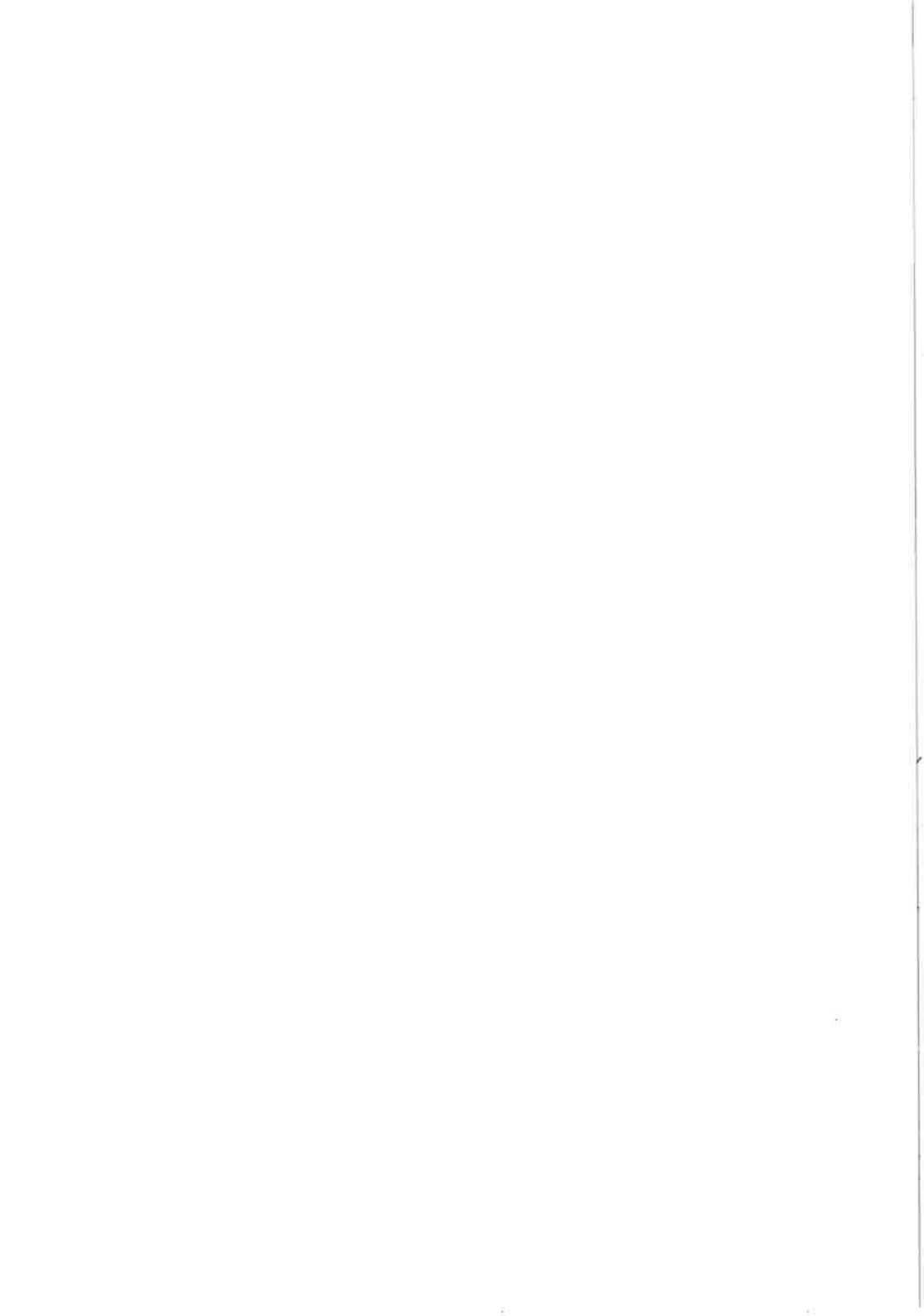


Hoe wij horende zien zijn

prof.dr. A.W. Bronkhorst





Hoe wij horende zien zijn

prof.dr. A.W. Bronkhorst

Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van bijzonder hoogleraar Ergonomie vanwege de Stichting Lorentz-Van Itersonfonds TNO bij de faculteit der Psychologie en Pedagogiek van de Vrije Universiteit Amsterdam op 30 maart 2006.

vrije Universiteit amsterdam



Inhoud

Inleiding	2
Perceptie en aandacht	4
Auditieve perceptie	6
Ruimtelijk horen	10
Multimodale perceptie	13
Onderzoeksagenda	19
Dankwoord	23
Referenties	25
Curriculum Vitae	29

Inleiding

Mijnheer de Rector, dames en heren,

U ziet mij hier staan, u hoort mij, en ik heb, naar ik hoop, uw aandacht. Zien, horen en aandacht zijn de drie processen waar ik het vandaag met u over wil hebben. Ik wil met name ingaan op het feit dat deze processen nauw met elkaar verbonden zijn. Wij zijn horende ziend omdat we multimodale wezens zijn die al onze zintuigen gebruiken en we hebben aandacht nodig om uit alles wat we waarnemen *die* informatie te selecteren die belangrijk voor ons is.

Om u een gevoel geven van hoe horen en zien elkaar beïnvloeden zal ik enkele voorbeelden geven. Wanneer het moeilijk is om spraak te verstaan, bijvoorbeeld omdat er veel omgevingslawaaï is, kunnen we goed gebruik maken van informatie die het lipbeeld ons geeft (Sumbly & Pollack, 1954; Middelweerd & Plomp, 1987). Als je normaalhorend bent doe je dat vaak onbewust maar slechthorenden weten hoe belangrijk het is om de lippen van de spreker te kunnen zien. Beïnvloeding kan ook optreden wanneer er via verschillende modaliteiten conflicterende informatie binnenkomt. Wanneer er bijvoorbeeld kort na elkaar een aantal lichtflitsen worden weergegeven heeft het tegelijkertijd aanbieden van een (ander) aantal korte geluiden invloed op het aantal flitsen dat wordt waargenomen (Kamitani & Shimojo, 2001). Andere multimodale illusies laten ons geloven dat er niets aan de hand is terwijl de informatie die onze zintuigen bereikt toch echt niet klopt. Wanneer u in een zaal met een toespreekinstallatie naar iemand luistert zult u zich bijvoorbeeld niet storen aan het feit dat de stem uit luidsprekers komt en dus uit andere richtingen dan waar de spreker staat. Sommigen zullen zelfs de illusie hebben dat het geluid en beeld samenvallen – een illusie waar de buikspreek ook gebruik van maakt wanneer hij u laat denken dat zijn pop echt spreekt (Thurlow & Jack, 1973).

Een andere reden waarom multimodale perceptie interessant is, is dat we steeds meer met multimodale interfaces te maken hebben. Uw mobieltje geeft niet alleen spraak door maar heeft ook een beeldscherm en trilt om u te waarschuwen. Een leuk voorbeeld van een

geavanceerde multimodale interface is de recent door Philips ontwikkelde i-Cat, een pop in de vorm van een kat die via spraak maar ook middels gelaatsuitdrukkingen en hoofdbewegingen kan communiceren, en die bedoeld is om vertrouwen op te wekken en laagdrempelige mens-machine interactie mogelijk te maken (zie www.research.philips.com/robotics).

