschreven werkingsprincipes van geluidsvoortplanting. Vooral mijn stemvorkproef komt er goed vanaf. Hij stelt als eindconclusie evenwel: "deze werkingsprincipes, zijn wel min of meer juist, maar zo zwak dat ze geen rol van betekenis kunnen spelen."

Muchall argumenteert ondermeer: "Het menselijk lichaam beschouwd



als trillend medium, bevat zoveel slappe, trillingsenergie opnemende verbindingen, dat het (gelukkig) niet in resonantie kan raken.” En: “Uit de literatuur is bekend dat er proeven zijn uitgevoerd waarbij de schedel direct bij het voorhoofd in trilling wordt gebracht. Dit bleek een gehoordrempelverhoging te geven, van circa 50 decibel(A). Via de voeten of armen zal dit dus aanzienlijk meer zijn. Indien geen sterke demping zou optreden dan zouden wij al zeer snel ernstige hinder en gehoorschade oplopen. (Zie aanhangsel nummer 1).

## **Aanhangsel 2:**

**Brief de dato 21 oktober 1985, van KNO-arts P.A.H.M. Goderie, spreker bij Symposium Medici voor Musici, te Hilversum.**

*P. A. H. M. Goderie*

*Hoofd, Nieuws en Corants*

*Paulus van Loolaan 8*

*1217 zg Hilversum*

*Tel. 035-48286*

*Hilversum, 21 oktober*

Geachte Heer Knap,

In goede orde mocht ik Uw schrijven dd. 7 October 1985 ontvangen. Tevens heb ik kennis genomen van Uw schrijven aan Frank van Koten hetgeen, naar ik althans aannam, ook de bedoeling was.

U veroorlove mij wellicht enige opmerkingen.

Allereerst heb ik respect en waardering voor de energie die U opbrengt voor de problemen en de randproblemen van de uitvoerende en de scheppende musicus. Met name waar het de sociale problematiek betreft is in deze tijd veel beweging en wordt een te veel aan eigen creativiteit verlangt hetgeen de beroepsuitoefening niet ten goede lijkt te komen. Een organisatiestructuur als de Uwe zal hopelijk voor velen soelaas bieden.

Dat de "hard ware" zoals de bedrijfsgeneeskundige, de audiologische en de medische aspecten in een ruimere zin des woords ook Uw belangstelling hebben is ongebruikelijk voor een musicus maar niet minder te waarderen. In het algemeen wordt zulk onderzoek aan een universiteit of hoge school verricht in teamverband met laboratorium en bibliotheek faciliteiten. Dit laatste om doublures te voorkomen en de artikelen te voorzien van een degelijke literatuurlijst.\*

Het feitelijk ingaan op Uw monografie zoals ik die van Frank mocht doorlezen zou hier te ver gaan. Zo indien U er evenwel prijs op stelt ben ik hier gaarne toe bereid.

Wat betreft het symposium "Medici voor Musici"; er is slechts sprake van uitnodigen van specifieke deskundigheid en vooralsnog geen eigen onderzoek.

Met vriendelijke groet,

*Goderie*

\* De literatuurlijst is kennelijk achtergebleven bij Frank van Koten!

Dr. P.A.H.M. Goderie, KNO-arts te Hilversum, de dato 21 oktober 1985:

Innemende reacties op de verschillende aspecten van mijn onderzoek. Dr Goderie heeft meegewerkt aan de symposiareeks Medici voor Musici, georganiseerd door mijn collega-hoboïst Frank van Koten, een van de eerste initiatiefnemers van die symposiareeks welke uiteindelijk bij de Rijksuniversiteit Utrecht ondergebracht schijnt te zijn.

Goderie schrijft: "Allereerst heb ik respect en waardering voor de energie die U opbrengt voor de problemen en de randproblemen van de uitvoerende en de scheppende musicus. [...] "In het algemeen wordt zulk onderzoek aan een universiteit of hogeschool verricht, in teamverband met laboratorium- en bibliotheekfaciliteiten." En: "Het feitelijk ingaan op Uw monografie zou hier te ver gaan. Zo u er evenwel prijs op stelt ben ik hier gaarne toe bereid." (Zie aanhangsel nummer 2).

### **Aanhangsel 3:**

**Professor dr ir R. Plomp, IZF/TNO nummer 86 W 1357, de dato 20 augustus 1986**

(zie het kopie van deze brief hier achter):

Weerleggend commentaar op twee punten. Enerzijds op de door mij veronderstelde uitzonderlijke rol van de frequenties 160-220 Hertz, omdat die overeenkomen met de menselijke maat, ofwel de gemiddelde lengte van de mens. Anderzijds wijs hij mijn stelling, dat onder de 1000 Hertz ongeveer de helft van de geluidsenergie via botgeleiding tot ons komt, af.

Plomp argumenteert onder meer: "Voor zover men van resonantie bij het lichaam kan spreken, liggen de frequenties erg laag, in ieder geval buiten het muzikale gebied maar in dat van de trillingssensaties. Het menselijk lichaam als een passief systeem heeft geen voorkeursfrequentiegebieden.

En: "Er is geen evidentie dat beengeleiding voor de luisteraar in de

concertzaal enige rol speelt.”

Bemoedigend stelt professor Plomp uiteindelijk, dat mijn kennis van de vele wetenschappelijke terreinen meer diepgang moet krijgen, wil ik daarop bepaalde theorieën kunnen bouwen. (Zie aanhangsel nummer 3).

