

# MENS

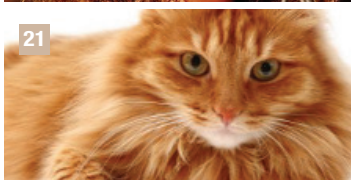
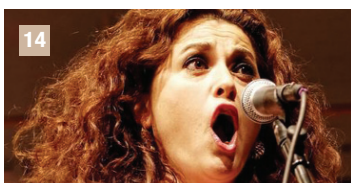
86

Populairwetenschappelijk tijdschrift  
Driemaandelijks | JAN-FEB-MAA 2013

MILIEU • JAGTIENATUURSAMENLEVING

# Gehoor en gehoorproblemen

Van horen tot oren: evolutie van het gehoor	4
Vissen voelen water trillen: het ontstaan van de haarcel	5
Van zee naar land: het behoud van het evenwicht	7
Van water naar lucht: toch wat aanpassing...	8
Zoogdieren krijgen een uitgebreid middenoor	10
Zoogdieren laten hun oren hangen: het buitenoor	10
Geluid	11
De ingebouwde geluidsversterker van zoogdieren	21
Het binnenoer zorgt voor de analyse van het geluid	21
Otoakoestische emissie bij baby's: Zeg eens OOOOOOR	24
Het gehoor bij de andere dieren	25
Cochleaire implantaten	27
Techniek in mijn binnenoer	28
We testen een nieuw slakkenhuis...	29
Hou je oren in ere	30
Knoop in je oren?	31
Beschermen is beter dan genezen	32



**Bio-**  
**MENS**

© 2013 Uitgeverij Acco  
MeNS wordt uitgegeven door Uitgeverij Acco,  
de inhoud, wetenschappelijke correctheid en  
popularisatie wordt verzorgd door Bio-MENS vzw.

[www.uitgeverijacco.be](http://www.uitgeverijacco.be)  
[www.biomens.eu](http://www.biomens.eu)

#### Omslagontwerp en vormgeving

Peter Faes - [www.odevie.com](http://www.odevie.com)  
Uitgeverij Acco

#### Illustraties

Joris Dircx, UA  
Vereniging voor audiologie, Amplifon, Comfoor

#### Academische begeleiding

Prof. Dr. Roland Caubergs, Universiteit Antwerpen  
[roland.caubergs@ua.ac.be](mailto:roland.caubergs@ua.ac.be)

#### Hoofdredactie

Dr. Ing. Joeri Horvath, Universiteit Antwerpen  
[joeri.horvath@ua.ac.be](mailto:joeri.horvath@ua.ac.be)

#### Eindredactie

Jan T'Sas, GCV Neejandertaal

#### Kernredactie

Lic. Karel Bruggemans, VRT  
Prof. Dr. Roland Caubergs, Universiteit Antwerpen  
Dr. Guido François, Universiteit Antwerpen  
Prof. Dr. Geert Potters, Hogere Zeevaartschool  
Dr. Lieve Maesele, Hogeschool Gent  
Lic. Els Grieten, Universiteit Antwerpen  
ir. Marjolain Vanoppen, Universiteit Gent  
ir. Ariane Ooms, Universiteit Antwerpen  
Sven De Baere, scholier  
Prof. Dr. Diane Van Strydonck, Universiteit Antwerpen

#### Communicatiecoördinator Bio-MENS

Kaat Vervoort  
Herrystraat 8b, 2140 Antwerpen  
Tel. +32 (0)3 609 52 30  
Fax +32 (0)3 609 52 37  
[contact@biomens.eu](mailto:contact@biomens.eu)

#### Algemene coördinatie

Dr. Sonja De Nollin  
Tel. +32 (0)495 23 99 45  
[sonja.denollin@ua.ac.be](mailto:sonja.denollin@ua.ac.be)

#### Abonnementenadministratie

Voor België en Nederland:  
Uitgeverij Acco  
Blijde Inkomststraat 22, 3000 Leuven  
Tel. 016 62 80 00 - Fax 016 62 80 01  
[uitgeverij@acco.be](mailto:uitgeverij@acco.be)  
Abonnementen worden stilzwigend voor één jaar-  
gang verlengd. Opzeggen doet u uitsluitend via mail  
naar [uitgeverij@acco.be](mailto:uitgeverij@acco.be), uiterlijk op 31 januari van  
de lopende jaargang.

#### Abonnementsprijzen (4 nummers)

Gewoon jaarabonnement: € 35 incl. btw  
Educatief jaarabonnement: € 25 incl. btw  
Losse nummers: € 9,95 incl. btw per nummer

#### Advertentietarief

Voor meer informatie neemt u contact op met  
uitgeverij Acco.

#### Losse nummers

t.e.m. MeNS 81 te bestellen bij Bio-MENS vzw.

# VOORWOORD

Foto [www.rafcelis.be](http://www.rafcelis.be)



Het gehoor, wat een wonderbaarlijk zintuig. Hoe is het mogelijk dat complexe golven in de lucht informatie bevatten die voor onze hersenen meer inhoud hebben dan de meest gewrochte QR-code? Wat een vernuftig staaltje van hoe de natuur zich in de loop van tientallen miljoenen jaren heeft aangepast.

Dit MeNS nummer vertelt hoe een eenvoudige cel in de oerzee zich heeft gespecialiseerd tot een 'haarcel' om de golven van de zee te kunnen voelen en hoe ons oor duizenden van die cellen bevat en ook nog altijd een druppel van de oerzee om die haarcellen te laten functioneren. We lezen ook hoe er zich een miniatuur hefboomsysteem ontwikkeld heeft, het middenoor, om golven in de lucht toe te laten de haarcellen efficiënt te bereiken. Een aantal van die haarcellen zijn zich in het slakkenhuis gaan specialiseren in de hoge frequenties die typisch zijn voor spraakgolven terwijl de 'oer-haarcellen' nog altijd de kern vormen van het evenwichtsorgaan dat onze positie in de ruimte detecteert, dat ons doet dansen op ritmische muziek en onze ziel beroert op de golven van de poëzie.

Dat kostbare zintuig verdient het om beschermd te worden en gelukkig geraakt de moderne mens en zeker ook de jeugd daar meer en meer van doordrongen. Want het gehoor is fragiel en de schade meestal onherstelbaar. Al zijn hoortoestellen vandaag wel briljante computertjes die hun uiterste best doen om het beschadigde gehoor zo lang mogelijk nog functioneel te houden. En als ook dat niet meer lukt, zijn er de cochleaire implantaten, echte voorbeelden van het menselijke genie dat in staat is dit zintuiglijke meesterwerk van de natuur na te bootsen en terug gehoor te geven aan dove en zwaar slechthorende mensen van alle leeftijden, zodat vandaag niemand meer hoeft te leven in het onvoorstelbare isolement van de doofheid.

Laat het u beroeren!

Prof. Dr. Paul Govaerts  
*De oorgroep, Antwerpen*

[www.eargroup.net](http://www.eargroup.net)

# VOORWOORD



# Gehoor

## en gehoorproblemen

Samengesteld door Prof. Dr. Geert Potters (Hogere Zeevaartschool/Universiteit Antwerpen) met medewerking van Prof. Dr. Paul Govaerts (De Oorgroep), Prof. Dr. Joris Dirckx (Universiteit Antwerpen) en mevr. Elina Ooms, audiologe.

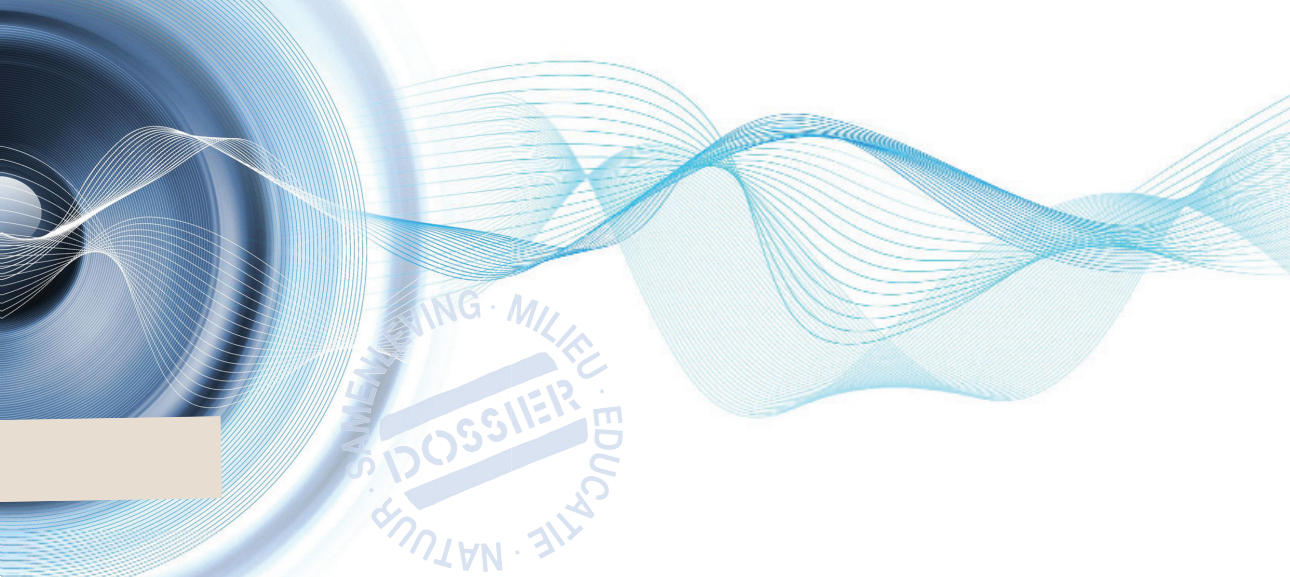
De juiste muziek bij een griezelscène maakt Dracula meteen een stuk imponanter. De tonen van het “Kommt, ihr Töchter, helft mir klagen...” uit de Mattheuspasie van Bach slepen ons mee. We laten ons gaan op “Highway to Hell” van AC/DC. We raken in vervoering van een gefluisterd “Ik zie je graag...” En klanken zetten ons aan tot handelen. Van het zachtjes meewiegen (of headbangen) op je favoriete song, over militaire marsmuziek die troepen in beweging kon zetten doorheen de geschiedenis, tot het engagement dat uitging van LiveAid en Music For Life. En waar zijn die handjes ook al weer, Regi? Geluid (en dan vooral muziek) heeft een behoorlijke impact op ons gevoel en ons gemoed.

Geluid – gesproken, gezongen, door instrumenten of machines gemaakt – de meesten onder ons kunnen niet zonder. We gebruiken het als afleiding (als muzak in de supermarkt, via de tv terwijl we sms'en of aan de pc bezig zijn), en sommigen zijn er zo aan verslaafd, dat ze altijd en overal hun muziek meenemen - met hun mp3-speler, al of niet met een appeltje op. We zoeken het geluid op: op concerten en optredens, in kleine zaaltjes en op megafestivals. Soms zijn we te gulzig in onze zoektocht naar geluid; dan lopen we het risico op gehoorschade. En soms lopen we er net van weg; dan nestelen we ons in een stille ruimte om te ontsnappen aan de drukte van alledag.



*Ook dieren communiceren via geluid. Denk maar aan de zang van de nachtegaal, het huilen van een wolf, het tjirpen van een krekel. Toch evenaart geen enkel dier de subtiliteit van de menselijke spraak en muziek. Voor de liefhebbers een beetje quizmateriaal: [www.youtube.com/watch?v=t8K05OVLRow](http://www.youtube.com/watch?v=t8K05OVLRow)*





## NIEUW

### Een extra stukje MeNS, speciaal voor gebruik in de klas!

Over gehoor valt natuurlijk nog veel meer te vertellen. En dat doen we dan ook. Abonnees van MeNS kunnen op volgende website [www.acco.be/mens86](http://www.acco.be/mens86) nog een extra katern vinden, met daarin info over volgende onderwerpen:

- De wet van Weber en Fechner: het logaritmische verband tussen een zintuiglijke prikkel en hoe we die gewaarworden.
- Hoe vangen ongewervelde waterdieren en zeezoogdieren golven op ?
- Een kleine spier in onze oren beschermt ze tegen luide knallen.
- Zeezoogdieren hebben te lijden van onderwaterlawaaihinder.
- Hoe gevoelig is het menselijk oor, bij welke golflengten en waarom juist bij die toonhoogten ?
- De biofysica van de werking van het binnenoor.
- De evolutie van het middenoor: de overgang van reptielen naar zoogdieren
- Hoe werken hoortoestellen?

Leerkrachten vinden bovendien nog het volgende materiaal:

- een kruiswoordraadsel rond de woordenschat in dit dossier;
- een reeks stellingen voor een discussie in de klas rond gehoorbescherming;
- een aantal berekeningen voor tijdens de les Fysica;
- enkele multiple choice vragen rond het dossier;
- enkele schema's uit het dossier, die als blinde figuur kunnen worden gebruikt tijdens de les of op een test.