Ik zal in deze rede eerst kort spreken over sensorische perceptie in het algemeen en over de rol van aandacht. Daarna zal ik ingaan op het auditieve systeem. Ik besteed daaraan relatief veel aandacht omdat mijn eigen onderzoek zich voornamelijk op het gehoor heeft gericht. Ik zal een aantal opvallende eigenschappen van ons gehoor noemen en één onderwerp waaraan ikzelf heb gewerkt – ruimtelijk horen – nader uitwerken. Vervolgens zal ik de overstap maken naar multimodale perceptie. Dit is een onderzoeksveld dat zeer sterk in beweging is en dat vele nieuwe inzichten oplevert. Ik zal aangeven wat mijn ambities zijn ten aanzien van onderzoek, onderwijs en samenwerking en zal eindigen met een dankwoord.

Perceptie en aandacht

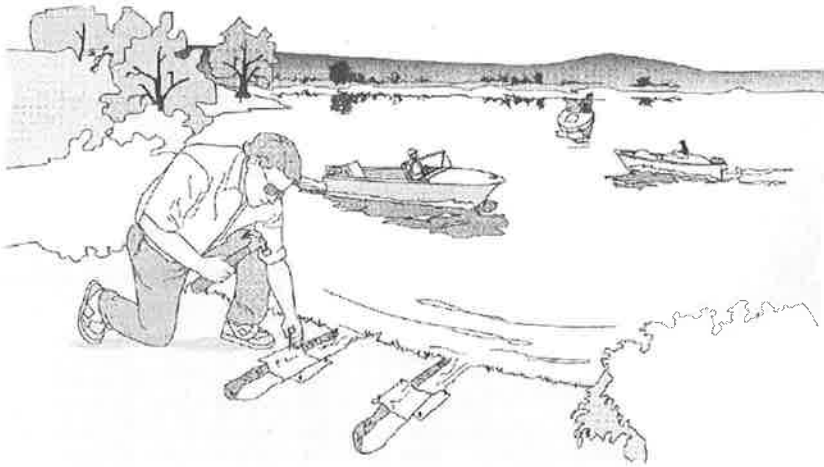
Het is moeilijk te overschatten hoe groot de betekenis van perceptie is voor organismes zoals wij. Perceptie vormt onze constante link met de buitenwereld en levert de informatie die het ons mogelijk maakt te leren, te reageren en te anticiperen (Goldstein, 1996). Daarbij kunnen wij gebruik maken van een arsenaal aan verfijnde zintuigen. Dit zijn er meer dan de spreekwoordelijke vijf. (Ik laat u graag zelf tellen maar vergeet alstublieft niet dat u pijn kunt voelen en ook een apart evenwichtszintuig hebt.) Verder hebben we naast zintuigen die op de buitenwereld gericht zijn ook nog een somato-sensorisch systeem dat ons op de hoogte houdt van onze interne toestand. De zintuigen genereren een enorme, onafgebroken stroom van informatie die verwerkt moet worden in onze hersenen. Een leidend principe daarbij is dat er een onderscheid wordt gemaakt tussen informatie over inhoud en betekenis ("wat is het?") en informatie over locatie ("waar is het?"). Het is bijvoorbeeld al tientallen jaren bekend dat beide typen informatie in het visuele systeem in gescheiden hersengebieden worden verwerkt (b.v. Mishkin, Ungerleider & Macko, 1983). Recent is gevonden dat de gebieden die zich bezig houden met wat we horen en voelen ook een dergelijke ordening kennen (Belin & Zatorre, 2000). Een tweede leidend principe is selectie van informatie. Deze lijkt noodzakelijk niet alleen omdat er onvoldoende capaciteit voor verwerking van alle informatie zou kunnen zijn maar ook omdat we uiteindelijk beperkt zijn in wat we kunnen opslaan in ons geheugen en in hoe wij kunnen reageren en handelen.

Voor selectie is één bepaald proces van groot belang en dat is het richten van aandacht (Theeuwes, 1993; Johnson & Proctor, 2004). Aandacht werkt echter niet als een filter dat bepaalde informatie wel selecteert en andere niet – het kan beter gezien worden als een mechanisme dat prioriteiten uitdeelt aan binnenkomende informatie. Informatie met een lage prioriteit kan bijvoorbeeld wel degelijk tot een bepaald niveau verwerkt worden zonder dat het ons bewustzijn bereikt. Een bekend voorbeeld is dat, wanneer je met iemand in gesprek bent, je je niet bewust bent van andere gesprekken in je omgeving maar het wel hoort wanneer iemand je naam noemt (Moray, 1959). Blijkbaar zijn je hersenen toch continu bezig al die andere spraak te verwerken maar bereikt alleen belangrijke informatie zoals

je naam het bewustzijn, net als een virusscanner op je computer die op de achtergrond werkt en alleen belangrijke bevindingen meldt. Het horen dat je naam wordt genoemd is een voorbeeld van hoe aandacht bottom-up, door van buiten komende informatie, getrokken kan worden. Daarnaast kunnen we natuurlijk ook top-down onze aandacht sturen en zelf bepalen welke informatie prioriteit krijgt.

Auditieve perceptie

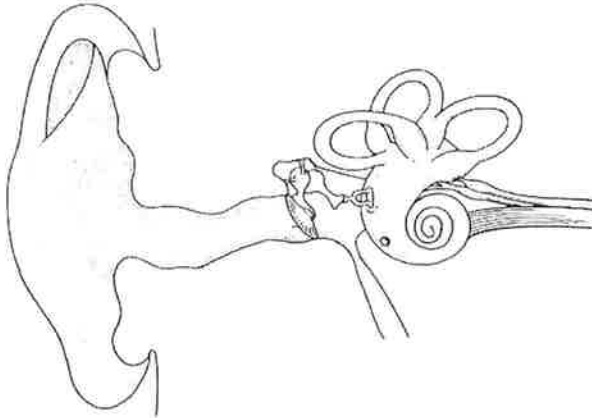
Ik ga u nu over ons auditieve systeem vertellen en toon daarbij Figuur 1, die vaak gebruikt wordt om aan te geven hoeveel ons gehoor eigenlijk kan afleiden uit informatie die in eerste instantie vrij karig lijkt (Goldstein, 1996, p. 376). U ziet een man die op een strand aan een meer twee geultjes heeft gegraven die met het water in verbinding staan. Hij kijkt naar de golfbewegingen in de geultjes en heeft doekjes op de golven gelegd om deze beter te kunnen zien. Als hij tot hetzelfde in staat was als ons auditieve systeem zou hij uit de bewegingen niet alleen kunnen afleiden hoeveel boten er op het meer varen, maar ook waar ze zijn, waar ze naartoe varen en hoeveel toeren hun motoren maken.



Figuur 1. Golven die via twee kanalen binnenkomen zijn de enige informatie die ons gehoor ter beschikking heeft (uit Goldstein, 1996).

Ons auditieve systeem verwerkt dus informatie die in de vorm van luchtrillingen, geluidsgolven, de oren binnenkomt. Deze zetten de trommelvliezen in beweging, net zoals de doekjes in het genoemde voorbeeld. Deze beweging wordt door de middenoorbeentjes door-

gegeven en door het gehoororgaan, ook wel slakkenhuis genaamd, in zenuwimpulsen omgezet. U kunt dit in Figuur 2 zien.

