

## University of Groningen

### Listening Effort

Pals, Carina

**IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.**

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*

2016

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

Pals, C. (2016). *Listening Effort: The hidden costs and benefits of cochlear implants*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. Rijksuniversiteit Groningen.

**Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

**Take-down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

*Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.*

## NEDERLANDSE SAMENVATTING

Luisterinspanning, de verborgen voor- en nadelen van horen  
met een cochleair implantaat

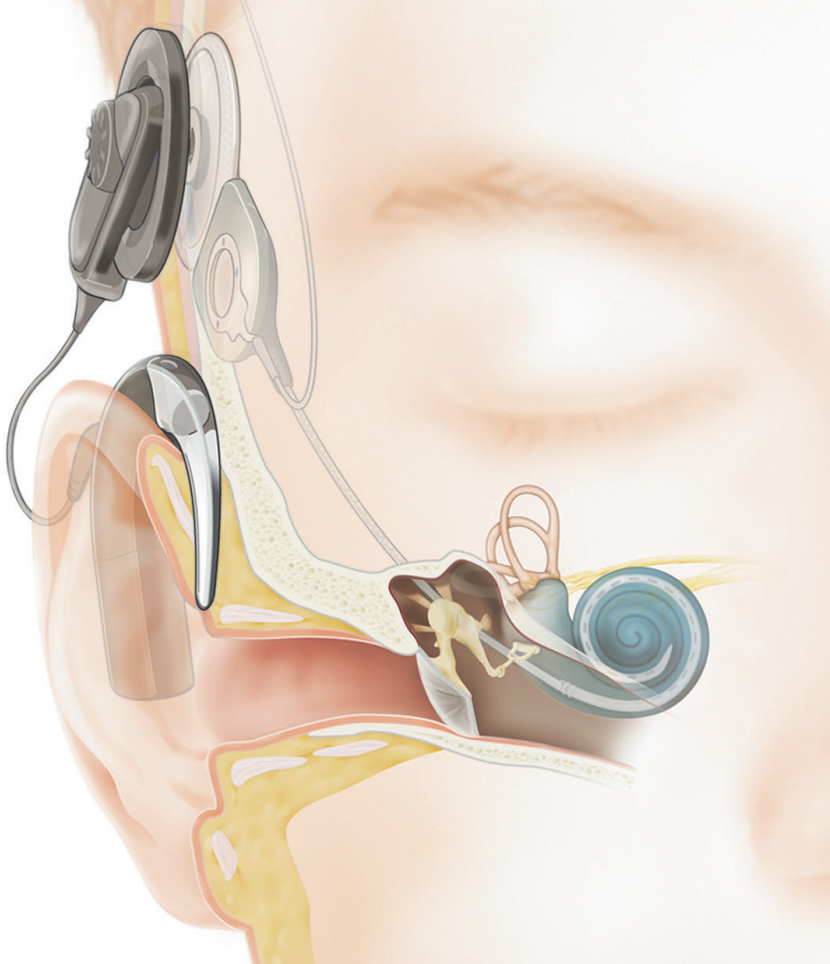
Carina Pals

## THEORETISCHE ACHTERGROND

Wanneer je luistert geeft je betekenis aan de geluiden die je hoort. In dit proefschrift kijk ik specifiek naar het luisteren naar, en verstaan van, spraak. Bij spraakverstaan kan de luisteraar van een groot aantal cognitieve mechanismes gebruik maken en uit een grote rijkdom aan kennis en informatie putten. De informatie die de luisteraar ter beschikking staat kan deel uitmaken van het signaal, zoals fluctuaties in frequentie en intensiteit, intonatie, zinsopbouw, en de context van het gesprek, maar kan ook deel uitmaken van de situationele context. Verder kan de luisteraar gebruik maken van kennis; kennis van de taal die wordt gesproken, zoals de grammatica of welke woorden vaker samen voorkomen, of kennis over het gespreksonderwerp. In situaties waarin de spraak moeilijk te verstaan is kunnen nog extra mechanismes gerekruteerd worden om bijvoorbeeld op basis van de verstaanbare delen van de spraak hypothesen te vormen over de ontbrekende delen en zo te achterhalen wat de spreker gezegd kan hebben. Zo kan een luisteraar, zelfs in een rumoerige omgeving, nog steeds verstaan wat haar gesprekspartner zegt. Het aanwenden van al deze kennis om moeilijk hoorbare spraak te verstaan, kost echter wel inspanning. Dit is wat ik in dit proefschrift “luisterinspanning” noem; de mentale inspanning die een luisteraar aanwendt om spraak te verstaan in uitdagende luistersituaties.