Rolf Knap: “Mijns inziens zijn de opmerkingen van professor dr ir Plomp, inzake de beengleiding en voorkeursfrequentiegebieden, eenvoudig te weerleggen onder andere met mijn stemvorkproef, waaraan hij kennelijk voorbij gaat.

Ook met mijn snaartheorie ten aanzien van de ductus endolymphaticus (zie pagina 80 uit Van den Broek, Boeke en Barge, figuur 108) is het denkbaar Plomps ontkenning te weerleggen.

Als NASA-expert op het gebied van geluid en gehoor, zal hij natuurlijk niet graag willen denken dat het menselijk lichaam in feite een klankkast is, met trillingssensaties. Antigeluid interesseert hem waarschijnlijk veel meer, in verband met de brullende motoren van die raketten.

Wel heel erg aardig dat hij terugschreef en mij daarbij attent maakte op “het gebied van de trillingssensaties aantipte!”

Nederlandse organisatie  
voor toegepast  
natuurwetenschappelijk  
onderzoek



Instituut voor  
Zintuigfysiologie TNO

Postbus 23  
3769 ZG Soesterberg  
Kampweg 5  
3769 DE Soesterberg

Telefoon 03463 - 14 44

De Heer R. Knap  
p/a SMO  
Sarphatistraat 79 rechts  
1018 EX AMSTERDAM

Datum  
20 augustus 1986

Ons nummer  
86 W 1357

Onderwerp

Uw brief

Geachte Heer Knap,

Het stuk dat U mij op 31 mei jl. hebt gegeven, heb ik inmiddels gelezen en wil ik op een tweetal punten van commentaar voorzien.

X Het eerste punt betreft de veronderstelde uitzonderlijke rol van de frequenties 160-220 Hz omdat de golflengte overeenkomt met de lengte van de mens. Nog afgezien van het feit waarom de lengte hier van belang zou zijn en niet de breedte of enige andere maat, is de redenering onjuist. Eventuele eigen frequenties van het lichaam hebben niets te maken met de lengte, maar met massa-elasticiteitswaarden, zoals van een gewicht aan een veer en de slinger van de klok. Voorzover men van resonantie bij het lichaam kan spreken, liggen de frequenties erg laag. in ieder geval buiten het muzikale gebied maar in dat van de trillingssensaties. Het menselijk lichaam als een passief systeem heeft geen voorkeursfrequentiegebieden.

X Het tweede punt betreft de veronderstelde beengleiding bij het horen van muziek. Ergens stelt U dat zelfs de helft van de geluidsenergie beneden 1000 Hz niet via de oren maar via beengleiding tot ons komt. Ik bestrijd dat ten zeerste. In de eerste plaats zou dit betekenen dat het voor de muzikale waarneming verschil uitmaakt of men op de vloer staat, op een harde stoel zit of in de zachte kussens. Dit wordt niet bevestigd door de ervaring. Voorts zou de geluidwaarneming van de lage frequenties maar weinig veranderen wanneer ik mijn gehoorgangen met de vingers afsluit of oorkappen opzet. Ook dit is in tegenspraak met de werkelijkheid. Er is geen evidentie dat de beengleiding voor de luisteraar in de concertzaal enige rol speelt.

Bijlagen  
-

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de  
Algemene Voorwaarden voor onderzoek- en ontwikkelings-  
opdrachten van TNO, 1979, zoals beschikbaar bij  
de Kantoren van Koophandel en Fabrieken.



IZF-TNO maakt deel uit van de Hoofdgroep  
Defensieonderzoek TNO

Deze twee punten illustreren dat Uw betoog sterk hypothetisch van karakter is, waarin de argumenten niet voldoende op hun wetenschappelijke houdbaarheid zijn beoordeeld. Het is een loffelijk streven dat U van vele terreinen kennis neemt, maar het lijkt me toch dat deze kennis meer diepgang zal moeten krijgen wilt U hierop bepaalde theorieën kunnen bouwen.

Hoogachtend,



Prof. dr. ir. R. Plomp



Aan:

Prof. Dr Ir R. Plomp  
Instituut voor zintuigfysiologie-TNO  
Postbus 23  
3769 ZG Soesterberg

betreft: uw referentie nr 86 W 1357;

Amsterdam, 6 Januari 1987

Geachte heer Plomp,

Uw uitgebreide brief van 20 augustus jongstleden heb ik in goede orde ontvangen en zeer op prijs gesteld.

Aangaande uw visie, dat mijn hypothetische argumentaties niet voldoende op hun wetenschappelijke houdbaarheid zijn beoordeeld, wil ik u meedelen dat ik die uiteraard deel.

Betreffend uw stelling, dat er géén evidentie is dat de botgeleiding voor de luisteraar in de concertzaal enige rol speelt, wil ik, wellicht ten overvloede nog wijzen op mijn stemvorkproef, die ik in het SMO-rapport besprak, waarop ing. R.C. Muchall van Gemeentelijk Bouwtoezicht Amsterdam vrij positief reageerde.

*Tevens sluit ik, in verband met mijn onderwerp "Geluid & Gehoor", bijgaand een artikel (Notities over zaalakoestiek) in, welk ik ten behoeve van het ledenbulletin van de KNTV schreef, in verband het ontbreken van goede, natuurlijke akoestiek in de meeste nieuwe concert- en operahallen. (Zie hieronder, Notities over Zaalakoestiek.)*

Binnen afzienbare tijd hoop ik voldoende gelegenheid te mobiliseren om aan een nieuw concept van mijn rapportage te kunnen werken en om dieper op de door u naar voren gebrachte punten in te kunnen gaan. Ik zal u daarna graag van mijn bevindingen willen berichten.

