

198307206901



UOVS - BIBLIOTEK



\*198307206901220000019\*

HIERDIE EKSEMPLAAR MAG ONDER  
GEEN OMSTANDIGHED E UIT DIE  
BIBLIOTEK VERWYDER WORD NIE

U.O.V.S. - BIBLIOTEK

\*198307206901220000019\*



1 9 8 3 0 7 2 0 6 9 0 1 2 2 0 0 0 0 0 1 9 \*

TOONHOOGTEWAARNEMING AS GEHOORFENOMEEN;  
'N MUSIEKGERIGTE STUDIE

deur

SARAH MARGARETHA MOUTON

Voorgelê om te voldoen aan die vereistes  
vir die graad

MAGISTER MUSICAE

in die Fakulteit Lettere en Wysbegeerte,  
Departement Musiek aan die  
Universiteit van die Oranje-Vrystaat

STUDIELEIER: Prof. C.L. Venter

Januarie 1983

1983

T 781.232 MOU

NUMBER

---

## DANKBETUIGINGS

Hiermee wil ek my dank en waardering uitspreek teenoor:

- ⊙ Prof. C.L. Venter vir sy bekwame leiding en ondersteuning.
- ⊙ Die Raad vir Geesteswetenskaplike Navorsing\* vir die voorsiening van 'n studiebeurs.
- ⊙ Die Sentrale Navorsingsfonds aan die Universiteit van die Oranje-Vrystaat vir die ruim bewilliging van fondse vir die vestiging van 'n Psigo-akoestiese Musieknavorsingslaboratorium.
- ⊙ Dr. H.S. Wolvaardt vir die taalkundige versorging van die verhandeling.
- ⊙ Mev. E.A. Heymans vir die tikwerk.
- ⊙ Mev. A.E. Coetzer vir die versorging van sketse en grafieke.
- ⊙ Mevv. C.A. van der Merwe en S.A. Hugo vir hulp met statistiese berekenings.
- ⊙ Mnr. D.v. A. Roux vir fotografiese werk.
- ⊙ My ouers en broer vir liefdevolle onderskraging tydens die studie.

---

\* Menings in hierdie werk uitgespreek of gevolgtrekkings waartoe geraak is, is dié van die skryfster en moet in geen geval beskou word as 'n weergawe van die menings of gevolgtrekkings van die RGN nie.

## INHOUDSOPGAWE

	Bladsy
1. INLEIDING	1-6
2. HISTORIESE OORSIG VAN NAVORSING WAT TOT DIE PSIGO-AKOESTIEK LEI	
2.1 Bydrae in die Griekse Antieke tydperk, 1600 v.C. tot 200 n.C.	7-9
2.2 Bydrae in die Middeleeue, 500 tot 1500 n.C.	9
2.3.1 Elementêre klankanalise in die sestiende en sewentiende eeue	9-10
2.3.2 Uitgebreide anatomiese navorsing in die sestiende en sewentiende eeue	10-11
2.4.1 Gevorderde navorsing oor klank en klank= waarneming in die agttiende eeu	11-14
2.4.2 Navorsing in die agttiende eeu oor die fisiologie van die oor	14
2.5.1 Eksperimentele psigologie in die negentiende eeu	14-16
2.5.2 Fisiologiese navorsing in die negentiende eeu	17
2.5.3 H. von Helmholtz, die grondlegger van die psigo-akoestiek	17-19
2.6 Die ontwikkeling van die psigo-akoestiek in die twintigste eeu	19-20
2.6.1 Akoestiese navorsing	20
2.6.2 Fisiologiese navorsing	20-21
2.6.3 Psigologiese navorsing	21-22
2.6.4 Musieknavorsing	22-23
3. DIE AKOESTIESE GRONDBEGINSELS VAN MUSIKALE KLANK	
3.1 Beskrywing van 'n klankgolf	25-26
3.2 Die fisiese eienskappe van 'n sinustoon	26-31
3.3 Die fisiese eienskappe van twee sameklinkende sinustone	31
3.3.1 Twee sinustone met dieselfde frekwensie	32-34
3.3.2 Twee sinustone met geringe frekwensieverskille	35-36

3.3.3	Die superponering van twee sinustone wat aan die botoonreeks behoort	36-39
3.4	Natuurlike, musikale klank	39
3.4.1	Die natuurlike botoonreeks	39-40
3.4.2	Die timbre van musiekinstrumente	41-43
3.4.3	Die gelykswewende stemming	44-48
4. DIE ALGEMENE ANATOMIE EN FISIOLOGIE VAN DIE MENSLIKE GEHOOR		
4.1	Anatomie van die oor	49
4.1.1	Die buite-oor	49
4.1.2	Die middeloor	49-50
4.1.3	Die binne-oor	51-53
4.1.4	Die ouditiewe weg in die brein	53-55
4.2	Fisiologie van die oor	55-56
4.2.1	Luggeleiding van klankgolwe in die buite-oor	56
4.2.2	Meganiese geleiding van klankgolwe in die middeloor	56-58
4.2.3	Klankgeleiding in die vloeistofmedium van die binne-oor	58-61
4.2.4	Klankgeleiding in die senuwees	61-65
5. KLANKANALISE, KLANKSINTESE EN KLANKINTERPRETASIE IN DIE GEHOORSISTEEM		
5.1	Klankanalise in die binne-oor	67
5.1.1	Analise van 'n sinustoon	67
5.1.1.1	Analise van 'n sinustoon, insluitende subjektiewe botone	67-70
5.1.1.2	Analise van 'n sinustoon met wisselende frekwensie	70-73
5.1.2	Analise van twee sameklinkende sinustone	73
5.1.2.1	Frekwensiediskriminasie en objektiewe swewinge	73-76
5.1.2.2	Kritiese bandwydte	76-79

	Bladsy
5.1.2.3 Maskering	79-81
5.1.2.4 Kombinasietone	81-85
5.1.3 Analise van 'n komplekse toon	85-87
5.2 Klanksintese in die ouditiewe senuweestelsel	88
5.2.1 Sintese van klankinset deur beide ore	88-89
5.2.2 Sintese en die periodisiteit van klank	89
5.2.2.1 Die opsporing van die fundamentele toon van 'n komplekse klank	89-91
5.2.2.2 Subjektiewe swewinge	91-93
5.3 Klankinterpretasie	93
5.3.1 Informasiebenutting deur senuwee-impulse	93-94
5.3.2 Spesialisasie deur die breinhemisfere	94-95
5.3.3 Die geheue	96-97
6. TOONHOOGTEWAARNEMING TEORETIES VERBESONDER TEEN DIE MUSIEK AS AGTERGROND	
6.1.1 Toonhoogtewaarneming van enkeltone	100
6.1.2 E. Terhardt se gehoorteorie	101-104
6.2 Toonhoogtewaarneming van intervalle	105
6.2.1 Intrinsieke intervalkarakteristiek	105-106
6.2.2 Konsonansie en dissonansie	106-113
6.2.3 Die verdraagsaamheidspan van die gehoor	113-116
6.3 Die musikale gehoor	116-119
7. NAVORSING OOR ASPEKTE VAN INTERVALDISKRIMINASIE	
7.1 Die doel van die eksperiment	121
7.2 Eksperimentele metode	122-125
7.3 Resultate	125
7.3.1 Die bepaling van die verdraagsaamheidspan	125-130
7.3.2 Die vergroting of verkleining van intervalle	130-133
7.3.3 Konstantheid van intervalskatting	133-137
7.3.4 Gradering van studente volgens prestasie	137-138
7.4 Samevatting	138-140

BRONNELYS

## 1. INLEIDING

Omdat musiek 'n verklankte kuns is, is die musikus vir die suksesvolle waarneming en uitvoering van musiek van 'n goed-ontwikkelde gehoor afhanklik. In die musiekopleiding behoort na die optimale ontwikkeling van die student se gehoor gestreef te word. Wetenskaplik-begronde kennis van die oor se werking, die wese van die gehoor en die waarneming van klank kan die musikonderrig bevoordeel en in die besonder studente met gehoor-, intonasie- en voordragprobleme help.

Vir die doel van hierdie studie word slegs een aspek van die musiekwaarneming, naamlik die toonhoogte, uitgesonder. Dit word teen die agtergrond van psigo-akoestiese navorsingsresultate ontleed en bespreek.

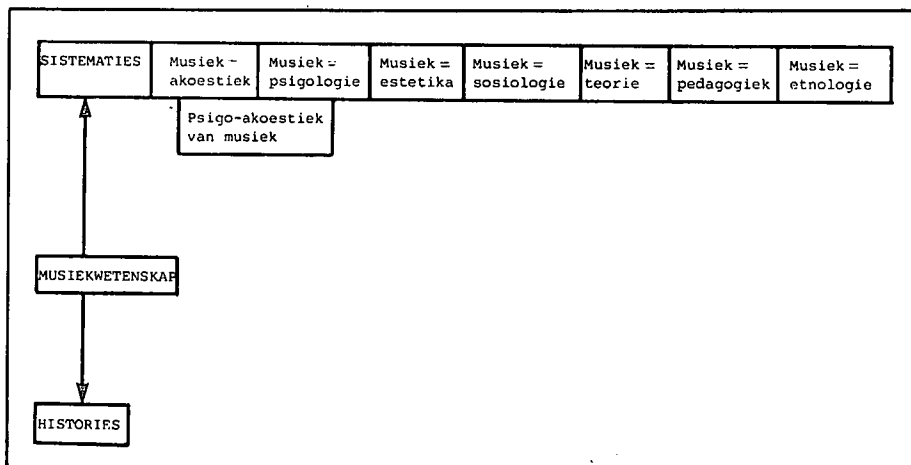
Die *psigo-akoestiek* is 'n algemeen erkende benaming vir 'n nuwe wetenskaplike kennisterrein wat interdisiplinêr op die toe-paslike kennis uit drie wetenskaplike dissiplines berus, naamlik die psigologie, die fisiologie en die fisika.<sup>1</sup> Die naam *psigo-akoestiek* word as die geskikste beskou, omdat dit 'n kombinasie van die bogenoemde dissiplines suggereer. Die woord *akoestiek* is van die Griekse woord, ἀκουστικόν, naamlik "dit wat op die gehoor betrekking het", afgelei en van ἀκούειν, dit is "om te hoor."<sup>2</sup> Die oorspronklike betekenis van die begrip *akoestiek* staan dus direk in verband met die gehoor, maar word ook tradisioneel aan die studie van klankwette in die fisika gekoppel. Twee begrippe word dus deur die term voorgestel, naamlik die samestelling van klank en die werking van die gehoor. Teen dié agtergrond verklaar W. Apel dat die *akoestiek* die volgende terreine in die musiekgebied insluit:

- (1) die aard van musikale klank,
- (2) intervalle,
- (3) konsonansie en dissonansie,
- (4) resonansie en
- (5) die *akoestiek* van geboue.<sup>3</sup>

Hierteenoor dui die *psigo*, afgelei van die Griekse woord *psukhē*, wat "siel" beteken, op die "waarneming van klanke". *Psigo-akoestiek* is dus 'n geskikte, beskrywende benaming vir die vakdissipline wat oor klankwaarneming deur die gehoor handel en internasionaal aanvaar word.

Die studie van musikale klanke teen die agtergrond van die psigo-akoestiek van musiek, sluit die waarneming van natuurlike, musikale klank soos dit deur musiekinstrumente voortgebring word, in. Die studieveld is besonder ingewikkeld vanweë die groot verskeidenheid in toonhoogte, timbre, luidheid en tydsduur van tone binne musikale konteks.

Die verwantskap tussen die psigo-akoestiek van musiek en ander musiekwetenskaplike vakdissiplines word in voorbeeld 1.1 diagrammaties voorgestel.



Voorbeeld 1.1

Soos aangedui, verdeel die musiekwetenskap in twee hoofterreine, naamlik die historiese en die sistematiese dissiplines. Laasgenoemde sluit die volgende in: musiekakoestiek, musiekpsigologie, musiekeestetika, musieksosiologie, musiekteorie, musiekpedagogiek en musieketnologie. Hierdie dissiplines is interafhanklik van mekaar en ten dele oorvleuelend. Aspekte van die musiekpsigologie en musiekakoestiek word in die psigo-akoestiek van musiek geïntegreer. Dit sluit voorts in: al die wette wat klankvoortbrenging bepaal, musiekaanleg, musiekwaarneming, die fisiologie van die oor, die ouditiewe sensuums en die brein, asook die ontleding en interpretasie van musikale klank. Dit behels ook alle gehoorfenomene waarby die musiekervaring en aanleg van die toehoorder verdere bepalende faktore is.

In hierdie studie sal gepoog word om die gehoorfenomene rondom die waarneming van toonhoogte suiwer psigo-akoesties te ondersoek. Psigologiese navorsing en beskouings oor die invloed van kultuur, oorerflikheid, intelligensie, die leerproses, inskerping en ervaring met betrekking tot toonhoogtewaarneming, word nie aangesny nie.

Na 'n bondige oorsig oor die historiese ontwikkeling van die psigo-akoestiek, word die eienskappe van klankgolwe en musikale stemming bespreek. Klankgeleiding deur die oor en die ouditiewe sensuums vind op so 'n wyse plaas dat die menslike gehoor die eienskappe van klankgolwe effektief waarneem en selfs tussen 'n aantal sameklinkende tone kan onderskei. Die hoogs gespesialiseerde en sensitiewe werking van die oor word verduidelik. Die oor voer ingewikkelde analitiese en sintetiserende prosesse uit om sinvolle klankinterpretasie in die brein te verseker. Die kleinste waarneembare frekwensiewisselings van afsonderlike sinustone, genoem *verskillimans*, word die beste verduidelik deur enkelvoudige *sinustone* met slegs een frekwensie, terwyl die *grense vir frekwensiediskriminasie* as die kleinste frekwensieverskil waarteen twee sameklinkende sinustone onderskei kan word, beskryf word. Hierdie begrippe word bespreek en gekwantifiseer. 'n Uiteers belangrike nuwe begrip, naamlik die *kritiese*

*bandwydte* wat die grens bepaal waar die gehoorsensasie oorgaan van "grofheid" na "gladheid" word wiskundig volgens frekwensies bereken. Hierdie teorie werp nuwe lig op die konsonansie en dissonansie van intervalle.

Vanweë analitiese prosesse wat in die binne-oor plaasvind, kan onder sekere omstandighede sekere tone ander *maskeer*, dit wil sê die waarneming van sommige uitskakel deur die inwerking van 'n hoër frekwensie en/of intensiteit. In ander gevalle word *subjektiewe tone*, ook *kombinasietone* genoem, weer in die binne-oor opgewek wanneer twee of meer tone die oor gelyktydig stimuleer. Die waargenome subjektiewe tone is neweprodukte van die analitiese werking van die gehoor.

In die ouditiewe senuwees wat vanaf die binne-oor na die brein lei, vind klanksintese plaas. Die inligting ontvang van die regter- en linkerore word volgens fase gekorreleer, terwyl die *periodisiteit*, as herhalende golfpatroon van klank, deur die brein benut word om toonhoogte te bepaal.

Musikale klanke is egter vry algemeen *komplekse klanke* wat op die verhouding van samestellende sinustone, bekend as botone berus. 'n Belangrike teorie van E. Terhardt stel dit dat die oor twee tipes toonhoogte kan waarneem, naamlik

- (1) *spektrumtoonhoogte*, dit is die toonhoogte van elke botoon afsonderlik, asook
- (2) *virtuele toonhoogte*, naamlik die toon as geheel wanneer die spektrumtoonhoogtes saamsmelt. Klein afwykings in die spektrumtoonhoogte, wat *toonhoogteverskuiwings* genoem word, beïnvloed die virtuele toonhoogte. Sy teorie bewys dat timbre 'n invloed op toonhoogte uitoefen.<sup>4</sup>

In musiek is die verhouding tussen tone egter van primêre belang en daarom word toonhoogtewaarneming aan intervalle gekoppel. Hoewel 'n bepaalde interval se frekwensieverhouding selde in die musiekpraktyk absoluut konstant is, kan 'n musikus

dit steeds binne perke byvoorbeeld as 'n majeur derde of 'n rein vyfde identifiseer. Intervalle behou dus 'n *intrinsieke intervalkarakteristiek* waaraan dit uitgeken kan word, ten spyte van geringe afwykings in die verhouding tussen die tone daarvan. Die gehoor toon dus 'n *verdraagsaamheidspan* waarbinne 'n interval sy karakter behou, ten spyte van afwykings. Deur selfstandige navorsing vir die doel van hierdie studie is die grootte van die verdraagsaamheidspan eksperimenteel bepaal. Ook is die vergroting en verkleining van intervale en die konstantheid van intervalskatting eksperimenteel bepaal.

Toonhoogtewaarneming, waarby *toonhoogtediskriminasie*, intonasie en ander verskynsels inbegrepe is, is stellig van die belangrikste aspekte in die lewende musiekpraktyk en 'n onontbeerlike musikale vaardigheid. Trouens, 'n swak toonhoogtesin of onvermoë om tussen toonhoogtes te onderskei, nootonvastheid, 'n onvermoë om intervale te identifiseer of te sing, 'n swak ontwikkelde tonaliteitsin of gebrekkige vaardighede in dié verband, hou stellig 'n onoorkomelike struikelblok vir die ontwikkeling van 'n musiekstudent in.

Teen hierdie agtergrond is die verdraagsaamheidspan buitengewoon aktueel, maar is dié aspek in die navorsingsliteratuur verwaarloos. In hierdie studie sal gepoog word om die wese van toonhoogtewaarneming en in die besonder die verdraagsaamheidspan te beskryf, die belangrikheid daarvan te beklemtoon en te toets aan die hand van selfstandige navorsing.

Ten besluite word in hierdie studie gepoog om:

- (1) 'n histories-verantwoorde, maar omvattende gehoorteorie daar te stel met verbesondering van toonhoogtewaarneming as fenomeen, gebaseer op die jongste en verteenwoordigendste navorsing,
- (2) die begrip verdraagsaamheidspan te verbesonder as 'n aktuele, maar verwaarloosde aspek van die musikale gehoorwaarneming en

- (3) in dié verband 'n eksperimentele metode gebaseer op selfstandige navorsing, voor te stel.

#### BIBLIOGRAFIE

1. Winckel, F. *Psychoakustik* ... p. 1717
2. Haydon, G. *Introduction to musicology*, p. 21
3. Apel, W. *Harvard dictionary of music*, p. 8
4. Terhardt, E. *Psychoacoustic evaluation* ... p. 488

## 2. HISTORIESE OORSIG VAN NAVORSING WAT TOT DIE PSIGO- AKOESTIEK LEI

Hoewel die psigo-akoestiek as vakdisipline eers in die negentiende eeu in die bydrae van H.L.F. von Helmholtz beslag gekry het, het onafhanklike navorsing uit verskillende rigtings tot die ontwikkeling daarvan gelei. Die ontdekking van die wette van klank, nuwe bevindings oor die bou, en die werking van die oor, die senuweesisteem, asook die vasstelling van norme vir klankwaarneming, sou uiteindelik die basis vir die psigo-akoestiek as 'n nuwe twintigste-eeuse dissipline vorm.

Die belangrikste historiese bydrae tot navorsing oor klank en die gehoor word vervolgens bespreek met verwysing na klankwaarnemings soos nodig.

### 2.1 Bydrae in die Griekse Antieke tydperk, 1600 v.C. tot 200 n.C.

Bekende Griekse denkers het in hierdie tydperk veral groot belangstelling in die rekenkundige basis van klanke getoon. Die Grieke het op 'n naiewe wyse geglo aan dit wat matematies bewysbaar is en was dus sterk realisties georiënteer. Derhalwe staan die periode ook bekend as die tydperk van die Naiewe Realisme. Hulle het egter verkeerdelik geglo dat daar geen verskil tussen die geproduseerde en die waargenome klank is nie.<sup>1</sup>

Soos bekend, is die Griekse musiek as kuns veel ouer as die teorie van akoestiek, wat hoofsaaklik deur die bydrae van Pythagoras (c. 570-500 v.C.) begrond is.<sup>2</sup> Hy het dié belangrike bevinding gemaak: 'n snaar wat volgens 'n bepaalde wiskundige verhouding verdeel, sal altyd 'n bepaalde musikale interval tot gevolg hê. Die verhouding van twee tot een (2 : 1) lewer byvoorbeeld 'n oktaaf, 3 : 2 'n rein vyfde en 4 : 3 'n rein vierde. Hy het geglo dat die graad van konsonansie van 'n interval afhanklik is van die verhouding tussen die twee tone. Hoe een-

voudiger die verhouding, hoe meer konsonant is die interval. Hoewel hy 'n wiskundige was, het Pythagoras hom ook op die terrein van die musiek begewe en tot die Griekse etosleer bygedra. Die Pythagorese skool van wetenskaplikes het geglo dat eenvoudige getalsverhoudings die basis is vir estetiese skoonheid. Die kwaliteit van die rein oktaaf, vyfde en vierde is verkies.<sup>3</sup>

Twee eeue na Pythagoras se bevindings ondersoek Aristoteles (384-322 v.C.) vibrasiepatrone wat deur klank in die lug veroorsaak word. Hy bestudeer dus klankgolwe, maar was nog nie in staat om die kenmerke van die golwe korrek te tipeer nie.

Ook die bydrae deur die mediese wetenskap weerspieël in dié tyd die eienskappe van die Nuwe Realisme. Baie fisiologiese bevindings deur die Grieke oor die werking van die oor is later as waar bewys, hoewel hulle verklarings oor waarneming en die bewussyn oorvereenvoudig en misleidend is. In die tydperk 600 tot 500 v.C. byvoorbeeld, verklaar Ioniese wetenskaplikes sintuiglike waarneming op 'n materialistiese wyse as partikels wat deur die waargenome voorwerp afgegee en deur die sintuie ontvang word.<sup>4</sup> Hulle het nie duidelikheid gehad oor die skeidslyn tussen die konkrete en die abstrakte nie en het probeer om 'n psigologiese proses tot 'n tastbare realiteit te reduceer. Dié wetenskaplikes se onkunde oor die funksies van die oor spreek hieruit.

Hoewel sommige gereken het dat die setel van die bewussyn die hart is, het Alcmaeon van Crotona bepaal dat waarneming, en dus ook die bewussyn, in die brein gesetel is.<sup>5</sup> Dit was 'n uiters belangrike bevinding wat deur middel van disseksie en 'n ondersoek na die optiese senuwees gedoen is. Waarneming is dus nie meer op 'n onlogiese, materialistiese wyse verklaar nie, maar as 'n breinfunksie gespesifiseer.

Herophilus en Erasistratus wat teen ongeveer 300 v.C. in Alexandrië anatomiese disseksies uitgevoer het, het weer die

wyse bepaal waarop die groter senuweebundels, die brein en die rugmurg ineengeskakel is en kon hulle reeds tussen sensoriese en motoriese senuwees onderskei. Onafhanklik hiervan het C. Galen (131-201 n.C.) weer vir die eerste keer die kop-senuwees beskryf.<sup>6</sup>

Die grondlegging van die akoestiek en die fisiologie as kennis-terreine het dus in die Griekse Antieke tydperk plaasgevind en het geleerdes reeds uitlatings oor psigologiese waarneming gemaak.

## 2.2 Bydrae in die Middeleeue, 500 tot 1500 n.C.

Gedurende die Middeleeue is feitlik geen vordering in akoestiese navorsing gemaak nie. Teoretici toon 'n gebrek aan oorspronklikheid en baseer hulle beskouings meesal op vroeëre bevindings.<sup>7</sup> Daarteenoor is die enkele nuwe gedagterigtings wat aangebied is, dikwels onduidelik uiteengesit.

Die mediese wetenskap het egter veral in die vyftiende eeu gevorder. Begaafde Florentynse skilders, soos Michelangelo, Raphael en Leonardo da Vinci, doen disseksies op kadawers om kennis oor die bou van die liggaam en veral spierwerking te bekom. Hulle navorsing strek die medici tot voordeel en berei die weg voor vir indringende anatomiese navorsing in die ses-tiende en sewentiende eeue.<sup>8</sup>

In die vyftiende eeu word navorsing oor die bou van die oor gedoen. A. Achillini van Bologna ontdek twee van die gehoor-beentjies in die middeloor, naamlik die malleus en incus, terwyl Ingrassias later die derde beentjie, die stapes, vind.<sup>9</sup>

### 2.3.1 Elementêre klankanalise in die sestiende en sewentiende eeu

In die Griekse Antieke tydperk het Aristoteles wel klankgolwe bestudeer, maar hy was nie in staat om die eienskappe daarvan

in duidelike terme te beskryf nie. Galileo Galilei (1564 - 1642) lei 'n nuwe era van klankanalise in toe hy bevind dat toonhoogte afhanklik is van die aantal vibrasies per eenheid tyd, genoem die frekwensie van 'n klankgolf.<sup>10</sup> 'n Bepaalde toonhoogte kon toe aan 'n frekwensie gekoppel word in plaas van slegs 'n verhouding, soos dit by Pythagoras die geval was.

'n Baie belangrike ontdekking word in 1636 deur M. Mersenne in verband met die samestelling van klank gemaak. Hy bepaal dat 'n musikale toon nie slegs uit 'n enkele frekwensie bestaan nie, maar uit 'n aantal verskillende frekwensies wat daarop gesuperponeer is. Mersenne het deur middel van sy gehoor waargeneem dat 'n vry-vibreerende snaar, afgesien van die basiese toon, ook ander tone produseer. Op dié wyse onderskei hy minstens vyf tone wat in die verhouding 1 : 2 : 3 : 4 : 5 tot mekaar staan. Dié tone bestaan uit die basiese toon, wat later deur J. Sauveur die *fundamentele toon* genoem is, en die opeenvolging van botone, wat toe *harmoniese tone* genoem is.<sup>11</sup>

J. Wallis ontdek in 1677 dat 'n snaar in dele vibreer en vind sodoende 'n verklaring vir die aanwesigheid van botone in 'n komplekse, musikale toon. Die posisie van elke nodus of knooppunt op die snaar, stem naamlik met die frekwensie van een van die botone ooreen.<sup>12</sup>

Die akoestiese navorsing van die sewentiende eeu het getoon dat die samestelling van klank ingewikkeld is. Latere navorsers kon op hierdie kennis voortbou ten einde klank in al sy kompleksiteit te ondersoek.

### 2.3.2 Uitgebreide anatomiese navorsing in die sestiende en sewentiende eue

Chirurgiese anatomie ontwikkel in hierdie tydperk met rasse skrede. Anatomiese atlasse waarin gedetailleerde voorstellings van verskillende liggaamsdele verskyn, word opgestel. Navorsing van belang vir die psigo-akoestiek is onder andere dié

van A. Scarpa an J. Duverney oor die bou van die oor en dié van S.T. van Soemmering oor die tipes kopsenuwees.<sup>13</sup> Die ontdekking van die mikroskoop in die sewentiende eeu open 'n nuwe wêreld vir navorsers deurdat baie klein deeltjies van die lig gaam vir die eerste keer sigbaar word.

#### 2.4.1 Gevorderde navorsing oor klank en klankwaarneming in die agttiende eeu

In die agttiende eeu word die benaming *acoustique* deur J. Sauveur (1653 - 1716) aan die wetenskap van klank gegee. Nuwe klankeienskappe wat lig werp op die kompleksiteit van klank, soos kombinasietone en *swewinge*, wat as klankeffek wisselende luidheidsverskille is, ook bekend as modulerende luidheid, wanneer twee note met 'n geringe frekwensieverskil saamklink, word beskryf.

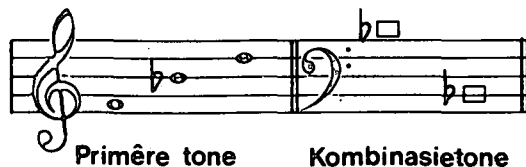
In teenstelling met die wiskundige en akoestiese benadering wat meesal in die vorige eeue gegeld het, ontwikkel navorsing gedurende die agttiende eeu in die rigting van klankwaarneming.<sup>14</sup>

Een van die toonaangewendste navorsers van die eeu, L. Euler, kom tot die besef dat die geproduseerde en waargenome klank nie noodwendig in alle opsigte ooreenstem nie. Hy bewys in 1759 dat die intensiteit van 'n klankgolf afneem met toenemende afstand vanaf die klankbron. Die luidheid van waargenome klank is dus omgekeerd eweredig aan die afstand vanaf die klankbron.

Euler maak ook 'n studie van frekwensieverhoudings tussen musikale tone en die waarneming daarvan en kom tot die slotsom dat die menslike gehoor geneig is om ingewikkelde frekwensieverhoudings te vereenvoudig. Die interval  $1 : \frac{31}{12}$  (d.i.  $2 : \frac{31}{12}$ ) sal byvoorbeeld in die gelykswewende stemming as  $2 : 3$  waargeneem word.<sup>15</sup> Hierdie verskynsel staan teenswoordig as die verdraagsaamheidspan van die gehoor bekend en is 'n uiters belangrike aspek van toonhoogtewaarneming wat in hierdie studie ondersoek sal word.

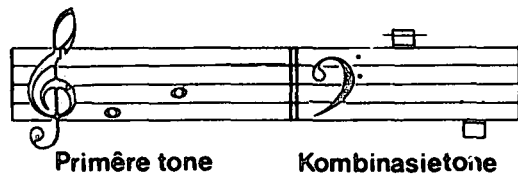
Vroeg in die agttiende eeu het J. Sauveur die verskynsel van swewinge ondersoek en gevind dat die frekwensie van die swewinge tussen twee tone gelyk is aan die frekwensieverskil, voorgestel as  $f_1 - f_2 = \Delta f$ . Deur die aantal swewinge per sekonde tussen tone te bepaal, het hy die merkwaardige prestasie behaal om die frekwensies van tone binne 'n paar persent korrek te bereken.<sup>16</sup> Sauveur is ook die ontdekker van *simpatiese vibrasie*, dit is die vibrasie van 'n klankbron wat in ooreenstemming met die frekwensie van 'n ander vibrerende klankbron optree.<sup>17</sup> Von Helmholtz, in die besonder, benut in die negentiende eeu die teorie van simpatiese vibrasie, wanneer hy vir die eerste keer in die geskiedenis 'n omvattende gehoorteorie daarstel.

Die bestaan van kombinasietone word in 1714 deur die vermaarde Italiaanse violis, Tartini, waargeneem. Hy was in staat om 'n derde toon in die teenwoordigheid van twee sameklinkende tone, genoem *primêre tone*, te onderskei. Intussen ontstaan egter meningsverskille oor die frekwensies van kombinasietone. Tartini het meesal 'n kombinasietoon, wat 'n oktaaf hoër as die verskil in frekwensie van die twee primêre tone is, waargeneem. Daarteenoor het G.A. Sorge twee kombinasietone vir drie primêre tone wat 'n majeur-drieklank in tweede omkering vorm, dit wil sê tone wat in die verhouding 3 : 4 : 5 staan, waargeneem. Dié tone was die vyfde en die twaalfde onder die laagste toon van die primêre tone. In voorbeeld 2.1, word die kombinasietone, soos deur Sorge bepaal, vir 'n B-mol majeur-drieklank gegee.



Voorbeeld 2.1

'n Ander navorser, T. Young, kon selfs meer noukeurig twee kombinasietone vir die frekwensieverhouding 4 : 5, dit is 'n interval van 'n majeur derde, waarneem met relatiewe frekwensies van 1 en 3. In voorbeeld 2.2, word die kombinasietone vir 'n arbitrêre keuse van primêre tone gegee.



### Voorbeeld 2.2

Young het egter probeer om die ontstaan van kombinasietone na aanleiding van swewinge tussen die hoër tone van *komplekse tone*, dit is tone wat uit meer as een frekwensie saamgestel is, te verklaar. Sy stelling is later as foutief bewys.<sup>18</sup>

Na die ontdekking van die fundamentele toon en tone in die sewentiende eeu sit D. Bernoulli die navorsing voort en bepaal in die jare 1732 tot 1735 die presiese frekwensies van die tone. Hy skenk baie aandag aan die ontleding van die toonstruktuur van spesifieke musiekinstrumente en bevind dat elke instrument 'n karakteristieke toonstruktuur besit, wat 'n kenmerkende timbre tot gevolg het.<sup>19</sup> In die besonder bepaal hy dat die tone van musiekinstrumente sinustone is, dit wil sê tone van 'n enkele frekwensie met 'n reëlmatige golfpatroon kenmerkend van komplekse, musikale klanke.<sup>20</sup>

Die Franse musikus, J.P. Rameau, het die kennis oor die *toonreeks* van musikale tone, dit is die vaste opvolging van tone

wat altyd dieselfde frekwensieverhouding het, benut om 'n verklaring vir die bou van akkoorde in musiek te gee. Hy het byvoorbeeld daarop gewys dat die tone van 'n majeur-drieklank in die botoonreeks aanwesig is en dat 'n basis vir harmonie dus in die akoestiek te vinde is.<sup>21</sup>

Beide fisici en musici het dus in die agttiende eeu bygedra tot klankanalise en navorsing oor klankwaarneming.

#### 2.4.2 Navorsing in die agttiende eeu oor die fisiologie van die oor

Die kennis van die fisiologie van die oor het reeds in so 'n mate in die agttiende eeu ontwikkel dat dokters in staat was om sensitiewe ooperasies uit te voer. In 'n ondersoek na die bou van die binne-oor, bestudeer T. Pyl die elastiese vloeistof, die perilimf, in die beenholte van die binne-oor, bekend as die labirint. Dit lei daartoe dat hy die funksie van die vloeistof vir klankgeleiding bepaal en beskryf.<sup>22</sup>

Hoewel die kennis met betrekking tot die oor en gehoorwaarneming reeds gevorderd was, het daar tot op hierdie stadium geen duidelike gehoorteorie bestaan nie. Sodanige teorie sou in die negentiende eeu deur die geniale navorsing en bydrae van Von Helmholtz geformuleer word.

#### 2.5.1 Eksperimentele psigologie in die negentiende eeu

Die terrein van die psigologie, wat oor sensasie handel, steun sterk op eksperimentele psigologie. Die studierigting ontwikkel in die negentiende eeu uit die werk van fisici en fisioloë en word gekenmerk deur goedbeheerde navorsing wat meetbare resultate lewer. Sensasie kan dus op 'n objektiewe wyse gemeet word deur 'n norm te bepaal vir berekenings.<sup>23</sup> Verskeie apparate is gevolglik ontwerp vir klankproduksie en meting.

'n Belangrike apparaat, die sirene, wat reeds in die agttiende eeu vir klankproduksie gebruik is, word in 1819 deur C. Cagniard de Latour verbeter. J.H. Scheibler ontwerp die Tonometer wat vir frekwensiemeting gebruik word. Gevolglik word dit moontlik om musiekinstrumente volgens standaardfrekwensies te stem en beywer Scheibler hom vir die erkenning van  $A_4 = 440$  Hz as standaardtoon vir stemming. Dit word in 1834 by 'n kongres vir fisici in Stuttgart aanvaar.<sup>24</sup> Nog 'n belangrike apparaat, die Acoumeter wat deur A. Hartman ontwerp is, word vanaf 1878 tot 1914 algemeen gebruik om 'n persoon se *onderste gehoordrempel*, dit is die laagste klankdruk waarteen tone van verskillende frekwensies waargeneem kan word, oudiometries te bepaal.<sup>25</sup>

Belangrike navorsingsmetodes deur G.T. Fechner (1801-1887) het in hoofsaak die basis vir die hedendaagse eksperimentele psigologie gelê.<sup>26</sup> Hy het in die interdissiplinêre verbinding van die fisiologie en die fisika belang gestel en word soms die vader van die psigo-fisika genoem. Fechner en E.H. Weber (1795 - 1878) het veral navorsing in verband met die kleinste waarneembare intensiteitsverskille, ook genoem die *verskillimens vir intensiteit*, gedoen. Weber verklaar dat die verskillimen 'n konstante persentasie van die intensiteit van die verwysingston is. Hierdie stelling word egter deur Fechner gewysig, wat bewys dat die verhouding tussen die verskillimen en die intensiteit van die verwysingston, nie so eenvoudig nie, maar wel logaritmies is. Indien die intensiteit van die verwysingston verdubbel word, sal die verskillimen nie verdubbel nie, maar slegs logaritmies met 'n klein waarde toeneem.<sup>27</sup>

Deur die gebruik van 'n verwysingston en die vergelyking van 'n sensasie met daardie toon, volg Weber en Fechner 'n navorsingsprosedure wat vir latere psigologiese navorsing van onskatbare waarde is. Op dié wyse het hulle 'n metode gevind om die grootte van 'n sensasie te kwantifiseer.

In die eerste dekade van die negentiende eeu maak J.B.J. Fourier 'n belangrike ontdekking: hy bepaal naamlik 'n formule om die

golfpatroon van 'n komplekse toon te bereken deur dit in sy samestellende botone te analiseer.<sup>28</sup> Hierdie belangrike analitiese proses is na hom vernoem en staan bekend as *Fourier-analise*. Dit is deur navorsers, soos A. Seebeck, G.S. Ohm en Von Helmholtz toegepas en is tot op hede van primêre belang in psigo-akoestiese navorsing.

Seebeck en Ohm se eksperimente met die hulp van Fourier-analise lei egter tot verskillende bevindings oor toonhoogtewaarneming. In 1846 kom Seebeck deur middel van eksperimente met die sirene tot die besef dat die luidheid van elke botoon in 'n komplekse toon nie direk met die amplitude van die botoon ooreenstem nie. Dit word weer eens duidelik dat daar nie 'n konstante verhouding tussen die geproduseerde en die waargenome klank is nie. Ohm, wat ook 'n musikus was, baseer in 1843 sy bekende Wet van die Akoestiek op hierdie inligting. Dit lui dat die oor 'n Fourier-analise van 'n komplekse toon uitvoer en impliseer dat elke botoon waargeneem word. Hy huldig dus die standpunt dat toonhoogte direk afhanklik is van frekwensie. Om 'n toon van 'n bepaalde toonhoogte waar te neem, moet die sinustoon van daardie frekwensie dus aanwesig wees.

Seebeck toon egter groter insig in toonhoogtewaarneming as Ohm. Hy is bewus daarvan dat 'n komplekse toon nie onder normale omstandighede as 'n aantal sinustone waargeneem kan word nie, maar as 'n enkele toonhoogte. Hy maak die belangrike en standhoudende stelling: toonhoogte word deur die periodisiteit van klankgolwe, dit is die herhalende golfpatroon, bepaal. 'n Komplekse toon het dus 'n fundamentele toonhoogte, ongeag die aan- of afwesigheid van die fundamentele toon, wat deur die verhoudings van die botone bepaal word.<sup>29</sup>

Hoewel ander navorsers, soos R. König (1876), H. Dennert (1887), R.L. Schaefer (1901) en O. Abraham (1901), Seebeck se bevindinge steun, kon in daardie stadium nog geen fisiologiese verklaring vir die verskynsel dat die gehoor die periodisiteit van 'n klankgolf benut om toonhoogte te bepaal, gevind word nie.

### 2.5.2 Fisiologiese navorsing in die negentiende eeu

Breinnavorsing het in dié tydperk goed gevorder. J.B. Bouillaud lokaliseer byvoorbeeld dele van die brein wat bepaalde funksies uitvoer. Sy bevinding van 1825 dat die spraakfunksies in die frontale voue van die brein gesetel is, word in 1861 deur P. Broca bevestig. Voorts bepaal G.T. Fritsch en J.E. Hitzig die dele van die brein waar motoriese en sensoriese funksies beheer word.<sup>30</sup>

Die werking van senuwees word in fyner besonderhede ondersoek. A. Corti gee in 1851 'n beskrywing van die senuweenetwerk in die binne-oor, bekend as die Orgaan van Corti. Dit bevat op die basillêre membraan 'n groot aantal stafies, soos hy dit genoem het en is 'n uiters belangrike orgaan vir klankregistrasie en klankanalise.

Intussen maak J. Müller sy leer van spesifieke senuwee-energieë bekend wat lui dat elke senuwee slegs een tipe sensoriese impuls kan gelei.<sup>31</sup> Hierdie bevinding inspireer Von Helmholtz met die samestelling van sy gehoorteorie. Müller se leer was egter misleidend en het veroorsaak dat Von Helmholtz foutiewe afleidings gemaak het.

