

Samenvatting

Luisteren in omgevingen met verschillende soorten achtergrond geluiden is voor het gros van de mensen een automatisch proces waarbij niet veel moeilijkheden worden ervaren. Echter voor mensen met een beperking, bijvoorbeeld gehoorverlies, is dit proces een stuk minder vanzelfsprekend. Wanneer er sprake is van gehoorverlies is de overdracht van geluid bij de ontvanger verstoord en dit zorgt niet alleen voor een verminderd spraakverstaan, maar meestal ook voor een verminderd vermogen om verschillende geluidsbronnen van elkaar te onderscheiden. Hoortoestellen worden al tientallen jaren gebruikt om het inkomend geluid te versterken en zo de hoorbaarheid van spraak te herstellen. Een van de meest bekende problemen bij hoortoestel dragers is de ervaren hinder van ongewenste achtergrond geluiden. Hierdoor blijft het in omgevingen met veel verschillende geluiden moeilijk om spraak te verstaan, ondanks dat het volume genoeg opgeschroefd kan worden. Hierom zitten er in moderne hoortoestellen verschillende soorten ruisonderdrukking programma's verwerkt om spraak beter verstaanbaar te maken, en bovendien aangenamer.

Een voorbeeld van een dergelijke ruisonderdrukking is 'single microphone' ruisonderdrukking. Deze vorm van ruisonderdrukking maakt gebruik van het spectrum van het inkomende signaal en maakt aan de hand daarvan een schatting van de signaalruisverhouding per frequentieband. Wanneer de signaalruisverhouding ongewenst laag is, d.w.z. veel achtergrondlawaai aanwezig, zal het geluid in de desbetreffende frequentieband niet of minder versterkt worden. Een andere vorm van ruisonderdrukking is directionele ruisonderdrukking. Hier wordt gebruik gemaakt van de richting waar het geluid vandaan komt, om vervolgens de geluiden uit ongewenste richtingen te verzwakken. Beide vormen van ruisonderdrukking spelen een belangrijke rol bij hoortoestellen. In dit proefschrift is de blik gericht op 'single microphone' ruisonderdrukking, ruisonderdrukking verwijst vanaf hier alleen naar deze vorm van ruisonderdrukking.

Er zijn veel studies geweest naar de effecten van deze soort ruisonderdrukking in hoortoestellen. Hieruit blijkt meestal dat de ruisonderdrukking niet in staat is om spraakverstaan in ruis te verbeteren. Desondanks wordt de ruisonderdrukking veelal als positief ervaren in de oren van de hoortoestel drager. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat ruisonderdrukking kan zorgen voor een verminderde luisterinspanning. Luisterinspanning is een concept dat beschreven wordt als de moeite die gedaan wordt om een luistertaak succesvol af te ronden. Dit

succesvolle luisteren hangt af van verschillende factoren, met name de moeilijkheid van de taak en de motivatie om te luisteren, maar ook van zaken zoals bijvoorbeeld de leeftijd van de luisteraar of gehoorverlies bij de luisteraar. Daarom wordt het concept gezien als multi-dimensioneel en is het vooralsnog moeilijk meetbaar. Er zijn een aantal gangbare manieren om luisterinspanning te meten waarvan de uitkomst gecategoriseerd kan worden in cognitief-gedragsmatig, fysiologisch of zelfrapportage.

In **Hoofdstuk 2** van dit proefschrift hebben wij geprobeerd om op een objectieve manier een inschatting te krijgen van het effect van ruisonderdrukking op luisterinspanning met behulp van een cognitief-gedragsmatige test. In dit experiment werd de gedachtegang dat ruisonderdrukking de hoeveelheid luisterinspanning kan verlagen op de proef gesteld. De luistertest bestond uit het beantwoorden van simpele rekensommetjes in stilte en in achtergrondlawaai met drie verschillende signaalruisverhoudingen (-5, 0 en +5 dB SNR). De gedachte hierachter is dat een individu beschikt over een beperkte hoeveelheid verwerkingsmiddelen. Wanneer er meer achtergrondlawaai aanwezig is wordt de luistertaak moeilijker en is er minder capaciteit over om het rekensommetje te maken. De verwachting is dat het in dat geval langer duurt om het rekensommetje te maken, wat een weerspiegeling is van de hoeveelheid geleverde luisterinspanning. De toevoeging van ruisonderdrukking kan dan de luisterinspanning verlagen, en zorgen voor een kortere verwerkingstijd. In dit experiment hebben twaalf slechthorende proefpersonen deelgenomen. Ze luisterden naar drie getallen in achtergrondruis en werden gevraagd om het eerste en laatste getal zo snel mogelijk op te tellen. Ook werd aan deze proefpersonen gevraagd om een inschatting te geven van hun geleverde luisterinspanning en werd hun spraakverstaanbaarheid gemeten. De signalen werden onverwerkt aangeboden, of verwerkt met een tweetal ruisonderdrukking mechanismes: realistische of ideale ruisonderdrukking. Het belangrijkste verschil tussen deze twee vormen is dat de ideale ruisonderdrukking apart beschikking heeft tot het spraaksignaal en het ruissignaal en daardoor een perfecte inschatting kan maken van de signaalruisverhouding. De realistische ruisonderdrukker heeft deze kennis niet en moet een ruwe schatting maken, net zoals in hoortoestellen. De resultaten van dit onderzoek toonden aan dat de verwerkingstijden significant opliepen bij lagere signaalruisverhoudingen. Er werd geen significante versnelling gevonden van verwerkingstijden na toepassing van realistische ruisonderdrukking. Bij de ideale ruisonderdrukking werd een significante versnelling gevonden van verwerkingstijden alleen bij een signaalruisverhouding van -5 dB SNR. Bij deze signaalruisverhouding werd ook een verbetering van de spraakverstaanbaarheid gezien door toepassing van de ideale ruisonderdrukking. De resultaten correleerden goed met de resultaten van de zelfrapportage. De conclusie van dit onder-