Nogmaals mijn hartelijke dank voor de door u genomen moeite en uw schriftelijke reactie.

Met vriendelijke groeten en de meeste hoogachting,

Rolf Knap.

p/a:  
SMO

## **Notities over zaal akoestiek:**

Baringsweeën en misgeboorten bij de bouw van concerthallen en operagebouwen

De dagbladen en tijdschriften staan de laatste jaren bol van artikelen over akoestiek en accommodaties, zoals over de nieuwe zaal voor Het Muziektheater (de zogenaamde Stopera) te Amsterdam en de Dr. Anton Philipszaal in Den Haag. Gelukkig worden er tegenwoordig wat meer van dergelijke voorzieningen gebouwd! Evident is echter dat er klaarblijkelijk niet voldoende specifieke kennis over natuurlijke akoestiek bij architecten en evenmin bij akoestici voorhanden is. Dit blijkt onder meer uit een artikel van de publicist Roland de Beer, in de bijlage 'Wetenschap & Samenleving' van *de Volkskrant* van 20 september 1986.

Naar mijn persoonlijke ervaring is de verontrustende kop van bedoeld artikel 'Akoestiek van Stopera had veel beter gekund', volstrekt juist gekozen. Ik ken namelijk nogal wat zalen, zowel grote als kleine, oude en nieuwe, zowel als uitvoerend musicus als luisteraar. Dat in de recente tijd in Nederland geen goede zalen zijn gebouwd, rechtvaardigt de grootst mogelijke argwaan en oplettendheid. Het eindresultaat van de tegenwoordige bouwstijlen is meestal een zwaar spelende zaal, met een werksituatie waarbij de gezondheid van de musici in het geding is. Zelfs het aantrekken van wereldvermaarde akoestici is vanuit het gezichtspunt van musici geen garantie gebleken voor het verkrijgen van natuurlijke akoestiek en goed bespeelbare zalen.

Voor het publiek is het ook geen lolletje, blijkens een onderzoek uit 1986, 'Opera in Nederland' van Eddie Vetter, gepubliceerd in het mededelingenblad van de Vakgroep Muziekwetenschap van de Universiteit van Amsterdam. In een hoofdstuk met de (betrekkelijk) toepasselijke titel 'Op zoek naar de juiste nagalmtijd', over de officieuze inwijding (juni 1986) van Het Muziektheater met proefvoorstellingen van Beethovens *Fidelio*, schrijft hij: 'Ietwat anders ligt de zaak, als ik vanaf rij 8 zo'n tien rijen naar achteren klim tot onder de overkapping van het eerste balkon. Daar klinkt het orkest benauwd en droog, te veel op afstand alsof er bij de burens muziek wordt gemaakt. De verstaanbaarheid is matig, de dynamiek nogal vlak en het volume bepaald ontoereikend.' Dit effect van de zaal, het ontbreken van voldoende natuurlijke luidheid, wordt ook wel 'ferne-orkest'-effect genoemd. Het doet zich vaak voor in nieuwe zalen, ook als er geen balkon is en als er akoestici aan te pas zijn gekomen.

In eerder genoemde *Volkskrant* van 20 september lezen we: 'Gaten in plafond benadelen akoestiek Stopera'. De betreffende verslaggever brengt in dit artikel naar voren dat de akoesticus professor ir. De Lange van mening is dat op grond van nieuwe akoestische inzichten een rustpauze ingelast had moeten worden bij de afbouw van Het Muziektheater. Daardoor



zou hem meer tijd ter beschikking komen om adviezen in te winnen. De directeur van Het Muziektheater, de heer Wim Sinnige zegt verderop in bedoeld artikel: 'Wat technici weten is heel wat, maar ik hecht nu in de eerste plaats aan mensen die het muziekvak beoefenen.'

Overigens, diezelfde professor P. de Lange schat de ervaring en kennis bij musici laag, blijkt uit het artikel van Roland de Beer: 'Aan de ene kant was het bouwen van de AVRO-studio in de vorm van een viool natuurlijk pure waanzin. En, ook musici spreken vooraf doorgaans wartaal, ze willen alleen maar hout zien en zeggen bouw Het Concertgebouw maar na.'

Mijns inziens is het jammer dat de akoestici en architecten dergelijke raad niet serieus namen. Immers, zalen met een houten constructie voor podium, zaalvloer en stoelen, hebben een betere natuurlijke luidheid, dat wil zeggen de resonantiekwiteit van de akoestische ruimte is veel optimaler bij hout skeletbouw dan bij beton-/staalbouw, omdat hout beter als trillingsgeleider fungeert, in het bijzonder voor componenten onder de geluidsdrempel van 1000 Hertz, in het laagfrequent gebied. Hierin schuilt de kernfout van de akoestiek van alle nieuwbouwzalen die ik ken. Deze bouwfout is vrijwel altijd in het bouwkundige concept en in het bestek reeds aanwijsbaar, namelijk in de keuze van de bouwmaterialen.

Hieruit blijkt dat het argument van de eerste viool van de musici zo gek nog niet is en dat dit door akoestici en architecten stelselmatig verkeerd werd begrepen. Namelijk, als je een podium met zaalvloer en -stoelen als een stijve houten constructie ontwerpt, met daarin zangbalken voor de geleiding (transmissietrillingen/componenten) van het laag frequente gebied, dat onder meer door cello's en bassen via de poten van de instrumenten sterk in de vloer wordt uitgezonden, dan zal de natuurlijke luidheid van zo'n zaal veel beter uitvallen en zal elektronische versterking (zelfs voor spraak) niet nodig blijken.