### 2.5.3 H. von Helmholtz, die grondlegger van die psigo-akoestiek

As fisioloog, fisikus en musikus was Von Helmholtz uitstekend toegerus om 'n eerste omvattende gehoorteorie op te stel en terselfdertyd die grondlegger van die psigo-akoestiek te word.<sup>32</sup> Sy boek van 1863, *Die Lehre von den Tonempfindungen als Grundlage für die Theorie der Musik*, bevat talle beginsels wat vandag nog steeds algemeen aanvaar word en as 'n basis vir latere navorsing sou dien.<sup>33</sup> Vir die eerste keer in die geskiedenis is die terreine van die fisika, die fisiologie en die psigologie volwaardig geïntegreer. Von Helmholtz konsentreer ook veral op die musiek.

Sy teorie van die gehoor was 'n fisiologiese toepassing van Ohm se wet en die beginsels van Fourier-analise. Volgens sy siening vibreer elke stafie in die Orgaan van Corti op die basillêre membraan in die binne-oor simpaties met 'n sekere frekwensie en tree die oor as 'n Fourier-analiseerder op. Die oor analiseer dus 'n komplekse toon in sy samestellende botone waarvan 'n ooreenstemmende stafie geaktiveer word om te vibreer. Die hoorbare frekwensie-omvang word lengtegewys op die membraan, wat ongeveer twaalf keer vanaf die basaalpunt by die ovale venster tot by die apeks verbreed, verteenwoordig. Von Helmholtz se gehoorteorie het later in gewysigde vorm as die *plekteorie* bekend gestaan. Hy het egter gefouteer in sy stelling dat daar een gehoorsenuwee vir elke onderskeibare toonhoogte bestaan. Hy is hierin mislei deur Müller se leer vir spesifieke senuwee energieë. Latere navorsing het bewys dat tone egter nie deur die vibrasie van 'n enkele stafie op die membraan verteenwoordig word nie, maar wel deur 'n area op die membraan. Von Helmholtz se verwerping van periodisiteitstoonhoogte en absolute aanvaarding van die resonansieteorie, dit is die simpatiese vibrasie van liggame, was 'n te eenvoudige benadering.

Hoewel Von Helmholtz reeds probleme rondom freksensiediskriminasie bespreek, konsentreer hy hoofsaaklik op kombinasietone wat in die agttiende eeu ontdek is as gehoorfenomeen. Hy onderskei twee tipes wat as 'n derde noot ontstaan wanneer twee note klink, naamlik

- (1) *verskiltone*, dit is sag meeklinkende subjektiewe tone wat gelyk is aan die frekwensieverskil van die twee primêre tone wat dit vorm, en
- (2) *somtone*, dit is soos verskiltone, maar gelyk aan die som van die twee primêre tone se frekwensies. Hierdie tone is moeiliker waarneembaar as verskiltone.

In samehang hiermee word reeds tussen *objektiewe en subjektiewe kombinasietone* onderskei. Eersgenoemde is volgens Von Helmholtz in die klank self aanwesig as gevolg van die meganiek van klank=

produksie, terwyl laasgenoemde 'n produk is van die nie-lineêre aksie van die oor. Sy verklaring vir die ontstaan van kombinasietone is egter in die twintigste eeu verwerp.

Von Helmholtz het die werking van kombinasietone as baie belangrik beskou. Hy het geglo dat dit 'n rol speel by die waarneming van akkoorde en het daarop gewys dat die verskillende omkerings van 'n akkoord verskillende kombinasietone tot gevolg het.

Belangrik is ook Von Helmholtz se navorsing op die gebied van swewinge en die *interferensie* van klankgolwe wat hy as fisikus wiskundig verklaar het. Hierdie beginsels pas hy psigo-akoesties toe op musiek en ontwikkel onder andere 'n belangrike konsonansieteorie, wat in hoofsaak op swewinge berus. Die graad van dissonansie word bepaal deur die swewinge tussen die fundamentele tone en die botone van twee of meer komplekse tone. Dissonansie neem volgens dié teorie toe soos die aantal en die frekwensie van die swewinge vermeerder.

In sy gehoorteorie bestudeer hy ook intonasie en bevind dat klein intervalle in die algemeen minder suiwer geïntoneer word omdat dit groter spesialisasie van die oor vereis. Eksperimente het getoon dat tone selde volgens die gelykswewende stemming geïntoneer word en dat die tonale verband van tone bepalend vir die intonasie is.

Die belangrikheid van Von Helmholtz se bydrae tot die psigo-akoestiek spreek uit die groot aantal gehoorfenomene wat hy beskryf en wiskundig gekwalifiseer het. In die hedendaagse navorsingsliteratuur word Von Helmholtz se navorsing hoog aangeslaan.

## 2.6 Die ontwikkeling van die psigo-akoestiek in die twintigste eeu

Die psigo-akoestiek ontwikkel vinnig in die twintigste eeu, veral vanweë die beskikbaarheid van moderne elektroniese

apparaat, verbeterde eksperimentele metodes en die stigting van navorsingsinstansies, soos institute, waar projekte deur 'n span wetenskaplikes aangepak word.

Die belangrikste, resente bevindings sal in hierdie studie bespreek word met verwysing na slegs die hoofnavorsingstendense. Die vakdissiplines, die akoestiek, die fisiologie, die psigologie en die musiek is in 'n hoë mate geïntegreer in psigo-akoestiese musieknavorsing, maar word duidelikheidshalwe hier in verskillende afdelings bespreek.

### 2.6.1 Akoestiese navorsing

Die twintigste eeu word dikwels die eeu van die elektronika genoem. Gesofistikeerde elektroniese apparate word gebou vir die doel van klankmeting, onder andere ossilloskope, frekwensietellers en intensiteitsmeters. Deur middel van ossillators kan sinus- en vierkantgolwe in 'n wye reeks intensiteite en frekwensies geproduseer word. Deur die vermenging van sinus-tone kan sintetiese, komplekse tone soos verlang, geproduseer word. Kennis van die kenmerkende botoonstrukture van musiekinstrumente maak dit in beginsel moontlik om die klank van musiekinstrumente sinteties te skep.

Die afgelope dekade word geïntegreerde rekenaarsisteme gebruik vir akoestiese eksperimente en klanke word volgens aanwysing geproduseer en ontleed. Navorsers gebruik veral sintetiese klank, asook geruis en klikgeluide om die gehoor te toets. Die waarneming van natuurlike, musikale klanke word in 'n groot mate verwaarloos omdat dit ingewikkelder en moeiliker beheerbaar is.

### 2.6.2 Fisiologiese navorsing

Fisioloë het teenswoordig reeds 'n baie duidelike beeld van die bou van die oor. Sensitiewe disseksies en mikroskopiese studies van die oor word gedoen om die werking daarvan indringend te

fotografeer en te bestudeer. G.F. von Békésy het sodoende die resonansie-areas vir verskillende frekwensies op die basillêre membraan vasgestel en golfbewegings in die vloeistof van die binne-oor ontleed en matematies bepaal.

Deur die inplanting van elektrodes in veral katte se ore, is die elektriese potensiaal wat deur die haarselle op die basillêre membraan opgewek word, gemeet en die impulse wat as gevolg van 'n potensiaalverskil ontstaan, bepaal. Die geleiding van impulse deur die gehoorsenuwees is deur neuroloë ondersoek en 'n tweeledige teorie van klankwaarneming, die *plek-tydteorie*, is ontwikkel waarvolgens die resonansie-areas op die basillêre membraan, sowel as die aard en die geleidingspoed van impulse in die senuwees bepaal is, soos dit vermoedelik by klankinterpretasie benut word.

Onsekerheid bestaan egter steeds oor die verskillende prosesse van klankverwerking in die brein. Navorsers kon byvoorbeeld nog nie daarin slaag om vas te stel presies hoe en waar die periodisiteit van klank benut word om toonhoogte te bepaal nie. Talle toetse met geraasmaskering, sinustoonmaskering, klik-geluide en komplekse tone is uitgevoer om klankgeleiding na die brein hetsy monoraal, aan een oor, of binouraal, aan beide ore, beter te ontleed.

Die gehoor word as een van die ingewikkeldste funksies van die menslike liggaam beskou.

### 2.6.3 Psigologiese navorsing

Psigologiese navorsing oor klankwaarneming sentreer om die faktore wat die waarneming beïnvloed. Navorsing is gedoen oor die funksie van die geheue, die kognitiewe denke, intelligensie, erflikheid en kultuur, hoewel dit problematies is om te bewys, te kwantifiseer of die bevindings te meet. Psigoloë wys ook op die prosesse van seleksie en blokkasie wat by klankwaarneming, sy dit spraak, geraas of musiek, plaasvind. 'n Persoon

sal om verskeie redes sekere klanke ignoreer en op andere konsentreer. In uiterste gevalle ontwikkel kinders soms 'n blokkasie in die gehoor vanweë diepliggende psigologiese redes. Selfs al sou 'n persoon se gehoor fisiologies normaal wees, mag hy gehoorprobleme ondervind. Die psigologiese instelling van die mens is uiteindelik die bepalendste faktor by klankwaarneming.

#### 2.6.4 Musieknavorsing

Psigo-akoestiese navorsingsresultate word op verskeie terreine van die musiek aangewend.

'n Aantal gestandaardiseerde toetse om musiekaanleg en die musikale gehoor te meet, word in die twintigste eeu ontwerp. Dit sluit onder andere in dié van C.E. Seashore, R.F. Wyatt, E. Gordon, R.M. Drake, H. Wing, J. Kwalwasser en P.J. Dykema.<sup>34</sup> Hierdie toetse meet fisiese vaardighede, sowel as musikale gehoorvermoëns.

Ook wat die musiekuitvoering betref, is vordering gemaak deur dat opnames ontleed word om sekere artistieke kenmerke van die spel, soos byvoorbeeld afwykings in toonhoogte, timbrehantering, vibrato en intensiteitsverskille uit te wys.

Gebrekkige intervalidentifikasie en onsuiwer intonasie is van die prominentste probleme by musiekstudente en verskeie navorsers het gepoog om studente se frekwensiediskriminasie te verbeter in 'n poging om bogenoemde probleme op te los. Matige sukses is behaal, maar hierdie probleme is dikwels aan verskeie oorsake toe te skryf, wat van individu tot individu verskil. Meer indringende navorsing is nodig om dit te begryp en te verbeter.

Uit hierdie historiese oorsig word dit duidelik dat die psigo-akoestiek 'n relatiewe jong vakdissipline is, hoewel sekere bruikbare inligting reeds uit die Griekse Antieke tydperk stam.

Daar is ruim geleentheid vir navorsing in die musiek en werk op dié terrein kan tot verryking van die musiekwetenskap en musiekpraktyk wees.

## BIBLIOGRAFIE

1. Spender, N. and Shuter-Dyson, R. *Psychology of music ...* p. 389
2. Cajori, F. *A history of physics*, p. 11
3. Apel, W. ed. *Harvard dictionary of music*, p. 201
4. Stellar, E. *History of psychology ...* p. 784
5. *Ibid.*
6. Garrison, F.H. *An introduction to the history of medicine*, p. 89-9
7. Cajori *op. cit.* p. 21
8. Garrison *op. cit.* p. 200
9. *Ibid.* p. 201
10. Cajori *op. cit.* p. 97
11. Bell, J.F. and Truesdell, C. *Physics of music ...* p. 665
12. *Ibid.*
13. Garrison *op. cit.*, p. 327
14. Spender and Shuter-Dyson *op. cit.*, p. 389
15. Bell and Truesdell *op. cit.*, p. 667-8
16. *Ibid.*, p. 665
17. Cajori *op. cit.*, p. 136
18. Plomp, R. *Detectability threshold ...* p. 1111
19. Bell and Truesdell *op. cit.*, p. 667
20. *Ibid.*
21. Haydon *Introduction to musicology*, p. 171
22. Garrison *op. cit.*, p. 350
23. Bartlett, F.C. *et. al. Experimental psychology ...*, p. 779
24. Bell and Truesdell *op. cit.*, p. 670
25. Glorig, A. ed. *Audiometry: principles and practices*, p. 5
26. Bartlett *op. cit.*, p. 787

27. Stevens, S.S. and Warshofsky, F. *Sound and hearing*....  
p. 81-2
28. Bell and Truesdell *op. cit.* p. 671
29. Spender and Shuter-Dyson *op. cit.*, p. 389-90
30. Stellar *op. cit.*, p. 787
31. *Ibid.*
32. Wellek, A. *Gehörpsychologie* ... p. 1572
33. Helmholtz, H.L.F. *Die Lehre von den Tonempfindungen* ... =  
*On the sensations of tone* ... p. 1-576
34. Farnsworth, P.R. *A social psychology of music*, p. 185-208

### 3. DIE AKOESTIESE GRONDBEGINSELS VAN MUSIKALE KLANK

Die eenvoudigste vorm van musikale klank is die sinustoon waarvan die eienskappe in hierdie hoofstuk bespreek sal word. Vervolgens word die eienskappe van twee sameklinkende sinus-tone beskryf en laastens die samestelling van natuurlike, musikale klank bekend as komplekse tone.

Elke parameter van klankgolwe, soos die frekwensie, periode, intensiteit, tydsduur en golfpatroon in fisika (akoestiek) het 'n ooreenstemmende term in psigologiese waarneming, asook in die musiek. In die tabel, voorbeeld 3.1, word die terme in akoestiek met dié in psigologie en musiek vergelyk.

AKOESTIEK	PSIGOLOGIE	MUSIEK
frekwensie	toonhoogte	noot
intensiteit (klankdruk)	luidheid	dinamiek
tyd	tydsduur	nootwaarde (+ ritme)
golfpatroon	timbre	vokale of instrumentale klankkleur

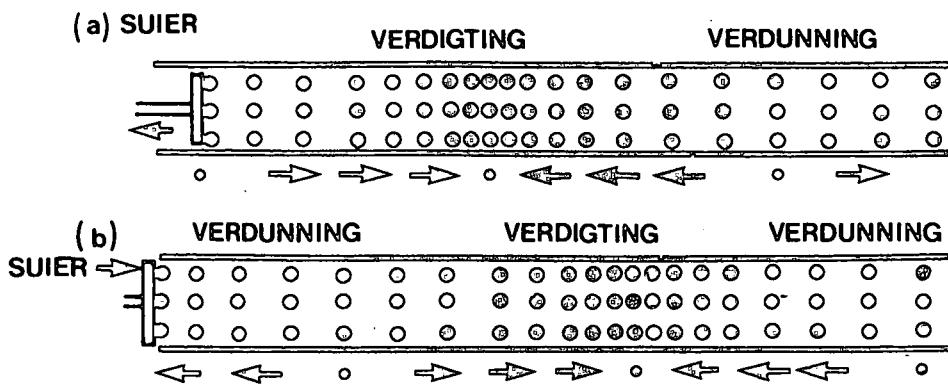
Voorbeeld 3.1

Die fisiese parameters en die waarneming daarvan stem selde presies in waarde ooreen. Dit is hoofsaaklik aan die komplekse werking van die gehoor toe te skryf.

#### 3.1 Beskrywing van 'n klankgolf

'n Klankgolf ontstaan as gevolg van 'n klankbron wat vibreer en sodoende versteurings in die voortplantingsmedium, soos lug, veroorsaak. Die versteurings is drukverskille in die medium as gevolg van molekules wat geaktiveer word om vanaf die rusposisie uit te wyk en uiteindelik weer terug te keer

na eersgenoemde posisie. By klankgolwe vind die verplasing van die molekules in dieselfde rigting as die voortplantingsrigting van die golf plaas en word die golwe om dié rede as longitudinaal beskryf. Transversale golwe kom byvoorbeeld in water voor en is weer die verplasing van molekules loodreg op die voortplantingsrigting van die golf. In voorbeeld 3.2 word 'n longitudinale golf voorgestel.<sup>1</sup>



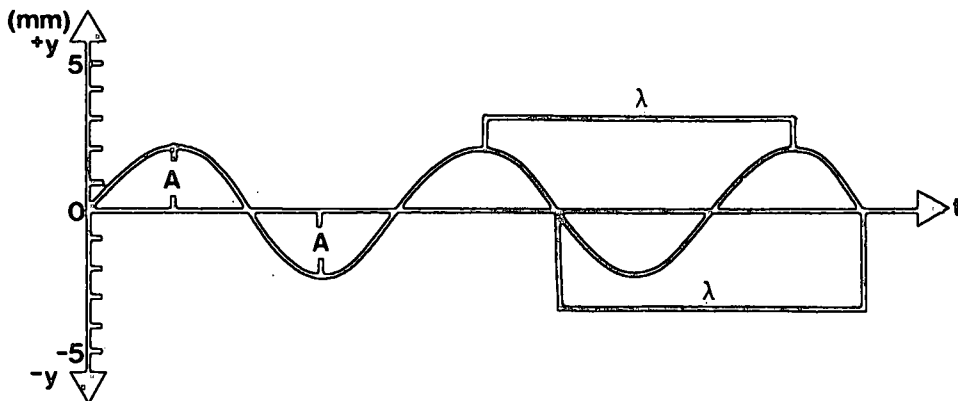
### Voorbeeld 3.2

Die swart kolle stel molekules in 'n lugkolom voor, wat deur 'n suier aan die linkerkant in beweging geplaas word. Vir die getoonde posisie van die suier in 3.2(a), ontstaan verdichtings en verdunnings in die lug. Die druk is dus hoër in die areas waar die molekules saamgepers is en laer waar dit yl versprei is. Wanneer die suier egter in die rigting, soos aangedui deur die pyltjie in (a) beweeg, ontstaan 'n molekulêre verspreiding, soos in (b). Die molekules beweeg gevolglik soos aangedui en nuwe verdichtings en verdunnings word geskep.

### 3.2 Die fisiese eienskappe van 'n sinustoon

'n Sinustoon is 'n enkelvoudige toon wat as gevolg van die eenvoudige harmoniese beweging deur die klankbron, byvoorbeeld 'n stemvurk, ontstaan. Dié tipe beweging toon 'n simmetriese

uitwyking vanaf die rusposisie en word telkens in dieselfde tydsbestek voltooi. Sinustone kom nie algemeen in die natuur voor nie, met uitsondering deur stemvurke, en word meesal sinteties deur ossillators geskep. Die skets in voorbeeld 3.3, toon 'n sinusgolf.



### Voorbeeld 3.3

Die tydsverloop ( $t$ ) van die golf word deur die ordinaat voorgestel en die absissa toon 'n arbitrêre skaal vir die uitwyking vanaf die rusposisie, wat deur die 0-lyn voorgestel word. Die uitwyking kan positief ( $+y$ ) of negatief ( $-y$ ) wees.

Die Griekse letter *lamda* ( $\lambda$ ) word gebruik om die golflengte, dit is die afstand tussen twee opeenvolgende eenderse punte, aan te dui. Een golflengte is dus die voltooiing van een siklus. Die tydsduur wat nodig is om een siklus te voltooi, word die periode ( $P$ ) genoem. 'n Sinustoon het dus 'n periodiese struktuur omdat 'n bepaalde golfpatroon telkens in dieselfde tyd herhaal word. Dit sal by komplekse golwe, soos dié van musiekinstrumente óf spraak, dieselfde wees. Daarteenoor toon klankgolwe van geraas geen periodiese struktuur nie.

Aangesien die frekwensie ( $f$ ) as parameter van 'n klankgolf,

gelyk is aan die aantal siklusse wat per sekonde voltooi word, volg dit dat

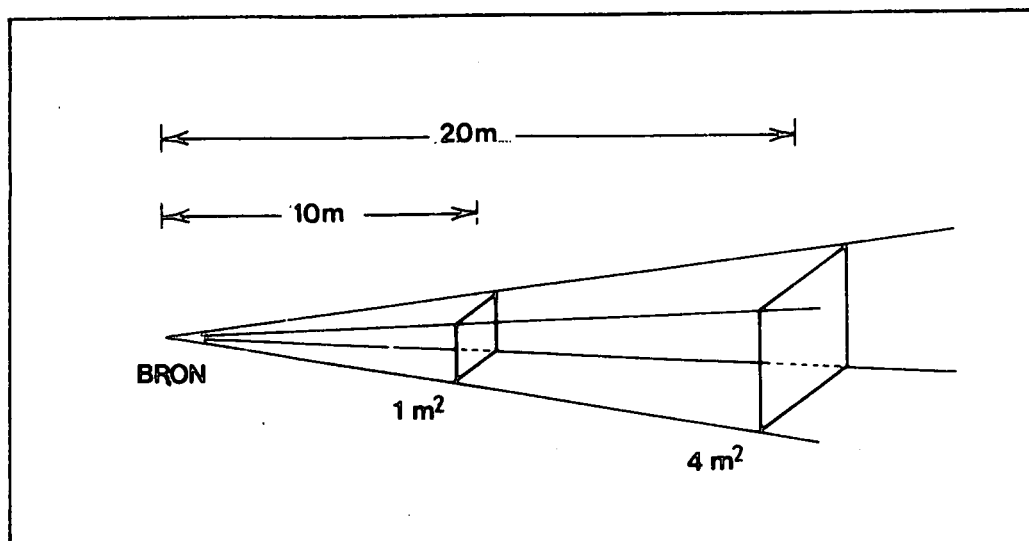
$$f = \frac{1}{P}$$

Frekwensie word in Hertz (Hz) uitgedruk. Die toonhoogte van klank word deur die frekwensie sowel as die periode bepaal. In die geval van 'n sinustoon, wat uit slegs één frekwensie bestaan, is dit onbelangrik of die frekwensie of die periode as norm vir toonhoogte gebruik word. Wanneer die toonhoogte van 'n komplekse toon, wat uit meer as een frekwensie bestaan, bepaal word, geld die periode van die komplekse golf egter as norm.

Nog 'n belangrike parameter van 'n klankgolf is die maksimum afstand wat 'n molekule vanaf sy rusposisie uitwyk as gevolg van drukveranderinge, dit wil sê die golf se amplitude ( $A$ ). Die intensiteit ( $I$ ) van 'n klankgolf is afhanklik van die amplitude en word as die akoestiese energie per een vierkante meter ( $= 1 \text{ m}^2$ ) oppervlak gedefinieer. Dit word as Watt/ $\text{m}^2$  uitgedruk. Hierdie definisie maak voorsiening vir die afname in intensiteit met toenemende afstand vanaf die klankbron. Omdat klankgolwe vanaf die klankbron divergeer is die intensiteit hoër naby die klankbron en omgekeerd. Die skets in voorbeeld 3.4, illustreer die beginsel van divergensie.<sup>2</sup> Op 'n afstand van 10 meter is die klank in 'n oppervlak van een vierkante meter gekonsentreer, maar op 20 meter in soveel as vier vierkante meter.

Die intensiteit sal dus omgekeerd eweredig met die afstand vanaf die klankbron wees.

In die psigo-akoestiek word van verskeie maateenhede gebruik gemaak om aspekte van klank of klankwaarneming wat aan intensiteit verwant is, uit te druk, soos die *intensiteitsvlak*,



#### Voorbeeld 3.4

*klankdrukvlak, sensasievlak of luidheid.* In al die gevalle word van 'n standaardverwysingston, wat as norm vir berekenings geld, gebruik gemaak.

Die intensiteitsvlak ( $L$ ) van 'n klank word vanaf 'n 1000 Hz-standaardtoon met 'n intensiteit van  $10^{-16}$  Watt/m<sup>2</sup> ( $I_0$ ) bereken. Aan hierdie toon word 'n intensiteitsvlak van 0 desibel (db) toegeken. Dit verteenwoordig die onderste gehoordrempel van die normale menslike gehoor, dit wil sê die laagste intensiteit waarteen 'n toon net hoorbaar is. Om die intensiteitsvlak van 'n klank te bereken, word die volgende formule gebruik:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Die parameter klankdrukvlak ( $L_p$ ) word volgens klankdruk in plaas van intensiteit bereken, volgens die formule

$$L_p = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

waar  $P$  die klankdrukvlak van die toon wat ondersoek word, is en  $P_0$ . ( $P_0 = 2 \times 10^{-5}$  Newton/m<sup>2</sup>, of 0,0002 dyne/cm<sup>2</sup>) die standaard verwysingsdruk is. Klankdrukvlak word ook in desibel uitgedruk met  $P_0 = 0$  db. Beide die intensiteitsvlak en klankdrukvlak se 0 db-waardes stel die onderste gehoordrempel vir 'n 1000 Hz-toon voor.

Sensasievlak ( $L_s$ ) is weer 'n psigologiese parameter wat voorsiening maak vir die besondere gehoorvermoë van 'n individu. Weens fisiese beperkings of gehoorskade, kan die sensasiegrootte tussen persone verskil. Die sensasievlak is die aantal desibel waarmee die klankdrukvlak van 'n klank die onderste gehoordrempel van 'n individu oorskrei. Die sensasievlak van 'n toon met 'n 60 db-klankdrukvlak, sal 60 db wees vir 'n persoon met normale gehoor, dit is 'n persoon met 'n drempel van 0 db-klankdrukvlak. Indien 'n persoon se drempel egter 'n 20 db-klankdrukvlak is, sal die sensasievlak van bogenoemde toon slegs 40 db wees.

In die tabel, voorbeeld 3.5, word die verskille in desibelwaardes tussen intensiteitsvlak, klankdrukvlak en sensasievlak geïllustreer.

INTENSITEITSVLAK (L)		KLANKDRUKVLAK (L <sub>p</sub> )		SENSASIEVLAK (L <sub>s</sub> = normale gehoor)		SENSASIEVLAK (L <sub>s</sub> met onderste gehoordrempel = 20 db)	
db	Watt/m <sup>2</sup>	db	dyne/cm <sup>2</sup>	db	dyne/cm <sup>2</sup>	db	dyne/cm <sup>2</sup>
140	10 <sup>-2</sup>	140	2000	140	2000	120	2000
120	10 <sup>-4</sup>	120	200	120	200	100	200
100	10 <sup>-6</sup>	100	20	100	20	80	20
80	10 <sup>-8</sup>	80	2	80	2	60	2
60	10 <sup>-10</sup>	60	0,2	60	0,2	40	0,2
40	10 <sup>-12</sup>	40	0,02	40	0,02	20	0,02
20	10 <sup>-14</sup>	20	0,002	20	0,002	0	0,002
0	10 <sup>-16</sup>	0	0,0002	0	0,0002	-20	0,0002

Voorbeeld 3.5

Die desibelwaardes van intensiteitsvlak en klankdrukvlak stem dus ooreen. Die waardes van die sensasievvlak wissel met die gehoordrempel van die individu.

Wanneer die algehele gehoorindruk van 'n persoon vir een of meer tone bepaal moet word, moet die psigologiese eenheid, luidheid, gebruik word om die waarneming van die klankintensiteit te beskryf. Luidheid kan selfs die ingewikkelde interaksie tussen tone, bekend as maskering, uitdruk. Die skaal, uitgedruk in sones, is bepaal deur 'n groot aantal persone wat gevra is om te oordeel wanneer 'n klank tweemaal óf die helfte so luid as 'n ander klank is. Die skaal is so ontwerp dat twee sones tweemaal so luid as een sone klink. Gevolglik kan die psigologiese begrip, luidheid, gekwantifiseer word.

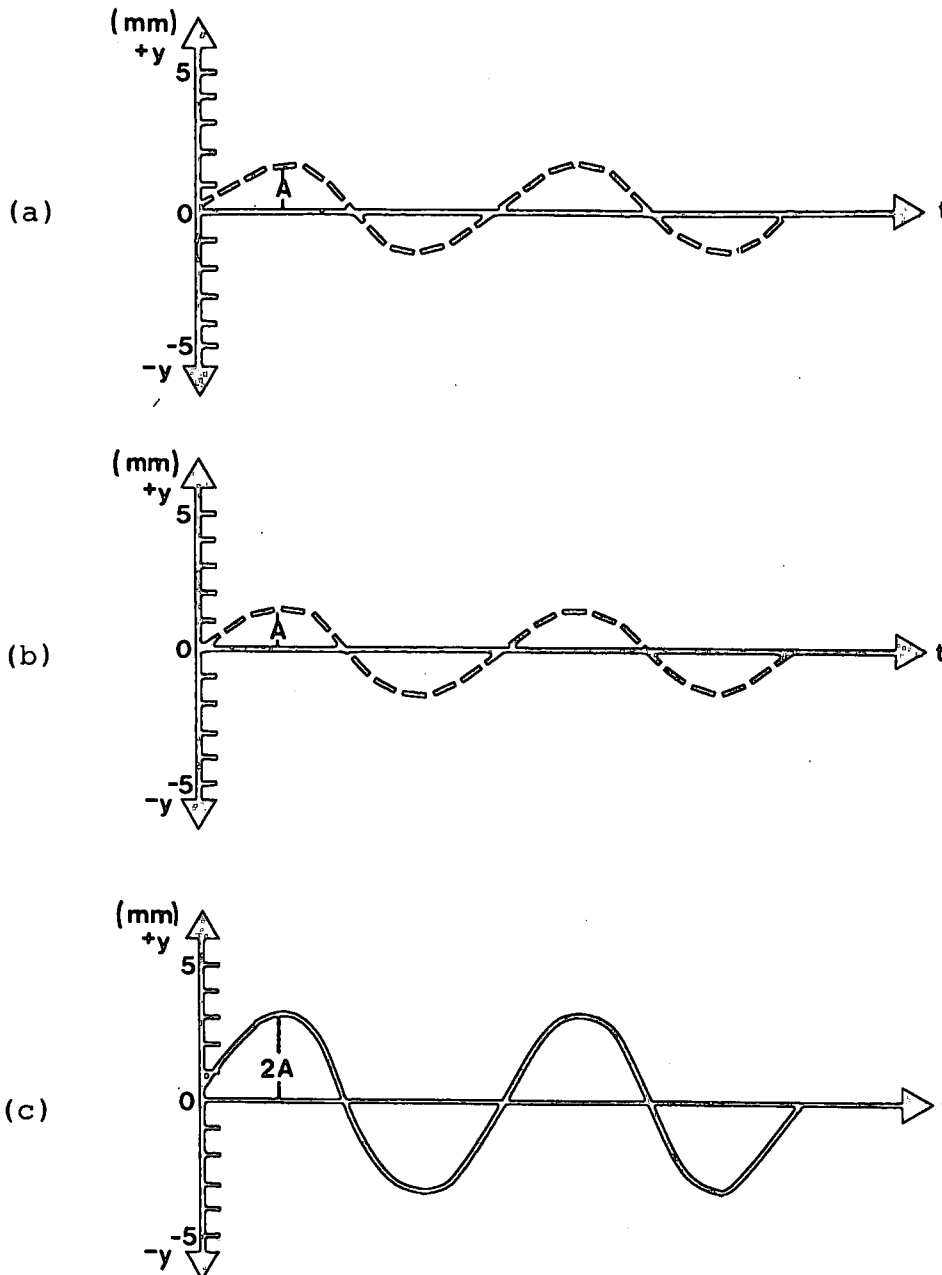
### 3.3 Die fisiese eienskappe van twee sameklinkende sinustone

Afhangende van die tone se frekwensieverskil, sal twee sinustone as een saamgestelde toon, óf twee aparte tone waargeneem kan word. In die bespreking wat volg, word na die golfpatroon van (1) tone met dieselfde frekwensie, (2) tone met geringe frekwensieverskille en (3) tone met groter frekwensieverskille verwys. Ten slotte word die samestelling van musikale klank bespreek.

Tone wat gelyktydig klink, word as een komplekse golf deur die lugmedium gelei. Die golfpatroon verteenwoordig dus die fisiese eienskappe van die samestellende sinustone. Indien die tone genoegsaam in frekwensie verskil, sal die oor in staat wees om die komplekse golf in sy samestellende sinustone te analiseer en sal meer as een toon gevolglik waargeneem word. In die geval van geringe frekwensieverskille, is die oor egter nie by magte om 'n analise uit te voer nie en word die tone as een toon waargeneem.

### 3.3.1 Twee sinustone met dieselfde frekwensie

Die gesuperponeerde golf van twee sinustone met dieselfde frekwensie, amplitude en fase word in voorbeeld 3.6 voorgestel. Wanneer twee tone in fase ( $\ell$ ) is, begin beide op dieselfde plek binne 'n siklus en is die faseverskil in grade bereken, dus  $0^\circ$ .



Voorbeeld 3.6

Voorbeeld 3.6(a) en 3.6(b) toon elk 'n eenderse sinustoon, terwyl 3.6(c), as samestelling van beide, die gesuperponeerde golf is. Die frekwensie van die gesuperponeerde golf is dieselfde as dié van die tone, maar die amplitude verdubbel. Die twee sinustone sal dus as een saamgestelde toon met dieselfde toonhoogte as die afsonderlike tone waargeneem word, maar met dubbel die intensiteit van een toon. Hierdie is die eenvoudigste vorm van superponering.

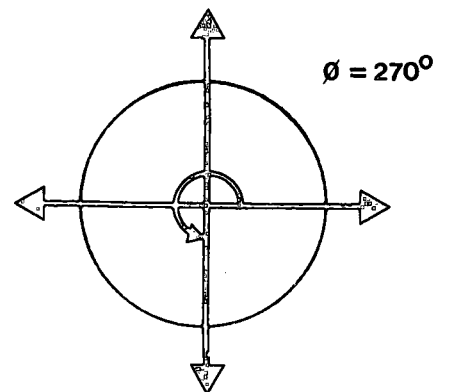
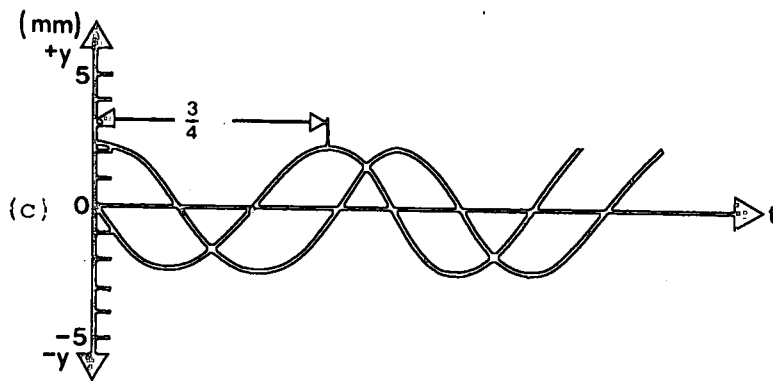
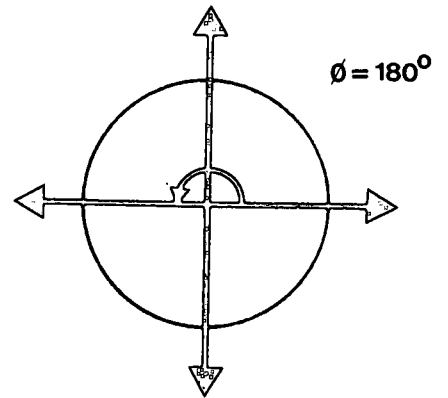
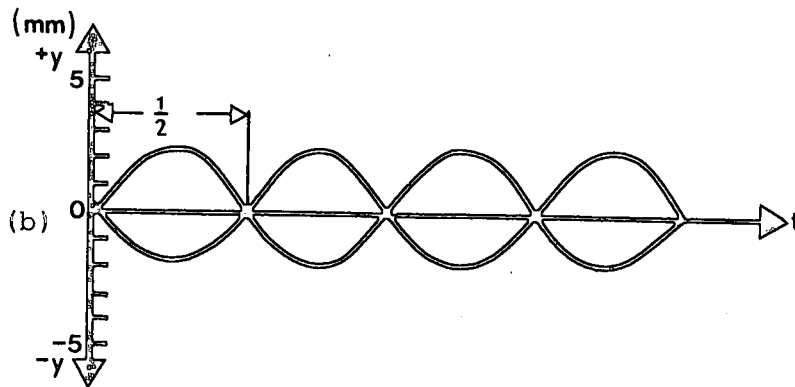
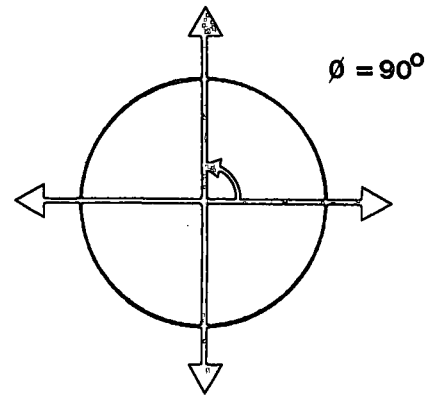
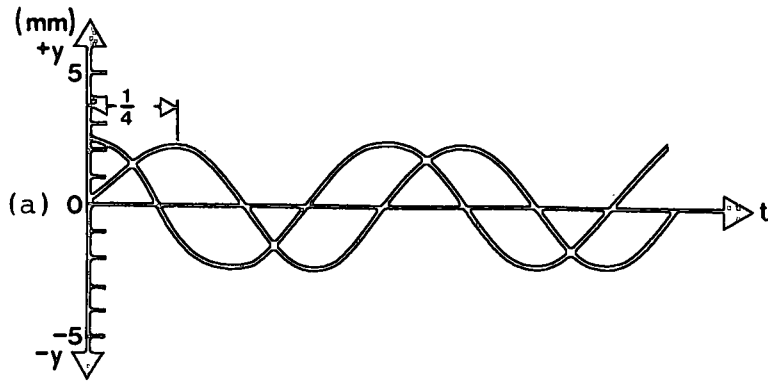
Wanneer twee sinustone met dieselfde frekwensie en amplitude in fase verskil, bly die frekwensie steeds gelyk aan dié van elke toon, terwyl die amplitude verskil. Voorbeeld 3.7 toon sketse van sinustone wat 'n kwart siklus ( $\phi = 90^\circ$ ), 'n halwe siklus ( $\phi = 180^\circ$ ) en 'n driekwart siklus ( $\phi = 270^\circ$ ) uit fase is.<sup>3</sup>

Faseverskille word in grade bereken volgens die hoek tussen die verwysingsas en die vertikale lyn deur die middelpunt van die sirkel. Wanneer daar geen faseverskil is nie, is  $\phi = 0^\circ$ . Die sketse dui die ooreenstemmende waardes vir faseverskille, uitgedruk in grade aan.

In die geval van tone met  $\phi = 90^\circ$ , soos in voorbeeld 3.7(a), is die amplitude van die gesuperponeerde golf gelyk aan een-en-halfmaal die amplitude van die sinustone. Dit is dieselfde by  $\phi = 270^\circ$ . Dié amplitude word as die som van die twee golwe se amplitudes bereken.

Tone met  $\phi = 180^\circ$ , soos in voorbeeld 3.7(b), het 'n besondere kenmerk. Die golwe se amplitudes kanselleer mekaar volkome en gevolglik is daar geen klank nie. Dit word destruktiewe interferensie genoem en kom by hoë uitsondering voor.

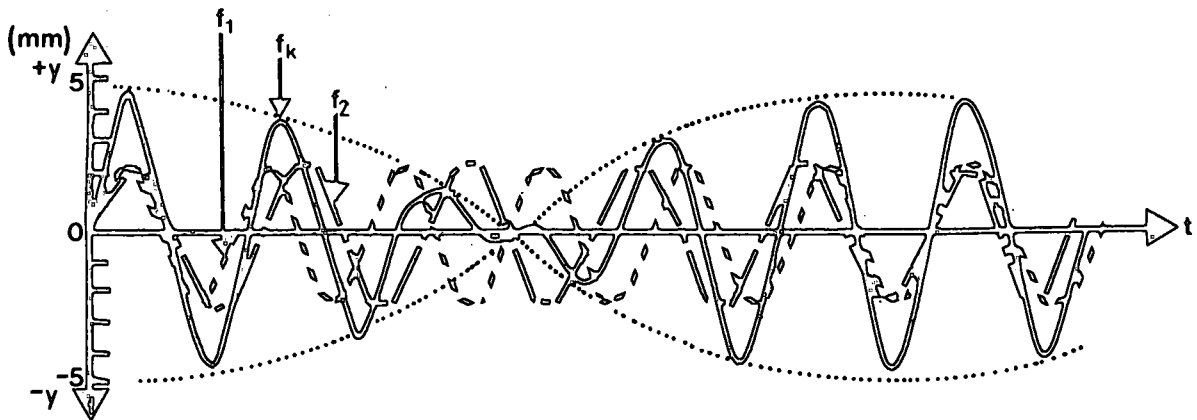
Hoewel faseverskille in die geval van sinustone met eenderse frekwensies slegs 'n amplitudevergroting tot gevolg het, speel dit 'n belangriker funksie by tone van verskillende frekwensies.