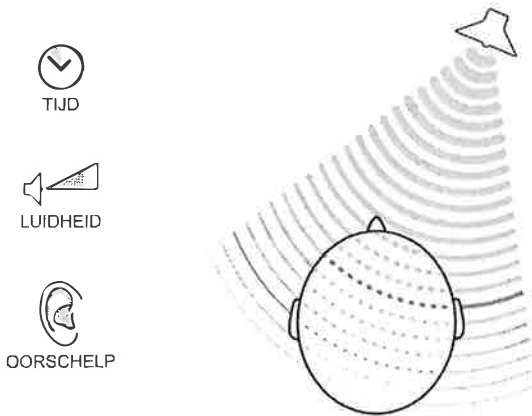


Figuur 2. Het perifere gehoororgaan. Getekend zijn (van links naar rechts) oorschelp, gehoorgang, trommelvlies, middenoorbeentjes, slakkenhuis en oorzenuw.

Een opmerkelijk gegeven is dat het slakkenhuis de geluiden uiteenrafelt op basis van toonhoogte (von Békésy, 1960; Johnstone & Yates, 1974). Dit lijkt in eerste instantie niet zo'n handige aanpak omdat het geen directe scheiding geeft van verschillende geluiden (behalve dan van pieptonen) en ons ook niet helpt bij het achterhalen waar een geluidsbron zich bevindt. Vergeleken daarbij lijkt het visueel systeem het beter aan te pakken: daar wordt al een keurige afbeelding van de ruimte gemaakt in het oog.

Een verdere complicerende factor voor het auditieve systeem is het feit dat de binnenkomende geluidsgolven een optelling zijn van *alle* geluiden uit de omgeving: niet alleen de geluiden die direct van bronnen om ons heen komen, maar ook vele honderden reflecties van nabije oppervlakken. Het visuele equivalent zou zijn dat we voortdurend in spiegelkamers rondlopen. Het moge duidelijk zijn dat het voor het auditieve systeem niet makkelijk is om de "wat" en "waar" vragen

te beantwoorden en dat daarvoor een aantal behoorlijk slimme trucs nodig zijn (Bregman, 1990).



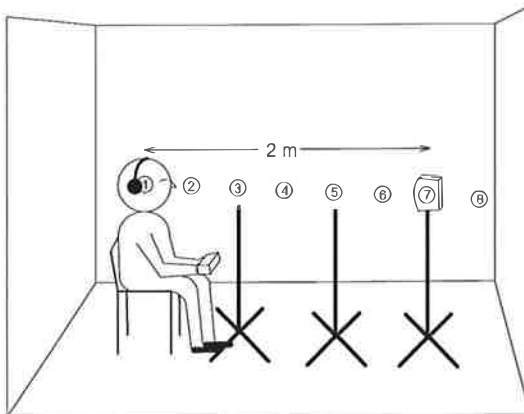
Figuur 3. Hoe wij richting horen. Geluiden van opzij komen eerder aan bij het dichtstbijzijnde oor en zijn ook luider. Verder geven de oorschelpen een richtingsafhankelijke kleuring van het geluid.

In feite is de ordening op basis van toonhoogte, die in eerste instantie zo vreemd lijkt, één van die trucs. Het frequentie-oplossend vermogen van ons gehoororgaan is ongeëvenaard onder meer doordat het gebruik maakt van actieve terugkoppeling (zie b.v. Yates, 1995). Het precies volgen van frequentie-inhoud als functie van de tijd – wij noemen dit een spectrotemporele analyse – is waarschijnlijk de meest optimale manier om complexe geluiden van elkaar te onderscheiden. De beste systemen voor automatische herkenning van spraak – die overigens nog steeds minder presteren dan de menselijke luisteraar – maken gebruik van precies zo'n analyse. Een andere slimmigheid ligt verborgen in het simpele gegeven dat wij twee oren hebben. Het is natuurlijk handig om een reserve-exemplaar te hebben, maar nog meer dan bij onze ogen gebruiken wij deze twee sensoren om de ruimte om ons heen waar te nemen. Zoals u kunt zien in Figuur 3 hebben geluiden die van een bron opzij van ons komen een

verschil in aankomsttijd bij de oren, en is bovendien het geluid bij het dichtstbijzijnde oor luider (Rayleigh, 1907). Daarnaast zijn wij ook nog uitgerust met oorschelpen die een richtingsafhankelijke kleuring aan het geluid geven (Kuhn, 1987). Door al die effecten mee te nemen stelt ons gehoor ons in staat om behoorlijk nauwkeurig, binnen zo'n 5 à 10 graden, een geluidsbron te lokaliseren (Oldfield & Parker, 1984).

Ruimtelijk horen

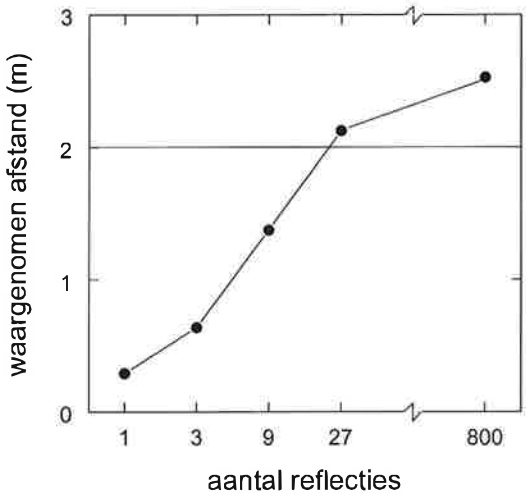
Ik zal nu wat dieper ingaan op ons ruimtelijk horen. Hierbij speelt weer een andere slimigheid van ons gehoor een rol: hoe het omgaat met reflecties. Deze komen uit andere richtingen dan het bron-
geluid, wat betekent dat zij de geluidslokalisatie kunnen verstoren. Ons auditieve systeem gaat dit probleem op simpele maar effectieve wijze te lijf: het gebruikt voor de richtingsbepaling alleen het allereerste begin van een geluid (ongeveer de eerste honderdste seconde) en profiteert daarbij van het gegeven dat reflecties altijd later aankomen dan het directe geluid. Wij noemen dit het "precedence effect", of ook wel de "wet van het eerste golffront" (Litovsky, Colburn, Yost & Guzman, 1999).



Figuur 4. Opstelling voor het onderzoeken van afstandshoren middels virtuele akoestiek

Het fraaie is nu dat het gehoor voor een ander aspect van geluidslokalisatie, namelijk voor het horen van de afstand van een bron, juist *gebruik maakt* van diezelfde reflecties. Samen met mijn toenmalige collega Tammo Houtgast heb ik dit onderzocht in een enigszins wonderlijke opstelling waarbij we proefpersonen voor een luidspreker zetten die geen geluid gaf (Bronkhorst & Houtgast, 1999). Dit is schematisch weergegeven in Figuur 4. De proefpersonen hoorden natuurlijk

wel degelijk geluid – dat werd afgespeeld via een hoofdtelefoon, en het was op een complexe manier bewerkt, die ervoor zorgde dat het leek alsof het door een geluidsbron in de experimenteerruimte werd weergegeven. Om dit mogelijk te maken werden niet alleen de bovengenoemde tijd- en niveauverschillen en de akoestische effecten van de oorschelpen gesimuleerd, maar ook honderden reflecties van de wanden van die ruimte. We noemen deze technologie ook wel “virtuele akoestiek” omdat zij ons in staat stelt een willekeurige bestaande of niet bestaande akoestische omgeving te simuleren. Leuk voor spelletjes maar ook bijvoorbeeld om de akoestiek van een nog niet gebouwde concertzaal te beoordelen.