Wie wel eens in Noord-Scandinavische (houten) dorpskerkjes heeft gespeeld en geluisterd of in de houten Amstelkerk te Amsterdam, weet wat ik bedoel als ik zeg: 'straks worden we geconfronteerd met een betonnen massa met elektronisch opgepepte akoestiek!' Immers, de luisterervaring in een concerthal met een houten podium en zaalvloer is volstrekt verschillend aan die van een betonnen podium en zaalvloer.

Na de opening van de Dr. Anton Philipszaal in Den Haag, signaleerde ik in de pers opgepoetste verhalen waarin men de loftrumpet steekt over de akoestiek, terwijl dit niet overeenstemt met de luisterervaring van aanwezigen. Bovendien trof mij een onterecht verwijt, alsof mensen als ik bezwaar zouden hebben tegen akoestici en het gebruik van moderne bouwmaterialen. Integendeel, ik betreur enkel dat daarmee geen goede akoestiek werd bereikt.

Onder musici is algemeen bekend dat wat de speelervaring betreft, nieuwe zalen zwaar spelen terwijl oude (waarin meestal veel houtconstructies zijn verwerkt) lichter spelen. Van akoestici weten we dat ze worden ingeschakeld om de geluidsverdeling in de accommodatie te verbeteren, wat zij

merendeels door middel van elektronische beïnvloeding van de zaalakoestiek proberen. Ook weten we dat dergelijke voorzieningen, die soms zelfs in de ontwerpfase al worden aangebracht, het probleem van een zwaar spelende zaal nimmer afdoende hebben opgelost.

Uit al deze gegevens blijkt heel duidelijk dat het ondanks alle knowhow van de professoren en ingenieurs nog niet mogelijk is gebleken om zaalakoestiek die gewoon goed is te ontwerpen en te bouwen. Verder is daarbij gebleken dat het argument van de viool, dat al jarenlang door musici steeds weer naar voren werd gebracht, nog steeds verkeerd wordt begrepen. In verband daarmee wil ik hier nog ingaan op een paar grote krantenartikelen over akoestiek en akoestici.

Onder een veelzeggende kop 'Akoestiek van Muziektheater zal nooit perfect worden', verscheen op 25 augustus 1987 in *NRC Handelsblad* een omvangrijke bijdrage van Kasper Jansen, die met ir P.A. de Lange, hoogleraar en akoesticus aan de Technische Universiteit te Eindhoven sprak. Deze professor verkondigde hier dat de afstandelijkheidservaring (het ongewenste ferne-orkest-effect) bij het Amsterdamse Muziektheater niet is te verhelpen: 'die komt voort uit de vorm van die zaal', aldus de heer De Lange.

Bedoeld akoestisch effect ontstaat echter niet door de vorm van de zaal, maar doordat het gebruikte bouw materiaal (beton) niet zo geschikt is voor de juiste akoestische geleiding: het transport van door de zangers en musici uitgezonden transmissietrillingen, door het materiaal van het podium en de orkestbak naar de zaalstoelen. Bij zang en alle andere instrumenten treden deze transmissietrillingen in mindere (violen, harp, blazers) of in meerdere mate (piano, slagwerk) op, doch de cello's en bassen spreken hierbij wel het sterkst tot de verbeelding, die kan men in de goede zalen met de hand aan de stoeleuning goed voelen trillen!

Door genoemde (slechte) akoestische eigenschappen van beton, komen de musici nauwelijks in de gelegenheid om de zaal tot klinken te brengen en te mengen in of met de orkestklank. Om een beter samenspel en een betrokken luistersituatie voor het publiek te bereiken zou Het Muziektheater mijns inziens voorzien moeten worden van een hechte, stijve houten constructie voor podium, orkestbak, zaalvloer en stoelen. Immers in zalen die wel goed klinken treft men dergelijke constructies aan!

Akoesticus De Lange betoogt evenwel dat de vorm – een waaier met zeer brede toneelopening – niet geschikt zou zijn voor goede zaalakoestiek. Daarbij beroept hij zich op het effect van laterale reflecties in een doosvorm, die zijns inziens risicoloos zou zijn. Nu wil ik hier niet uitweiden over verschillen in de gedragingen van luchttrillingen in ronde, ovale, rechthoekige of kruisvormige zalen. Wel wil ik er op wijzen, dat bij 't ontwerpen en bouwen van muziekaccommodaties, het effect van de transmissietrillingen op de zaalakoestiek overwogen en betrokken zal moeten worden. Dit heeft mijns inziens veel meer relevantie dan de zaalvorm.

Een ander groot artikel verscheen op 28 augustus 1987, weer van de hand van Roland de Beer in *de Volkskrant*. Een hele pagina onder de kop: 'Ir Peutz jaagt op flutterecho's. Voor jonge akoestici moet je oppassen, die horen alles en niks deugt'!

Deze akoesticus blijkt evenals zijn tegenvoeter ir De Lange, de vorm van de zaal te omarmen om het ferne-orkest-effect te verklaren. Hij zegt: 'Het is de (doos)vorm die (bij inachtneming van goede proporties) een gelijkmatige spreiding van geluid in de hand werkt, die door gunstige zijweerkaatsingen (laterale reflecties) de luisteraar een riant panorama kan aanbieden; een vorm die al gauw voor een goede verhouding zorgt tussen direct geluid en weerkaatst geluid en daarmee articulatie oftewel levensechtheid.'