zoek is dat de gebruikte test geschikt is om op een objectieve manier een aspect van luisterinspanning te meten wat bijdraagt aan ons begrip over het concept luisterinspanning. De test is niet gevoelig genoeg om een effect van ruisonderdrukking bij slechthorende proefpersonen te meten.

Uit onderzoek is gebleken dat er grote verschillen bestaan in voorkeuren voor verschillende soorten ruisonderdrukking algoritmes, en hun instellingen. Daarom zijn we geïnteresseerd in de eigenschappen van ruisonderdrukking die zorgen voor deze voorkeur. Eigenschappen kunnen ruwweg onder twee kopjes geschaald worden: statische en dynamische eigenschappen. Bij statische eigenschappen spreken we bijvoorbeeld over de hoeveelheid signaal verzwakking en het frequentiegebied van de ruisonderdrukker. Bij dynamische eigenschappen kunnen we denken aan de snelheid van het algoritme.

In **Hoofdstuk 3** is gekeken of dynamische eigenschappen de voorkeur voor ruisonderdrukking beïnvloeden, op groep niveau maar ook op individueel niveau. In dit experiment werd de snelheid vertraagd waarmee een ruisonderdrukking algoritme het signaal verzwakt zodra geen spraak meer gedetecteerd wordt. Wanneer spraak gedetecteerd wordt blijft de snelheid van signaalversterking onveranderd. Er werd getest met spraak in continue achtergrondruis en gemoduleerde achtergrondruis. Drie tijdsconstanten werden gebruikt voor de vertraging: 0, 100 en 200 ms, waarbij 0 ms dus het originele onvertraagd algoritme is. Zestien normaalhorende en zestien slechthorende proefpersonen deden mee met experiment dat bestond uit een paarsgewijze vergelijking tussen de verschillende signalen. De resultaten lieten zien dat de groep van normaalhorenden een significante voorkeur had voor ruisonderdrukking met tijdsconstanten van 100ms of 200 ms. Slechthorenden prefereerden ruisonderdrukking over geen ruisonderdrukking, maar hadden geen duidelijke voorkeur voor snellere of langzamere tijdsconstanten. Het bleek dat met name bij de groep van slechthorenden de individuele voorkeuren sterk uiteenliepen. Hieruit werd geconcludeerd dat dynamische effecten van ruisonderdrukking een effect heeft op de individuele voorkeur voor de instellingen van ruisonderdrukking algoritmes. Er is meer onderzoek nodig om deze individuele voorkeuren beter in kaart te brengen met als doel om de gebruikerstevredenheid van hoortoestellen te kunnen verhogen.

In **Hoofdstuk 4** hebben wij een statische parameter van ruisonderdrukking onderzocht: de maximale hoeveelheid verzwakking die wordt toegepast. Dit noemen we de sterkte van het ruisonderdrukking algoritme. In eerdere studies is al aangetoond dat deze parameter een invloed heeft op luistervoorkeur, en dat er verschillen bestaan in voorkeuren van verschillende luisteraars. Het was echter nog niet helemaal duidelijk of gehoorverlies, en de mate daarvan, invloed heeft