Voorbeeld 3.7

### 3.3.2 Twee sinustone met geringe frekwensieverskille

Indien twee sinustone egter met 'n geringe aantal frekwensies verskil, sal die twee gesuperponeerde golwe,  $f_1$  en  $f_2$ , 'n wisselende golfpatroon  $f_k$  skep, soos in voorbeeld 3.8 voorgestel word.<sup>4</sup> Tone  $f_1$  en  $f_2$  kan met so min as 'n breukdeel van 'n Hertz of so veel as 15 Hz verskil om hierdie effek te verkry en is afhanklik van die frekwensiegebied waarin die tone geleë is.<sup>5</sup>



#### Voorbeeld 3.8

Die gesuperponeerde golf word as een toon ( $f_k$ ) waargeneem van 'n frekwensie wat gelyk is aan die gemiddelde frekwensie van die twee sinustone. Gestel  $f_1 = 440$  Hz en  $f_2 = f_1 + \Delta f = 442$  Hz, waar  $\Delta f$  'n frekwensieverskil van 2 Hz is. Dan is die waargenome, gesuperponeerde golf ( $f_k$ ) gelyk aan:

$$\begin{aligned} f_k &= \frac{f_1 + f_2}{2} \\ &= \frac{440 + 442}{2} \\ &= 441 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Die amplitude van die gesuperponeerde golf is modulerend, weens die faseverskil tussen die twee tone wat geleidelik toeneem van  $0^\circ$  tot  $360^\circ$ . Dié patroon word telkens herhaal. Die oor neem die *golfomlyning*, aangedui deur die stippellyne waar en 'n persoon hoor dus 'n toon van wisselende intensiteit. Hierdie effek word swewinge genoem. Die frekwensie van die swewinge ( $f_s$ ) naamlik die aantal pulse wat per sekonde as gevolg van die modulerende amplitude waargeneem word, word volgens die formule

$$f_s = f_2 - f_1 = \Delta f$$

bereken. 'n Frekwensieverskil van 1 Hz sal dus een swewing per sekonde tot gevolg hê, 2 Hz twee swewinge, tot ongeveer 15 Hz wanneer die fenomeen verdwyn en die tone apart waargeneem word.

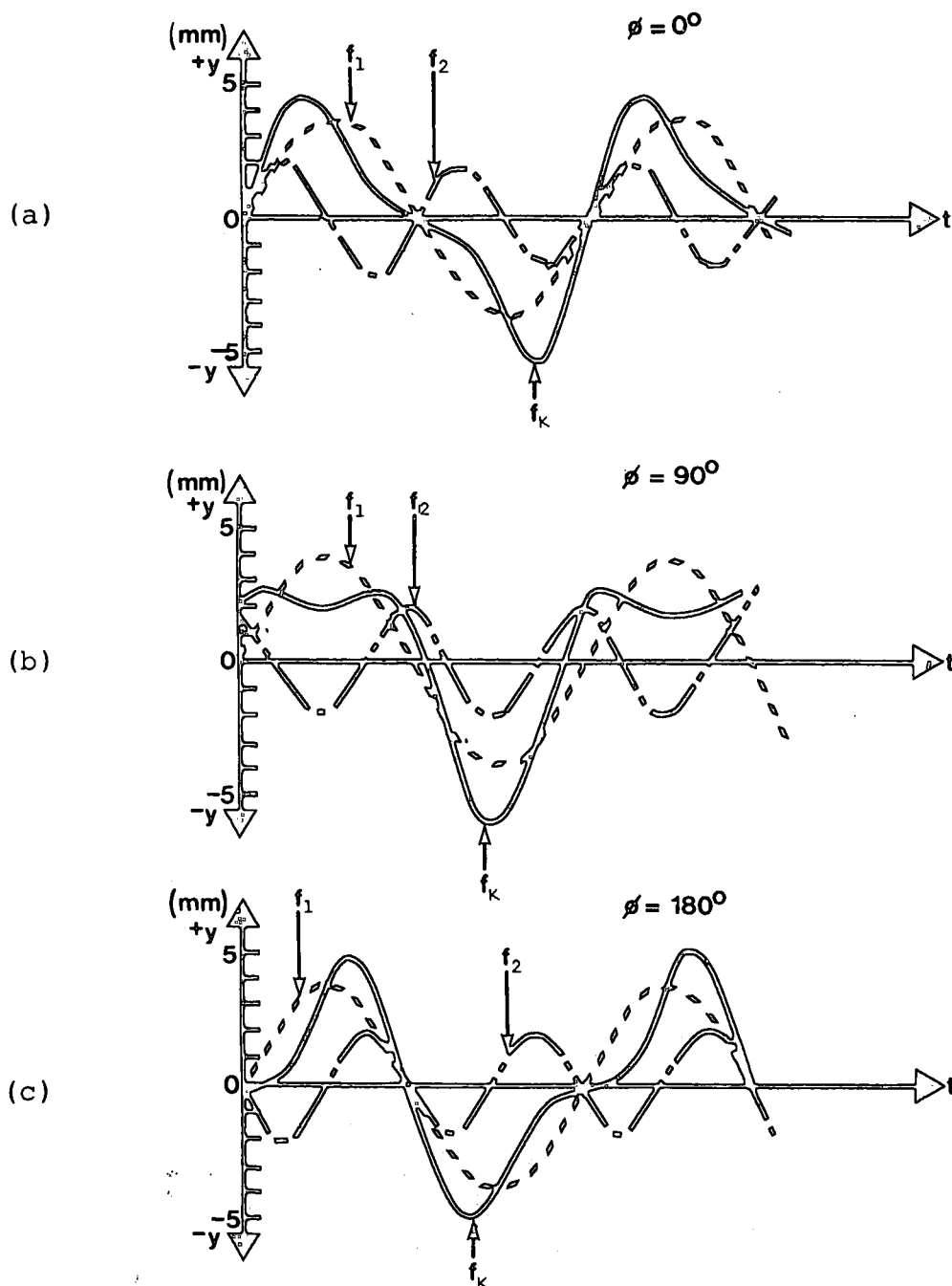
Die toon wat by gesuperponeerde sinustone met geringe frekwensieverskille ontstaan, word reeds as 'n komplekse toon beskou, omdat dit uit meer as een frekwensie saamgestel is. Sodra die frekwensieverskil tussen die sinustone groter as  $\Delta f$  is, word die tone as aparte sinustone waargeneem en daar ontstaan dus nie 'n komplekse toon nie. Uitsonderings in laasgenoemde geval is egter tone wat aan die botoonreeks behoort en na superponering een komplekse toon, die fundamentele toon tot gevolg het.

### 3.3.3 Die superponering van twee sinustone wat aan die botoonreeks behoort

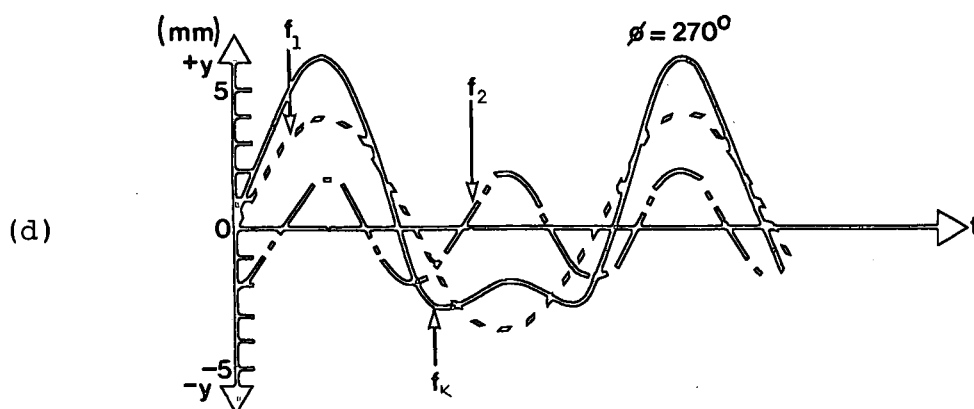
Wanneer twee sinustone uit die botoonreeks gesuperponeer word, ontstaan 'n komplekse toon. Hierdie toon word nie as 'n natuurlike, musikale toon beskryf nie, omdat sodanige tone selde uit slegs twee tone bestaan. Ter illustrasie hiervan word twee pare sinustone (1)  $f_1$  en  $f_2 = 2f_1$  en

$$(2) f_1 \text{ en } f_2 = \frac{3}{2}f_1, \text{ ondersoek.}$$

- (1) Die superponering van twee sinustone  $f_1$  en  $f_2 = 2f_1$  die interval van 'n oktaaf, word in voorbeeld 3.9(a) tot (d) voorgestel vir aanvanklike faseverskille van respektiewelik  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  en  $270^\circ$ .<sup>6</sup>



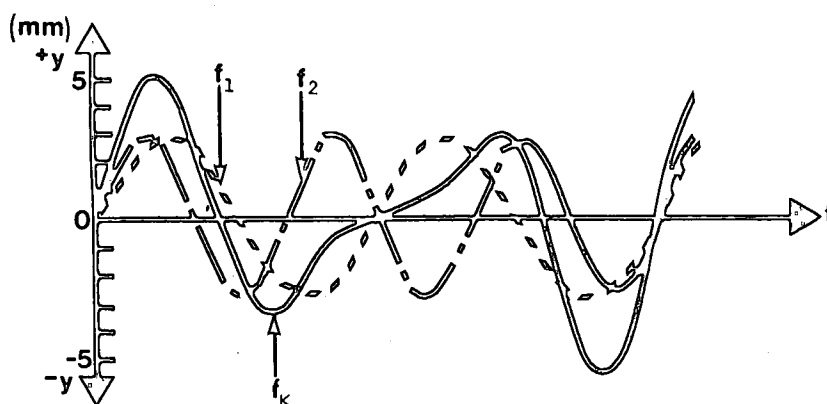
Voorbeeld 3.9



### Voorbeeld 3.9

Die frekwensie van die gesuperponeerde golf is in al vier gevalle gelyk aan  $f_1$  wat die laagste toon van die twee is. Dit is ook die fundamentele toon van die botoonreeks. Die invloed van die faseverskille op die golfpatroon kan in voorbeelde (a) tot (d) gesien word. Hedendaagse navorsers vermoed dat die oor in staat is om hierdie verskille in golfpatroon as timbreverskille te onderskei, maar dit is nog nie finaal bewys nie.<sup>7</sup>

- (2) As twee sinustone met frekwensies  $f_1$  en  $f_2 = \frac{3}{2} f_1$ , 'n interval van 'n rein vyfde, gesuperponeer word, ontstaan 'n fundamentele toon van frekwensie  $\frac{f_1}{2}$ . Die skets in voorbeeld 3.10 toon die komplekse golf vir tone met geen aanvanklike faseverskil nie.<sup>8</sup>



### Voorbeeld 3.10

Dieselfde beginsels wat in die laaste twee voorbeelde geïllustreer is, geld vir musikale tone wat uit meer as twee botone bestaan. Die gesuperponeerde golf se toonhoogte sal altyd dié van die fundamentele toon wees.

### 3.4 Natuurlike, musikale klank

Natuurlike, musikale klank, soos voortgebring deur musiek=instrumente of die stem, is komplekse tone wat uit sinus=tone wat aan die botoonreeks behoort, saamgestel is. Dit moet van sintetiese klank, wat enige kombinasie van elektro=nie-vervaardigde sinustone kan bevat, onderskei word.

#### 3.4.1 Die natuurlike botoonreeks

Die natuurlike botoonreeks wat in die vibrasie van snare of lugkolomme ontstaan, bestaan uit 'n fundamentele toon en 'n aantal botone. Die botoonreeks is tone wat opeenvolgend die produk van die fundamentele toon is. Dus, indien die fundamentele toon ( $f_1$ ) se frekwensie  $x$  is, sal die frekwensie

van opeenvolgende botone ( $f_2$  ,  $f_3$  ,  $f_4$  ...  $f_{15}$ ) gelyk wees aan tweemaal frekwensie  $x$ , driemaal  $x$  tot vyftienmaal  $x$  ( $2x$ ,  $3x$  ...  $15x$ ). In voorbeeld 3.11(a) word die eerste sestien tone van die reeks vir die fundamentele toon  $C_2 = 65,4$  Hz gegee en in 3.11(b) is 'n tabel van die botone se frekwensies.<sup>9</sup>

$C = 65,4$  Hz

(a)

Tone	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$	$f_{10}$	$f_{11}$	$f_{12}$	$f_{13}$	$f_{14}$	$f_{15}$	$f_{16}$
Frekwensies (Hz)	65,4	130,8	196,2	261,6	327	392,4	457,8	523,2	588,6	654	719,4	784,8	850,2	915,6	981	1046,4

(b)

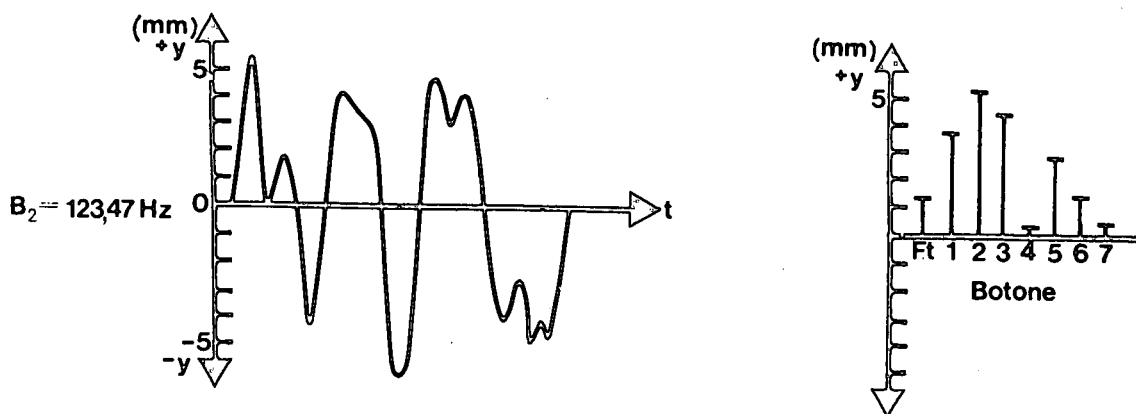
Voorbeeld 3.11

Die eerste toon ( $f_1$ ) is die fundamentele en die tweede ( $f_2$ ) is die eerste botoon, die derde ( $f_3$ ) die tweede botoon en so verder tot die sestiede ( $f_{16}$ ) as die vyftiede botoon. Die tone se frekwensies stem nie almal presies met dié van die gelykswewende stemming, soos aangedui op die notebalk, ooreen nie. Die tone wat die meeste afwyk, word deur swart note in hakies aangedui.

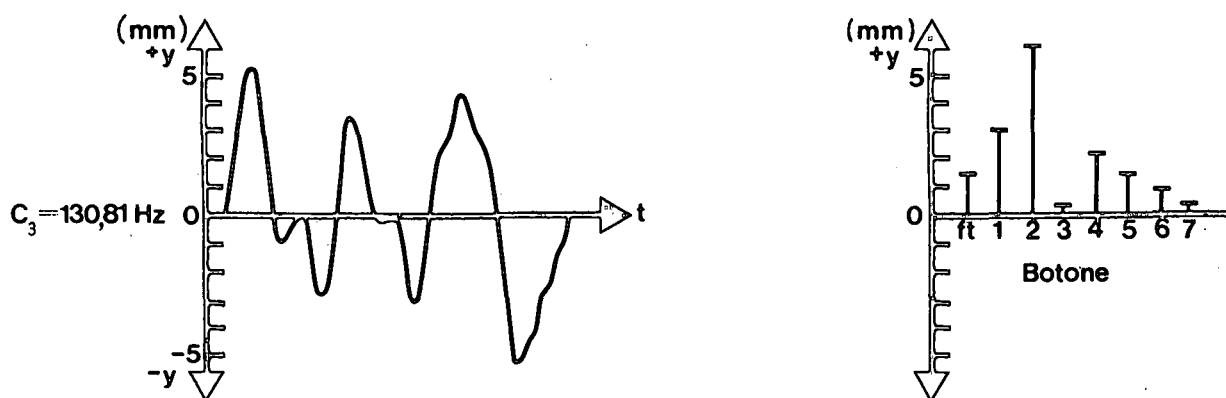
## 3.4.2 Die timbre van musiekinstrumente

Wanneer die botoonspektra van verskillende instrumente deur middel van 'n Fourier-analise ontleed word, word bevind dat die timbre van 'n instrument afhanklik is van watter botone klink, asook hulle relatiewe intensiteite. Sekere botone is altyd in die klank van 'n bepaalde instrument aanwesig teen 'n konstante verhouding tussen die intensiteite van die botone. Gevolglik sal die instrument 'n herkenbare timbre hê.

In die sketse, voorbeeld 3.12(a) en (b), word twee tone,  $B_2 = 123,5$  Hz en  $C_3 = 130,8$  Hz van 'n fagot se komplekse golwe links aangetoon, met die resultaat van die Fourier-analise daarvan regs.<sup>10</sup> Laasgenoemde toon die botone wat aanwesig is, sowel as hulle relatiewe intensiteite wat volgens 'n arbitrêre skaal voorgestel word.



Voorbeeld 3.12(a)



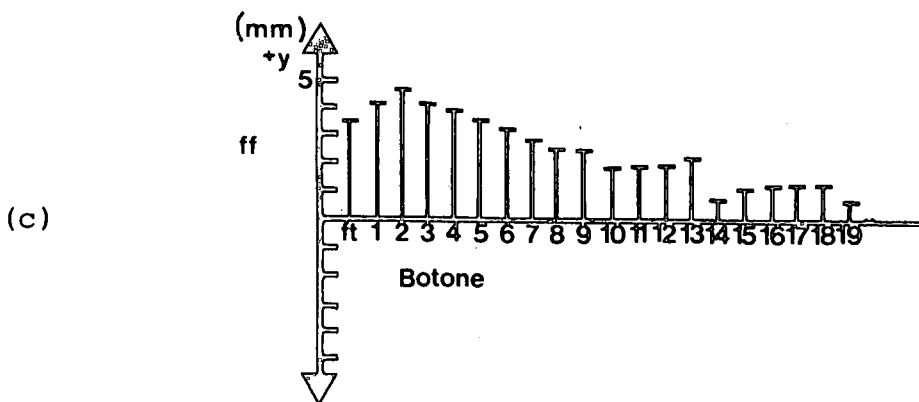
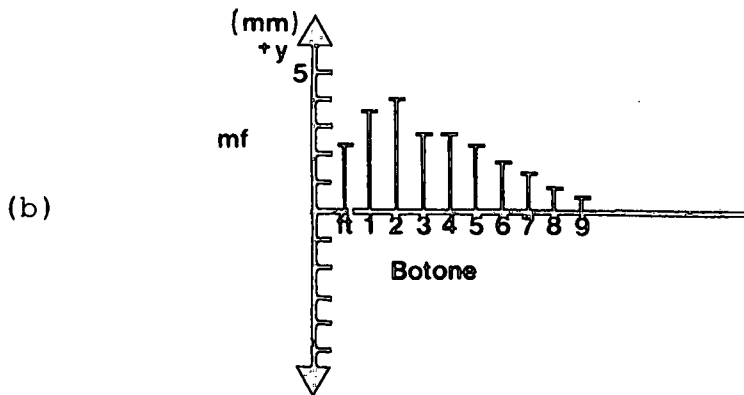
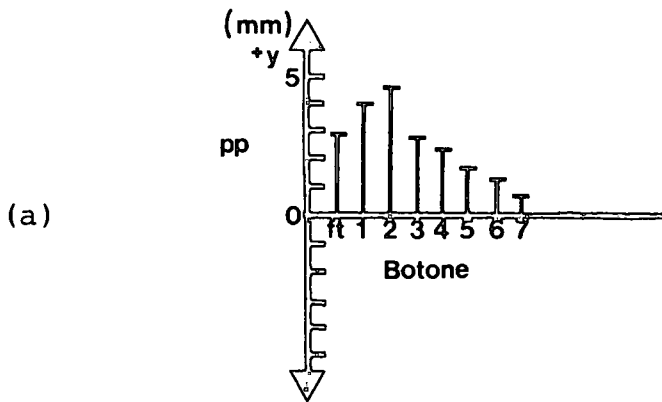
voorbeeld 3.12 (b)

Dieselfde botone is in beide komplekse tone aanwesig, hoewel die verhouding tussen die intensiteite effens verskil. In beide voorbeelde kan gesien word dat die fagot se botoon= spektrum 'n kenmerkende, dominante tweede botoon besit.

Indien 'n noot van dieselfde frekwensie op 'n instrument teen verskillende intensiteite gespeel word, sal die aantal botone met stygende intensiteit toeneem. In die skets, voorbeeld 3.13, word die botoonspektrum vir die noot  $E_3 = 164,8$  Hz gespeel deur 'n Franse horing in F teen drie verskillende intensiteite gegee.<sup>11</sup>

Vir die toonsterktes pianissimo (pp), mezzo fort  (mf) en fortissimo (ff) neem die intensiteite van die botone in verhouding toe en vermeerder die aantal botone ook vanaf die noot uitgevoer in pianissimo tot by dié in fortissimo.

Aangesien die mens in staat is om tussen 'n wye verskeidenheid timbres te onderskei, volg dit dat die oor uiters sensitief is vir verskille in die botoonspektra van komplekse tone.



Voorbeeld 3.13

### 3.4.3 Die gelykswewende stemming

Nadat verskillende stemmingsisteme deur die eeue ontwikkel is, soos Suiwer stemming en die Pythagorese stemming, word die Gelykswewende stemming vandag die algemeenste gebruik. Hierdie stemmingsmetode is op die standaardtoon  $A_4 = 440$  Hz gebaseer en word halftoonintervalle ewe groot gestem, bereken deur die formule

$$\text{halftoon} = \sqrt[12]{2}$$

Die oktaaf bly deurgaans suiwer gestem in die verhouding 2 : 1, waar  $f(\text{doh}_1) = 2f(\text{doh}_2)$ .

Die frekwensies van die gelykswewende stemming vir die bruikbaarste omvang vir musiek, soos verteenwoordig deur die laagste ( $C_0$ ) en hoogste ( $B_8$ ) note, word in die tabel in voorbeeld 3.14 gegee. Die normale omvang van 'n vleuelklavier strek byvoorbeeld vanaf  $A_0 = 27,5$  Hz tot  $C_8 = 4186$  Hz.

Wanneer sekere frekwensies van tone in die botoonreeks, soos in voorbeeld 3.11 gegee, met die ooreenstemmende tone van die gelykswewende stemming vergelyk word, blyk redelike groot verskille, veral vir die botone in hakies. Die tabel in voorbeeld 3.15 toon die frekwensieverskille.

C <sub>0</sub>	16,352	C <sub>3</sub>	130,81	C <sub>6</sub>	1046,5
	17,324		138,59		1108,7
D <sub>0</sub>	18,354	D <sub>3</sub>	145,83	D <sub>6</sub>	1174,7
	19,445		155,56		1244,5
E <sub>0</sub>	20,602	E <sub>3</sub>	164,81	E <sub>6</sub>	1318,5
F <sub>0</sub>	21,827	F <sub>3</sub>	174,61	F <sub>6</sub>	1396,9
	23,125		185,00		1480,0
G <sub>0</sub>	24,500	G <sub>3</sub>	196,00	G <sub>6</sub>	1568,0
	25,957		207,65		1661,2
A <sub>0</sub>	27,500	A <sub>3</sub>	220,00	A <sub>6</sub>	1760,0
	29,135		233,08		1864,7
B <sub>0</sub>	30,868	B <sub>3</sub>	245,94	B <sub>6</sub>	1975,5
C <sub>1</sub>	32,703	C <sub>4</sub>	261,63	C <sub>7</sub>	2093,0
	34,648		277,18		2217,5
D <sub>1</sub>	36,708	D <sub>4</sub>	293,66	D <sub>7</sub>	2349,3
	38,891		311,13		2489,0
E <sub>1</sub>	41,203	E <sub>4</sub>	329,63	E <sub>7</sub>	2637,0
F <sub>1</sub>	43,654	F <sub>4</sub>	349,23	F <sub>7</sub>	2793,8
	46,249		369,99		2960,0
G <sub>1</sub>	48,999	G <sub>4</sub>	392,00	G <sub>7</sub>	3136,0
	51,913		415,30		3322,4
A <sub>1</sub>	55,000	A <sub>4</sub>	440,00	A <sub>7</sub>	3520,0
	58,270		466,16		3729,3
B <sub>1</sub>	61,735	B <sub>4</sub>	493,88	B <sub>7</sub>	3951,1
C <sub>2</sub>	65,406	C <sub>5</sub>	523,25	C <sub>8</sub>	4186,0
	69,296		554,37		4434,9
D <sub>2</sub>	73,416	D <sub>5</sub>	587,33	D <sub>8</sub>	4698,6
	77,782		622,25		4978,0
E <sub>2</sub>	82,407	E <sub>5</sub>	659,26	E <sub>8</sub>	5274,0
F <sub>2</sub>	87,307	F <sub>5</sub>	698,46	F <sub>8</sub>	5587,7
	92,499		739,99		5919,9
G <sub>2</sub>	94,999	G <sub>5</sub>	783,99	G <sub>8</sub>	6271,9
	103,83		830,61		6644,9
A <sub>2</sub>	110,00	A <sub>5</sub>	880,00	A <sub>8</sub>	7040,0
	116,54		932,33		7458,6
B <sub>2</sub>	123,47	B <sub>5</sub>	987,77	B <sub>8</sub>	7902,1

Voorbeeld 3.14

Noot	Gelykswewende stemming (Hz)	Botoonreeks van C (Hz)	Frekwensieverskil (Hz)
C <sub>2</sub>	65,4	65,4	0
C <sub>3</sub>	130,8	130,8	0
G <sub>3</sub>	196,0	196,2	0,2
C <sub>4</sub>	261,6	261,6	0
E <sub>4</sub>	329,6	327,0	2,6
G <sub>4</sub>	392,0	392,4	0,4
B <sub>4</sub> -mol	466,1	457,8	8,3
C <sub>5</sub>	523,2	523,2	0
D <sub>5</sub>	587,3	588,6	1,3
E <sub>5</sub>	659,2	654,0	5,2
F <sub>5</sub> -kruis	739,9	719,4	20,5
G <sub>5</sub>	783,9	784,8	0,9
A <sub>5</sub>	880	850,2	29,8
B <sub>5</sub> -mol	932,3	915,6	16,7
B <sub>5</sub>	987,7	981,0	6,7
C <sub>6</sub>	1046,5	1046,4	0,1

### Voorbeeld 3.15

Slegs die C-oktawe, met uitsondering van C<sub>6</sub>, is verhoudingsmatig dieselfde. Frekwensieverskille van minder as ongeveer 10 Hz is egter so gering dat dit die gehoorwaarneming nie wesenlik beïnvloed nie. Die tone wat waarneembaar verskil, is F<sub>5</sub>-kruis, A<sub>5</sub> en B<sub>5</sub>-mol.

Om egter 'n norm te kry sodat die frekwensieverskille tussen die gelykswewende stemming en die botoonreeks vergelyk kan word, word algemeen van 'n musikale maateenheid, cents (c), gebruik gemaak. Dit word bereken volgens 'n formule

$$N = 3986,5 \log \frac{f_2}{f_1} ,$$

waar N die getal cents is en  $f_2 : f_1$  die intervalverhouding. In voorbeeld 3.16, word intervalverhoudings van verskillende intervale tussen die tone van die gelykswewende stemming en die natuurlike botoonreeks getabelleer. Die verhoudings word eers in Hertz en daarna in cents uitgedruk. Hierdie waardes geld vir intervale in enige frekwensiegebied en het dus nie net op die spesifieke toonhoogtes van voorbeeld 3.16 betrekking nie.

Interval	Note	Gelykswewende stemming (Hz)	Botoonreeks (Hz)	Gelykswewende stemming (c)	Botoonreeks (c)
Mineur tweede	B <sub>5</sub> -C <sub>6</sub>	1,0595	1,0666	100,1	111,7
Majeur tweede	C <sub>5</sub> -D <sub>5</sub>	1,1225	1,125	200,0	203,9
Mineur derde	E <sub>4</sub> -G <sub>4</sub>	1,1893	1,2000	300,1	315,6
Majeur derde	C <sub>4</sub> -E <sub>4</sub>	1,2599	1,2500	400,0	386,3
Rein vierde	G <sub>3</sub> -C <sub>4</sub>	1,3346	1,3333	499,8	498,0
Verminderde vyfde	E <sub>4</sub> -B <sub>4</sub> <sup>b</sup>	1,4141	1,4000	599,9	582,5
Rein vyfde	C <sub>3</sub> -G <sub>3</sub>	1,4984	1,5000	700,2	701,9
Mineur sesde	E <sub>4</sub> -C <sub>5</sub>	1,5873	1,6000	800,0	813,7
Majeur sesde	G <sub>3</sub> -E <sub>4</sub>	1,6816	1,6666	899,8	884,4
Mineur sewende	E <sub>4</sub> -D <sub>5</sub>	1,7818	1,8000	1000,0	1017,6
Majeur sewende	C <sub>5</sub> -D <sub>5</sub>	1,8878	1,8750	1100,1	1088,3
Oktaaf	C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>	2,0	2,0	1200,0	1200,0

### Voorbeeld 3.16

Die tabel toon dat die rein oktaaf, die vyfde en die vierde ooreenstem of feitlik ooreenstem by gelykswewende stemming en die botoonreeks. Alle ander intervale verskil en die grootste afwyking is by die majeure sewende.

Die intervale van die botoonreeks kom in die natuur voor en word telkens in die oor vasgelê wanneer natuurlike, musikale klanke gehoor word. Daarenteen is die intervale in gelyk=

swewende stemming teoreties bepaal en dus nie natuurlik nie. In die ondersoek na intervalwaarneming en in die besonder die verdraagsaamheidspan, sal hierdie verskille benut word om te bereken of die norm vir intervalgrootte deur die gelykswewende stemming, óf deur die botoonreeks bepaal word.

Die samestelling van musikale tone is kompleks en om dié rede is die waarneming van musiek 'n ingewikkelde proses wat nog geensins ten volle deurvors is nie.

#### BIBLIOGRAFIE

1. Backus, J. *The acoustical foundations of music*, p. 39
2. Rigden, J.S. *Physics and the sound of music*, p. 31
3. *Ibid.*, p. 50-1
4. Roederer, J.G. *Introduction to the physics and psychophysics of music*, p. 27
5. *Ibid.*, p. 29
6. Rigden *op. cit.*, p. 55
7. Backus *op. cit.*, p. 115
8. Rigden *op. cit.*, p. 56
9. Apel, W. *ed. Harvard dictionary of music*, p. 10
10. Backus *op. cit.*, p. 116
11. Institut für Neue Musik *Der Wandel ...* p. 54

#### 4. DIE ALGEMENE ANATOMIE EN FISIOLOGIE VAN DIE MENSLIKE GEHOOR

Die anatomie en fisiologie van die oor word oorsigtelik bespreek met die doel om die verskillende aspekte van klankgeleiding te verduidelik. Klank word deur verskillende media in die oor gelei, soos die vibrerende tympanum, die gehoorbeentjies, die vloeistof in die cochlea en die ouditiëse senuwees. Die klankgolwe in die lug word omskep in meganiese vibrasies van die tympanum en die gehoorbeentjies, lopende golwe in die vloeistofmedium van die cochlea en uiteindelik as elektriese impulse in die senuwees.

Aanvanklik word die anatomiese bou van die oor en die hoër ouditiëse weë bespreek en daarna die fisiologiese werking van die oor.

##### 4.1 Anatomie van die oor

Die oor bestaan uit die buite-, die middel- en die binne-oor. Elke deel vervul 'n onmisbare funksie in die ontvangs en oordrag van klankgolwe.

##### 4.1.1 Die buite-oor

Die buite-oor se mees laterale deel is die funksioneel-gevormde pinna, soos in die skets van voorbeeld 4.1 voorgestel. Dit vang klankgolwe op en konsentreer dit op die opening van die ouditiëse meatus. Die meatus eindig by die tympanum wat die skakel tussen die buite- en die middeloor is.

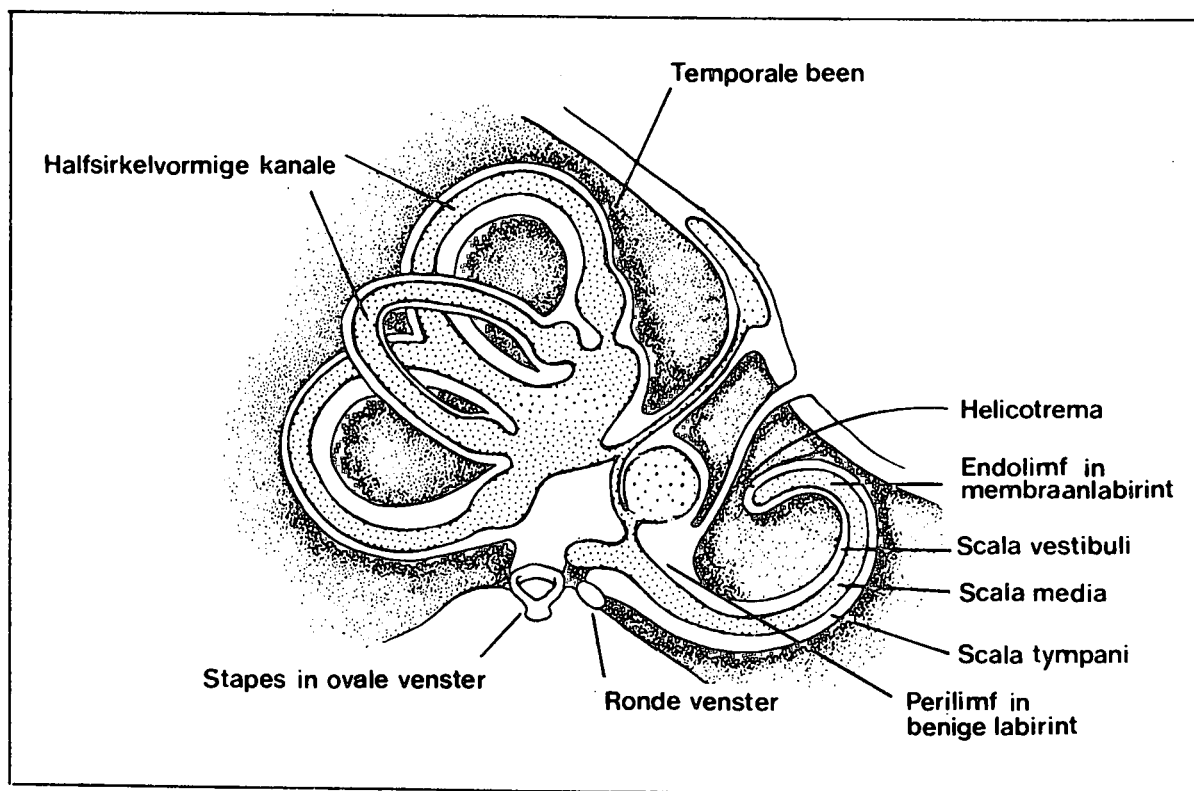
##### 4.1.2 Die middeloor

Dit is die gedeelte van die oor wat tussen die tympanum en die ovale venster geleë is. In die middeloor word die drie gehoorbeentjies in 'n lugmedium aangetref. Die malleus is



#### 4.1.3 Die binne-oor

Die binne-oor bestaan uit die cochlea en die drie halfsirkel-vormige kanale wat in die benige labirint gesetel is. Die drie halfsirkelvormige kanale is balansorgane en het geen gehoorfunksie nie. Die deel van die skedel wat die binne-oor beskerm, is die temporale been. In die skets van voorbeeld 4.2 word die cochlea vereenvoudigd voorgestel.<sup>2</sup> Dit is in werklikheid spiraalvormig met twee-en-'n-half windinge.



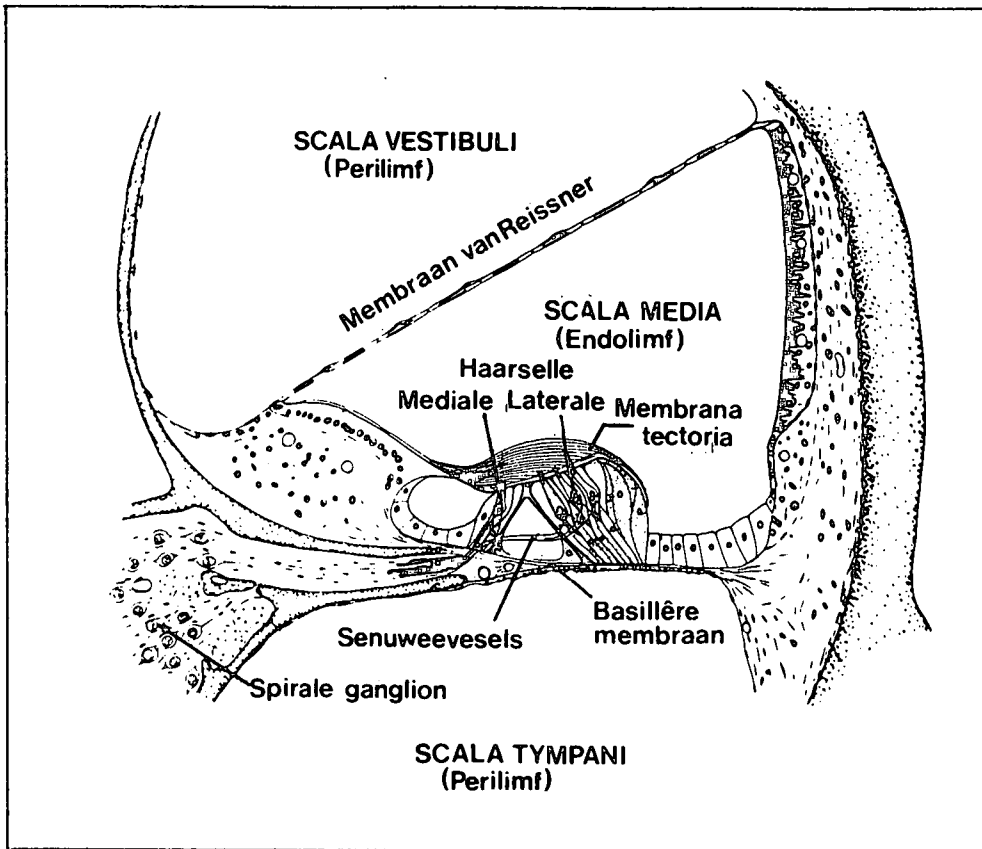
#### Voorbeeld 4.2

Die cochlea word lengtegewys deur twee membrane, die basilêre membraan en die membraan van Reissner verdeel in drie

kanale, naamlik die scala vestibuli, die scala media en die scala tympani. Die endolimf, dit is die vloeistof in die scala media, is van die ander twee kanale geïsoleer en vorm deel van die membraanlabirint wat in die benige labirint geleë is. Die scala vestibuli en scala tympani is met perilymf gevul. Die twee kanale is in die apeks van die cochlea deur 'n opening, die helicotrema, verbind. By die basaalpunt van die cochlea eindig die scala vestibuli teen die ovale venster en die scala tympani teen die ronde venster.

