

Veel slechthorenden hebben moeite met het verstaan van spraak in een rumoerige omgeving. Hierdoor hebben zij veelal behoefte aan een hogere spraak-ruisverhouding dan normaalhorenden. Pogingen om door middel van signaalbehandeling de spraak-ruisverhouding te verbeteren zijn tot nog toe, met name in kritische lawaaicondities, niet erg succesvol gebleken. Voorlopig lijkt de slechthorende het meest gebaat te zijn bij een hoortoestel dat ervoor zorg draagt dat het totale signaal van spraak in ruis zo gunstig mogelijk aan het oor wordt aangeboden.

Om spraak te kunnen verstaan is het een vereiste dat de informatie-dragende fluctuaties van het spraaksignaal voldoende kunnen worden waargenomen. Voor slechthorenden houdt dit in dat de spraak versterkt aangeboden dient te worden zodat deze fluctuaties over een zo breed mogelijk frekwentiegebied hoorbaar zijn. Met name wanneer het gehoor in diverse frekwentiegebieden een verschillende mate van ongevoeligheid vertoont, zal een hoortoestel gewenst zijn waarvan de versterking in meerdere frekwentiekkanalen automatisch wordt bijgesteld. In een dergelijk toestel kan de frekwentie-afhankelijke versterkingsfactor zich, onder de steeds wisselende akoestische omstandigheden, aanpassen aan het actuele niveau en spectrum van het binnenkomende signaal.

In hoortoestellen met automatische sterkteregeling is het gebruikelijk dat de versterking wordt geregeld op grond van het gemiddelde signaalniveau, zonder dat hierbij onderscheid wordt gemaakt tussen spraak en stoorsignaal. Dit betekent dat gedurende passages zonder spraaksignaal, achtergrondruis wordt versterkt tot een niveau dat door de slechthorende als hinderlijk wordt ervaren. Dit bezwaar van een automatische sterkteregeling in hoortoestellen kan aanzienlijk worden gereduceerd wanneer, in plaats van het gemiddelde signaalniveau, het niveau van de "minima" (dalen) in de signaalomhullende als regelparameter voor de versterking wordt gebruikt. Hierdoor kunnen de snelle intensiteitsfluctuaties van spraak worden behouden, terwijl geluidspassages waar dergelijke fluctuaties ontbreken, zoals in het geval van (spraak gemaskeerd door) ruis, kunnen worden onderdrukt. Dit zal het luistercomfort bevorderen.

De instelling van de versterking in de verschillende frekwentiebanden vindt bij voorkeur plaats in een tijd van ongeveer 0.5 sec. Met een dergelijke tijdconstante worden namelijk de intensiteitsfluctuaties binnen de duur van een lettergreep onaangetast gelaten, terwijl de versterking zich toch effectief kan aanpassen aan de veelal tragere variaties in achtergrondruis.

De hoofdvraag van dit proefschrift is: hoe effectief is bovengenoemde benadering van signaalbehandeling, die er op gericht is het binnenkomende signaal, onder de wisselende akoestische omstandigheden, zo gunstig mogelijk aan te bieden binnen het gehoorbereik van de luisteraar?

De frekwentie-karakteristiek van zo'n hoortoestel zal in de tijd variëren. Zulke variaties zullen de spraak-ruisverhouding in de verschillende frekwentiekkanalen ongewijzigd laten. De vraag is echter of het gehoor wel bestand is tegen een dergelijke "levende" frekwentie-karakteristiek. Het eerste gedeelte van dit proefschrift, bestaande uit de

Hoofdstukken 2 en 3, bestudeerde daarom het effect van schommelingen in de helling van de frekwentie-karakteristiek op de spraakverstaanbaarheiddrempel (SRT) voor korte alledaagse zinnen in rumoer. Als maskeerders gebruikten we ruis met hetzelfde gemiddelde frekwentie-spectrum als de zinnen. Dit maskeerspectrum werd gekozen omdat in alledaagse luistersituaties de menselijke stem zelf een van de meest voorkomende stoorsignalen is.

In Hoofdstuk 2 worden experimenten met groepen normaalhorende proefpersonen beschreven. Dit maakt een interpretatie mogelijk zonder dat daarbij complicerende invloeden van slechthorendheid worden betrokken. In een eerste experiment (20 proefpersonen) werden verschillende constante hellingen van de frekwentie-karakteristiek getest. In een tweede experiment (20 proefpersonen) maakte de helling van deze karakteristiek een eenmalige omslag halverwege de zin, waarbij vijf verschillende omslagtijden werden toegepast. In een derde experiment (10 proefpersonen) werd de helling van de frekwentie-karakteristiek continu gevarieerd. Resultaten tonen aan dat de SRT in ruis vrijwel ongewijzigd blijft wanneer de frekwentie-karakteristiek constant is met een helling binnen een bereik van circa -7 tot +10 dB/oct, of wanneer deze helling een eenmalige omslag maakt van +5 naar -5 dB/oct, of omgekeerd. De keuze van de omslagtijd tussen 2 en 1/8 sec lijkt de SRT niet noemenswaardig te beïnvloeden. Een continue schommeling van de helling in de frekwentie-karakteristiek tussen +5 en -5 dB/oct geeft daarentegen een geringe drempelverhoging te zien naarmate de tijd waarin de variatie zich voltrekt, korter wordt. Voor variatiefrekquenties tot 1 Hz is de drempelverhoging kleiner dan 1.8 dB.