op persoonlijke voorkeur. Verschillende onderzoeken lieten hier verschillende resultaten van zien. Dit hoofdstuk beschrijft een experiment waarin de voorkeur voor de sterkte van ruisonderdrukking werd gemeten voor drie groepen die verschilden in mate van gehoorverlies. De eerste groep had geen gehoorverlies, de tweede groep had mild gehoorverlies en de derde groep had matig gehoorverlies. Elke groep bestond uit tien luisteraars. Door middel van paarsgewijze vergelijkingen konden luisteraars kiezen tussen spraak-in-ruis stimuli met verschillende sterktes van de ruisonderdrukking. Uit het onderzoek bleek dat iemand met meer gehoorverlies waarschijnlijk een sterkere ruisonderdrukking zal willen. De samenhang hiertussen was echter niet groot. Daarom hebben we in dit experiment ook gekeken naar de variantie tussen de verschillende luisteraars onafhankelijk van het soort gehoorverlies. Het bleek dat voor onze groep luisteraars 3 verschillende sterktes ruisonderdrukking voldoende is (geen, middelmatige en sterke ruisonderdrukking) om voor iedere luisteraar een passende sterkte in te stellen. De mate van gehoorverlies speelde geen voorspellende rol in het bepalen van de juiste sterkte. Dit betekent dat je op basis van gehoorverlies wel kan vermoeden dat iemand een sterkere ruisonderdrukking prefereert, maar dat je altijd de persoonlijke voorkeur moet onderzoeken. Omdat het veel tijd kost om met paarsgewijze vergelijkingen te bepalen welke ruisonderdrukking sterkte favoriet is hebben we in dit experiment ook gekeken naar de mogelijkheid om minder vergelijkingen te gebruiken. Het doel hiervan was om te zien of we met een kleine hoeveelheid vergelijkingen konden voorspellen welke van de drie verschillende sterktes ruisonderdrukking (geen, middelmatige en sterke ruisonderdrukking) iemand het liefst naar wil luisteren. Het bleek dat je voor de meeste luisteraars met ongeveer 15 vergelijkingen al de juiste categorie kon voorspellen. De luisteraars waarbij dit niet kon zaten veelal in de middelste categorie. Daarom bevelen we aan dat in de praktijk een kleine set vergelijkingen gebruikt kan worden om luistervoorkeur te bepalen. Als er dan geen optimum blijkt, zal waarschijnlijk de middelste instelling volstaan.

Uit meerdere onderzoeken, waaronder bovengenoemde onderzoeken in Hoofdstukken 3 en 4, is gebleken dat er een grote interindividuele variatie is bij de effecten van ruisonderdrukking op luistervoorkeur. Als we deze variatie kunnen verklaren en zelfs voorspellen zal dat een positieve bijdrage leveren aan onderzoek naar ruisonderdrukking in hoortoestellen. Een plausibele theorie die ten grondslag ligt aan het verschil in voorkeur voor ruisonderdrukking is de wisselwerking van signaal verzwakking en signaal verstoring. Omdat het algoritme geen a-priorische kennis heeft van het verstoorte spraak signaal zal de schatting van de signaal ruisverhouding niet perfect zijn. Het verzwakken van het signaal betekent dan ook dat de kwaliteit van het signaal wordt aangetast. Hoe meer ruisonderdrukking wordt toegepast, hoe meer verstoringen hoorbaar

zijn. De gevoeligheid voor deze verstoringen, én de gevoeligheid voor achtergrondlawaai is persoonlijk. Wanneer we bijvoorbeeld kijken naar de maximale verzwakking die wordt toegepast op een signaal zal gemiddeld gezien het optimum liggen daar waar de ruis voldoende verzwakt is maar de verstoringen nog niet vervelend worden. Voor een luisteraar die toleranter is voor verstoringen zal het optimum gevonden worden bij een sterkere maximale verzwakking. Voor een luisteraar die toleranter is voor achtergrondlawaai zal het optimum gevonden worden bij een lichtere maximale verzwakking.

In **Hoofdstuk 5** is gekeken of deze beschreven individuele wisselwerking voor de optimale maximale hoeveelheid verzwakking in kaart gebracht kan worden. Hiervoor is een ruisonderdrukking algoritme gebruikt waarbij de hoeveelheid ruis en de hoeveelheid verstoringen apart gemanipuleerd konden worden. Door middel van een luistertest met paarsgewijze vergelijkingen bij 12 slechthorende proefpersonen kon gekeken worden naar de individuele wisselwerking en daarmee naar de ruis- en verstoringtolerantie van de proefpersonen. Resultaten lieten zien dat de wisselwerking met behulp van deze luistertest in kaart gebracht kon worden. Tussen de individuen zagen we zowel verschillen in tolerantie voor achtergrond lawaai als voor signaal verstoringen. De sterkte in van de voorkeur voor beide effecten waren in dezelfde orde grootte, echter zagen we meer variatie binnen de verschillende toleranties voor signaal verstoringen.

In het werk van dit proefschrift is vanuit verschillende invalshoeken gekeken naar het meten van perceptieve effecten van ruisonderdrukking in hoortoestellen. Hoewel de ontwikkelingen in technologie van hoortoestellen snel vooruit gaan blijft ruisonderdrukking een belangrijk algoritme in moderne hoortoestellen en zoals gebleken tevens een algoritme waarvan het succes sterk afhankelijk is van de voorkeur van de luisteraar. De focus van dit onderzoek is verschoven van objectieve meetmethoden, naar subjectieve meetmethoden om vervolgens de individuele voorkeur in kaart te brengen. Hiermee heeft dit proefschrift bijgedragen aan ons overkoepelende doel voor de toekomst: om efficiënt en adequaat ruisonderdrukking in hoortoestellen te kunnen aanpassen naar de wensen van elk individu.