

## INHOUDSTAFEL

<b>INHOUDSTAFEL .....</b>	<b>I</b>
<b>VOORWOORD .....</b>	<b>IV</b>
<b>SAMENVATTING .....</b>	<b>V</b>
<b>INLEIDING .....</b>	<b>1</b>
<b>DEEL 1 LITERATUURONDERZOEK.....</b>	<b>3</b>
1. Inleiding.....	3
2. Methodologie .....	3
3. Theoretische begrippen .....	5
3.1. Geluid (2,13).....	5
3.1.1. Wat is een golf? .....	5
3.1.2. Wat is een geluidsgolf? (13).....	5
3.1.3. Produceren van geluid.....	6
3.1.4. Waarnemen van geluid.....	6
3.1.5. Karakteristieken van geluid (5,13).....	6
3.2. Geluidssterkte (2) .....	8
3.3. Geluid meten (2,4).....	10
3.4. De audiometrie (4,5).....	11
3.4.1. Definities .....	11
3.4.2. De audiometer .....	12
3.4.3. Plaatsing van de hoofdtelefoon.....	12
3.4.4. Kalibratie van de audiometer.....	13
3.4.5. Methode van afname van de audiometrie.....	15
4. Referentieprofielen voor audiometrie .....	16
4.1. Gehoordrempel definiëren (6) .....	16
4.2. Variabiliteit van gehoordrempels in de tijd .....	18
4.3. Variabiliteit van de gehoordrempel volgens geslacht .....	18
4.4. Variabiliteit van gehoordrempels volgens leeftijd .....	19
4.5. Variabiliteit van gehoordrempel volgens lateraliteit .....	19

4.6.	Grafische voorstelling van referentieprofielen van gehoor .....	19
4.6.1.	Z-score diagram .....	19
4.6.2.	Percentielcurve .....	20
4.6.3.	Cumulatieve frequentiecurve.....	21
4.6.4.	Proportionele curve .....	22
5.	Nationale en internationale aanbevelingen voor gehoorscreening bij kinderen	22
5.1.	Methodes voor screening (9,18).....	22
5.2.	Internationale aanbevelingen .....	24
5.2.1.	Verenigde Staten .....	25
5.2.2.	Nederland .....	27
5.2.3.	België .....	28
6.	Besluit .....	32
<b>DEEL 2</b>	<b>EIGEN ONDERZOEK .....</b>	<b>33</b>
1.	Inleiding.....	33
2.	Doelstellingen .....	33
3.	Materiaal en methoden .....	34
3.1.	Onderzoeksopzet .....	34
3.2.	Locatie en apparatuur.....	34
3.3.	Achtergrondgeluid .....	35
3.4.	Afspraken rond audiometrie-afname .....	35
3.5.	Steekproef .....	36
4.	Resultaten.....	37
4.1.	Algemeen .....	37
4.2.	Achtergrondgeluid .....	37
4.3.	Steekproef .....	38
4.4.	Audiometrie .....	40
5.	Bespreking en discussie .....	44
5.1.	Studiepopulatie.....	44
5.2.	Gebruikte methode .....	44
5.3.	Achtergrondlawaai.....	45

5.4. Audiometrie .....	46
5.5. Grafische voorstelling van de resultaten .....	48
5.5.1. Z-score diagram .....	48
5.5.2. Percentielcurve .....	48
5.5.3. Proportionele curve .....	49
5.5.4. Cumulatieve frequentiecurve.....	50
<b>BESLUIT EN AANBEVELINGEN VOOR DE PRAKTIJK .....</b>	<b>52</b>
<b>REFERENTIELIJST.....</b>	<b>53</b>
<b>BIJLAGEN .....</b>	<b>56</b>

## VOORWOORD

Het schrijven van een eindwerk leek mij in eerst instantie geen makkelijke opdracht. Het feit dat het werk dat in deze thesis zou worden gestoken, voor een klein deel zou kunnen bijdragen tot de ontwikkeling van de 'Standaard gehoor' was voor mij bepalend voor de keuze van het onderwerp.

Het is duidelijk dat jeugdartsen nood hebben aan heldere, 'evidence-based' richtlijnen om de preventieve gezondheidszorg van de schoolgaande kinderen op een kwalitatieve manier te kunnen beoefenen.

Voor dit werk heb ik beroep kunnen doen op verschillende personen die mij steeds snel en vakkundig hebben ondersteund.

Gehoorscreening is een zeer uitgebreid onderwerp waarvan vele aspecten nog moeten belicht worden. Daarom wil ik in de eerste plaats mijn promotor bedanken, Prof. Karel Hoppenbrouwers van de dienst Jeugdgezondheidszorg K.U.Leuven, die steeds weer het terrein van dit eindwerk durfde afbakenen, ondanks de vele andere facetten die ongetwijfeld nog verder zullen moeten worden geëxploreerd in het kader van de 'standaard gehoor'.

Verder dank ik Dr. Cécile Guérin, wetenschappelijk medewerker van de Vlaamse Wetenschappelijke Vereniging voor Jeugdgezondheidszorg, voor haar wetenschappelijke expertise en haar persoonlijke ondersteuning.

Voor de grafische presentatie en de verwerking van de gegevens heb ik steeds beroep kunnen doen op de Heer Mathieu Roelants, werkzaam op de dienst Jeugdgezondheidszorg K.U.Leuven, zonder wie ik de geregistreerde gegevens moeilijk had kunnen interpreteren.

Uiteraard wil ik ook graag Prof. Van den Heyning, diensthoofd van de afdeling Neus-, Keel- en Oorgeneeskunde van het Universitair Ziekenhuis Antwerpen, en zijn medewerkers bedanken die zo vriendelijk waren ons een aantal aspecten rond gehoor te verduidelijken.

De zeven verpleegkundigen op het CLB waren eveneens onmisbaar bij het schrijven van deze thesis. Zij registreerden immers de audiogrammen. Hartelijk dank!

Dit werk was voor mij de eerste ervaring met grondig wetenschappelijk werk. Het leidde tot een databank waarvan ik hoop dat ze nog veel zal kunnen gebruikt worden.

## **SAMENVATTING**

Deze eindverhandeling geeft een beschrijving van een aantal topics.

In een eerste deel worden een aantal theoretische begrippen behandeld waaruit duidelijk wordt hoe men vanuit een 'golf' komt tot het registreren van geluid. Geluid wordt gedefinieerd als een reeks van drukveranderingen die zich voortplanten doorheen een medium (vb. lucht) en die door ons gehoor kunnen worden waargenomen. Geluid wordt uitgedrukt in decibel en de intensiteit wordt d.m.v. speciale geluidsniveaumeters gemeten.

Het gehoor wordt gemeten via een audiometrie. Een aantal karakteristieken van de audiometrie en de audiometer worden beschreven.

Een tweede deel geeft een overzicht van de bestaande screeningsmethoden voor gehoor en van (inter)nationale aanbevelingen i.v.m. gehoorscreening. Hieruit blijkt dat er tot op heden weinig eenduidigheid is over welke kinderen moeten gescreend worden, wanneer dit best gebeurt, en hoe vaak dit nodig is. De laatste richtlijnen in Vlaanderen dateren van 1979! In de USA blijken de verschillende organisatie niet altijd dezelfde richtlijnen voor te schrijven.

Wat betreft referentiedatabanken over de gehoordrempel bij kinderen, was één databank uit de USA uit de jaren '60 een belangrijk referentiepunt Deze gegevens worden dan ook uitgebreid besproken. Achteraf worden onze eigen data getoetst aan deze databank.

En een laatste deel beschrijft de databank die werd opgesteld met als doel het verzamelen van audiometrische gegevens van een grote groep otologisch normale kinderen. De resultaten van meer dan 3000 leerlingen worden beschreven. De variabiliteit van de gehoordrempel volgens geslacht, leeftijd, frequentie en lateraliteit wordt bekeken.

Deze resultaten worden ook grafisch voorgesteld.

Tenslotte volgt in het besluit een aantal aandachtspunten waarmee moet worden rekening gehouden bij het opstellen van verwijscriteria. Ook wordt de beste grafische voorstelling weerhouden die in de praktijk van toepassing kan zijn.

## **INLEIDING**

Systematische opsporing van gehoorafwijkingen bij schoolgaande kinderen is sinds decennia een vast onderdeel van het programma jeugdgezondheidszorg. Tot op heden is van enige uniformiteit in de screeningspraktijk nauwelijks sprake. De screeningspraktijk in de CLB is gebaseerd op richtlijnen uit 1979 van de toenmalige Belgische Minister van Volksgezondheid.

In het kader van de inspanningen om de belangrijkste Jeugdgezondheidszorg-activiteiten te baseren op wetenschappelijke evidentie, is in opdracht van de Vlaamse Minister van Volksgezondheid momenteel een standaard met betrekking tot de opsporing van gehoorstoornissen bij schoolgaande kinderen in voorbereiding.

Gehoorscreening in de Centra voor Leerlingenbegeleiding (kortweg CLB) gebeurt klassiek door middel van audiometrie. Een programma van gehoorscreening vereist niet alleen afspraken omtrent de te screenen doelgroep en de methodiek van screening, maar ook over criteria voor normaliteit/abnormaliteit en verwijzing. Een van de grote problemen voor het opstellen van “evidence-based guidelines” is het gebrek aan consensus over de grenzen waarbinnen audiometrische meetgegevens bij kinderen zich moeten situeren om als normaal beschouwd te worden. Bijgevolg bestaat er evenmin éénduidigheid over de leeftijds- en (eventueel) geslachtsspecifieke drempelwaarden voor de verschillende audiometrische frequenties die door de CLB als criteria voor verwijzing, verdere diagnostiek en behandeling gehanteerd kunnen worden.

Om op een rationele manier een beslissing te kunnen nemen omtrent deze criteria werd beslist om in een eerste stap een referentiedatabank met audiometrische meetgegevens van Vlaamse schoolgaande kinderen op te stellen. Door metingen te verrichten bij een grote groep Vlaamse kinderen in het kader van CLB-consulten heeft An Deleeck hiertoe de eerste aanzet gegeven. In haar eindverhandeling voor de GGS Opleiding Jeugdgezondheidszorg wordt de opzet van deze databank in detail beschreven. Haar bijdrage bestond erin de impact van in de internationale literatuur voorgestelde drempelwaarden voor audiometrisch onderzoek bij kinderen te toetsen aan de hand van de door haar ontwikkelde Vlaamse referentiedata.

De databank van An Deleeck was echter niet volledig. Sommige leeftijdsgroepen waren nog ondervertegenwoordigd. Bovendien werd nog geen aandacht besteed aan een optimale grafische voorstelling van de referentiedata, wat nodig is om ze beter geschikt te maken voor toepassing in de CLB-praktijk. Werk genoeg dus voor een tweede eindwerk over dit onderwerp. De concrete aanleiding voor dit eindwerk was echter een recente publicatie van Lemkens et al. in de Acta Oto-Rhino-Laryngologica Belgica waarin een overzicht wordt gegeven van de meetvariabiliteit van audiometrisch onderzoek, en leeftijdsspecifieke audiometrische referenties voor volwassenen worden gepresenteerd. Onze vraag hierbij was of de in deze publicatie voorgestelde methodiek voor het opstellen van referentieprofielen, en de daarbij horende grafische voorstelling, ook toepasbaar zou zijn op onze Vlaamse referentiedatabank van Vlaamse schoolkinderen.

Beslist werd om enerzijds de databank van An Deleeck uit te breiden en te vervolledigen met metingen bij leeftijdsgroepen die nog ondervertegenwoordigd waren, en anderzijds de kwaliteit van deze Vlaamse databank te beoordelen aan de hand van de vergelijking met een internationaal beschikbare databank van audiometrische gegevens voor dezelfde leeftijdsgroep. Tenslotte zou een poging gedaan worden tot grafische voorstelling van de Vlaamse data.

In een eerste literatuurgedeelte wordt een overzicht gegeven van de natuurkundige wetmatigheden die ten grondslag liggen aan geluid, geluidswaarneming en audiometrie. Bovendien wordt een overzicht gegeven van internationaal beschikbare gegevens met betrekking tot gehoorscreening bij kinderen.

In een tweede gedeelte worden het opzet en de resultaten van een gehooronderzoek beschreven van een grote groep kinderen. Aan de hand van deze metingen worden audiometrische referentieprofielen ontwikkeld, beschreven en op hun kwaliteit beoordeeld.

Tot slot worden, ten behoeve van de ontwikkeling van een standaard gehoor, aanbevelingen geformuleerd voor audiometrisch onderzoek van Vlaamse schoolkinderen in het kader van de CLB.

## **DEEL 1      LITERATUURONDERZOEK**

### **1.      Inleiding**

In het eindwerk van Deleeck werd reeds uitgebreid ingegaan op de anatomie en fysiologie van het oor en gehoor, en een overzicht gemaakt van courante en minder courante gehoorstoornissen bij kinderen. Bovendien werden de methoden van gehooronderzoek, en meer in het bijzonder de audiometrie, in detail beschreven. Bij het doornemen van enkele referentiewerken over audiologie, werd het mij echter duidelijk dat over een aantal basisbegrippen grote onduidelijkheid bestaat: begrippen worden door elkaar gebruikt, termen worden op verschillende manieren geïnterpreteerd, enz.

Een reden dus om in het literatuuronderzoek van deze eindverhandeling te focussen op de basisprincipes van het geluid, het gehoor en de audiologie. Eenduidigheid in deze basisbeginselen is immers een absolute voorwaarde om tot heldere en haalbare aanbevelingen voor de gehoorscreening in de CLB-praktijk te komen. In eerste instantie wordt daarom getracht een aantal begrippen en natuurkundige wetmatigheden i.v.m. geluid en audiometrie uit te klaren.

Een ander belangrijk gegeven bij het opstellen van concrete richtlijnen voor de dagelijkse praktijk, is het maken van een inventaris van wat, zowel nationaal als internationaal, reeds als aanbeveling omtrent dit onderwerp beschikbaar is. Om deze reden zocht ik in de literatuur naar aanbevelingen en referentiedatabanken die mogelijks zouden kunnen aanleiding geven tot duidelijke richtlijnen.

### **2.      Methodologie**

Zoals reeds gezegd werden in de eerste plaats enkele referentiewerken met betrekking tot audiologie geraadpleegd.

Veder werd een systematische literatuursearch verricht gebruik makend van de medische databank Medline. De volgende Mesh-termen werden ingevoerd: *screening audiometry and school-aged children and reference values* en de *related*



*articles*. Bij deze search en de aansluitende selectie van relevante artikels werden de volgende criteria aanvullend gehanteerd:

1. **Taal** : Nederlands, Frans en Engels
2. **Leeftijdsgroep van de studiebevolking**: kinderen van 0 tot 18 jaar
3. **Beschikbaarheid van de artikels**: universitaire bibliotheken
4. **Datum van publicatie**: 1965 tot heden

Uiteindelijk werd een selectie gemaakt van de artikels die zicht gaven op bestaande databanken rond gehoorscreening. Dit bleek zeer beperkt te zijn. Het gebrek aan databanken in de literatuur was één van de redenen om zelf werk te maken van een uniforme registratie van gegevens rond gehoorscreening

Aanvullend werd in de bibliotheek van de dienst Jeugdgezondheidszorg van de K.U.Leuven relevante informatie gevonden, zoals enkele eindwerken i.v.m. gehoor en gehooronderzoek bij kinderen, en ook de Nederlandse standaard voor vroegtijdige opsporing van gehoorstoornissen bij kinderen.

Het eerder genoemde onderzoek van Lemkens et al., dat de directe aanleiding was voor het opzetten van het onderzoek van dit eindwerk, werd uitgevoerd onder leiding van Prof. Van den Heyning van de dienst NKO van het Universitair Ziekenhuis Antwerpen. Dankzij mijn promotor kon een expertenoverleg geregeld worden met Prof. Van den Heyning en enkele van zijn medewerkers.

In de literatuur wordt vaak verwezen naar ISO-normen (International Standardization Organization) en ANSI-normen (American National Standardization Institute). Uit eerder gepubliceerde eindwerken jeugdgezondheidszorg (met name van E. Vermeire en A. Deleeck) bleek dat deze rapporten enkel tegen betaling te verkrijgen zijn. Via Prof. Van den Heyning van de dienst NKO van het UZA konden enkele van deze rapporten door ons ingekeken worden.

Een aantal parameters zullen statistisch worden getoetst. Dit gebeurde met de chi-kwadraat of Fisher exact test, die het verband tussen 2 variabelen toetst. Er zal gebruik worden gemaakt van deze toets bij het bepalen of de geslachtsverschillen wat betreft gehoor statistisch significant zijn. De test is significant als  $p < 0.05$ .