Op die basillêre membraan aan die kant van die scala media, word die Orgaan van Corti aangetref. Dit strek oor die hele lengte van die membraan en bevat die klankreseptoriese haarselle. Elke haarsel het ongeveer 20 cilie waarvan die punte in die membrana tectoria geheg is. Die haarselle verdeel in twee rye, naamlik 'n binneste of mediale ry en 'n buitenste of laterale ry. Daar is ongeveer 3 500 mediale en 20 000 laterale haarselle.<sup>3</sup> Die skets in voorbeeld 4.3 stel die bou van die cochlea in besonderhede voor.<sup>4</sup>

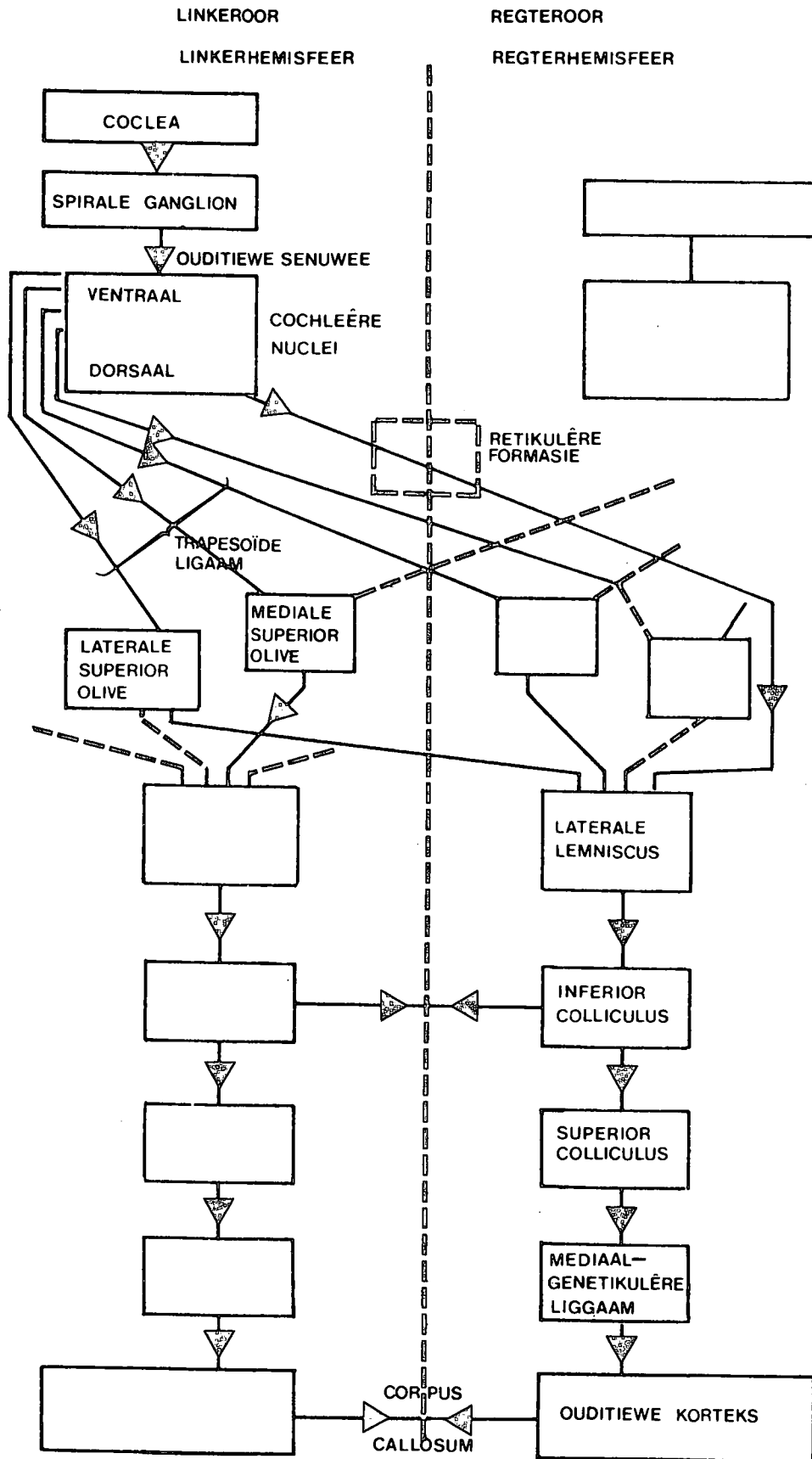
Die neurone in die haarselle vorm 'n senuweebundel, die spirale ganglion, wat beskerm word deur die modiulus, wat sentraal deurlopend in die cochlea is. Die spirale ganglion sluit by die ouditiewe senuwee, ook genoem die VIII ste kopsenuwee, aan. Dit lei na die cochleêre nuclei. Daar is ongeveer 28 000 senuweevesels in elke ouditiewe senuwee.<sup>5</sup> H. Davis het bevind dat een senuweevesel met twee tot vier mediale haarselle kontak maak, maar dat een vesel meer laterale haarselle bedien.<sup>6</sup> Die ouditiewe senuwee vorm deel van die perifêre senuwees en is dus nog nie deel van die brein nie.



#### Voorbeeld 4.3

##### 4.1.4 Die ouditiewe weg in die brein

Die ouditiewe senuwees dring die brein by die cochleêre nuclei, wat in die ventrale en dorsale nuclei verdeel word, binne. Uit die cochleêre nuclei vertak senuwees na die kontralaterale, sowel as die ipsilaterale kant van die brein, dit wil sê die klank wat byvoorbeeld deur die linkeroor ontvang is, soos voorgestel in voorbeeld 4.4, sal deels na die regterhemisfeer en deels na die linkerhemisfeer van die brein gelei word.<sup>7</sup> Die kontralaterale verbinding is egter die dominante.



Voorbeeld 4.4

Vanaf die cochleêre nuclei in die linkerhemisfeer van die brein lei drie hoofbundels senuwees. Een gaan na die regterhemisfeer en lei deur die retikulêre formasie na die laterale lemniscus. 'n Tweede lei na die laterale superior olive in die regterhemisfeer en die derde bundel, die Trapesoïede liggaam, is uit drie bundels saamgestel. Die bundels lei onderskeidelik na die mediale superior olive in die regterhemisfeer, die mediale superior olive in die linkerhemisfeer en die laterale superior olive in die linkerhemisfeer.

Verder vind klankgeleiding vanaf die laterale superior olive in die linkerhemisfeer na die laterale lemniscus in die regterhemisfeer plaas. Vanaf dié stadium word klank hoofsaaklik in die regterhemisfeer van die brein verwerk.

Vanaf die laterale lemniscus lei die ouditiewe weg deur die brein na die inferior colliculus, die superior colliculus, die mediaal-genetikulêre liggaam en die ouditiewe korteks. Daar is twee sterk senuweeverbindings tussen die linker- en regterhemisfere van die brein, naamlik tussen die inferior colliculi en die ouditiewe korteks. Laasgenoemde verbinding gaan deur die corpus callosum.

Na dié bespreking van die anatomie van die oor en die ouditiewe weg, word vervolgens funksies van die verskillende dele toegelig.

#### 4.2 Fisiologie van die oor

Ten einde die ingewikkelde gehoorprosesse te verstaan, is kennis van die werking van die verskillende dele van die oor noodsaaklik. Die bou en werking daarvan stel beperkings aan die waarneming van klankeienskappe, byvoorbeeld die gehoordrempels, omvang van waarneembare toonhoogte en verskillimens vir frekwensie. As gevolg van die besondere werking van die oor word klanke wat nie in die oorspronklike klank aanwesig was nie, in die oor opgewek. Dit staan bekend as subjektiewe tone.

Klankgeleiding in die buite-oor, middelloor, binne-oor, ouditiewe senuwees en die brein word vervolgens bespreek.

#### 4.2.1 Luggeleiding van klankgolwe in die buite-oor

Die ouditiewe meatus omsluit 'n lugkolom wat as resonator dien om klankgolwe na die tympanum te gelei. Golwe met 'n frekwensie tussen 3400 en 4000 Hz word optimaal gelei, omdat dit die natuurlike resonansiefrekwensie van die meatus en die tympanum is.<sup>8</sup> Tone van ander frekwensies sal nie heeltemal so effektief gelei word nie.

Klankgolwe laat die tympanum simpaties vibreer en die vibrasies in die lug word gevolglik in meganiese vibrasies van 'n membraan omskep. Aangesien die tympanum krities gedemp is, vibreer dit slegs solank dit deur aankomende klankgolwe gestimuleer word. Dit verseker dat opeenvolgende klanke afsonderlik waargeneem word en nie saamsmelt nie.

#### 4.2.2 Meganiese geleiding van klankgolwe in die middelloor

Vanaf die tympanum word klankgolwe deur die meganiese hefboomaksie van die gehoorbeentjies gelei. Die beentjies dra klank oor deur die een op die ander te klop. Die uitwyking van die beentjies word deur twee belangrike middelloorspiertjies beheer, naamlik die tensor tympani en die stapediusspiertjie. Die tensor tympani beheer die spanning van die tympanum en die stapediusspiertjie lig die voetstuk van die stapes uit die ovale venster en laat dit weer terug sak. Hierdeur word die klankgolwe op die perilimf van die binne-oor oorgedra.<sup>9</sup>

Volgens H.S. Meij bestaan daar twee teorieë oor die aard van klankgeleiding in die middelloor.<sup>10</sup> Die eerste stel dit dat die gehoorbeentjies klankgolwe versterk om die ovale venster genoegsaam te stimuleer ten einde te verseker dat klankoordrag plaasvind. Die tympanum se oppervlak

is ongeveer  $64 \text{ mm}^2$  teenoor die veel kleiner  $3,2 \text{ mm}^2$  van die ovale venster. Die krag per oppervlakeenheid word vyftien- tot twintigvoudig deur die hefboomaksie van die beentjies versterk. Dit verseker dat die klankdruk van die binne-oor min of meer ooreenstem met dié by die tympanum.

Die tweede teorie skryf sowel versterkende as verswakkende funksies aan die gehoorbeentjies toe. Lae frekwensies, soos dié van geraas, word verswak en hoër frekwensies, veral dié in die spraakgebied, word versterk. Dit verseker dat die oor teen skadelike geraas beskerm en dat spraak optimaal waargeneem word.

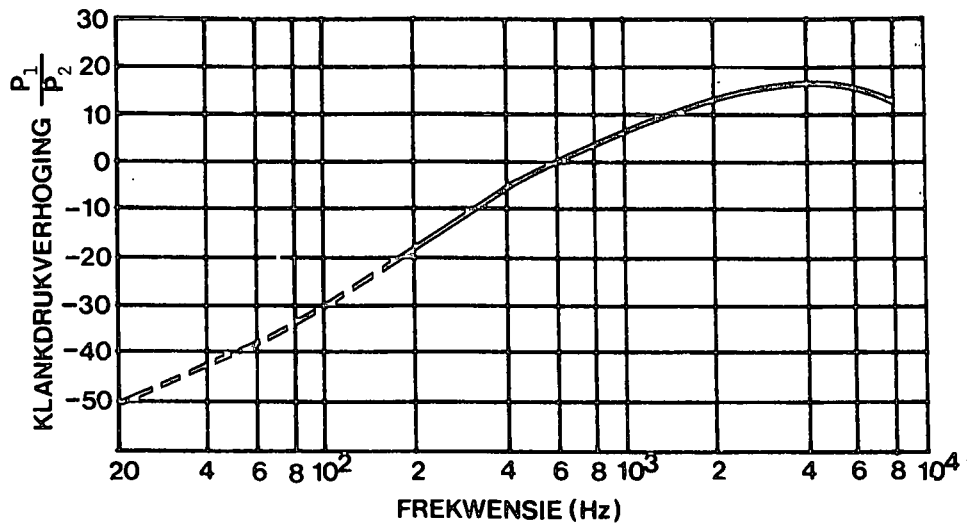
G.F. von Békésy het in 1949 eksperimente uitgevoer waarin hy die invloed van die middelloor op klankdruk bepaal het deur die verhouding van die klankdruk by die tympanum ( $P_1$ ) tot die vloeistofdruk in die binne-oor ( $P_2$ ) te neem.  $P_2$  is bereken deur die verhouding van die druk in die vloeistof net agter die ovale venster tot dié by die ronde venster. Die resultate word in die grafiek van voorbeeld 4.5 gegee.<sup>11</sup>

Die klankdrukverhoging, bereken volgens die formule

$$20 \log \frac{P_2}{P_1}$$

met die o-lyn =  $1 \text{ dyne/cm}^2$ , word op die ordinaat aangedui. Alle positiewe getalle dui op klankdrukverhoging en negatiewe getalle op klankdrukverlaging. Die frekwensies word op die absissa aangedui. Dié dele van die kurwe wat stippellyne is, stel 'n gebied voor waarvan daar nie ten volle sekerheid oor die resultate is nie.

Uit die grafiek kan afgelei word dat die middelloor frekwensies onder 650 Hz verswak en dié daarbo versterk. Die frekwensiegebied van spraak, fundamentele tone en botone



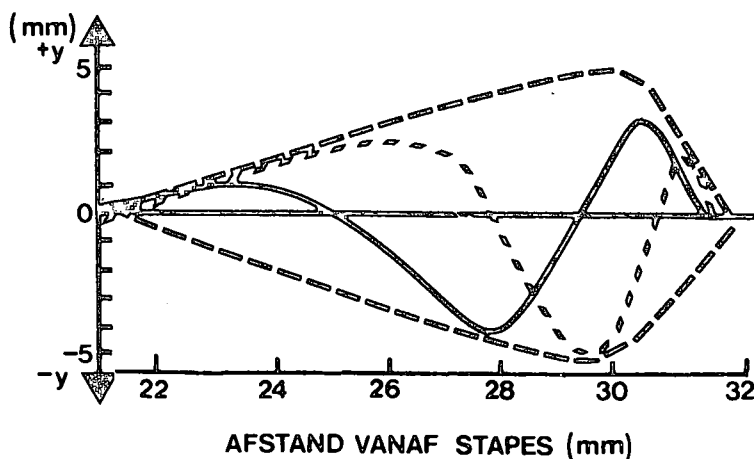
#### Voorbeeld 4.5

ingesluit, lê vanaf 300 tot 3000 Hz.<sup>12</sup> Gevolglik word die meeste spraakfrekwensies versterk.

#### 4.2.3 Klankgeleiding in die vloeistofmedium van die binne-oor

As gevolg van die vibrasie van die stapes se voetstuk in die ovale venster, word lopende golwe in die perilimf van die scala vestibuli veroorsaak. Dit beweeg deur die scala vestibuli, oor die basillêre membraan en deur die helicotrema tot by die ronde venster. Die skets in voorbeeld 4.6 stel 'n lopende golf voor.<sup>13</sup>

Die soliede lyn is 'n voorstelling van die golf op 'n sekere tydstip en die kort stippellyne toon dit op 'n latere stadium, dit wil sê as die golf al verder vanaf die stapes in die cochlea langs beweeg het. Wanneer 'n golfomlyning, dit is 'n verbinding van die hoogtepunte van die golf soos dit voortplant, getrek word, kan die punt waar die maksimale amplitude bereik word, duidelik gesien word. Dit word deur



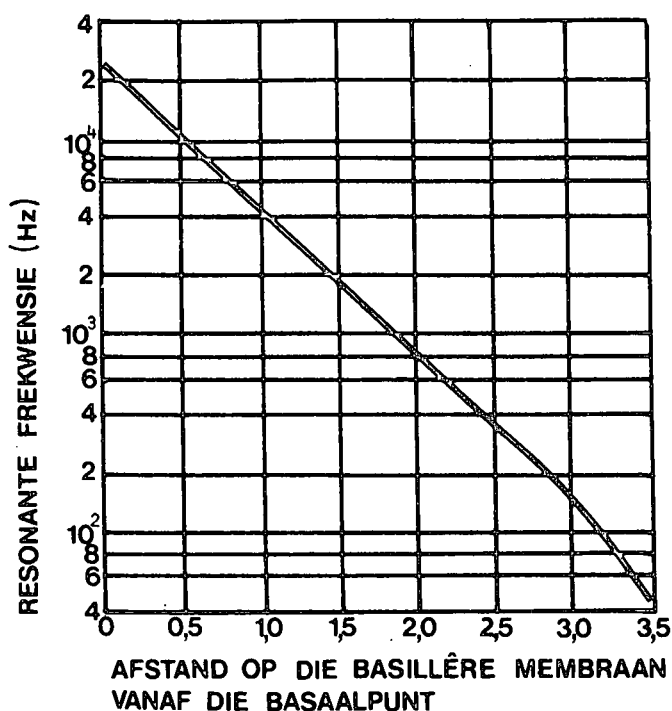
#### Voorbeeld 4.6

die lang stippellyne in voorbeeld 4.6, voorgestel en die hoogste punt is tussen 28 en 30 mm vanaf die stapes geleë. Op hierdie plek vind die maksimale uitwyking van die basillêre membraan in die rigting van die scala tympani plaas. Die membraan funksioneer volgens die resonansiebeginsel, dit wil sê sekere areas op die membraan reageer simpaties op bepaalde frekwensies. Dit veroorsaak maksimale uitwyking van daardie deel van die membraan.

Die resonansie-areas vir verskillende frekwensies op die basillêre membraan is deur Von Békésy, soos in die grafiek van voorbeeld 4.7, bepaal.<sup>14</sup>

Die afstand van die resonansie-area vanaf die basaalpunt word in millimeter aangedui en die frekwensies waarmee die areas resoneer, word op die ordinaat getoon. Die hoogste frekwensies resoneer by die basaalpunt en die laagste by die apeks van die cochlea.

Hoewel Von Békésy se grafiek dit nie presies so voorstel nie, is die mens in staat om frekwensies van 20 tot 20 000 Hz



#### Voorbeeld 4.7

waar te neem.<sup>15</sup> Binne hierdie groot omvang kan geringe frekwensieverskille onderskei word. Die membraan self is 'n uitermate drukgevoelige vlies.

Die teorie van resonansie-areas op die basillêre membraan wat die frekwensies van tone verteenwoordig, word die plekteorie van die gehoor genoem. Dit is 'n belangrike teorie, maar is slegs 'n deel van die volledige gehoorteorie.

Die plekteorie bied ook 'n verklaring vir die waarneming van komplekse tone. Komplekse golwe beweeg as een golf deur die cochlea, maar elke botoon veroorsaak maksimale uitwyking op 'n afsonderlike plek op die basillêre membraan, dit is die resonansie-area van daardie botoon, soos vir 'n sinustoon van dieselfde frekwensie. Gevolglik veroorsaak 'n komplekse golf verskeie, gelyktydige uitwykings op die membraan. Die golf word dus vir die eerste keer in sy samestellende tone geanaliseer.

'n Verdere stadium van klankgeleiding in die binne-oor behels die opwekking van elektriese potensiale in die haarselle. Dit ontstaan weens die beweging van die basillêre membraan en die membrana tectoria ten opsigte van mekaar. Die potensiale wat opgewek word, gee volgens W.F. Ganong 'n presiese weergawe van die oorspronklike klank se golfpatroon.<sup>16</sup> Die haarselle genereer 'n elektriese impuls wat met die ouditiewe senuwees na die brein gelei word.

D.M.C. Dallos wys daarop dat die mediale en laterale haarselle verskillende funksies het. Die mediale haarselle reageer hoofsaaklik op die bewegingspoed van die basillêre membraan en die laterale haarselle op die amplitude van die membraan se uitwyking.<sup>17</sup> Die funksies van die verskillende tipes haarselle kan moontlik lig werp op die sonderlinge vermoë van die menslike gehoor om klankeienskappe, soos golf fases en golfpatrone waar te neem.

Afgesien van die analitiese funksies van die binne-oor, vind 'n ander proses ook daar plaas, naamlik die opwekking van kombinasietone. Dié subjektiewe tone se oorsprong is vir 'n geruime tyd aan die middelloor toegeskryf. R. Plomp het egter bewys dat dit nie die geval is nie en beweer dat kombinasietone weens die hidrodinamiese prosesse in die cochlea ontstaan.<sup>18</sup> Hoe dit presies plaasvind, is egter onduidelik.

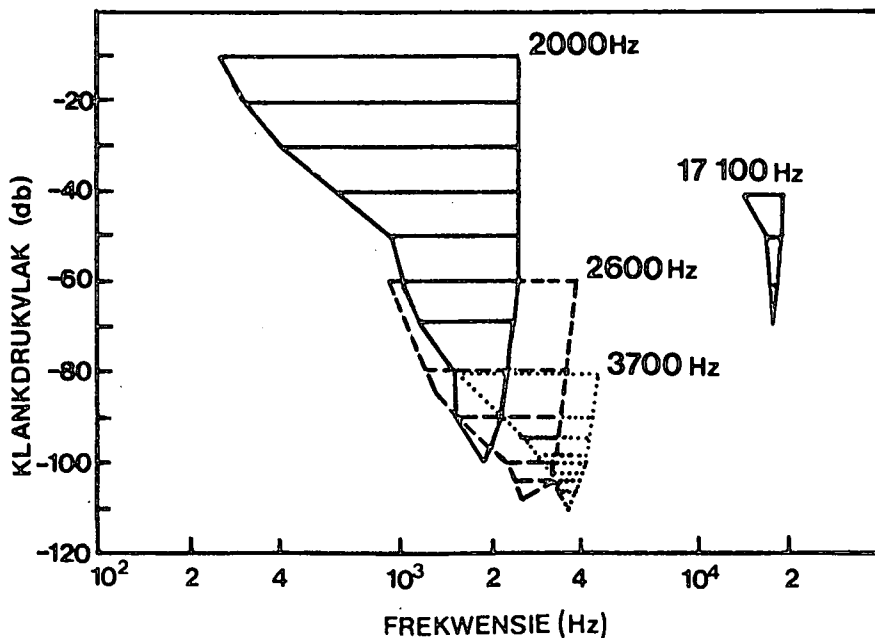
Belangrike prosesse van klankgeleiding vind dus in die binne-oor plaas. Golwe in die vloeistof wek elektriese potensiale in die haarselle op en dit veroorsaak elektriese impulse in die laaste medium van geleiding, naamlik in die ouditiewe weë.

#### 4.2.4 Klankgeleiding in die senuwees

Elektriese impulse in die ouditiewe senuwees dra inligting aangaande die frekwensie, sowel as van die klankdruk van

klanke. Die frekwensie word deur die plek op die basillêre membraan waarby die senuwees aansluit, bepaal en die klankdruk deur die spoed waarteen 'n senuweevesel vuur. Laasgenoemde begrip verteenwoordig die *tydteorie* van die gehoor. Die *plek-tydteorie* word algemeen as 'n sinvolle gehoorteorie aanvaar.

H. Davis en R. Galambos se navorsing het aangetoon dat elke senuweevesel 'n bepaalde *drempelwaarde* het, dit is die laagste klankdrukvlak waarteen die vesel vuur.<sup>19</sup> By drempelwaarde reageer elke vesel slegs op een frekwensie, maar wanneer die klankdrukvlak verhoog word, is dit in staat om op meer as een frekwensie te reageer. In die grafiek van voorbeeld 4.8 word 'n voorstelling van die reaksie van vier vesels in 'n kat se oor gegee om hierdie beginsel mee te illustreer.<sup>20</sup>



Voorbeeld 4.8

Aangesien die kat se gehoor soveel sensitiewer as dié van die mens is, lê die desibelwaardes onder die 0-db-klankdrukvlak van die normale menslike gehoor. Die vesels reageer by drempelwaarde onderskeidelik op 2000, 2600, 3700 en 17100 Hz. Met toenemende klankdrukvlak brei die frekwensiegebied waarop die vesels reageer na veral laer frekwensies uit.

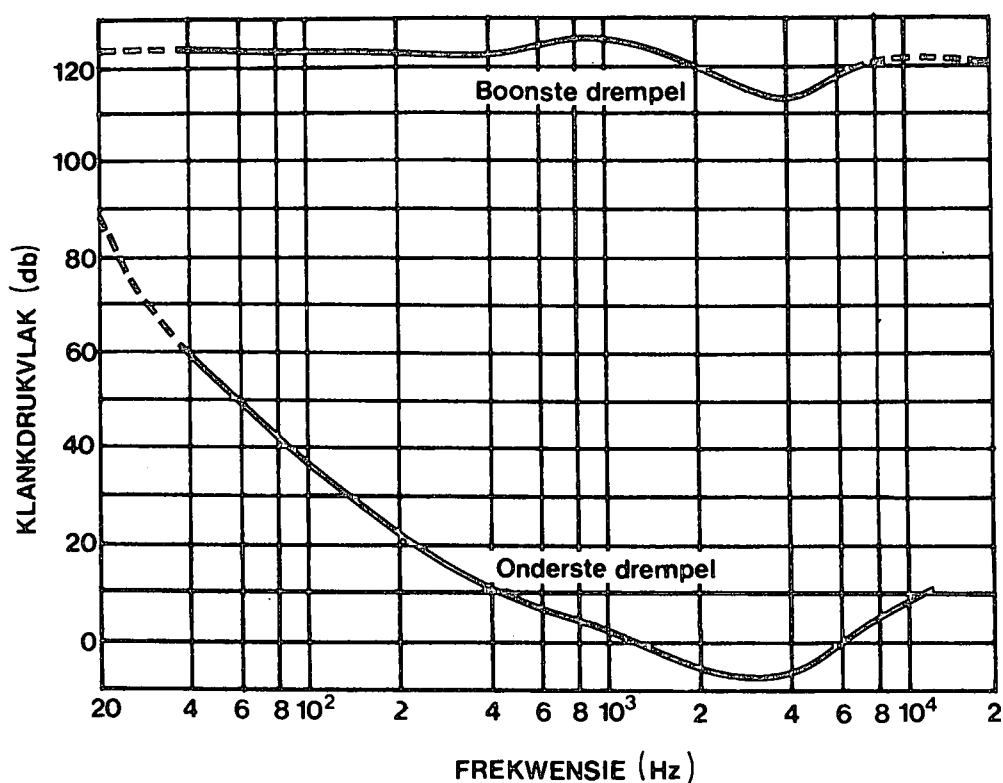
Wanneer alle senuweevesels maksimaal vuur, word die *boonste gehoordrempel* bereik. Die *onderste drempel* is waar die vesel wat op die stimilusfrekwensie reageer, minimaal vuur. Tussen hierdie twee drempels as uiterstes lê al die frekwensies in verhouding tot die klankdrukvlak wat 'n persoon kan hoor, bekend as die *gehoorveld*.

Hoewel die drempels van persoon tot persoon verskil, het L.J. Sivian en S.D. White in die dertigerjare 'n algemene norm vir jong, normale ore bepaal. Hulle resultate is statisties tot die waardes in die grafiek van voorbeeld 4.9 bereken.<sup>21</sup>

Die gehoorveld, dit wil sê die hele spektrum van hoorbare klank, word deur die gestrepte gedeelte aangedui. Die boonste gehoordrempel lê dus by ongeveer 120 db-klankdrukvlak, terwyl die onderste gehoordrempel tussen 90 tot ongeveer -10 db wissel. Die gehoor is die sensitiefste tussen 2000 en 4000 Hz.

In die brein word al die inligting wat in die senuwee-impulse vervat is, verwerk en geïnterpreteer. Daarom is dit nodig om ten slotte na die funksies van die dele van die brein wat ook deel uitmaak van die ouditiewe weë te kyk.

Die vroegste verwerking, soos aangedui in voorbeeld 4.4, vind plaas waar die ouditiewe senuwee die brein binnedring, dit is by die cochleêre nuclei. Hier vind toonhoogtediskriminasie van die verskillende klanke plaas. Die retikulêre formasie kan as 'n skakelbord vir impulse wat na die



Voorbeeld 4.9

brein gaan, beskou word en wat dit inhibeer of aktiveer. Aansluitend hierby is die mediale superior olive die eerste punt in die ouditiewe weg waar die inligting van beide ore vergelyk word om onder andere die rigting van klank te bepaal. Dit funksioneer dus as die sogenaamde kruiskorreleerder.

Sortering van die toonhoogte en luidheid van klank vind in die inferior colliculus plaas, hoewel daar op hierdie stadium nog geen sprake van bewustelike waarneming is nie. Die inferior colliculus is ook in verbinding met die motoriese refleksie. Sommige sensuëes, daarenteen, gaan deur die superior colliculus, waar die optiese sensuëes aanwesig is.

In die mediaal-genetikulêre liggaam vind identifisering van die golfpatroon plaas en word inligting vanaf verskeie sin-

tuie vergelyk. Eers in die ouditiewe korteks vind integrasie en interpretasie van klank deur bewustelike waarneming plaas. Daarvandaan word die inligting na verskeie breinsentra gelei waar dit geanaliseer, geïntegreer en geberg word.

Ten slotte tree die corpus callosum as 'n belangrike skakel op tussen die breinhelftes om, soos nodig, 'n globale beeld te verkry deur inligting van die twee hemisfere te korreleer en te berg.<sup>22</sup>

In hierdie hoofstuk is die basiese funksies van die oor vanaf die buite-oor tot en met die ouditiewe weg in die brein bespreek, ten einde 'n beeld van klankgeleiding te verkry. Dit verskaf 'n basis vir die gedetailleerde ondersoek na klankwaarneming en in besonder toonhoogtewaarneming.

#### BIBLIOGRAFIE

1. Stevens, S.S. and Warshofsky, F. *Sound and hearing ...* p. 39
2. Ganong, W.F. *Review of medical physiology*, p. 107
3. *Ibid.*
4. *Ibid.*, p. 108
5. *Ibid.*, p. 109
6. Davis, H. *Advances in the neurophysiology ...* p. 1377
7. Roederer, J.G. *Introduction to the physics and psychophysics of music*, p. 59
8. Meij, H.S. *Die oor: gehoor en ewewig ...* p. 15.2  
(buitengewone paginering)
9. Ganong *op. cit.*, p. 112
10. Meij *op. cit.*, p. 15.3-15.4
11. Fletcher, H. *Speech and hearing in communication*, p. 232
12. Stevens, K.N. and House, A.S. *Speech perception ...* p. 22
13. Ganong *op. cit.*, p. 112

14. Fletcher *op. cit.*, p. 240
15. Ganong *op. cit.*, p. 111
16. Ganong *op. cit.*, p. 14
17. Roederer *op. cit.*, p. 45
18. Plomp, R. *Detectability threshold ...*, p. 1110
19. Ganong *op. cit.*, p. 114
20. *Ibid.*
21. Fletcher *op. cit.*, p. 134
22. Roederer *op. cit.*, p. 59

## 5. KLANKANALISE, KLANKSINTESE EN KLANKINTERPRETASIE IN DIE GEHOORSISTEEM

Die verwerking van klank in die gehoorsisteem kan in drie fases verdeel word, naamlik dié van (1) analise, (2) sintese en (3) interpretasie. Elk van hierdie prosesse word in 'n afsonderlike deel van die sisteem uitgevoer en is onontbeerlik vir maksimale kennis van die waargenome klank.

In hierdie hoofstuk word die verskillende prosesse en die invloed wat dit op klankwaarneming het, bespreek. Die doel is om hierdie kennis in die volgende hoofstuk, op naamlik die toonhoogtewaarneming van musiek, toe te pas.

### 5.1 Klankanalise in die binne-oor

Klankanalise vind op die basillêre membraan in die binne-oor plaas. Die oor is in die besonder 'n gespesialiseerde frekwensie-analiseerder wat 'n Fourier-analise van 'n komplekse toon kan uitvoer en tussen die verskillende frekwensies kan diskrimineer. Vir elke sinustoon van 'n bepaalde frekwensie word 'n spesifieke resonansie-area op die basillêre membraan gestimuleer. Vanweë die besondere klein afmetings van die membraan oorvleuel die resonansie-areas soms met die gevolg dat nuwe-effekte, soos byvoorbeeld swewinge of kombinasietone, ontstaan. Die oor se vermoëns as analiseerder is wel beperk.

#### 5.1.1 Analise van 'n sinustoon

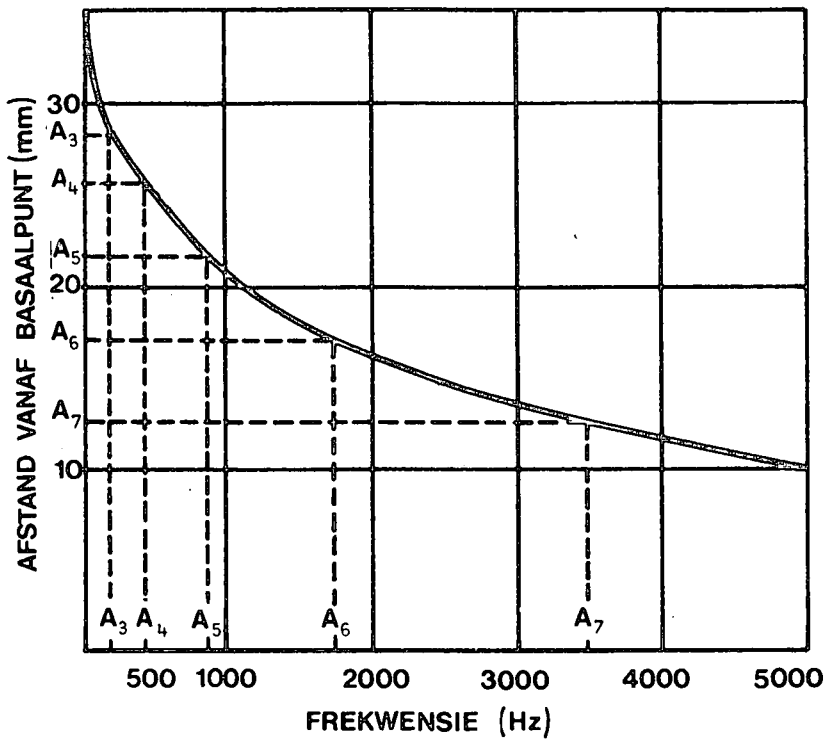
##### 5.1.1.1 Analise van 'n sinustoon, insluitende subjektiewe botone

Omdat 'n sinustoon die eenvoudigste moontlike musikale sein is wat die oor kan stimuleer, sal die basillêre membraan dit in slegs twee parameters analiseer, naamlik die frekwensie vir die toonhoogte en die amplitude vir die luidheid.

'n Sinustoon van 'n bepaalde frekwensie sal slegs 'n bepaalde deel van die basillêre membraan maksimaal laat vibreer. Derhalwe is die frekwensie van 'n noot afhanklik van die resonante vibrasie van 'n bepaalde deel van die basillêre membraan. Vir elke frekwensie het die membraan dus 'n bepaalde gebied van maksimale sensitiwiteit, bekend as die resonansie-area. Lae frekwensies lê nader aan die apeks teenoor hoë frekwensies wat weer nader aan die ovale venster lê. Die ruimtelike posisie (A) op die basillêre membraan met sy ooreenstemmende haarselle en neurons bepaal die primêre sensasie van toonhoogte.

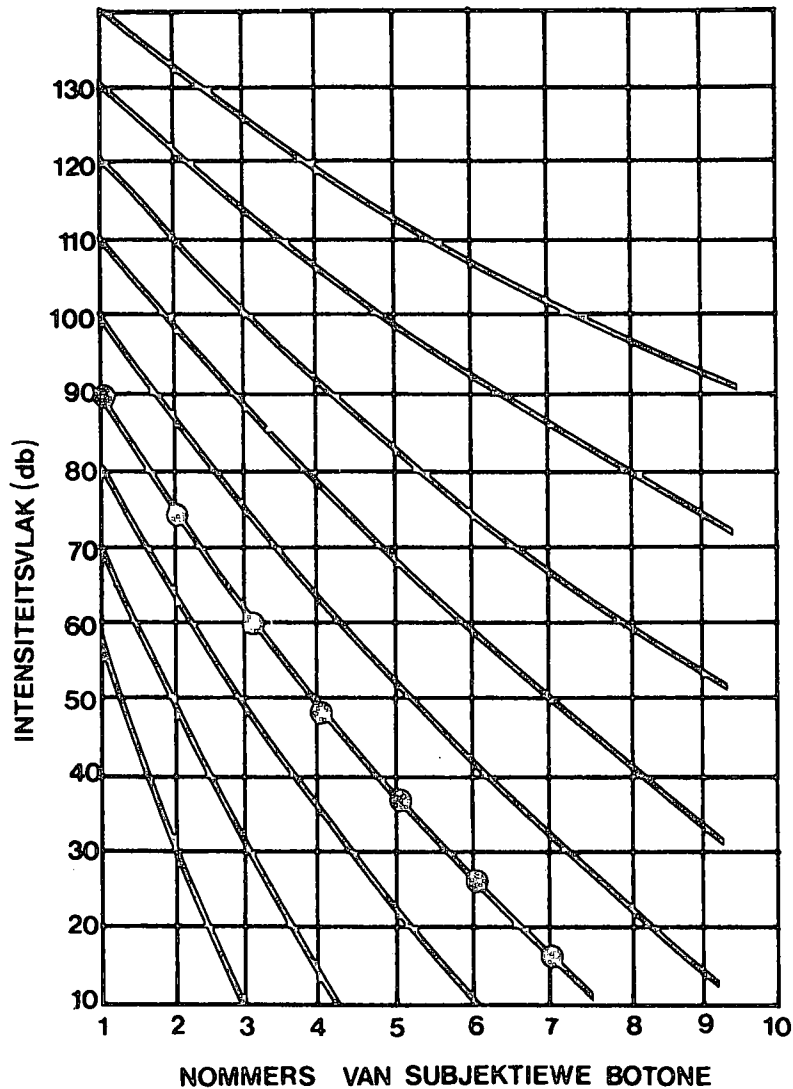
In voorbeeld 5.1 kan gesien word hoe die posisies wissel met verskillende frekwensies aangedui as  $A_3$  tot  $A_7$ , bereken vanaf die area van maksimale sensitiwiteit.<sup>1</sup> Vir musiek lê die belangrikste resonansie-area tussen 20 tot 4000 Hz, wat ongeveer twee-derdes (12-35 mm) van die membraan dek. Die res van die frekwensieskaal, naamlik 4000 tot 20000 Hz, word ingeperk in die oorblywende derde wat nie in die skets aangedui is nie. Indien die frekwensie van 'n noot egter verdubbel as  $A_3$ - $A_4$ ,  $A_4$ - $A_5$ ...  $A_5$ - $A_7$ , met ander woorde as die toonhoogte 'n oktaaf spring, verplaas die resonansie-area slegs ongeveer 3,5 tot 4 mm ongeag of die frekwensiesprong vanaf 220 tot 440 Hz ( $A_3$ - $A_4$ ) of vanaf 1760 tot 3520 Hz ( $A_6$ - $A_7$ ) is. Toonhoogteverskille is dus afhanklik van die frekwensieverhouding en nie die verskil daartussen nie. Dit is dus 'n logaritmiëse verhouding.

Wanneer 'n sinustoon egter 'n sensasievlak van ongeveer 40 db oorskrei, word *subjektiewe botone* in die binne-oor opgewek as gevolg van nie-lineariteit. Hierdie botone word op die basillêre membraan geregistreer as resonansie-areas waarvan die frekwensies met dié van die botone ooreenstem. Soos gewone botone is die frekwensies van subjektiewe botone ook veelvoude van die frekwensie van die oorspronklike sinustoon.<sup>2</sup>



### Voorbeeld 5.1

H. Fletcher het 'n grafiek saamgestel, gebaseer op gegewens van Graham, waarin die intensiteitsvlakke van die verskillende botone in verhouding tot dié van die oorspronklike sinustoon gegee word.<sup>3</sup> Die intensiteitsvlakke van die subjektiewe botone vir die sinustoon se verskillende intensiteitsvlakke kan van die grafiek in voorbeeld 5.2 afgelees word. Laasgenoemde word vanaf die ordinaat bepaal, terwyl die botone op die kurwe daarteenoor lê. Hierdie waardes geld vir alle frekwensies. 'n Toon van 65 Hz (=C<sub>2</sub>) met 'n intensiteitsvlak van 90 db sal dus subjektiewe botone 131 Hz (=C<sub>3</sub>) teen 75 db, 196 Hz (=G<sub>3</sub>) teen 60 db, 262 Hz (=C<sub>4</sub>) teen 48 db, 330 Hz (=E<sub>4</sub>) teen 38 db, 392 Hz (=G<sub>4</sub>) teen 27 db en 466 Hz (=B<sub>4</sub>-mol) teen 16 db hê, soos aangedui deur die kringetjies.



### Voorbeeld 5.2

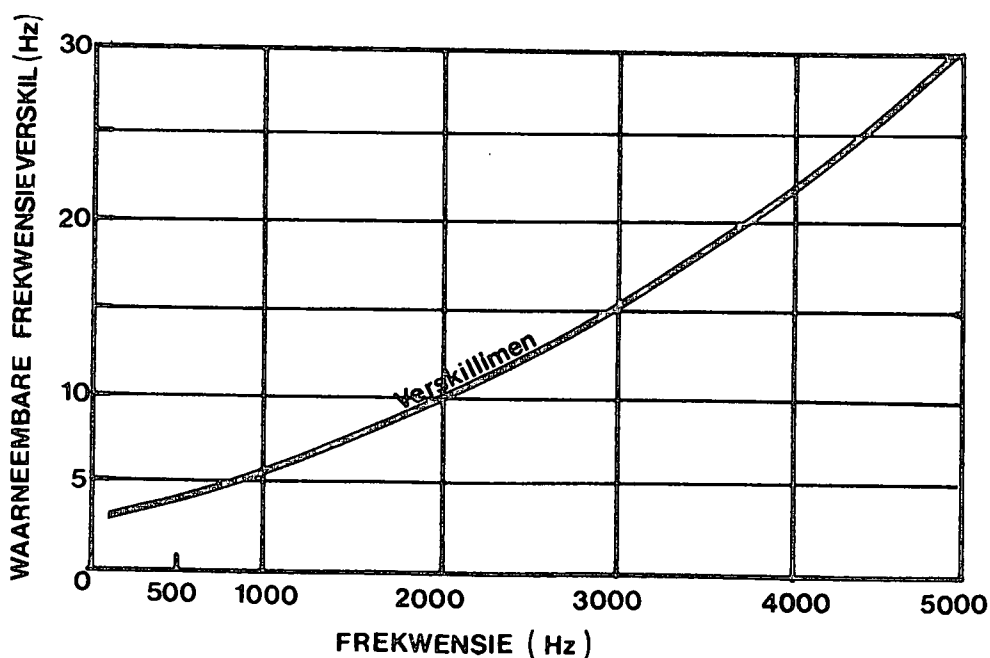
#### 5.1.1.2 Analise van 'n sinustoon met wisselende frekwensie

Navorsers is reeds 'n geruime tyd besig om die kleinste waarneembare frekwensieverskil, ook bekend as die verskil-limens van frekwensie, te bepaal wat die oor as analiseerder kan waarneem van 'n geleidelik stygende of dalende sinus-toon. So 'n geleidelik stygende of dalende toon staan in

die fisika bekend as 'n gemoduleerde toon en in die musiek as 'n glissando.