Mooi gesproken, maar inhoudelijk komt het op me over alsof de heer Peutz het fenomeen van de zaalakoestiek slechts als een verzameling luchtrillingen beschouwt en alsof hij blijkbaar liever rekent met de vorm van een rechthoek dan in die van een cirkel! De akoestische en bouwkundige technici zouden hun denken over deze materie moeten verbreden en niet uitsluitend focussen op de zaalvorm en luchtrillingen. Immers, hun akoestische lapmiddelen zoals zaalversterking door elektronische beïnvloeding, bieden geen soelaas, laat staan natuurlijke luisterervaring, articulatie en dergelijke. Van zo iemand als Peutz, die van huis uit kernfysicus is, zou je meer verwachten dan het (overigens belangrijke) wegwerken van flutterecho's. Overigens, dit soort reflecties ontstaat bij voorkeur in die doosvorm, vanwege verticale en horizontale grote vlakken.

Mij zou een verklaring over de impedantie en de massa-elasticiteitswaarden van de verwerkte bouwmaterialen, of over de invloed ervan op de natuurlijke luidheid en op harmonische reflecties (bij een bepaalde zaalgrootte) veel belangwekkender zijn voorgekomen, temeer omdat professor ir. Peutz betrokken was bij de bewaking van de akoestiek van Het Concertgebouw te Amsterdam. Toch bleek er nog iets spannends in dit artikel van Roland de Beer te staan. Namelijk, naar aanleiding van Peutz' ervaringen bij onderzoek naar allerlei accommodaties in Europa wordt opgemerkt:

'Het meest frapperen de zalen door hun onderlinge verschillen in natuurlijke luidheid.' Dat komt al aardig in de buurt van het door musici gesignaleerde zwaar of licht spelende effect bij zaalakoestiek. Jammer genoeg keert de huidige akoestische en bouwkundige wetenschap (wat iedereen weet is wetenschap) zich kennelijk nog geheel af van het idee, dat bij de gewaarwording van het ferne-orkest-effect (de afstandelijkheidservaring) de structuur van de transmissietrillingen in de bouwmaterialen van groot belang is voor de muziekperceptie.

Biologen zeggen het met andere woorden: kijk naar de slang, die heeft geen uitwendige oren, maar luistert met z'n hele lijf op de grond naar geluidstrillingen in die grond.

Rolf Knap, 1988, uitgave: STICHTING MUZIEKCENTRUM, Platform voor Muziek- en Muziekonderwijsbeleid

## Aanhangsel 4:

Mensen onder de dwingende dirigeerstok

Wetenschappelijke analyse over de fysieke en psychische belasting van de musicus in een beroepsorkest.

De orkestmusicus ondergaat een grote geestelijke en lichamelijke belasting omdat de precisie van het samenspel hem dwingt zijn eigen ritme voortdurend te onderdrukken.

Dit, ook ter beoordeling van andere 'maatgebonden' werkzaamheden, buitengewoon belangrijke verschijnsel, werd door een wetenschappelijk team van het Max Planck instituut voor arbeidsfysiologie onderzocht in een omvangrijke analyse. Ik citeer hier de leider van dit onderzoek, over de bijzonderheden en over de resultaten, dr Hugo Schmale:

Een van de belangrijkste begrippen in de wetenschap op arbeidsfysiologisch gebied is die der "maatgebonden" arbeid. Men verstaat hieronder meestal het werk aan de lopende band waarbij de specifieke belasting daaruit bestaat dat het arbeidsritme niet door de mens kan worden bepaald, doch streng wordt voorgeschreven door een machine.

Het feit dat de terminologie "maatgebonden" uit het domein der muziek komt, was voor het wetenschappelijk team van het Max Planck instituut aanleiding deze vorm van belasting ook bij musici grondig te onderzoeken. Bij alle maatgebonden werkzaamheden treedt dan allereerst één bijzondere moeilijkheid naar voren: de mens kan zijn aandacht om neurofysiologische redenen niet regelmatig over een langere tijd verdelen, daar het vermogen tot concentratie aan afwisseling onderhevig is.

In het algemeen worden kwaliteit en kwantiteit der verrichtingen bij werkzaamheden zonder een strenge maatbinding geleid door een ritme dat verband houdt met de werking van het menselijke organisme. Bijvoorbeeld de lezer van een boek, of de toehoorder tijdens een voordracht, moet na ongeveer 10 à 20 minuten bij zichzelf vaststellen dat hij de laatste zin niet zo goed heeft begrepen; hoezeer hij zich ook inspant, de betekenis dringt ook na twee- of driemaal herhalen niet tot hem door. Eerst na een korte onderbreking, men kijkt een paar minuten uit het raam of sluit de ogen, keert de normale ontvankelijkheid weer terug.