### **3. Theoretische begrippen**

#### **3.1. Geluid (2,13)**

##### **3.1.1. Wat is een golf?**

Omdat elk geluid dat we waarnemen overeenkomt met een geluidsgolf, leg ik eerst het principe van een golf uit.

Stel u voor dat u een steentje gooit op een groot oppervlak van stilstaand water. Er ontstaat een verstoring die zich voortplant aan de oppervlakte.

We kunnen een golfbeweging waarnemen, bestaande uit een top gevolgd door een dal, en dit steeds opnieuw.

Wanneer we nu een kurk op dit wateroppervlak plaatsen, zien we dat de kurk ter plaatse blijft, terwijl de golf zich voortplant, weg van de oorsprong van de golf. Hetzelfde geldt voor de watermoleculen; het zijn niet de moleculen die zich verplaatsen, wel de golf die zich voortplant doorheen de moleculen.

Uit het voorgaande blijkt dat de voortplanting van een golf een medium, een milieu vereist. Dit milieu bestaat uit moleculen die onderling kunnen interageren.

We kunnen een **golf** dus definiëren als **de voortplanting van een stoornis doorheen een milieu door interactie van de ene molecule met de andere.**

##### **3.1.2. Wat is een geluidsgolf? (13)**

Geluid wordt gedefinieerd als **een reeks van drukveranderingen die zich voortplanten doorheen een medium (vb. lucht) en die door ons gehoor kunnen worden waargenomen.**

Geluid bestaat dus uit trillingen van de ons omgevende luchtdeeltjes. Door het samenpersen van lucht, botst één molecule tegen de volgende, die weer tegen de volgende, enz.

Het traject dat elke molecule aflegt lijkt sterk op een golf : het is een sinusoidale beweging rond een evenwichtspositie.

### 3.1.3. Produceren van geluid

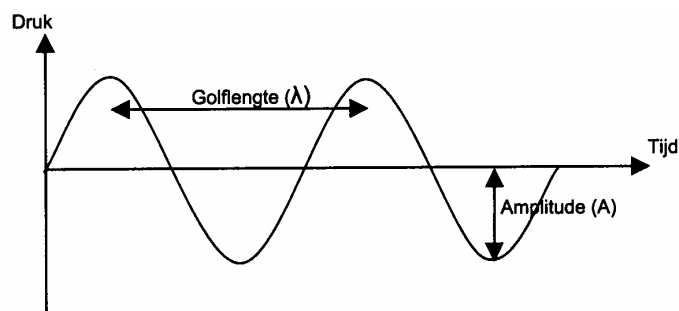
Zoals gezegd ontstaat geluid door het voortplanten van een verstoring van de ene molecule op de andere. Deze verstoring wordt steeds gecreëerd door de beweging van een voorwerp (o.a. de snaar van een gitaar, een trommel, een stemvork,...) Het oppervlak van het voorwerp zet de luchtmoleculen in beweging en initieert aldus een verstoring die zich voortplant doorheen het milieu.

### 3.1.4. Waarnemen van geluid

Een geluid waarnemen impliceert dat de drukvariaties geïnduceerd door de beweging van de moleculen, worden waargenomen.

Bij levende wezens gebeurt dit door het gehoororgaan. We beschikken eveneens over apparatuur om dit te doen, nl. de microfoon.

### 3.1.5. Karakteristieken van geluid (5,13)



Figuur 1: Longitudinale drukgolven veroorzaakt door een geluidsbron (5)

#### □ De geluidssnelheid (c)

De geluidssnelheid is de snelheid waarmee een stoornis zich voortplant doorheen het milieu. Het is de afstand die een bepaald geluid aflegt per tijdseenheid.

De geluidssnelheid is afhankelijk van het medium, maar onafhankelijk van de aard van het geluid, d.w.z. 2 verschillende geluiden verplaatsen zich aan dezelfde snelheid. De snelheid wordt uitgedrukt in meter per seconde.

De geluidssnelheid in lucht en bij 20°C is ongeveer 340 m/s.

□ **De frequentie (f)**

Moleculen bewegen zich rond hun evenwichtspositie : dit is een periodieke beweging.

Per definitie is de frequentie het aantal keer per seconde dat deze periode zich herhaalt (aantal cycli per seconde).

De frequentie wordt uitgedrukt in Hertz (Hz). [1 Hz = 1 cyclus per sec]

Het menselijk gehoor neemt frequenties waar van 20 Hz tot 16000 Hz.

□ **De periode (T)**

De periode is de duur van een cyclus en wordt uitgedrukt in seconden.

$$f = 1/T$$

$$T = 1/f$$

□ **De golflengte ( $\lambda$ )**

De golflengte is de afstand afgelegd door het geluid in 1 periode en wordt uitgedrukt in meter.

$\lambda = c.T$  , waarbij c = snelheid en T = periode

□ **De amplitude(A) – de intensiteit/vermogen (P)**

De intensiteit van het geluid is evenredig met het kwadraat van de druk (U) uitgeoefend op de moleculen, m.a.w. hoe meer druk uitgeoefend op de moleculen, hoe luider het geluid.

Deze druk is zelf evenredig met de amplitude van de oscillerende beweging die de drukschommeling heeft veroorzaakt.

De eenheid om geluidsintensiteit uit te drukken is Watt/cm<sup>2</sup>. (W/cm<sup>2</sup>)

De eenheid om druk uit te drukken is Pascal (Pa).

In optimale omstandigheden (d.w.z. geen omgevingslawaai) kan de mens geluid waarnemen van  $10^{-16}$  Watt/cm<sup>2</sup>. Dit komt overeen met een drukschommeling van 20μPa.

Bij toename van de geluidsdruk tot 100 Pa wordt de pijngrens bereikt. Ons gehoor heeft dus een dynamisch bereik van 20μPa tot 100 Pa.

### 3.2. Geluidssterkte (2)

Het verschil tussen het geluid met de minst nog waarneembare intensiteit ( $10^{-16}$  Watt/cm<sup>2</sup>) en de pijndrempel ( $10^{+14}$  Watt/cm<sup>2</sup>) is aanzienlijk. Als we dit lineair willen voorstellen, stoten we op het volgende probleem.

Als we de afstand tussen het nulniveau van geluidssterkte (=geen geluid) en de gehoordrempel voorstellen als een interval van 1 cm, moeten we de pijndrempel leggen op ... 1 miljard kilometer!

Daarom verkiest men een logaritmische schaal te gebruiken.

De logaritmische schaal voor geluid wordt uitgedrukt in **Bel (B)**.

De **Bel** is een maat voor een verhouding van twee grootheden tegenover elkaar.

Een **Bel** wordt gedefinieerd als **een halvering van de waargenomen luidheid** waarbij nog een tiende van het oorspronkelijke vermogen aanwezig is. Of andersom, voor een verdubbeling van het geluid is 10 keer het vermogen nodig.

De eenheid Bel bleek al gauw veel te groot te zijn om praktisch mee te werken, dus werd de **decibel (dB)** gebruikt. Een decibel is een tiende van een Bel. Dit is meteen ook het kleinste niveauverschil dat we met ons gehoor kunnen waarnemen.

Een voorbeeld : een stofzuiger geeft een geluid van 70 dB. Een tweede stofzuiger erbij (dus 2 maal zoveel vermogen) geeft geen 80 dB, maar 73 dB. Voor 80 dB zijn dus 10 stofzuigers nodig! Het verschil tussen 70dB en 80dB bedraagt 10dB (=1Bel), wat overeenstemt met een verdubbeling van de waargenomen luidheid en een vertienvoudiging van het vermogen van de geproduceerde geluidsgolven.

0 Bel ~ 1 mW

1 Bel ~ 10 mW

2 Bel ~ 100 mW

3 Bel ~ 1000 mW

**1 Bel** is dus wiskundig uit te drukken als  $\log P_1/P_2$ , waarbij P staat voor vermogen. Hieruit volgt dan dat **1 dB** wordt uitgedrukt als  $10 \log P_1/P_2$ .

In de audiologie is de verhouding van 2 drukken evenredig met het aantal decibel. We gebruiken dus de formule die ons het verband geeft tussen vermogen en druk (of spanning).

De intensiteit of het vermogen (P) is evenredig met het kwadraat van de druk (U) die wordt uitgeoefend op het milieu, gedeeld door de weerstand van dit milieu.

$P = U^2/R$ , waarbij U staat voor druk of spanning en R voor weerstand.

$$\begin{aligned} 10 \log (P_1/P_2) &= 10 \log [(U_1^2/R) / (U_2^2/R)] \\ &= 10 \log (U_1/U_2)^2 \\ &= 2 * 10 \log (U_1/U_2) \end{aligned}$$

dus **1dB = 20 log (U<sub>1</sub>/U<sub>2</sub>)**

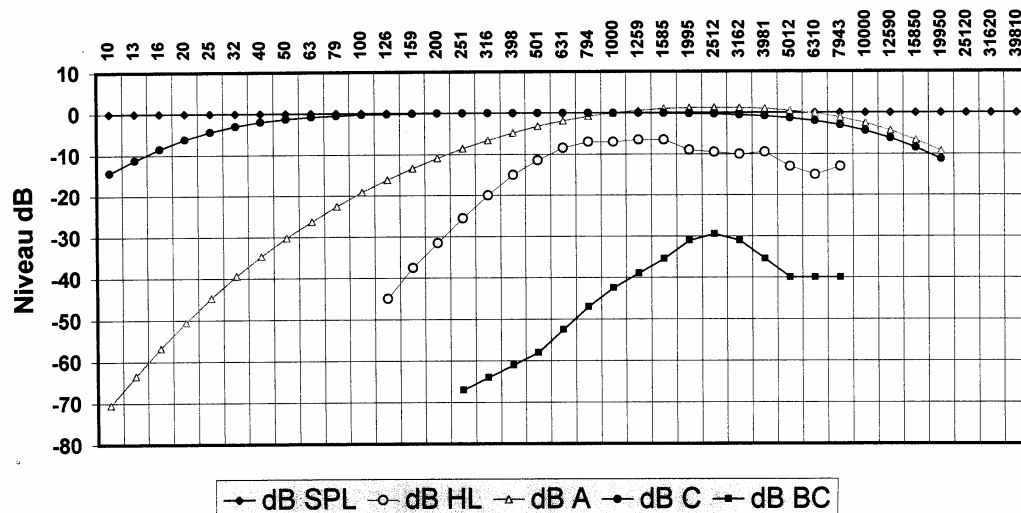
waarbij we dan U<sub>1</sub> definiëren als een referentiedruk en U<sub>2</sub> de gemeten druk.

Wanneer nu als referentiedruk 20μPa wordt gebruikt (dus de kleinst waarneembare drukverandering), spreekt men van de **dB SPL (Sound Pressure Level) of fysische decibel of absolute decibel**.

Wanneer als referentiedruk de gemiddelde gehoordrempel van een otologisch normale populatie van jonge volwassenen wordt gekozen, krijgen we de **dB HTL (Hearing Treshold Level) of dB HL (Hearing Level)**.

**dB Conversies**

Frekwentie Hz



Figuur 2: dB conversies (Bron: informatiebrochure Laperre)

In deze figuur stemt de nullijn overeen met dB SPL. De andere dB voorstellingen worden gerefereerd t.o.v. deze nullijn.

Door het feit dat onze oren gevoeliger zijn voor hoge dan voor lage tonen, wordt bij het bepalen van de geluidssterkte in de meetapparaten vaak een filter ingebouwd die de frequentiegevoeligheid van het menselijk oor nabootst. Dat levert een aangepast soort decibel op: de zogenaamde dB(A). Een geluidsniveau uitgedrukt in dB(A) komt dus in principe overeen met het geluid zoals wij dat effectief ervaren (de dB C en dB BC zijn anders ingestelde filters die in de industrie gebruikt worden).

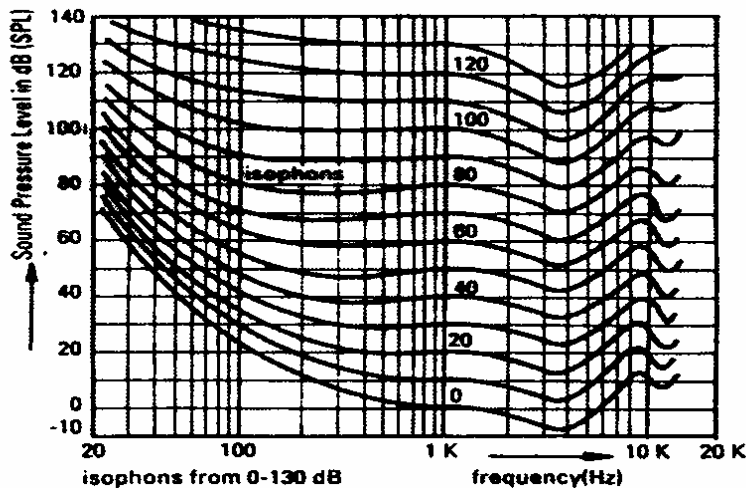
Zoals uit figuur 2 blijkt, is er in de spraakzone (tussen 1000 en 4000 Hz) een gebied van 7 tot 10 dB verschil tussen de dB SPL en de dB HL.

### 3.3. Geluid meten (2,4)

Een grafiek die de geluidsdruk weergeeft in functie van de frequentie is geen rechte lijn. Niet elke frequentie wordt immers even luid waargenomen. Het menselijk gehoor is het meest gevoelig voor het frequentiegebied tussen 1000 en 4000 Hz.

Deze gevoeligheidscurve van het gehoor is een soort U-vormige curve (**grafiek van Wegel genaamd**) met de hoogste gevoeligheid rond de middenfrequenties (1000-4000 Hz). Voor de lagere en de heel hoge frequenties is het gehoor veel minder gevoelig.

Figuur 3 visualiseert de frequentie-specifieke sound pressure level die overeenstemt met een identieke luidheid. Dit is weergegeven in lijnen van gelijke luidheid, ook isofonen genaamd.



Figuur 3: Grafiek van Wegel (Bron: informatiebrochure van Lapperre)

Uit de grafiek blijkt dat als 2 tonen wel dezelfde intensiteit (dB SPL) maar niet dezelfde frequentie hebben, ze niet even luid moeten klinken (dB A). De isofonen geven dus aan hoe het gehoororgaan geluidsterkte als luidheid ervaart.

### 3.4. De audiometrie (4,5)

#### 3.4.1. Definities

Audiometrie kan gedefinieerd worden als het bepalen van de gehoordrempel voor bepaalde frequenties d.m.v. een audiometer, waarvan het resultaat wordt opgetekend in een audiogram. **(22)**

Belangrijk te vermelden zijn de begrippen luchtgeleiding en beengeleiding. Het geluid komt de gehoorgang binnen en zal via de lucht het trommelvlies, de gehoorbeentjes en het membraneuze binnenoor aan het trillen brengen. Men spreekt van **luchtgeleiding**. Geluidstrillingen geven ook trillingen van de schedelbeenderen. Men spreekt dan van **beengeleiding**.

Bij een daling van de luchtgeleiding krijgen we een **geleidingsverlies** of **transmissieverlies**. Bij een daling van de beengeleiding hebben we een **perceptieverlies** of **sensorineuraal verlies**.



### 3.4.2. De audiometer

De meeste audiometers, in het bijzonder de Interacoustics AS 216 (die gebruikt werden in eigen onderzoek), hebben volgende onderdelen :

- ❑ een geijkte toongenerator die 11 frequenties van 125 tot 8000 Hz produceert bij een intensiteit van –10 tot +120 dB HL.
- ❑ een uitgang voor de hoofdtelefoon om de luchtgeleiding te testen
- ❑ een uitgang voor luidsprekers (om te testen zonder hoofdtelefoon)
- ❑ een uitgang voor een vibrator om de beengeleiding te testen (wordt op het voorhoofd of op de processus mastoïdeus geplaatst)
- ❑ een antwoordknop
- ❑ een ingang voor externe signalen
- ❑ een mogelijkheid voor het aanbieden van maskering (\*)

(\*) Maskering is het aanbieden van een stoorgeluid op het niet-onderzochte oor, zodat “meeluisteren” wordt vermeden. Op die manier wordt beïnvloeding door het niet-onderzochte oor uitgeschakeld.

### 3.4.3. Plaatsing van de hoofdtelefoon

Zeer belangrijk voor het bekomen van een betrouwbaar audiometrisch meetresultaat, is het **correct** plaatsen van de hoofdtelefoon. Het is de bedoeling dat de luidspreker van de hoofdtelefoon vlak tegenover de monding van de uitwendige gehoorgang geplaatst wordt. Men moet er steeds voor zorgen dat de hoofdtelefoon geen collaps van de uitwendige gehoorgang veroorzaakt.