Reeds in die dertigerjare is belangrike navorsing oor die verskillimens deur R.M. Showers en R. Biddulph<sup>4</sup> onderneem, hoewel die resultate wat E.G. Zwicker, G. Flottorp e.a., in 1957 verkry het as die belangrikste beskou word.<sup>5</sup>

In belangrike navorsing wat Zwicker en sy medewerkers onderneem het, het hulle van 'n geleidelik stygende of dalende sinustoon teen 'n konstante intensiteit van 80 db gebruik gemaak. Die resultate verkry, toon soos grafies in voorbeeld 5.3 aangedui, die gemiddelde waardes vir die verskillimens teen verskillende frekwensies bereken vir 'n groot aantal persone.



### Voorbeeld 5.3

Hieruit kan afgelei word dat die kleinste waarneembare frekwensieverskil vir 'n modulerende sinustoon van 3000 Hz,

vir 'n persoon met normale gehoor 15 Hz sal wees. Dit wil sê, die oor sal die vroegste 'n verskil waarneem laer as 2985 Hz of hoër as 3015 Hz, waar 15 Hz die verskillimen aandui. Die analiserende vermoë van die oor ten opsigte van frekwensieverskille vir een modulerende sein is die sensitiefste by ongeveer 2000 Hz. Onder 700 Hz neem dit af. 'n Toon van 2000 Hz wat met minder as 10 Hz styg of daal, sal deur die meeste mense as 'n onveranderde toon waargeneem word.

Uit hierdie en ander navorsingsresultate oor die oor se vermoë om die kleinste waarneembare frekwensieverskil van 'n modulerende sinustoon te analiseer, blyk dit dat dit afhanklik is van verskillende eksperimentele faktore waarvan die belangrikste die (1) toonduure van die sein, (2) intensiteit, (3) frekwensie, en (4) die wyse van aanbieding is.

Dit is bevind dat die volgende faktore 'n invloed op die waarnemingsvermoë van 'n mens vir die verskillimen uitoefen:

- (1) Toonduurte. Indien die sein korter as een tiende van 'n sekonde is, neem die kritiese oordeelsvermoë van 'n persoon skerp af met dalende toonhoogte.
- (2) Intensiteit. Hoewel Roederer<sup>6</sup> enige invloed deur wisselende intensiteite in die waarneming van die verskillimen ontken, is H. Fletcher<sup>7</sup> daarvan oortuig dat die luidheid van die seine die grootte van die verskillimins beïnvloed. Teen 'n hoër intensiteit sal meer frekwensies binne dieselfde omvang onderskei kan word.
- (3) Frekwensie. Die grootte van die verskillimins wissel aansienlik met frekwensie, soos aangedui in die grafiek van voorbeeld 5.3. By 5000 Hz is die verskillimen ongeveer 30 Hz, by 4000 Hz weer 24 Hz, maar by 500 Hz ongeveer 7 Hz.

- (4) Metode van aanbieding. Die wyse waarop die seine aangebied word, hetsy as 'n geleidelik stygende of dalende glissando, óf met skielike frekwensieveranderinge, soos in spronge, sal die resultate drasties beïnvloed. A. Rakowski het bevind dat die verskillimens tot dertig keer kleiner as dié van eersgenoemde kan wees.<sup>8</sup>

Waarneming van die verskillimens wissel aansienlik van persoon tot persoon. Roederer is egter daarvan oortuig dat hierdie onderskeidingsvermoë ten nouste met musikale opvoeding saamhang en met oefening ontwikkel kan word.<sup>9</sup> In 'n eksperiment deur K. Clifford en ander medewerkers, is bepaal dat 'n persoon se waarnemingsvermoë ten opsigte van die verskillimens met ouderdom en met musikale onderrig verbeter.<sup>10</sup> Gevolglik is die oor se vermoë om frekwensies te analiseer waarskynlik nie net van die fisiologie en neurologie van die oor afhanklik nie, maar ook van leerfaktore. Sommige persone leer om die fisiologiese potensiaal van die oor maksimaal te benut.

#### 5.1.2 Analise van twee sameklinkende sinustone

##### 5.1.2.1 Frekwensiediskriminasie en objektiewe swewinge

Die term frekwensiediskriminasie dui op die analiserende vermoë van die oor in die waarneming van die frekwensieverkil tussen twee sameklinkende sinustone. Hierdie begrip moet onderskei word van verskillimens, wat die waarneming van die frekwensieverkil by een modulerende sinustoon is, teenoor toonhoogtediskriminasie wat die waarneming van die frekwensieverkil van komplekse tone is en wat later bespreek sal word.

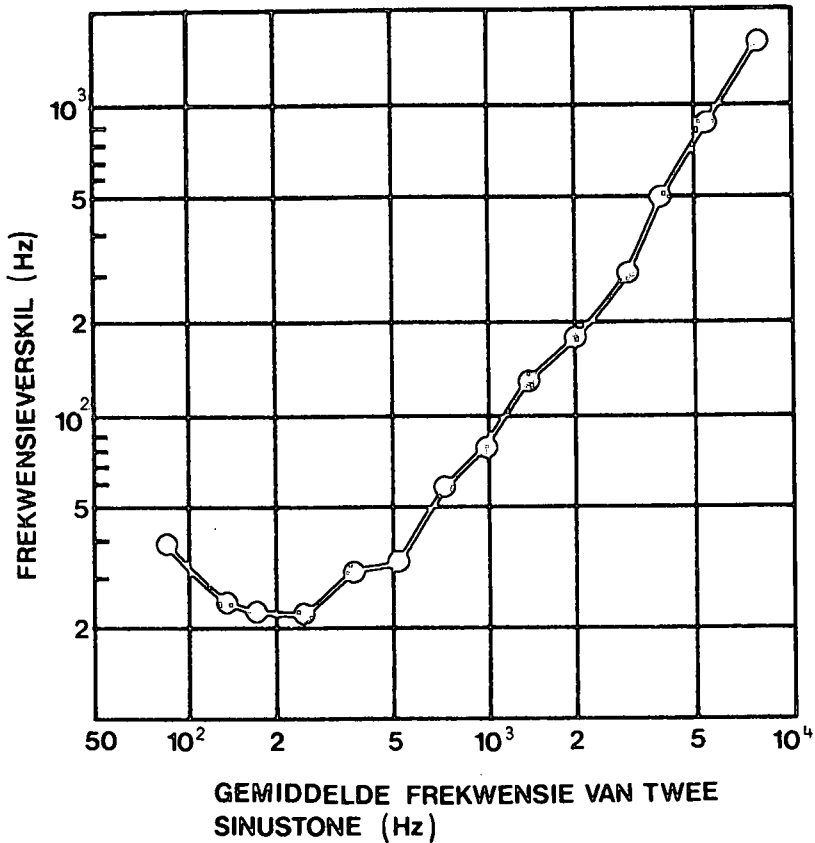
Twee sameklinkende sinustone sal eers as twee aparte tone waargeneem kan word indien hulle frekwensies 'n sekere waarde oorskrei.

Wanneer twee sinustone presies dieselfde frekwensie het, word hulle as een toon met versterkte luidheid waargeneem. Indien hulle frekwensieverskil geleidelik vergroot word, dit wil sê indien een toon konstant gehou word en die ander moduleer, word binne sekere waardes die tone as een noot waargeneem wat die gemiddelde van die twee tone se frekwensies is. Dit is die geval in die algemeenste singgebied rondom 440 Hz waar die modulerende frekwensie nie kleiner as 425 of groter as 455 Hz is nie en  $\Delta f$  dus  $\leq 15$  Hz is.

Die resonansiepatroon wat op die basillêre membraan gevorm word, sal in dié geval dieselfde eienskappe toon as die golfpatroon wat op die tympanum oorgedra is, naamlik 'n klankgolf met modulerende amplitude.<sup>11</sup> Hierdie swewinge, bekend as *objektiewe swewinge* omdat dit in die oorspronklike klank aanwesig is, is gelyk aan die verskil tussen die frekwensies indien dit nie 15 Hz oorskrei nie. As die eerste sein ( $f_1$ ) dus 440 Hz is en die tweede ( $f_2$ ) 445 Hz, is die verskil 5Hz en sal vyf swewinge per sekonde waargeneem word. Bokant 15 swewinge per sekonde is die sensasie te vinnig en kan die oor dit nie meer onderskei nie. Gevolglik word dit as 'n growwe kwaliteit waargeneem. Wanneer die frekwensieverskil nog verder vergroot, is die grens van frekwensiediskriminasie bereik en sal twee aparte tone waargeneem word. Die resonansie-areas op die basillêre membraan is dan genoegsaam geskei sodat twee verskillende tone waargeneem kan word.

Die belangrikste eksperiment vir die bepaling van die grense van frekwensiediskriminasie is in 1964 deur R. Plomp uitgevoer.<sup>12</sup> Sy resultate word in die grafiek van voorbeeld 5.4 aangedui.

Die waardes word bereken volgens die gemiddelde frekwensie van die twee sinustone waartussen gediskrimineer moet word teenoor die frekwensieverskil wat nodig is om die tone te onderskei. Twee sinustone met 'n gemiddelde frekwensie van



#### Voorbeeld 5.4

1000 Hz word byvoorbeeld onderskei wanneer hulle frekwensieverskil 80 Hz is.

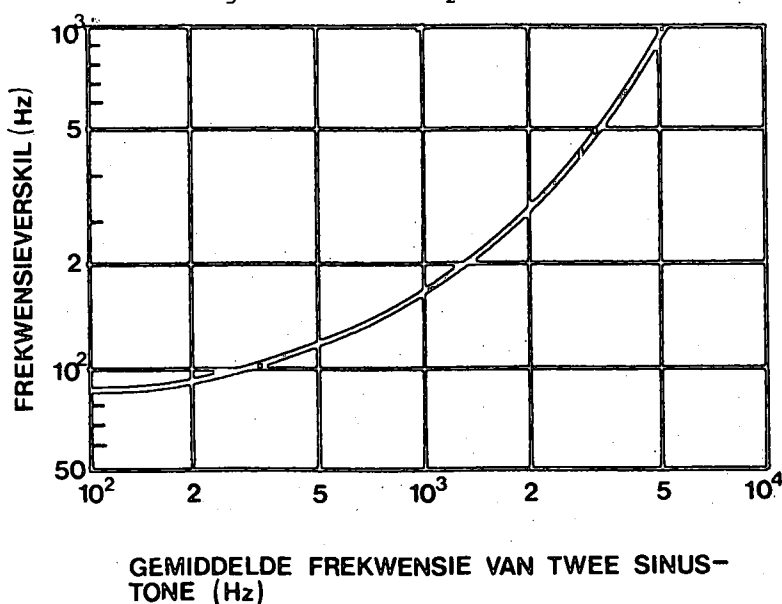
Dus volg dit dat die tone se frekwensies onderskeidelik 960 en 1040 Hz moet wees en die grens vir frekwensiediskriminasie 80 Hz.

Die grense vir frekwensiediskriminasie is afhanklik van die frekwensiegebied waarin die tone geleë is en neem in die algemeen toe vanaf lae na hoë frekwensies. n Vergely=

king van die grense vir frekwensiediskriminasie met verskillimans, soos in voorbeeld 5.3, toon dat eersgenoemde aansienlik groter frekwensieverskille behels. Die frekwensiewisseling van een toon word dus meer geredelik onderskei as die frekwensieverskil tussen twee tone.

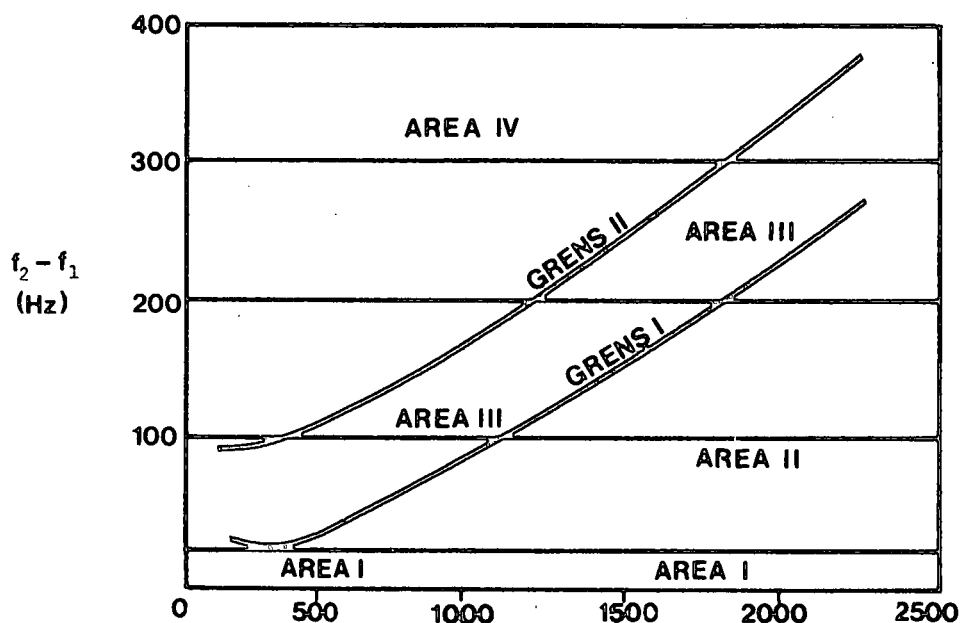
#### 5.1.2.2 Kritiese bandwydte

Die term kritiese bandwydte word gebruik om die minimum frekwensieverskil tussen twee sameklinkende sinustone, waarvan die een moduleer, aan te dui wanneer die klankindruk van "grof" na "glad" verander. Zwicker, Flottorp en Stephens, het die algemene norm vir die bepaling van die kritiese bandwydte gestel.<sup>13</sup> Daarvolgens word die kritiese bandwydte gedefinieer as: die verskil tussen twee frekwensies wat groot genoeg is dat hulle individueel waargeneem kan word, maar van 'n bevredigende "gladde" kwaliteit. Die waardes van die kritiese bandwydte word in die grafiek, in voorbeeld 5.5, teenoor die gemiddelde frekwensie van die twee sinus-tone aangedui. Weer eens is bevind dat die waardes vir die kritiese bandwydte wissel met verskillende frekwensies. Teen 'n gemiddelde frekwensie van 500 Hz is die kritiese bandwydte  $f_{kb} = 110$  Hz en teen 1500 Hz is  $f_{kb} = 230$  Hz. Hoe hoër die frekwensie, hoe breër is die kritiese bandwydte en omgekeerd. Daarenteen het intensiteitsverskille nie 'n noemenswaardige invloed op die waardes nie.



Voorbeeld 5.5

Hierdie belangrike, maar relatief ingewikkelde aspek van die gehoorsfenomeen kan die beste verduidelik word aan die hand van 'n grafiek, in voorbeeld 5.6, wat die gebiede illustreer van die enkele toonsensasie (area I), die frekwensiediskriminasie (area II), die kritiese bandwydte (area III) en die geskeide tone (area IV).<sup>14</sup>



#### Voorbeeld 5.6

Tevore is die gehoorsensasie in area I reeds bespreek waar  $f$  tussen 0 en 15 Hz ( $f \leq 15$  Hz) lê. In hierdie gebied vorm die verskil tussen twee frekwensies swewinge waar  $f_s = f_2 - f_1$ . Soos wat  $f_s$  toeneem, neem die aantal swewinge per sekonde ook toe tot ongeveer 15 swewinge per sekonde wanneer die swewinge nie meer waarneembaar is nie, maar slegs grofheid. Die toonhoogtewaarneming in area I is egter dié van toon-smelting en is die toonhoogte die gemiddelde van die som van die twee frekwensies:

$$f = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

Indien  $f$  egter in area II bo 15 Hz val, word nog steeds toonsmelting waargeneem as die gemiddelde van die twee sinustone, maar ook onder invloed van die swewinge, wat hoewel nie meer waarneembaar nie, 'n growwe klankkwaliteit skep.

Indien  $f$  egter toeneem en grens I in area III, wat die gebied van die kritiese bandwydte is, oorskrei, verdeel die oorspronklike gehoorseine skielik in twee hoorbare sinustone. Dit is dus die grens van frekwensiediskriminasie. Soos in die skets aangedui, sal vir die vaste frekwensie  $f_1$  met 500 Hz die frekwensiediskriminasie byvoorbeeld 30 Hz wees. Daarom moet  $f_2$  gelyk wees aan 530 Hz voordat  $f_1$  en  $f_2$  as twee aparte tone gehoor sal kan word. Indien  $f_2$  egter 524 Hz is, sal  $f_1$  en  $f_2$ , soos in area I, waargeneem word as 'n baie growwe toon met 'n frekwensie van 512 Hz.

Area III is die gebied van die kritiese bandwydte wanneer wel twee tone waargeneem word, maar nog steeds met 'n growwe kwaliteit, soos in area II. Teen 'n bepaalde waarde van  $f$  verdwyn die graad van grofheid indien die frekwensie grens II oorskrei wat die gebied van die kritiese bandwydte, area III, definieer. Vir 'n frekwensie van 500 Hz is die kritiese bandwydte  $f_{kb} = 110$  Hz en by 1500 Hz is  $f_{kb} = 230$  Hz.

Na die kritiese bandwydte volg area IV, waarin die twee frekwensies duidelik as aparte tone waarneembaar is maar met 'n gladde, aangename kwaliteit.

Sommige navorsers glo dat die kritiese bandwydte die bepalende faktor vir konsonansie en dissonansie in musiek is.<sup>15</sup> Die waarneming van grofheid of gladheid as 'n intrinsieke klankkwaliteit vind 'n fisiologiese verklaring indien die resonansie-areas op die basillêre membraan wel in 'n mate oorvleuel. Bewyse vir hierdie stelling kan gevind word indien twee sinustone binne die kritiese bandwydte dichoties aan

die ore aangebied word. In so 'n geval sal geen sensasie van grofheid vir tone wat binne die kritiese bandwydte (area III) of selfs binne die grense van frekwensiediskriminasie area II lê, ervaar word nie. Die resonansie-areas oorvleuel nie, omdat dit in twee verskillende cochleas gevorm word.

Danksy G.F. von Békésy,<sup>16</sup> wat die werking van die resonansie-areas vir verskillende frekwensies bepaal het, is bereken dat die kritiese bandwydte lengtegewys 'n konstante afstand van ongeveer 1,2 mm op die basillêre membraan beslaan en deur ongeveer 1300 haarselle bedien word. Dit onderstreep weer eens die merkwaardige ooreenkoms wat tussen die fisiologiese analitiese proses van die binne-oor en die gehoorwaarneming bestaan.

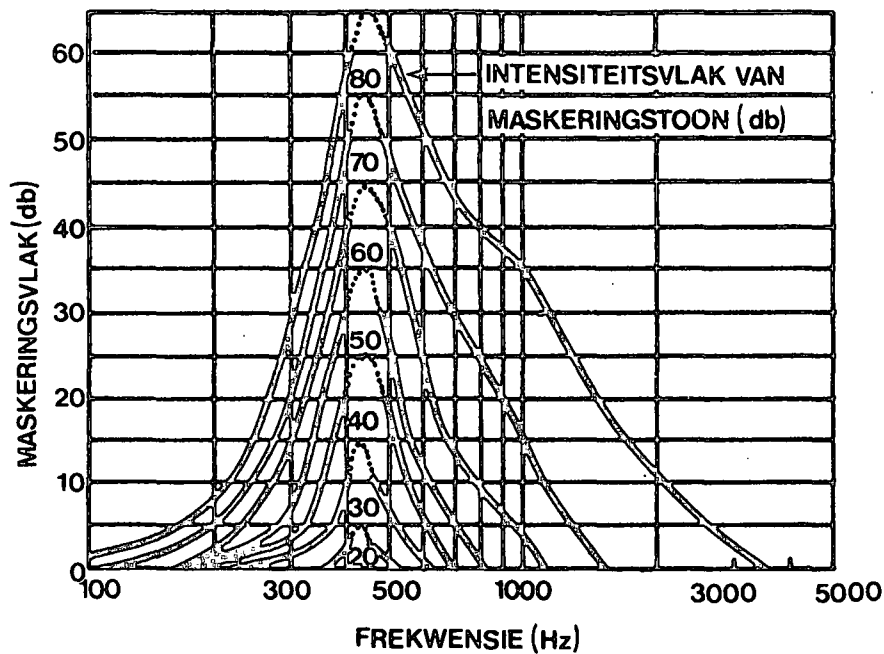
#### 5.1.2.3 Maskering

Onder sekere omstandighede kan een klank hetsy as 'n sinus-toon, 'n komplekse toon of geraas, 'n dempende werking op 'n ander klank uitoefen, bekend as maskering. Maskering deur sinustone is die belangrikste in navorsing omdat dit op 'n beheerbare wyse belangrike ontbrekende gegewens lewer wat die werking van die oor verklaar in die daarstelling van 'n volledige gehoorteorie. In die lewende musiekpraktyk is die maskeringseffek egter ook belangrik omdat dit die klankkleur, luidheid en die toonhoogtewaarneming beïnvloed. Om die prinsiep toe te lig, sal slegs maskering deur sinustone bespreek word.

In die standaard navorsingsmetode word die frekwensie van een toon, die maskeringston, konstant gehou, terwyl dié van die gemaskerde toon wissel. Die maskeringsdrempel is gelyk aan die minimum intensiteitsvlak van die gemaskerde toon waarteen laasgenoemde net hoorbaar is.<sup>17</sup>

In voorbeeld 5.7 word grafieke getoon wat die resultaat van

maskeringseksperimente is wat in 1950 deur J.P. Egan en H.W. Hake uitgevoer is met 'n maskeringstoon van 415 Hz.<sup>18</sup> Die ordinaat toon die maskeringsvlak, dit wil sê, die aantal desibels bo die maskeringsdrempel.



#### Voorbeeld 5.7

Die syfers bo die kurwes is die intensiteitsvlak van die maskeringstoon. Die gebied rondom 415 Hz, aangedui deur die stippellyne, word gekenmerk deur swewinge en dit het nie met maskering as sodanig te doen nie. Om maskering na aanleiding van hierdie grafiek te illustreer, word drie voorbeelde bespreek, naamlik:

- (1) waar die gemaskerde toon ( $f_1$ ) laer as die maskerings=toon ( $f_2$ ) is,
- (2) waar die tone redelik naby mekaar is en
- (3) waar die gemaskerde toon heelwat hoër as die maskerings=toon lê.

- (1) Die maskeringsvlak van die toon  $f_1 = 200$  Hz, is 5 db wanneer die intensiteitsvlak van  $f_2 = 415$  Hz 70 db is. Dus hoef  $f_1$ , wat die laer toon is, slegs 5 db te wees om in die teenwoordigheid van die 70 db-maskeringston hoorbaar te wees.
- (2) Wanneer  $f_1 = 500$  Hz en  $f_2 = 415$  Hz gelyktydig klink, moet  $f_1$  50 db wees om in die teenwoordigheid van  $f_2$ , 70 db, gehoor te word. Tone wat naby mekaar lê, maskeer mekaar meer geredelik as tone wat wyd versprei is.
- (3) Die maskeringsvlak van  $f_1 = 1000$  Hz, is 15 db wanneer  $f_2$  'n intensiteitsvlak van 70 db het. Hoewel die maskeringsvlak nie so hoog soos by (2) is nie, is dit nog 10 db hoër as by (1), waar  $f_1$  laer as  $f_2$  was. 'n Laer toon het dus 'n groter maskeringseffek op 'n hoër toon as andersom.

Maskering word toegeskryf aan die oorvleueling van resonansie-areas op die basillêre membraan en daarom word dit as 'n produk van die analitiese proses in die binne-oor beskou.

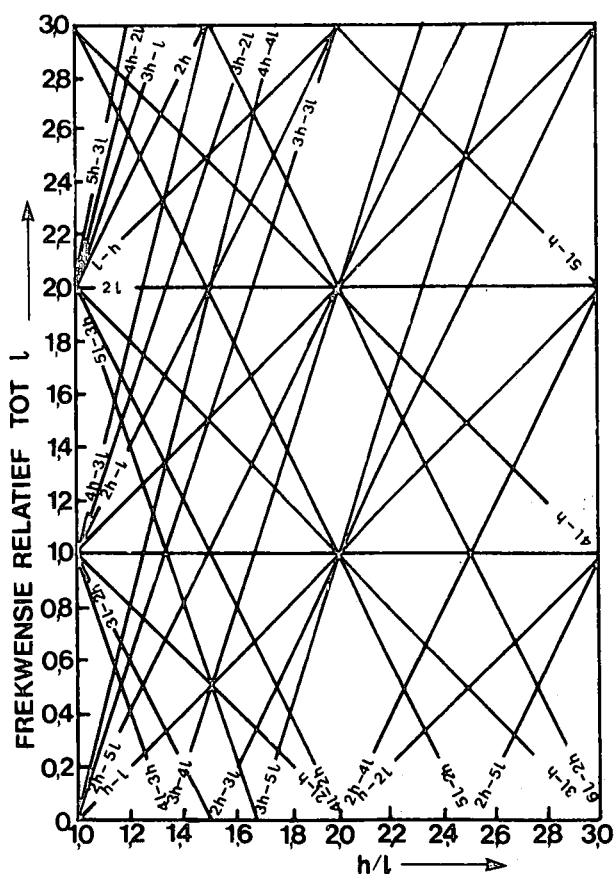
#### 5.1.2.4 Kombinasietone

Hoewel 'n verklaring vir die ontstaan of werking van kombinasietone steeds problematies bly, dui resultate daarop dat dié tone waarskynlik ontstaan as gevolg van hidrodinamiese prosesse in die cochlea en oorvleueling van aangrensende resonansie-areas op die basillêre membraan.<sup>19</sup>

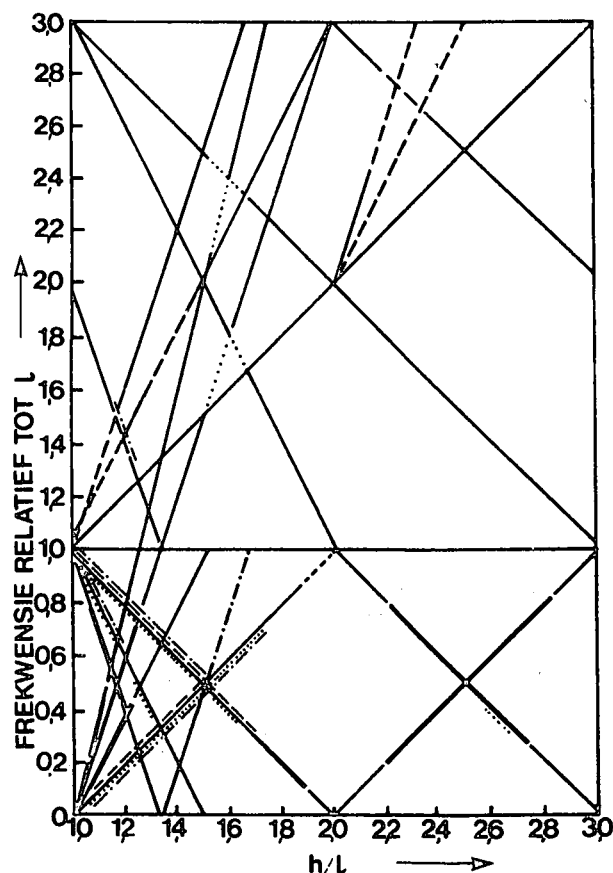
Kombinasietone kan gevolglik as 'n produk van die analitiese werking van die oor beskou word. Soos bekend, lewer kombinasietone 'n belangrike bydrae tot toonhoogtewaarneming in die besonder. Die toonaangewendste navorsing op die gebied is weer eens deur R. Plomp gelewer in 'n ondersoek na die sensasievlakke, asook die toonhoogtes van die twee primêre tone wat nodig is om hoorbare kombinasietone te skep.<sup>20</sup> In goed-gekontroleerde eksperimente het hy vier

persone met normale gehoordrempels getoets deur slegs lae (=l) en hoë (=h) frekwensies te gebruik waar  $l$  as die laagste frekwensie konstant op 1000 Hz gehou is. Die hoër frekwensie  $h$  het vanaf 1000 tot 3000 Hz gewissel. Vyf reekse eksperimente is uitgevoer waarin die twee primêre tone se klankdrukvlakke vanaf 40, 50, 60, 70 en 80 db gewissel het.

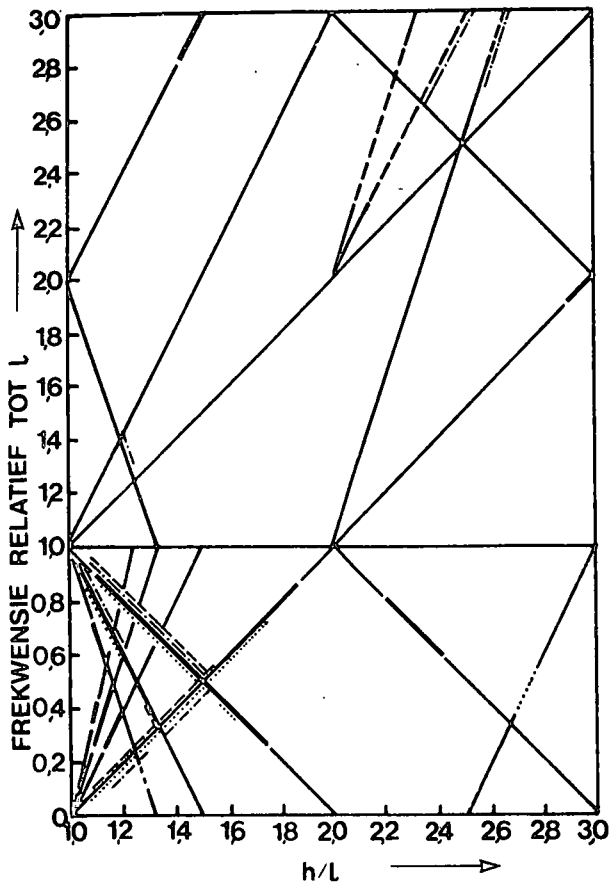
Die resultate word as verskillende grafieke in voorbeeld 5.8 aangedui met elke toetspersoon se resultaat deur 'n ander tipe lyn voorgestel. Die frekwensieverandering van die kombinasietone met wisselende frekwensie van die primêre tone kan duidelik gesien word. In voorbeeld 5.8(a) word die samevattende diagram gegee van die individuele resultate in (b), (c), (d), (e) en (f) respektiewelik vir 'n klankdrukvlak van 80, 70, 60, 50 en 40 db. Die absissa dui in elke grafiek die frekwensieverhouding  $h:l$  aan, terwyl die verhouding van die kombinasietone se frekwensie tot dié van  $l$  op die ordinaat gegee word.



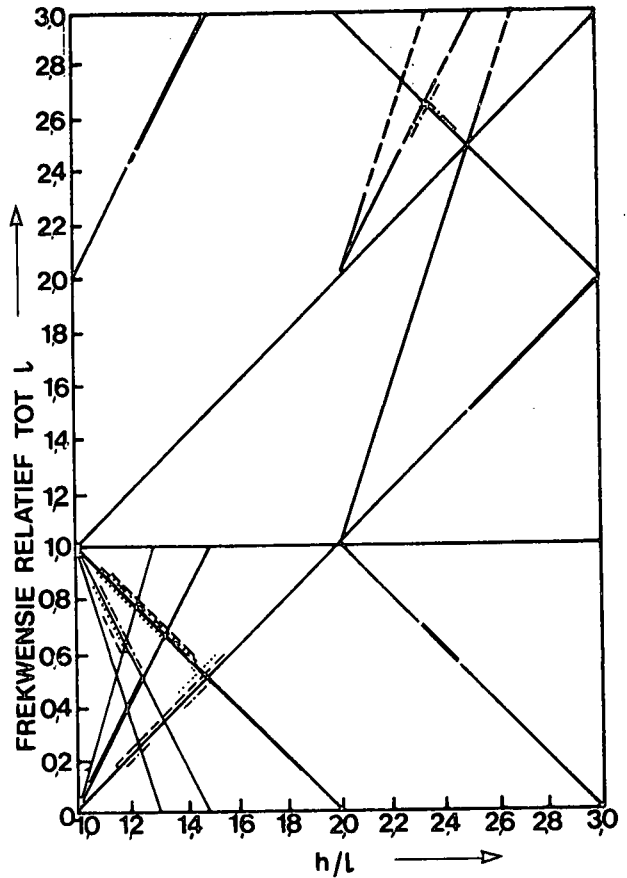
(a) Diagram van alle kombinasietone



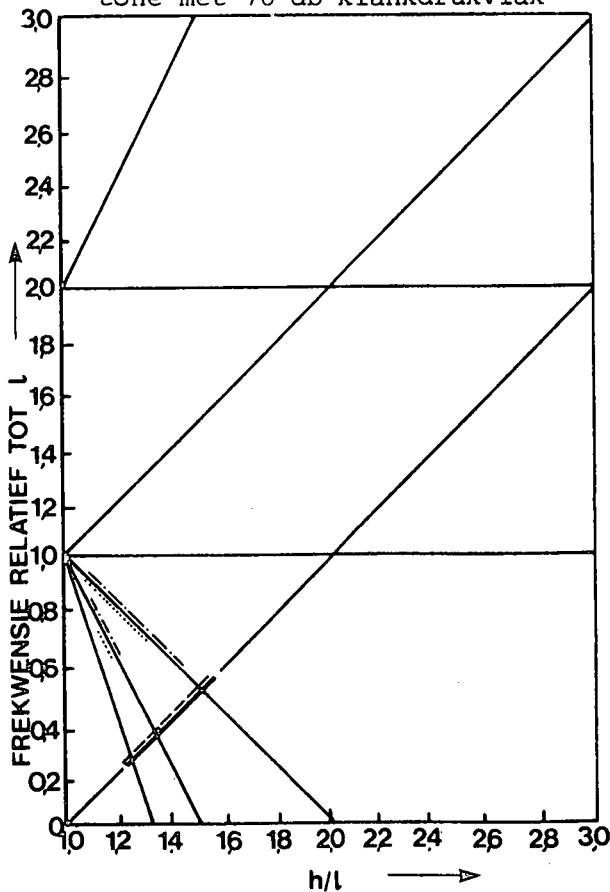
(b) Kombinasietone vir primêre tone met 80 db-klankdrukvlak



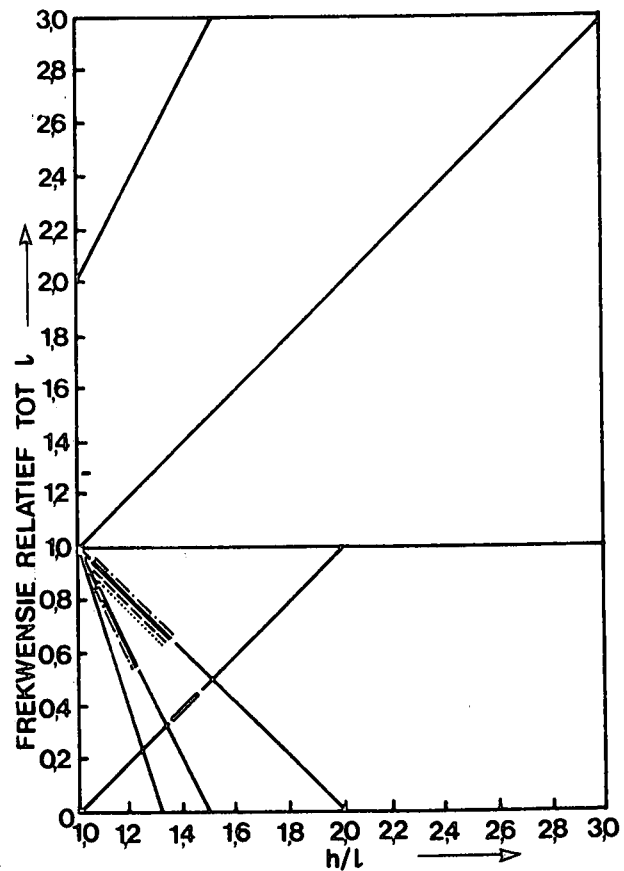
(c) Kombinasietone vir primêre tone met 70 db-klankdrukvlak



(d) Kombinasietone vir primêre tone met 60 db-klankdrukvlak



(e) Kombinasietone vir primêre tone met 50 db-klankdrukvlak



(f) Kombinasietone vir primêre tone met 40 db-klankdrukvlak

Die volgende afleidings kan hieruit gemaak word:

- (1) Slegs die kombinasietone van hoog minus laag ( $h-l$ ), tweemaal laag minus hoog ( $2l-h$ ) en driemaal laag minus tweemaal hoog ( $3l-2h$ ) is deur alle persone gehoor.
- (2) Groot individuele verskille in die tipes kombinasietone wat gehoor is, kom voor. Selfs die drempelwaardes verskil aansienlik. Die verklaring hiervoor kan waarskynlik in sensitiwiteitsverskille vir distorsie by verskillende persone gevind word.
- (3) Geen somtone is waargeneem nie. Meer kombinasietone is vir  $h < \frac{3}{2} l$  as vir  $h > \frac{3}{2} l$  gehoor. Die rede hiervoor is waarskynlik dat die hoër kombinasietone gemaskeer word.
- (4) Hoe kleiner die frekwensieverskil tussen die primêre tone, hoe meer kombinasietone is gewek.
- (5) Die getal hoorbare kombinasietone neem af met dalende klankdrukvlak van die primêre tone.
- (6) Geen kombinasietone is onder 'n klankdrukvlak van 40 db hoorbaar nie.

Plomp het bevind dat die minimum klankdrukvlak van 40 db wat nodig is om kombinasietone te hoor, ooreenstem met 'n nie-lineêre distorsie van minder as 1%. W. Janovsky, H.J. Braunmühl en W. Weber het aangetoon dat 'n 3% tot 5% distorsie van musiek met hulp van elektroniese luisterapparaat, nog geen hoorbare effek op klank het nie.<sup>21</sup> As gevolg hiervan huldig Plomp, in teenstelling met die algemeen aanvaarde beskouing, die mening dat kombinasietone geen noemenswaardige bydrae tot die klank lewer nie en dus nie van belang vir musiek is nie.<sup>22</sup> E. Terhardt, daarenteen, het gevind dat kombinasietone wel 'n bydrae tot klank=

kleur- en toonhoogtewaarneming kan lewer.<sup>23</sup>

### 5.1.3 Analise van 'n komplekse toon

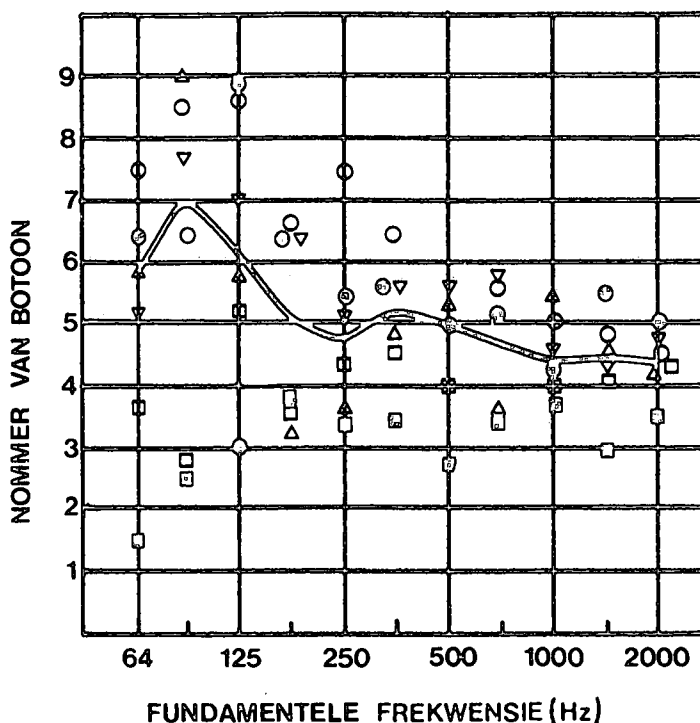
Die karakteristieke klank van 'n bepaalde musiekinstrument of van die menslike stem, word tegnies as 'n komplekse golf met 'n ingewikkelde vorm voorgestel en bestaan uit 'n fundamentele toon en gesuperponeerde botone met verskillende intensiteite. Indien so 'n komplekse klankgolf die binne-oor bereik, tree die oor as 'n Fourier-analiseerder op en ontleed die enkele komplekse golf in sy samestellende elemente. Elke botoon van die komplekse klankgolf stimuleer dus 'n ooreenstemmende resonansie-area.