Figuur 5. Toename van subjectieve afstand als functie van het aantal gesimuleerde reflecties

In ons geval simuleerden we de experimenteerruimte en de luidspreker die vóór de proefpersoon stond. Wij deden dit om te bestuderen hoe de perceptie van afstand verandert wanneer het aantal reflecties wordt verminderd. De waargenomen afstand maten wij simpelweg door proefpersonen te vragen deze te schatten. Dit konden zij doen aan de hand van de posities van het eigen hoofd, van de luidspreker, en van een aantal er tussenin geplaatste statieven (zie Figuur 4). Fi-

guur 5 geeft de resultaten weer. U ziet dat de subjectieve afstand toeneemt met het aantal meegenomen reflecties. De simulatie met het grootste aantal reflecties – ongeveer 800 – werd iets achter de op 2 m afstand geplaatste luidspreker waargenomen. Deze simulatie was dus niet helemaal perfect. Belangrijker is echter dat er eigenlijk helemaal niet zoveel reflecties nodig blijken te zijn om een bron een afstand te geven. In het experiment gaf een dertigtal al een afstand van ongeveer 2 m. We vonden dus dat de waargenomen afstand op een niet-lineaire manier van het aantal reflecties afhangt. Hieruit konden we afleiden dat ons auditieve systeem waarschijnlijk de totale energie van de reflecties gebruikt om afstand te bepalen.

Hoewel we dus de afstand van een bron kunnen horen, is dit toch een proces waarbij wij horende ziend zijn. Dit komt omdat we redelijk goed *verschillen* in afstand kunnen waarnemen, maar eigenlijk te weinig informatie krijgen om *absolute afstanden* te horen. De akoestiek van de omgeving is hierbij een storende factor omdat die bepaalt hoeveel reflecties er ontstaan. Elke keer dat we een andere ruimte binnengaan hebben we ons visuele systeem nodig om ons auditief afstandshoren opnieuw te kalibreren.

Multimodale perceptie

Ik zal nu overstappen van auditieve naar multimodale perceptie. Zoals ik aan het begin van mijn rede aangaf gaan horen en zien vaak samen, en ik heb u het voorbeeld gegeven dat u beter spraak kunt verstaan wanneer u tegelijkertijd het lipbeeld van de spreker kunt zien. Dit is dus een situatie waar multimodale synergie optreedt: de combinatie van modaliteiten levert meer op dan elk van de modaliteiten apart. Zo'n synergie komt vaker voor. Wanneer mensen simpelweg zo snel mogelijk moeten reageren op een stimulus, doen ze dat in de regel het snelste wanneer die multimodaal is. De reactie op een synchroon komend beeld en geluid is bijvoorbeeld 10-20% sneller dan op enkel een beeld of een geluid (zie b.v. Miller, 1991). Als een audiovisuele stimulus ergens om ons heen wordt gegenereerd kunnen wij hem ook sneller en nauwkeuriger lokaliseren dan een visuele of auditieve stimulus (Perrott, Cisneros, McKinley & D'Angelo, 1996; Bolia, D'Angelo & McKinley 1999). Dit is niet alleen zo wanneer we de visuele stimulus niet kunnen zien – dat ligt voor de hand – maar ook wanneer deze midden in ons gezichtsveld verschijnt.

Naast synergie kan er echter ook interferentie optreden. Spraakverstaan wordt lastiger wanneer het lipbeeld niet klopt met wat u hoort, zoals bij nagesynchroniseerde films of wanneer beeld en geluid uit de pas lopen (McGrath & Summerfield, 1985). Ook bij het zo snel mogelijk reageren op stimuli kunnen interferenties optreden. Ik heb u zojuist verteld dat een multimodale stimulus in het algemeen de snelste reactie opwekt. Wanneer we echter onverwacht een stimulus in één modaliteit aanbieden en vlak daarna de reactietijd op een stimulus in een andere modaliteit meten, vinden we juist iets tragere resultaten (Turetto, Benso, Galfano & Umiltà, 2002; Turetto, Galfano, Bridgeman & Umiltà, 2003). Dit komt waarschijnlijk doordat onze aandacht dan van de ene naar de andere modaliteit moet omschakelen, terwijl dat bij een multimodale stimulus niet nodig is. Veel grotere effecten kunnen optreden, en informatie kan zelfs worden gemist wanneer twee unimodale informatiestromen samenkomen en gebruik maken van dezelfde resources, bijvoorbeeld voor de verwerking van taal. Een evident voorbeeld is dat het vrijwel onmogelijk is tegelijkertijd te lezen en naar iemand te luisteren. Een ander voorbeeld is telefoneren tijdens het autorijden. Als u dat netjes hands-free doet denkt u

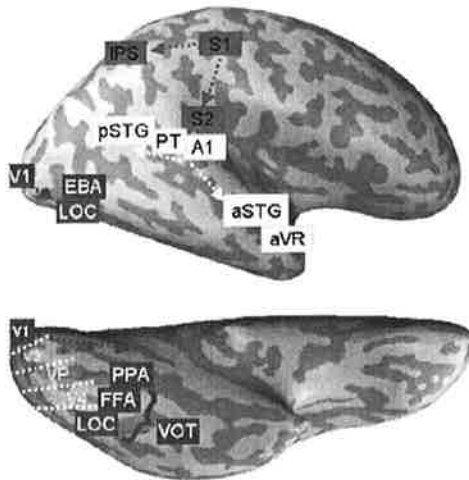
waarschijnlijk dat er niets aan de hand is, maar hoe vaak bent u dan al verkeerd gereden of heeft u bijna-ongelukken gehad? Onderzoek toont aan dat het telefoneren wel degelijk de rijprestatie beïnvloedt en dat er dus crossmodale interferentie optreedt (Strayer, Drews & Johnston, 2003). Deze interferentie is waarschijnlijk enerzijds het gevolg van belemmeringen in de verwerking van informatie, en heeft anderzijds te maken met hoe wij aandacht verdelen over verschillende taken die wij tegelijkertijd uitvoeren (Johnson & Proctor, 2004).

Een specifieke vorm van crossmodale interferentie treedt op wanneer conflicterende multimodale informatie moet worden verwerkt. Ik heb al twee voorbeelden genoemd: het buiksprekerseffect en het fenomeen dat het aantal flitsen dat iemand ziet kan worden beïnvloed door geluiden die tegelijkertijd worden afgespeeld. Een algemeen principe bij de verwerking van conflicterende informatie, dat aangeeft dat onze hersenen zeer pragmatisch te werk gaan, is dat de modaliteit die de relevante informatie het nauwkeurigste codeert, de perceptie overheerst (Welch, Duttonhurt & Warren, 1986). Het buiksprekerseffect, waarbij onze perceptie wordt bepaald door de bewegende mond, berust bijvoorbeeld op het feit dat we visueel veel preciezer kunnen lokaliseren dan auditief.