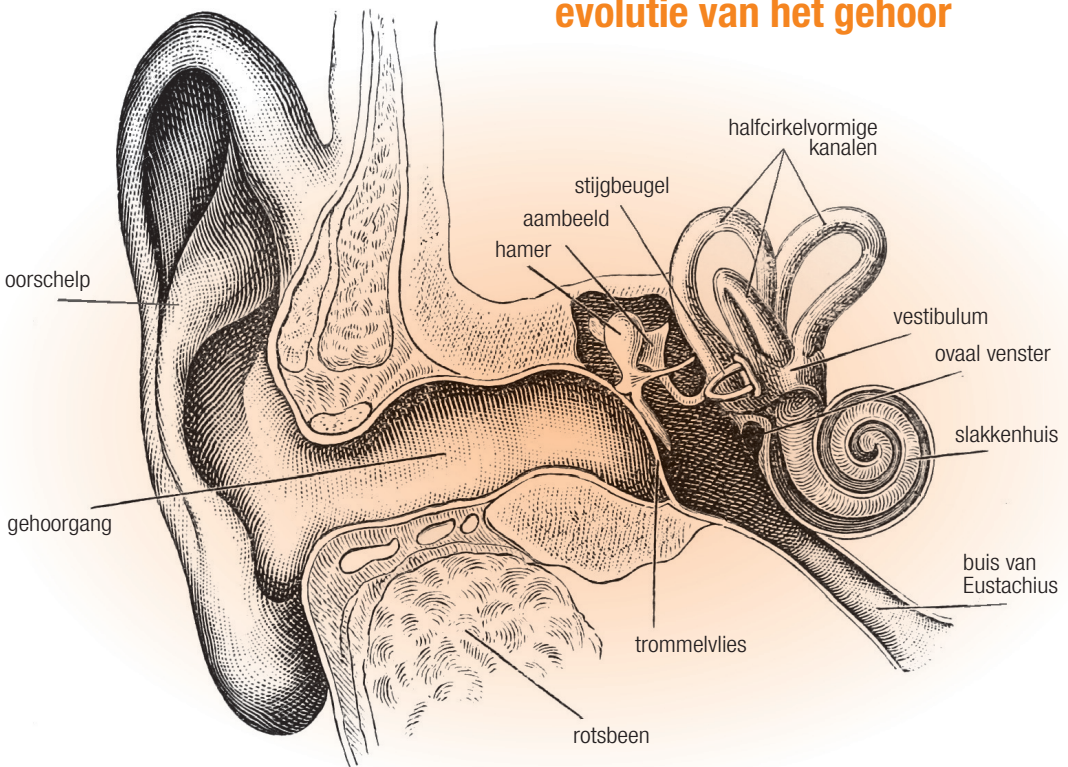


Wij zijn dan ook een diersoort die het voor een groot deel moet hebben van zijn gehoor. Niet dat spreken en luisteren onze enige manier van communiceren is: ook onze lichaamstaal, onze kledij en zelfs onze geur helpen ons om met onze soortgenoten in contact te treden. Toch verloopt heel wat van onze communicatie met anderen via een uniek menselijk gegeven: het vermogen om heel verfijnde klanken te produceren in spraak en in zang. En we beschikken over een heel goed ontwikkeld gehoororgaan, dat tijdens miljoenen

jaren van evolutie steeds beter is geworden. De jongste decennia beschikken we zelfs over de technologie om ons gehoor te ondersteunen, als onze eigen oren het wat minder goed beginnen doen.

In dit dossier van MeNS analyseren we onze eigen oren. We gaan na hoe ze zich doorheen de evolutie hebben ontwikkeld en aangepast, en we bestuderen hoe we ze het best kunnen beschermen tegen het lawaai van de moderne wereld.

## Van horen tot oren: evolutie van het gehoor



**Leven zonder muziek zou een vergissing zijn.**

*(F. Nietzsche, Götzendämmerung)*

### Even wegwijs maken

Om in de loop van de tekst de draad niet te verliezen, beginnen we met een algemene kaart van een van de meest ingewikkelde gehoorsystemen: dat van de mens. Het menselijke oor delen we traditioneel op in drie:

- het buitenoor bestaat uit de oorschelp en de gehoorgang. Aan het einde van de gehoorgang bevindt zich het trommelvlies.
- het middenoor bevat de drie gehoorbeentjes: hamer (malleus), aambeeld (incus) en stijgbeugel (stapes). De drie beentjes werken als een mechanisch transducersysteem (zie figuur onderaan): ze nemen de geluidstrillingen over van het trommelvlies en geven ze door aan de stijgbeugel. Dit laatste gehoorbeentje trilt ongeveer als een piston in een ovaalvormige opening in het binnenoor (het ovale venster) en veroorzaakt zo geluidsgolven in de vloeistof van het slakkenhuis.
- het binnenoor bestaat enerzijds de drie halfcirkelvormige kanalen van het evenwichtsapparaat, en anderzijds uit het slakkenhuis of cochlea, telkens met de daaraan gekoppelde zenuwen. Het slakkenhuis is rechtstreeks gekoppeld aan het ovale venster. Het zet de mechanische prikkels vanuit het middenoor om naar een elektrische puls, die verder door de gehoorzenuwen naar de hersenen wordt geleid.

Het middenoor en het binnenoor worden samen omgeven door het rotsbeen, een onderdeel van de schedel.

Al deze onderdelen hebben hun eigen functie, hun eigen rol in het geheel. We kunnen uiteraard elk van deze delen op zich bespreken. Daaruit zou al snel blijken dat we met een fascinerend onderdeel van ons lichaam te maken hebben. Alleen vinden we het in de biologie niet voldoende om enkel te weten hoe een systeem (een orgaan, een cel, een proces ...) bij de mens werkt. We willen ook weten of er



*Een transducer zet energie van de ene naar de andere vorm om. Er bestaan verschillende soorten: elektrochemische (pH-meter), elektro-akoestische (microfoon, luidspreker), elektro-optische (fluorescente lamp) ...*

gelijkaardige systemen bestaan in andere organismen en of die verwant zijn met de menselijke variant. In dit dossier onderzoeken we waar het menselijk gehoor vandaan komt: hoe is ons vermogen om geluid op te vangen ontstaan? Waarom was het belangrijk dat organismen dit zintuig ontwikkelden? Welke voordelen ontleenden ze aan de mogelijkheid om trillingen van lucht en water op te vangen? En hoe heeft dit zintuig doorheen de miljoenen jaren de vorm gekregen die we bij de mens kennen?

Dit verhaal start honderden miljoenen jaren geleden, bij de eerste vissen...



### **Vissen voelen water trillen: het ontstaan van de haarcel**

Het leven op aarde is ontstaan in de zee. Dat is, zoals iedereen wel weet, een omgeving waarin golven bijzonder veel te vertellen hebben. Golven geven niet alleen aan of de omgeving rustig is of turbulent, ze duiden ook op een obstakel in de buurt, zoals een koraal, een naderende rover, of wie weet een lekker hapje. Het is voor de zeebewoner dan ook heel nuttig om de informatie van die golven te kunnen voelen. Zijn het krachtige golven of rustige baren, trage bewegingen van een sluipende predator of snelle van een krinkelend winkelend waterding? Vissen zouden nooit in scholen kunnen zwemmen, mochten ze niet over een receptor beschikken die hen alle informatie geeft van de golven rondom. Het orgaan dat de mechanische beweging van een golfslag omzet in

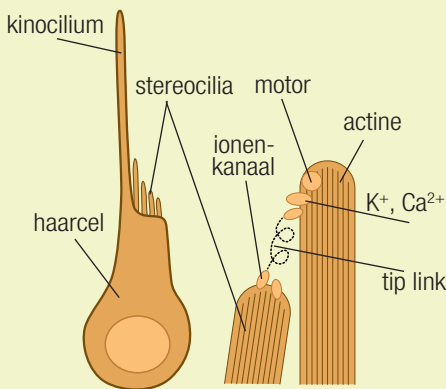




elektrische zenuwsignalen, noemen we een meccanoreceptor. De meccanoreceptor die de natuur honderden miljoenen jaren geleden voor deze functie heeft bedacht, is de 'haarcel'.

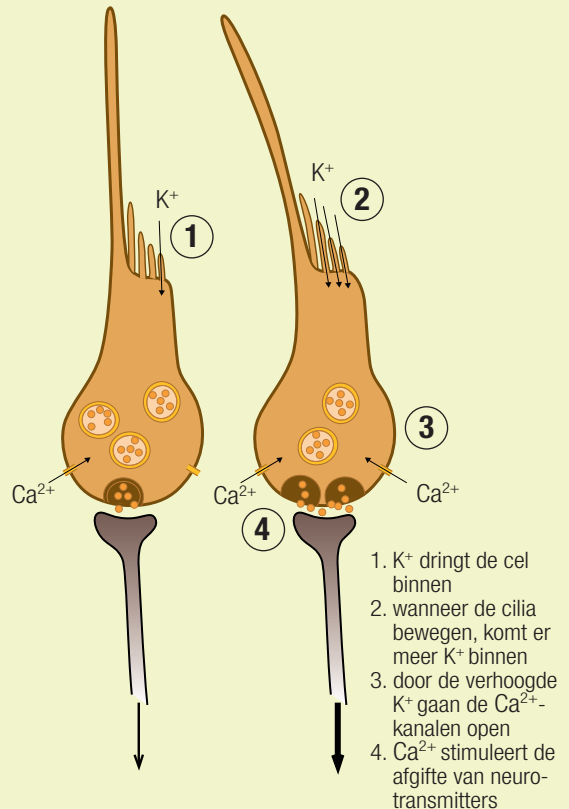
Deze cellen worden zo genoemd vanwege de fijne haarvormige structuren die uit hun oppervlak steken, de 'cilia'. Als de cilia bewegen, gaan er microscopische poortjes open aan de uiteindes. Hierdoor ontstaat er

een stroom van kaliumionen ( $K^+$ ) die naar binnen wil, in de cel. Door die binnenstromende positieve ladingen verandert de potentiaal van de cel, een fenomeen dat depolarisatie heet. En wanneer de golf stopt, pompt de cel al dat kalium weer razendsnel naar buiten, zodat de originele 'rustpotentiaal' hersteld wordt. Dit noemt men repolarisatie. Op die manier wordt een mechanisch signaal omgezet in een elektrisch. In het kaderstukje hieronder lees je daar meer over.



## Elektrische stroom door de oren

Op de plasmamembraan van de haarcellen, meer bepaald op de tip van de cilia, liggen verschillende ionenkanalen. Die zijn altijd minimaal geopend, zodat de cel een evenwichtige membraanpotentiaal behoudt. De uiteindes van deze haren zijn met elkaar verbonden via eiwitdraden, de zogenaamde *tip links*. Wanneer de cilia naar het langste haar (het kinocilium) toe bewegen, zal de *tip link* een aantal ionenkanalen op die uiteindes verder openzetten dan normaal het geval is. Het ion dat het meest aanwezig is rondom de cilia, is kalium ( $K^+$ ). Het zal dan ook met zijn gradiënt mee doorheen de open kanaaltjes de haarcel binnendringen. Daardoor veranderen de elektrische evenwichten aan weerszijden van de plasmamembraan van deze cel: doordat er extra kaliumionen binnendringen zijn de concentraties kalium en de elektrische potentiaal aan beide zijden van de membraan meer aan elkaar gelijk. Dit noemen we depolarisatie. Het tegenovergestelde komt ook voor, wanneer de cilia weg buigen van het kinocilium. Dan sluit de tip link de ionenkanalen af, zodat er minder ionen naar binnen kunnen dan anders. Daardoor vergroten de verschillen tussen ionenconcentraties binnen en buiten de cel en ontstaat hyperpolarisatie.

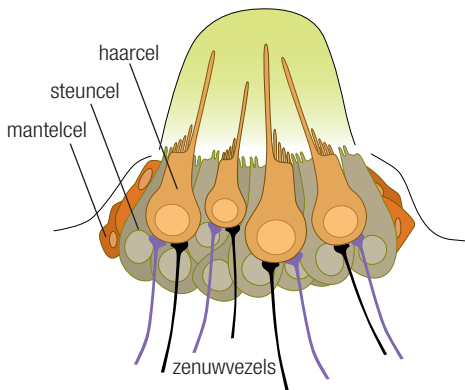


Bij depolarisatie van de membraanpotentiaal worden de voltage-gated ionenkanalen geactiveerd (d.w.z. kanalen die enkel openstaan wanneer de membraanpotentiaal laag genoeg is). Dit veroorzaakt een extra instroom van calciumionen ( $Ca^{2+}$ ). Deze ionen zullen ervoor zorgen dat de haarcel aan het achtereinde van de cel (tegenover de stereocilia) neurotransmitters afgeeft, zoals glutamaat (zie ook MeNS 57). Dit glutamaat wordt opgepikt door een zenuwvezel en doorgegeven aan de hersenen.

Een golf wordt beschreven met twee kenmerken: de amplitude en de frequentie. De haarcel kan die perfect coderen. Als de golfslag groter is (amplitude), wordt de depolarisatie sterker. Als ze sneller wordt (frequentie), dan versnelt de afwisseling tussen depolarisatie en repolarisatie. Daarnaast lopen twee golven in fase met mekaar, zeg maar, in hetzelfde ritme. Een systeem dat een golfsignaal moet doorgeven, loopt mee in diezelfde kadans. In celfysiologische termen noemt met dit 'phase locking': de meccanoreceptor hecht zich als het ware vast (to lock) aan het ritme (de fase of phase) van het inkomende signaal. Zoals we later zullen zien, is dit een cruciaal mechanisme voor de codering van mechanische golven.

## Van zee naar land: het behoud van het evenwicht

Toen de oervis zo'n vierhonderd miljoen jaar geleden aan land kwam, bleek de meccanoreceptor zo belangrijk dat hij zeker mee aan land moest. Want ook aan land wil het dier zijn positie in de ruimte voelen en wil hij tijdig gewaarschuwd worden voor bijvoorbeeld de trillingen van een naderend roofdier. En dus



*Meccanoreceptie bij de vis*  
 Het viszenorgaan voor meccanoreceptie is de neuromast: een verzameling van meccanoreceptieve cellen (de haarcellen), steuncellen en beschermende cellen. Er zijn twee soorten neuromasten: sommige zitten op het oppervlak van de huid, andere zitten in onderhuidse kanalen. Het voornaamste voorbeeld is de laterale lijn op de flank van de vis.

werden de haarcellen in een kamertje van bot gestopt, samen met een druppel van de oerzee, rijk aan kalium en essentieel voor de goede werking van de haarcel. Dat kamertje was het begin van wat we nu kennen als het evenwichtsorgaan, de sacculus en utriculus. Die is gevuld met endolymfe, het enige extracellulaire compartiment in het lichaam dat zo rijk is aan kalium. Op een gegeven ogenblik en om een niet echt gedocumenteerde reden zijn uit die sacculus en utriculus drie halfcirkelvormige kanaaltjes ontstaan. Mogelijk heeft dit te maken met het ontstaan van de hals, waardoor de beweging van het hoofd los kwam van die van het lichaam. Hoe dan ook maken die kanaaltjes het mogelijk om heel accuraat de versnellingen van het hoofd in de driedimensionale ruimte te detecteren.