Die analiserende vermoë van die oor is in hierdie opsig beperk. Grense bestaan ten opsigte van die aantal waarneembare botone vanweë maskering, die kritiese bandwydte en die verskillimens.

R. Plomp het die aantal waarneembare botone vir ses persone vasgestel en bevind dat dit tussen die eerste vier tot sewe botone wissel.<sup>24</sup> Die amplitudes van die botone het nie met meer as 0,5 db verskil nie. Redelike groot individuele verskille het in die resultate van die ses persone voorgekom. Die grafieke in voorbeeld 5.9 dui die waardes vir elke persoon aan deur 'n bepaalde simbool asook die gemiddelde daarvan deur die soliede lyn.

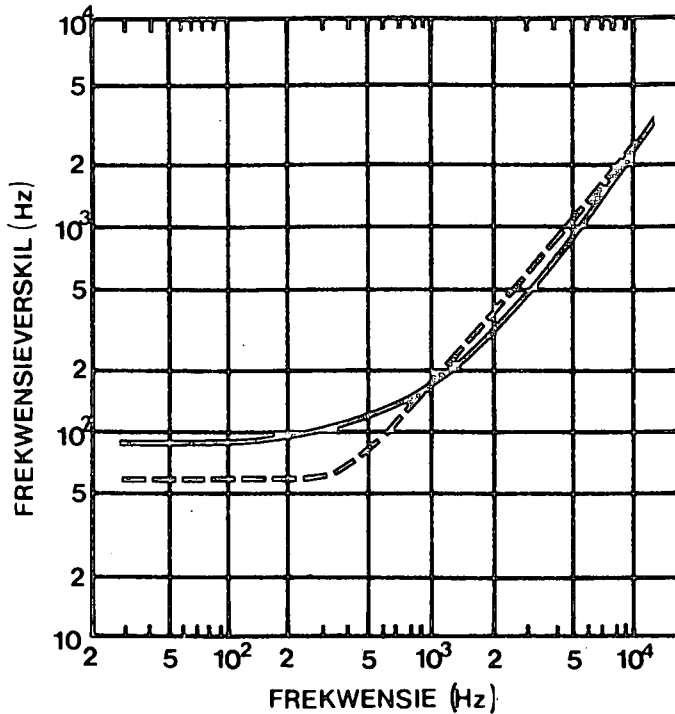
Die aantal botone wat onderskei kan word, wissel met die frekwensie van die fundamentele toon, aangedui op die absissa. Die meeste daarvan lê tussen 64 en 125 Hz. Die aantal waargenome botone bo die fundamentele toon neem egter af met toenemende frekwensie.

'n Verklaring vir die beperkte vermoë van die oor om 'n komplekse klank se botone te analiseer, is hoofsaaklik in die werking van die kritiese bandwydte geleë. Wanneer



### Voorbeeld 5.9

twee opeenvolgende botone 'n kleiner frekwensieverskil as die kritiese bandwydte besit, kan hulle nie as botone onderskei word nie vanweë oorvleueling op die resonansie-areas van die basillêre membraan. Die kleinste frekwensieverskil wat nodig is om twee opeenvolgende botone van die botoonreeks te onderskei,<sup>25</sup> word in die grafiek van voorbeeld 5.10 met die kritiese bandwydte van Zwicker, soos in voorbeeld 5.5, vergelyk. Dit is bevind dat die korrelasies baie hoog is. Die effense afwyking tussen die kurwes vir frekwensies onder 1000 Hz word deur Plomp verklaar as 'n moontlike fout in Zwicker se resultate. Volgens hom het ander navorsers, soos D.D. Greenwood, kleiner waardes vir die kritiese bandwydte in hierdie gebied verkry.<sup>26</sup>



————— kritiese bandwydte  
 - - - - - frekwensieverskil  
 tussen botone

#### Voorbeeld 5.10

E. Terhardt<sup>27</sup> baseer sy teorie oor die waarneming van komplekse tone onder andere op Plomp<sup>28</sup> se resultate as hy bevind dat die analise in die binne-oor die sensitiefste tussen 500 en 1500 Hz is. Botone in hierdie frekwensiegebied is die duidelikste waarneembaar vanweë die optimale funksionering van die gehoor ten opsigte van die gehoordrempel en die kleinste waarneembare frekwensieverskille.

## 5.2 Klanksintese in die ouditiewe sensuweestelsel

Klanksintese in die ouditiewe sensuweestelsel geskied op tweërlei wyse, naamlik:

- (1) sintese van beide ore se klankinset en
- (2) sintese van 'n komplekse toon se botone om as een toon=  
hoogte waargeneem te word deur *opsparing van die fundamentele toon*.

Die stimulasiepatroon wat op die basillêre membraan as gevolg van komplekse klankanalise ontstaan, word benut om laastens 'n klanksintese daarvan met bepaalde eienskappe te lewer.

### 5.2.1 Sintese van klankinset deur beide ore

Die eerste korrelasie van die klankinset afkomstig van beide ore vind in die mediale superior olive in die ouditiewe sensuweestelsel plaas.<sup>29</sup> Vermoedelik vind die bepaling uit watter rigting klank die ore bereik, ook hier plaas.

Sekere fasette van die sintese van klanke deur beide ore is wel van belang in toonhoogtewaarneming, soos byvoorbeeld dat 'n gedeelte van die klankinset op een oor dié van die ander kan aanvul om 'n geheelbeeld te vorm. Indien 'n klankinset van sekere botone dichoties, dit wil sê sommige aan een oor en die res aan die ander oor gelewer word, sal die uiteindelijke waarneming van die klankkleur dieselfde wees asof dit ten volle deur een of beide waargeneem is.<sup>30</sup> Wanneer die klank binouraal, dit wil sê gelyktydig aan beide ore aangebied word, word dieselfde waarneming gemaak as in laasgenoemde geval.

Diplakuse is 'n bekende gehoortoestand wat soms voorkom wanneer 'n persoon 'n sinustoon wat binouraal aangebied is, as twee tone van effens verskillende toonhoogtes waarneem.

Hierdie toestand kom meer dikwels voor as wat vermoed word en is van belang vir musiekwaarneming.<sup>31</sup>

Selfs die luidheid van sinustone word deur sommige persone dikwels verskillend in die regter- en die linkeroor waargeneem. Sivian en White het bevind dat die binourale gehoordrempel in so 'n geval min of meer met die drempel van die beste oor ooreenstem.

Dit wil voorkom asof die gehoor deur die geïntegreerde werking van beide ore in die hoër neurale weë die maksimale inligting uit die sintese van die klank deur die twee ore haal.

## 5.2.2 Sintese en die periodisiteit van klank

### 5.2.2.1 Die opsporing van die fundamentele toon van 'n komplekse klank

Die gehoor se vermoë om die fundamentele toonhoogte van 'n komplekse klank waar te neem, selfs wanneer die fundamentele toon ontbreek, staan bekend as opsporing van die fundamentele toon (d.i. "fundamental tracking"). Navorsers was voorheen van oordeel dat die ontbrekende fundamentele toon van die oorspronklike klank as 'n kombinasietoon van die bepaalde frekwensie in die binne-oor gewek word. Plomp het egter bewys dat dit nie die geval is nie omdat kombinasietone eers ontstaan wanneer 'n sensasievlak van 40 db bereik word, terwyl die waarneming van die ontbrekende fundamentele toon teen veel laer sensasievlakke moontlik is.<sup>32</sup> Dit het weliswaar tot die siening gelei dat 'n sogenaamde sentrale toonhoogteverwerker in die ouditiewe sensuïestelsel moet bestaan wat deur middel van sintetisering van die stimulasiepatroon inligting oor die periodisiteit van 'n klankgolf verkry en dat die fundamentele toon daarvolgens bepaal word.<sup>33, 34</sup> Anders gestel, is G.F. Smoorenburg<sup>35</sup> en E. Terhardt<sup>36</sup> daarvan oortuig dat spektrumanalise van die tone nodig is vir

die opsporing van die fundamentele toon. Die presiese ligging of aard van die sentrale toonhoogteverwerker is nog nie bepaal nie, maar A.J.M. Houtsma en J.L. Goldstein het onder andere bepaal dat indien botone van 'n komplekse toon dichoties aangebied word, sintese op 'n hoër vlak as die mediale superior olive in die neurale weë plaasvind.<sup>37</sup>

Terhardt beweer dat die opsporing van die fundamentele toon 'n leerproses is wat reeds by die baba ontwikkel moet word om spraak te verstaan.<sup>38</sup> Dié teorie is egter nog nie bewys nie.

Die periodisiteit van 'n klankgolf is belangrik vir toonhoogtewaarneming. Bewyse is gevind dat toonhoogte nie slegs van frekwensie afhanklik is nie, maar ook van periodisiteit. Plomp het bevind dat toonhoogtewaarneming tot by ongeveer 1400 Hz deur middel van die fundamentele toonhoogte bepaal word.<sup>39</sup> Bó genoemde frekwensie is die bepaling van die toonhoogte egter afhankliker van die frekwensie van die fundamentele toon. Hy betwyfel dit ook dat daar twee sisteme vir toonhoogtewaarneming bestaan en stel die moontlikheid dat periodisiteit in beide gevalle die bepalendste faktor is, maar vanweë beperkte vermoëns van die gehoorapparaat is die waarneming van hoër frekwensies ten opsigte van periodisiteitswaarneming vermoedelik verskillend.

Verdere navorsing in hierdie verband sal die funksie en die aard van die sentrale toonhoogteverwerker beter definieer, asook die aantal botone benodig om die opsporing van die fundamentele toon te bepaal. G.F. Smoorenburg het bewys dat so min as twee opeenvolgende botone aanwesig moet wees om die oor in staat te stel om die ontbrekende fundamentele toon van 'n botoonreeks te bepaal.<sup>40</sup> Die proses is meer doeltreffend indien die botone 'n lae frekwensie het en die frekwensieverskil redelik groot is. Wanneer die frekwensieverskil tussen die botone te klein is, val hulle binne die kritiese bandwydte en vanweë gebrekkige analise sal die

sintese in dié geval ook nie geslaagd wees nie. Hoe meer botone in die klank aanwesig is, hoe suksesvoller sal die ontbrekende fundamentele toon bepaal kan word.

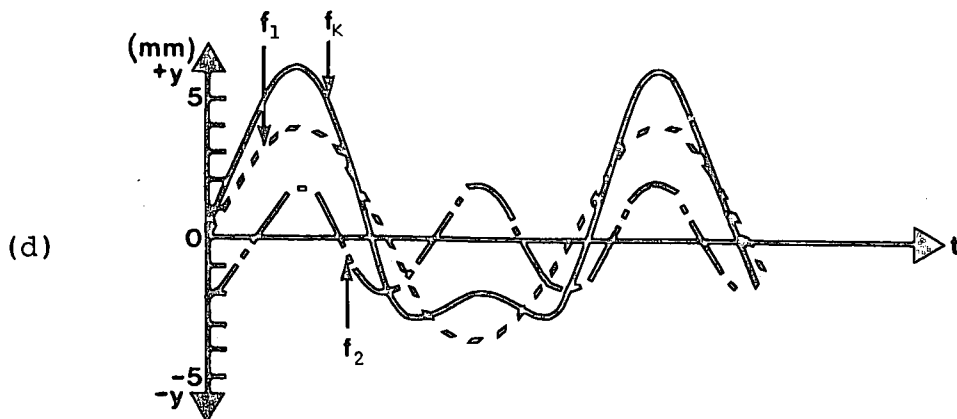
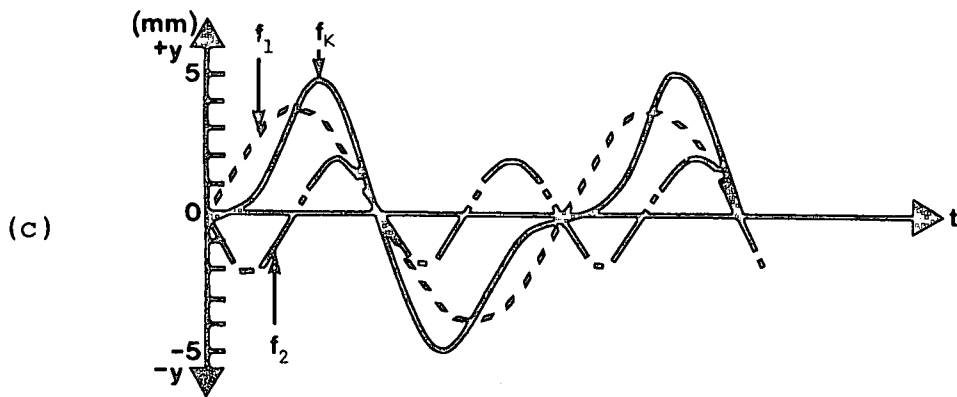
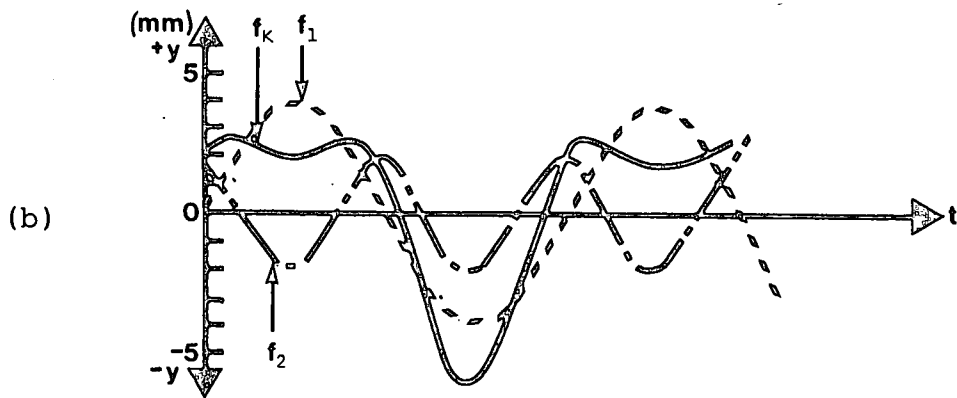
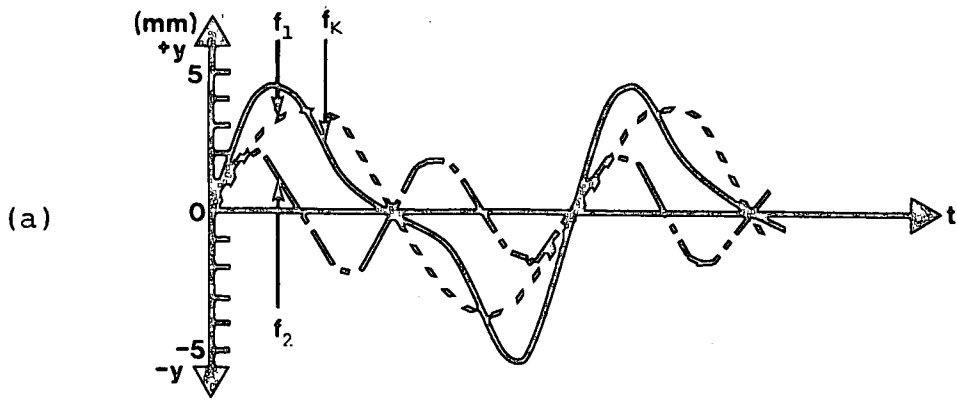
'n Merkwaardige verskynsel in verband met toonhoogtewaarneming van 'n stimulus wat slegs uit twee sinustone as deel van 'n botoonreeks bestaan, is dat dit as twee aparte tone óf as een toonhoogte van die fundamentele toon waargeneem kan word. Indien verskeie tweetoonstimuli opeenvolgend aangebied word sodat die ontbrekende fundamentele tone 'n melodie vorm, sal die meeste luisteraars se aandag op laasgenoemde toegespits word.<sup>41</sup> Daarenteen sal sommige persone twee tone hoor en ander slegs een. Die wyse van beluistering is blykbaar afhanklik van die opdrag wat die brein wil.

Die sintese wat ten opsigte van die botone van 'n komplekse toon plaasvind, is uiters belangrik in die waarneming van musiek. Dit verseker dat een bepaalde toonhoogte aan 'n komplekse toon toegeken word en dat dit nie as 'n aantal sinustone gehoor word nie.

#### 5.2.2.2 Subjektiewe swewinge

Nog 'n aspek van die periodisiteitswaarneming van klank, is die ontstaan van *subjektiewe swewinge* wanneer 'n konstante interval van 'n oktaaf, 'n vyfde of 'n vierde, bestaande uit sinustone, effens uit stem is. Die swewinge is nie in die oorspronklike klank aanwesig nie, maar is 'n produk van 'n senuweeliggaam wat in die hoër neurale weë ontstaan. Die rede vir die ontstaan van dié tipe swewinge is die waarneming van 'n veranderde golfvorm van die klank,<sup>42</sup> soos geïllustreer in die figure, voorbeeld 5.11.

In die vier sketse kan gesien word dat die verhouding van die twee sinusgolwe  $f_1$  en  $f_2$  2 : 1 is. Die fundamentele toon ( $f_k$ ) is vir al vier die gevalle wat mekaar kontinu opvolg, konstant. Dit is egter die klankgolf van die oktaaf



Voorbeeld 5.11

wat liggies uit stemming is en dus voortdurend van fase verander wat tot gevolg het dat die vier basies saamgestelde klankgolwe aangedui deur die donker kurwe, opeenvolgend deur sketse (a), (b), (c) tot (d) verander. Die effek kom voor by monorale sowel as binourale klankinsette en bewys klanksintese in die hoër neurale weë.

### 5.3 Klankinterpretasie

Die laaste stadium in die verwerking van klank wat deur die buite-oor opgevang is, staan bekend as klankinterpretasie. Die uiteindelijke klank wat gehoor word, is nie net van die fisiologiese werking van die oor afhanklik nie maar ook van die kognitiewe. Klank word eers bewustelik gehoor wanneer dit in die brein verwerk word. Op hierdie vlak kan talle faktore die interpretasie beïnvloed, byvoorbeeld intelligensie, konsentrasie, kennis, kultuur, emosies en verbeelding. Dit bring mee dat 'n onderskeid tussen hoor en luister getref kan word. Eersgenoemde behels slegs die oppervlakkige waarneming van klank, sonder begrip, terwyl laasgenoemde betekenisvol met interpretasie en konsentrasie geskied. Indien nie gekonsentreer word nie, word klanke nie werklik geïnterpreteer nie. So word twee tipes musiekwaardeerders ook aangetref, naamlik die hoorders en die luisteraars. Alle suksesvolle musici behoort luisteraars te wees.

Drie aspekte van klankinterpretasie word vervolgens kortliks bespreek, naamlik informasiebenutting deur senuwee-impulse, die spesialisasie van die twee hemisfere in die brein, en die geheue.

#### 5.3.1 Informasiebenutting deur senuwee-impulse

Bewyse bestaan dat veral twee kenmerke van senuwee-impulse vir interpretasie benut word, naamlik:

- (1) die bepaling van die aard van 'n klank en
- (2) volgens watter spoed en patroon die impulse beweeg.

Gevolgtlik is naas die bekende plekteorie, bepaal deur die resonansie-areas op die basillêre membraan, 'n teorie bekend as die plek-tydteorie ontwikkel, waarvolgens die brein nie slegs die plekpatroon van stimulasie op die basillêre membraan benut nie maar ook 'n tydpatroon waarteen impulse vuur.

Roederer beweer dat slegs die plekpatrooninligting voldoende is om die toonhoogte van 'n sinustoon te bepaal, maar dat inligting oor die tydpatroon veral belangrik is by die waarneming van komplekse klanke.<sup>43</sup> Die tydpatroon voorsien inligting in verband met die periodisiteit en waarskynlik ook die golfvorm van klank.

Die senuwees van die cochleêre nuclei toon dieselfde reaksie as dié van die ouditiewe senuwees. Die plekpatroon van die cochlea, in uitgestrekte vorm, word presies ruimtelik in die gestimuleerde senuwees van die cochleêre nuclei weer-  
spieël.<sup>44, 45</sup> Senuwee-impulse raak vanweë tydpatroonstimuli en deur insette van beide ore ingewikkelder, soos impulse as seine deur die hoër ouditiewe weë na die brein beweeg. Die plek-tydpatroon is besonder kompleks. Dit is as gevolg van die inwerking van bykomende impulse, bepaal deur die ervaring, die gedragspatrone van die individu en ook as gevolg van die meer gespesialiseerde ontleding van inligting. Roederer wys daarop dat nie alle ouditiewe informasie wat beskikbaar is, benut word nie, maar dat selektiewe informasieverliese plaasvind.<sup>46</sup> Slegs die betekenisvolste inligting word benut.

### 5.3.2 Spesialisasie deur die breinhemisfere

Dit is algemeen bekend dat die twee breinhemisfere van die mens gespesialiseerde funksies vervul. So voer die linkerhemisfeer veral analitiese en sekwensiële funksies

soos nodig vir spraak en die denke uit, terwyl die regterhemisfeer belangriker is vir holistiese waarneming, soos meesal vir musiek vereis word. Selfs die setel van emosies is in dié hemisfeer geleë. Die spesialisasie mag egter nie oorbeklemtoon word nie, want 'n wisselwerking tussen die hemisfere is onontbeerlik vir die brein om 'n globale indruk te kan verkry. Klankbeelde sou byvoorbeeld nie herroep kan word nie tensy daar 'n wisselwerking tussen die hemisfere is.

Navorsers het bevind dat musiekwaarneming ten opsigte van akkoorduitkenning,<sup>47</sup> timbre, tonaliteit<sup>48</sup> en toonhoogte=kontrole by sang<sup>49</sup> deur die regterhemisfeer beheer word. Verskeie menings oor die lateralisasie van melodiewaarneming bestaan egter. D. Kimura<sup>50</sup> beweer dat melodiewaarneming 'n funksie van die regterhemisfeer is, maar T.G. Bever en R.J. Chiarello<sup>51</sup> het bevind dat lateralisasie na die linkerhemisfeer plaasvind wanneer op brokkies van 'n melodie gekonsentreer word. In dié geval is dit 'n analitiese proses wat plaasvind en hoort dit dus tot die funksie van die linkerhemisfeer. H.W. Gordon het bevind dat dit nie duidelik is na watter hemisfeer melodie-uitkenning gelateraliseer word nie.<sup>52</sup> Hy skryf dit daaraan toe dat ritmewaarneming bilateraal geskied en dat die proefpersone waarskynlik aandag aan die temporale aspek van die melodie gegee het. E. Franklin en R. Baumgarte<sup>53</sup> het bevind dat melodie=waarneming deur nie-musici en sangers in die regterhemisfeer geskied maar dat lateralisasie by instrumentaliste nie so duidelik waarneembaar is nie. Persone met regsdominante ore, dit wil sê met lateralisasie na die linkerhemisfeer, het beter in melodie-uitkenningstoetse gevaar.

Musiekwaarneming kan egter nie uitsluitlik 'n funksie van die regterhemisfeer van die brein wees nie. Lateralisasie na die een of die ander hemisfeer word bepaal deur die element van musiek waarop gekonsentreer word, byvoorbeeld op 'n melodie as geheel, klankkleur, intervalle of ritme.

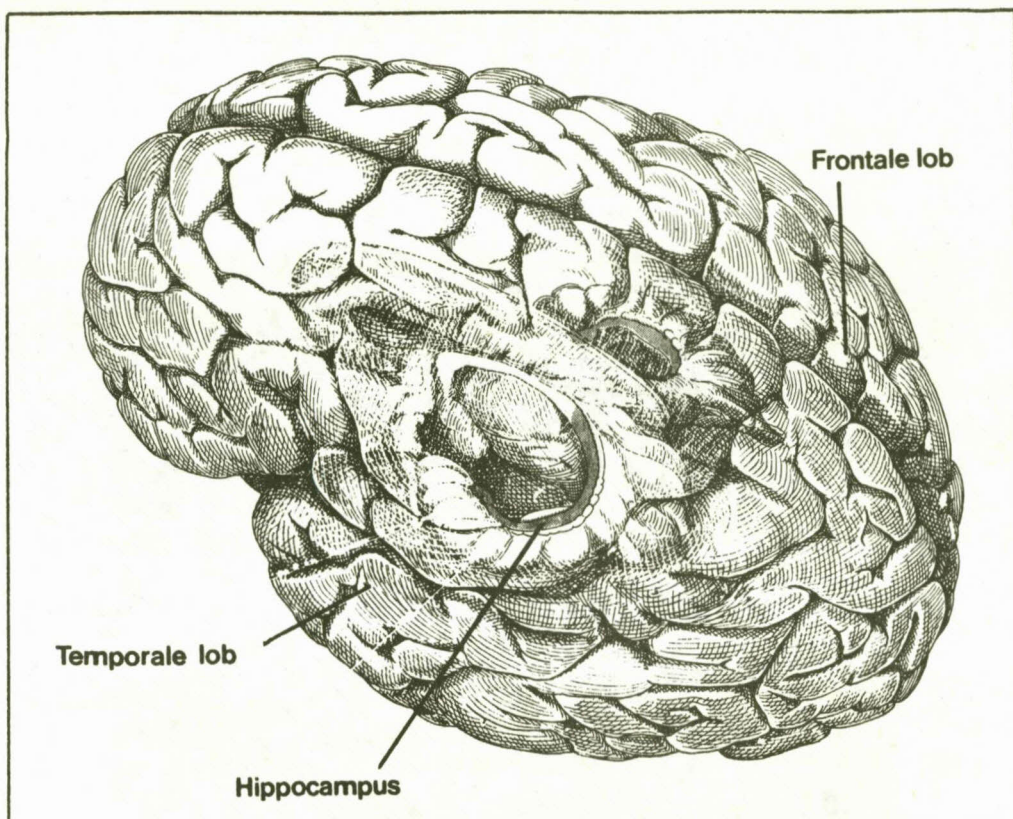
### 5.3.3 Die geheue

Die ontwikkeling van 'n geheue is een van die belangrikste prosesse van die brein. Sonder die geheue is die mens nie 'n opvoedbare wese nie en sou sy denke ook nie ontwikkel het nie. Die kort- sowel as langtermyngeheue vervul 'n baie belangrike funksie in die musiekwaarneming en musiekuitvoering. Dit stel 'n mens in staat om een toon met 'n daaropvolgende toon te vergelyk, om 'n geheelbeeld van 'n stuk musiek te vorm en om musiek wat in die langtermyngeheue vasgelê is, te herroep soos dit oorspronklik waargeneem is. 'n Opgeleide musikus kan te eniger tyd deur middel van assosiasie 'n klankvoorstelling van notasie vorm. Geheue speel moontlik die belangrikste rol by gehooropleiding.

Tot onlangs kon navorsers nog nie daarin slaag om die wese of setel van die geheue te bepaal nie. Dit is bekend dat sekere dele aan die onderkant van die temporale lob, veral die hippocampus, 'n belangrike funksie in die korttermyngeheue speel.<sup>54, 55</sup> Navorsers het vasgestel dat die geheueproses aan die gang gesit word wanneer sekere plekke op die temporale lob gestimuleer word,<sup>56</sup> soos aangedui in die skets, voorbeeld 5.12

'n Sterk vermoede bestaan egter dat die geheue nie 'n bepaalde setel het nie omdat inligting nie as elektriese impulse geberg word nie. Vermoedelik word slegs die patroon of kode wat bepaalde inligting bevat, geberg. Relevante inligting word in die korttermyngeheue verder gekodifiseer en geselekteer aan die hand van reeds verworwe kennis om uiteindelik in die langtermyngeheue geberg te word.<sup>57</sup>

Hoe meer dikwels bepaalde stimuli voorkom, hoe effektiewer sal die stimulasiepatroon wat daardeur ontstaan wees en hoe geredeliker sal kennis onthou word. Herhaling is belangrik in die leerproses. E.R. John het vasgestel dat sensuiewe-impulse wat die korteks bereik, anders vertoon



Voorbeeld 5.12

wanneer herkenning van 'n klank plaasvind as wanneer die klank totaal onbekend is.<sup>58</sup> Daar kom 'n "uitleessein" by in die loop van die ouditiewe weg.

Die leerproses en die ontwikkeling van 'n geheue is dus naspourbaar in senuwee-reaksies in die brein en word verbeter deur herhaalde oefening. Hierdie kennis is musiekopvoekundig belangrik in die besonder ook vir toonhoogtewaarneming. Dit word as noodsaaklik geag dat die mens aan 'n groot verskeidenheid stimuli blootgestel moet word om sy breinkrag, in die besonder musikaliteit, maksimaal te ontwikkel.

## BIBLIOGRAFIE

1. Roederer, J.G. *Introduction to the physics and psychophysics of music*, p. 22
2. Fletcher, H. *Speech and hearing in communication*, p. 160
3. *Ibid.*, p. 163
4. *Ibid.*, p. 146
5. Zwicker, E.G. *et. al.* *Critical bandwidth ...* p. 548
6. Roederer *op. cit.*, p. 22
7. Fletcher *op. cit.*, p. 149
8. Roederer *op. cit.*, p. 23
9. *Ibid.*
10. Clifford, K. *et. al.* *Modulated frequency discrimination ...* p. 1471
11. Roederer *op. cit.*, p. 27
12. Plomp, R. *The ear as frequency analyzer I...*, p. 1634
13. Zwicker *op. cit.*, p. 548
14. Rigden, J.S. *Physics and the sound of music*, p. 69
15. Plomp, R. and Levelt, W.J.M. *Tonal consonance ...*, p. 548
16. Roederer *op. cit.*, p. 22
17. *Ibid.*, p. 81
18. *Ibid.*, p. 87
19. *Ibid.*, p. 81
20. Plomp, R. *Detectability threshold ...* p. 1118-20
21. *Ibid.*, p. 1122
22. *Ibid.*
23. Terhardt, E. *Calculating virtual pitch ...* p. 177
24. Plomp, R. *The ear as frequency analyzer II ...* p. 766
25. *Ibid.*
26. Plomp, R. *The ear as frequency analyzer I ...* p. 1636
27. Terhardt, E. *Psychoacoustic evaluation ...* p. 488
28. Plomp, R. *Pitch of complex tones ...* p. 1532
29. Roederer *op. cit.* p. 59
30. Houtsma, A.J.M. and Goldstein, J.L. *The central origin ...* p. 528.
31. Sherbon, J.W. *Association of hearing acuity ...* p. 1532
32. Plomp, R. *Detectability threshold ...* p. 1121

33. Roederer *op. cit.* p. 54
34. Houtsma and Goldstein *op. cit.* p. 528
35. Smoorenburg, G.F. *Pitch perception ...* p. 939
36. Terhardt *op. cit.*, p. 487
37. Houtsma and Goldstein *op. cit.*, p. 528
38. Terhardt *op. cit.*, p. 488
39. Plomp, R. *Pitch of complex tones ...* p. 1532
40. Roederer *op. cit.*, p. 42
41. Houtsma and Goldstein *op. cit.*, p. 524
42. Roederer *op. cit.*, p. 38
43. *Ibid.*, p. 50
44. Gersuni, G.V. *Temporal organization ...* p. 85
45. Ganong *op. cit.*, p. 115
46. Roederer *op. cit.*, p. 91
47. Gordon, H.W. *Hemispheric assymetries ...* p. 397
48. Roederer *op. cit.*, p. 166
49. Gordon, H.W. *Verbal and non-verbal cerebral processing ...* p. 1-132
50. Roederer *op. cit.*, p. 167
51. *Ibid.*, p. 169
52. Gordon, H.W. *Hemispheric assymetries ...* p. 394
53. Franklin, E. and Baumgarte, R. *Auditory laterality ...* p. 54
54. Ganong *op. cit.*, p. 201
55. Woolf, C.J. *Memory ...* p. 4
56. Geschwind, N. *Specializations of the human brain ...* p. 114
57. Woolf *op. cit.*, p. 4
58. John, E.R. *Switchboard versus statistical theories ...*  
p. 850

## 6. TOONHOOGTEWAARNEMING TEORETIES VERBESONDER TEEN DIE MUSIEK AS AGTERGROND

In die voorafgaande hoofstukke is psigo-akoestiese beginsels bespreek met slegs enkele verwysings na musiek. Verskeie gehoorfenomene, byvoorbeeld die verskillimens, die kritiese bandwydte, kombinasietone en maskering word in die bespreking wat volg, op die toonhoogtewaarneming van musiek toegepas.

Omdat die meeste musici oor 'n relatiewe en nie absolute gehoor beskik nie, is die verhouding van opeenvolgende en sameklinkende tone belangriker as enkeltone. Daar word dus kortliks na die invloed van klankdruk en timbre op enkeltone se toonhoogte verwys en daarna word intervalwaarneming bespreek. Intrinsieke intervalekarakteristiek, die verdraagsaamheidspan van die gehoor ten opsigte van intervalle en die konsonansie en dissonansie van intervalle, word aangesny. Laastens word die kenmerke van die musikale gehoor so ver moontlik na aanleiding van navorsingsresultate geïdentifiseer.

### 6.1.1 Toonhoogtewaarneming van enkeltone

Soos reeds voorheen bewys is, benut die oor twee parameters van klank, naamlik frekwensie en periodisiteit om toonhoogte te bepaal. As gevolg van periodisiteitswaarneming word natuurlike, musikale tone wat uit 'n aantal botone bestaan, slegs as een fundamentele toonhoogte waargeneem. Ander klankeienskappe beïnvloed egter ook toonhoogtewaarneming, naamlik klankdruk en timbre. 'n Moderne gehoorteorie van E. Terhardt, wat veral op musiek van toepassing is, verduidelik die interafhanklikheid van toonhoogte, klankdruk en timbre.

### 6.1.2 E. Terhardt se gehoorteorie

Vir die laaste ongeveer tien jaar doen E. Terhardt reeds navorsing oor toonhoogtewaarneming. Hy dui 'n nuwe rigting in navorsing aan met sy teorie van twee tipes toonhoogte, naamlik spektrumtoonhoogte en virtuele toonhoogte. Die toonhoogte van elke afsonderlike botoon van 'n komplekse toon, bereken met inagneming van maskeringseffekte tussen botone, staan bekend as spektrumtoonhoogte. Virtuele toonhoogte word uit die spektrumtoonhoogte bereken en stel die waargenome toonhoogte van die komplekse toon voor. Nóg spektrumtoonhoogte, nóg virtuele toonhoogte stem presies met die frekwensies van onderskeidelik die botone of die fundamentele toon ooreen. Terhardt se teorie maak juis voorsiening vir die invloed van maskering, klankdruk en timbre op toonhoogte, vandaar die verskille.

Die spektrumtoonhoogte van botone verskil van die werklike frekwensie van die botone as gevolg van maskering tussen die botone wat klein toonhoogteverskuiwings, dit is die verskil tussen die frekwensie van die botoon en die frekwensie van die toon na analise in die binne-oor, tot gevolg het. Dié verskuiwings wissel van 1 tot 4 Hz, met die kleinste afwyking by die lae botone en die grootste afwyking by die hoë botone.<sup>1</sup>

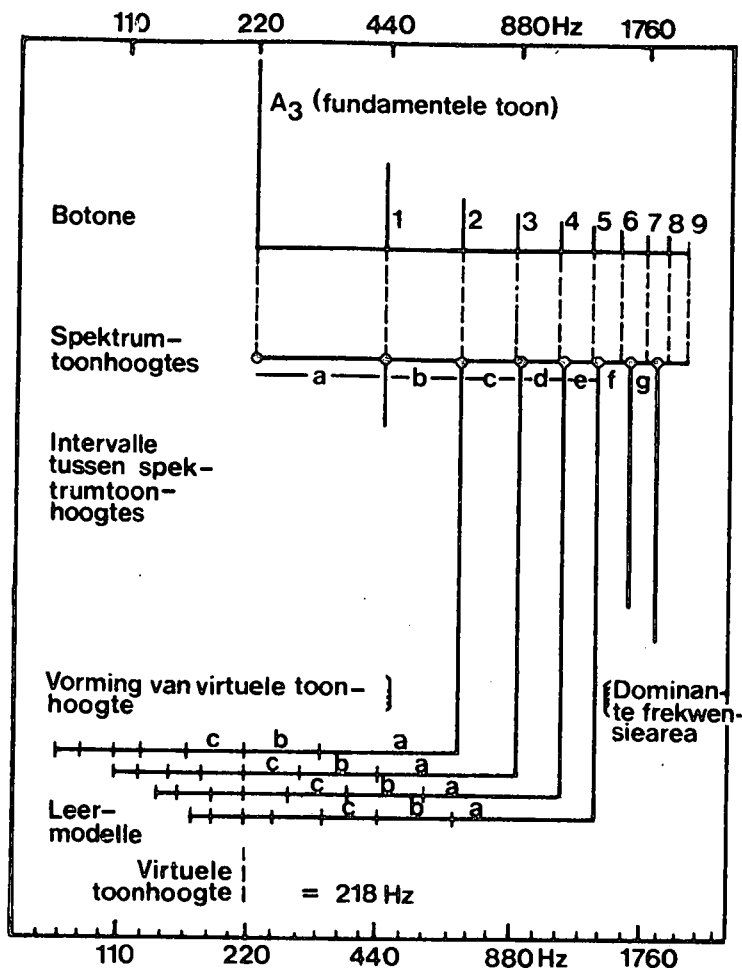
Die virtuele toonhoogte word uit die spektrumtoonhoogtes volgens 'n sogenaamde leermodel bereken, waarvolgens die intervalle met toonhoogteverskuiwings tussen botone in die mens se geheue ingeprint is deur 'n leerproses. Terhardt beweer dat die mens, weens die noodsaaklikheid om spraak te verstaan, leer om sinustone in botoonreekse te groepeer en sodoende een toonhoogte aan 'n komplekse toon toe te ken wat die klanke sinvol maak. Deur dié teorie van 'n leermodel ondersteun hy dus die bewering dat daar 'n sentrale toonhoogteverwerker in die hoër ouditiewe weë bestaan.<sup>2</sup>

Deur middel van die leermodel word elke spektrumtoonhoogte in 'n spesifieke botoonreeks ingepas. Dié botoon in die leermodel wat die naaste ooreenstem met sekere tone in die leermodel van die ander spektrumtoonhoogtes, vorm uiteinde=lik die virtuele toonhoogte. Terhardt het vasgestel dat spektrumtoonhoogtes tussen 500 en 1500 Hz dominant is by die bepaling van virtuele toonhoogte en dus word slegs dié toonhoogtes in berekening gebring.

Weens die kompleksiteit van berekenings, het Terhardt 'n gerekenariseerde program ontwerp waarvolgens die virtuele toonhoogte van 'n komplekse toon bereken kan word. Ten einde die beginsels van virtuele toonhoogteberekening te illustreer, word vereenvoudigde voorstellings in voor=beeld 6.1(a)<sup>3</sup> en (b)<sup>4</sup> gebruik. Die komplekse toon wat in beide gevalle gebruik is, se fundamentele toonhoogte is  $A_1 = 220$  Hz. In voorbeeld 6.1 (a), bestaan die toon uit 'n fundamentele toon en botone een tot nege, en in voor=beeld 6.1(b) is slegs botone twee tot nege aanwesig.

Die frekwensies van tone word bo- en onderaan elke skets aangedui en die fundamentele toon en botone daarvolgens op die grafiek aangestip. Die amplitudes van die botone word teenoor die as  $A_1$  aangedui. Op die tweede horisontale as van bo is die spektrumtoonhoogtes deur kolletjies aan=gedui nadat toonhoogteverskuiwings ingereken is. Die intervalle tussen die spektrumtoonhoogtes word deur die letters a, b, c, ... g voorgestel.