Hoofdstuk 3 beschrijft een vergelijkbaar onderzoek als Hoofdstuk 2, maar nu uitgevoerd voor 20 proefpersonen met een perceptief gehoorverlies. Gehoorverlies voor tonen, gemiddeld over 0.5, 1, en 2 kHz, lag tussen 30 en 55 dB. Als basisinstelling in alle experimentele condities gebruikten we spraak en ruis waarvan de spectra waren gevormd volgens de lijn die het gebied tussen gehoordrempel en niveau voor onaangename luidheid, doormidden deelt ("bisector"). Alle variaties in de helling van de frekwentie-karakteristiek werden uitgevoerd ten opzichte van deze basisinstelling. Resultaten laten zien dat wanneer de frekwentie-karakteristiek constant is, of wanneer deze tijdens de zin een eenmalige omslag maakt in een tijd van 0.25 of 1 sec, de verhoging in SRT minder is dan 2 dB. Voorwaarde is echter dat de helling van de frekwentie-karakteristiek niet steiler is dan ongeveer -3 dB/oct ten opzichte van de bisector. Voor hellingen steiler dan -3 dB/oct kan sterke maskering naar hogere frekquenties optreden. De steilheid van een positieve helling van de karakteristiek mag daarentegen vergroot worden zonder dat dit de SRT beïnvloedt. In alledaagse luistercondities vertonen stoorsignalen overwegend laagfrekwente spectra. Daarom zal een hoortoestel met een positief hellende karakteristiek, behalve uit het oogpunt van spraakverstaan, ook uit het oogpunt van luistercomfort de voorkeur genieten boven een hoortoestel met een negatief hellende karakteristiek.

Zoals is aangetoond voor normaal- en slechthorende proefpersonen in de Hoofdstukken 2 en 3, is de SRT in ruis betrekkelijk ongevoelig voor variaties in de frekwentie-karakteristiek. Dit betekent dat is voldaan aan een belangrijke randvoorwaarde voor succes van een meerkanaalige automatische versterkingsregeling in hoortoestellen. Verwacht mag worden dat het voordeel van een frekwentie-afhankelijke versterkingsregeling, in termen van spraakverstaan, het grootst is in die situaties waar het spectrum van de

maskeerders duidelijk afwijkt van dat van de spraak. In zulke condities kan een selectieve verzwakking van een gemaskeerde frekwentieband een vermindering geven van sterke maskeringseffecten naar aangrenzende (hoger gelegen) frekwentiegebieden (upward spread of masking). In het *tweede gedeelte* van dit proefschrift, beschreven in Hoofdstuk 4, onderzochten we de mate waarin een frekwentie-selectieve aanpassing van de versterking de SRT voordelig beïnvloedt in condities met spectraal-locale stoorrys. Dit onderzoek werd uitgevoerd voor 12 normaalhorende en 12 slechthorende luisteraars. Voor de laatste groep lag het gehoorverlies voor tonen, gemiddeld over 0.5, 1, en 2 kHz, tussen 39 en 57 dB. Opnieuw werden de spectra van spraak en ruis voor iedere proefpersoon gevormd naar de bisector van het gehoorbereik. Daarbij werd echter in één octaafband (0.25-0.5 of 0.5-1 kHz) het niveau van de ruis met 20 dB verhoogd. In een eerste experiment was de verhoging in ruisniveau constant. In een tweede experiment nam het ruisniveau toe gedurende 1 sec, gelijktijdig met het aanbieden van de zin. Voor zowel normaal- als slechthorende luisteraars laten de resultaten zien dat een selectieve verzwakking van het signaal in de octaafband met de 20-dB toename van de ruis een grotere winst oplevert dan een breedbandige verzwakking. Afname in de gemiddelde drempel is 4 dB, zowel in constante als in de tijd variërende condities.