En zo is het evenwichtsorgaan geboren. De drie halfcirkelvormige kanalen dienen daarbij om de draaiing van het hoofd op te volgen. Wanneer het hoofd (en bij uitbreiding het lichaam) draait, beweegt ook de vloeistof in de kanalen. Die prikkelt de aanwezige haarcellen en die geven dit signaal op hun beurt door aan de zenuwen. Hierbij meet het horizontale kanaal de draaiingen rond onze verticale as (bijvoorbeeld als we een pirouette maken). Het meet ook de anterieure en posterieure kanalen (draaiingen zoals een radslag en een salto). Het evenwichtsorgaan heeft verder weinig te maken met het gehoor.



*De laterale lijn ('lateral line') van de vis is een vaak zichtbare huidplooi op de flank van de vis. Onder die huidplooi zit het 'lateral line organ', een hele reeks haarcellen. Die zijn niet alleen van groot belang bij het detecteren van prooi en dreigend gevaar, ze helpen de dieren ook om in een school te blijven zwemmen en hun eigen positie in de omgeving te bepalen. Ook seksuele communicatie blijkt bij sommige vissen (zoals de rode zalm, Oncorhynchus nerka) voor een deel te verlopen via trillingen van het water.*

## MIJLPAAL



*Om de mechanische golven van de zee op te vangen, gebruiken vissen haarcellen. We vinden ze bij deze dieren terug in de laterale lijn.*

## Van water naar lucht: toch wat aanpassing...



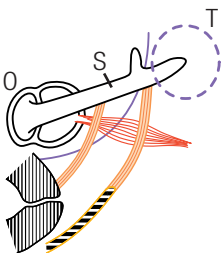
Toen de eerste vissoortigen aan land kwamen, bleek dat er ook andere mechanische golven bestonden. En die waren ook bijzonder interessant waren voor het organisme. Het waren de golven in de lucht, het geluid van de bladeren aan de bomen, van het ritzelende dier in het struikgewas, van het kabbelende beekje en veel later ook het geluid geproduceerd door de stem van soortgenoten, de spraak. Het sprak voor zich dat de meccanoreceptor die al bestond, ook kon worden gebruikt om deze luchtgolven te coderen. Maar eerst moesten er twee problemen worden opgelost.

Het eerste probleem was dat de frequenties van geluid typisch veel hoger liggen dan die van bewegingen in het water. In water gaat het over frequenties van enkele golfslagen per seconde (hertz) tot mogelijk enkele honderden Hz, terwijl het ritzelende geluid in de lucht gemakkelijk tot enkele duizenden of tienduizenden Hz oploopt. Het wonderbaarlijke coderingssysteem van de phase locking kan dan jammer genoeg niet meer volgen. Als gevolg daarvan raken de haarcellen het ritme kwijt en beginnen ze willekeurig te depolariseren. De natuur moest daar dus iets op vinden. Ze kwam met een vernuftige oplossing.

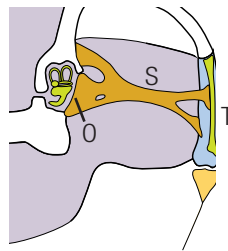
*Alcohol in ons bloed komt ook terecht in de vloeistof in het binnenoer, en verdunt deze. Daardoor functioneren de haarcellen niet langer optimaal en verliezen we ons evenwicht en ons gevoel voor positie.*

sing. Zoals we in een volgend hoofdstuk zien, heeft moeder Natuur een groep haarcellen gespecialiseerd in het coderen van de hoge tonen. Niet door phase locking, maar door het nieuwe mechanisme van de tonotopie. Op dat ogenblik is er een vierde kanaal ontsproten uit de utriculus en sacculus. Dat kanaal kennen we nu als het binnenoer of de cochlea. We komen er later op terug.

Het tweede probleem was dat de golven in de lucht heel moeilijk het water in het vestibulum in trilling kunnen brengen. Dit komt doordat geluid zich in lucht anders voortbeweegt dan in water. Fysici zeggen dan dat de akoestische impedantie van water anders is dan die van lucht. Wanneer geluidsgolven overgaan tussen twee media met een verschillende impedantie, dan gaat bij die overgang heel wat trillingsenergie verloren. En dat is nu net wat er gebeurt bij de gewervelden op het land. Het vestibulum functioneert doordat het gevuld is met water. Bij de vissen wordt geluid vanuit een waterige omgeving via een waterig vissenlichaam overgedragen aan het met water gevulde binnenoer. Vanaf de amfibieën komt het geluid uit een omgeving die gevuld is met lucht. Met enkel een vissenoer zouden de landdieren bijna geen geluid opvangen uit die omgeving. Daarom zien we in de evolutie vanaf deze groep een belangrijke aanpassing aan het leven op land verschijnen: het mid-



*Structuur van het kikpermiddenoor - Rana clamitans - Foto: Dave Huth  
Voor beide figuren: S: stapes, T: trommelmvies, O: ovaal venster*



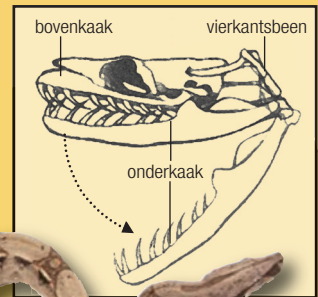
*Het middenoor bij de reptielen*



## Kunnen slangen horen?

Slangen hebben geen trommelvlies en geen middenoorstructuren. Ze beschikken wel over een volledig binnenoorsysteem. Trillingen in de lucht worden opgepikt via de longen en van daaruit naar het binnenoor gevoerd. Slangen vangen dus wel degelijk geluiden op: een normaal stemgeluid horen ze tot op een afstand van drie meter. Bovendien is dat binnenoor verbonden met het kaakbeen. Daardoor vangen slangen de trillingen van de ondergrond op. Ze weten wanneer er een vier- of tweevoeter nadert, maar ook het trippelen van een muis vangen ze op. Weten-

schappers vermoeden zelfs dat slangen, die elk van beide kaaksbeenderen kunnen bewegen, in stereo kunnen horen.



denoor. Dat is een miniatuur-hefboomstructuur die de ene soort trillingen in de andere overzet. In de elektronica noemen we zo'n structuur een impedantieaanpasser. En omdat het systeem de energie van luchttrillingen omzet naar de energie van watertrillingen, mogen we het binnenoor een transducer noemen (zie ook figuur pagina 5).

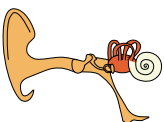
Vanaf de meer geëvolueerde amfibieën (kikkers en padden) en de reptielen komt er een beentje te zitten tussen het binnenoor (ter hoogte van het ovale venster) en de buitenwereld (ter hoogte van het trommelvlies). Dit beentje helpt om de trillingen van de lucht (aan de buitenkant van trommelvlies) over te brengen naar een waterig milieu (aan de binnenkant van het ovale venster). In het kader op de website ([www.acco.be](http://www.acco.be) en [www.biomens.eu](http://www.biomens.eu)) rekenen we dat volledig uit als voorbeeld.

Via dit mechanisme hoort de kikker hoge geluiden (zoals zijn paringsroep). Voor lage geluiden vertrouwt de kikker nog altijd enkel op zijn binnenoor. Dat bevat

een aantal gespecialiseerde haarcellen, waarmee het lage tonen opvangt. Het middenoor van de reptielen bouwt voort op dat van de amfibieën.

Het middenoor staat via de buis van Eustachius in rechtstreekse verbinding met de mondholte. Vermits het middenoor gevuld is met lucht, is deze verbinding nodig om de druk binnen in dat middenoor gelijk te houden met de luchtdruk van de omgeving. De naam 'buis van Eustachius' is een beetje ongelukkig gekozen, want eigenlijk is er helemaal geen buis. Het is eerder een weefselplou die onder normale omstandigheden altijd gesloten is. Af en toe opent de buis zich, bijvoorbeeld wanneer we slikken, kauwen of geeuwen. Een verkoudheid kan dit mechanisme danig in de war sturen: er kunnen dan grote drukverschillen tussen gehoorgang en middenoor ontstaan die tot oorpijn leiden. Die drukverschillen, die vele duizenden keren groter kunnen zijn dan normale geluidsdrukken, maken dat het trommelvlies gespannen staat, waardoor we minder goed horen.

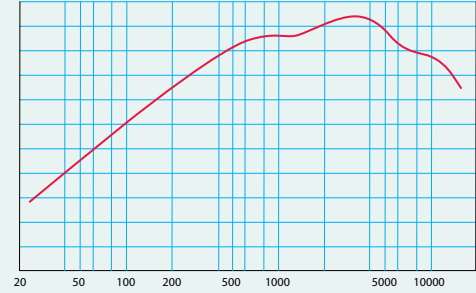
### MIJLPAAL



*De problemen met impedantie, ontstaan doordat het oor nu niet langer trillingen van water maar van lucht moest kunnen opvangen en decoderen, worden opgelost door het gebruik van een impedantieaanpasser: het middenoor met zijn gehoorbeentjes. Amfibieën en reptielen hebben er maar één.*



## Gevoeligheid van het menselijk oor



*Het menselijk oor is het gevoeligst voor geluiden tussen 2000 en 7000 hertz, met een duidelijke piek rond 3000-4000 hertz. Er is ook een piek rond 13 500 hertz.*

## Zoogdieren krijgen een uitgebreid middenoor

Bij zoogdieren heeft het middenoor zich verder ontwikkeld tot de hefboomstructuur die we kennen van bij de amfibieën en de reptielen. Dit was nodig, omdat zoogdieren veel meer dan reptielen op lange poten beginnen rond te lopen. De bijdrage van de beenderen bij de overdracht van trillingen naar het binnenoor nam daardoor gevoelig af. Daarom hadden de zoogdieren behoefte aan een verbeterde geluidsoverdracht in de oren zelf.

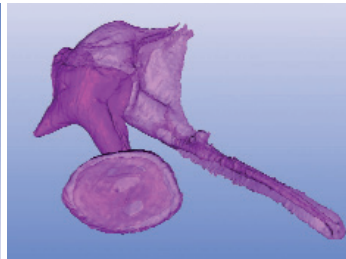
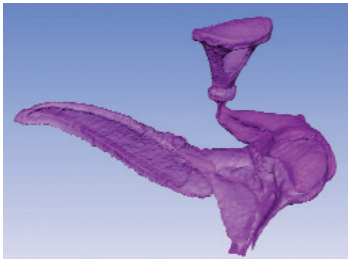
Bij de mens bestaat de biologische impedantieaanpasser in het middenoor uit drie kleine beentjes (de kleinste beentjes van het hele menselijke lichaam!) In volgorde vinden we tussen het trommelvlies en het ovale venster de hamer, het aambeeld en de stijgbeugel. Doordat hamer en aambeeld samen ook werken als een hefboom, wordt het geluid niet alleen doorgegeven, maar ook versterkt.

Mocht het geluid rechtsreeks invallen op het ovale venster, dan zouden we 28 decibel 'slechter' horen. Dergelijk gehoorverlies treedt op bij mensen bij wie de keten van middenoorbeentjes onderbroken is of waarbij de beentjes niet meer vrij kunnen trillen. Hetzelfde effect krijg je wanneer je je hoofd onder water

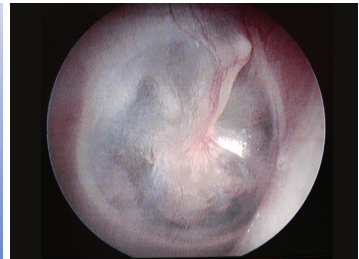
houdt in een zwembad: omdat er geen "impedantieaanpassing" is tussen het geluid in de lucht en het water van het zwembad, weerkaatst het geluid van andere mensen voor een groot deel aan het oppervlak van het water, en dus hoor je daar weinig van.

## Zoogdieren laten hun oren hangen: het buitenoor

Tot slot ontwikkelden zoogdieren voor het eerst een duidelijk buitenoor met een grote oorschelp. Die moest het geluid in de eerste plaats versterken en daarna afleiden naar de gehoorgang. Bovendien is de oorschelp (bij de mens) zo gevormd dat vooral geluiden met dezelfde toonhoogte als de menselijke spraak worden doorgelaten.



*3d-scan van de verschillende gehoorbeentjes bij de mens.*



*Het menselijke trommelvlies - Foto: Didier Descouens*



### MIJLPAAL

*De zoogdieren voegen twee beentjes toe in het middenoor. Dit versterkt de impedantieaanpassingen en maakt het oor gevoeliger voor geluid*



## Geluid

Ook de gehoorgang is meer dan enkel een kanaaltje. Om te beginnen beschermt hij het oor tegen infecties. Daartoe is het deel vlak bij de oorschelp bedekt met zachte en gevoelige huid. Verouderde huidcellen worden vervangen en naar buiten geduwd, wat het buitenste deel van de gehoorgang schoonmaakt. Dieper naar binnen vinden we een aantal haartjes die stofdeeltjes buiten houden. Ten slotte bevat de gehoorgang oorsmeer. Dat is een wasachtig mengsel van keratine, collageen en talg, gemaakt door de oorsmeerklieren. Ook deze substantie houdt stof tegen, evenals bacteriën en dode cellen.

Daarnaast helpt bij de mens ook de gehoorgang om vooral spreken gemakkelijker te horen. Een groot stuk van de informatie in spraak zit, door de typische menselijke formanten (zie pagina 14) rond de 3000 Hz. De afmetingen van de gehoorgang maken dat vooral frequenties errond doorgelaten worden. Bovendien worden ze extra versterkt: de drukverschillen rond die frequentie zijn tot tien keer groter aan het trommelvlies dan wat ze waren aan de ingang van het oor.