Een studie van Flottorp waar meer dan 3000 audiogrammen werden bestudeerd (7) toont aan dat een herpositionering van de hoofdtelefoon in 58 tot 68% (afhankelijk van de frequentie) van de gevallen een verbetering geeft van 1.3 tot 2.1 dB op de frequenties 6000 Hz en 8000 Hz. Tijdens een 10 jaar durend geluidsproject in Noorwegen, werd bij 250 tot 300 werknemers onder andere de verbetering van de gehoordrempel geregistreerd na herpositioneren van de hoofdtelefoon. Bepaalde anatomische varianten van het buitenoor of een speciale haardracht kunnen een

invloed hebben op de plaats van de hoofdtelefoon. Soms wordt de hoofdtelefoon ook zonder deze oorzaken slecht gepositioneerd.

#### **3.4.4. Kalibratie van de audiometer**

**ISO-normen zijn normen uitgevaardigd door de International Organisation of Standardization; dit is een wereldwijde federatie van nationale standaard organisaties.**

De International Standardization Organization is een organisatie die sinds 1947 ongeveer 100 landen uit de gehele wereld groepeerd met als doel op internationaal vlak normen vast te leggen voor technische, fysische en geografische grootheden en eenheden, inclusief hun symbolen en schrijfwijzen. Alle Europese landen, maar ook de Verenigde Staten, Canada, Brazilië, Zuid-Afrika, Rusland, India, China Japan en Australië maken er deel van uit.**(23)**

De ISO-normen zijn het resultaat van een nauwe internationale samenwerking en worden wereldwijd onderschreven.

Tegenover het voordeel van internationale verspreiding van deze normen staat dat ze enkel een aanbeveling zijn. Nationale normen, die niet vergelijkbaar zijn of zelfs in tegenspraak zijn met de ISO-normen, kunnen zonder probleem blijven bestaan.

Alleen al voor audiometrie en geluid zijn een groot aantal ISO-normen uitgevaardigd. Zo geeft de **ISO 7029** voor volwassenen een idee van de verwachte verschuiving van de gehoordrempel (t.o.v. de gehoordrempel van een populatie van 18 jarigen) naargelang de leeftijd en dit voor frequenties van 125 Hz tot 8000 Hz.

De **ISO 1999** geeft een idee van de gehoorbeschadiging in functie van de blootstelling aan lawaai op de werkvloer.

Audiometers worden gekalibreerd volgens de **ISO 389-normen**.

De **ISO 389-normen** specificeren het referentie drukniveau (dB SPL) dat overeenkomt met de 0-waarde voor het gehoor (0 dB HL). Deze norm is gebaseerd op normatieve studies van gehoordrempels bij een groep normaal horenden van 18 tot 30 jaar. De laatste uitgave van de ISO-normen dateert van 1999-2000.

De gegevens van 15 studies werden gebruikt om deze ISO-normen vast te stellen. In 2 van deze studies werden voor 6000 Hz betere resultaten behaald dan (dus: lagere gehoordrempels) dan in de 13 andere studies.

Met deze 2 studies werd ook rekening gehouden bij het opstellen van de normen, wat als effect heeft dat de norm (afkomstig van de 13 andere studies) hierdoor opgetrokken werd (bij audiometrisch onderzoek vinden we daarom bij een frequentie van 6000 Hz gehoordrempels die hoger liggen (persoon hoort het dus minder goed) dan bij de omgevende frequenties (omdat de norm voor de frequentie 6000 Hz iets strenger is dan voor de andere frequenties).

De kalibratie kan op zichzelf ook systematische verschillen veroorzaken. Volgens de ANSI is een afwijking van 3 dB tussen opeenvolgende metingen op de frequenties 500 Hz tot 4000 Hz toelaatbaar, en van 5 dB op de hogere frequenties. Op deze manier kan in het slechtste geval de meting van het gehoor ten gevolge van kalibratieverschillen bijvoorbeeld via luchtgeleiding 3 dB te laag aangegeven en die volgens de beengeleiding 3 dB te hoog. Zo kan het lucht-bot verschil ten gevolge van kalibratie alleen potentieel oplopen tot 6 dB! (6)

In de VS worden audiometers gekalibreerd volgens de normen van de ANSI (American National Standard Institute). Deze zijn in overeenstemming met de ISO-normen.

Het **American National Standards Institute (ANSI)** (tot 1966 de **American Standards Association**) is een Amerikaanse non-profit organisatie die het beheer voert over een aantal vrijwillige, Amerikaanse standaarden en normeringen.(24)

De ANSI is in 1918 opgericht als een samenwerkingsverband van een aantal Amerikaanse ingenieursorganisaties met als doel het invoeren en promoten van het gebruik van verschillende standaarden en normeringen binnen de Verenigde Staten (later ook internationaal) om zo de concurrentiepositie van Amerikaanse bedrijven te verstevigen.

In **de ANSI 3.21** standaard werden de ASHA-richtlijnen (American Speech-Language-Hearing Association) voor achtergrondgeluid opgenomen. De maximale toelaatbare geluidsniveaus zijn 41.5 dB SPL voor 500Hz, 49.5 dB SPL voor 1000 Hz, 54.5 dB SPL voor 2000 Hz en 62 dB SPL voor 4000 Hz.

### 3.4.5. Methode van afname van de audiometrie

Afhankelijk van de doelstelling van het audiometrisch onderzoek, en de setting waarin het wordt uitgevoerd, kan men verschillende methodes van afname onderscheiden:

- **Ascending principe of stijgende drempel** : men laat de testintensiteit toenemen tot de persoon begint te reageren (nadeel: de betrokkene weet niet welk signaal er gaat komen, waardoor hij mogelijks te laat reageert en een slechtere drempelwaarde krijgt). Waarschijnlijk wordt hierdoor een licht verhoogde gehoordrempel geregistreerd. Het is een relatief eenvoudige en snelle methode, die het meest geschikt is om het aantal vals-negatieven zo laag mogelijk te houden.
- **Descending principe of dalende drempel** : de testtoon wordt aangeboden op een hoorbaar niveau en wordt dan steeds zachter aangeboden tot de betrokkene de toon niet meer hoort. Nadeel van deze methode is dat de onderzochte persoon soms ten onrechte denkt dat hij toch nog iets hoort, wat tot een betere score leidt. Het aantal vals-positieven wordt hierdoor laag gehouden, ten koste van een hogere proportie vals-negatieven.
- **Hughson-Westlake-techniek** : dit is een combinatie van beide methoden, volgens het principe “10dB dalen, 5dB stijgen”. Deze methode wordt aanbevolen door het “Committee on Conservation of the American Academy of Ophthalmology and Otolaryngology” en is daarom ook de meest gebruikte methode bij de neus-keel-oor artsen. Het is de meest betrouwbare methode, maar is wel tijdrovend en niet zo eenvoudig uit te voeren.

De onderzoeker begint met de drempelbepaling van het rechter oor. Er wordt steeds op 1000 Hz begonnen, dan de hoge tonen (2000 Hz, 4000 Hz en 8000 Hz), dan terug 1000 Hz, en tenslotte de lage tonen (500 Hz, 250 Hz en 125 Hz). Men biedt eerst een toon aan op 40 dB om vervolgens telkens met 10 dB te zakken tot de patiënt de toon niet meer hoort. Op dat ogenblik stijgt men terug met 5 dB tot de patiënt wel reageert. Deze procedure wordt gevolgd voor elke frequentie. Na het afwerken van alle frequenties van het rechter oor, herbegint men met het linker oor.

## 4. Referentieprofielen voor audiometrie

### 4.1. Gehoordrempel definiëren (6)

Eenzijds wordt de term gehoordrempel gehanteerd in het kader van het opstellen van referentieprofielen.

Anderzijds spreken we van een individuele gehoordrempel in het kader van de bepaling van de gevoeligheid van een individu voor een bepaalde frequentie vergeleken met de drempels van een referentiepopulatie.

In het eerst geval kan de gehoordrempel gedefinieerd worden op verschillende manieren :

- als **de zwakste signaalintensiteit van een zuivere toon waarbij het individu in 50% van de gevallen het signaal hoort.**
- als **de zwakste signaalintensiteit van een zuivere toon die door 50% van de individuen gehoord wordt.**

Wat de nauwkeurigheid van audiometrie betreft werd hoger reeds aangehaald dat een verschil van 3 tot 5 dB in de kalibratie van de audiometer volgens de ANSI normen toelaatbaar is.

Een ander argument dat pleit tegen een audiometrie in te kleine stappen kunnen we halen uit de literatuur. Verschillende studies (o.a. *Lutman* en *Davis (25)*) tonen verschillen aan tussen de audiometrische 0 (0 dB HL zoals bepaald in de ISO 389) en de drempelwaarden van otologisch normale personen tussen 18 en 30 jaar. Gemiddeld bedragen de verschillen tussen de normatieve studies waarop de ISO 389 normen gebaseerd zijn, en de drempelwaarden van de vermelde studies 4,3 dB.

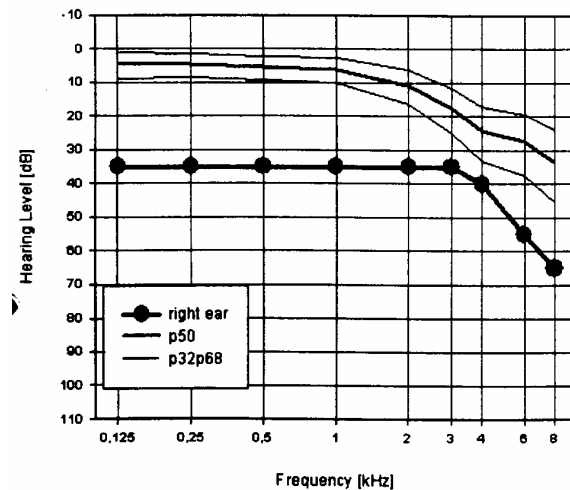
#### (6)

Deze verschillen kunnen voorkomen bij alle toestellen die gekalibreerd zijn volgens de ISO 389 en zorgen als dusdanig niet voor problemen bij het vergelijken van testresultaten. Het is wel belangrijk bewust te zijn van deze incorrecte 0-waarde, zodat je weet dat afwijkingen van deze grootteorde niet abnormaal zijn.

Naar aanleiding hiervan kan men zich de vraag stellen wat dan nog de waarde is van deze ISO-norm, wanneer blijkt dat zelfs deze gestandaardiseerde internationaal aanvaardde normen geen zekerheid geven.

In het tweede geval, om de individuele gehoordrempel van iemand te bepalen, is het praktischer te werken met de definitie van gehoordrempel als zijnde **de zwakste zuivere toon die het individu nog kan waarnemen**. Het is immers in de praktijk niet haalbaar elke frequentie herhaalde malen aan te bieden, om te bepalen welke intensiteit al dan niet in 50% van de gevallen door het individu gehoord wordt.

De curve die op deze manier kan worden opgesteld, is een klassiek **audiogram**. (Figuur 4) Hier wordt de gehoordrempel (in dB HL) (y-as) uitgezet t.o.v. de frequentie (in Hz) (x-as). De 0 dB HL wordt internationaal als referentiepunt gebruikt. Elk ander geluid wordt dan t.o.v. dit referentiepunt gemeten.



Figuur 4: Klassiek audiogram van een 63 jarige man. (6)

De percentiellijnen geven het verloop van dB HL aan voor 63-jarige mannen en dit voor de verschillende frequenties. De zwarte lijn geeft het individueel audiogram van deze 63-jarige man. Uit dit audiogram blijkt dat dit individu vooral op de hogere frequenties afwijkt van wat men heeft gemeten bij de gemiddelde otologisch normale populatie (van 18 tot 30jaar).

Wanneer je de individuele man echter vergelijkt met zijn eigen leeftijds- en geslachtsprofiel, dan situeert hij zich onder de norm, maar meer op de lagere dan op de hogere frequenties. Dit wordt verder in de tekst gevisualiseerd aan de hand van het Z-score diagram.

#### **4.2. Variabiliteit van gehoordrempels in de tijd**

In de jaren '60 gebeurde in de Verenigde Staten een grootschalig onderzoek naar de gehoordrempels van de Amerikaanse jeugd. Roberts, Huber en Ahuja beschreven dit gedetailleerd in 2 artikels. **(19,20)**

In deze studie werd de gehoordrempel van 7119 6- tot 12-jarigen en 6768 12- tot 17-jarigen bepaald. Rechter en linker oor werden getest op de frequenties 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 en 8000 Hz. Dit gebeurde in een geluidsarme kabine volgens de Hugh-Westson-Lake methode door getraind personeel.

De 'gehoordrempel' werd gedefinieerd als de laagste intensiteit van een toon die als juist hoorbaar wordt aangegeven. Hiertoe werden de audiometers gekalibreerd volgens de ASA 1951 American Standards Association en in het latere deel van de studie volgens de ANSI 1969. De ASA aanbevelingen van 1951 zijn gebaseerd op gegevens uit een grote studie uit 1935-36 (National Health Survey).

Gemeten volgens de dB-waarden van de ASA 1951 heeft méér dan 75% van beide groepen kinderen (6-11 en 12-17 jarigen) een gehoordrempel die lager is dan de audiometrische nul. Hieruit besluiten de auteurs dat de 'normale' gehoordrempel uit 1935-1936 duidelijk hoger (dus slechter) is dan de gehoordrempel van méér dan 50% van de Amerikaanse jeugd. De auteurs geven hiervoor als verklaring het verschil in akoestische omgeving, testtechniek, stabiliteit van de gebruikte audiometers en motivatie van de testpersonen. Daarnaast zijn ook echte verschillen tussen de populaties niet uit te sluiten. Echter, gemeten volgens de dB-waarden van de ANSI 1969 heeft slechts minder dan de helft een gehoordrempel onder de 'normale' gehoordrempelwaarde.

#### **4.3. Variabiliteit van de gehoordrempel volgens geslacht**

Voor de jongste groep kinderen (6-11 jarigen) beschrijven de auteurs weinig verschillen tussen jongens en meisjes. De meisjes hebben op alle frequenties (behalve 250 Hz) een lichtjes betere gehoordrempel, maar dit is statistisch niet significant.**(19)** Bij de 12- tot 17- jarigen zien de auteurs weinig verschil tussen jongens en meisjes voor de frequenties 250 tot 1000 Hz. Daarentegen voor de frequenties 2000 tot 8000 Hz hebben de meisjes een betere gehoordrempel. Deze verschillen zijn statistisch wel significant.**(20)**

#### **4.4. Variabiliteit van gehoordrempels volgens leeftijd**

De auteurs zien een toename van de gevoeligheid met toenemende leeftijd binnen de groep 6- tot 11-jarigen. Dit is het duidelijkst bij de lage frequenties (2000 Hz of minder). Ze schrijven dit gedeeltelijk toe aan een langer volgehouden aandacht naarmate het kind ouder wordt, en gedeeltelijk aan de hoofdtelefoon die beter past als het hoofd groter is **(19)**. Bij de oudere kinderen worden weinig verschillen beschreven naargelang de leeftijd. De verschillen die er zijn, zijn niet consistent.

#### **4.5. Variabiliteit van gehoordrempel volgens lateraaliteit**

Voor de meeste kinderen tussen 6 en 11 jaar is de gehoordrempel voor het rechter en het linker oor zeer gelijklopend. Deze overeenkomst tussen beide oren daalt met stijgende frequentie. Voor de frequenties 250 en 500 Hz zien de auteurs een overeenkomst van 88 % (d.w.z. bij 88% van de kinderen is er minder dan 5 dB verschil tussen beide oren). Op 6000 Hz is deze overeenkomst nog maar 67%. Waar er verschil is tussen de oren, lijkt geen van beide oren dominant. Echter op 4000 en 6000 Hz is het rechter oor iets meer gevoelig. De oorzaak is niet achterhaald, maar het 'leereffect' kan worden uitgesloten, vermits afwisselend linker en rechter oor eerst werden getest.

Bij de oudere groep is er veel minder overeenkomst tussen beide oren. De grootste overeenkomst wordt beschreven op 500 Hz: 46% van de kinderen heeft minder dan 5 dB verschil tussen beide oren. Op 6000 en 8000 Hz is dit nog slechts 26%. **(19,20)**

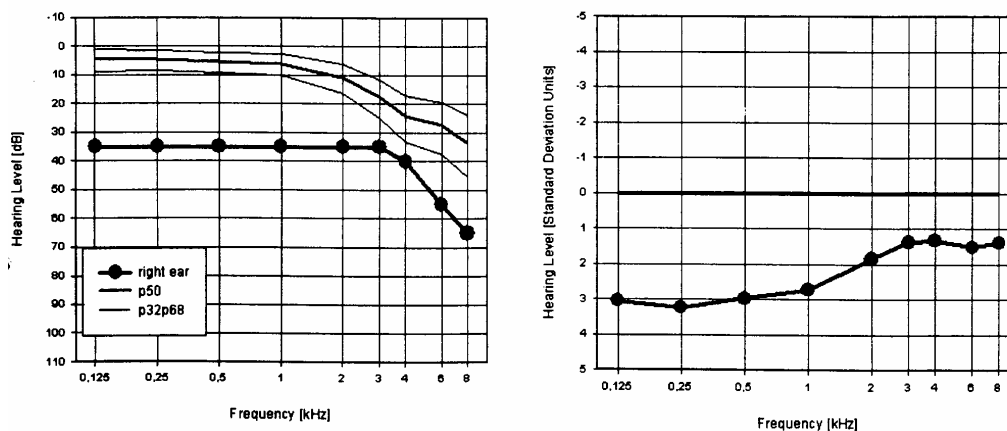
#### **4.6. Grafische voorstelling van referentieprofielen van gehoor**

##### **4.6.1. Z-score diagram**

*Lemkens et al.* maakten voor hun onderzoek gebruik van het Z-score diagram **(6)**. De Z-score stemt overeen met het aantal standaarddeviaties dat de drempel verschilt van de gemiddelde drempel voor die bepaalde frequentie voor een gegeven leeftijd en geslacht.