Ik heb het in het begin van mijn rede over aandacht gehad en het toen niet betrokken op één specifieke modaliteit. Eerder onderzoek naar aandacht is echter voornamelijk unimodaal geweest. Het vroege onderzoek, in de jaren '50 en '60 van de vorige eeuw, richtte zich vrijwel geheel op ons gehoor (Cherry, 1953; Broadbent, 1956; Moray, 1959; Treisman, 1960; Treisman, 1964). Dit was waarschijnlijk technologisch gedreven, want in die tijd kwamen stereo bandrecorders op de markt waarmee men via een hoofdtelefoon verschillende spraaksignalen aan de twee oren kon aanbieden. Mensen bleken heel goed in staat te zijn om hun aandacht op één oor te richten en konden dan nauwelijks terughalen wat er op het andere oor was gezegd, behalve – ik heb dit voorbeeld al genoemd – wanneer ze iets opvallends zoals hun eigen naam hoorden.

Later keerden de onderzoekers zich *en masse* van het gehoor af en richtten ze zich op visuele perceptie. Niet geheel toevallig gebeurde dit in de periode toen computers en beeldschermen beschikbaar

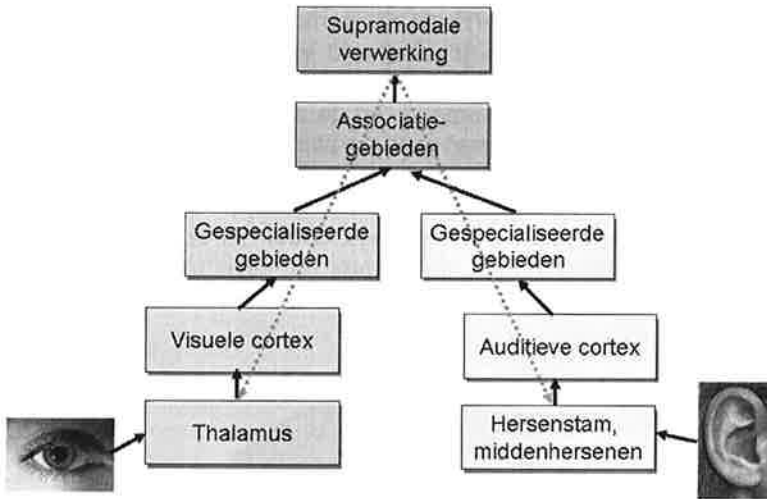
kwamen. Dit onderzoek heeft ons geleerd dat visuele aandacht primair ruimtelijk is, en dat het vergeleken kan worden met een zoeklicht dat je kunt richten en dat de ruimte selectief verlicht (Eriksen & Hoffman, 1973). De vergelijking gaat niet helemaal op omdat aandacht meer aan *objecten* in de ruimte gekoppeld lijkt te zijn dan aan de ruimte zelf (zie b.v. Goldsmith, 1998). Multimodale aandacht wordt eigenlijk pas sinds kort onderzocht en vormt een nog grotendeels onontgonnen gebied. Wat we bijvoorbeeld weten is dat de prestatie voor diverse audiovisuele taken beter is wanneer auditieve en visuele stimuli uit dezelfde richting komen – en de aandacht dus op één plek gericht kan worden – dan wanneer de stimuli ruimtelijk gescheiden zijn (Driver & Spence, 1998). Het is echter nog nauwelijks bekend hoe auditieve en visuele aandacht precies gekoppeld zijn. Bovendien heeft auditieve aandacht een duidelijk ander karakter dan visuele aandacht. Het is bijvoorbeeld niet primair ruimtelijk maar kan zich op allerlei aspecten van geluid richten, bijvoorbeeld op toonhoogte (Scharf, 1998).



Figuur 6. Hersengebieden betrokken bij uni-en multimodale perceptie (uit Amedi et al., 2005).

Ik heb tot nu toe voornamelijk resultaten van gedragsexperimenten besproken, maar ik wil ook even ingaan op onderzoek dat direct kijkt

naar hoe perceptuele informatie in de hersenen wordt verwerkt. Naast het al langer bestaande dierexperimentele werk en onderzoek naar effecten van beschadigingen is er een toenemend aantal studies dat elektro-fysiologische en beeldvormende methoden gebruikt die niet-invasief zijn en dus ook bij mensen kunnen worden toegepast.

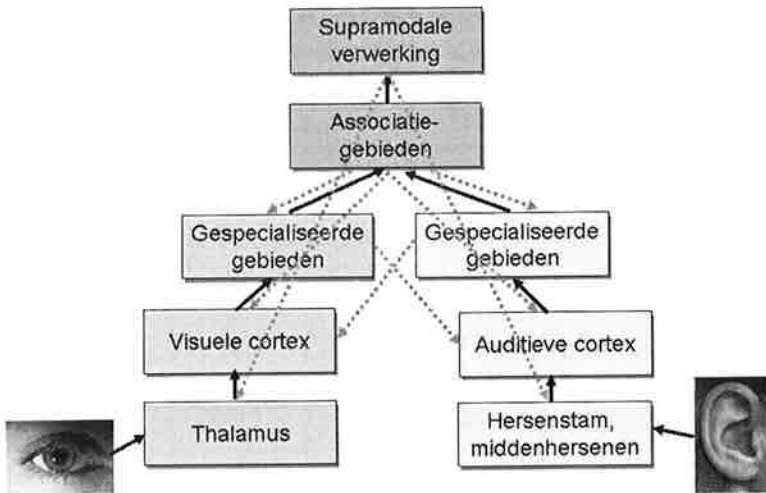


Figuur 7. Eenvoudig model voor audiovisuele informatieverwerking.

Ik wil u een voorbeeld geven en beperk me daarbij tot gebieden die betrokken zijn bij verwerking van de *inhoud* van auditieve, visuele en tactiele stimuli. (Dit zijn dus de eerder genoemde delen die zich met de "wat" vraag bezig houden). Een aantal van deze gebieden is aangegeven in Figuur 6 (Amedi, von Kriegstein, van Atteveldt, Beauchamp & Naumer, 2005). Drie clusters van gebieden met verschillende dominante modaliteiten zijn zichtbaar: de 3 bovenste gebieden zijn tactiel; de 5 middelste auditief en de overige visueel. Letters met nummers er achter (b.v. V1, A1) geven primaire (unimodale) gebieden aan. Verder zijn gespecialiseerde gebieden en enkele multimodale gebieden weergegeven, die ook wel associatiegebieden worden genoemd. De FFA is bijvoorbeeld een gespecialiseerd gebied voor verwerking van visuele gezichts informatie. De aVR is een asso-

ciatiegebied dat audiovisuele informatie relevant voor persoonsherkenning samenbrengt.

Eerder dacht men dat een dergelijke topografie correspondeert met een relatief simpel model voor verwerking van multimodale informatie, dat schematisch is weergegeven in de Figuur 7. Hierbij passeert de informatie eerst de primaire cortices, waarna verwerking in gespecialiseerde gebieden en samenvoeging in associatiegebieden plaatsvindt. Hogere verwerking treedt in supramodale gebieden op die via terugprojecties feedback geven naar unimodale systemen.



Figuur 8. Een meer realistisch model voor audiovisuele informatieverwerking.

Dit fraaie model is helaas bezijden de waarheid. De realiteit – “the ugly facts” zoals theoretici het wel noemen – is veel complexer. Recente anatomische en elektrofysiologische studies suggereren dat er veel meer dwarsverbindingen en terugkoppelingen zijn en dat er zelfs al zeer snel na aanbieding van een stimulus (binnen een paar honderdste seconden) crossmodale activiteit is (Giard & Peronnet, 1999; Fort, Delpuech, Pernier & Giard, 2002; Falchier, Clavagnier, Barone & Kennedy, 2002; Calvert & Thesen, 2004). Dit zou betekenen dat er

al verbindingen zijn op het niveau van de primaire cortices. Het plaatje ziet er dus eerder als Figuur 8 uit. Deze studies leren ons dus vooral dat we nog erg weinig weten van hoe hersenprocessen precies verlopen.