### Grondtonen van de geluidsfysica

Maar voor we de stap zetten naar het slakkenhuis van de zoogdieren, zoomen we eerst in op het begrip geluid. Kort samengevat: geluid bestaat uit trillingen op microscopische schaal die via lucht, water of een ander medium worden doorgegeven. Meestal gaat het om luchtdeeltjes die beginnen te trillen, maar ook andere vormen van materie (zoals water, metaal of hout) kunnen geluid doorgeven. Geluidstrilling ontstaat doordat een trillend voorwerp (stembanden, een trommelvel, een snaar, een stemvork) de moleculen in de lucht er rond in beweging zet: daardoor verandert de lokale luchtdruk. De betrokken moleculen botsen weer op andere moleculen, die mee beginnen te trillen: zo ontstaat er een zich voortplantende geluidsgolf. Opgelet: de moleculen blijven zelf op hun oorspronkelijke plaats (en trillen daar heen en weer). Wat zich wel verplaatst, is de energie die nodig is om moleculen in beweging te zetten: er beginnen telkens nieuwe moleculen te trillen. (zie ook figuur p.12)



Foto: Kevin Walsh

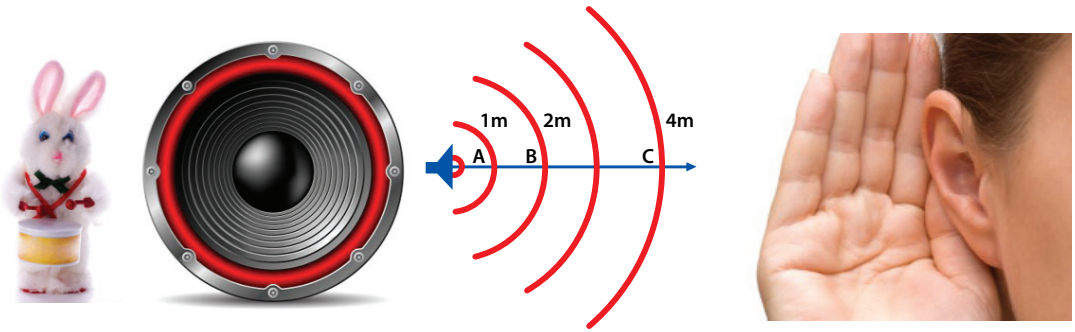


### MIJLPAAL

Het buitenoor verhoogt de gevoeligheid van het gehoorsysteem.





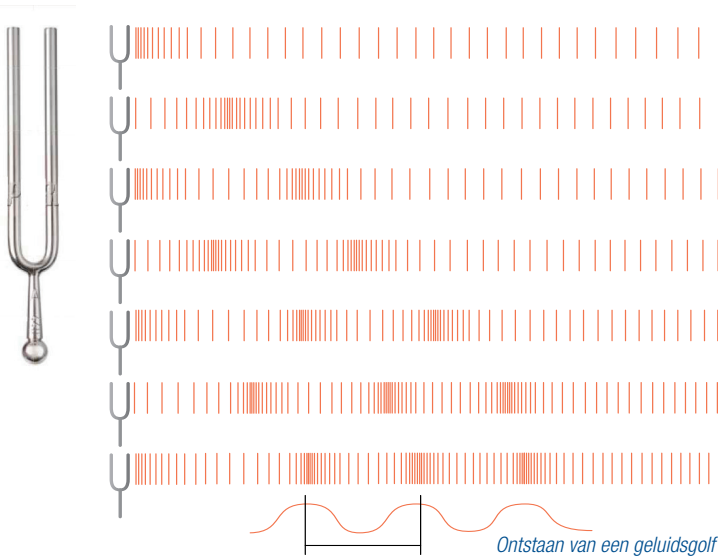


De grootte van de luchtdrukwijzigingen (de geluids-  
druk) noemen we de amplitude van de geluidsgolf –  
zeg maar, hoe hard een geluid klinkt. Geluids-  
druk wordt uitgedrukt in de wereldwijd aanvaarde (S.I.-)  
eenheid pascal (Pa), net zoals de gewone luchtdruk.  
Let wel: de gemiddelde luchtdruk bedraagt 1035  
hectopascal; het menselijk oor neemt al luchtdruk-  
variaties waar vanaf 20 micropascal (ongeveer vijf  
miljard keer kleiner dan die luchtdruk).

Meestal wordt de sterkte van geluid echter niet als  
druk, maar als intensiteit uitgedrukt. Intensiteit is de  
hoeveelheid energie die zich in een golf bevindt terwijl  
die golf zich doorheen een bepaald oppervlak be-  
weegt (en dat per tijdsinterval). Die energie per vier-  
kante meter en per seconde wordt uitgedrukt met de  
S.I.-eenheid  $W/m^2$ . Hoe groter de amplitude van een  
geluidsgolf, hoe meer energie er in die golf vervat zit.  
Maar geluid verplaatst zich vaak in alle richtingen.  
Wanneer een golf vanuit een punt uitdijt (bijvoorbeeld

een geluidsgolf die vertrekt vanuit een luidspreker en  
zich verplaatst op een festivalweide), blijft de totale  
energie in de hele golf constant. Ze verdeelt zich wel  
over de totale oppervlakte die de golf bestrijkt. Hoe  
verder de golf zich van zijn vertrekpunt bevindt, hoe  
groter die oppervlakte (zie figuur boven) wordt. Ook  
de energie per eenheid van oppervlakte en de inten-  
siteit worden lager. Voor een puntbron (zie figuur)  
neemt de intensiteit af met het kwadraat van de af-  
stand: ga je twee keer verder weg staan, dan hoor je  
geluid dat viermaal minder intens is.

Het scala aan intensiteiten dat het menselijk gehoor  
moet opvangen en doorstaan is zo groot dat we-  
tenschappers geluidsintensiteiten niet enkel meten  
met de  $W/m^2$ . Ze gebruiken ook de decibel (dB). De  
decibelschaal is een tiendelig-logaritmische omzetting  
van de gewone metingen. Als nulpunt gebruiken we de  
gehoordrempel (het laagste geluidsniveau dat de gemiddelde mens nog kan





“Pop music often tells you everything is OK, while rock music tells you that it's not OK, but you can change it.”

*(Bono, On the Move)*

horen). Die bedraagt  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  of 0 dB. Een geluid dat tien keer luider is, krijgt de waarde van 10 dB, een geluid dat 100 keer luider is krijgt een waarde van 20 dB enz. De pijngrens van ons gehoor ligt op 120 dB. Vanaf 160 dB kan ons trommelvlies scheuren ( $160 \text{ dB}$  is  $10^4 \text{ W/m}^2$ ; dat is 10 miljoen miljard of 10.000.000.000.000.000 maal luider dan de gehoordrempel). Maar schade aan het gehoor kan al optreden bij véél lagere geluidsdrukken: de uitdrukking “mijn trommelvlies scheurt bijna” heeft dan ook weinig te maken met de echte oorzaak van gehoorverlies door overmatig lawaai, zoals verder wordt uitgelegd. In het kader op p. 19 vind je nog voorbeelden van decibelwaarden.

Een golf wordt niet alleen bepaald door zijn amplitude (dB), maar ook door de snelheid waarmee de golf zich voortplant, en door zijn golflengte. De snelheid van het geluid hangt af van de materie waar de geluidsgolf door moet, zoals je kan zien in de tabel met

de geluidssnelheden op p.14. Het verband tussen frequentie ( $\nu$ , de Griekse letter nu) en golflengte ( $\lambda$ , de Griekse letter lambda) hangt af van de snelheid ( $v$ ) waarmee het geluid zich voortplant, en wordt als volgt bepaald:

$$\lambda = v / \nu$$

Hoe hoger de frequentie, hoe hoger de toon, en hoe korter de golflengte. In een bepaald medium, bijvoorbeeld droge lucht bij 20 graden Celcius, heeft de geluidssnelheid een bepaalde waarde, bijvoorbeeld 340m/s. Daardoor is er een vast en omgekeerd evenredig verband tussen frequentie en golflengte. Het menselijk oor kan tonen horen tussen 20 en 20 000 hertz (Hz, waarbij 1 Hz gelijk is aan één trilling per seconde). Lagere tonen noemen we infrasofoon; boven de 20.000 hertz spreken we van ultrageluid of ultrasone trillingen. Die bovengrens hangt sterk af van de leeftijd: jongeren horen beter hoge tonen dan ouderen.



## De snelheid van het geluid

Geluid plant zich niet overal even snel voort. Dat hangt af van de materie waar geluidsgolven doorheen moeten en van de temperatuur in de omgeving. Een overzicht:

vloeistof	temperatuur (C)	snelheid (m/s)
ethanol	20	1170
water	0	1403
	20	1484
	40	1529
	60	1540
	80	1555
	100	1543
zeewater	20	1510
gas	temperatuur (C)	snelheid (m/s)
ether	360	206
helium	0	965
koolstofdioxide	0	259
lucht	-40	307
	-20	319
	0	332
	20	343
	40	354
waterdamp	134	494

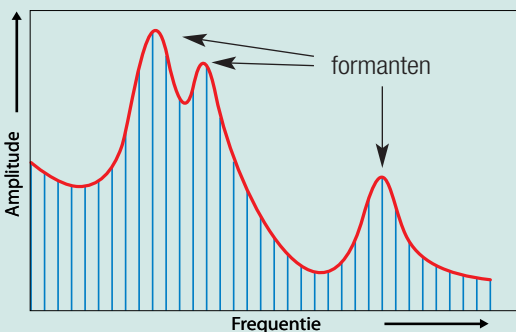


## Stem

De menselijke stem produceert een grondtoon van ongeveer 100 hertz bij mannen en 200 hertz bij vrouwen. Daarnaast wekken onze trillende stembanden ook boventonen op, net zoals dat bij de snaren van een viool gebeurt. De specifieke vorm van de keel, de mond en de neusholte verandert vervolgens het onderlinge belang van deze boventonen. We spreken van

formanten: de typische maxima in een reeks van boventonen. Door deze formanten tijdens het spreken te beïnvloeden, doen we verschillende klanken ontstaan.

De stem van geoefende zangers vertoont een duidelijke formant rond 3000 hertz. Hierdoor zijn ze in staat om zelfs boven een orkest uit te zingen (wat vaak vooral luid klinkt bij veel lagere frequenties, bijvoorbeeld 500 Hz)





# acco

## VAN BOEKEN GA JE DENKEN

GERT LAEKEMAN

# GENEESMIDDELEN

**WAT DE BIJSLUITER NIET VERTELT**



Geneesmiddelen moeten ons beter maken, maar roepen ook heel wat vragen op. Het blijft een hele klus om ons een weg te banen tussen meer dan 3.000 gecommmercialiseerde geneesmiddelen die ons ter beschikking staan. Dit boek wil hiervoor een hulpmiddel zijn.

In *Geneesmiddelen. Wat de bijsluiter niet vertelt* worden geneesmiddelen bij hun commerciële naam genoemd en gegroepeerd volgens hun werking. De auteur gaat dieper in op de wijze waarop medicatie werkt, het gebruik en de mogelijke nevenwerkingen. Geneesmiddelen worden op de apothekersbalans gelegd om voor- en nadelen af te wegen. Een alfabetische index met namen van geneesmiddelen, aandoeningen en trefwoorden vergemakkelijkt het opzoeken.

ISBN 978 90 334 8643 2 // 2012 // 200 blz. // 19,50 EUR

Mail uw bestelling, naam en adres naar [celine.steenhuyzen@acco.be](mailto:celine.steenhuyzen@acco.be), met vermelding van de referentie "tijdschrift Mens" of kom naar één van onze boekhandels:

**Acco Leuven**  
Maria-Theresiastraat 2-4  
3000 Leuven  
016/26 11 00

**Acco Antwerpen**  
Prinsstraat 21  
2000 Antwerpen  
03/226 64 02

**Acco Gent**  
Sint-Pietersnieuwstraat 105  
9000 Gent  
09/235 73 00

GEZIEN OP  
**TV**

Leef niet  
langer als in  
een luchtbel

**Beter horen is beter leven. Praat erover.**

Altijd **5 JAAR**  
gratis service\*

Gratis  
**HOORTEST\*\***



Vrijblijvende  
**PROEFPERIODE\*\*\***

[www.amplifon.be](http://www.amplifon.be)  
of 0800 94 229

Mist u soms de pointe van een verhaal of hebt u soms moeite om bepaalde grapjes te verstaan? Maak dan een afspraak op [www.amplifon.be](http://www.amplifon.be). Op basis van het hoorprofiel kan uw Amplifon-specialist u de beste hooroplossing voorstellen, afgestemd op uw behoeften en uw budget.

ervaring  
expertise  
excellentie



**amplifon**

**hoorcentra**



\* voorwaarden in het hoorcentrum of op [www.amplifon.be](http://www.amplifon.be) \*\* zonder medisch doel \*\*\* op doktersvoorschrift

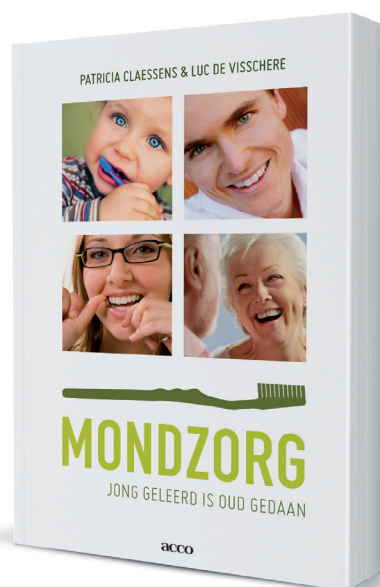
# acco

## VAN BOEKEN GA JE DENKEN

LUC DE VISSCHERE EN PATRICIA CLAESSENS

# MONDZORG

**JONG GELEERD IS OUD GEDAAN**



Het boek *Mondzorg. Jong geleerd is oud gedaan* richt zich op het geven van gerichte informatie over de basisprincipes van mondzorg. Naast aandacht voor de gezonde mond, de ongezonde mond en de relatie tussen mondzorg en algemene gezondheid, focust het boek op preventie en vooral op het uitvoeren van mondzorg bij diverse leeftijdsgroepen. Aan de hand van concrete casussen, beeldmateriaal en gerichte kennisvragen aan het eind van ieder hoofdstuk biedt dit handboek een perfect instrument om aan zelfstudie te doen.

Het boek richt zich naar iedereen die, in het kader van zorgverlening in de brede zin van het woord, geconfronteerd wordt met het uitvoeren van basismondzorg. Ook binnen onderwijs kan het aangevend worden om de basisprincipes omtrent mondzorg aan te leren en duidelijk te maken waarom mondzorg zo belangrijk is.