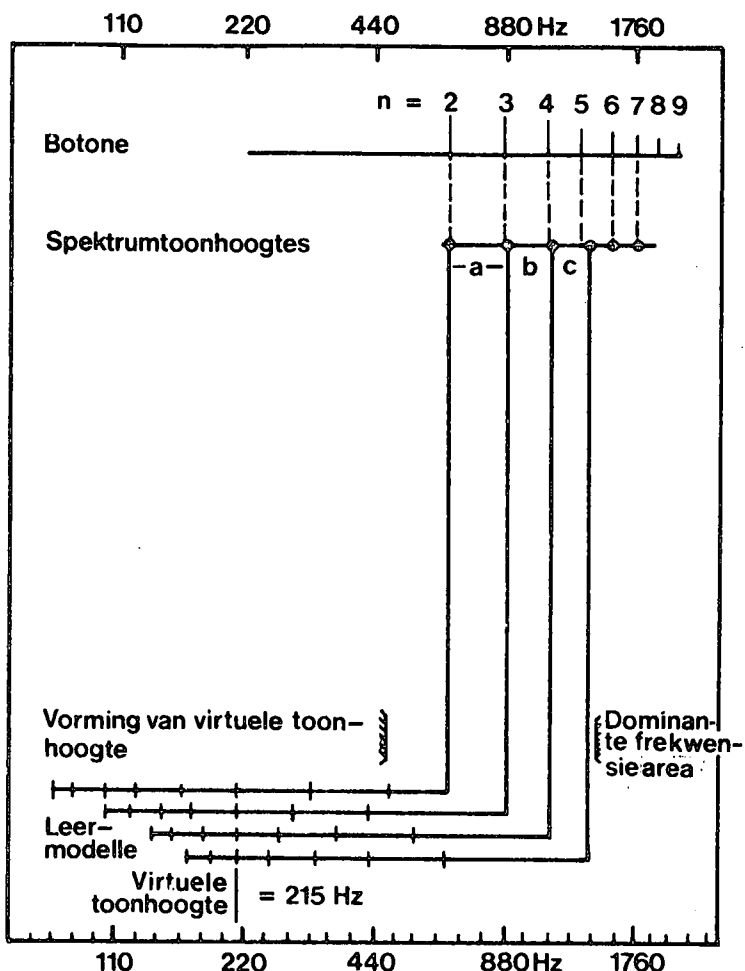
Dié spektrumtoonhoogtes wat in die dominante frekwensie=gebied van 500 tot 1500 Hz val, word gebruik om die virtuele toonhoogte volgens leermodelle onderaan die skets te be=reken. Die intervalle stem ooreen met dié van die spektrum=toonhoogtes en sluit dus ook toonhoogteverskuiwings in. Die virtuele toonhoogte in voorbeeld 6.1(a) is 218 Hz en in (b) 215 Hz. Dit verskil dus in beide gevalle van die fundamentele toonhoogte. Die botoonspektrum, en dus die



### Voorbeeld 6.1(a)

timbre van die toon, oefen 'n invloed op die virtuele toonhoogte uit, want (a) en (b) se verskillende botoon= spektra het verskillende virtuele toonhoogtes tot gevolg.

Verdere navorsing deur Terhardt het bewys dat klankdruk 'n invloed op die virtuele toonhoogte uitoefen. 'n Kom= plexe toon van 300 Hz, met alle botone tot by 4000 Hz, se toonhoogte daal effens met toenemende klankdrukvlak. Wanneer die toon net botone van 1500 tot 4000 Hz bevat,



### Voorbeeld 6.1 (b)

toon dit dieselfde neiging, maar in 'n geringer mate. 'n Komplekse toon van 300 Hz se virtuele toonhoogte neem egter toe wanneer dit slegs uit botone tussen 3000 en 4000 Hz bestaan.<sup>5</sup> Hieruit kan afgelei word dat toonhoogte, klankdruk en timbre interafhanklik is.

Terhardt se teorie is uniek en baie aktueel vir die musikus omdat dit die werklike waargenome toonhoogte kwantifiseer en wys op faktore wat toonhoogtewaarneming beïnvloed. Dit werp nuwe lig op die kompleksiteit van toonhoogtewaarneming.

## 6.2 Toonhoogtewaarneming van intervalle

### 6.2.1 Intrinsieke intervalkarakteristiek

Geoefende musici besit die vermoë om intervalle te identifiseer as byvoorbeeld 'n majeur derde, 'n mineur derde of ander, onafhanklik van die timbre, luidheid of frekwensiegebied waarin dit voorkom. Elke interval besit dus wat J.R. Trotter 'n intrinsieke intervalkarakteristiek noem.<sup>6</sup> Hierdie karakteristiek is gekoppel aan die verhoudings tussen die tone van die interval, maar die gehoor verdra sekere afwykings vanaf die intervalle se presiese gelykswewende stemmingswaarde. Dié eienskap van die gehoor staan bekend as die verdraagsaamheidspan.

Hoewel die intrinsieke intervalkarakteristiek oor die hele frekwensiegebied van musiek eenders bly, word intervalle volgens B.L. Riker makliker tussen  $C_4 = 261,6$  Hz en  $C_5 = 523,2$  Hz geïdentifiseer.<sup>7</sup> Sekere intervalle word ook geredeliker as ander geïdentifiseer. C.L. Spohn het 'n tabel saamgestel waarin die intervalle sistematies volgens hul moeilikheidsgraad georden is, soos aangedui in voorbeeld 6.2 'n Klein getal dui op maklike identifiseerbare intervalle teenoor 'n hoë waarde wat moeiliker identifiseerbaarheid aandui.<sup>8</sup>

Die oktaaf word dus die maklikste geïdentifiseer en die mineur sesde die moeilikste. Dit wil voorkom asof sekere intervalle beter as ander in die gehoor gedefinieer is en dus makliker geïdentifiseer word. Die redes vir hierdie verskynsel is egter nog onbekend.

Elke interval het dus 'n intrinsieke intervalkarakteristiek wat behou word binne matige afwykings vanaf die verhouding tussen die tone, met as norm die gelykswewende stemming. Intervalle word egter onder sekere omstandighede beter geïdentifiseer en die moeilikheidsgraad van identifisering verskil ten opsigte van intervalle.

Interval	Moeilikhedgraad (van maklik na moeilik)
Oktaaf	1
Majeur tweede	2
Mineur tweede	3
Majeur derde	4,5
Rein vierde	4,5
Rein vyfde	6
Majeur sesde	7
Majeur sewende	8
Mineur derde	9
Vergrote vierde	10
Mineur sewende	11
Mineur sesde	12

### Voorbeeld 6.2

#### 6.2.2 Konsonansie en dissonansie

Konsonansie en dissonansie word verbind aan die gehoor=indruk wat 'n bepaalde interval maak. Konsonante intervale vorm 'n groter eenheid en is steuringsvry, terwyl dissonante intervale growwer klink. Hoewel die skeidslyn tussen die twee nie absoluut is nie, word sekere intervale as konsonant en andere as dissonant beskou.

Talle musiekteoretici het deur die eeue uitlatings gemaak oor konsonansie en dissonansie. Van die belangrikste teorieë is dié van P. Hindemith en C. Stumpf.

P. Hindemith het geglo dat die graad van konsonansie deur die verhouding tussen 'n interval en sy verskiltone,  $h-l$  en  $2l-h$ , bepaal word, waar  $h$  die boonste en  $l$  die onderste noot van die interval is.<sup>9</sup> Hy gebruik dus slegs twee van

die drie kombinasietone wat deur R. Plomp as die algemeenste beskou word.

In voorbeeld 6.3 word sekere intervalle vanaf die konsonantste tot die dissonantste gerangskik, met die verskil-tone onder aangedui.

The image shows a musical staff with two systems of staves. The upper system consists of a treble clef staff and a bass clef staff. The lower system consists of a single bass clef staff. The notation includes various intervals and difference tones, with a legend indicating that squares represent h-l and circles represent 2l-h.

Legend:  
 □ = h - l  
 ○ = 2l - h

### Voorbeeld 6.3

As voorbeeld van berekening word die derde interval  $C_4 = 261,6$  Hz tot  $F_4 = 349,2$  Hz geneem. Die een verskiltoon is dus

$$\begin{aligned} h - l &= 349,2 - 261,6 \\ &= 87,6 \text{ Hz} \\ &= F_2 \end{aligned}$$

en die ander

$$\begin{aligned} 2l - h &= 2 \times 261,6 - 349,2 \\ &= 174,0 \text{ Hz} \\ &= F_3 \end{aligned}$$

Op hierdie wyse het Hindemith die intervalle volgens harmoniese eenvoud gerangskik, met die oktaaf as die eenvoudigste kombinasie van intervaltone en verskiltone en dus

die konsonantste. Die majeur sesde is hiervolgens die minste konsonant van die intervalle wat ondersoek is.

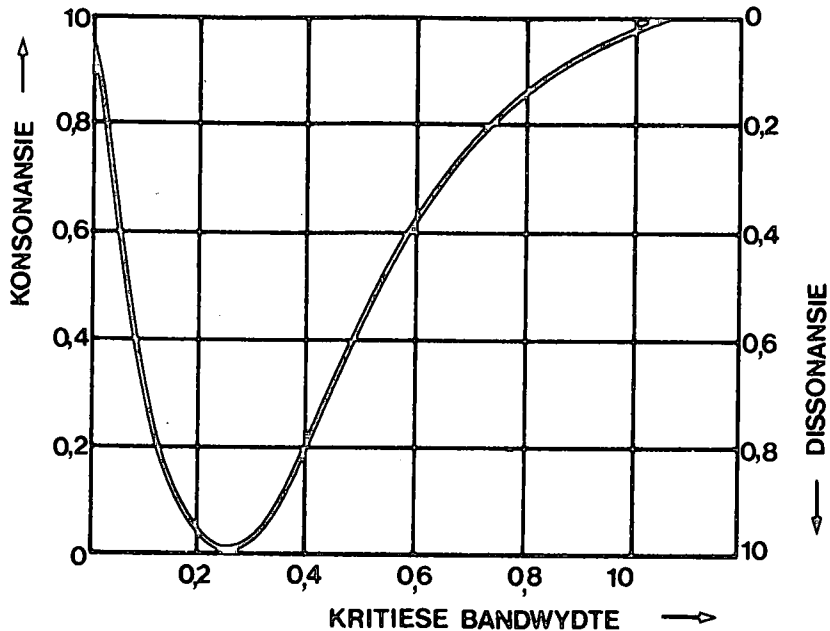
'n Ander teorie van konsonansie is deur C. Stumpf opgestel.<sup>10</sup> Hy beskryf konsonansie as die graad van versmelting tussen die fundamentele tone in die interval. Konsonante intervalle maak 'n groter eenheidsindruk op die luisteraar as dissonante intervalle. Volgens hom is die intervalorde van die konsonantste tot die dissonantste soos volg:

Oktaaf  
 Rein vyfde  
 Rein vierde  
 Mineur derde  
 Majeur derde  
 Vergrote vierde  
 Majeur tweede

Psigo-akoestiese navorsing wat in 1965 deur R. Plomp en W.J.M. Levelt onderneem is, werp egter nuwe lig op die probleem van konsonansie en dissonansie.<sup>11</sup> Hulle teorie wat op konsonansie as 'n funksie van die kritiese bandwydte gebaseer is, stel dat konsonansie 'n tipiese sensoriese verskynsel is wat met eenvoudige frekwensieverhoudings verband hou en nie uitsluitlik aan die musiek gekoppel is nie, maar wel van toepassing daarop is. Dit skep die indruk van gladheid en welluidendheid. Dissonansie, daarenteen, dui op die teendeel.

Ten einde 'n *konsonansie-dissonansie-indeks* waarin intervalle van die konsonantste na die dissonantste gerangskik en numeries uitgedruk word, op te stel, is 'n aantal persone gevra om intervalle volgens bogenoemde kenmerke te beoordeel. 'n Vergelyking van dié resultate met die kritiese bandwydte, het die funksie van laasgenoemde duidelik gemaak. Plomp en Levelt het naamlik bevind dat 'n interval wat 0,05 tot 0,5 van die kritiese bandwydte se waarde beslaan, as

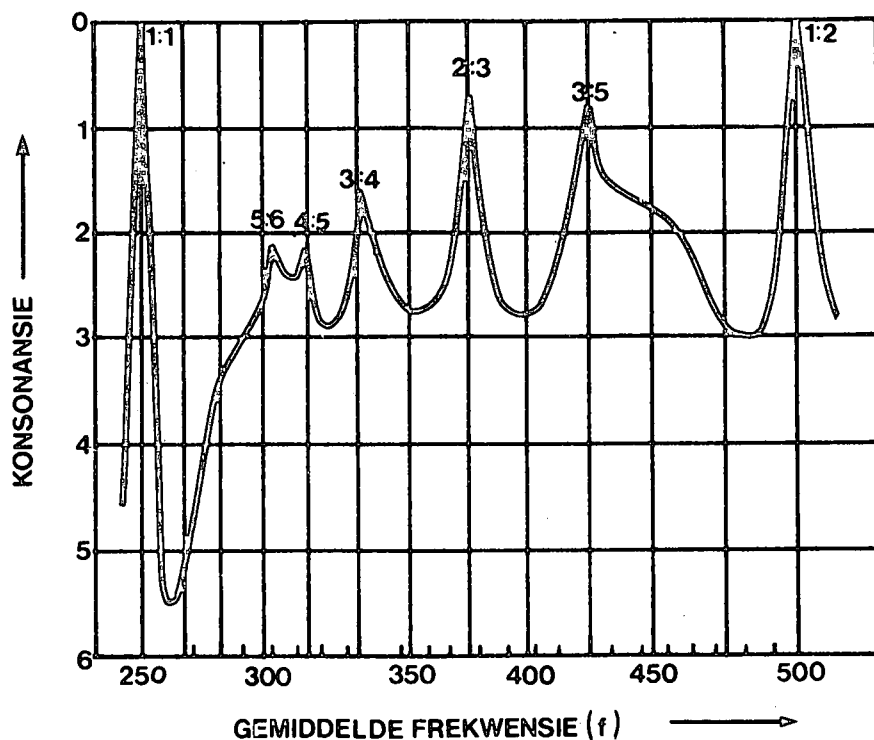
dissonant beoordeel word en dat intervalle wat 0,25 van die kritiese bandwydte is, die dissonantste is. Daarenteen is intervalle groter as 0,5 van die kritiese bandwydte konsonant. 'n Konsonansie-dissonansie-indeks is dus volgens hierdie bevindings in verhouding tot die kritiese bandwydte opgestel.<sup>12</sup> soos in voorbeeld 6.4.



#### Voorbeeld 6.4

Op die linkerordinaat het die konsonantste interval 'n waarde van een en die minste is nul. Die dissonansie-indeks op die regterordinaat neem in die teenoorgestelde rigting toe. 'n Interval wat ongeveer 0,5 konsonant en 0,5 dissonant is, kan dus as nóg konsonant nóg dissonant beskou word en is neutraal. Op die absissa word breukgedeeltes van die kritiese bandwydte, soos bereken vir alle frekwensies, aangedui. Intervalle met 'n dissonansie-indeks van een, dus die dissonantste intervalle, is ongeveer 0,25 van die kritiese bandwydte en die konsonantste interval lê buite die kritiese bandwydte.

Om die konsonansie-indeks van spesifieke intervale te bepaal, het Plomp en Levelt eksperimente met 'n laer komplekse toon van 250 Hz en 'n modulerende hoër toon gedoen.<sup>13</sup> Beide tone van elke interval het uit ses botone bestaan. In die grafiek, voorbeeld 6.5, word die gemiddelde frekwensie van die interval teenoor die konsonansie aangedui. Hoe konsonanter die interval, hoe kleiner is die konsonansiegetal.



#### Voorbeeld 6.5

Die frekwensieverhoudings van die intervale word bo die kurwe aangedui. Die resultate hiervan is van die konsonantste tot die dissonantste interval soos volg gerangskik:

- 1 : 1 = Unisoos
- 1 : 2 = Oktaaf
- 3 : 2 = Rein vyfde
- 3 : 5 = Majeur sesde
- 3 : 4 = Rein vierde
- 5 : 6 = Mineur derde
- 4 : 5 : Majeur derde

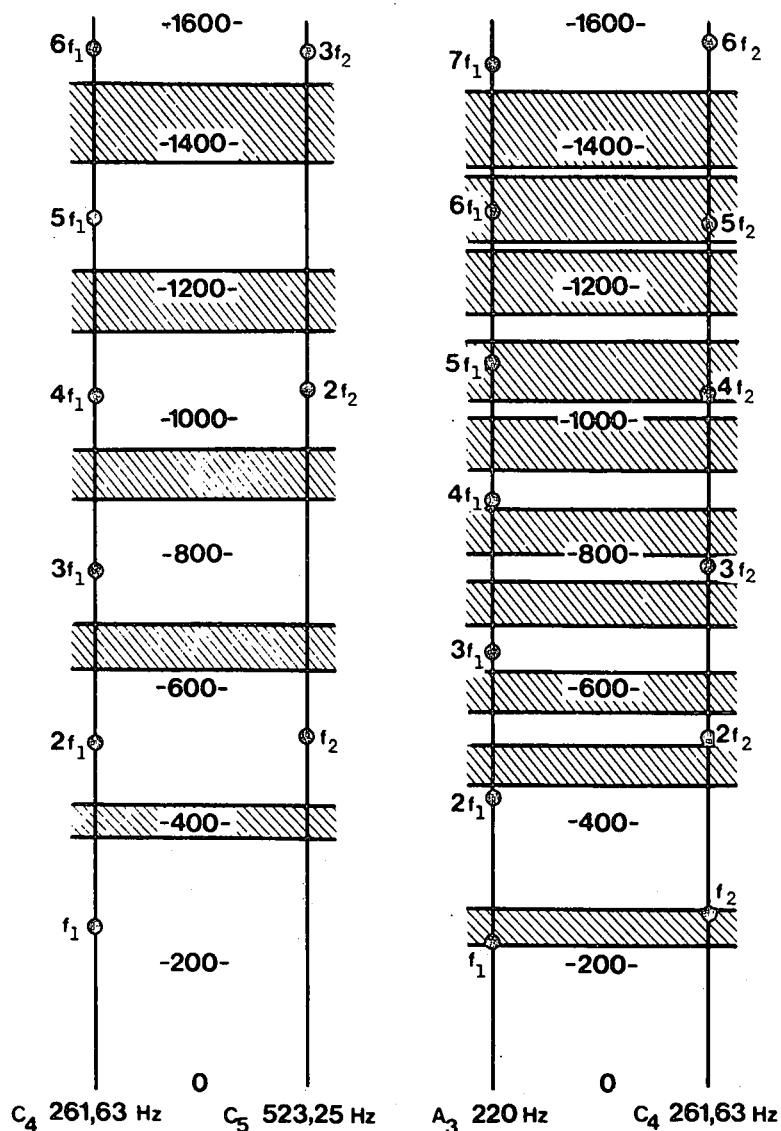
In die tabel, voorbeeld 6.6, word die konsonansie-dissonansie resultate van Hindemith, Stumpf en Plomp en Levelt vergelyk. Intervalle is gerangskik van die konsonantste tot die dissonantste.

HINDEMITH	STUMPF	PLOMP/LEVELT
Oktaaf	Oktaaf	Unisoos
Rein vyfde	Rein vyfde	Oktaaf
Rein vierde	Rein vierde	Rein vyfde
Majeur derde	Mineur derde	Majeur sesde
Mineur sesde	Majeur derde	Rein vierde
Mineur derde	Vergrote vierde	Mineur derde
Majeur sesde	Majeur tweede	Majeur derde

#### Voorbeeld 6.6

Die rein oktaaf en vyfde word algemeen as die konsonantste beskou en die rein vierde is ook redelik konsonant, behalwe by Plomp en Levelt, waar die majeure sesde meer konsonant as die rein vierde is. Plomp en Levelt se resultate word egter as die beduidenste beskou, omdat konsonansie en dissonansie psigo-akoesties deur die kritiese bandwydte verklaar kan word. Die kritiese bandwydte hou weer verband met die oorvleueling van resonansie-areas op die basillêre membraan. Dus kan konsonansie en dissonansie fisies verklaar word met inagneming van die bou van die binne-oor.

As toepassing van die Plomp-Levelt teorie, bied J.S. Rigden 'n insiggewende illustrasie van die konsonansie of dissonansie vir twee komplekse toonintervalle, naamlik die oktaaf ( $C_4$  tot  $C_5$ ) en die mineur derde ( $A_3$  tot  $C_4$ ).<sup>14</sup> Die konsonansie van 'n interval word nie net deur die fundamentele tone bepaal nie, maar ook deur die botone. Wanneer die twee komplekse tone se botone binne 0,05 tot 0,5 van die kritiese bandwydte val, veroorsaak dit grofheid in die klank en is die interval dus dissonanter. In voorbeeld 6.7 word die oktaaf en mineur derde voorgestel, met  $f_1$  en  $f_2$  onderskeidelik as die fundamentele tone van die twee intervaltone met hulle botone in volgorde daarbo.



Voorbeeld 6.7

Die verdonkerde areas sentreer om die gemiddelde frekwensies van twee naasliggende botone en dek 'n frekwensiegebied van 0,5 van die kritiese bandwydte.

Dit is duidelik dat geen botone van die oktaaf binne 0,5 van die kritiese bandwydte val nie, maar wel die tone  $f_1$  en  $f_2$ ,  $5f_1$  en  $4f_2$ , en  $6f_1$  en  $5f_2$  van die derde. Die mineur derde is dus baie dissonanter as die oktaaf.

Plomp en Levelt se konsonansieteorie is uiters toepaslik op musiek en kan as 'n nuwe basis vir die bepaling van konsonansie en dissonansie gebruik word.

### 6.2.3 Die verdraagsaamheidspan van die gehoor

Die frekwensieverhouding van geïntoneerde intervalle wyk dikwels van die gelykswewende stemming af. Klein toonhoogte-afwykings is soms wenslik vir 'n meer artistieke vertolking, mits dit met goeie smaak gedoen word.<sup>15</sup> Die grootte van die afwyking voordat dit deur die luisteraar of voordraer as "uit stem" waargeneem word, bepaal die verdraagsaamheidspan van die gehoor ten opsigte van daardie interval. Sommige persone mag 'n groot verdraagsaamheidspan vir intervalle hê, dit wil sê hulle neem intervalgroottes nie so goed waar nie, terwyl ander 'n sensitiewer gehoor met 'n klein verdraagsaamheidspan het. Hoewel die menslike gehoor in staat is om klein frekwensieverskille waar te neem, soos die verskillimens en grense vir frekwensiediskriminasie toon, word afwykings in 'n mate verdra by die identifikasie en intonasie van intervalle. Die verdraagsaamheidspan se grootte word ook deur die konteks van die interval, hetsy melodies of harmonies beïnvloed. Ook hang die verdraagsaamheidspan nou saam met die vergroting of verkleining van intervalle, bereken volgens die afwyking

vanaf die gelykswewende stemming.

Om 'n aanduiding te kry van die verdraagsaamheidspan se grootte, word eksperimentele resultate in intonasie en intervalwaarneming ontleed.

C.E. Seashore het in 'n studie van ses violiste se uitvoerings die intervalle van 'n mineur tweede, 'n majeur tweede, 'n mineur derde, 'n majeur derde en 'n rein vierde ondersoek en vasgestel dat die gemiddelde intonasie van die groep in alle gevalle, behalwe by die rein vierde, van die gelykswewende stemming afwyk.<sup>16</sup> Sy bevindings, bereken volgens die gemiddelde van die groep, is dat

- (1) die mineur tweede met 12 c verklein,
- (2) die majeur tweede met 6 c vergroot,
- (3) die mineur derde met 4 c verklein,
- (4) die majeur derde met 6 c vergroot en
- (5) die rein vierde met 2 c verklein word.

Die gemiddelde verdraagsaamheidspan is besonder klein, met inagneming daarvan dat 'n kwarttoon gelyk is aan 50 c. Die verdraagsaamheidspan is die kleinste vir die rein vierde en die grootste vir die mineur tweede. Seashore het bepaal dat in 'n melodiese progressie die rigting van die interval, dit wil sê stygend of dalend, geen invloed op die resultate het nie. J.G. Roederer het egter bevind dat die boonste noot van 'n stygende melodiese interval dikwels te hoog geïntoneer word.<sup>17</sup>

'n Eenvoudige, dog insiggewende eksperiment wat deur M.F. Meyer oor die waarneming van intervalle uitgevoer is, illustreer die invloed van harmoniese verband op die verdraagsaamheidspan.<sup>18</sup> Hy het eerstens 'n interval met die verhouding 32 : 55, dit is 'n interval tussen 'n majeur sesde en 'n mineur sewende, gebruik wat deur 'n luisteraar as 'n majeur sesde beskryf is om dus die naasliggendste en eenvoudigste

verhouding te verkies. Die resultaat onderskryf die teorie dat die brein voorkeur aan eenvoudige frekwensieverhoudings gee. Meyer beklemtoon dit dat 'n geoefende gehoor, soos dié van 'n goeie violis, egter die interval as uit stem sal beskryf.

Tweedens het hy intervale in die verhouding van 32 : 48 : 55 gebruik wat as 'n dominant sewende-akkoord sonder die derde waargeneem is. Die verhouding 32 : 55 word dus in dié geval as gevolg van die harmoniese konteks as 'n mineur sewende waargeneem. Die eenvoudigste verhouding, naamlik 4 : 6 : 7, dit is 32 : 48 : 56, word weer eens verkies. Die verdraagsaamheidspan word dus deur die musikale konteks beïnvloed.

Die verhoudings in die Meyer-eksperiment kan volgens arbitrêr gekose waardes na frekwensies omreken word, met die gevolg dat die grootte van die verdraagsaamheidspan vir hierdie eksperiment bepaal kan word.

Laat twee tone  $f_1$  en  $f_2$  in die verhouding  $f_1 : f_2 = 32 : 55$  staan, met  $f_1 = 440$  Hz ( $A_4$ ). Dan sal  $f_2$  gelyk wees aan

$$f_2 = \frac{55}{32} \times \frac{440}{1}$$

$$= 756,2 \text{ Hz}$$

Die noot  $f_2$  is dus tussen  $F_5$ -kruis (739,9 Hz) en  $G_5$  (783,9 Hz) geleë. Die verdraagsaamheidspan geneem vanaf  $F_5$ -kruis is dus gelyk aan

$$\begin{array}{r} 756,2 \\ - \underline{739,9} \\ \hline 16,3 \text{ Hz (37 c)} \end{array}$$

en vanaf G<sub>5</sub>

$$\begin{array}{r} 783,9 \\ - \underline{756,2} \\ \hline 27,7 \text{ Hz (62 c)} \end{array}$$

Die grootste waarde van die verdraagsaamheidspan is dus volgens Seashore 12 c en volgens Meyer 62c. Seashore het egter met 'n groep uitgesoekte violiste met sensitiewe gehoor geëksperimenteer terwyl Meyer slegs een persoon, met 'n redelike swak gehoor, getoets het. Weens onvoldoende gegewens kan dus nie uitsluitel oor die verdraagsaamheidspan gegee word nie. Dit is egter wel 'n baie belangrike aspek vir die musikus. Die vraag ontstaan of 'n musikus sy fisiese gehoorvermoëns maksimaal benut by veral intervalintonasie. Indien die verskillimens as uitgangspunt geneem word, is 'n mens in staat om frekwensieveranderinge van 3 tot 15 Hz tussen 100 en 3000 Hz waar te neem. Dit verteenwoordig cents-waardes van 51 tot 8c, met toenemende sensitiwiteit soos die frekwensie styg. Dit blyk dus dat die verdraagsaamheidspan nie veel groter as die verskillimens is nie en indien dit die geval is, kan waarskynlik gesê word dat 'n musikus sy fisiologiese gehoorpotensiaal goed benut.

### 6.3 Die musikale gehoor

Navorsers, soos C.E. Seashore<sup>19</sup> en R.F. Wyatt,<sup>20</sup> is dit eens dat 'n persoon se vermoë om toonhoogtes korrek te onderskei, die belangrikste aanduiding van 'n musikale gehoor is. 'n Ondersoek na 'n persoon se toonhoogtewaarneming kan dus moontlik as 'n aanduiding van musikaliteit benut word, hoewel ander faktore ook van belang is. Om dié rede is dit belangrik om maatstawwe vas te stel in die moontlike bepaling van 'n goeie musikale gehoor.

Beduidendheid van 'n sensitiewe frekwensiediskriminasie as

norm vir 'n musikale gehoor is deur R.F. Wyatt<sup>21</sup> en C.E. Seashore<sup>22</sup> as 'n basiese aanduiding van musiektalent beskou en hoog aangeskryf as 'n keuringstoets. C.K. Madsen, F.A. Edmonson en C.H. Madsen<sup>23</sup> huldig weer die standpunt dat goeie frekwensiediskriminasie met meerdere musiekervaring en ouderdom ontwikkel. In ooreenstemming hiermee sien B.L. Riker<sup>24</sup> en R.F. Wyatt<sup>25</sup> dit as 'n vermoë wat aangeleer en met oefening verbeter kan word. Dit kan dus geargumenteer word dat frekwensiediskriminasie nie 'n aangebore talent of bepaalde fisiologiese eienskap is nie, maar dat dit aangeleer kan word. 'n Persoon se frekwensiediskriminasie kan beskou word as 'n maatstaf van sy ontwikkelingstadium in musiekwaarneming. Hoewel dit duidelik is dat elke persoon 'n fisiologiese drempel vir frekwensiediskriminasie het, word dit ook deur 'n kognitiewe vlak van ontwikkeling, wat in teenstelling met bogenoemde wel kan verbeter, bepaal.<sup>26</sup> Dit kan egter slegs tot die peil van die fisiologiese drempel verbeter.

D.C. Sergeant<sup>27</sup> het bewys dat musici beter as nie-musici in frekwensiediskriminasietoetse vaar. Sy bevinding is deur P.A. Haack<sup>28</sup> ondersteun. Daarenteen het J.W. Sherbon bevind dat musici geen besondere vermoëns in die verband besit nie.<sup>29</sup> Dit moet egter in ag geneem word dat nie alle musici op dieselfde peil van ontwikkeling verkeer nie.

Bewyse bestaan dat indien 'n persoon se diskriminasievermoëns verbeter, dit ook 'n verbetering in die intervalidentifisering tot gevolg het. M. Wolner het gevind dat kinders met musikale gehoorprobleme se vermoë om klaviertone te onderskei, verbeter het nadat hulle frekwensiediskriminasie verbeter is.<sup>30</sup> R.H. Seashore het selfs gevind dat persone wie se frekwensiediskriminasie verbeter is, beter in die Seashore-toonhoogtetoets gevaar het.<sup>31</sup>

Alle bewyse in ag genome, blyk dit dat frekwensiediskriminasie 'n aanduiding van die ontwikkelingstadium van die musi-

kale gehoor is en dat goeie vermoëns in dié verband suksesvoller intervalwaarneming tot gevolg het.

As aanduiding van 'n musikale gehoor word verskillimens hoog geag deur J.G. Roederer.<sup>32</sup> Hy is daarvan oortuig dat groot individuele verskille in verskillimens by persone verband hou met musikale opvoeding. 'n Persoon met kleiner verskillimens sal musikale tone meer effektief waarneem.

By die identifisering van die musikale gehoor ontstaan die vraag of toonhoogtewaarneming en toonhoogteproduksie verwant is. Volgens E. Roberts en A.D.M. Davies is daar egter geen direkte verband tussen swak intonasie en toonhoogtewaarnemingsprobleme nie.<sup>33</sup> Daarenteen huldig A.E. Fieldhouse die mening dat 'n swak musikale geheue 'n veel belangriker oorsaak van intonasieprobleme is as gebrekkige toonhoogtewaarneming.<sup>34</sup> J.R. Trotter verskil weer van bogenoemde navorsers en dui melodiedoofheid, dit is die onvermoë om tone in 'n melodie korrek te hoor, as 'n oorsaak van foutiewe intonasie aan.<sup>35</sup> Finaliteit is dus nog nie bereik oor die verband tussen toonhoogteproduksie en toonhoogtewaarneming nie.

'n Ander gehoorfenomeen wat moontlik vir die bepaling van 'n musikale gehoor belangrik is, is die onderste gehoordrempel. Hoewel D.C. Sergeant<sup>36</sup> geen korrelasie tussen die drempel en frekwensiediskriminasie gevind het en J.W. Sherbon<sup>37</sup> weer geen verband tussen die drempel en toonhoogtewaarneming nie, is Terhardt se bevindings in dié verband belangrik. Na aanleiding van sy teorie van spektrum- en virtuele toonhoogte, kan egter geredeneer word dat die gehoordrempel wel toonhoogtewaarneming sal beïnvloed, aangesien die klankdrukvlak van botone afneem en sommige botone dus nie waargeneem word wanneer 'n persoon se onderste gehoordrempel abnormaal swak is nie. Die virtuele toonhoogte sal in so 'n geval beïnvloed word deur die veranderde spektrumtoonhoogte.

*Absolute gehoor* is ten slotte een van die mees problematiese gehoorfenomene wat met die voorafgaande aspekte verband hou en kan die beste as 'n absolute geheue vir toonhoogte beskryf word. Kenmerkend hiervan is dat sommige persone 'n bepaalde noot as 'n A, 'n B-mol of 'n C-kruis en ander kan identifiseer, maar dikwels nie seker is in watter oktaaf dit lê nie.<sup>38</sup>

Ook is persone met absolute gehoor geneig om tone in isolasie te hoor en het hulle nie noodwendig 'n goeie geheue vir toonopeenvolgings nie. L.A. Petran, wat 'n studie van absolute gehoor gemaak het, beskou dit nie noodwendig as 'n aanduiding van musikale talent nie.<sup>39</sup> Die musikale gehoor kan dus nie na aanleiding van eienskappe van dié gehoorfenomeen gedefinieer word nie.

Uit die voorafgaande bespreking kan afgelei word dat navorsing nog nie volkome duidelike resultate oor die wese van die musikale gehoor opgelewer het nie. Baie vrae oor toonhoogtewaarneming bestaan steeds. Navorsingsmoontlikhede op hierdie gebied is groot en resultate sal belangrik wees in die keuring en opleiding van musici.

#### BIBLIOGRAFIE

1. Terhardt, E. *Pitch, consonance and harmony* ... p. 1064
2. *Ibid.*, p. 1068
3. Terhardt, E. *Psychoacoustic evaluation* ... p. 488
4. *Ibid.*, p. 489
5. Terhardt, E. *Calculating virtual pitch* ... p. 175
6. Trotter, J.R. *The psychophysics of melodic intervals* ... p. 16
7. Riker, B.L. *The ability to judge pitch* ... p. 345
8. Trythall, G. *Observations on music dictation* ... p. 272
9. Révész, G. *Inleiding tot de muziekpsychologie*, p. 98
10. *Ibid.*, p. 99-100
11. Plomp, R. and Levelt, W.J.M. *Tonal consonance* ... p. 551 and 553

12. *Ibid.*, p. 556
13. *Ibid.*
14. Rigden, J.S. *Physics and the sound of music*, p. 202
15. Seashore, C.E. *Psychology of music*, p. 29
16. *Ibid.*, p. 220 and 224
17. Roederer, J.G. *Introduction to the physics and psychophysics of music*, p. 151
18. Meyer, M.F. *New illusions of pitch ...*, p. 323-4
19. Seashore *op. cit.*, p. 63
20. Wyatt, R.F. *Improvability of pitch discrimination...*, p. 4
21. *Ibid.*
22. Seashore *op. cit.*, p. 63
23. Madsen, C.K. *et. al.* *Modulated frequency discrimination ...* p. 1470
24. Riker *op. cit.*, p. 346
25. Wyatt *op. cit.*, p. 27
26. Seashore *op. cit.*, p. 58
27. Sergeant, D.C. *Measurement of pitch discrimination ...* p. 13
28. Haack, P.A. *Influence of loudness ...* p. 76
29. Sherbon, J.W. *Association of hearing acuity ...* p. 256
30. Wyatt *op. cit.*, p. 27
31. *Ibid.*
32. Roederer *op. cit.*, p. 23
33. Roberts, E. and Davies, A.D.M. *Poor pitch singing ...* p. 237
34. Wegelin, A.W. *Musikselkunde ...* p. 287
35. Trotter *op. cit.*, p. 13 en 16
36. Sergeant *op. cit.*, p. 13
37. Sherbon *op. cit.*, p. 253
38. Bachem, A. *Various types of absolute pitch ...* p. 146-7
39. Petran, L.A. *An experimental study ...* p. 5

## 7. NAVORSING OOR ASPEKTE VAN INTERVALDISKRIMINASIE

Soos bekend is die werking van die oor in die musiekuiting besonder kompleks. Teen die agtergrond van musikale gehoorprobleme wat in hierdie studie aangesny is, is 'n eksperiment ontwerp om aspekte van die musikale gehoor se funksionering te ondersoek. Die begrip *verdraagsaamheidspan* in die intonering van intervale in die lewende uitvoering van musiek, hetsy deur die menslike stem of deur toonhoogte beheerde musiekinstrumente, is ongetwyfeld uiters belangrik vir musiekwaarneming en in die besonder by intonasieprobleme. Die hele problematiek rondom die verdraagsaamheidspan is egter in die navorsingsliteratuur 'n baie verwaarloosde gebied en word selde bespreek.

Teen hierdie agtergrond was dit belangrik om te poog om deur selfstandige navorsing op 'n beskeie wyse aandag aan aspekte van hierdie probleem te skenk. As uitgangspunt is die musiekinterval as norm vir noukeuriger berekenings geneem en is toetse met 'n gesonge melodie, geïsoleerde intervale en 'n aantal gestemde intervale afgeneem.

### 7.1 Die doel van die eksperiment

Met inagneming van die vorige, is die volgende aspekte van toonhoogtewaarneming en toonproduksie ondersoek:

- (1) die grootte van die verdraagsaamheidspan vir verskillende intervale,
- (2) die algemene tendens ten opsigte van die vergroting of die verkleining van intervale, gemeet teen die gelykswewende stemming as standaard,
- (3) die konstantheid van 'n persoon se prestasie om intervale te sing en dit eksperimenteel te stem,
- (4) die prestasie van 'n aantal musiekstudente as 'n eksperimentele groep, soos vir (1) en (2) te evalueer.

## 7.2 Eksperimentele metode

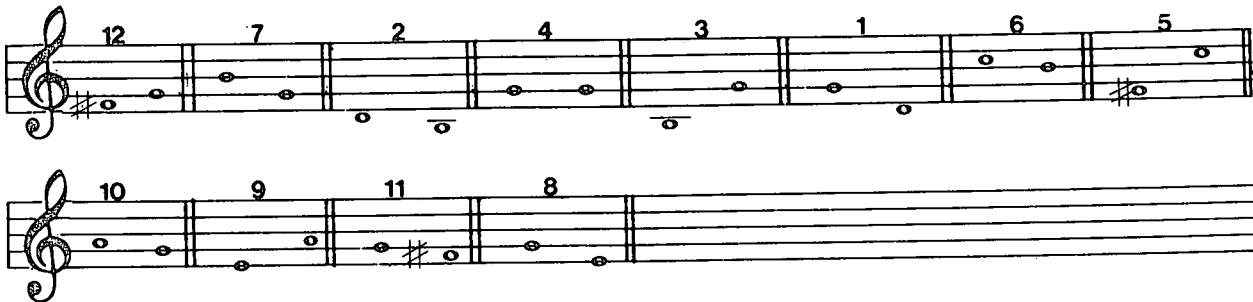
'n Damesgroep van agt eerstejaarmusiekstudente is ewekansig gekies om die volgende drie toetsreekse A, B en C af te lê:

Toets A: Dit het die sing van 'n algemeen bekende melodie ingesluit om enige probleem in verband met die nie-vertroud wees met note of vaardigheid te vermy. Vir die doel is doelbewus Psalm 100, die bekende "Juig al wat leef ..." gekies. Om stemmingsprobleme van 'n hoë ambitus te vermy, is die oorspronklike melodie van B-mol majeur na G-majeur getransponeer. Vir die doel van die eksperiment moes elke student die melodie driemaal sing. Dit is telkens op 'n magnetiese band opgeneem vir noukeurige meting. Die frekwensie van alle note is tot twee desimale syfers akkuraat in Hertz bereken, asook al die intervalle in cents vir 'n vergelykbare basis. Daarna is 12 intervalle, soos aangedui in voorbeeld 7.1, vir metingsdoeleindes en statistiese bewerking geïsoleer. Die berekende waardes vir die intervalgroottes in gelykswewende stemming word in cents bo die intervalle aangedui.