De ‘uitdagende luistersituaties’ die ik zojuist noemde kunnen aan de ene kant voortkomen uit de omgeving, doordat er bijvoorbeeld veel rumoer op de achtergrond is, of de ruimte een erg holle akoestiek heeft waardoor de echo het moeilijk maakt de spraak te verstaan. Aan de andere kant kunnen ook factoren die te maken hebben met de luisteraar zelf bijdragen aan hoe moeilijk spraakverstaan is, bijvoorbeeld doordat de luisteraar slechthorend is. Sommige zeer slechthorende of dove mensen die voldoen aan een aantal criteria zijn mogelijk kandidaat voor een cochleair implantaat (CI). Zo’n implantaat deelt het binnenkomende geluid op in frequentiebanden en vertaalt deze naar series elektrische pulsen die via elektrodes geïmplanteerd in het binnenoor de gehoorzenuw stimuleren (zie Figuur 1). Zo wordt een neuraal signaal gegenereerd dat normaal gehoor nabootst. Echter, door eigenschappen van CIs en bijvoorbeeld de gezondheid van de gehoorzenuw, is zelfs met CI het spraaksignaal minder rijk aan informatie dan normaal gehoor. Hoewel veel CI gebruikers spraak in ideale situaties vaak prima verstaan, is het goed mogelijk dat CI gebruikers toch meer inspanning moeten leveren dan normaalhorenden. Als een CI gebruiker meer inspanning moet leveren

om spraak te verstaan, maar deze uiteindelijk wel goed verstaat, is deze extra inspanning niet direct zichtbaar voor de buitenwereld. Vandaar dat de titel van dit proefschrift spreekt van ‘verborgen voor- en nadelen’.



*Figuur 1.* Schematische weergave van een rechter oor met cochleair implantaat. De processor achter de oorschelp stuurt het vertaalde signaal via de zendspoel op de schedel (donkergrijs) naar de ontvangspoel onder de huid (transparant grijs), welke het signaal doorstuurt via de elektrodes in het binnenoor naar de gehoorzenuw. Afbeelding Copyright Cochlear Limited ©

Maar wat zijn de gevolgen van hoge luisterinspanning? Waarom beschouw ik dit als een nadeel als het duidelijke voordeel is dat de spraak met de extra inspanning wordt verstaan? De mentale inspanning die we op een bepaald moment kunnen leveren is niet onuitputtelijk. Dit

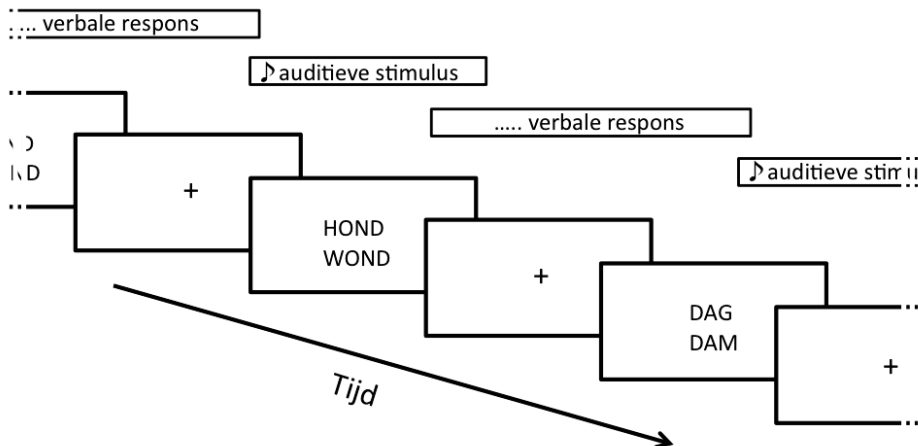
heeft tot gevolg dat als luisteren veel inspanning kost, er minder ‘mentale reserve’ over is om tegelijkertijd aan andere taken of cognitieve processen te wijden. Dit kan problemen opleveren bij het combineren van spraakverstaan met gelijktijdige taken, denk bijvoorbeeld aan autorijden; letten op het overige verkeer terwijl je luistert naar de rijder die routeaanwijzingen geeft. Maar ook minder direct waarneembaar; het luisteren naar een boodschap en deze opslaan in het geheugen. Als spraakverstaan veel inspanning kost kan het zijn dat de luisteraar de boodschap wel verstaat, maar zich later niet meer goed kan herinneren. Naast deze directe gevolgen kan langdurige luisterinspanning ook leiden tot vermoeidheid en ziekteverzuim van werk. Reden dus, om te kijken of luisterinspanning voor CI gebruikers te verbeteren valt.