ISBN 978 90 334 8645 6 // 2012 // 48 blz. // 14,50 EUR

Mail uw bestelling, naam en adres naar [celine.steenhuyzen@acco.be](mailto:celine.steenhuyzen@acco.be), met vermelding van de referentie "tijdschrift Mens" of kom naar één van onze boekhandels:

**Acco Leuven**  
Maria-Theresiastraat 2-4  
3000 Leuven  
016/26 11 00

**Acco Antwerpen**  
Prinsstraat 21  
2000 Antwerpen  
03/226 64 02

**Acco Gent**  
Sint-Pietersnieuwstraat 105  
9000 Gent  
09/235 73 00



# Pluggerz All-Fit

Topkwaliteit all-fit oordopjes voor alle omstandigheden: een complete range!

Als retailer heeft u met Pluggerz All-Fit de category voor gehoorbescherming in één keer compleet.

- Perfect draagcomfort door 3 lamellen en anti-allergisch siliconen materiaal
- Voor veelvuldig gebruik
- Elk type heeft een uniek filter
- 9 verschillende soorten, inclusief 3 KIDS versies
- Nederlandstalige verpakking en handleiding (Frans, Duits en Engels ook beschikbaar)
- Verschillende in-store displays beschikbaar
- CE gecertificeerd en getest volgens EN 352-2
- Made in Holland



+



met handig  
bewaaretui



**pluggerz**

Comfoor B.V. [www.pluggerz.eu](http://www.pluggerz.eu)

E [sales@pluggerz.eu](mailto:sales@pluggerz.eu) T +31 314-36 35 88

## Over tonen en boventonen

De laagste frequentie waarmee een geluidsbron trilt, is haar basisfrequentie of haar grondtoon. Geluidsbronnen zoals een snaar, een orgelpijp of de menselijke stem trillen bij meer dan één frequentie. De hogere tonen die daarbij ontstaan, noemen we boventonen. Zijn de frequenties van die boventonen gehele veelvoud van de frequentie van de grondtoon, dan noemen we deze boventonen harmonisch. Zo ervaren we ze ook in een muziekstuk: in harmonie met elkaar.

Muziekinstrumenten op basis van trillende snaren en luchtpijpen produceren naast de grondtoon ook verschillende harmonische boventonen. De fysica legt uit waarom. Bij trilling van een snaar of van de lucht in een buis weerkaatst het einde van de buis of de snaar de trilling. Die weerkaatsing zal onmiddellijk met de bestaande trilling interfereren. Daardoor vormt zich een staande golf in de buis of op de snaar. Aan het gesloten einde van de buis of snaar trilt er niets. We spreken daar van een minimum of een knoop.

### Decibels Geluid

#### Pijnlijk, schadelijk



170 dB	Vuurwapen, sirene, straaljager, ontplofend vuurwerk
140 dB	Startend vliegtuig op 50 m, autoradio op het hoogste volume, discotheek
130 dB	Rockconcert, luide passage in klassiek concert, festival
120 dB	Opgefokte iPod, fuif, rockconcert

#### Hinderlijk, kans op beschadiging



110 dB	Disco, iPod en mp3-spelers op hoogste volume, houseparty
105 dB	Metro, lunapark, grasmaaier, kettingzaag
100 dB	Disco, popconcert, cinema
90 dB	Disco, popconcert

#### Heel luid



85 dB	Zware vrachtwagen, mp3-spelers, hard geschreeuw
80 dB	Drukke verkeersweg, wekker, drukke klas, voorbijrazende trein
75 dB	Elektrisch scheerapparaat, haardroger, stadslawaai

#### Matig



70 dB	Sporthal, stofzuiger en andere huishoudtoestellen
60 dB	Normaal gesprek, gsm
50 dB	Regen
40 dB	Rustige kamer, kantoor, mug

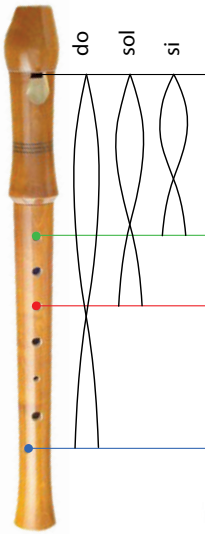
#### Stil



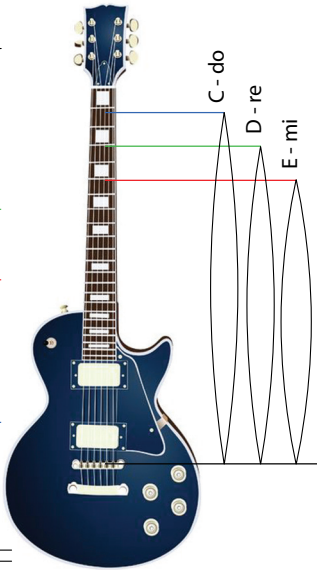
30 dB	Gefluister, tikkend uurwerk
20 dB	Leeszaal in een bibliotheek
10 dB	Vallend blad, windstille dag in een rustig bos

#### Gehoorgrens

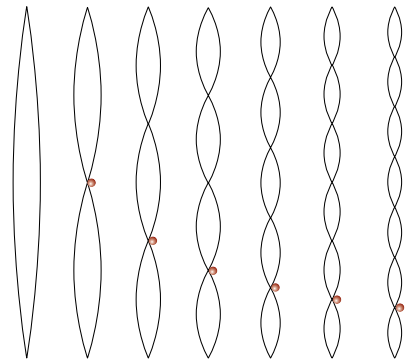
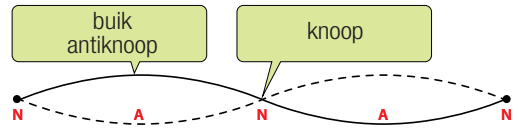
Bron: CM



Verband tussen blokfluitgrepen en toonhoogte



Verband tussen gitaarsnaren en toonhoogte



Als de afstand tussen 2 knopen halveert, stijgt de toonhoogte met een octaaf.

Aan het open einde van een buis kan de lucht maximaal bewegen. Daar ontstaat een golfmaximum: een antiknoop, antinode of ook wel een buik. Andere golven passen niet precies en doven vanzelf uit: enkel die golven die maxima en minima hebben aan de juiste uiteinden blijven bestaan en hoorbaar. De langste golflengte die aan deze voorwaarde voldoet, is de grondtoon. De andere zijn harmonische boventonen, zoals te zien is op de figuur. De n-de harmonische boventoon heeft een frequentie van n maal die van de grondtoon.

Houtblazers en koperblazers gebruiken trillingen in buizen om geluiden te produceren. De plaats waar de muzikant blaast, is een antinode. Aan een open einde ontstaat er ook een antinode. Door de lengte van de buis te veranderen (letterlijk, in een schuiftrompet, of door gaatjes te sluiten en te openen op de lengteas van de pijp, zoals bij een blokfluit) verandert de muzikant ook de frequentie van de toon. Hetzelfde gebeurt bij de snaarinstrumenten, waar de muzikant met zijn vingers de snaren op exact de juiste plaatsen verkort.



### Meer weten en leren ?

[www.youtube.com/watch?v=5s5c08t\\_bBw](http://www.youtube.com/watch?v=5s5c08t_bBw)  
[www.youtube.com/watch?v=YsZKvLnF7wU](http://www.youtube.com/watch?v=YsZKvLnF7wU)

*De Mosquito zendt tonen uit (17,4-18,6 kHz) die enkel jongeren tot 25 jaar kunnen horen. Het werd enkele jaren geleden vooral in Engeland en Nederland gebruikt om hangjongeren weg te jagen van plaatsen waar ze ongewenst waren (vandaar de vermaledijde naam 'youth repellent'). De Raad van Europa beveelt aan om het (on)ding niet meer te gebruiken. In België is het verboden sinds 2008.*



## De ingebouwde geluidsversterker van zoogdieren

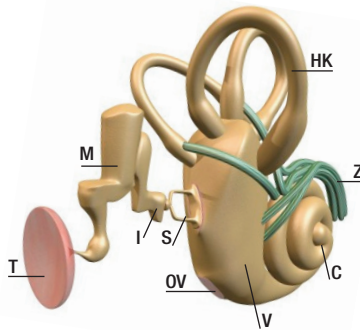
De fysica noemt deze geluidsgolf longitudinaal. Dat wil zeggen dat de beweging van de individuele moleculen (hun uitwijking) evenwijdig is aan de voortplantingsrichting van de golf. Door het heen en weer trillen van de moleculen ontstaan er lokale zones waar er meer moleculen zijn dan normaal (en waar er dus een hogere druk heerst), en zones waar er minder moleculen zijn (met een lagere druk).

Al eerder hebben we uitgelegd hoe de stap van reptielen naar zoogdieren gepaard is gegaan met twee belangrijke aanpassingen, die van het oor een zeer verfijnde sensor maken: (1) het middenoor en buitenoor werden verder uitgebouwd en zorgen ervoor dat het geluid in ideale omstandigheden het binnenoor bereikt en (2) het binnenoor ontstond als vierde kanaal of slakkenhuis uit de sacculus en utriculus om de hogere frequenties te kunnen opvangen, waarvoor het coderingssysteem van de *phase locking* niet meer kon volgen. Op dit laatste gaan we nu wat dieper in.

### Het binnenoor zorgt voor de analyse van het geluid

We zagen al dat het coderingssysteem van de phase locking ideaal is om golven met een relatief lage frequentie (tot enkele honderden Hz) accuraat om te zetten tot elektrische zenuwsignalen. Dat is ruim voldoende voor alles wat met evenwicht te maken heeft en ook voor lage geluidsfrequenties, bastonen dus. Maar bij hogere frequenties, zoals in geluid, loopt dat systeem in het honderd. De oplossing van moeder Natuur was specialisatie. Een hele groep haarcellen is zich gaan specialiseren in elk een eigen frequentie, sommigen in 1000 Hz, anderen in 1500 Hz, enzovoort. En in plaats van signalen door te geven aan de zenuw, hebben zij contractiele kenmerken verworven, een beetje zoals spieren. Deze haarcellen kennen we nu als de 'buitenste' haarcellen. Dit is in tegenstelling tot de binnenste haarcellen, die nog dezelfde oerhaarcellen zijn die we ook in het even-

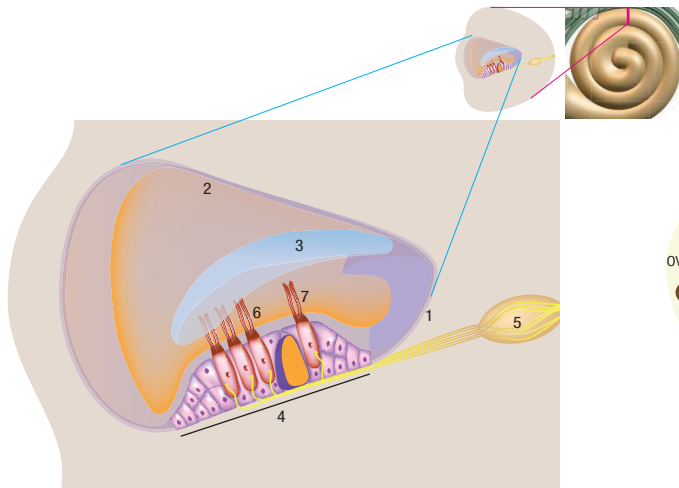
T: trommelvlies  
M: malleus  
I: incus  
S: stapes  
OV: ovaal venster  
V: vestibulum  
Z: zenuwbaan  
C: slakkenhuis (cochlea)  
HK: halfcirkelvormige kanalen



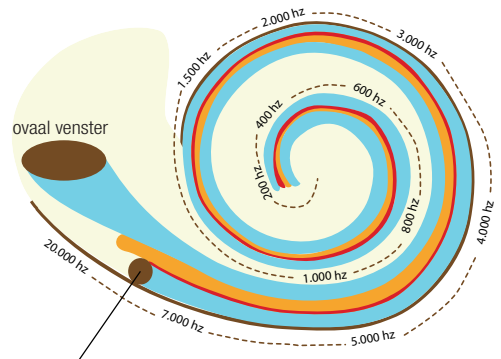
Bekijk de werking van het slakkenhuis op [www.youtube.com/watch?v=1JE8WduJKV4](http://www.youtube.com/watch?v=1JE8WduJKV4)



Sommige dieren hebben een uitzonderlijk gehoor. Zo pikken honden geluiden op tussen de 50 en 45.000 hertz; katten gaan zelfs tot 85.000 hertz. Vleermuizen, die jagen met een echolocatiesysteem dat werkt op ultrasonische geluiden, detecteren tonen tot 120.000 hertz hoog. Dolfijnen gaan daar vlot over en horen zelfs nog geluiden van 200.000 hertz. Olifanten detecteren dan weer infrasonisch geluid: zij horen tonen tussen de 5 en de 10.000 hertz.



*Doorsnede van een van de gangen van het slakkenhuis. 1. Basilaire membraan, 2: Reissner's membraan, 3: Tectoriële membraan, 4: Orgaan van Corti, 5: zenuwbaan, 6: buitenste haarcellen, 7. binnenste haarcellen.*



*Tonotopie in het slakkenhuis*

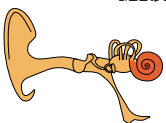
wichtsorgaan aantreffen. Duizenden van deze buitenste haarcellen zijn zich samen met een aantal binnenste haarcellen gaan leggen in dat vierde kanaal dat we het slakkenhuis noemen. Daarbij liggen de haarcellen die gevoelig zijn voor de hoogste tonen onderaan, aan de basis, en die voor de laagste tonen bovenaan, aan de apex van het slakkenhuis. Vergelijk het maar met de toetsen van een piano. Wanneer de buitenste haarcellen hun 'karakteristieke frequentie' voelen, trekken ze snel samen en zorgen ze voor een heel plaatselijke versterking van de geluidsgolf, waardoor de naburige binnenste haarcellen deze als enige oppikken en omzetten naar zenuwsignalen. Wanneer het geluid een tikkeltje van frequentie verandert, zijn het andere haarcellen die samentrekken en voor versterking zorgen. Hierdoor bepaalt de frequentie van het geluid de plaats in het slakkenhuis die gestimuleerd wordt en signaal doorgeeft naar de hersenen. De hersenen herkennen de frequentie van het geluid nu niet door het ritme van het zenuwsignaal te lezen, maar door te kijken welke zenuwvezel

en dus welke plaats in het slakkenhuis het geluid heeft doorgegeven. Die omzetting van frequentie van het signaal naar plaats van stimulatie heet 'tonotopie' (een samenstelling van de Griekse woorden *τόνος* [tonos], toon en *τόπος* [topos], plaats). Waar *phase locking* essentieel is voor de lage tonen, muziek en evenwicht, is tonotopie essentieel voor de hoge tonen van de spraak.