The image shows two musical staves in G major (one sharp). The first staff contains the first four notes of the melody, with frequency values 500, 300, 800, and 100 Hz written above them. The intervals between these notes are numbered 1, 2, 3, and 4. The second staff contains the remaining eight notes of the melody, with frequency values 600, 100, 400, 300, 500, 200, 100, and 100 Hz written above them. The intervals between these notes are numbered 5 through 12.

Voorbeeld 7.1

Toets B: In die toetsreeks is 12 intervale uit die melodie van toetsreeks A gekies en as geïsoleerde, losstaande intervale vermeng en deur dieselfde studente gesing. Die eerste noot van elke interval is aan die klavier voorgespeel waarna 'n student beide note van die interval vir opname moes sing, soos by toets A. Die intervale, aangedui in voorbeeld 7.2, is driemaal na mekaar gesing.



Voorbeeld 7.2

Toets C: In hierdie toetsreeks moes elke student ten slotte die drie intervale in voorbeeld 7.3 op ossillators stem. Die getal bo die balk dui die ooreenstemmende posisie van die interval in die oorspronklike reeks aan.



Voorbeeld 7.3

Die frekwensie van die eerste noot van elke interval in dié toetsreeks verlang, is vooraf noukeurig in gelykswewende

stemming op 'n ossillator, as 'n gemoduleerde sinusseinverwekker ingestem. Elke student moes met die regteroor deur middel van oorfone daarna luister waarna dié sein gedoof is. Hierna moes die student die tweede noot van die gevraagde interval op 'n tweede ossillator waarvan die sein op die linkeroor was, instem om die interval te produseer. Die interval moes deur middel van die ossillator se stelknop wat bedek was, suiwer ouditief gestem word sonder enige visuele oriëntasie. Die student kon dus na willekeur aan die gemoduleerde sein van die tweede ossillator stel om volgens eie oordeel die verlangde intervale kwaliteit te verkry. Drie pogings per interval is vir elke oor uitgevoer en die resultate daarvan op magnetiese band vasgelê.

Al hierdie opnames is in 'n akoesties-beheerde vertrek opgeneem. Daar is slegs van hoëtrou klankapparate van professionele gehalte gebruik gemaak.

Die noukeurige berekening van die frekwensie vir elke noot van die melodie, sowel as die intervale in Hertz, was besonder problematies omdat dit, soos gesing, komplekse tone van beperkte duurte is. Die finale meting is deur middel van 'n ossilloskoop gemaak waarop die beeld van elke noot wat van die bandopnemer herlei is, as 'n komplekse golf verskyn het. Die ligbeeld van elke gesingde noot op die ossilloskoopskerm is deur 'n hoëspoed 35 mm-kamera gefotografeer, waarna die frekwensie noukeurig bereken kon word, volgens die formule

$$\text{frekwensie (Hz)} = \frac{\text{aantal siklusse}}{\text{tydsindeling (sek.)} \times \text{vergroting} \times 10 \text{ indelings}}$$

Na bepaling van elke noot se frekwensie is die waardes vir intervale in cents bereken, volgens die reeds genoemde formule

$$\text{cents} = 3986.5 \log_{10} \frac{f_1}{f_2}$$

Hierdie waardes is in die statistiese bewerkings gebruik.

### 7.3 Resultate

#### 7.3.1 Die bepaling van die verdraagsaamheidspan

Die verdraagsaamheidspan is bepaal deur die gemiddelde afwyking van al die gesingde of gestemde intervalle teen die waardes van die gelykswewende stemming vir daardie interval, te bereken volgens die formule

$$\text{gemiddelde afwyking} = \frac{1}{N} \sum (X_i - T),$$

waar N die aantal intervalle of studente, X die pogings en T die teoretiese intervalgrootte in gelykswewende stemming is. Die gemiddelde afwyking asook die standaard afwyking van elke student se prestasie per interval is vir toetse A, B en C afsonderlik bereken. Om te bepaal of die gemiddeldes van elke toetsreeks vergelykbaar is, is variansietoetse, algemeen bekend as t-toetse, statisties met 'n betroubaarheidsinterval van 95% bereken.

Die resultate van die toetsreekse A, B en C is respektiewelik in voorbeeld 7.4(a), (b) en (c) getabelleer. In dié tabelle word die gemiddelde verdraagsaamheidspan van 'n student vir al 12 intervalle gegee, asook 'n berekening van die gemiddelde verdraagsaamheidspan per interval vir die agt studente saam.

A. Verdraagsaamheidspan (in cents)

Note	G <sub>4</sub> -D <sub>4</sub>	D <sub>4</sub> -B <sub>3</sub>	B <sub>3</sub> -G <sub>4</sub>	G <sub>4</sub> -G <sub>4</sub>	F <sub>4</sub> <sup>#</sup> -C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub> -B <sub>4</sub>	B <sub>4</sub> -G <sub>4</sub>	G <sub>4</sub> -E <sub>4</sub>	E <sub>4</sub> -A <sub>4</sub>	A <sub>4</sub> -G <sub>4</sub>	G <sub>4</sub> -F <sub>3</sub> <sup>#</sup>	F <sub>3</sub> <sup>#</sup> -G <sub>3</sub>	Gemiddeld
Interval	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	Rein Vierde	Mineur derde	Mineur sesde	Unisoon	Verminderde vyfde	Mineur tweede	Majeur derde	Mineur derde	Rein Vierde	Majeur tweede	Mineur tweede	Mineur tweede	
Studente													
1	36	27	51	69	40	32	18	23	23	20	6	9	30
2	23	7	66	35	18	6	18	8	29	24	26	32	24
3	17	52	86	6	75	31	29	7	42	22	24	30	35
4	52	66	79	20	63	140	23	53	58	32	78	74	70
5	9	53	49	65	53	38	57	28	15	29	41	44	40
6	22	67	62	14	40	22	9	27	39	39	44	39	35
7	75	10	35	23	46	48	93	37	58	22	18	50	51
8	41	51	57	102	80	33	79	65	46	55	24	12	54
Gemiddeld van agt studente	34	42	61	42	52	56	53	31	39	30	33	36	42

Voorbeeld 7.4(a)

B. Verdraagsaamheidspan (in cents)

Interval	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Gemiddeld	A-B
Student														
1	19	85	53	32	96	14	41	30	20	28	43	27	41	-11
2	22	34	54	47	41	34	25	21	35	49	27	25	34	-10
3	42	59	61	20	87	32	32	10	10	19	56	13	37	-2
4	186	83	58	17	70	27	42	16	30	7	20	19	48	+22
5	21	88	52	54	32	35	17	9	10	50	12	23	34	+6
6	11	45	54	9	19	21	28	38	98	20	22	44	34	+1
7	20	26	72	74	56	60	34	13	51	7	51	50	43	+8
8	6	29	7	23	43	16	91	26	94	13	14	26	13	+21
Gemiddeld van agt studente	41	56	52	34	56	30	39	20	45	24	22	28	38	
A - B	-7	-14	+9	+8	-4	+26	+14	+11	-6	+6	+11	+8		

Voorbeeld 7.4(b)

C. Verdraagsaamheidspan (in cents)					
Interval	2	4	12	Gemiddeld	B-C
Student					
1	7	4	28	13	+28
2	28	15	22	22	+12
3	51	4	10	21	+16
4	55	35	48	46	+ 2
5	58	3	39	33	+ 1
6	13	4	32	16	+18
7	48	13	24	28	+15
8	49	3	87	46	-13
Gemiddeld van agt studente				28	
	39	10	36		

Voorbeeld 7.4(c)

In die waardes vir toets A, in voorbeeld 7.4(a), kan gesien word dat die verdraagsaamheidspan baie vir die onderskeie studente en intervale verskil. Die waardes wissel van 6 tot 140 c. Dit is opvallend dat die verdraagsaamheidspan vir 'n bepaalde interval nie deurgaans dieselfde is nie. Student 1 se verdraagsaamheidspan vir 'n rein vierde is byvoorbeeld 36 c vir interval 1 en 23 c vir interval 9. Die verskille moet toegeskryf word aan die verskillende melodie konteksste waarin die interval optree, toonhoogte, tonale samehang of 'n verskil tussen dalende of stygende intervalsrigting.

Nadat die gemiddelde verdraagsaamheidspan van elke student se prestasie oor 12 intervale bereken is, kan 'n algemene beeld van haar gehoorvermoë in vergelyking met die prestasie van die groep verkry word. Die student met die kleinste gemiddelde verdraagsaamheidspan het met inagneming van die melodie as geheel die minste van die gelykswewende stemming afgewyk en het dus die beste presteer. Student 4, daarenteen, toon 'n besonder groot gemiddelde verdraagsaamheid=

span van 70 c en presteer dus die swakste van die groep. Die gemiddelde verdraagsaamheidspan van die groep vir al 12 intervale is kleiner as 'n kwarttoon (50 c).

'n Vergelyking van die gemiddelde verdraagsaamheidspan van die groep vir intervale met dieselfde intrinsieke interval= karakteristiek lewer die volgende resultate op:

- (1) Die mineur tweede (interval 6) word een keer ongeveer as 'n kwarttoon (50 c) geïntoneer en die volgende twee kere (intervalle 11 en 12) effens groter as 'n agste= toon (25 c). Die verdraagsaamheidspan vir interval 3 is besonder groot en moet aan die melodiese konteks toegeskryf word.
- (2) Die mineur derdes, intervale 2 en 5, verskil met 10 c.
- (3) Die rein vierdes, intervale 1 en 9, verskil slegs met 5c. Dit kan as 'n onbeduidende verskil beskou word.

Dit blyk hieruit dat die mineur tweede in die besonder swak in die gehoor gedefinieer is en sterk deur die musikale konteks beïnvloed word.

In hierdie toets is die verdraagsaamheidspan die grootste vir interval 3, die mineur sesde wat groter as 'n kwarttoon is. Dit is interessant dat C.L. Spohn ook die mineur sesde uitsonder as die interval wat die moeilikste geïdentifiseer word.

Dit is verrassend dat die gemiddelde verdraagsaamheidspan vir die unisoon 42 c is. Dit word dus nie akkurater as ander intervale geïntoneer nie.

'n Vergelyking van die waardes met die verskillimens vir frekwensie, toon die effektiwiteit waarmee 'n musikus sy fisiologiese gehoorpotensiaal benut. Volgens die algemene norme wat vir die verskillimens gestel is, soos in voorbeeld 5.3, is die gemiddelde persoon in staat om 'n frekwen-

sieverskil van 3 tot 4 Hz in die gebied 246 tot 523 Hz waarin die note van toetse A, B en C val, te onderskei. Dit behels min of meer die waardes in cents, soos aangedui in voorbeeld 7.5.

Frekwensie (Hz)	246	↔	300	↔	400	↔	500	↔	523
Verskillimens (c)	28	↔	23	↔	17	↔	14	↔	13

### Voorbeeld 7.5

Die gemiddelde verdraagsaamheidspan is konstant groter as die verskillimens en dus kan gesê word dat hierdie studente nie hul fisiologiese gehoorpotensiaal ten volle benut nie.

Wanneer die verdraagsaamheidspan vir die onderskeie intervalle in die kolom vir toetse A en B vergelyk word, toon dit verskille van 4 tot 26 c. Geen interval verskil met meer as 'n kwarttoon nie. Die verdraagsaamheidspan vir interval 6, die mineur tweede, is aansienlik groter in toets A. Dit bevestig die siening dat tonale verband 'n belangrike funksie in die intonasie van die intervalle in toets A speel en dat die verdraagsaamheidspan buite melodiese verband, soos by toets B, kleiner is. Alle cents-verskille in die tabelle vir toetse A en B wat positief is, dui daarop dat die verdraagsaamheid groter is vir A as vir B, terwyl negatiewe getalle die teenoorgestelde wys. Die algemene neiging vir die groep studente is 'n effens groter verdraagsaamheidspan vir intervalle binne 'n melodiese konteks uitgevoer. Daar is 'n algehele verskil van 4c.

'n Vergelyking van die getabelleerde resultate vir toetse B en C wys dat die verdraagsaamheidspan 10 c kleiner is vir gestemde intervalle as vir geïsoleerde intervalle. Dié verskil is egter nie beduidend nie en dus toon dit dat

die resultate van toonhoogteproduksie en -waarneming wel vergelykbaar is vir die drie betrokke intervalle.

Dit moet egter beklemtoon word dat die resultate grootliks van individu tot individu verskil wanneer na aparte intervalle gekyk word. Die gesamentlike prestasie van elke student in toetse A, B en C word in voorbeeld 7.6 gegee en toon dat student 2 die beste presteer het en student 4 die swakste.

Toets	A	B	C	Gemiddeld
Student				
1	30	41	13	28
2	24	34	22	27
3	35	37	21	31
4	70	48	46	55
5	40	34	33	36
6	35	34	16	28
7	51	43	28	41
8	54	33	46	44

### Voorbeeld 7.6

Die swakste prestasie is net meer as 'n kwarttoon. Die student het egter by sommige intervalle baie swak geïntoneer.

#### 7.3.2 Die vergroting of verkleining van intervalle

Deur middel van die verdraagsaamheidspan is die groottes van intervalle se afwykings reeds bepaal, asook die verskynsel dat intervalle selde presies volgens gelykswewende stemming gesing word. Tevore is egter nie aangedui of intervalle vergroot of verklein word en of daar 'n konstante

neiging ten opsigte van die vergroting of verkleining van intervale in cents is nie. In die tabel, voorbeeld 7.7 word gemiddelde waardes van die groep vir toetse A, B en C gegee. Vergrote intervale word as 'n positiewe en verkleinde intervale as 'n negatiewe waarde aangedui.

Vergroting (+) of verkleining (-) van intervale volgens gelykswewende stemming (in cents)												
Note	G <sub>4</sub> -D <sub>4</sub>	D <sub>4</sub> -B <sub>3</sub>	B <sub>3</sub> -G <sub>4</sub>	G <sub>4</sub> -G <sub>4</sub>	F <sub>4</sub> <sup>#</sup> -C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub> -B <sub>4</sub>	B <sub>4</sub> -G <sub>4</sub>	G <sub>4</sub> -E <sub>4</sub>	E <sub>4</sub> -A <sub>4</sub>	A <sub>4</sub> -G <sub>4</sub>	G <sub>4</sub> -F <sub>5</sub> <sup>#</sup>	F <sub>5</sub> <sup>#</sup> -G <sub>5</sub>
Interval	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Rein Vierde	Mineur derde	Mineur sesde	Unisoen	Verminderde vyfde	Mineur tweede	Majeur derde	Mineur derde	Rein Vierde	Majeur tweede	Mineur tweede	Mineur tweede
A	-16	0	-27	+12	-37	+35	-24	+14	+29	+3	-9	-4
B	-14	+15	+4	+9	-25	-1	-3	+1	+15	-9	+12	+6
C		-15		+7								-34

### Voorbeeld 7.7

Die resultate toon dat sommige intervale met dieselfde intrinsieke intervalekarakteristiek soms vergroot en soms verklein word, soos byvoorbeeld in

- toets A: die rein vierde, in intervale 1 en 9,  
 die mineur tweede, in intervale 6, 11 en 12,  
 toets B: die rein vierde, in intervale 1 en 9,  
 die mineur tweede, in intervale 6, 11 en 12.

Die feit dat die rein vierde, binne en buite melodiese verband, by interval 1 vergroot en by interval 9 verklein word, bewys dat die nie-konstante intonasie van dié interval nie net aan tonale verbande nie, maar ook aan die toonhoogte toegeskryf moet word. Dit is waarskynlik ook die rede waarom die mineur tweede, interval 6 in toets B, vergroot is en vir intervale 11 en 12, verklein is.

Deur die waardes vir toetse A en B te vergelyk, is bepaal dat intervale 1, 4, 5 en 7 tot 9, in beide toetse verklein of vergroot is. Uitsonderings is die mineur derde van inter=

val 2, die mineur sesde van interval 3, asook intervale 6 en 10 tot 12 wat soms vergroot en soms verklein word. Dit is veral opvallend dat die tweede noot van die unisoon binne die melodie en as geïsoleerde interval te hoog gesing word. Koorleiers weet uit ervaring dat die unisoon in 'n melodie 'n gevaarpunt vir intonasie in 'n koorvoordrag is, aangesien dit meesal detonering tot gevolg het. In hierdie toets is dit egter nie die geval nie.

Die grootste afwyking is by die verminderde vyfde wat aansienlik verklein word. Dit is opvallend dat die mineur tweede wat op hierdie verminderde vyfde binne die melodie volg, vergroot word om sodoende te kompenseer vir die verkleinde voorafgaande interval. Dit is opsigtelik duidelik dat veral die G as die tonika as 'n swaartekragpunt in die tonale samehang optree en hoewel studente soms swak intoneer en die verdraagsaamheidspan van intervale vergroot, herstel hulle in intervale waarin die tonika as fikseerpunte voorkom.

Die resultate van toets C toon dat die mineur derde van interval 2 anders as by A en B, verklein en die mineur tweede, interval 12, met 34 c verklein word. Die neiging is dus om die mineur tweede, onafhanklik van tonale verband ongeveer as twee derdes van 'n halftoon te stem.

Dit blyk dat intervale wat 'n konstante neiging ten opsigte van vergroting of verkleining toon, moontlik sterker deur die grootte van intervale binne die botoonreeks beïnvloed word as deur dié van die gelykswewende stemming. Sodanige intervale van toetse A en B word in die tabel, voorbeeld 7.8 met die verskilwaardes tussen intervale van die gelykswewende stemming en die botoonreeks vergelyk. Die waardes word in cents aangedui.

Interval	A	B	Botoonreeksinterval minus gelykswewende stemmingsinterval
Mineur derde	0; +14	+15; +1	+16
Majeur derde	-24	-3	-14
Rein vierde	-16	-14	- 2
Verminderde vyfde	-37	-25	-17

### Voorbeeld 7.8

Daar is inderdaad 'n sterk ooreenkoms tussen die vergroting of verkleining van intervale in die tabel en dus kan vir hier= die beperkte aantal voorbeelde, afgelei word dat die intervale in die botoonreeks 'n bepaalde faktor by intonasie is. Hier= die bevinding sluit aan by Terhardt se teorie van spektrum- en virtuele toonhoogte met gepaardgaande leermodelle.

#### 7.3.3 Konstantheid van intervalskatting

'n Musikus se vermoë om intervale steeds dieselfde te intoneer of te stem, word as baie belangrik beskou. Hoe duideliker intervale in die geheue vir 'n persoon gedefinieer is, hoe konstanter sal sy pogings wees om intervale binne die melodiese verband of as geïsoleerde intervale te sing. So ook behoort sy pogings om intervale te stem, nie groot gemiddelde afwykings te toon nie.

In die tabelle in voorbeeld 7.9 word al die gemiddelde afwykings vir elke interval vir drie of ses pogings deur elke student aangedui. In die laaste en onderste kolom word die gemiddelde afwyking per persoon oor 12 intervale, asook die gemiddelde prestasie van die groep per interval aangedui. Die waardes in cents word afsonderlik in drie tabelle vir toetse A, B en C aangedui.

## A. Afwykings (in cents)

Interval	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Gemiddeld van student
Student													
1	41	21	58	80	35	48	19	33	30	27	9	11	34
2	25	5	83	44	28	7	25	11	37	30	37	40	31
3	15	50	62	10	37	41	33	3	15	24	27	15	28
4	54	82	109	27	22	186	187	35	52	12	129	117	84
5	14	69	27	92	59	37	30	10	16	9	27	6	33
6	29	106	91	23	51	29	9	24	52	56	14	38	44
7	38	13	21	30	66	44	47	32	55	33	2	58	37
8	27	73	46	82	8	18	124	82	27	65	27	14	49
Gemiddeld van groep	31	52	62	49	38	51	59	29	36	32	34	37	

Voorbeeld 7.9(a)

## B. Afwykings (in cents)

Interval	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Gemiddeld van student
Student													
1	22	122	79	46	146	20	60	27	25	37	50	33	56
2	27	32	75	63	51	53	9	27	24	54	34	33	40
3	55	64	90	26	24	45	51	13	9	22	89	17	42
4	242	117	51	22	81	36	53	6	23	11	26	26	58
5	27	32	41	61	40	47	23	8	14	34	18	28	31
6	14	54	74	9	27	18	42	54	27	31	31	50	36
7	23	24	68	99	16	82	25	16	48	6	62	65	45
8	7	39	6	33	29	20	127	34	103	15	19	41	39
Gemiddeld van groep	52	60	60	45	52	40	49	23	34	26	41	37	

Voorbeeld 7.9(b)

C. Afwykings (in cents)				
Interval	2	4	12	Gemiddeld van persoon
Student				
1	3	4	19	9
2	17	11	30	19
3	29	5	11	15
4	48	7	18	24
5	25	5	8	13
6	16	4	14	11
7	43	16	25	28
8	37	4	16	18
Gemiddeld van groep	29	7	18	

Voorbeeld 7.9(c)

In toets A wissel die afwykings van 2 c vir interval 11 by student 7 tot die baie groot afwyking van 187 c vir interval 7 by student 4. Student 2 se prestasie toon die kleinste gemiddelde afwyking met 31 c en sy het dus die beste gevaar. Student 4 het daarenteen met 84 c heeltemal die swakste presteer. Alle studente, behalwe student 4, het 'n kleiner gemiddelde afwyking as 50c, dit is 'n kwarttoon en het dus konstant redelik goed gevaar.

Die gemiddelde afwyking per interval van die groep in toets A, wys dat die mineur derde van interval 8 die konstantste geïntoneer is. Die mineur derde van interval 2 is daarenteen egter een van die wisselendste intervalle. Die rein vierdes, intervalle 1 en 9, is beide redelik konstant geïntoneer met afwykings van 31 c en 32 c onderskeidelik. Die unisoon, interval 4, toon 'n besonder groot afwyking van 49 c. Die interval, wat volgens die tabel in voorbeeld 7.9 (a), die swakste in die gehoor gedefinieer is, is die mineur sesde. Dit wyk met meer as 'n kwarttoon af.

Die gemiddelde afwykings van die studente verskil aansienlik vir toetse A en B. In toets B vaar student 5 die beste, en student 4 weer eens die swakste. So ook verskil die konstantheid van intervale. Interval 8, die mineur derde, bly egter die beste gedefinieer, terwyl intervale 2 en 3, 'n mineur derde en mineur sesde respektiewelik, die swakste is. Hoewel die grootste interval, naamlik die mineur sesde, die meeste in toetse A en B afwyk, is die konstantheid waarmee 'n interval geïntoneer word, nie direk eweredig aan die grootte van die interval nie.

In toets C het student 1 die beste en student 7 die swakste gevaar. Die mineur derde van interval 2 was die swakste gedefinieer en die unisoon van interval 4 was die konstantste gestem in teenstelling met die resultate van toetse A en B.

Indien die intervale vir die hele groep volgens rangorde vir toets A en B gerangskik word, kan bepaal word watter intervale waarskynlik die beste in die gehoor gedefinieer is. Die tabel, voorbeeld 7.10, toon die gemiddelde afwyking in cents van intervale vir toetse A en B saam.

		Afwyking in cents	
Interval	8	mineur derde	26
	10	majeur tweede	29
	9	rein vierde	35
	12	mineur tweede	37
	11	mineur tweede	38
	1	rein vierde	42
	5	verminderde vyfde	45
	6	mineur tweede	46
	4	Unisoon	47
	7	majeur derde	54
	2	mineur derde	56
	3	mineur sesde	61

Voorbeeld 7.10

Die mineur derde, interval 8, is die konstantste, terwyl die mineur derde van interval 2 op een na die wisselendste is. Die unisoon wyk relatief baie af en die mineur sesde die meeste.

Toonhoogte, sowel as tonale verbande, het waarskynlik weer die sterkste invloed op die konstantheid van die gesonge of gestemde intervalgrootte.

#### 7.3.4 Gradering van studente volgens prestasie

In 'n poging om 'n metode te vind waardeur die sogenaamde *gehoorprofiel* van 'n musiekstudent relatief tot dié van ander bepaal kan word, is die agt studente se prestasies ten opsigte van verdraagsaamheidspan en konstantheid van intervalskatting as 'n indeks bereken.

Die gemiddelde waardes van elke student oor 12 intervale in toetse A en B elk, asook die drie intervale van C, is as norm by die berekening vir die verdraagsaamheidspan en die gemiddelde afwykings geneem. Die gemiddelde prestasie as 'n indeks in die twee kolomme bied 'n waarde uitgedruk in cents wat dit moontlik maak om studente volgens prestasie in rangorde te plaas, soos in voorbeeld 7.11 getabelleer.

	Verdraagsaamheidspan	Afwyking	Gemiddeld
Student			
6	28	30	29
2	27	30	29
3	31	28	30
5	36	26	31
1	28	33	31
7	41	37	39
8	44	35	40
4	55	55	55

Voorbeeld 7.11

Studente 6 en 2 het die beste algemene prestasie in hierdie eksperiment behaal. Studente 3, 5 en 1 se gemiddeldes lê in 'n dalende rangorde egter naby dié van studente 6 en 2. Daarteenoor het studente 7, 8 en 4 aansienlik swakker geprester met student 4 die swakste.

Hierdie eksperiment beklemtoon egter slegs twee aspekte van die musikale gehoor, naamlik die verdraagsaamheidspan en die konstantheid van intervalskatting. Om 'n volledige gehoorprofiel van 'n persoon saam te stel, moet egter toetse, soos byvoorbeeld dié vir die verskillimens, frekwensiediskriminasie, gehoordrempels en sensitiwiteit vir die kritiese bandwydte, gedoen word. Hierdie is dus slegs 'n vertrekpunt vir verdere navorsings.

#### 7.4 Samevatting

Die volgende afleidings kan ten opsigte van die resultate verkry vir 'n reeks van drie verskillende intervaltoetse afgeneem by agt musikstudente gemaak word:

- (1) Die grootte van die verdraagsaamheidspan wissel in die gemiddelde van die groep vir gesonge intervale van 'n melodie, soos in toets A, vanaf 24 tot 70 c, vir geïsoleerde intervale in toets B vanaf 33 tot 48 c en vir gestemde intervale in toets C vanaf 13 tot 46 c. Die waardes is aansienlik groter as dié van die ses violiste wat deur Seashore getoets is.
- (2) Die grootte van die gemiddelde verdraagsaamheidspan bereken vir agt studente verskil vir intervale. In die meeste gevalle verskil intervale met dieselfde intervalkarakteristiek ook.
- (3) Die gemiddelde verdraagsaamheidspan van die agt studente vir 12 intervale in toetse A en B elk en 3 intervale vir C is die grootste by A, kleiner by B en die

kleinste by C. Die verskil tussen die resultate van toetse A en B is egter gering.

- (4) Sommige intervalle, soos die rein vierde, die unisoon, die verminderde vyfde, die majeur derde en die mineur derde toon 'n konstante neiging van vergroting of verkleining. Ander intervalle word soms vergroot en soms verklein. Toonhoogte en tonale verband oefen 'n invloed hierop uit.
- (5) Die konstantheid van intervalskatting vir toetse A en B toon dat die mineur derde van interval 8 die beste gedefinieerde interval en die mineur sesde van interval 3, die swakste is vir die gemiddelde van A en B.
- (6) Die gemiddelde afwyking van 'n interval geneem oor drie pogings is slegs in uitsonderlike gevalle groter as 'n kwarttoon.
- (7) Die prestasie-indeks vir die agt studente, bepaal volgens die verdraagsaamheidspan en die konstantheid van intervalskatting, toon dat vyf studente baie goed presteer het, met gemiddelde waardes van 31 c of kleiner, maar dat studente 7, 8 en 4 in vergelyking met die ander, swakker presteer het met waardes van onderskeidelik 39, 40 en 55 c.

In die algemeen kan gesê word dat hierdie groep musiekstudente hulle fisiologiese gehoorvermoë soos bepaal deur verskillimans nie maksimaal benut by die intonasie en stemming van intervalle nie. Sommige studente het egter enkele intervalle besonder suiwer geïntoneer of gestem, terwyl ander soms baie swak gevaar het. Die note in laasgenoemde gevalle sal wel as vals waargeneem word. Die gemiddelde prestasie per persoon toon egter vir die meeste 'n gangbaar sensitiewe gehoor.

\* \* \* \* \*

Ten besluite kan gestel word dat uitgesonderd enkele tergende probleemareas, die stand van die navorsingskennis in verband met die neurologiese werking van die oor en gehoor hoogstaande en intensief is, maar dat daar 'n groot behoefte bestaan om hierdie kennis deur psigo-akoestiese musieknavorsing toepaslik te maak. So kan 'n brug gespan word tussen navorsing en musiekpraktyk, sodat indringender aandag aan musikale gehoorprobleme gegee kan word. Gesien teen die agtergrond van nog talle onopgeloste musikale gehoorprobleme wat bestaan, is hierdie 'n braakland vir toekomstige navorsing.

\* \* \* \* \*

## BRONNELYS

- APEL, W. *ed.* *Harvard dictionary of music*. 2nd ed. London, Heinemann, c. 1944.
- BACHEM, A. *Various types of absolute pitch*, in Journal of the acoustical society of America, 9: 146-51, 1937
- BACKUS, J. *The acoustical foundations of music*. 2nd ed. New York, W.W. Norton, c. 1969
- BARTLETT, F.C. *et. al.* *Experimental psychology* (in Preece, W.E. *ed.* *Encyclopedia Britannica*, 18: 779-83)
- BELL, J.F. and TRUESDELL, C. *Physics of music* (in Sadie, S. *ed.* *The new Grove dictionary of music and musicians*, 14: 664-77)
- BLUME, F. *Red.* *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*. Kassel, Bärenreiter-Verlag, c. 1949-51, 16 vol.
- CAJORI, F. *A history of physics in it's elementary branches ...* New York, Macmillan, c. 1899
- CLIFFORD, K. *et. al.* *Modulated frequency discrimination in relationship to age and musical training*, in Journal of the acoustical society of America, 46: 1468-72, 1969
- DAVIS, H. *Advances in the neurophysiology and neuro-anatomy of the cochlea* in Journal of the acoustical society of America, 34: 1377, 1962
- EDEY, M.A. *ed.* *Life science library [Sine loco]*, The Netherlands, c. 1965
- FARNSWORTH, P.R. *The social psychology of music*. 2nd ed. Iowa, Iowa State University Press, c. 1969
- FLETCHER, H. *Speech and hearing in communication*. New York, Robert E. Krieger, c. 1953
- FRANKLIN, E. and BAUMGARTE, R. *Auditory laterality effects for melodic stimuli among musicians and nonmusicians*, in Journal of research in music education, 26; 48-56, 1978

- GANONG, W.F. *Review of medical physiology*. 9th ed. Los Altos, Lange medical publications, c. 1979
- GARRISON, F.H. *An introduction to the history of medicine ...* 2nd ed. Philadelphia, Saunders, c. 1917
- GERSUNI, G.V. ed. *Sensory processes at the neuronal and behavioral levels*. New York, Academic Press, c. 1971
- GERSUNI, G.V. *Temporal organization of the auditory function* (in Gersuni, G.V. ed. *Sensory processes at the neuronal and behavioral levels*, p. 85-114)
- GESCHWIND, N. *Specializations of the human brain* (in *The Brain*, A Scientific American book p. 108-17)
- GLORIG, A. ed. *Audiometry: Principles and practices* Baltimore, Williams and Wilkins, c. 1965
- GORDON, H.W. *Hemispheric asymmetries in the perception of musical chords*, in Cortex, 6: 387-98, 1970
- GORDON, H.W. *Verbal and non-verbal cerebral processing in man for audition*. PhD diss., Psychology: California Institute of Technology, 1973
- HAACK, P.A. *Influence of loudness on the discrimination of musical sound factors*, in Journal of research in music education, 23: 67-77, 1975
- HAYDON, G. *Introduction to musicology*. Chapel Hill, University of North Carolina Press, c. 1941
- HOUTSMA, A.J.M. and GOLDSTEIN, J.L. *The central origin of the pitch of complex tones: evidence from musical interval recognition*, in Journal of the acoustical society of America, 51: 520-9, 1972
- INSTITUT FÜR NEUE MUSIK UND MUSIKERZIEHUNG DARMSTADT *Der Wandel des musikalischen Hörens* Berlin, Verlag Merseburger, c. 1965 (Edition Merseburger 1483)
- JOHN, E.R. *Switchboard versus statistical theories of learning and memory*, in Science, 177: 850, 1972

- MADSEN, C.K. *et. al.* *Modulated frequency discrimination in relationship to age and musical training*, in Journal of the acoustical society of America, 46: 1468-72, 1969
- MEIJ, H.S. *Die oor: gehoor en ewewig* (in Meyer, B.J. red. *Die fisiologiese basis van geneeskunde*, p. 15.1-15.10)
- MEYER, B.J. red. *Die fisiologiese basis van geneeskunde*  
2de uitg. Pretoria, HAUM, c. 1976
- MEYER, M.F. *New illusions of pitch*, in American Journal of psychology, 75: 323-4, 1962
- PETTRAN, L.A. *An experimental study of pitch recognition*, in Psychological monographs, 42: 1-119, 1932
- PLOMP, R. *Detectability threshold for combination tones*, in Journal of the acoustical society of America, 37: 1110-23, 1965
- PLOMP, R. *Pitch of complex tones*, in Journal of the acoustical society of America, 41: 1526-33, 1967
- PLOMP, R. *The ear as frequency analyzer I*, in Journal of the acoustical society of America, 36: 1628-36, 1964
- PLOMP, R. *The ear as frequency analyzer II*, in Journal of the acoustical society of America, 43: 764-7, 1968
- PLOMP, R. and LEVELT, W.J.M. *Tonal consonance and critical bandwidth*, in Journal of the acoustical society of America, 38: 548-60, 1965
- PREECE, W.E. ed. *Encyclopedia Britannica*, London, William Benton, c. 1971, 23 vol.
- RÉVÉSZ, G. *Inleiding tot de muziekpsychologie*, Amsterdam, Noord-Hollandsche Uitgevers, c. 1944
- RIGDEN, J.S. *Physics and the sound of music*. New York, John Wiley, c. 1977
- RIKER, B.L. *The ability to judge pitch*, in Journal of experimental psychology, 36: 331-46, 1946
- ROBERTS, E. and DAVIES, A.D.M. *Poor pitch singing: response of monotone singers to a program of remedial training*, in Journal of research in music education, 23: 227-39, 1975

- ROEDERER, J.G. *Introduction to the physics and psychophysics of music* 2nd ed. New York, Springer-Verlag, c. 1973
- SADIE, S. ed. *The new Grove dictionary of music and musicians* London, Macmillan, c. 1980, 20 vol.
- SEASHORE, C.E. *Psychology of music*. New York, Dover Publications, c. 1938
- SERGEANT, D.C. *Measurement of pitch discrimination, in Journal of research in music education, 21: 3-19, 1973*
- SHERBON, J.W. *Association of hearing acuity, diplacusis, and discrimination with music performance, in Journal of research in music education, 23: 249-57, 1975*
- SMOORENBURG, G.F. *Pitch perception of two-frequency stimuli, in Journal of the acoustical society of America, 48: 924-42, 1970*
- STELLAR, E. *History of psychology (in Preece, W.E. Encyclopedia Britannica, 18: 783-90)*
- STEVENS, K.N. and HOUSE, A.S. *Speech perception (in Tobias, J.V. ed. Foundations of modern auditory theory vol. 2, p. 1-57)*
- STEVENS, S.S. and WARSHOFSKY, F. *Sound and hearing (in Edey, M.A. ed. Life science library)*
- SPENDER, N. and SHUTER-DYSON, R. *Psychology of music (in Sadie, S. ed. The new Grove dictionary of music and musicians, 15: 388-427)*
- TANNER, W.P. and RIVETTE, C.L. *Experimental study of "tone deafness" in Journal of the acoustical society of America, 36: 1465-67, 1964*
- TERHARDT, E. *Calculating virtual pitch, in Hearing Research, 1: 155-82, 1979*
- TERHARDT, E. *Pitch, consonance and harmony, in Journal of the acoustical society of America, 55: 1061-69, 1974*
- TERHARDT, E. *Psychoacoustic evaluation of musical sounds, in Perception and psychophysics, 23: 483-92, 1978*

- THE BRAIN A Scientific American book. San Francisco, W.H. Freeman, c. 1979
- TOBIAS, J.V. ed. *Foundations of modern auditory theory*, vol. 2 New York, Academic Press, c. 1972
- TROTTER, J.R. *The psychophysics of melodic interval definitions, techniques, theory and problems*, in *Australian Journal of psychology*, 19: 13-25, 1967
- TRYTHALL, G. *Observations on music dictation programming*, in *Journal of research in music education*, 16: 267-77, 1968
- VON HELMHOLTZ, H.L.F. *Die Lehre von den Tonempfindungen als Grundlage für die Theorie der Musik = On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music* 2nd ed. New York, Dover Publications. c. 1877
- WEGELIN, A.W. *Musieksielkunde en die musiekaanleg van groepe skoliere in hoërskole van Port Elizabeth*, in Tydskrif vir geesteswetenskappe, 14: 281-300, 1974
- WELLEK, A. *Gehörpsychologie* (in Blume, F. Red. *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, 4: 1572-1609)
- WHELLAMS, F.S. *Musical abilities and sex differences in the analysis of aural-musical capacities*, in Journal of research in music education, 21: 30-9, 1973
- WINCKEL, F. *Psychoakustik* (in Blume, F. Red. *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, 10: 1716-29)
- WOOLF, C.J. *Memory*, in Leech, 45: 3-5, 1975
- WYATT, R.F. *Improvability of pitch discrimination*, in Psychological monographs, 58: 1-58, 1945.
- ZWICKER, E.G. et. al. *Critical bandwidth in loudness summation*, in Journal of the acoustical society of America, 29, 548-77, 1957

## OPSOMMING

### TOONHOOGTEWAARNEMING AS GEHOORFENOMEEN; 'N MUSIEKGERIGTE STUDIE

deur

SARAH MARGARETHA MOUTON

STUDIELEIER: Prof. C.L. Venter  
DEPARTEMENT: Musiek  
FAKULTEIT: Lettere en Wysbegeerte  
Universiteit van die Oranje-Vrystaat  
GRAAD: M. Mus.

Musiekstudente se vermoë om toonhoogte korrek te identifiseer en te intoneer is van deurslaggewende belang in die musiekopleiding. Toonhoogtewaarneming word as een van die belangrikste musikale eienskappe beskou en is dus van toepassing op die alledaagse musiekpraktyk.

Ten einde toonhoogtewaarneming as gehoorfenomeen te deurvors, is psigo-akoestiese navorsingsresultate op musiekwaarneming toegepas. Die bespreking kan in vier hoof fases verdeel word:

- (1) 'n Beskrywing van die fisiese eienskappe van klankgolwe en die samestellende elemente van musikale klank,
- (2) die bou en werking van die oor met verwysing na besondere funksies van die gehoor wat in analiserende, sintetiserende en interpreterende prosesse verdeel word,
- (3) die toepassing van psigo-akoestiese beginsels op toonhoogtewaarneming van veral intervalle in die musiek met besondere verwysing na intrinsieke intervalkarakteristiek,

konsonansie en dissonansie, asook die verdraagsaamheidspan van die gehoor en

- (4) selfstandige navorsingsresultate wat daarop toegespits is om die verdraagsaamheidspan te kwantifiseer, die vergroting of verkleining van intervalle binne en buite melodiese verband te bepaal en die konstantheid van intervalskatting te definieer.

## SUMMARY

### PITCH DETECTION AS AN AUDITORY PHENOMENON; A MUSICALLY ORIENTATED STUDY

by

SARAH MARGARETHA MOUTON

SUPERVISOR: Prof. C.L. Venter  
DEPARTMENT: Music  
FACULTY: Arts  
University of the Orange Free State  
DEGREE: M. Mus.

The ability of music students to identify and intone pitch correctly is of cardinal importance in music education. Pitch detection is considered one of the most important musical properties and therefore is linked closely to everyday musical practice.

The discussion of the subject is psycho-acoustically orientated and has been divided into four main sections:

- (1) An explanation of the physical properties of sound waves and in particular musical sound,
- (2) the anatomy and physiology of the ear with specific reference to the analitical, synthetical and interpretative functions of the hearing process,
- (3) the application of psycho-acoustical phenomena to pitch detection of musical intervals, with specific reference to intrinsic interval characteristics, consonance and dissonance as well as the tolerance span of hearing, and

(4) the results of independent research done to quantify the tolerance span of hearing, the magnification or diminution of intervals within a melody as well as isolated intervals, and to calculate the consistency of interval judgement.