Geoefende lezers passen hun leessnelheid onbewust aan de wisseling van het concentratieritme aan. Een goed spreker houdt bij de opbouw van zijn voordracht rekening met dit verschijnsel. Muzikale composities, toneelstukken, films en dergelijke volgen in hun ontwikkeling het biologische ritme van spanning en ontspanning. Zelfs het werk aan de lopende band sluit de mogelijkheid niet geheel uit nog enigszins aan het eigen ritme toe te geven. Zo toonden filmopnamen, gemaakt van arbeiders aan montagebanden voor kleine onderdelen, dat hun handen "fladderen", dat wil zeggen soms is het arbeidstempo sneller dan de band (dan grijpen de handen meer en meer naar links, als de band van links naar rechts loopt), soms langzamer (dan moeten de handen meer en meer naar rechts grijpen). Deze mogelijkheid nu, het fysiologisch voorgeschreven eigen ritme op de handeling over te brengen, is tijdens het musiceren, speciaal in een orkest, uitgesloten. De orkestmusicus moet pijnlijk nauwkeurig het notenbeeld in zijn

partij én de aanwijzingen van de dirigent volgen! Het is deze, geen genade kennende precisie, tegenover het voortdurend wisselende vermogen tot concentratie en de daarmee gepaard gaande angst ineens niet meer aan de eisen te kunnen voldoen, die de uitzonderlijke psychofysiologische druk op de orkestmusicus uitmaakt.

*De fasen der fysiologisch noodzakelijke schommeling in concentratie kunnen voor een deel door enorme wilsinspanning in balans worden gehouden; de muziekstudent leert van jongs af zijn wilskracht te sterken en hiervan zo economisch mogelijk gebruik te maken. Deze, door de wil geforceerde balans, wordt echter altijd met een gevoel van sterke oververmoeidheid of nerveuze uitputting betaald.*

Hoe reageert nu het menselijke organisme op dergelijke prestatievoorwaarden?

Het Max Planck instituut ging deze vraag in een aantal jaren na en probeerde voorts een algehele analyse over de belasting van de orkestmusicus te verkrijgen. Het ligt voor de hand dat in de eerste plaats de bloedsomloop onder deze spanningen te lijden heeft. Om dit te kunnen vaststellen registreerde men de polsfrequentie der musici gedurende hun verrichtingen in het orkest, zowel tijdens de repetities als de openbare uitvoeringen. De daartoe gebruikte elektronische polsteller bestaat uit een lampje in een fotocel, dat in een oorklep gebouwd aan het oorlel van de proefpersoon wordt bevestigd. In het ritme van het pulserende bloed wordt de lichtstraal van het lampje, door het oorlel heen, op de fotocel ontvangen, vervolgens als stroomstoot verder geleid en tenslotte achter het podium door een oscillograaf geregistreerd. Gelijktijdig daarmee noteert men de maatnummers uit de partituur, om zo een vergelijk tussen het muzikale gebeuren en de fysiologische reacties te verkrijgen. Lopende metingen gedurende een drie- tot vierurige repetitietijd gaven in doorsnee een verhoging van 16 slagen per minuut; tijdens de openbare uitvoering werd een verhoging van circa 27 slagen per minuut geregistreerd. Hiermee werd de prestatieduurgrens bereikt die bij een verhoging van ongeveer 30 slagen per minuut ligt. Het musiceren in een orkest kan dus tot stoornissen in de bloedsomloop leiden, welke nauwelijks minder zijn dan die verkregen door zware lichamelijke arbeid. Voorts toonde een nadere analyse nog enige andere, interessante facetten. Zowel bij concerten als opera-uitvoeringen werd bijvoorbeeld een opvallende stijging van de polsslag, gemiddeld 45 slagen per minuut, gemeten en wel altijd kort vóór de inzet!

Deze extreme polsslagverhoging neemt in de loop der uitvoeringen weer af. Echter, bij bijzonder moeilijke passages of inzetten stijgt de polsslag weer, namelijk steeds vlak voor de betreffende passage.

De verhouding der lichamelijke, tot die der geestelijke belasting laat zich precies afleiden indien men de aantekeningen, gemaakt tijdens de repetities, vergelijkt met de aantekeningen van openbare uitvoeringen. Aannemende dat de zuiver lichamelijke inspanning bij strenge, intensieve repetities ongeveer gelijk is aan die tijdens concerten, kan de verhoging der polsslag, die gedurende de concerten werd gemeten, uitsluitend van psychische oorzaak zijn: 60% der totale belasting gedurende een openbare uitvoering is van psychisch-nerveuze aard. Een enquête onder meer dan veertienhonderd

orkestmusici bracht voorts aan het licht, dat circa 60% van alle klachten, op het gebied van de gezondheid, eveneens van psychisch-nerveuze aard is. Een relatief gemakkelijk vast te stellen teken van tijdelijke nervositeit is de temperatuur der vingertoppen: de kleine, haardunne bloedvaten vernauwen zich, de doorbloeding wordt verminderd, waardoor de temperatuur daalt. Dit verschijnsel werd gemeten met een klein thermo-element, dat, slechts een vierkante millimeter groot en 1 gram zwaar, bevestigd wordt aan de vinger van de hand, die men bij het spelen het minst gebruikt. De metingen wezen uit, dat de vingertemperatuur tijdens een uitvoering tot 2° kan teruglopen, hoewel de zaaltemperatuur gelijktijdig ongeveer 4° stijgt.

In directe betrekking hiertoe schijnen resultaten van metingen op het gebied van de geluidssterkte te staan.

Bij mezzofortepassages werd in het orkest een geluidssterkte van 100 DIN-foon gemeten, bij forte 110 en bij fortissimo 118 DIN-foon. De in het orkest optredende geluidssterkten zijn in doorsnee dus zo groot, dat zij voor de musici een aanzienlijke neurovegetatieve verzwaring kunnen betekenen. Deze factor zou aan belangrijkheid verliezen indien hij slechts af en toe optreedt.