Op zich zijn de eerste sporen van een zich ontwikkelend slakkenhuis al te zien bij de krokodilachtigen, als een verlenging van de sacculus. Maar pas bij de zoogdieren bereikt deze evolutie zijn (voorlopig) hoogtepunt, met name door de vorming van het slakkenhuis, zoals we dat kennen bij de mens.

Bij de mens is het slakkenhuis in totaal zo'n 3,5 centimeter lang. Binnenin bevinden zich de basilaire membraan en de membraan van Reissner, die het slakkenhuis overlans opdelen in drie zones. Het geheel is opgevuld met lymfevocht.

## MIJLPAAL



*Het slakkenhuis is een ingenieuze ontwikkeling van de natuur waarbij de hogere geluidsfrequenties die typisch zijn voor spraak, toch nog heel accuraat gecodeerd kunnen worden. Een aantal haarcellen hebben zich daarvoor ontwikkeld tot 'buitenste' haarcellen. Ze hebben elk een eigen gevoeligheid voor een welbepaalde frequentie.*



*Dit stukje van de hersenen analyseert de signalen uit je oren*

**De muziek zit niet in de noten, maar in de stilte daartussen.”**

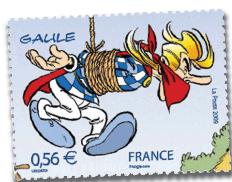
*(Wolfgang Amadeus Mozart)*

Op de basilaire membraan zit het orgaan van Corti. Dit zet de mechanische trillingen om in zenuwimpulsen. Het orgaan is opgebouwd uit haarcellen en steuncellen. De haarcellen (in totaal ongeveer 3000 aan de binnenkant en 9000 aan de buitenkant) zijn geordend in vier rijen die de volledige lengte van de basilaire membraan beslaan: één rij haarcellen binnenin en drie rijen aan de buitenkant.

Elke haarcel heeft een tachtigtal dunne haren (de stereocilia) die naar buiten steken in de endolymfvoelstof van de scala media. De langste stereocilia steken tot in de tectoriële membraan, een gelatineuze structuur die zich uitstrekt in de scala media. Wanneer de basilaire membraan (en de daarop aanwezige haarcellen) aan het trillen gebracht wordt, trilt de tectoriële membraan niet mee. De grotere stereocilia worden daardoor gebogen. Doordat de uiteinden van alle stereocilia van een cel door tip links verbonden zijn, bewegen de kleinere haren mee. Hun werking lijkt op wat je eerder kon lezen bij de vissen.

De trillingen die worden doorgegeven via het middenoor passeren via de stijgbeugel en doen het ovale venster trillen. Hierdoor ontstaat een ‘lopende golf’ over de lengte van het slakkenhuis. Voor elke frequentie is er een bepaalde plaats op de basilaire membraan waar de geluidsgolven de membraan het hardst doen meetrillen. Dit komt door plaatselijke variaties in dikte en breedte van de basilaire membraan en door de samentrekking van de buitenste haarcellen, die alles nog eens versterken. Lage frequenties hebben hun piek aan het achtereinde van het slakkenhuis, terwijl hogere frequenties veel dichterbij het ovale venster uitkomen. En daar waar de basilaire membraan het hardst meetrilt, worden de trillingen van de basilaire membraan opgepikt door de stereocilia van de binnenste haarcellen, zoals hierboven beschreven.

De signalen vertrekken niet alleen op andere plaatsen in het slakkenhuis, ze komen in de hersenen ook elk op een andere plaats aan. De zone in de herse-







nen die de geluidssignalen verwerkt, is de gehoorschors. Binnen die zone worden telkens weer andere cellen actief wanneer de toonhoogte van een opgevangen geluid varieert.

### **Otoakoestische emissie bij baby's: Zeg eens 000000R**

Een van de onverwachte gevolgen van die actieve versterking is dat ons oor niet alleen geluiden opvangt, maar ook spontaan geluid produceert. Dit noemen we otoakoestische emissie. Het is het gevolg van de samentrekking van de buitenste haarcellen in het slakkenhuis. Die samentrekking veroorzaakt namelijk een kleine extra golf die bovenop de binnenkomende geluidsgolf plaatst. Maar omdat het hele gehoorsysteem een perfecte geleider is van dat soort golven, kan dat kleine extra golfje ook weer de omgekeerde route volgen: vanuit het slakkenhuis via de gehooreentjes van het middenoor terug naar buiten. Dit kan dan opgevangen worden als een heel stil geluidje of een otoakoestische emissie.

Een otoakoestische emissie is voor een audioloog bijzonder interessant. Vermits zo'n emissie een normaal bijverschijnsel is van een goed werkend binnenoor, kan ze ook dienen om gehoorproblemen op te meten, zelfs



bij pasgeborenen! Dat is belangrijk, want een kind dat niet goed hoort, leert ook niet goed spreken. Meer nog, de hersenen van een pasgeboren kind beginnen zich enkele maanden na de geboorte al voor te bereiden op het latere gebruik van spraak. Daarom is het zo belangrijk om gehoorproblemen tijdig op te sporen. Zelfs volledig dove kinderen kunnen goed geholpen worden en gewoon leren spreken zoals hun leeftijdsgenootjes... als we maar tijdig kunnen ingrijpen.

Het opmeten van otoakoestische emissies is dus het ideale instrument om bij baby's onmiddellijk na de geboorte te checken of het gehoor normaal functioneert of niet. Prof. Paul Govaerts heeft deze techniek in 1993 in België geïntroduceerd voor systematische gehoorscreening op de materniteit. Kind en Gezin heeft er in 1998 op haar beurt voor gezorgd dat alle pasgeborenen kinderen in Vlaanderen worden gescreend. Daarmee was Vlaanderen de eerste regio in Europa om dit te doen.

De screening zelf is eenvoudig. De baby ondervindt er geen last van en kan zelfs tijdens de test gewoon blijven doorslapen. Er wordt met een dopje in het oor een geluid afgespeeld. De arts meet vervolgens het terugkerende signaal dat door de otoakoestische emissie in het binnenoor gegenereerd wordt. Wereld-

wijd is dit ondertussen de standaard van kwaliteitszorg. Sindsdien kan men bij slechthorendheid ruim op tijd remediëren met hoortoestellen of cochleaire implantaten (zie verder). Kinderen die vroeger heel ernstige spraak- en taalproblemen zouden hebben, ontwikkelen een normale spraak en volgen het gewone onderwijs.

## Het gehoor bij de andere dieren

Terwijl het gehoor van het zoogdier stilaan vorm kreeg, stond dat van de andere diersoorten ook niet stil. Ook bij hen is er heel wat veranderd vergeleken met de oerhaarcellen van 400 miljoen jaar geleden. Moderne vissen nemen meer golven en trillingen waar dan variaties in golfslag. De dieren beschikken immers ook over een voorloper van ons binnenoor. Vissen detecteren daarmee moeiteloos alle geluiden

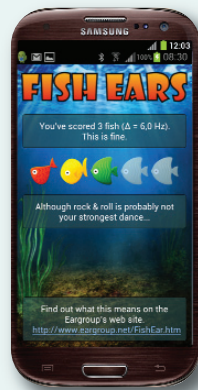
met een frequentie tussen 30 en 500 hertz. Dit binnenoor bestaat uit drie otolietssystemen en drie halfcirkelvormige kanalen. Dit zijn holle ruimten, gevuld met een viskeuze vloeistof en afgezoomd met dezelfde soort haarcellen die we daarnet beschreven hebben. In de vloeistof zitten ook otolieten, een soort kiezelziltjes uit calciumcarbonaat in een gelatineuze matrix. Deze otolieten dienen om geluid waar te nemen. Vermits een vis ongeveer dezelfde dichtheid heeft als water, verplaatst de geluidsgolf zich even snel doorheen de vis als door het omgevende water. De otolieten zijn echter een pak dikker dan water. Ze zullen dus trager reageren op de geluidstrillingen. Daardoor veranderen ze van positie ten opzichte van de rest van de vis. Als gevolg daarvan prikkelen ze de cilia op de haarcellen in het binnenoor. De zenuwbanen nemen die prikkel over en leiden hem naar de hersenen; die interpreteren hem als geluid.



## Muziek, een streling voor ons vissenoor

Wil je weten hoe het gesteld is met jouw vissengehoor? Download dan de app Fish Ears via de website van de Oorgroep (<http://www.eargroup.net>). Jonge mensen moeten vlot 4-5 visjes scoren en verschillen tot op 2 Hz nauwkeurig kunnen horen...

Het vissengehoor is het zeer oud gedeelte van het oor (het vestibulum van het binnenoor en de drie laterale kanalen en eigenlijk ook de binnenste haarcellen in het slakkenhuis). Dit zorgt voor het evenwicht en vangt vooral bastonen op. Zoals met veel oersystemen, heeft het ook korte connecties met alles wat met het gemoed en het instinct te maken heeft. Vandaar dat een aangename basstem, laag tromgeroffel, de basso continuo bij klassieke muziek of de oorverdovende vibes op een danceparty zo een direct, haast visceraal effect hebben op ons gemoed.



En dat die klanken niet alleen ons oor maar ook ons evenwicht prikkelen, waardoor we spontaan gaan bewegen en sommigen zelfs gaan dansen. Bovendien heeft dit oersysteem de tand des tijds ruimschoots doorstaan, waardoor het heel robuust is. Veel robuuster dan het jongere systeem dat voor het spraakverstaan instaat. Daarom zal bijna alle gehoor schade eerst inwerken op het jonge systeem van de buitenste haarcellen, of het nu door lawaai komt, door toxische medicatie, door genetische factoren, etc. En dan is het spraakverstaan gehavend, maar het evenwicht nog intact. Maar soms is het andersom: er zijn ziektes bekend waarbij mensen schade oplopen aan de oercellen van het 'vissengehoor', wat zich uit door gehoorverlies in de lage tonen, moeilijkheden met muziek en tonaliteit en ook door soms heel belangrijke evenwichtsproblemen. En laat het nu opvallend zijn dat dat soort schade vaak te maken heeft met of zelfs veroorzaakt wordt door spanning, stress en emotie.

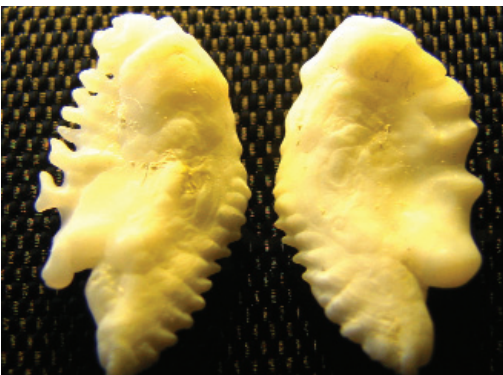


Verschillende groepen vissen beschikken nog over andere aanpassingen waardoor ze beter horen. Bij onder andere de karpers, de meervallen, de karpzalmen (waaronder de piranha) en nog vele andere zoetwatervissen hebben de voorste wervels zich omgevormd tot het orgaan van Weber. Daarbij verbinden ze de zwemblaas (een met lucht gevulde zak) met het binnenoor. Dit verhoogt de gevoeligheid van hun gehoor behoorlijk: goudvissen horen hierdoor geluiden tot 4000 hertz; de kabeljauw tot 38.000 hertz. Clupeiforme vissen (dat is de groep van de haring, de sardine en de ansjovis) beschikken dan weer over zogenaamde bullae: lange met gas gevulde buizen die zich van de zwemblaas uitstrekken tot bij het binnenoor. Hierdoor kan de Amerikaanse elft (*Alosa sapidissima*) ultrasone geluiden tot zelfs 180.000 hertz horen – waaronder dus ook de ultrasone geluiden waar heel wat zeezoogdieren zich van bedienen.

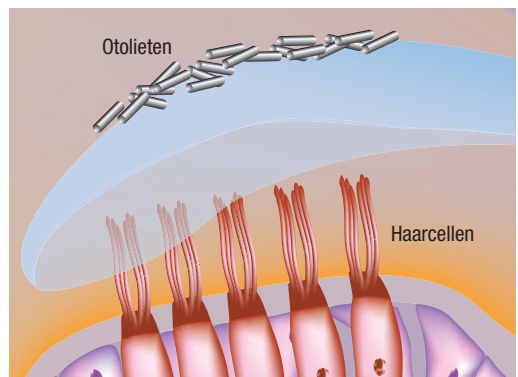
Bij amfibieën kwam er nog een laterale lijn voor in het larvale stadium, wat zich vervolgens ook ontwikkelde tot een binnenoor. Dat gebeurde vooral bij kikkers en padden, en later ook bij de reptielen. Kikkers en padden begonnen zich overigens zelf actief te bedienen van geluid: door hun gekwaak trekken de mannetjes de aandacht van een wijfje om zich mee voort te planten. Ook dat geluid moeten de volwassen dieren kunnen oppikken. De vroegste amfibieën (net als sommige amfibieën van nu, zoals salamanders) pikten wellicht enkel de trillingen van de bodem en het water rondom hen op. Deze trillingen werden via hun skelet naar het binnenoor geleid. Dit binnenoor zelf werkt nog altijd zoals bij de vissen: het hele binnenoor bevat binnenin een hoeveelheid vocht (dat lijkt op zeewater) en zit ingekapseld in een stevig deel van de schedel. Vibraties van buiten uit (in het water) doen dit been mee trillen. Die trillingen worden doorheen de vloeistof binnenin opgepikt door haarcellen. Die lichten op hun beurt de hersenen in.