In dit proefschrift wordt een serie experimenten beschreven die aan de ene kant als doel hebben een breed toepasbare en betrouwbare maat voor luisterinspanning te vinden, en aan de andere kant systematisch in kaart brengen hoe bepaalde aspecten van geluid gehoord via een CI spraakverstaan en luisterinspanning beïnvloeden.

## METHODOLOGIE

De bijeffecten van hoge luisterinspanning kunnen verklaard worden vanuit modellen die uitgaan van de aanname dat cognitieve capaciteit gelimiteerd is, zoals bijvoorbeeld het werkgeheugenmodel van Baddeley. De centrale aanname in dit soort modellen is dat een eindige capaciteit aan cognitieve middelen moet worden verdeeld over alle gelijktijdige cognitieve taken en processen. In het onderzoek beschreven in dit proefschrift maak ik gebruik van deze ‘gelimiteerde cognitieve capaciteit’ aanname om luisterinspanning te meten. Dit doe ik door middel van een ‘dual-task paradigm’, dat wil zeggen dat een proefpersoon twee taken gelijktijdig moet uitvoeren. Als de primaire taak veel inspanning vergt, blijft er daardoor minder cognitieve restcapaciteit over voor het uitvoeren van de secundaire taak. De score op de secundaire taak geeft dus indirect weer hoe inspannend de primaire taak is; is deze inspannend dan zal de uitvoering van de secundaire taak daaronder lijden. In mijn onderzoek ben ik specifiek geïnteresseerd in luisterinspanning, en de primaire taak betreft daarom dus een luistertaak. Door de stimuli voor deze luistertaak te manipuleren kan ik onderzoeken hoe bepaalde factoren gerelateerd aan horen met een CI spraakverstaan de luisterinspanning beïnvloeden. Als secundaire taak heb ik een visuele rijm taak gebruikt; steeds verschijnen twee

woorden op een beeldscherm en de proefpersoon moet zo snel mogelijk aangeven of deze woorden rijmen of niet. Het idee is dat de luistertaak en de rijmtaak beide gebruik maken van cognitieve middelen specifiek voor het verwerken van taal en dus concurreren voor deze middelen. De reactietijd op de rijmtaak dient als maat voor luisterinspanning op de primaire taak. Zodra de luisterinspanning hoger wordt zal de proefpersoon minder cognitieve capaciteit ter beschikking hebben om de rijmtaak uit te voeren en zal dus trager antwoorden. De timing van de stimuli voor beide taken is niet aan elkaar gekoppeld, zo kan de proefpersoon niet anticiperen op de komst van een paar rijmwoorden en zo een strategie ontwikkelen om deze snel te beantwoorden zonder dat de luistertaak daaronder lijdt (Zie Figuur 2).



*Figuur 2:* Dual-task procedure. De stimuli voor de luistertaak en de visuele rijmtaak worden tegeljkertijd gepresenteerd, maar niet aan elkaar gekoppeld, zo kan dus een paar rijmwoorden zowel tijdens een zin of tussen twee zinnen van de luistertaak door gepresenteerd worden.

Het voordeel van het dual-task paradigma is dat het duidelijk inzichtelijk maakt hoe luisterinspanning de cognitieve capaciteit beperkt voor overige taken. Echter, voor een klinisch toepasbare maat is de dual-task mogelijk minder geschikt. Voor bijvoorbeeld kinderen of ouderen zou het uitvoeren van twee taken gelijktijdig ingewikkeld kunnen zijn. Vandaar dat ik in de latere hoofdstukken alternatieve, eenvoudigere taken introduceer, en deze vergelijk met de dual-task. Het onderzoek beschreven in hoofdstuk 4 focust op de methodologie en evalueert specifiek zo'n eenvoudigere maat. In een experiment met normaal-horende proefpersonen die luisteren naar spraak met of zonder achtergrondruis worden de dual-task

en de ‘verbale reactie tijd’ (de tijd die het kost om na het horen van een zin te beginnen deze hardop te herhalen) als maat voor luisterinspanning met elkaar vergeleken. De resultaten van dit experiment laten zien dat zowel de dual-task als de verbale reactie tijd een effect laten zien van de aan- of afwezigheid van achtergrondruis. De verbale reactie tijd laat daarnaast ook een effect zien van de verstaanbaarheid van de spraak; de beter verstaanbare spraak kan sneller worden herhaald. Dit suggereert dat deze verbale reactietijd mogelijk inderdaad geschikt is als maat voor luisterinspanning.