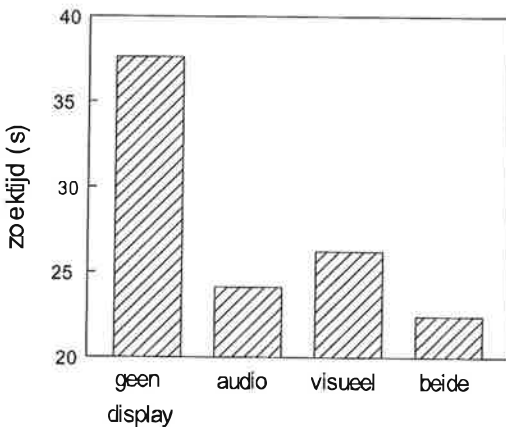
Onderzoeksagenda

Na dit summiere overzicht van het onderzoeksveld is het tijd iets te vertellen over mijn onderzoeksagenda. Allereerst zie ik het als een belangrijke taak, en bevind ik mij ook in een goede positie, om samenwerking te realiseren tussen de VU, TNO en andere partijen. Niet alleen het feit dat ik op twee plekken werk helpt daarbij, maar ook dat ik als fysicus hier nauw samenwerk met psychologen. Juist binnen dit soort verbanden en door op het snijvlak van verschillende disciplines te werken kan synergie worden gecreëerd. Deze kan bestaan uit het eenvoudigweg uitwisselen van kennis, maar veel spannender is, dat het nieuwe inzichten, onderzoeksvragen en methodologieën kan opleveren. Ik wil nu een drietal concrete leiddraden noemen voor mijn onderzoek alhier.

Multimodale perceptie is niet alleen een alledaags fenomeen maar ook iets dat relevant is voor menselijk presteren en mens-machine interfaces, onderwerpen waar mijn werkgever TNO zich al lange tijd mee bezig houdt. Vanuit het perspectief van toegepast onderzoek is het dan ook belangrijk om te achterhalen onder welke voorwaarden multimodale synergie optreedt, of juist crossmodale interferentie. Dit zal één van de leiddraden van mijn onderzoek zijn. Daarnaast is het zo – ik heb het al genoemd – dat aandacht en perceptie onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn omdat aandacht bepaalt welke zintuiglijke informatie uiteindelijk gebruikt wordt. Het is dus belangrijk om aandachtsprocessen in het onderzoek naar multimodale perceptie te betrekken. Dit zal de tweede leiddraad van mijn onderzoek zijn. Deze keuze heeft natuurlijk te maken met het feit dat aandacht één van de hoofdthema's is van het onderzoek bij de Afdeling Cognitieve Psychologie waaraan ik verbonden ben.

Ik zal de relevantie van mijn keuzes verduidelijken aan de hand van een voorbeeld. Een piloot die een vliegtuig bestuurt moet snel informatie kunnen verwerken, met name wanneer er gevaarlijke situaties optreden zoals bijna-botsingen of, in een militair vliegtuig, een dreiging van een grond-lucht raket. Het is bekend – wij hebben daar meerdere studies naar gedaan – dat we prestaties kunnen verbeteren door informatie multimodaal aan te bieden (Bronkhorst, Veltman & van Breda, 1996; Oving, Veltman & Bronkhorst, 2004; Veltman,

Oving & Bronkhorst, 2004). In Figuur 9 zijn bijvoorbeeld resultaten weergegeven voor een vliegtuig waarbij de piloot zo snel mogelijk een ander vliegtuig moest opsporen. Met alleen visuele informatie – een radarscherm, of alleen auditieve – een geluid dat de richting van het tweede vliegtuig aangaf – ging dat minder goed als met beide tegelijk (Bronkhorst et al., 1996). We weten echter nog niet goed *hoe* we de multimodale informatie het beste kunnen aanbieden. Mogelijk nog belangrijker is dat we de informatieverwerking onbedoeld kunnen verslechteren. Informatie in één modaliteit kan elkaar in de weg zitten – we noemen dit ook wel *clutter* – of kan onvoldoende pregnant zijn en dan gemist worden. Verder zijn aandachtsprocessen van belang. Wanneer een piloot bijvoorbeeld in een zeer kritische situatie terecht komt en snel moet handelen, heeft hij de neiging om informatie buiten te sluiten, en is het dus belangrijk dat cruciale signalen in voldoende mate de aandacht kunnen trekken.



Figuur 9. Zoektijden in een vliegsimulatie-experiment met auditieve, visuele of audiovisuele ondersteuning.

Tenslotte denk ik dat het belangrijk is om de resultaten van functioneel hersenonderzoek bij het psychologisch onderzoek te betrekken. Dit zal de derde leidraad van mijn onderzoek zijn. fMRI studies zijn het eerste stadium van “plaatjes maken” allang ontgroeid en geven

ons nu nauwkeurig inzicht in de topologie en de functionele verbindingen van hersengebieden. MEG en evoked response studies geven aanvullende inzichten in hoe processen in de tijd verlopen. Samen met resultaten op celniveau die voortkomen uit elektrofysiologisch onderzoek bij proefdieren levert dit een steeds completer en gedetailleerder beeld op van hoe informatieverwerking in de hersenen plaatsvindt. Dit beeld is een belangrijke "reality check" voor modellen die in de experimentele psychologie worden opgesteld, dient als inspiratie voor nieuwe lijnen van onderzoek, en levert de grondslag voor toekomstige "brain-machine interfaces", die een directe interactie tussen onze hersenen en onze omgeving mogelijk zullen maken.

De leidraden die ik heb genoemd zijn niet alleen vrome wensen – gelukkig kan ik ze momenteel al in de praktijk toepassen. Ongeveer gelijktijdig met mijn aanstelling is een door Jan Theeuwes en mijzelf ingediend STW voorstel gehonoreerd waarvoor inmiddels twee AIO's aangesteld zijn. Het voorgestelde onderzoek richt zich met name op crossmodale interferenties die ontstaan door bottlenecks in de verwerking en we gebruiken het "attentional blink" paradigma om deze op het spoor te komen (Chun & Potter, 1995; Raymond, Shapiro & Arnell, 1992; Arnell & Jolicoeur 1999). In dit paradigma zitten in een stroom snel achter elkaar komende stimuli twee targets verborgen die achteraf moeten worden gerapporteerd. Als het tweede target minder dan een halve seconde na het eerste komt, kan het niet altijd gedetecteerd worden, terwijl het wel wordt waargenomen. Onze eerste resultaten laten zien dat deze "attentional blink" voornamelijk unimodaal optreedt – wanneer beide targets in dezelfde modaliteit worden gepresenteerd – en nauwelijks crossmodaal – wanneer bijvoorbeeld het eerste auditief is en het tweede visueel. Het multimodale systeem doet het dus beter dan we verwachtten en dit is goed nieuws voor ontwerpers van multimodale displays. In het verdere onderzoek willen we andere paradigma's betrekken en tevens experimenten in een toegepaste setting uitvoeren – het plan is om bij TNO rijssimulator-experimenten te doen. Uiteindelijk dienen er concrete richtlijnen voor het ontwerp van multimodale interfaces opgeleverd te worden.