**“Ah, music! A magic far beyond all we do here!”**

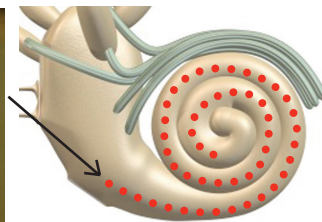
*(J.K. Rowling, Harry Potter and the Philosopher’s Stone)*



Otolieten - Foto: Matthieu Godbout



Werking van de otolieten



Cochleair implantaat  
Foto: Bjorn Knetsch

#### Klassiek hoorapparaat

*Dit toestel kan op verschillende manieren werken. In zijn meest klassieke vorm vangt het buiten het oor alle geluiden op en speelt die dan versterkt af in de gehoorgang. Andere toestellen geven de buiten opgevangen trillingen door de beenderen van de schedel door aan het binnenoor. Foto: Bjorn Knetsch*

*Meer informatie staat in een aparte tekst, ter beschikking op de website ([www.biomens.eu](http://www.biomens.eu)).*

## Cochleaire implantaten

We kunnen hier onmogelijk ingaan op al de verschillende technische hulpmiddelen die slechthorenden helpen. Eén methode pikken we er wel uit: het cochleair implantaat. Dat is een van de modernste manieren om een beschadigd gehoor te herstellen. Al is herstellen misschien niet het juiste woord. Een cochleair implantaat is eerder een bypass, een omweg voor geluidssignalen voorbij de natuurlijke onderdelen van het gehoor. Het werkingsmechanisme van zo'n implantaat is helemaal anders dan dat van een klassiek hoorapparaat.

## Einde van de reis

Zo eindigen we een uitgebreid bezoek aan het gehoorzintuig, via de grote bewegingen van zijn evolutie. We zagen hoe haarcellen die de eerste vissen hielpen om prooien en rovers te voelen aankomen, zich steeds meer specialiseerden om geluiden en verschillende tonen te kunnen opvangen. Uit voelen is horen ontstaan en dat is een hogere evolutionaire trap.

We zagen vervolgens hoe het middenoor en het buitenoor werden toegevoegd om de gevoeligheid sterk te vergroten. Maar hoe complexer de machine, hoe meer er mis kan gaan, vooral bij de meest recente toevoegingen. Dat geldt ook voor het oor. Gelukkig beschikken we over steeds meer hulpmiddelen om mensen te helpen bij het horen. Maar dat is voor het volgende deel van dit dossier.

We zullen trouwens eerst het slechte nieuws geven. Ook cochleaire implantaten zijn geen wondermiddelen. Ze herstellen niet alle vormen van gehoorschade, en echt honderd procent herstel kunnen ze niet garanderen (toch niet op alle vlakken, en dat laten we zo meteen zien met wat grafieken). En er blijven nog steeds grote verschillen bestaan tussen mensen met een implantaat en mensen die geen gehoorproblemen hebben, maar ook tussen mensen met een implantaat onderling. Veel blijkt bv. af te hangen van de leeftijd van de patiënt waarop het implantaat wordt aangebracht, of hoe goed de revalidatie en training na de operatie verloopt. Luister trouwens zelf maar even naar het verschil: <http://www.youtube.com/watch?v=SpKKYBkJ9Hw>. Ideaal is dit nog niet, maar wel al een wereld van verschil met niets horen.



Tussendoor mogen we trouwens ook even fier zijn op onze landgenoten. Dank zij de goede audiologen in dit land speelt Vlaanderen een voorttrekkersrol op wereldvlak in de ontwikkeling van nieuwe gehoor-technologie. Audiologie (zie kader onderaan) is dan ook een richting met pit en toekomst...

## Techniek in mijn binnenoor

Een cochleair implantaat bestaat uit twee onderdelen. Het deel buiten op het hoofd bestaat uit een microfoon, een spraakprocessor en een zendspool. De microfoon vangt alle geluiden uit de om-

geving op; de processor zet deze geluiden om naar een elektrisch signaal. De zendspool geeft dit signaal via een elektromagnetisch veld door aan het interne gedeelte. Vervolgens pikt het eigenlijke implantaat in het slakkenhuis het signaal op. Dit implantaat bestaat uit twaalf tot tweeëntwintig elektroden, die samen alle elektromagnetische signalen doorgeven aan de gehoorzenuwen. Het eigenlijke afstellen van het implantaat gebeurt na de installatie, onder meer met moderne informaticatechnieken (zie kader p.30). De patiënt zelf moet dagelijks oefenen om zijn gehoor scherper en scherper te laten worden.

## Wat is een audioloog?

Zoals uit de rest van de tekst wel blijkt, is het gehoor bijzonder complex - zo complex dat een grondig onderzoek een voorwaarde is voor een correcte behandeling of opvolging. De audioloog is de specialist ter zake, en voert het nodige onderzoek uit op vraag van de neus-keel-oor-arts of de neuroloog. Daartoe beschikt een audioloog over verschillende vaardigheden, die hem toelaten om verschillende rollen op zich te nemen: zorgverlener, diagnosticus, therapeut, adviseur/voorlichter en begeleider, maar ook coach, manager (leidinggevende in een eigen hoorcentrum of audiologisch team), onderzoeker (research en projectmatig wetenschappelijk onderzoek) en innovator (waarbij hij ontwikkelingen in het veld volgt, toepast en verbetert).

Hij is om te beginnen een bekwaam paramedicus. Zo helpt hij bij een vroegtijdige detectie en preventie van gehoorstoornissen bij baby's en jonge kinderen, van stoornissen bij het verwerken van het gehoor-signaal of van door lawaai geïnduceerd gehoorverlies bij kinderen en volwassenen.

Daarnaast is hij een goed technicus. Hij zorgt mee voor het selecteren en aanpassen van implantaten, voert de juiste metingen uit en werkt met high tech apparatuur.



De audioloog moet ook kunnen omgaan met mensen: hij begeleidt de patiënten bij hun revalidatie en helpt hen om zich (opnieuw) thuis te voelen in de samenleving. De audioloog draagt zijn steentje bij in interdisciplinaire revalidatieteams voor kinderen en volwassenen met slechthorendheid of doofheid, voor kinderen met auditieve verwerkingsstoornissen en andere communicatieproblemen, of voor mensen met evenwichtsproblemen, tinnitus of hyperacusis. Hij doet aan gehooropvoeding, specifieke hoor- en luistertraining, lipleestraining en communicatietraining.

En alsof dat nog niet genoeg is, kan de audioloog ook zijn bijdrage leveren aan een beter beleid rond geluidsoverlast. Met de juiste metingen kan hij die in kaart brengen, toetsen aan de wettelijke normen en advies verlenen rond het dragen van de juiste beschermende middelen.

## Interesse om audiologie te studeren?

Je kan terecht bij de volgende opleidingen:

Bachelor in de Audiologie:

Antwerpen: <http://www.thomasmore.eu>

Brugge: <http://www.khbo.be/>

Brussel: <http://www.ilmh.be/>

Gent: <http://www.arteveldehs.be/emc.asp>

Gent: <http://www.hogent.be/studeren/opleidingen/mens-en-welzijn/logopedie-en-audiologie/>

Master in de Audiologie:

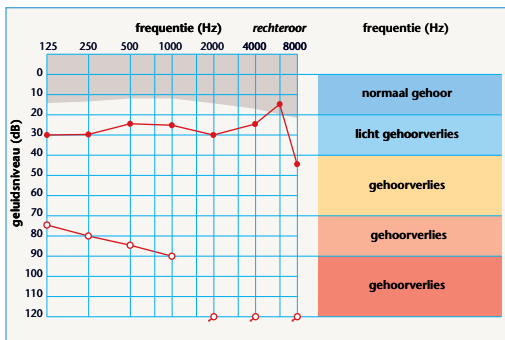
Gent: <http://www.ugent.be/>

Leuven: <http://www.kuleuven.be/kuleuven/>

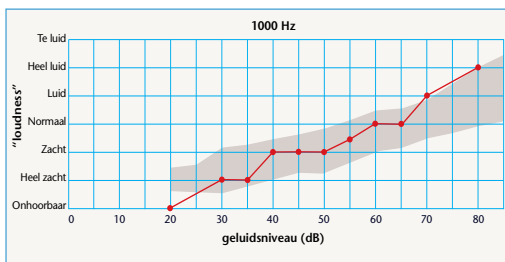
## We testen een nieuw slakkenhuis...

In welke mate kan een cochleair implantaat een slechthorende helpen? Dat kunnen we tonen aan de hand van vier typische tests waarmee men de werking van een implantaat na de installatie controleert.

Een eerste test is het toonaudiogram. Deze test meet tot op welk geluidsniveau een patiënt een bepaalde toonhoogte nog kan horen. In het blauwe vlak vind je de minimale geluidsniveaus die een normaal horend persoon nog verstaat. De lichtrode lijn toont het minimale geluidsniveau (in dB) dat deze patiënt nog opvangt. Bij 500 hertz moet een geluid al minstens 85 decibel bedragen voor deze persoon het hoort. We spreken dan van een gehoorverlies van 85 decibel. De donkerrode lijn geeft het resultaat weer met een cochleair implantaat.



Een tweede test is de 'loudness scaling'. Deze test meet in welke mate luidere geluiden ook als luidervaren worden. Hiervoor krijgt de patiënt bij verschillende frequenties (in de figuur 1000 Hz) steeds luidere geluiden te horen. Op een schaal van 0 (niet hoorbaar) tot 6 (te luid) geeft hij aan hoe hij ze ervaart. De grijze zone op het diagram toont het gemiddelde resultaat bij mensen die normaal horen;



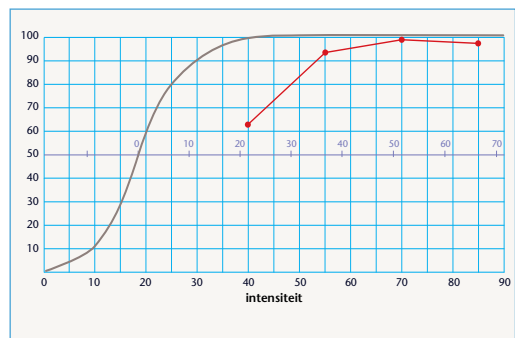
alles tussen de grijze lijnen beschouwen we als "normaal". De rode lijn geeft het testresultaat met een cochleair implantaat weer.

In een derde test, de discriminatietest, controleert de audioloog of de patiënt fijne verschillen in klanken van elkaar kan onderscheiden, zoals de i tegenover de a, of de sjwa (ə of doffe e) tegenover de gewone e. De patiënt vertelt de audioloog of twee klanken voor hem anders klinken, dan wel dezelfde blijven. Dit noemt men foneemdiscriminatie.

a - r	■	■
u - l	■	■
u - a	■	■
u - i	■	■
i - a	■	■
o - a	■	■
i - ε	■	■
m - z	■	■
s - l	■	■
- a	■	■
u - o	■	■
ə - a	■	■
ə - o	■	■
ə - ε	■	■
a - i	■	■
z - s	■	■
v - z	■	■
ə - u	■	■
u - y	■	■
y - i	■	■

De figuur toont hoe moeilijk of onmogelijk dit was met een hoortoestel (rechterkolom waarbij alle contrasten rood aankleuren), en hoe dit met een implantaat probleemloos ging (linkerkolom, alles blauw).

Tot slot wordt er een spraakaudiogram opgesteld. Daarmee controleert de audioloog hoeveel een patiënt ook daadwerkelijk verstaat van gesproken woorden. Woorden worden aangeboden op verschillende intensiteiten. De patiënt moet die proberen te herhalen. De lichtrode lijn toont het resultaat met hoortoestellen, waarbij de patiënt niet meer dan 10-15% verstond van luide spraak (70-80 dB). De donkerrode lijn toont hoe goed dit lukt met een cochleair implantaat. De scores liggen tussen 60 en 100%.



### Meer horen (en zien)?

<http://www.youtube.com/watch?v=SmNpP2fr57A>  
[http://www.youtube.com/watch?v=-WA7-k\\_UcWY](http://www.youtube.com/watch?v=-WA7-k_UcWY)  
<http://www.youtube.com/channel/HC3H6CVuLDenk?>

## Hou je oren in ere

Gehoorklachten zijn vandaag de dag schering en inslag. 42% van alle meldingen van beroepsziekten in 2010 ging over problemen met het gehoor. Jaarlijks lopen 2000 mensen tijdens hun werk gehoorschade op. In de Verenigde Staten blijkt een op de vijf tieners gehoorproblemen van hetzelfde kaliber te hebben als die van een gemiddelde vijftig- tot zestigjarige. In eigen land bracht een studie van de Universiteit Antwerpen de volgende feiten aan het licht: 15% van de 19- tot 20-jarigen ervaart constant oorsuizen. 85% van de jongeren ondervindt tijdelijk oorsuizen na het uitgaan. Bij 6,5% van hen duurt het suizen langer dan zes uur, en bij 1,1% langer dan een dag.



### Stop een FOX tussen je oren

Softwareontwikkelaars zijn niet meer weg te denken uit onze samenleving. Ook in de moderne research omtrent het gehoor is dit zo.

Otoconsult ([www.otoconsult.com](http://www.otoconsult.com)) is een spin-off bedrijf van de oorgroep in Antwerpen. Het ontwikkelt medische software voor de Neus-, Keel- Oorspecialist en de audioloog. Daarvoor werkt het bedrijf al jaren samen met de professionele bacheloropleiding Informatica van de Karel de Grote Hogeschool ([www.kdg.be](http://www.kdg.be)). Het heeft net het internationale researchproject Opti-Fox gecoördineerd, een project om het afstellen van cochleaire implantaten te verbeteren. Wereldwijd zijn er ongeveer 250.000 dove personen die zo'n implantaat dragen. Het afstellen daarvan is vakmanschap en gebeurt door artsen, ingenieurs, audiologen.