Zoals de titel van dit proefschrift suggereert was ik met name geïnteresseerd in ‘verborgen’ effecten van luisteren met een CI op luisterinspanning. Het doel van de onderzoeken gepresenteerd in dit proefschrift was dan ook om verschillende factoren die bijdragen aan de geluidskwaliteit van een CI te testen op hun effect op luisterinspanning – *specifiek voor condities die geen verschil teweegbrengen in spraakverstaan.*

## SPECTRALE RESOLUTIE EN LUISTERINSPANNING

Een van de belangrijkste aspecten van de kwaliteit van CI geluid is de ‘spectrale resolutie’, dat is de rijkheid aan frequentie-informatie in het signaal. Door de eigenschappen van een CI, maar ook de verminderde gezondheid van de gehoorzenuw, is voor CI gebruikers deze frequentieresolutie merkbaar minder dan voor normaal horenden. Het effect van verminderde spectrale resolutie op spraakverstaan is al veel onderzocht en goed in kaart gebracht. Het is duidelijk dat onder een bepaalde grens de spraakverstaanbaarheid omlaag gaat met verder gereduceerde frequentieresolutie. Echter, hoe dit de luisterinspanning beïnvloedt was tot voorheen niet onderzocht. Het lijkt aannemelijk dat als de frequentieresolutie dusdanig laag is dat de verstaanbaarheid omlaag gaat, dat dan ook de luisterinspanning om nog zo veel mogelijk te verstaan omhoog gaat. Maar waar ik met name in geïnteresseerd was, is of de luisterinspanning nog verder verbeterd met hogere frequentieresolutie als de spraakverstaanbaarheid al optimaal is.

Aangezien bij CI gebruikers meerdere factoren invloed hebben op de frequentieresolutie van een spraaksignaal en er dus tussen CI gebruikers verschillen kunnen zijn, is het eerste onderzoek, beschreven in hoofdstuk 2, uitgevoerd met normaalhorenden en CI simulaties. Op deze manier kon ik zoveel mogelijk factoren constant houden tussen proefpersonen. CI-geluid

werd gesimuleerd met verschillende aantallen frequentiebanden en, zoals gezegd, gepresenteerd aan normaalhorende proefpersonen. De resultaten laten duidelijk zien dat voor simulaties met meer frequentiebanden, dat wil zeggen met hogere frequentieresolutie, de verstaanbaarheid van de spraak omhoog gaat, totdat vanaf 6 frequentiebanden een plateau, of eigenlijk plafond, wordt bereikt. De luisterinspanning, gemeten in gemiddelde reactietijd op de rijmtaak, verbetert ook met toenemende frequentieresolutie, met als belangrijkste vinding dat luisterinspanning nog verbetert tot 8 frequentiebanden. Daarmee toont dit onderzoek aan, dat zelfs als spraakverstaan op 100% zit, een luisteraar toch nog baat kan hebben bij verder verbeterde frequentieresolutie, dit kan namelijk de luisterinspanning verbeteren. Hiermee wordt ook geïllustreerd waarom het belangrijk is om naast spraakverstaan ook luisterinspanning te meten: daarmee wordt deze ‘verborgen’ ruimte voor verbetering zichtbaar gemaakt.