De resultaten van de Hoofdstukken 2-4 zijn bemoedigend ten aanzien van de toepassing van een trage frekwentie-afhankelijke versterkingsregeling in hoortoestellen. In het *derde gedeelte* van dit proefschrift, beschreven in Hoofdstuk 5, onderzochten we tenslotte de effectiviteit van een frekwentie-afhankelijke versterking die automatisch wordt geregeld op grond van het niveau van de minima in de signaalomhullende. Proefpersonen waren 10 slechthorende luisteraars met een gehoorverlies voor tonen, gemiddeld over 0.5, 1, en 2 kHz, tussen 35 en 55 dB. In een eerste experiment werd de SRT met en zonder versterkingsregeling gemeten. In een tweede experiment onderzochten we in welke mate het geluidvolume in condities zonder versterkingsregeling moet worden bijgesteld teneinde eenzelfde hinderlijkheid van het geluid te verkrijgen als in condities met versterkingsregeling. Resultaten tonen aan dat de conditie met versterkingsregeling de SRT onaantast laat in de aanwezigheid van diverse alledaagse stoorgeluiden waarvan de spectra lijken op het spectrum van de spraak. Echter, in situaties waar geen spraakcommunicatie plaatsvindt, wordt onder een dergelijke regeling de hinderlijkheid van het stoorgeluid aanzienlijk gereduceerd. Zoals verwacht mocht worden, is het effect van de versterkingsregeling op het signaal zeer klein in het geval van één enkele spreker, en is dit effect het grootst voor geluiden met een min of meer continu karakter (bijv. stationaire ruis en muziek). Voor het laatste type stoorgeluid werd gevonden dat een toename in ingangsniveau wel vijf maal zo groot moet zijn (in decibels) als in een conditie zonder versterkingsregeling teneinde eenzelfde toename in geluidshinder te veroorzaken.

Op grond van de resultaten van dit proefschrift mogen we concluderen dat er goede perspectieven bestaan voor een hoortoestel met een meerkanaalige automatische volumeregeling waarin de frekwentie-afhankelijke versterking de intensiteitsfluctuaties van spraak ongewijzigd laat, en de meer stationaire signaalpassages onderdrukt. Een dergelijke versterkingsregeling geeft onder diverse stoorkanaalcondities een verbetering in luistercomfort zonder dat daarbij het spraakverstaan negatief wordt beïnvloed door de schommelingen in de frekwentie-karakteristiek. In condities waar het spectrum van de ruis een sterk lokaal maximum vertoont,

wordt bovendien, door vermindering van maskering naar aangrenzende frekwentiegebieden, een winst in spraakverstaan behaald. Samenvattend geeft genoemde meerkanaalige automatische versterkingsregeling, in verschillende akoestische omstandigheden, maximaal spraakverstaan bij een minimaal storend achtergrondlawaai, zonder dat de luisteraar daarbij zelf de hoortoesteleigenschappen hoeft bij te stellen. Hiermee is de weg geopend naar een nieuw, verbeterd type hoortoestel.

REFERENCES

- ANSI (1969). ANSI S3.5-1969, "American National Standard methods for the calculation of the articulation index" (American National Standards Institute, New York).
- Bilger, R.C., and Hirsh, I.J. (1956). "Masking of tones by bands of noise," *J. Acoust. Soc. Am.* 28, 623-630.
- Braida, L.D., Durlach, N.I., Lippmann, R.P., Hicks, B.I., Rabinowitz, W.M., and Reed, C.M. (1979). "Hearing aids - A review of past research on linear amplification, amplitude compression, and frequency lowering," *ASHA Monogr.* No. 19.
- Ehmer, R.H. (1959). "Masking by tones versus noise bands," *J. Acoust. Soc. Am.* 31, 1253-1256.
- Festen, J.M., and Plomp, R. (1990). "Effects of fluctuating noise and interfering speech on the speech-reception threshold for hearing-impaired and normal hearing," *J. Acoust. Soc. Am.* 88, 1725-1736.
- Festen, J.M., van Dijkhuizen, J.N., and Plomp, R. (1990). "Considerations on adaptive gain and frequency response in hearing aids," *Acta Otolaryngol. Suppl.* 469, 196-201.
- French, N.R., and Steinberg, J.C. (1947). "Factors governing the intelligibility of speech sounds," *J. Acoust. Soc. Am.* 19, 90-119.
- Gagné, J.P. (1988). "Excess masking among listeners with a sensorineural hearing loss," *J. Acoust. Soc. Am.* 83, 2311-2321.
- Graupe, D., Grosspietsch, J.K., and Basseas, S.P. (1987). "A single-microphone-based self-adaptive filter of noise from speech and its performance evaluation," *J. Rehabil. Res. Dev.* 24 (4), 119-126.
- Haggard, M.P., Lindblad, A.C., and Foster, J.H. (1986). "Psychoacoustical and audiometric prediction of auditory disability for different frequency responses at listener-adjusted presentation levels," *Audiology* 25, 277-298.
- Jerger, J.F., Tillman, T.W., Peterson, J.L. (1960). "Masking by octave bands of noise in normal and impaired ears," *J. Acoust. Soc. Am.* 32, 385-390.
- Kates, J.M. (1990). "Hearing aid signal-processing system," *J. Acoust. Soc. Am.* 87, 2272 (patent).