Helaas is dit in een orkest niet het geval. Om de tijd, gedurende welke de musicus in beslag genomen is, te analyseren, vroeg men veertienhonderd musici drie weken lang een dagboek van hun verrichtingen bij te houden. De opgaven daarvan werden zorgvuldig gecontroleerd en bestudeerd; ongeveer 27000 dagmeldingen werden uiteindelijk verwerkt. Daaruit bleek dat de betreffende musici in doorsnee zes uur per dag in het orkest doorbrengen. Verzwarend is dat de diensten onregelmatig zijn en daarbij ook nog meestal in de avonduren vallen, waarin het lichamelijke apparaat in *trophotrop* verkeert, dat wil zeggen op rust en ontspanning is ingesteld. Iedere prestatie gedurende deze uren vergt extra inspanning. De maatgebonden, onder tijdsdruk staande productie van de orkestmusicus wordt nog geaccentueerd door het feit, dat iedere individuele prestatie ondergeschikt dient te worden gemaakt aan het geheel en dat het gezamenlijke resultaat zich in het openbaar afspeelt. Zo staat de verrichting van de musicus onder voortdurende controle zowel van dirigent als publiek, zijn vrees om fouten te maken groeit, zoals de analyse aangeeft, niet zelden tot een hoogste graad van geestelijke opgewondenheid en angst. Volgt op zware lichamelijke arbeid meestal een verkwikkende slaap, geestelijke inspanning van lange duur voert vaak tot een kwellende slapeloosheid, een symptoom, dat van vele beroepen met ongeveer dezelfde belasting bekend is.

In verdere experimenten werden de vasomotorische reacties van de huidvaten onderzocht op bepaalde substanties, die het zogenaamde sympathische of parasympathische deel van het vegetatieve zenuwstelsel prikkelen. Hierbij kwamen duidelijk evenwichtsstorings in het functionele samenspel der beide componenten van het vegetatieve zenuwstelsel aan het licht. Na een speeltijd van circa tien maanden vertoonde 70% van de onderzochte musici deze storing in het vegetatieve evenwicht, waartegen 27% voor aanvang van het seizoen, dus direct na de vakantie.'

Tot zover dr. Hugo Schmale, van het Max Planckinstituut voor arbeidsfysiologie te Dordtmund.

## **Aanhangsel 5:**

### **Literatuurlijst**

Afdeling 9 SMO; boekenlijst van de geraadpleegde literatuur:

Natuurkunde op corpusculaire grondslag

Dr. J. Schweers en drs. P. van Vianen

L.C.G. Malmberg, 's-Hertogenbosch

ISBN 90 208 4012 6

Natuurkunde voor de H.T.S

Ir B. van Buuren, dr J. Ellerbroek en drs J.H. Smitt

Stam Technische Boeken

ISBN 30 11 39086 5

Natuurkundige voordrachten

Koninklijke Maatschappij voor Natuurkunde Diligentia

Prof. dr A. de Froe, 'De functie van het zenuwstelsel'

Prof. dr J.Lyklema, 'Wetenschappelijk spel met zeepvliezen'

Prof. dr ir R. Plomp, 'Het verstaan van spraak bij bejaarden'

Uitgave Vis-druk, Alphen aan de Rijn

Leerboek KNO-ziekten

Prof. dr H.Burger

De erven F.Bohn NV Haarlem

Keel-, neus-, en oorheilkunde

Prof. dr P.G. Gerlings en dr Em. Hammelburg

De erven F.Bohn NV Haarlem

ISBN 90 6051 037 7

Keel-, neus-, en oorheilkunde

Dr G. de Wit

Erven J.Bijleveld, Utrecht

Gehoor- en evenwichtsstoornissen

Dr K. Gill en dr T. Bottema

Wetenschappelijke uitgeverij Bunge

Utrecht

Slecht horen

Prof. dr L.B.W. Jongkees

Wetenschappelijke uitgeverij; Em. Querido Uitgeverij NV

Amsterdam

Het staan van de mens

Fysische en Fysiologische aspecten van de Stabilometrie

Academisch proefschrift

Theo Sjoerd Kapteyn

Academisch Ziekenhuis der Vrije Universiteit

De functie van het zenuwstelsel  
Dr. J.P. Schadé  
Uitgeverij het Spectrum B.V.  
Utrecht/Antwerpen

Hersenen en bewustzijn  
Paul Chauchard  
Puctura-boeken Utrecht/ Antwerpen

Prof. dr. S.T. Bok  
Cybernetica  
AULA-boeken, Utrecht/Antwerpen

ALGEMENE MUZIEKLEER  
Theo Willemze  
Uitgeverij Het Spectrum, Utrecht/Antwerpen  
12 0644.D7 D 1979/0265/162; ISBN 90 274 5404 3

Leerboek der campanologie  
André Lehr  
Nat. Beiaardmuseum  
Asten

Geluid en Gehoor  
S.S. Stevens en Fred Warshofsky  
NV Parool - (Life) Amsterdam

Lawaai: Probleem voor onze gezondheid  
Prospectus van het  
Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne,  
Leidschendam

The effects of Noice on Man  
Karl D. Kryter  
Stanford Research Institute Menlo Park California  
Academic Press, inc. New York/London

Elementary Hearing Science  
Lawrence J. Deutsch en Alan M. Richards  
University Park Press Baltimore

Physical Principles of Audiology  
P.M. Haughton  
Adam Hilger Ltd, Bristol  
ISBN 0 13 050799 7



Audiology  
Hayes A. Newby  
Prentice-Hall, Inc. New Jersey  
ISBN 0 13 0850799 7