Deze manier van voorstellen kan nuttig zijn bij de evaluatie van gehoorverlies, vooral bij oudere patiënten wanneer ook de leeftijd al kan zorgen voor gehoorsdaling. Op deze manier kan men een patiënt dan vergelijken met iemand van dezelfde leeftijd.





Figuur 5: Conventioneel audiogram (links) en Z-score audiogram (rechts) (6) voor een 63-jarige man. De nul-referentielijn in het Z-score diagram toont de gemiddelde drempel waarden voor een 63-jarige man.(6)

Op de X-as worden de frequenties uitgezet zoals in een klassiek audiogram (Figuur 5). Op de Y-as wordt de gehoordrempel uitgezet in **standaard deviatie eenheden (SDE)**. Deze SDE drukt uit hoeveel de gehoordrempel van de patiënt voor die specifieke frequentie verschilt van de gemiddelde gehoordrempel voor zijn of haar geslacht en leeftijd.

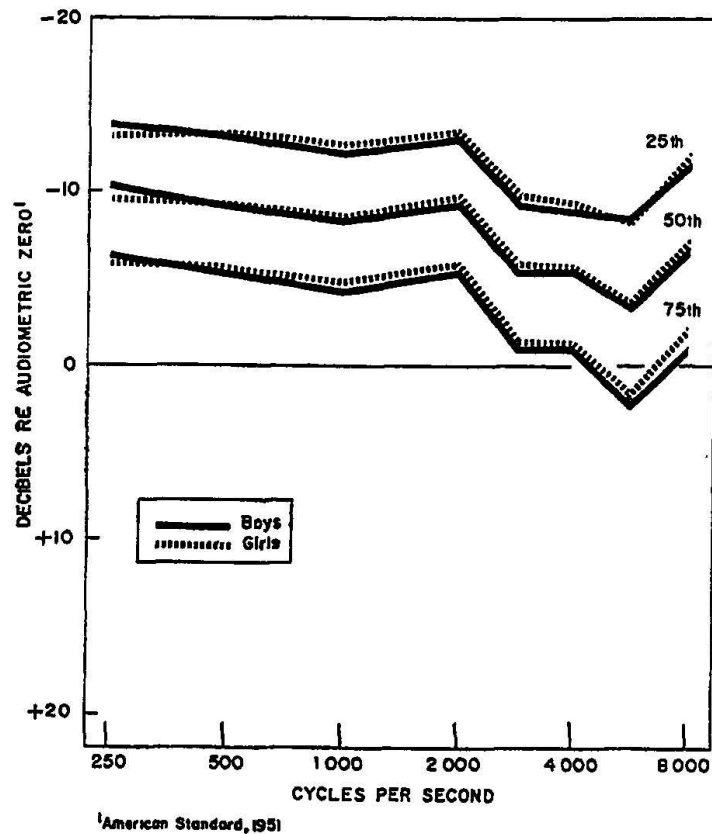
Deze gemiddelde drempel wordt voorgesteld als de 0-referentielijn in het Z-score audiogram. De gehoordrempel van de patiënt wordt dan geplot t.o.v. deze nieuwe referentielijn. De drempel wordt uitgedrukt als SDE en wordt Z-score genoemd. Een negatieve waarde wil zeggen dat de drempelwaarde beter is dan het gemiddelde, een positieve waarde wil zeggen dat de drempelwaarde slechter is dan het gemiddelde.

Het klassieke audiogram lijkt te tonen dat de afwijkende waarden vooral op de hoge frequenties voorkomen. Uit het Z-score diagram, dat aangepast is voor leeftijd en geslacht, wordt duidelijk dat het vooral de lage frequenties zijn die een afwijkende waarde vertonen.

#### 4.6.2. Percentielcurve

Voor het p-de percentiel geldt: minstens p% van de uitkomsten heeft een waarde kleiner of gelijk aan die van het p-de percentiel. Tegelijkertijd heeft minstens 100-p % van alle uitkomsten een waarde groter of gelijk aan die van het p-de percentiel.

Om een percentielcurve te kunnen opstellen is het nodig over alle gegevens te beschikken. In het kader van de gehoorsmeting wil dit zeggen dat er moet gemeten worden vanaf 0 dB. Bij een meting vanaf 15 of 20 dB beschikken we niet over alle gegevens.



Figuur 6: Percentielcurve van de verdeling van de gehoordrempel voor het beste oor van 6- tot 11-jarige kinderen in de V.S. (19)

#### 4.6.3. Cumulatieve frequentiecurve

De cumulatieve frequentie geeft aan hoe vaak een bepaalde uitkomst én alle uitkomsten met een kleinere waarde waargenomen zijn.

Op een cumulatieve frequentiecurve wordt een curve opgetekend met de proportie mensen die een bepaalde frequentie horen aan een bepaalde intensiteit.

Daarbovenop wordt dan die proportie getekend die diezelfde frequentie horen aan een iets hogere intensiteit.

#### **4.6.4. Proportionele curve**

De proportie van een uitkomst is de frequentie van die uitkomst gedeeld door het aantal waarnemingen.

Een vrij heldere manier van voorstellen is dan de proportionele curve. Per decibelwaarde kan voor elke frequentie aangegeven worden welke proportie leerlingen deze frequentie hoort.

### **5. Nationale en internationale aanbevelingen voor gehoorscreening bij kinderen**

#### **5.1. Methodes voor screening (9,18)**

Ideaal gezien zouden alle kinderen met een belangrijke gehoorstoornis gedetecteerd moeten worden in de vroegste fase van taal- en spraakontwikkeling, zodat een adequate behandeling de kans op een normale ontwikkeling kan garanderen. Een ideale screeningsmethode zou ook beschikbaar moeten zijn tegen een lage kostprijs en met een zo hoog mogelijke specificiteit en sensitiviteit, de 100% benaderend.

Helaas is zulk een screeningsmethode niet beschikbaar. Elk van de bestaande methodes, heeft naast de voordelen ervan, ook nadelen.

De screeningsmethoden die in de aanbevelingen worden vermeld worden hieronder bondig besproken.

- **BERA (Brainstem Electric Respons Audiometry):** Met deze methode registreert men de activiteit in de hersenstam na stimulatie door geluid. Hiermee detecteert men vooral retrocochleaire pathologie (stoornissen in neurale geleiding en verwerking). De test kan gebruikt worden voor het screenen van neonati, vermits het onderzoek geen medewerking vereist en kan gebeuren zonder sedatie. Een nadeel van de BERA is de kans op oververwijzing (te veel vals-positieve resultaten, wat voor veel ongerustheid zorgt bij de ouders).

Sinds een 5-tal jaar wordt in Vlaanderen een universele neonatale gehoorscreening afgenomen, de ALGO-test. Het gaat om een geautomatiseerde gehoortest rechtstreeks afgeleid van de BERA-methodologie. Bij de ALGO-test werden de cut-off waarden zodanig opgesteld dat het aantal vals-positieven bijzonder laag blijkt te zijn (in vergelijking met resultaten afkomstig uit andere landen).

- **EOE (Evoked Otoacoustic Emission)** : deze test registreert de energie geproduceerd door de cochlea na stimulatie. De EOE detecteert dus vooral cochleaire pathologie. Deze onderzoeksmethode geeft ook veel vals-positieve resultaten.
  
- **Toonaudiometrie** : wordt gebruikt voor de detectie van sensorineuraal gehoorverlies. Het kind geeft aan wanneer het een toon hoort. Voldoende coöperatie van het kind is vereist. Problemen bij deze methode kunnen zijn : achtergrondlawaai, verkeerde techniek, verkeerd rapporteren van de patiënt. Deze methode wordt het frequentst toegepast bij de screeningsonderzoeken van schoolkinderen.
  
- **Gedragonderzoek** : observatie van het gedrag tijdens auditieve stimuli. Dit kan uitgevoerd worden vanaf de leeftijd van 6 maanden. Nadelen zijn o.a. dat dit onderzoek wel wat ervaring vereist van de onderzoeker en dat het gedrag moeilijk te objectiveren is bij mentaal geretardeerde kinderen.  
In Vlaanderen werd tot voor de invoering van de neonatale gehoorscreening met Algo het gehoor van jonge kinderen geëvalueerd met de zogenaamde Ewing-test. Hierbij was het aantal vals positieven bijzonder hoog.
  
- **Hoogrisico criteria** : deze strategie impliceert het expliciet screenen van neonati met een verhoogd risico op gehoorstoornissen (d.i. familiale voorgeschiedenis van erfelijke gehoorstoornissen, congenitale perinatale infecties door herpes, syfilis, rubella, cytomegalovirus of toxoplasmose, craniofaciale afwijkingen, geboortegewicht lager dan 1500 gram, bacteriële meningitis, hyperbilirubinemie waarvoor bloedtransfusie noodzakelijk is, ernstige perinatale asfyxie, ototoxische medicatie, syndromen geassocieerd met gehoorstoornissen)(1). Het grootste nadeel van deze strategie is dat 50% van de neonati met gehoorstoornissen niet in de hoogrisico groep vallen en dus gemist worden bij het screenen op deze manier.

- **Opvoeding van professionelen en ouders** : dit impliceert meer oog hebben voor de risicofactoren voor neonatale gehoorstoornissen, voor de risicofactoren van verworven gehoorstoornissen en voor de eerste klinische symptomen van verminderd gehoor

## 5.2. Internationale aanbevelingen

Er bestaat nog geen internationale consensus met betrekking tot gehoorscreening bij schoolgaande kinderen. Verschillende landen hebben wel al aanbevelingen geformuleerd. Deze zijn vaak erg verschillend. Ze zijn meestal gebaseerd op wetenschappelijke evidentie, maar vaak ook aangepast volgens lokale gebruiken en de mening van experts.

Er zijn verschillende niveaus van bewijskracht voor aanbevelingen. De Canadian Task Force (kortweg CTF) geeft een indeling van de graad van bewijskracht voor preventieve onderzoeken.

**Tabel 1: Recommendations Grades for Specific Clinical Preventive Actions**

<b>A</b>	The CTF concludes that there is <b>good</b> evidence to recommend the clinical preventive action.
<b>B</b>	The CTF concludes that there is <b>fair</b> evidence to recommend the clinical preventive action.
<b>C</b>	The CTF concludes that the existing evidence is <b>conflicting</b> and does not allow making a recommendation for or against use of the clinical preventive action, however other factors may influence decision-making.
<b>D</b>	The CTF concludes that there is <b>fair</b> evidence to recommend against the clinical preventive action.
<b>E</b>	The CTF concludes that there is <b>good</b> evidence to recommend against the clinical preventive action.
<b>I</b>	The CTF concludes that there is <b>insufficient</b> evidence (in quantity and/or quality) to make a recommendation, however other factors may influence decision-making.

### 5.2.1. Verenigde Staten

#### □ **U.S.Preventive Services Task Force (1995 – Herziening in 2003) (1)**

Volgens de American Academy of Family Physicians (AAFP) is er onvoldoende evidentie voor of tegen routinescreening van asymptomatische neonati d.m.v. oto-akoestische emissie of hersenstamaudiometrie (Aanbeveling graad C). Er wordt wel aanbevolen om één van deze methodes te gebruiken bij zuigelingen met verhoogd risico voor gehoorstoornissen en bij pasgeborenen die ten minste 48 uur in een dienst voor intensieve zorgen verblijven. Deze screening dient te gebeuren voor de leeftijd van 3 maanden.

Risicofactoren voor congenitale of perinatale gehoorstoornissen zijn familiale voorgeschiedenis, congenitale perinatale infectie met herpes, syfilis, rubella, cytomegalovirus, of toxoplasmose, malformaties t.h.v. hoofd en nek, geboortegewicht lager dan 1500 g, bacteriële meningitis, bloedtransfusie o.w.v. hyperbilirubinemie, ernstige perinatale asfyxie, ototoxische medicatie, syndromen gepaard gaande met gehoorverlies.

Routine screening van kinderen van meer dan 3 jaar wordt niet aanbevolen (Aanbeveling graad D). Ouders en artsen die het kind onderzoeken moeten alert zijn op tekens die wijzen op gehoorsvermindering of vertraagde spraak-of taalontwikkeling. Dit gebeurt best kort na de geboorte, op de leeftijd van 6 en 9 maanden, en tijdens het 2<sup>de</sup> levensjaar.

#### □ **Joint Committee on Infant Hearing Position Statement (1994 – Herziening 2000) (1,10,14)**

Dit comité bestaat uit leden van volgende instanties : American Speech-Language-Hearing Association (ASHA), American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, American Academy of Audiology, American Academy of Pediatrics (AAP), Directors of Speech and Hearing Programs in State health and welfare agencies.

Het comité raadt een universele gehoorscreening aan voor neonati vóór de leeftijd van 3 maanden (Aanbeveling graad B). Indien deze screening niet

gebeurt, moeten zuigelingen met een verhoogd risico (cfr supra) op gehoorstoornissen gescreend worden op de leeftijd van 3 maanden.

De AAP beveelt verder een screening aan op de leeftijd van 3, 4, 5, 10, 15 en 18 jaar.

De ASHA geeft richtlijnen voor **kinderen vanaf 3 jaar**, omdat vroegtijdige detectie van eventuele gehoorstoornissen een grotere kans geeft op vroegtijdige behandeling met de grootste kans op een normale taalontwikkeling.

De ASHA beveelt een jaarlijkse screening aan voor alle kinderen van 3 tot 15 jaar (Aanbeveling graad A) *d.m.v. een toonaudiometrie* aan via luchtgeleiding. De te screenen frequenties zijn 1000, 2000 en 4000 Hz op 20 dB. Indien één of meerdere tonen niet gehoord worden is een tweede screening nodig. Indien men ook faalt op de tweede test, moet men doorverwezen worden voor audiologische evaluatie.

□ **National Institutes of Health (NIH) (1993) (9,11)**

Gezien een vroegtijdige detectie van gehoorstoornissen een grote impact heeft op de taal- en spraakontwikkeling, en daardoor op de schoolloopbaan en op de sociale en economische ontwikkeling van het kind, raadt de N.I.H. een screening aan met de *geëvoceerde akoestische emissies* bij **alle neonati vóór de leeftijd van 3 maanden** (Aanbeveling graad A).

Om gehoorstoornissen die pas later optreden ook nog tijdig te detecteren, beveelt de N.I.H. ook aan kinderen bij het **begin van de schoolloopbaan** te screenen op gehoordaling.

Verder wijzen zij op het belang van een opleiding van opvoeders en ouders in het herkennen van vroegtijdige kenmerken van slechthorendheid.

### 5.2.2. Nederland

- **JGZ-standaard “Vroegtijdige opsporing van gehoorstoornissen 0-19 jaar” (1998) (16)**

Deze aanbeveling werd opgesteld door de Nederlandse Vereniging voor Jeugdgezondheidszorg.

Op het ogenblik dat deze standaard werd opgesteld, was er in Nederland is nog geen sprake van een veralgemeende neonatale gehoorscreening. Zodra deze screening algemeen zal worden toegepast, zal de standaard moeten worden aangepast.

Tot voor kort was het zo dat in Nederland werd aanbevolen alle kinderen op de leeftijd van **9 maanden** te screenen d.m.v. de Ewing/CAPAS methode op een geluidsniveau van 35 dB. Hierbij wordt getest of het kind al dan niet reageert op geluid door het wenden van het hoofd in de richting van de geluidsbron. Deze gehoorscreening wordt uitgevoerd op de consultatiebureaus. Pas wanneer het kind 3 maal faalt voor deze test wordt het doorverwezen voor nadere diagnostiek. Sinds 1 juli 2002 is ook in Nederland een neonatale gehoorscreening van start gegaan: hier wordt gebruik gemaakt van de EOE (Evoked Otoacoustic Emission).