Voor normaalhorende luisteraars is duidelijk dat als het signaal een hogere frequentieresolutie heeft, zij dit ook daadwerkelijk kunnen benutten. Voor CI gebruikers is dat niet altijd vanzelfsprekend, aangezien niet alleen het signaal geproduceerd door de CI een rol speelt, maar ook de overdracht van dat signaal naar de zenuw en de gezondheid van de zenuw. Het kan dus zijn dat het CI signaal weldegelijk een hogere frequentieresolutie heeft, maar de CI gebruiker dit niet effectief kan benutten. Om te achterhalen of ook voor CI gebruikers een verschil in frequentieresolutie van het CI signaal leidt tot verschillen in luisterinspanning is het bovenstaande onderzoek gerepliceerd met CI gebruikers. In dit onderzoek, beschreven in hoofdstuk 5, wordt in de verschillende experimentele condities het geluid aangeboden via een beperkt aantal elektrodes. De dual-task resultaten van dit onderzoek tonen geen verschil in spraakverstaan en ook niet in luisterinspanning met toenemend aantal elektrodes. Echter, een alternatieve taak, de ‘sentence verification task’ waarin de luisteraar met een druk op een knop moet aangeven of een zin waar is of onzin, laat zien dat de verschillende aantallen actieve elektrodes weldegelijk het vermogen over de gehoorde spraak te redeneren beïnvloeden. Voor het feit dat het dual-task experiment geen verschil toont tussen de verschillende experimentele condities kunnen een aantal verklaringen opgevoerd worden. Echter het feit dat de alternatieve taak, de sentence verification task, wel een duidelijk effect laat zien van frequentieresolutie sluit de mogelijkheid dat frequentieresolutie gewoonweg geen effect heeft uit. Hieruit kunnen we concluderen dat zowel normaal-horende proefpersonen als CI



gebruikers baat kunnen hebben bij hogere spectrale resolutie, zelfs als spraakverstaan al optimaal lijkt.

## BIMODAAL HOREN EN LUISTERINSPANNING

Onder CI gebruikers zijn er mensen die nog bruikbaar restgehoor hebben in een of beide oren, meestal in de lage frequenties. Onderzoek heeft aangetoond dat dit acoustische gehoor gecombineerd met het elektrische gehoor van een CI, ook wel genaamd bimodaal gehoor, spraakverstaanbaarheid kan verbeteren met name in achtergrondlawaai. Over het effect van restgehoor op luisterinspanning was nog weinig bekend. Het onderzoek beschreven in hoofdstuk 3 bestudeert de toegevoegde waarde van laagfrequent restgehoor zowel in situaties met als zonder achtergrondgeluid, wederom in een simulatie experiment met normaal horende proefpersonen. In dit onderzoek werden de verschillende CI-alleen en bimodale condities vergeleken op verschillende niveaus van spraakverstaanbaarheid. De spraakverstaanbaarheid werd gemanipuleerd door de spraak in dusdanig luide achtergrondruis aan te bieden dat de beoogde verstaanbaarheid werd bereikt. De resultaten laten zien dat de aanwezigheid van (gesimuleerd) restgehoor inderdaad leidt tot verminderde luisterinspanning voor spraak in stilte op 100% verstaanbaarheid, evenals voor spraak in achtergrondruis op 50% verstaanbaarheid. Er lijkt geen meetbaar verschil in toegevoegde waarde voor restgehoor in de lage frequenties tot 600Hz vergeleken met tot 300Hz. Deze vinding suggereert dat zelfs beperkt restgehoor, wat op zichzelf (zonder CI) niet tot significante spraakverstaanbaarheid leidt, in combinatie met een CI al meerwaarde op kan leveren in de vorm van gereduceerde luisterinspanning.

## CONCLUSIES

De onderzoeken gepresenteerd in dit proefschrift laten zien dat een verbetering in de kwaliteit van het spraaksignaal, door bijvoorbeeld hogere spectrale resolutie of toegevoegde laagfrequent akoestisch geluid, luisterinspanning kunnen verlagen. Deze verbeteringen in luisterinspanning kunnen zich zelfs nog voordoen als spraakverstaanbaarheid onveranderd lijkt, ofwel omdat alles wordt verstaan, of omdat het (kunstmatig) door ruis op een bepaald percentage wordt gehouden, luisterinspanning toch kan verschillen. Dit illustreert het belang van het meten van luisterinspanning naast de gebruikelijke maten van spraak verstaan. Een goede maat voor luisterinspanning kan nuttig zijn voor gebruik in onderzoek, om zo beter

inzicht te krijgen in welke factoren invloed hebben op spraakverstaan en luisterinspanning en welke strategieën werken om luisterinspanning te verbeteren, en voor gebruik in de kliniek, om de CI te kunnen afregelen voor optimale luisterinspanning. Tot slot laten vergelijkingen tussen de dual-task en eenvoudigere taken zoals de verbale reactie tijden en de 'sentence verification task' zien dat een goede maat voor luisterinspanning niet ingewikkeld hoeft te zijn. De 'sentence verification task' is mogelijk een goede kandidaat voor klinische toepassing aangezien de taak makkelijk te implementeren is en eenvoudig uit te leggen aan een grote verscheidenheid aan patiënten.