Human Anatomy and Physiology  
Roy Hartenstein  
D. van Nostrand Company  
ISBN 0 442 23183 0

Diagnostic E.N.T.  
G.S.L. Smith  
Oxford University Press  
ISBN 0 19 23183 X

The inner ear and hyperbaric conditions  
Peter Carel Levendag  
Academisch Proefschrift  
Krips repro Meppel

Fundamental principles of circulation Physiology  
for Physicians  
Hiroshi Kuida, M.D.  
Elsevier-New York  
ISBN 0 444 00306 8

Leerboek der Neurofysiologie  
Prof. dr P.E. Voorhoeve  
Elsevier Amsterdam/Brussel  
ISBN 90 10 02062 2

Fysica voor de fysiotherapeut  
Wetenschappelijke uitgeverij Bunge  
Utrecht  
ISBN 9063480423

Inleiding tot de Ultrageluid therapie  
J.A. Brassier, L. A. Oranen, W. Summer en M.K. Patrick  
Ultrason MAURIK

## Curriculum vitae

Rolf Knap, geboren in Amsterdam, 17 oktober 1937  
Nederlandse nationaliteit  
Adres: p/a SMO, Rosa Spier Huis, kamer 78  
Esseboom 2  
1251 CP Laren

Componist/musicus, genoot zijn vakopleiding in Haarlem bij de Maatschappij tot Bevordering der Toonkunst en in Amsterdam aan het Amsterdams Conservatorium. Studeerde onder anderen bij Haakon Stotijn en Cees van der Kraan (hobo), Jo Vincent (ensembleklas), Charles van der Heijden en Lo Vincent (piano) en bij Karel Mengelberg (compositie, muziektheorie en directie). Later studeerde hij enige tijd sonologie aan de Rijksuniversiteit Utrecht onder anderen bij Stan Tempelaars.

Woonde eerst in Amsterdam in Betondorp en later in de Jordaan en Oud west. Sinds 1975 woont hij in Westfriesland. Vanaf 1960 werkte hij als freelance hoboïst (hobo, oboe d'amore en oboe da caccia) en ook als dirigent in de amateur- en muziekstudentensector. Daarnaast werkte hij in het muziekonderwijs; eerst als pianoleraar en blokfluitdocent en later als hoofd- en bijvakdocent hobo.

Was medeoprichter van een muziekschool (Stichting Stedelijke Muziekschool Wageningen e.o.), een kamerorkest (Haarlems Kamerorkest), een elektro-instrumentale multidisciplinaire improvisatiegroep (STEIM-Projectgroep-8), een muziekvereniging (Skrjabin Genootschap) en een stichting om in onbruik geraakte dorpskerkjes muzikaal te herbestemmen tot componistenateliers (Stichting Muziekcentrum Oosterleek, 1975).

In 1972 won hij - samen met Willem Frederik Bon - een gedeelde eerste prijs voor compositie, van de toenmalige Jeugd en Muziek Componistenstudio. Werkte in opdracht aan het toonzetten van gedichten van Nico Verhoeven De Bezige Bij, zie ook: <http://www.farsk.nl/temas/reve/06eerbiediggewag.htm> . Maakte samen met de componist Simeon ten Holt studiereizen naar Frankrijk (Symposium GMEB-studio) en Engeland (Audio Engineering Society-covention).

*Publiceerde naast composities (bij DoNeMus en SMO-Kunstuitgeverij) in 1988 vanuit het SMO-Platform voor Muziek- en Muziekonderwijsbeleid, een vlugschrift onder de titel 'Notities over Zaalakoestiek', waarin oplossingen worden aangedragen voor geluidsproblemen in concertaccommodaties, veroorzaakt door het wijdverbreide betonbouwen.*

Was in 1985, het Europese Jaar van de Muziek, een van de eerste initiatiefnemers tot de oprichting van het Skrjabin Genootschap. Dankzij zijn niet aflatende enthousiasme werd in 1992 een Skrjabin Festival georganiseerd, met een week lang concertuitvoeringen en meester-cursussen door internationaal vermaarde Skrjabin-specialisten, te Utrecht in de Fentener van Vlissingen-zaal en een succesvol slotconcert in Het Concertgebouw te Amsterdam.

Sinds 2000 werkt hij in het SMO-bestuur aan de internationalisering van het Skrjabin Genootschap <http://www.componisten.net/SkrjabinGenootschap> en aan de voorbereiding van een meertalige productie en uitgave van het *Skrjabin Bulletin*. Verder is hij door het ontbreken van zijn werkmateriaal niet meer actief als componist maar nog wel als creatief producent van een filmoperaproject over Ferdinand Domela Nieuwenhuis ('Us Ferlosser', SMO-project) en het Nederlandse interbellum. Zie ook: <http://www.fdnmuseum.nl>

Jammer genoeg is de voortgang van zijn projecten, zowel het componistenatelierproject, het toonzetten van de gedichten van Nico Verhoeven en het componeren van andere composities als ook het filmoperaproject over Ferdinand Domela Nieuwenhuis, door allerlei politiek/juridisch geharrewar in 1982 stil komen te liggen, om niet te zeggen mislukt, *als gevolg van de diefstal van al zijn werkmateriaal door de v.m. Gemeente Venhuizen, zijn gemeente van inwoning*. Zijn werkmateriaal bestond uit muziekinstrumenten w.o. zijn vleugelpiano, hobo's en viool, maar ook zijn bladmuziek, partituren, muziekvak-literatuur, beroepskleding, tapes, grammofoonplaten etc. etc.. Te veel om op te noemen.