Verder wordt aanbevolen bij **kleuters tussen 4 en 6 jaar** en bij **kinderen tussen 6 en 12 jaar** 1 maal een screeningsaudiogram af te nemen. Ook bij **adolescenten**, die toch vaker blootstaan aan lawaai dat mogelijk schadelijk kan zijn voor het gehoor, wordt aanbevolen het gehoor op te volgen, vnl. in het kader van een beroepskeuze.

De verwijscriteria op grond van het audiogram luiden in Nederland als volgt:

- verwijzen bij een verlies van 30 dB of meer aan één of beide oren op 3 frequenties in het spraakgebied (500-4000Hz).
- verwijzen bij een verlies van 40dB of meer op één frequentie in het spraakgebied of bij een verlies van 35 dB of meer op 2 willekeurige frequenties.



### 5.2.3. België

#### □ Vlaamse richtlijnen

In Vlaanderen worden sinds 1998 alle pasgeborenen gescreend d.m.v. de ALGO-test. Dit gebeurt door Kind en Gezin. Deze test registreert de auditieve respons op een elektrische stimulus t.h.v. de hersenstam (BERA). Het resultaat van de test is 'pass' (99.98% theoretische zekerheid van goed gehoor) of 'refer' (geen eenduidig besluit; een nieuwe ALGO-test wordt gepland). Het doel van deze screening is om elke gehoorgestoorde baby op te sporen vóór de leeftijd van 3 maanden, zodat de therapeutische mogelijkheden optimaal benut worden.

Bij artikel 2 § 13 van de Wet op het Medisch Schooltoezicht van 21 maart 1964 werd bepaald dat het tot de opdrachten van het medisch schooltoezicht behoorde "mede te werken aan het opmaken van statistieken betreffende de gezondheids- en ziekte-toestand van de leerlingen alsook aan de onderzoeken welke daarmee verband houden".

Deze opdracht werd verder gespecificeerd in een omzendbrief van 4 december 1979 (17). Er werd o.a. medewerking gevraagd voor het vroegtijdig opsporen van gehoor- en gezichtsfunctiestoornissen bij kleuters van de 1<sup>ste</sup> en 3<sup>de</sup> kleuterklas.

De omzendbrief wees erop dat het belang van deze vroegtijdige screening velerlei is:

- vroegtijdige opsporing en behandeling geeft bij sommige aandoeningen een aanzienlijk grotere kans op een gunstig behandelingsresultaat
- een normale zintuigfunctie is voor een optimale ontwikkeling van de kleuter uitermate belangrijk
- zintuigfunctiestoornissen hebben een belangrijke repercussie op onderwijs en opvoeding; vanuit psychopedagogisch standpunt is vroegtijdige interventie dan ook erg belangrijk.

Screening van zintuigstoornissen bij kleuters is uiteraard niet in alle gevallen betrouwbaar. Toch verkiest men hier oververwijzing boven een te geringe verwijzing. Om onbegrip door de behandelende arts waarnaar wordt verwezen te vermijden, wordt op de verwijsbrief deze mogelijkheid van oververwijzing best vermeld en begrip gevraagd voor deze zienswijze.

Samengevat omvatten deze richtlijnen voor audiometrie bij kleuters volgende aanbevelingen :

- Het onderzoek heeft bij voorkeur niet plaats tijdens het eerste trimester van het schooljaar.
- De kleuter wordt door voorbereiding in de klas vertrouwd gemaakt met de onderzoekssituatie. De dag van het onderzoek wordt dan eerst voor de ganse groep gedemonstreerd hoe een audiometer functioneert. Enkele luide tonen worden gezamenlijk beluisterd en het onderzoek wordt bij een moedige kleuter voorgedaan. Daarna mag elke kleuter eens de koptelefoon opzetten. Vervolgens gebeurt het individuele onderzoek in een degelijk akoestisch geïsoleerde ruimte. Er wordt een testtoon aangeboden van 1000 Hz bij 45dB (indien nodig 60dB). Bij het horen van het aangeboden geluid antwoordt het kind door het uitvoeren van een eenvoudig spelletje vb een ring op een stokje steken. Om onderzoeksmoeheid tegen te gaan, worden de aangeboden tonen beperkt tot achtereenvolgens:

- ✓ 1000 Hz bij 20 dB
- ✓ 500 Hz bij 25 dB
- ✓ 1000 Hz bij 20 dB
- ✓ 2000 Hz bij 20 dB
- ✓ 4000 Hz bij 25 dB

Het betreft dus een screeningsaudiogram, waarbij men per frequentie slechts 1 drempelintensiteit aanbiedt en waarbij wordt nagegaan of het kind de toon hoort of niet.

Bij de kinderen van de 3<sup>de</sup> kleuterklas worden ook de tonen van 250 Hz en 6000 Hz bij 25 dB aangeboden.

#### Beleid bij afwijkende resultaten:

Wordt één of meer van deze tonen niet gehoord, dan wordt iets later, maar nog tijdens dezelfde zitting, een nieuwe audiometrie uitgevoerd volgens dezelfde methode.

Enkel die kinderen die ook bij het tweede onderzoek een afwijking vertonen, worden voor verder onderzoek verwezen.

Deze richtlijnen werden opgesteld a.h.v. de aanbevelingen van de ASHA (American Speech and Hearing Association; 1975).

Een aantal bemerkingen bij deze omzendbrief kan gemaakt worden.

- Er wordt gesproken over verwijzing en oververwijzing. Echter nergens worden verwijscriteria aangehaald. Men spreekt ook niet over percentages oververwijzing die al dan niet nog toelaatbaar zijn.
- Het onderzoek heeft bij voorkeur niet plaats in het 1<sup>ste</sup> trimester. Vermoedelijk is dit omdat de kleuters nog erg jong zijn en nog moeten wennen aan de school; de reden wordt echter nergens vermeld.
- Er wordt gesproken over een degelijk akoestisch geïsoleerde ruimte: dit wordt echter niet gespecificeerd.
- Door het kind de reactie op een toon kenbaar te laten maken via een spelletje wordt de aandacht van het kind dan nog voor een ander item gevraagd dan enkel voor het luisteren naar de aangeboden tonen.
- Er wordt niet vermeld wat er moet gebeuren met de kleuters die in een zitting van preventieve consulten het laatst aan bod komen: moeten die onmiddellijk hertest worden? of toch op een andere dag?

□ **Richtlijnen van het MST Brugge**

Het Medisch Schooltoezicht te Brugge werkte deze omzendbrief verder uit en gaf richtlijnen uit voor lokaal gebruik. De bedoeling was de richtlijnen concreter te maken. Na vergelijking met de oorspronkelijke brief zien we dat ze ook verschillend zijn (voornamelijk in de intensiteit van de aangeboden frequenties).

- De kleuterleidsters worden geïnformeerd d.m.v. een persoonlijke uitleg en een cassette met zuivere tonen.
- De kleuterleidster bereidt dan zelf de kleuters voor met een gestandaardiseerd verhaal en de cassette. Zo wordt de kleutertjes al aangeleerd dat ze hun hand moeten opsteken als ze een toon horen. De juf vertelt ook dat ze een koptelefoon zullen moeten opzetten en geeft een korte beschrijving van het onderzoek. Er wordt voorgesteld te starten een drietal weken voor het onderzoek, en deze oefening één maal per week te herhalen.
- De audiometrie-afname gebeurt in een apart lokaal, los van de biometrie-ruimte.

"Gezien de koptelefoon ongeveer 30 dB zou moeten dempen, en een afname van de gehoorscherppte mogelijk blijkt te zijn bij een omgevingslawaai van 30 dB, mag men dus een omgevingslawaai van 50 à 60 dB accepteren". (60 dB is een normaal gespreksniveau)

Het onderzoek gebeurt per 3 kleuters: één die uitvoert en twee die aandachtig toekijken.

- De volgende tonen worden aangeboden: (hier zit een verschil met de Vlaamse richtlijnen)
  - ✓ 1000 Hz bij 40 dB
  - ✓ 1000 Hz bij 25 dB
  - ✓ 500 Hz bij 25 dB
  - ✓ 1000 Hz bij 25 dB
  - ✓ 2000 Hz bij 25 dB
  - ✓ 4000 Hz bij 25 dB

Beleid bij afwijkende resultaten: (zeer terughoudend beleid)

Wanneer de kleuter bij 25 dB niet reageert, worden de tonen versterkt aangeboden, en wordt het gehoorverlies genoteerd. Heeft de verpleegster de indruk dat het kind de test niet begrijpt, dan noteert ze eveneens het bekomen audiogram maar vermeldt eveneens “onbetrouwbaar”.

- een nieuwe test wordt aangeboden
  - ✓ na één maand bij kinderen die bij de eerst afname onbetrouwbaar reageerden
  - ✓ na één maand bij kinderen die bij geen enkele frequentie op 25 dB reageerden, maar wel bij een hogere toonintensiteit
  - ✓ na één maand bij kinderen die bij een bepaalde frequentie niet reageren op 40 dB
  - ✓ het volgende schooljaar indien een tweede maal onbetrouwbaar gereageerd wordt
- kleuters met een 2<sup>de</sup> maal gehoorverlies, worden een 3<sup>de</sup> maal onderzocht met de ouders erbij
- kleuters die een 3<sup>de</sup> maal gehoorverlies vertonen, worden doorverwezen naar de huisarts. Op basis van klinische gegevens kan reeds na 1 afwijkende audiometrie worden verwezen (vb otitis media).

## 6. Besluit

Dit uitpluizen van de literatuur was in de eerste plaats noodzakelijk om een beter zicht te krijgen op enkele natuurkundige wetmatigheden rond geluid, gehoor en audiometrie.

De internationaal beschikbare gegevens rond gehoordrempel bij kinderen bleken zeer beperkt te zijn.

Eén grootschalig onderzoek in de USA uit de jaren '60 bleek een belangrijk referentiepunt. Hier werd de gehoordrempel van meer dan 14000 jongeren tussen 6 en 17 jaar bepaald. De variabiliteit van deze gehoordrempel volgens geslacht, leeftijd en lateraliteit werd beschreven.

Verder is het duidelijk geworden dat er weinig uniformiteit bestaat, zowel in Vlaanderen als internationaal wat betreft richtlijnen en aanbevelingen rond gehoorscreening.

De laatste Vlaamse richtlijnen dateren van 1979 en vertonen toch een aantal tekorten. Er worden geen duidelijke verwijscriteria voorgesteld, er zijn geen gestandaardiseerde richtlijnen rond de afname van de audiometrie en het beleid bij afwijkende resultaten is zeer terughoudend.

Dit alles maakte het zeker aantrekkelijk om in Vlaanderen een databank op te stellen. Om verdere standaarden rond gehoorscreening te kunnen ontwikkelen is het immers noodzakelijk te weten hoe het gehoor van de gemiddelde Vlaamse leerling is. Aan de hand hiervan kunnen dan verdere protocollen en referenties opgesteld worden.

In deze literatuurstudie worden ook aan aantal manieren besproken om de resultaten grafisch voor te stellen. Zo worden het Z-score diagram, de percentielcurve, de cumulatieve frequentiecurve en de proportionele curve besproken.

In een verder deel zal worden bekeken of deze curven kunnen worden gebruikt om onze eigen data voor te stellen.

## **DEEL 2      EIGEN ONDERZOEK**

### **1.      Inleiding**

Het aantal databanken rond gehoorscreening die in de literatuur kunnen worden gevonden, blijft beperkt. Het is ook niet vanzelfsprekend om het gehoor van de Vlaamse jeugd daaraan te toetsen.

Dit was de aanleiding voor het opstellen van een referentiedatabank gebaseerd op gegevens van de Vlaamse jeugd door An Deleeck.

In deze thesis wordt deze databank vervolledigd en wordt een grafische voorstelling van de gegevens voorgesteld.

### **2.      Doelstellingen**

Aan de hand van een referentiedatabank van audiometrische meetgegevens van Vlaamse schoolkinderen, waarvan in het schooljaar 2003-2004 de aanzet werd gegeven door An Deleeck, en die in dit onderzoek verder werd uitgebreid en voor sommige leeftijdsgroepen vervolledigd, worden de volgende doelstellingen nagestreefd:

- Het opstellen van een frequentieverdeling van het laagst hoorbare geluidsniveau per testfrequentie, en een analyse van deze data per aangeboden frequentie, en dit zowel voor het linker als voor het rechter oor en volgens geslacht en leeftijd
- Het vergelijken van deze Vlaamse data met databanken die voor audiometrisch onderzoek van kinderen internationaal als referentie worden gebruikt
- Het grafisch voorstellen van de data, op een manier die bruikbaar is in de CLB-praktijk

### **3. Materiaal en methoden**

#### **3.1. Onderzoeksopzet**

Om tot een betrouwbare referentiedatabank te komen werd in de eerste plaats de uitvoering en registratie van het audiometrisch onderzoek in enkele piloot-CLB's gestandaardiseerd. Dit gebeurde reeds ter voorbereiding van de studie van An Deleeck, en werd ongewijzigd in dit onderzoek toegepast.

De registratie gebeurde, in overeenstemming met de opdrachten vermeld in het Besluit van de Vlaamse regering betreffende sommige opdrachten van de CLB, tijdens de algemeen medische consulten van de 2<sup>de</sup> kleuterklas, het 5<sup>de</sup> leerjaar en het 1<sup>ste</sup> en 3<sup>de</sup> jaar van het secundair onderwijs.

Het betreft een prospectieve, kwantitatieve studie. Vertrekkend van de bestaande richtlijnen voor audiometrisch onderzoek van kinderen (nog daterend van het jaar 1979), en zo nauw mogelijk aansluitend bij de gangbare screeningspraktijk in de betrokken CLB's, werd een haalbare procedure voor audiometrisch onderzoek afgesproken (zie verder).

Er werd nagegaan of er voor deze studie een toelating van de ethische commissie nodig was. Dit bleek niet het geval te zijn omdat er aanvullend bij de bestaande praktijk van gehooronderzoek geen verder onderzoek zou worden verricht. Dit gehooronderzoek is wettelijk verplicht, zoals bepaald in het Besluit van de Vlaamse regering betreffende sommige opdrachten van de CLB.**(18)** De ouders worden via een medische vragenlijst op de hoogte gebracht van het medisch consult. Via ondertekening van deze vragenlijst geven ouders toestemming voor deelname van hun kind aan het courante CLB-consult.

#### **3.2. Locatie en apparatuur**

Zoals reeds vermeld werden in het kader van dit onderzoek audiometrische metingen verricht bij schoolkinderen, om een reeds bestaande databank te vervolledigen. Dit gebeurde in het CLB Berchem, tijdens de regulier geplande consulten van het schooljaar 2004-2005. Dit CLB beschikt over 2 medische kringlopen: één te Berchem en een tweede op Antwerpen Linkeroever.

Op beide locaties gebeurt de audiometrie in een biometrielokaal, dat niet voorzien is van een geluidsarme cabine.

De audiometers die op beide locaties gebruikt werden zijn van het type **Interacoustics screening 216**. Dit is een model van draagbare audiometer. De hoofdtelefoon is een Peltor Cup. De audiometer is voorzien van een antwoordknop. Met deze audiometer kunnen 11 frequenties getest worden, zich situerend tussen 125 en 8000Hz. Hij biedt zuivere tonen, al dan niet gepulseerd, aan. Hij kan ook voor maskering zorgen, via het aanbieden van een stoorgeluid aan het niet-onderzochte oor. Deze procedure werd in dit onderzoek niet toegepast.

Eén audiometer werd aangekocht in de jaren '80, de andere eind jaren '90. De laatste ijking van beide toestellen dateert van augustus 2004.

### 3.3. Achtergrondgeluid

Vermits achtergrondgeluid kan interfereren met het audiometrisch resultaat, was het belangrijk de intensiteit ervan te bepalen op de verschillende locaties.

De circuits te Berchem en Linkeroever zijn relatief rustig gelegen, met slechts een beperkte aanwezigheid van **verkeersgeluid**. In Berchem zijn af en toe wel overvliegende **vliegtuigen** hoorbaar.

Uiteraard heeft men ook te maken met achtergrondlawaai op de plaats van de afname zelf. Beide biometrielokalen zijn gelegen vlak naast de **wachtzaal**, wat bij bepaalde klassen voor een zeker rumoer kan zorgen. **Computer** en **ijskast** zorgden in het testlokaal van Berchem ook voor mogelijk achtergrondlawaai.

In het onderzoekslokaal was er op beide onderzoekslocaties tijdens de audiometrieafname nog één **andere leerling** aanwezig; bij de kleuters konden er dat maximum 3 zijn.

### 3.4. Afspraken rond audiometrie-afname

Om gegevens te kunnen vergelijken is het uiteraard belangrijk op een gestandaardiseerde manier de audiometrie af te nemen.