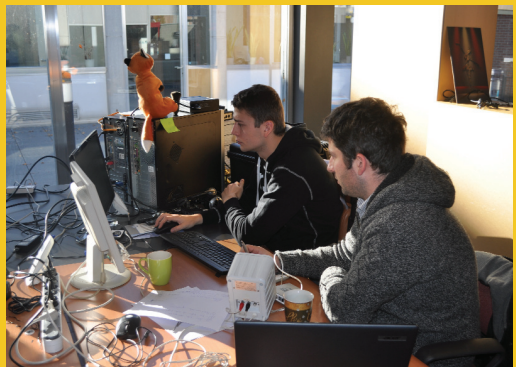
De stagiairs en docenten van de KdG hebben een belangrijke bijdrage geleverd aan een aantal softwareapplicaties die door Otoconsult zijn ontwikkeld. Zo werd er psychoakoestische software ontwikkeld waardoor dragers van cochleaire implantaten zelf kunnen testen of het implantaat de verschillende componenten van het geluid (intensiteit, spectrale en temporele aspecten, begrijpen van spraak enz.) goed codeert. Teststimuli worden gedownload van het

74% van onze jongeren beschouwt gehoorverlies nochtans niet als een probleem om rekening mee te houden. Ze hebben ongelijk.

Net zoals een goed gehoor ons welzijn verbetert, heeft ook stress een duidelijk effect op ons gehoor. Stress en zorgen zijn er wellicht mee oorzaak van dat vele mensen hun gehoor voelen afnemen. Wanneer de audioloog objectieve tests afneemt, lijkt er in een dergelijk geval niets aan de hand. Dit betekent dat deze soort gehoorverlies met de nodige zorgen kan worden hersteld. Maar gehoorverlies als gevolg van overmatig lawaai is onherroepelijk. Daarom verdient het des te meer aandacht.

internet; via een touchscreen kunnen de patiënten aangeven wat ze daarvan horen.

De resultaten worden teruggestuurd naar de 'cloud'. In de cloud resideert FOX (Fitting to Outcome eXpert), een andere softwaretoepassing die via artificiële intelligentie een analyse maakt van de testresultaten en vervolgens wijzigingen voorstelt aan het implantaat. Die wijzigingen worden geprogrammeerd in het implantaat en zorgen ervoor dat de patiënt weer wat beter hoort. In samenwerking met het labo Biomedische Fysica van de Universiteit Antwerpen en met steun van het IWT werkt Otoconsult aan nieuwe modelgebaseerde fitting software. Jonge informatici hebben zich daarvoor bekwaamd in de geheimen van de spraaktechnologie, statistiek en wiskunde, de fysica van het geluid.





“And then one day you find -  
 Ten years have got behind you  
 No one told you when to run -  
 You missed the starting gun”  
 (Pink Floyd, Pink Floyd: Dark Side of the Moon)

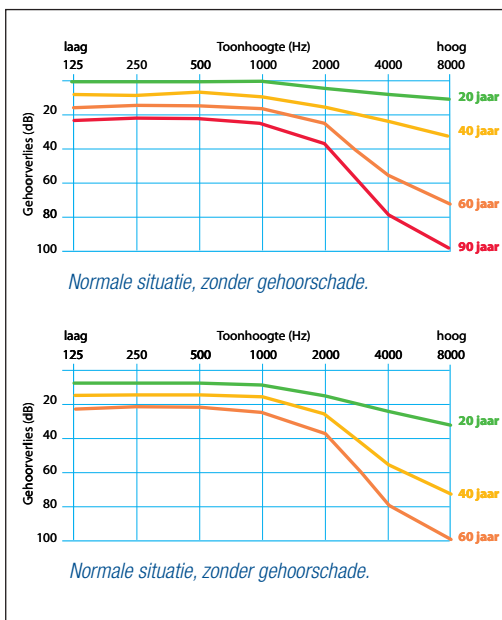
## Knoop in je oren?

Een van de mogelijke gevolgen van lawaaischade is gehoorverlies. Zoals je op deze grafieken kunt zien, kan lawaaischade je oren twintig tot dertig jaar ouder maken.

Een tweede gevolg van te veel lawaai zijn oorsuizingen, ook wel tinnitus genoemd: je hoort voortdurend geluiden, terwijl er geen geluidsenergie op het trommelvlies komt. 15 tot 25% van de mensen heeft er tijdelijk last van, bijvoorbeeld na een concert, fuif of festival. In vele gevallen gaat dit suizen na een tijd over, maar niet altijd. Tinnitus kan ook een blijvende toestand zijn: het geruis gaat nooit meer over. Het gevolg? Slaapstoornissen, depressie en een algemeen verlies van levenskwaliteit.

Blijvende tinnitus kan het gevolg zijn van heel wat zaken: aandoeningen van midden- of binnenoor, kaakgewrichtsklachten of nekproblemen, bijwerkingen van bepaalde geneesmiddelen, andere aandoeningen zoals een te hoge of te lage bloeddruk, diabetes, nier- of schildklierfalen, infectieziekten... In veel gevallen vindt men geen directe oorzaak.

Wat men in vele gevallen wel vindt, is schade aan de myelinelaag rond de zenuwbanen. Myeline dient als isolatielaag rond de zenuw zelf, zodat de prikkels ongestoord door de zenuw kunnen lopen. Vergelijk het met de plastic laag rond een koperdraad voor stroomgeleiding. Wanneer die laag te dun is, isoleert ze de elektrische stromen niet voldoende en treedt er kortsluiting op. Iets gelijkaardigs gebeurt ook bij zenuwen wanneer de myelinelaag te dun is. Wij horen dat dan als een voortdurend gesuis of gepiep. In andere gevallen zijn verschillende haarcellen



beschadigd, bijvoorbeeld de cellen die de hoge tonen waarnemen. De zenuwbanen die daar naartoe leiden, ontvangen van deze haarcellen geen prikkels meer. Ze worden dan ingeschakeld om het signaal van andere haarcellen (die nog wel werken) mee naar de hersenen te leiden. Alleen zijn ze geprogrammeerd om de signalen van hoge tonen te verwerken en nu doen ze iets anders. Ook die mismatch kan leiden tot oorsuizen.

**Wil je weten hoe tinnitus klinkt ?**  
 Op <http://www.ata.org/sounds-of-tinnitus> vind je enkele goede simulaties. Zet wel je geluid van je PC heel zacht (een verwittigd MeNS...)!



Een laatste vorm van gehoorbeschadiging is hyperacusis of overgevoeligheid. Mensen die daar last van hebben, verdragen eender welke vorm van geluid heel slecht. Alledaagse geluiden vinden ze pijnlijk, irriterend en onverdraaglijk. Ook normale sociale contacten verlopen hierdoor zeer moeilijk: een gesprek, een vergadering, een tv-programma volgen, telefoneren... het zijn allemaal bijzonder lastige momenten.

## Beschermen is beter dan genezen




Gelukkig hoef je tegenwoordig niet in volledige afzondering te leven om gehoorproblemen te vermijden. Een beetje gezond verstand is wel nodig.

In België mag een werknemer ten hoogste aan een gemiddelde van 85 decibel worden blootgesteld, en dit maximum 8 uur per dag, 40 uur per week. Bij meer intense blootstelling moeten werknemers gehoorbescherming dragen of de nodige rustpauzes inlassen. Ter illustratie: 8 uur werken met 80 decibel

in je oren is hetzelfde als een halfuur op een tractor rijden (92 dB) of nog geen 2 minuten werken met een cirkelzaag. De reden? Bij een stijging van 3 decibel verdubbelt de geluidsbelasting en halveert de maximale blootstellingsduur.

Volgen we dezelfde redenering voor vrijetijdsbesteding, dan stemt 8 uur werken bij 80 decibel overeen met een minuutje op een popconcert. Niet verwonderlijk dat de overheid het nodig vindt om het gehoor van de gemiddelde hardrocker of death metal fan enigszins te beschermen. Je vindt de link naar de brochure over die normen aan het einde van dit dossier.

Om je gehoor te beschermen bestaan er verschillende soorten oordopjes. Wat je ook kiest, neem oordoppen die je goed passen. Eenvoudigweg voor de goedkoopste gaan helpt je op middellange termijn geen stap vooruit: elke 3 decibel die een gehoorbeschermmer "lekt", halveert zijn nut. In de tabel p.33 vind je de verschillende types naast elkaar.

80 dB	8 uur	Stadslawaai, heftruck	
83 dB	4 uur	Verkeer, handzaag	
86 dB	2 uur	Afzuiging	
89 dB	1 uur	Zware vrachtwagen op 10 m	
92 dB	30 min.	Tractor	
95 dB	15 min.	Elektrische boor	
98 dB	< 8 min.	Motor (als berijder)	
101 dB	< 2 min.	Machine in fabriek, disco	
104 dB	< 1 min.	Cirkelzaag	
107 dB	< 30 sec.	Pop-/rockconcert	
110 dB	< 30 sec.	Motorzaag	





*Vermits het buitenoor een zelfreinigend orgaan is, hoef je het veel minder met oorstokjes te reinigen dan je denkt.*

### Meer weten ?

- <http://www.facebook.com/oorplezier>
- <http://www.phon.ucl.ac.uk/resource/hearloss/>
- <http://www.lne.be/themas/hinder-en-risicos/geluidshinder/beleid/muziek>
- <http://www.lne.be/themas/hinder-en-risicos/geluidshinder/beleid/muziek/BrochureGeluidsnormen.pdf>
- <http://www.ietsminderisdemax.be/>
- <http://www.vwvj.be/index.php?page=208>
- <http://www.oorsuizen.be/>
- [www.oorcheck.nl](http://www.oorcheck.nl)
- [www.hoortest.nl](http://www.hoortest.nl)




## Tips om je oren te beschermen

- Ga minstens 5 meter van luidsprekers staan
- Gebruik zoveel mogelijk gehoorbescherming (frequent en liefst op maat)
- Probeer niet de hele tijd vooraan te staan tijdens een optreden
- Zet je mp3-speler nooit op maximaal volume. Je overbuur op bus of tram hoeft niet te kunnen meezingen! En verhoog het volume van je mp3 zeker niet met downloadbare volumeboosters.
- Gun je oren wat rust tijdens het uitgaan (een kwartiertje rust per anderhalf uur luide muziek)
- Gun je oren na een discotheek- of concertbezoek een dagje rust (ook geen mp3!)
- Zet je mp3-speler nooit op maximaal niveau en luister nooit meer dan een uur bij hoog volume
- Oortjes laten vaak meer geluid door dan een koptelefoon en kunnen daarom schadelijker zijn
- Ga liever niet naar een concert of discotheek als je zwanger bent. Je buik dempt amper 5 decibel. Het gehoor van de baby, dat zich dan nog volop aan het ontwikkelen is, wordt al gauw blootgesteld aan 100 decibel en hij of zij kan geen oordopjes gebruiken!

*(Bron: Comfoor / CM)*

**If music is the food of love, play on.**

*(William Shakespeare, Twelfth Night)*

				
	<b>wegwerpbaar schuimoordopjes</b>	<b>oordopjes met filter</b>	<b>op maat gemaakte oordopjes</b>	<b>oorkappen</b>
prijs	heel goedkoop, soms zelfs herbruikbaar	tamelijk goedkoop	op maat gemaakt en dus duurder (maar je oren zijn dat zeker waard)	redelijk duur
draagcomfort	matig	afhankelijk van kwaliteit: goed tot matig	prima	goed
bescherming	goed mits correct ingebracht	goed	prima, maar zorg er wel voor dat de kwaliteit gegarandeerd is met een lektest.	goed: kapselen je oren in
contact met omgeving	hangt af van de toepassing: dempen goed, maar vervormen tegelijk het geluid. Slecht voor het beluisteren van muziek, maar prima voor werk met zaagmachines, bladblazers ...	goed: ze vervormen het geluid minder sterk	prima: je kunt een filter kiezen voor bepaalde omstandigheden (als dj, op de motor, voor het werk in lawaaierige omstandigheden ...)	matig: dempen alle geluidsfrequenties evenveel
hygiëne	slecht	afhankelijk van kwaliteit: goed tot matig	zeer goed	matig tot goed



Open campusdagen  
zaterdag 23 maart  
zaterdag 27 april

Infomarkt  
woensdag 4 september

## Meer weten?

[www.ua.ac.be/infomomenten](http://www.ua.ac.be/infomomenten)

T +32 3 265 48 72



Universiteit  
Antwerpen

### MeNS komt op tegen kanker met een nieuwe lezing

#### KANKER: de vijand binnenin

Jaarlijks krijgen meer dan tien miljoen mensen te horen dat ze kanker hebben. Momenteel is de ziekte de meest voorkomende doodsoorzaak in de westerse wereld. We kennen allemaal wel iemand in onze omgeving die met kanker geconfronteerd werd en we weten welke vreselijke gevolgen dit heeft. Deze lezing geeft echter ook aan dat er ook goed nieuws is. Wereldwijd wordt gezocht naar nieuwe inzichten in tumorgroei, opsporingsmethoden en behandelingen. Dankzij nieuwe biomedische en technologische innovaties worden de ontstaansmechanismen van kanker verder ontrafeld.

Help mee het taboe rond kanker te doorbreken en nodig MeNS uit in je school of vereniging.

#### EERLIJK ETEN: verantwoord omgaan met voedsel

De lezing Eerlijk eten toont aan hoe voedselproductie duurzaam moet worden, hoe we verantwoord omgaan met voedsel en hoe we daar zelf kunnen toe bijdragen. Moeten we resoluut kiezen voor lokale producten of kiezen we voor duurzame handel met het Zuiden? Garandeert Fair Trade ons een rechtvaardige handel tussen Noord en Zuid? Deze lezing geeft je een 'eerlijk' antwoord!

*De lezingen zijn geschikt voor een publiek vanaf 16 jaar.*

*Meer info vind je op [www.biomens.eu](http://www.biomens.eu) in de rubriek 'lezingen'*

### DE JONGE BAEKELAND 2013

#### Boerderij van de toekomst

Op 3 mei 2013 vindt de finale van de vijfde editie van De Jonge Baekeland plaats in de Nationale Plantentuin van België. Zes finalisten strijden om de hoofdprijs. In de prijzenpot zit o.a. 2.500 euro geschonken door de Nationale Loterij en de daguitstap 'Plattelandsprouwer' geschonken door Boerenbond. Meer info: [www.biomens.eu](http://www.biomens.eu)



## MeNS 87

Dossier op komst:  
**Geneesmiddelen  
goed gekeurd  
of goedgekeurd?**