Hoewel het zwaartepunt van mijn werk bij het onderzoek zal liggen wil ik ook graag een bijdrage aan het onderwijs leveren. Voor studen-

ten is het belangrijk om te weten hoe cognitieve psychologie in de praktijk wordt toegepast en binnen het vak toegepaste cognitieve psychologie zal ik de gelegenheid krijgen concrete voorbeelden uit de TNO praktijk aan te dragen. Verder zal jaarlijks een groep master studenten worden uitgenodigd om met TNO kennis te maken. Gelukkig bestaat er al een lange traditie van psychologie studenten die bij TNO hun onderzoeksstage doen, dus daar bestaat mijn bijdrage enkel uit het bewaken van de continuïteit. Tenslotte wil ik alert zijn op het signaleren van afgestudeerden die de ambitie hebben om toegepast onderzoek te gaan doen – dat kunnen goede kandidaten zijn voor vacatures die met regelmaat bij TNO ontstaan.

Dankwoord

Hoewel je als wetenschapper probeert individuele accenten te plaatsen en soms zelfs tegendraads moet zijn, is het bedrijven van wetenschap vooral een sociale activiteit, waarbij samenwerking essentieel is en hulp van anderen onontbeerlijk.

Voor die hulp wil ik een aantal organisaties en individuele personen bedanken. Allereerst gaat mijn dank uit naar de Vrije Universiteit, in het bijzonder de Faculteit Psychologie en Pedagogie, naar TNO en naar de Stichting Lorentz-van Itersonfonds TNO, die gezamenlijk deze bijzondere leerstoel hebben ingesteld en mijn benoeming hebben verzorgd. In het bijzonder wil ik een drietal personen bedanken die deze benoeming mogelijk hebben gemaakt: Jan Theeuwes, hoofd van de afdeling Cognitieve Psychologie waaraan ik verbonden ben, die het initiatief heeft genomen om aan de leerstoel een andere invulling te geven en die het verdere proces van nabij heeft begeleid; mijn voormalig directeur bij TNO Dick van Norren, die mij heeft voorgedragen en ondersteund, en, vanuit de stichting LIFT, Freek Heidekamp, die mij zeer nuttige adviezen heeft gegeven bij mijn aanvraag, en die de overname van de leerstoel door LIFT heeft verzorgd.

Met mijn benoeming hier bij de VU kom ik op mijn oude stek terug omdat ik mijn carrière bij de afdeling KNO van het Medisch Centrum van de VU ben begonnen. Ik denk nog steeds met veel plezier terug aan de jaren die ik hier heb doorgebracht en ik ben dankbaar voor wat ik heb mogen leren. Twee aspecten wil ik in het bijzonder noemen. In de eerste plaats heeft het werken met patiënten mij dicht bij de praktijk gebracht en mij geleerd hoe belangrijk het is om wetenschap binnen een maatschappelijke context te bedrijven. In de tweede plaats heb ik het wetenschappelijke handwerk kunnen leren van een oude meester: Reinier Plomp, destijds hier werkzaam als hoogleraar Experimentele Audiologie. Reinier, graag wil ik je bedanken voor de inspiratie die je me hebt gegeven, voor je hulp, en je betrokkenheid.

Na mijn overstap naar TNO kwam ik onder de hoede van een andere oude rot in het vak, Tammo Houtgast, toen afdelingshoofd aldaar, en nu hoogleraar Experimentele Audiologie alhier. Tammo, ik heb diver-

se reviewers overleefd, maar was altijd het meeste bevreesd voor jouw summiere, achteloos in de kantlijn geschreven commentaren. Ik bedank je dat je me op deze manier altijd scherp hebt gehouden, maar niet minder bedank ik je voor je warme ondersteuning en de ruimte die je me altijd hebt gegeven.

TNO is in de 16 jaren dat ik er werk sterk veranderd. In Soesterberg heeft de transformatie plaatsgevonden van een in "splendid isolation" opererend wetenschappelijk instituut naar een binnen een Kerngebied opererende business unit. De grote collegialiteit die ik bij TNO heb ondervonden is echter in die tijd niet veranderd. Ik wil mijn huidige en voormalige TNO collega's dan ook van harte bedanken voor hun stimulerende en inspirerende samenwerking. In het bijzonder wil ik de mensen van de afdeling Human Interfaces noemen, een groep enthousiaste en toegewijde mensen waar ik graag onderdeel van ben, mijn gedreven collega's binnen het management team, de directie van het Kerngebied, en, "last but not least" mijn "maatje" van het eerste uur Bernd de Graaf, met wie ik het al jaren even hartgrondig eens als oneens kan zijn.

Mijn nieuwe collega's bij de afdeling Cognitieve Psychologie wil ik graag bedanken voor de manier waarop ze me vanaf het eerst uur thuis hebben laten voelen. Dat maakt het werken hier zeer plezierig. In het bijzonder wil ik mijn kamergenoot Mieke Donk noemen.

Dan kom ik nu bij de twee mensen die mij het meeste na staan. Julia, ik ben blij dat je er bij bent en ik hoop dat het moeilijke verhaal van je vader een beetje kon volgen. Loes, voor jouw steun en de ruimte die je me geeft om veel te veel te studeren en te werken sta ik diep bij je in het krijt. Ik kan je in ieder geval beloven dat ik de komende tijd meer tijd met jou heb voor andere multimodale bezigheden.

Ik heb gezegd

Referenties

- Amedi, A., von Kriegstein, K., van Atteveldt, N.M., Beauchamp, M.S. & Naumer, M.J. (2005). Functional imaging of human crossmodal identification and object recognition. *Experimental Brain Research* 166, 559–571.
- Arnell, K. M. & Jolicoeur, P. (1999). The attentional blink across stimulus modalities: Evidence for central processing limitations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 25, 630–648.
- Belin P, Zatorre RJ (2000) 'What', 'where', and 'how' in auditory cortex. *Nature Neuroscience* 3, 965–966.
- von Békésy, G. (1960). *Experiments in Hearing*. Wiley, New York.
- Bolia, R.S., D'Angelo, W.R., McKinley, R.L. (1999). Aurally aided visual search in three-dimensional space. *Human Factors* 41, 664–669.
- Bregman, A.S. (1990). *Auditory scene analysis: The perceptual organization of sound*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Broadbent, D.E. (1956). Successive responses to simultaneous stimuli. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 8, 142–152.
- Bronkhorst, A.W., Veltman, J.A. & Van Breda, L. (1996). Application of a three-dimensional auditory display in a flight task. *Human Factors*, 38, 23–33.
- Bronkhorst, A.W. & Houtgast, T. (1999). Auditory distance perception in rooms. *Nature* 397, 517–520.
- Calvert, G.A. & Thesen, T. (2004). Multisensory integration: methodological approaches and emerging principles in the human brain. *Journal of Physiology - Paris* 98, 191–205.
- Cherry, E.C. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *Journal of the Acoustical Society of America* 25, 975–979.
- Chun, M. M. & Potter, M. C. (1995). A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 21, 109–127.
- Driver, J. & Spence, C.J. (1998). Attention and the crossmodal construction of space. *Trends in Cognitive Sciences* 2, 254–262.