Voor ons onderzoek werd het **ascending principe** gebruikt gezien dit in een CLB-setting qua tijdsduur de meest haalbare methode is en de afnemers op het ogenblik



van deze studie reeds zo werkten. Er wordt voor elke frequentie gestart op een toonintensiteit van 15 dB, toenemend in stappen 5 dB. Bij kleuters wordt gestart op 20 dB. De leerling kan tijdens de testafname het bedieningspaneel van de audiometer niet zien. De onderzoeker geeft instructies aan de leerling. De hoofdtelefoon wordt door de verpleegkundige op de correcte manier op het hoofd van het kind geplaatst (rood = rechter oor; blauw = linker oor). Bril of oorsieraden worden verwijderd. De onderzoeker begint met de drempelbepaling van het rechter oor.

In volgorde worden dan volgende frequenties aangeboden: 1000 Hz, dan de hoge tonen 2000 Hz, 4000 Hz, 6000 Hz en 8000 Hz. Dan herneemt men de toon van 1000 Hz om vervolgens de lage tonen 750 Hz, 500 Hz en 250 Hz te testen.

Bij de kleuters worden de frequenties 250, 750 en 6000 Hz niet getest, omdat zij zich minder lang goed kunnen concentreren. Door de testprocedure te verkorten wordt een hogere betrouwbaarheid van de verzamelde gegevens beoogd.

De audiometriegegevens werden door de verpleegkundige genoteerd op registratieformulieren die werden ontworpen door An Deleeck. (zie bijlage 1,2 en 3)

De audiometrische gegevens werden anoniem verwerkt, en enkel de CLB-verpleegkundige en -arts, hadden toegang tot de identificatiegegevens.

De anonimiteit werd gegarandeerd door een systeem van codering: een letter voor de verpleegkundige, en een volgnummer voor de leerling. Deze codes werden gegroepeerd op één lijst, samen met de identificatiegegevens van de leerling. De audiometrische gegevens van de leerling werden op een apart blad geregistreerd, waarop de anonieme code van de leerling als enige identificatiegegeven stond vermeld. Op deze manier bleven persoonsgegevens en registratiegegevens strikt van elkaar gescheiden.

Naast de identificatiegegevens werden ook nog enkele klinische gegevens geregistreerd: verkoudheden, oorstoppen,... Dit gebeurde niet op een gestandaardiseerde manier en er werd met deze gegevens bij de verwerking geen rekening gehouden.

### **3.5. Steekproef**

Alle leerlingen die tijdens de periode september tot december 2004 uitgenodigd werden voor een algemeen medisch consult (2<sup>de</sup> kleuterklas, 5<sup>de</sup> leerjaar, 1<sup>ste</sup> en 3<sup>de</sup> jaar van het secundair onderwijs) op het CLB, kwamen in aanmerking voor de registratie van de audiometrische gegevens in het kader van de databank.

Alle leerlingen die om een of andere reden **niet aanwezig** waren op het algemeen consult van hun klas, werden later opnieuw uitgenodigd en alsnog aansluitend bij een andere klas getest. Op deze manier werden alle leerlingen die tijdens de onderzoeksperiode voor een onderzoek in aanmerking kwamen ook daadwerkelijk getest.

De leerlingen van het **buitengewoon onderwijs** werden buiten dit onderzoek gehouden. Vaak zijn het kinderen met een problematiek die impact heeft op het gehoor. Verder onderzoek zal moeten uitwijzen of we voor deze leerlingen dezelfde referentiewaarden mogen gebruiken.

## **4. Resultaten**

### **4.1. Algemeen**

De registratiegegevens die hier worden besproken hebben betrekking op de 3 centra voor leerlingenbegeleiding die bij het volledige onderzoek, inclusief het gedeelte van An Deleeck, betrokken waren, met name het CLB Wijnegem en het CLB Leuven (tijdens het schooljaar 2003-04 geregistreerd door An Deleeck), en het CLB Berchem (geregistreerd van september tot december 2004 in het kader van dit eindwerk).

Er werd bij de metingen in het CLB Berchem vooral gelet op het registreren van voldoende leerlingen van het 5<sup>de</sup> leerjaar omdat deze weinig aan bod kwamen tijdens de eerste registratieperiode. Dit heeft te maken met de periode van het jaar: de eerste registratie door Deleeck gebeurde tijdens het 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> trimester, terwijl de consulten van het 5<sup>de</sup> leerjaar in de meeste centra geprogrammeerd worden tijdens het 1<sup>ste</sup> trimester.

In totaal werden **3121 registratieformulieren** ingevuld, waarvan 883 in CLB Berchem.

### **4.2. Achtergrondgeluid**

Voor de minst geluidsarme locatie, met name de vestiging Berchem, werd op 24 februari 2005 (dus enkele maanden na het afsluiten van de registratie), het

omgevingslawaai opgemeten door een medewerker van Lapperre (producent van gehoorapparaten en audiologisch materiaal), met name de heer Tom Versyp. Dit gebeurde met behulp van een geluidsniveaumeter (een RION NA 14), die in de onderzoeksruimte het omgevingslawaai registreert, en dit uitgedrukt in dB A (cfr supra).

Vermits tussen de periode van registratie en de datum van meting van het omgevingslawaai in de betrokken onderzoekslocatie geen wijzigingen werden aangebracht die een impact zouden kunnen gehad hebben op het niveau van omgevingslawaai, is de meting toch als representatief voor de onderzoeksperiode te beschouwen.

Het omgevingslawaai bedroeg minder dan 40 dB A, en was voornamelijk te wijten aan het lawaai geproduceerd door de computer die zich in het lokaal bevond. De koelkast stond op 3-4 meter van de audiometer en bleek geen storend effect te hebben.

In het centrum van Linkeroever werd geen geluidsmeting verricht.

#### **4.3. Steekproef**

In totaal werden 3121 leerlingen onderzocht. Bij 31 van deze kinderen bleken de audiometrische gegevens op het formulier te ontbreken.

Er bleven dus **bruikbare audiometrische registraties** over van **3090 kinderen**.

De globale steekproef is nagenoeg **gelijkmatig verdeeld volgens geslacht**, bestaande uit 49,1 % jongens en 50,9 % meisjes. (Tabel 2)

Ook zijn **de verschillende leeftijdsgroepen in gelijke mate vertegenwoordigd** in de steekproef: de kleuters vormen de grootste groep met 30 %, het 5<sup>e</sup> leerjaar neemt 21,4 % voor zijn rekening en het 1<sup>ste</sup> en 3<sup>de</sup> jaar van het secundair onderwijs vertegenwoordigen respectievelijk 25,6 % en 22,5 %. Bij iets minder dan een halve procent was de geboortedatum of het leerjaar onvolledig of niet ingevuld. Waar deze gegevens noodzakelijk zijn voor de bespreking worden de audiometrische gegevens van deze kleine groep kinderen niet in rekening gebracht. Waar de exacte leeftijd niet relevant is, worden ze wel in het bestand opgenomen en geanalyseerd.

**Tabel 2: Overzicht van de leerlingen met een bruikbare audiometrische registratie volgens klasniveau en geslacht** (nb: gegevens niet beschikbaar)

	2 <sup>e</sup> kleuters	5 <sup>e</sup> leerjaar	1 <sup>ste</sup> secundair	3 <sup>de</sup> secundair	nb	totaal
<b>jongens</b>	472	325	413	299	8	1517
<b>Kolom%</b>	50.9%	49.1%	52.2%	43%	0.5%	49.1%
<b>meisjes</b>	455	337	378	396	7	1573
<b>Kolom%</b>	49.1%	50.9%	47.8%	57%	0.5%	50.9%
<b>Kolom%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>totaal</b>	927	662	791	695	15	3090
<b>Rij%</b>	<b>30%</b>	<b>21.4%</b>	<b>25.6%</b>	<b>22.5%</b>	<b>0.5%</b>	<b>100%</b>

De **registraties** zijn ook vrij evenredig verdeeld **per centrum**: elk centrum (Wijnegem, Schoten, Leuven en Berchem) neemt ongeveer een vierde van de registraties voor haar rekening. (Tabel 3)

Ongeveer een vierde (22,8%) van de registraties gebeurde in een geluidsarme cabine. Dit was het geval voor een aantal klassen in de locatie Schoten.

Ook de geslachtsverdeling van de metingen is gelijkmatig per centrum. (gegevens worden niet getoond)

Er zijn wel grote verschillen wat betreft de verdeling van de leeftijdsgroepen over de centra: Wijnegem en Schoten registreerden nauwelijks leerlingen van het 5<sup>de</sup> leerjaar, in Leuven werd nauwelijks 1<sup>ste</sup> secundair geregistreerd, en in Berchem praktisch geen kleuters. (Tabel 3) Schoten nam meer dan de helft van het 1<sup>ste</sup> secundair voor haar rekening, Berchem registreerde bijna de helft van het 5<sup>de</sup> leerjaar en Leuven 58.4% van de kleuters.

**Tabel 3: Overzicht leerlingen met een bruikbare audiometrische registratie per klasniveau en per centrum**

	Wijnegem	Schoten	Leuven	Berchem
<b>2 KK</b>	243	221	362	14
<b>Kolom%</b>	34.2%	29.1%	58.4%	1.6%
<b>5 LO</b>	39	20	183	420
<b>Kolom%</b>	5.5%	2.6%	29.5%	46.7%
<b>1 SO</b>	204	403	3	181
<b>Kolom</b>	28.7%	53.1%	0.5%	20.2%
<b>3 SO</b>	225	115	72	283
<b>Kolom%</b>	31.6%	15.2%	11.6%	31.5%
<b>Kolom%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>Totaal</b>	711	759	620	898
<b>Rij%</b>	<b>23.8%</b>	<b>25.4%</b>	<b>20.7%</b>	<b>30.1%</b>

Ook per **verpleegkundige** zijn er zeer grote verschillen: de verpleegkundige die de meeste audiogrammen registreerde, nam 18,4 % van het totaal aantal metingen voor haar rekening, die met de minste registraties slechts 0,7 %.

#### 4.4. Audiometrie

##### □ Gehoordrempel

De ondergrens van het gehoor werd niet opgezocht. Er werd gestart met een toonintensiteit van 15 dB, bij de kleuters van 20 dB.

Bij de kleuters neemt de gevoeligheid voor geluid toe van 500 Hz (respectievelijk 45.1% en 48.2% van de kleuters hoort dit bij 20 dB met het rechter en het linker oor) naar 88.6% resp. 89.2% voor 2000 Hz, om dan weer af te nemen naar 4000 Hz (85.7% resp. 88.85%) tot 8000 Hz (73.0% resp. 74.6%).

Het linker oor is bij kleuters steeds iets gevoeliger dan het rechter. (Tabel 4)

Tabel 4: Proporties kleuters die 20 dB horen per oor en per frequentie

	Rechter oor	Linker oor
500 Hz	45.1%	48.2%
1000 Hz	77.5%	82.0%
2000 Hz	88.6%	89.2%
4000 Hz	85.7%	88.85%
8000 Hz	73.0%	74.6%

Voor het 5<sup>de</sup> leerjaar neemt bij een toonintensiteit van 15 dB de gevoeligheid toe met stijgende frequentie, van 41.3% (rechter oor) respectievelijk 45.9% (linker oor) op 250 Hz tot 84.8% respectievelijk 87.6% op 4000 Hz, om dan weer te dalen bij 6000 en 8000 Hz. Enkel op 1000 Hz zien we voor het rechter oor een afwijking van deze lijn: slechts 63.2% hoort 1000 Hz bij een intensiteit van 15 dB. Het linker oor vertoont deze afwijking niet. Vergelijkbare trends, maar dan met hogere proporties kinderen, doen zich voor bij een toonintensiteit van 20 dB. (Tabel 5)

Tabel 5: Proporties leerlingen van 5<sup>de</sup> leerjaar die 15 dB resp. 20 dB horen per oor en per frequentie

	Rechter oor		Linker oor	
	15 dB	20 dB	15 dB	20 dB
250 Hz	41.3%	71.8%	45.9%	75.1%
500 Hz	58.2%	80.0%	66.9%	86.7%
750 Hz	68.6%	86.0%	72.4%	88.6%
1000 Hz	63.2%	84.4%	77.9%	92.3%
2000 Hz	80.9%	94.2%	83.8%	93.9%
4000 Hz	84.8%	93.6%	87.6%	94.4%
6000 Hz	71.8%	87.3%	74.4%	86.5%
8000 Hz	70.3%	86.2%	78.5%	88.1%

In het 1<sup>ste</sup> secundair zien we dezelfde trend als in het 5<sup>de</sup> leerjaar: een stijging van de gevoeligheid met stijgende frequentie, zowel voor linker als voor rechter oor tot 4000 Hz, om dan te dalen naar 6000 Hz en weer iets te stijgen op 8000 Hz.

Hier zien we een uitschieter op 750 Hz voor het linker oor, met een grotere gevoeligheid op 750 Hz dan op 1000 Hz. (Tabel 6)

Tabel 6: Proporties leerlingen van het 1<sup>ste</sup> secundair die 15 dB resp. 20 dB horen per oor en per frequentie

	Rechter oor		Linker oor	
	15 dB	20 dB	15 dB	20 dB
250 Hz	52.1%	71.9%	58.0%	82.3%
500 Hz	71.2%	81.8%	78.1%	87.6%
750 Hz	84.0%	91.1%	90.2%	95.9%
1000 Hz	85.4%	91.8%	78.1%	80.3%
2000 Hz	92.4%	95.8%	96.6%	97.8%
4000 Hz	93.4%	95.7%	96.3%	97.8%
6000 Hz	75.3%	85.6%	78.4%	86.7%
8000 Hz	79.9%	87.0%	82.1%	88.1%

Voor het 3<sup>de</sup> secundair zien we dezelfde trend als voor het 5<sup>de</sup> leerjaar en 1<sup>ste</sup> secundair. (Tabel 7)

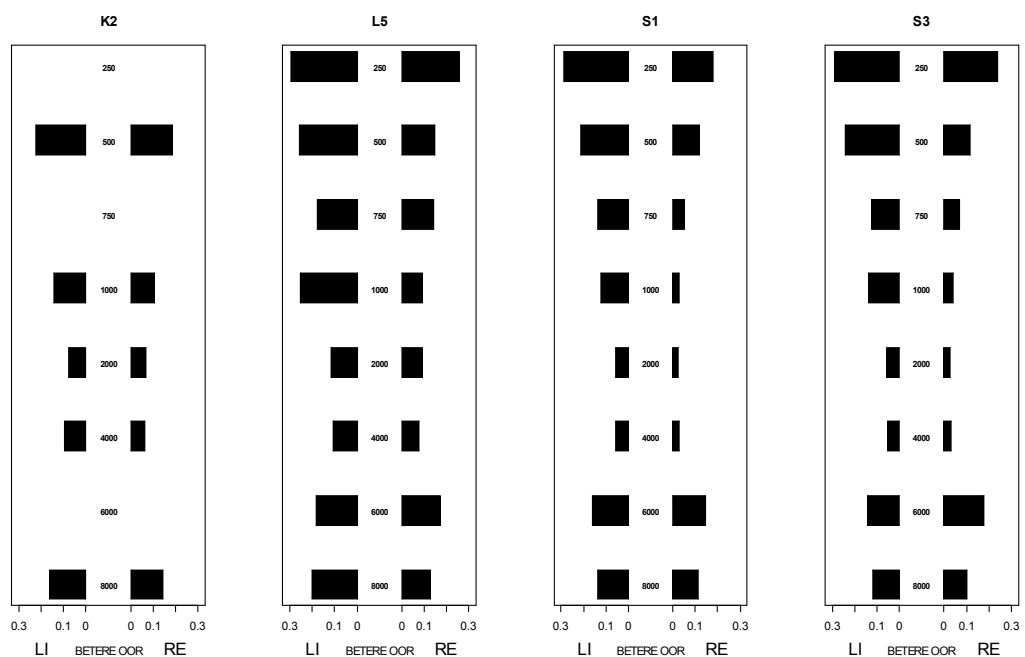
Tabel 7: Proporties leerlingen van het 3<sup>de</sup> secundair die 15 dB resp. 20 dB horen per oor en per frequentie

	Rechter oor		Linker oor	
	15 dB	20 dB	15 dB	20 dB
250 Hz	44.6%	66.4%	48.3%	69.4%
500 Hz	64.3%	76.8%	72.9%	82.9%
750 Hz	82.9%	91.3%	87.3%	93.6%
1000 Hz	82.3%	93.0%	91.6%	95.7%
2000 Hz	92.1%	96.0%	94.5%	97.1%
4000 Hz	92.9%	96.7%	95.2%	97.3%
6000 Hz	79.4%	87.4%	75.1%	85.1%
8000 Hz	83.5%	89.7%	83.2%	90.8%

Van de hogere frequenties scoort bij alle leeftijdsgroepen de frequentie 6000 Hz systematisch het minst goed.

De gevoeligheid van **linker en rechter oor** voor tonen van een specifieke intensiteit is licht verschillend.

Voor de leerlingen van lager en secundair onderwijs (tabel 5,6 en7) registreren we bijvoorbeeld bij een toonintensiteit van 15 dB een interauriculair verschil van 5 dB of meer bij 0 tot 13 % van de leerlingen. De grootste verschillen zitten op de lagere frequenties (1000 Hz of minder). Het linker oor behaalt steeds de beste resultaten. Enkel op 1000 Hz voor het 1<sup>ste</sup> secundair en op 6000 Hz voor het 3<sup>de</sup> secundair scoort het rechter oor beter dan het linker.(Figuur 7)



Figuur 7: proportie kinderen die rechts, respectievelijk links een betere score halen in vergelijking met het andere oor, per frequentie en naargelang de de leeftijdsgroep

Bij de kleuters zijn de verschillen minder opvallend (Tabel 4): 0 tot 3 % toont een interauriculair verschil van 5dB of meer, waarbij zich op 2000 Hz de grootste overeenkomst tussen beide oren voordoet.

#### □ Evolutie van de gehoorsdrempel met de leeftijd

We registreren een toenemende gevoeligheid voor geluid met stijgende leeftijd. (Tabel 8)

Kleuters horen minder goed dan kinderen van het 5<sup>de</sup> leerjaar: een geluid van b.v. 1000 Hz aan een intensiteit van **20 dB** wordt gehoord door 77.5% van de kleuters tegenover 84.4 % van de lagere schoolkinderen. Het grootste verschil zien we op 500 Hz: 45.1 % van de kleuters hoort 500 Hz op 20 dB tegenover 80.0 % van de lagere schoolkinderen.

Ook tussen het 5<sup>de</sup> leerjaar en het 1<sup>ste</sup> secundair zien we nog belangrijke verschillen bij een intensiteit van **15 dB**. Het 1<sup>ste</sup> secundair hoort systematisch beter dan het 5<sup>de</sup> leerjaar. We zien verschillen van 4 tot 22%, ten voordele van de oudste leeftijdsgroep. Het grootste verschil is te zien op 1000 Hz en de lagere frequenties: 63.2 % van de lagere schoolkinderen hoort 1000 Hz aan een intensiteit van 15 dB tegenover 85.4% van de leerlingen van het 1<sup>ste</sup> secundair. Vanaf een intensiteit van **20 dB** vallen deze verschillen weg.

Tussen de leerlingen van het 1<sup>ste</sup> en 3<sup>de</sup> secundair zijn weinig verschillen in gehoordrempel. Echter, op de lage frequenties (250, 500 en 750 Hz) zien we dat het 1<sup>ste</sup> secundair iets beter scoort dan het 3<sup>e</sup> secundair.

**Tabel 8: Gevoeligheid voor gehoor per klasniveau en per frequentie voor het rechter oor**  
(de tabel toont dit voor het rechter oor; dezelfde tendens zien we voor het linker oor)

	Rechter oor 20 dB				Rechter oor 15 dB		
	2 <sup>e</sup> kleuters	5 <sup>e</sup> leerjaar	1 <sup>ste</sup> secundair	3 <sup>e</sup> secundair	5 <sup>e</sup> leerjaar	1 <sup>ste</sup> secundair	3 <sup>e</sup> secundair
<b>250 Hz</b>	-	71.8%	71.9%	66.4%	41.3%	52.1%	44.6%
<b>500 Hz</b>	45.1%	80.0%	81.8%	76.8%	58.2%	71.2%	64.3%
<b>750 Hz</b>	-	86.0%	91.1%	91.3%	68.6%	84.0%	82.9%
<b>1000 Hz</b>	77.5%	84.4%	91.8%	93.0%	63.2%	85.4%	82.3%
<b>2000 Hz</b>	88.6%	94.2%	95.8%	96.0%	80.9%	92.4%	92.1%
<b>4000 Hz</b>	85.7%	93.6%	95.7%	96.7%	84.8%	93.4%	92.9%
<b>6000 Hz</b>	-	87.3%	85.6%	87.4%	71.8%	75.3%	79.4%
<b>8000 Hz</b>	73.0%	86.2%	87.0%	89.7%	70.3%	79.9%	83.5%



## □ **Geslachtsverschillen in gehoorsdrempel**

We registreren kleine verschillen tussen jongens en meisjes, waarbij de jongens iets beter scoren dan de meisjes. De verschillen zijn niet consistent groter bij het linker dan wel bij het rechter oor. (Tabel 9)

**Tabel 9: Geslachtsverschillen in gehoordrempel voor leerlingen van het 5<sup>de</sup> leerjaar bij een intensiteit van 15 dB voor het rechter respectievelijk het linker oor** (voor de andere leeftijdsgroepen worden dezelfde tendensen geregistreerd)

	5 <sup>e</sup> leerjaar / 15 dB / rechter oor		5 <sup>e</sup> leerjaar / 15 dB / linker oor	
	jongens	meisjes	jongens	meisjes
250 Hz	43.5%	39.1%	45.5%	46.3%
500 Hz	61.5%	54.9%	70.1%	63.7%
750 Hz	70.3%	66.9%	75.1%	69.6%
1000 Hz	65.5%	60.9%	81.5%	74.4%
2000 Hz	84.1%	77.8%	88.3%	79.3%
4000 Hz	86.5%	83.2%	88.3%	87.0%
6000 Hz	74.1%	69.5%	76.5%	72.3%
8000 Hz	74.0%	66.7%	79.5%	77.5%

## **5. Bespreking en discussie**

### **5.1. Studiepopulatie**

De populatie van het veldonderzoek omvat **méér dan 3000** leerlingen met een vrij homogene verdeling per klasniveau, per geslacht en per onderzoeksplaats. Dit is een omvangrijke groep, en ongeveer de helft van het totaal aantal kinderen die door Roberts, Huber en Ahuja onderzocht werden in hun studie die voorlopig de enige is die audiometrische referentiegegevens voor kinderen bevat. **(19,20)**

### **5.2. Gebruikte methode**

In het onderzoek werd gebruik gemaakt van de '**ascending**'-methode (starten met een zeer zachte toon, die steeds luider wordt aangeboden totdat hij gehoord wordt). Deze werkwijze heeft als voordeel dat ze minder tijdrovend is. Een belangrijk nadeel is dat de testpersoon soms iets later reageert op de aangeboden toon in vergelijking met de '**descending**'-methode (waarbij van een luide toon naar een zachte toon

wordt gegaan, totdat de toon niet meer wordt gehoord). Waarschijnlijk wordt hierdoor een licht verhoogde gehoordrempel geregistreerd.

Uit onderzoek van Dr. G. Forton (3) is gebleken dat de dalende methode meer betrouwbare resultaten oplevert dan de stijgende. De beste methode is echter een combinatie van beide strategieën, namelijk de methode van Hughson-Westlake. Toch hebben we geopteerd voor het gebruik van de ascending-methode omdat deze de gebruikelijke CLB-testmethode het meest benadert. Deze methode is ook het minst tijdrovend, wat belangrijk is omdat de registratie van de audiometrieën kadert in het algemeen consult op het CLB, wat toch beperkt is in tijd. Dit staat in tegenstelling tot de studies van Roberts, Huber en Ahuja die wel de Hughson-Westlake methode gebruikten.

### 5.3. Achtergrondlawaai

De ASHA-richtlijnen voor achtergrondgeluid (opgenomen in de ANSI 3.21) geven maximaal toelaatbare geluidsniveaus van 41.5 dB SPL voor 500Hz, 49.5 dB SPL voor 1000 Hz, 54.5 dB SPL voor 2000 Hz en 62 dB SPL voor 4000 Hz. Volgens de metingen van Laperre werden deze normen niet overschreden: voor elke frequentie werd minder dan 40 dB gemeten.

In het onderzoek van Deleeck (21) werden de resultaten van ongeveer 450 leerlingen van het secundair onderwijs, gemeten in een **geluidsarme cabine**, vergeleken met die van leerlingen die niet in een geluidsarme cabine werden gemeten. Op basis van de Zweedse nationale verwijscriteria (26) bleek in een geluidsarme cabine slechts 7.2% onvoldoende te scoren t.o.v. 17.9% van de leerlingen die niet in een geluidsarme cabine werden onderzocht. Deze criteria raden een verwijzing naar de neus-keel-oor-arts aan vanaf 25 dB of meer voor 2 frequenties van de 500, 1000 of 2000 Hz en 40 dB of meer voor 1 frequentie van 500, 1000, 2000, 4000 of 6000 Hz. Deze cijfers bevestigen een meerwaarde van een geluidsarme cabine voor het uitvoeren van een audiometrisch onderzoek.

Echter, vele Centra voor Leerlingenbegeleiding beschikken niet over een geluidsarme cabine, vandaar dat werd geopteerd om de verdere registraties te laten doorgaan op de manier waarop ze nu doorgaans gebeuren.

#### 5.4. Audiometrie

##### □ Gehoordrempel

In dit onderzoek daalt de gehoordrempel globaal met stijgende **frequentie**. Dit verschilt van wat in de literatuur wordt beschreven: in de onderzoeken van Roberts, Huber en Ahuja (19,20) wordt over het algemeen een lichte stijging van de gehoordrempel met stijgende frequentie beschreven. Dit patroon wordt doorbroken op 2000 en 8000 Hz, waar de gehoordrempel iets lager ligt, en de kinderen dus beter horen.

De gevoeligheid op **6000 Hz** is systematisch minder goed bij de hogere frequenties (hogere gehoordrempel) in vergelijking met de omliggende frequenties.

Dit komt overeen met wat in de literatuur wordt beschreven. De referentie voor het audiometrische nulpunt zou op deze frequentie immers niet correct zijn (6), en de reële gehoordrempel zou op 6000 Hz dus hoger moeten liggen dan wat de ISO 389 als audiometrische nulpunt voorschrijft.

Uit de resultaten blijkt het **linker oor** steeds beter te scoren dan het rechter. Een mogelijke verklaring voor dit fenomeen zou het 'leereffect' kunnen zijn. Het rechter oor werd systematisch eerst onderzocht, waardoor de leerlingen bij het linker oor al beter wisten waarnaar ze moesten luisteren.

Men kan zich natuurlijk afvragen of deze verschillen relevant zijn, vermits uit de literatuur blijkt dat tussen opeenvolgende metingen een verschil van 3 dB op de frequenties 500 tot 4000 Hz toelaatbaar is, en van 5 dB op de hogere frequenties.(6)

In de literatuur daarentegen zien we ook kleine verschillen tussen beide oren, maar deze blijken niet consistent te zijn.(19,20) Er is een goede overeenkomst tussen beide oren (d.w.z. een verschil van minder dan 5 dB) voor de lage frequenties (250 tot 500 Hz) (88% overeenkomst). Deze overeenkomst is veel minder op 6000 Hz (67% overeenkomst).

Over het algemeen is geen van beide oren beter of slechter, behalve op 4000 en 6000 Hz waar het **rechter** oor iets gevoeliger blijkt dan het linker. Hier werd het 'leereffect' uitgeschakeld door afwisselend het rechter en het linker oor eerst te testen.

#### □ **Leeftijdsevolutie van de gehoordrempel**

Er wordt een toename van de gevoeligheid gemeten met toenemende leeftijd. We merken een duidelijke toename van de kleuters tot het 5<sup>de</sup> leerjaar, alsook nog een toename van het 5<sup>de</sup> leerjaar naar het 1<sup>ste</sup> secundair. De verschillen zijn het grootst bij de lagere frequenties (1000 Hz en minder).

Vanaf het 1<sup>ste</sup> secundair zien we geen verbetering meer met toenemende leeftijd. Op de lagere frequenties (1000 Hz en minder) scoort het 1<sup>ste</sup> secundair zelfs beter dan het 3<sup>de</sup> secundair.

Dit is volledig in overeenstemming met wat we vinden in het onderzoek van Roberts en Ahuja. **(20)** Zij beschrijven een toename van de gevoeligheid van 6 tot 11 jaar bij frequenties van 2000 Hz en minder. De verschillen die ze meten bij de hogere leeftijdsgroep (12-17-jarigen) zijn niet consistent.

Een mogelijke oorzaak van dit leeftijdseffect zou het toenemende concentratievermogen van de kinderen kunnen zijn: op oudere leeftijd zijn kinderen beter in staat zich gedurende langere tijd op de test te concentreren. Een mogelijke oplossing is het uitvoeren van een screeningsaudiogram (een beperkt aantal frequenties wordt aangeboden aan een voorafbepaalde intensiteit; het kind hoort het of hoort het niet) als alternatief voor een drempelaudiogram. Dit is een verkort maar betrouwbaar onderzoek, met als voordeel dat het concentratievermogen van het kind minder op de proef gesteld wordt. **(16)**

Een andere verklaring die naar voor wordt geschoven door de Noorse onderzoeker *Flottorp* is de vorm van de hoofdtelefoon, die vooral bij jongere kinderen 'lekken' kan veroorzaken. Ten gevolge van onvoldoende druk ontstaan geluidslekken, waardoor vooral op lage frequenties hogere drempels worden gemeten. **(7)**

#### □ **Geslachtsverschillen**

Zowel in dit onderzoek als in de literatuur worden kleine verschillen tussen de gehoordrempels van jongens en meisjes beschreven.

In dit onderzoek scoren de jongens evenwel beter dan de meisjes, terwijl dat in de onderzoeken van *Roberts, Huber en Ahuja (19,20)* omgekeerd is. Voor de leeftijdsgroep van 6 tot 11 jaar zien ze weinig verschillen tussen de geslachten. De meisjes scoren iets beter (behalve op 250 Hz). Deze verschillen zijn niet statistisch

significant. Voor de 12- tot 17-jarigen zien ze voor de frequenties 250 tot 1000 Hz weinig verschil. Echter, voor de frequenties 2000 tot 8000 Hz scoren de meisjes beter en hier zijn de verschillen wel statistisch significant.

De beschreven verschillen in ons onderzoek, waar de jongens iets beter scoren dan de meisjes, zijn over het algemeen statistisch niet significant, behoudens enkele uitzonderingen (2<sup>de</sup> kleuters/rechter oor/500 Hz ( $p=0.043$ ); 5<sup>de</sup> leerjaar/linker oor/750 Hz ( $p=0.026$ ) en 2000 Hz ( $p=0.017$ ); 1<sup>ste</sup> secundair/rechter oor/250 Hz ( $p=0.015$ ); 3<sup>de</sup> secundair/rechter oor/1000Hz ( $p=0.007$ )).

## **5.5. Grafische voorstelling van de resultaten**

### **5.5.1. Z-score diagram**

*Lemkens et al.* maakten bij het voorstellen van hun resultaten gebruik van het Z-score diagram. **(6)** De Z-score is het aantal standaarddeviaties dat de drempel verschilt van de gemiddelde drempel voor die bepaalde frequentie voor een gegeven leeftijd en geslacht.

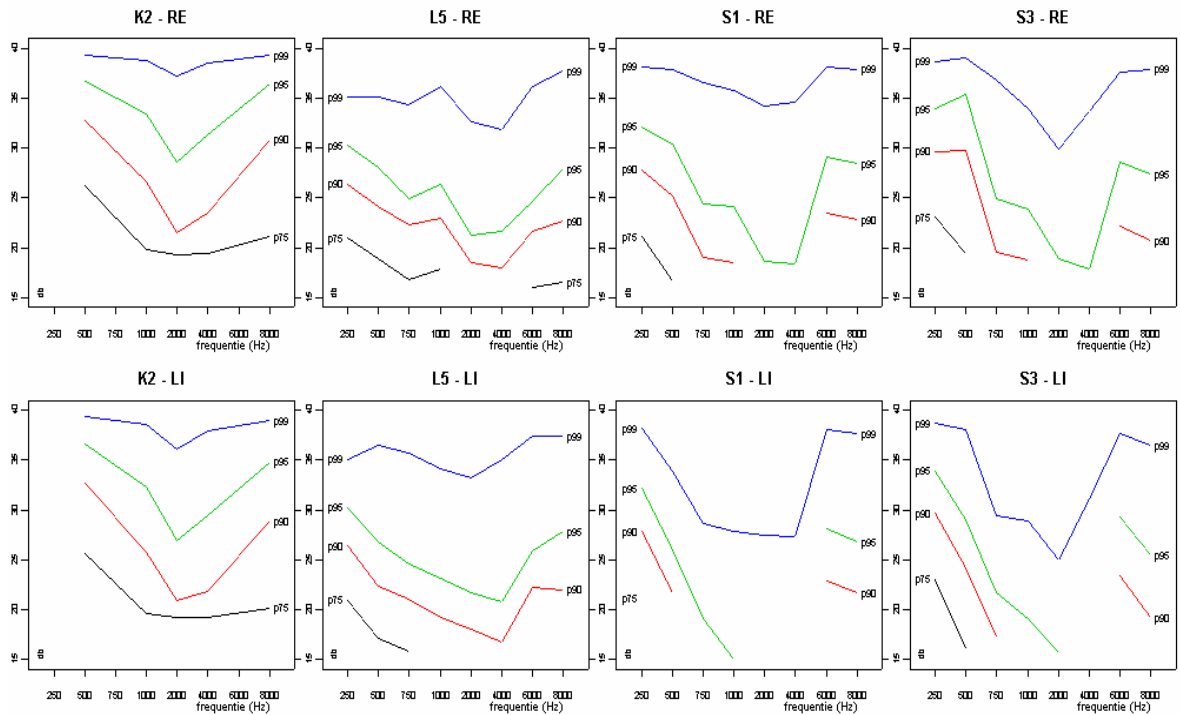
Om een Z-score te kunnen berekenen voor de Vlaamse jeugd moeten gemiddelde waarden en standaarddeviaties gekend zijn. Vermits meer dan de helft van onze data gecensureerd zijn (de metingen starten pas op 15 dB; we hebben geen waarden onder 15 dB), beschikken we over onvoldoende gegevens om deze scores te kunnen opstellen.