- Eriksen, C.W. & Hoffman, J.E. (1973). The extent of processing noise elements during selective encoding from visual displays. *Perception and Psychophysics* 14, 155–160.
- Falchier, A., Clavagnier, S., Barone, P. & Kennedy, H. (2002). Anatomical evidence of multimodal integration in primate striate cortex. *Journal of Neuroscience* 22, 5749–5759.
- Fort, A., Delpuech, C., Pernier, J. & Giard, M.H. (2002). Early auditory–visual interactions in human cortex during nonredundant target identification. *Cognitive Brain Research* 14 (2002) 20–30.
- Giard, M.H., Peronnet, F. (1999). Auditory–visual integration during multimodal object recognition in humans: a behavioral and electrophysiological study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 11, 473–490.
- Goldsmith, M. (1998). What's in a location? Comparing object-based and space-based models of feature integration in visual search. *Journal of Experimental Psychology: General* 127, 189–219.
- Goldstein, E.B. (1996). *Sensation & Perception*. Brooks/Cole, Pacific Grove.
- Johnson, A. & Proctor, R.W. (2004). *Attention. Theory and Practice*. Sage, Thousand Oaks.
- Johnstone, B.M. & Yates, G.K. (1974). BM tuning curves in the guinea pig. *Journal of the Acoustical Society of America* 55, 584–587.
- Kamitani, Y. & Shimojo, S. (2001). Sound-induced visual "rabbit" [Abstract]. *Journal of Vision* 1, 478a (<http://journalofvision.org/1/3/478>).
- Kuhn, G.F. (1987). Physical acoustics and measurements pertaining to directional hearing. In *Directional Hearing* (W.A. Yost & G. Gourevitch), Springer, New York, 3–26.
- Litovsky, R.Y., Colburn, H.S., Yost, W.A. & Guzman, S.J. (1999). The precedence effect. *Journal of the Acoustical Society of America* 106, 1633–1654.
- McGrath, M & Summerfield, Q. (1985). Intermodal timing relations and audio-visual speech recognition by normal-hearing adults. *Journal of the Acoustical Society of America* 77, 678–685.
- Middelweerd, M.J. & Plomp, R. (1987). The effect of speechreading on the speech-reception threshold of sentences in noise. *Journal of the Acoustical Society of America* 82, 2145–2147.

Miller, J. (1991). Channel interaction and the redundant-targets effect in bimodal divided attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 17, 160–169.

Mishkin, M., Ungerleider, L.G. & Macko, K.A. (1983). Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. *Trends in Neuroscience* 6, 414–417.

Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 11, 56–60.

Oldfield, S.R., & Parker, S.P.A. (1984). Acuity of sound localisation: A topography of auditory space. I. Normal hearing conditions. *Perception* 13, 581–600.

Oving, A.B., Veltman, J.A. & Bronkhorst, A.W. (2004). Effectiveness of 3-D audio for warnings in the cockpit. *International Journal of Aviation Psychology* 14, 257–276.

Perrott, D.R., Cisneros, J., McKinley, R.L. & D'Angelo, W.R. (1996). Aurally aided visual search under virtual and free-field listening conditions. *Human Factors* 38, 702–715.

Rayleigh, L. (1907). On our perception of sound direction. *Philosophical Magazine* 13, 214–232.

Raymond, J.E., Shapiro, K.L. & Arnell, K.M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 18, 849–860.

Scharf, B. (1998). Auditory attention: the psychophysical approach. In *Attention* (H. Pashler). Psychology Press, Hove, UK.

Strayer, D. L., Drews, F. A., & Johnston, W. A. (2003). Cell phone induced failures of visual attention during simulated driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied* 9, 23–52.

Summy WH, Pollack I (1954) Visual contribution to speech intelligibility in noise. *Journal of the Acoustical Society of America* 26, 212–215.

Theeuwes, J. (1993). Visual selective attention - A theoretical analysis. *Acta Psychologica* 83, 93–154.

Thurlow, W.R. & Jack, C.E. (1973) Some determinants of localization adaptation effects for successive auditory stimuli. *Journal of the Acoustical Society of America* 53, 1573–1577.

Treisman, A.M. (1960). Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 12, 242–248.

Treisman, A.M. (1964). The effect of irrelevant material on the efficiency of selective listening. *American Journal of Psychology* 77, 533–546.

Turatto M., Benso F., Galfano G. & Umiltà C. (2002) Nonspatial attentional shifts between audition and vision. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 28, 628–639.

Turetto, M., Galfano, G., Bridgeman, B. & Umiltà, C. (2003). Space-independent modality-driven attentional capture in auditory, tactile and visual systems. *Experimental Brain Research* 155, 301–310.

Mishkin, M., Ungerleider L.G. & Macko, K.A. (1983). Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. *Trends in Neuroscience* 6, 414–417.

Veltman, J.A., Oving, A.B. & Bronkhorst A.W. (2004). 3-D Audio in the fighter cockpit improves task performance. *International Journal of Aviation Psychology* 14, 239–256.

Yates, G.K. (1995). Cochlear structure and function. In *Hearing* (B.C.J. Moore), Academic Press, New York.

Welch, R.B., Duttonhurt, L.D. & Warren, D.H. (1986). Contributions of audition and vision to temporal rate perception. *Perception and Psychophysics* 39, 294–300.

Curriculum Vitae

Adelbert Bronkhorst werd op 1 januari 1958 geboren in Horn, Limburg. Na doorlopen van het Gymnasium in Geleen studeerde hij wis- en natuurkunde aan de Universiteit van Amsterdam. Tijdens zijn studie liep hij stage bij het Nederlands Instituut voor Kern en Hoge Energie Fysica (Nikhef) in Amsterdam, onder begeleiding van Coen de Vries en Peter de Witt Huberts. Dit resulteerde in een scriptie over een coïncidentiemeting die in een nieuwe opstelling met de 500 MeV lineaire versneller van het Nikhef werden uitgevoerd. In 1982 studeerde hij cum laude af in de experimentele natuurkunde. Van 1983 tot 1989 werkte hij als audioloog bij Theo Kapteyn in de afdeling klinische audiologie van het medisch centrum van de Vrije Universiteit in Amsterdam; vanaf 1985 als waarnemend afdelingshoofd. In 1990 promoveerde hij bij de medische faculteit van de VU op het proefschrift "Binaural Aspects of Speech Perception in Noise". Zijn promotor was Reinier Plomp. Daarvoor – in 1989 – had hij al de overstap gemaakt van de VU naar het TNO Instituut voor Zintuigfysiologie in Soesterberg, waar hij zich specialiseerde in de psychofysica van het gehoor. Hij werkte daar nauw samen met Tammo Houtgast en binnen diens afdeling leidde hij vanaf 1995 een onderzoeksgroep. In 2000 werkte hij gedurende een half jaar als research fellow bij het Hanse Wissenschaft Kolleg in Duitsland in een samenwerkingsproject met Birger Kollmeier van de Universiteit van Oldenburg. In 2003 werd hij afdelingshoofd bij TNO en, na een reorganisatie, in 2005 hoofd van de afdeling Human Factors, één van de vier afdelingen wat nu business unit Human Factors heet, onderdeel van het TNO Kerngebied Defensie en Veiligheid. In datzelfde jaar werd hij vanwege de Stichting Lorentz-van Itersonfonds TNO benoemd tot bijzonder hoogleraar ergonomie aan de Faculteit Pedagogie en Psychologie van de VU. Hij is verbonden aan de afdeling Cognitieve Psychologie, geleid door Jan Theeuwes. Zijn leerstoel richt zich op toegepaste cognitieve psychologie en op multimodale perceptie.