### **5.5.2. Percentielcurve**

De definitie van gehoordrempel zegt dat 50% van de leerlingen 0 dB HL hoort.

Bij opstellen van een percentielcurve zal dus de p50 op 0 dB liggen.

Het meten met discrete stappen van 5 dB, zoals in ons onderzoek, is niet fijn genoeg om percentiellijnen te kunnen opstellen. In de praktijk zien we dan dat de belangrijkste percentielen (p90, p95 en p97) immers zeer dicht bij elkaar zullen liggen, binnen een zelfde stap van 5 dB.



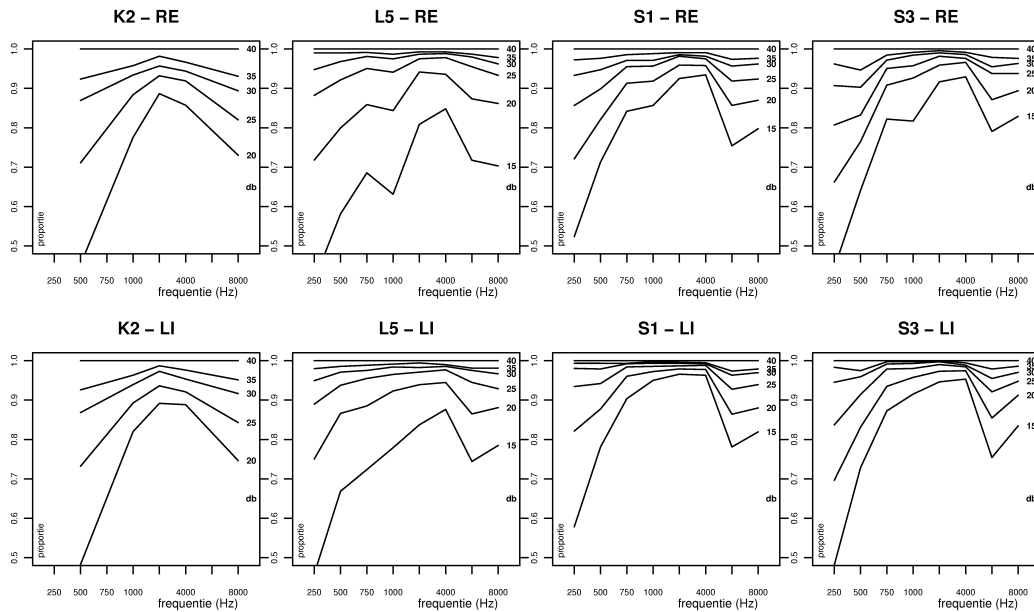
Figuur 8: Percentielcurve voor gehoordrempel (p75=zwarte lijn, p90=rode lijn, p95=groene lijn, p99=blauwe lijn)

### 5.5.3. Proportionele curve

Een vrij heldere manier van voorstellen is de proportionele curve: het toont het profiel van de gehoordrempels.

Op deze curve kunnen we zien dat de gehoordrempel verschilt naargelang de frequentie.

Per stap van 5dB kan voor elke frequentie aangegeven worden welke proportie leerlingen deze frequentie hoort.



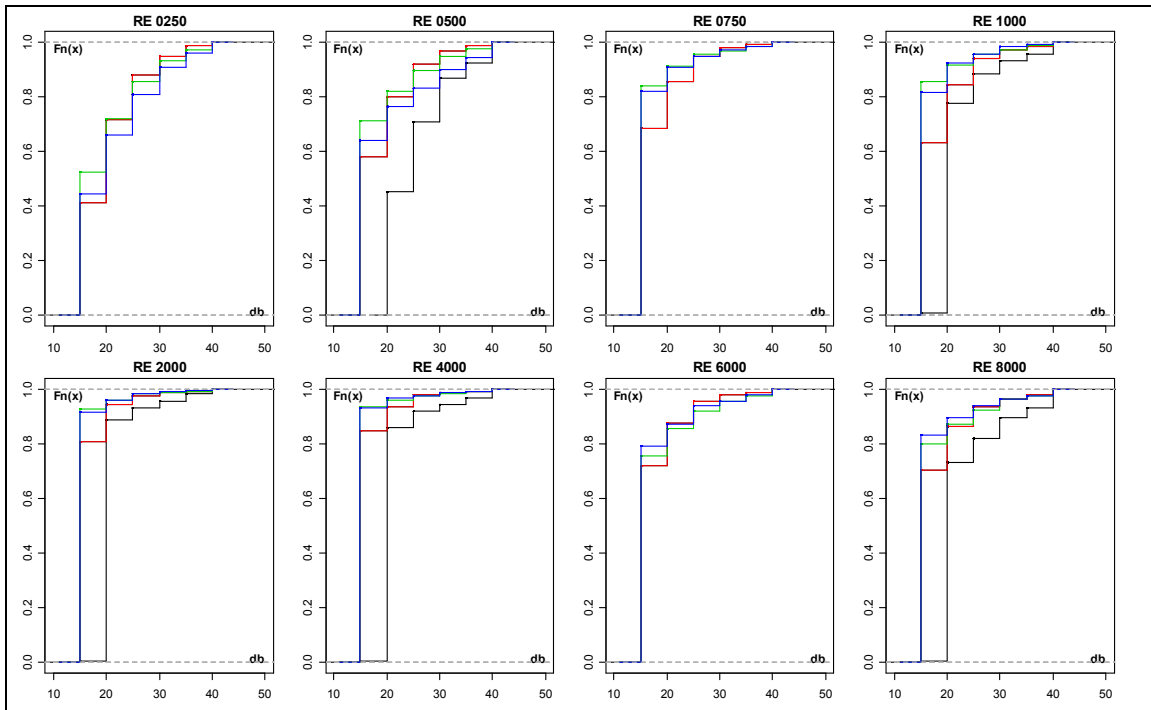
**Figuur 9: Proportionele curve van kinderen die een audiometrische toon waarnemen volgens leeftijdsgroep, en frequentie en intensiteit van de aangeboden toon**

Zo zal bijvoorbeeld een kleuter die een geluid van 1000 Hz op 25 dB niet hoort, maar wel op 30 dB, zich situeren tussen de p88 en de p92.

Vanuit het standpunt van de jeugdarts is dit een interessante manier van voorstellen. Aan de hand van de proportionele curve is het mogelijk een **individuele leerling te evalueren**. Bij het plotten van een waarde op de curve kan men zien welk deel van de kinderen het beter of slechter doet.

#### 5.5.4. Cumulatieve frequentiecurve

Een andere manier om de gegevens grafisch voor te stellen is het model van de cumulatieve frequentiecurve.



**Figuur 10: Cumulatieve frequentiecurven van de toondrempelaudiometrie, per frequentie en graad, rechter oor.** (de zwarte lijn zijn de kleuters, de blauwe het 5<sup>de</sup> leerjaar, de groene het 1<sup>ste</sup> secundair en de rode het 3<sup>de</sup> secundair)

We zien bijvoorbeeld dat voor het 5<sup>de</sup> leerjaar (blauwe lijn) 84% van de leerlingen 750 Hz hoort bij 15 dB. Bij een intensiteit van 20 dB loopt dit op tot 91%. Bij 40 dB heeft iedereen het gehoord.

Een probleem bij het opstellen van deze curven was dat we slechts over beperkte gegevens beschikten. Er werd immers slechts geregistreerd vanaf 15 dB (voor kleuters vanaf 20 dB). Daardoor beschikten we niet over correcte informatie over de waarden onder 15 dB. Het is te verwachten dat de curve verder een dalend verloop zal kennen, maar we weten niet precies hoe het verloop zal zijn.

Terwijl de proportionele curve toont welke proportie kinderen een bepaalde frequentie hoort bij een bepaalde intensiteit, zien we op de cumulatieve frequentiecurve deze proportie plus de som van alle onderliggende intensiteiten.



## BESLUIT EN AANBEVELINGEN VOOR DE PRAKTIJK

In dit onderzoek werd bij meer dan 3000 kinderen tussen 4 en 17 jaar een audiogram afgenomen. Zowel qua geslacht als qua leeftijd was de groep homogeen verdeeld.

Belangrijkste vaststellingen:

- Globaal zien we een toename van de gevoeligheid met stijgende frequentie.
- De gevoeligheid op 6000 Hz is steeds minder goed dan bij de andere hoge frequenties.
- Het linker oor scoort iets beter dan het rechter oor, maar deze verschillen blijken niet significant.
- Er is een toename van de gevoeligheid met toename van de leeftijd en dit tot de leeftijd van 11 jaar.
- Er zijn geen significante geslachtverschillen.

Naar de praktijk toe kunnen we hieruit een aantal besluiten trekken:

- Bij het opstellen van verwijscriteria wordt best rekening gehouden met de verschillende gevoeligheid naargelang de leeftijd. Om het binnen de setting van een CLB haalbaar te houden, wordt de groep best opgesplitst in 2 subgroepen: enerzijds de kleuters, anderzijds 5<sup>e</sup> leerjaar + 1<sup>e</sup> & 3<sup>e</sup> secundair. De verwijscriteria voor de kleuters zullen waarschijnlijk iets minder streng moeten zijn dan voor de andere leerlingen.
- Bij het bepalen van de frequenties waarop moet worden gescreend, wordt best rekening gehouden met het feit dat de resultaten op 6000 Hz suboptimaal zijn. Mogelijks is dit een reden om niet te screenen op 6000 Hz.
- Een geschikte manier van voorstellen in de praktijk is de proportionele curve. Aan de hand van de proportionele curve is het mogelijk een individuele leerling te evalueren. Bij het plotten van een waarde op de curve kan men zien waar een leerling zich situeert t.o.v. de andere leerlingen.

In het kader van de ontwikkeling van een 'standaard gehoor' liggen ongetwijfeld nog vele braakliggende stukken. Verschillende aspecten die kaderen binnen gehoorscreening kwamen in deze verhandeling niet aan bod: otoscopie, anamnese, ... Hopelijk kan de ontwikkelde databank bij verder onderzoek nog van toepassing zijn.

De 'standaard gehoor' is alleszins een werk waar vele CLB-medewerkers op wachten!

## REFERENTIELIJST

1. **US Preventive Task Force.** Vision and Hearing disorders : Screening for Hearing Impairment. Guide to Clinical Preventive Services, Second Edition, 1996.
2. **Van Barneveld W, Beekhuysen H.** Hoe was het toevallig ook al weer: geluidsniveaus, lawaaïdosis... en De dB. ProAudioVisie, maart 2002; 24-29.
3. **Damman W.** Klinische Audiometrie: oto-vestibulair onderzoek. 2000. A.Z. St Jan Brugge. Ref Type: Map.
4. **Forton G, Depuydt B.** Praktische audiologie en audiometrie. 1997. Garant Leuven
5. **C. Guérin.** Vlaamse Wetenschappelijke Vereniging voor Jeugdgezondheidszorg. Standaard Gehoor: ontwerp tekst Deel I – versie 13/05/04.
6. **Lemkens N, Vermeire K, Brokx JP.** Interpretation of pure-tone thresholds in sensorineural hearing loss (SNHL) : a review of measurement variability and age-specific references. Acta oto-rhino-laryngologica belg, 2002, **56**, 341-352.
7. **Flottorp G.** Improving audiometric thresholds by changing the headphone position at the ear. Audiology 1995; 34:221-231.
8. **Bureau International d'Audiophonologie.** Recommandation biap 02/1 bis : Classification audiométrique des déficiences auditives. Février 2003.  
<http://www.biap.org>
9. **National Institutes of Health.** NIH Consensus Statement - Early Identification of Hearing Impairment in Infants and Young Children. 11, 1-24. 1993.
10. **ASHA (American Speech and Hearing Association).** Guidelines for identification audiometry. 1985; 27 (5): 49-52, 40.

11. **Bess FH, Humes LE.** Audiology: the fundamentals. 3de editie 2003. Lippincott, Williams en Wilkins.
12. <http://nl.wikipedia.org/wiki/geluid>
13. <http://www.cyberphon.ish-lyon.cnrs.fr/Partie1/P1C1.htm>
14. **Joint Committee on Infant Hearing.** Year 2000 Position Statement : Principles and Guidelines for Early Detection and Intervention Programs. American Journal of Audiology 2000;**9**:9-29.
15. **American Academy of Family Physicians.** Recommendations and rationale : Newborn hearing screening. <http://www.aafp.org>. 2003. Ref Type: Report.
16. **Van Leerdam F.** JGZ-standaard: vroegtijdige opsporing van gehoorstoornissen 0-19 jaar. Houten/Diegem: Bohn Stafleu Van Loghum, 1998.
17. **François J.** Vroegtijdige opsporing van zintuigstoornissen bij kleuters. Ministerie van Volksgezondheid en van het Gezin – Bestuur der Sociale Geneeskunde – Medische Schoolinspectie. Omzendbrief van 4 december 1979.
18. [www.LUMC.nl](http://www.LUMC.nl)
19. **Roberts J, Huber P.** Hearing levels of children by age and sex. United States. National Center of Health Statistics, series 11 no.102.
20. **Roberts J, M.Ahuja E.** Hearing levels of U.S. youths 12-17 years. National Center of Health Statistics, series 11 no.145.
21. **Deleeck A.** Audiometrie in het kader van gehoorscreening in het CLB: een onderzoek als aanzet van leeftijdsspecifieke audiometrische referentieprofielen. Eindwerk Opleiding Jeugdgezondheidszorg. 2004.
22. **Kloosterhuis G.** Coëlho zakwoordenboek der geneeskunde. 1989. Elsevier koninklijke PBNA.
23. [www.centexbel.be](http://www.centexbel.be)

24. [www.ansi.org](http://www.ansi.org)

25. **Lutman M.E., Davis A.C.** The distribution of hearing thresholds levels in the general population aged 18-30 years. *Audiology*, 33 : 327-350,1994.

26. **Augustsson I, Nilson C, Engstrand I.** The preventive value of audiometric screening of preschool and young schoolchildren. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology* 1990; 20 : 51-62.

## **BIJLAGEN**

Bijlage 1: **Coderingslijst** (per afnemer)

Bijlage 2: **Registratieformulier klassikale gegevens**

Bijlage 3: **Individueel registratieformulier leerlingen**

**Bijlage 1: Coderingslijst (per afnemer)**

<b>CODE LEERLING</b>	<b>LEERLINGGEGEVENS :</b> naam + voornaam + geboortedatum klas + school
<b>D 1</b>	
<b>D 2</b>	
<b>D 3</b>	
<b>D 4</b>	
<b>D 5</b>	
<b>D 6</b>	
<b>D 7</b>	
<b>D 8</b>	
<b>D 9</b>	

## Bijlage 2: Registratieformulier klassikale gegevens

### KLASSIKALE GEGEVENS

- **CLB BERCHEM**

- Letter verpleegkundige: **H**
- Datum onderzoek : \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / 2004

- **GEGEVENS AUDIOMETER :**

- **Type audiometer** (kruis aan aub)
  - Biometrie Berchem :  
Interacoustics AS 1206
  - Biometrie LinkerOever :  
Interacoustics AS 1206
  - Biometrie St Lievens :  
Bosch
- **Omgevingsfactoren** (die de afname volgens jou mogelijk hebben beïnvloed) : \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- **CODE LEERLINGEN : ( doorlopende nummering ! )**

letter vplk + 1<sup>ste</sup> en laatste leerling van de klas

**VAN H** \_\_\_\_\_ **TOT H** \_\_\_\_\_ .

vb. van H 27 tot H 42

- **ALGEMENE OPMERKINGEN :** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

