De waarneming van spraak

Heuven, V.J.J.P. van

HOOFDSTUK 4 DE WAARNEMING VAN SPRAAK

Vincent J. van Heuven

Vakgroep Algemene Taalwetenschap/Fonetisch Laboratorium Rijksuniversiteit Leiden Postbus 9515 2300 RA Leiden

SAMENVATTING

Dit hoofdstuk behandelt de bouw en werking van het menselijk oor met speciale aandacht voor de waarneming van eigenschappen van spraakgeluiden Tevens wordt de gevoeligheid van het oor voor klankverschillen besproken Tenslotte wordt ingegaan op de mogelijk unieke status van spraakwaarneming in de menselijke perceptie

1 INLEIDING

De waarneming van spraak is een ingewikkeld proces waarvan we nog maar een fracti begrijpen Spraakwaarneming is een bijzondere vorm van geluidswaarneming De wa neming van spraak verloopt dan ook vooral via het gehoor Overigens merken we hierbij meteen op dat spraak ook een visueel aspect heeft Een luisteraar weet niet alleen hoe spraak moet klinken, hij weet ook welke bewegingen een spreker met zijn kaak en lippe maakt om een bepaalde klankreeks voort te brengen Als het beeld van de spreker en het spraakgeluid niet met elkaar sporen, zoals bij een slechte (na)synchronisatie op de televisie dan merken we dat meteen, en storen ons daaraan Er zijn aanwijzingen dat in zulke gevallen de verstaanbaarheid van de spraakboodschap te lijden heeft [13, 20, 30] Toch z l duidelijk zijn dat het geluidsaspect bij het spraakverstaan overweegt Blinden versta spraak moeiteloos, doven houden ook na een training in liplezen veel problemen In dit hoofdstuk beperken we de waarneming van spraak dan ook tot het geluidsaspect

Om spraak te kunnen verstaan moeten we spraak kunnen horen Horen doen we met onze oren In het hoofdstuk van 'T HART is verteld dat (spraak)geluid als akoestisch verschijnsel niets anders is dan kleine, maar heel snel op elkaar volgende, verstoringen van de luchtdruk Zulke luchtdrukverstoringen (of trillingen) worden in ons oor omgezet in *zenuwimpulsen*, die onze hersenen vertellen dat er geluid klinkt In uitzonderlijke gevallen kunnen zulke zenuwimpulsen spontaan optreden zonder dat er akoestisch geluid aan te p is komt Iedereen heeft wel eens een 'piep in zijn oor', ook zijn er gehoorstoornissen (bijvoorbeeld *tinnetus aurei*) waarbij de patient constant geplaagd wordt door een luid gerinkel waar geen aanwijsbare akoestische oorzaak voor is Wij zullen in dit hoofdstuk onder meer nagaan hoe akoestische trillingen in het oor worden omgezet in zenuwimpulsen, en welke eigenschappen van de geluidstrillingen in deze zenuwimpulsen bewaard blijven Eigenschappen die niet op een of andere manier vertaald worden in zenuwimpulsen worden niet gehoord en kunnen geen invloed hebben op het proces van spraakverstaan Omdat de materie al ingewikkeld genoeg is zal een aantal complicaties bij het spraakverstaan buiten beschouwing blijven

Marcel P R van den Broecke Het Spraak Spraak als betekenisvol geluid in 36 thematische hoofdstukken © 19

Mensen weten feilloos wat spraakgeluid is en wat niet Het is op dit ogenblik niet mogelijk precies te definieren welke eigenschappen geluiden moeten bezitten om als menselijk spraakgeluid herkend te worden

Menselijke luisteraars hebben vrijwel onmiddellijk in de gaten of zij in hun eigen taal of in een andere taal worden toegesproken Het is niet bekend hoe snel na het begin van een spraakuiting, en op basis van welke geluidseigenschappen, we beslissen of we naar onze eigen taal luisteren of naar een vreemde taal Wel is bekend dat we, ook zonder woorden te verstaan, alleen al aan de hand van de *zinsmelodie* kunnen vaststellen dat we naar een vreemde taal luisteren [12, en referenties aldaar]

Voorts zijn mensen in staat om heel nauwkeurig te bepalen waar geluiden vandaan komen, zowel naar richting als naar afstand Bij het normale spraakverstaan speelt dit vermogen geen merkbare rol Toch is gemakkelijk aan te tonen dat we een zwaar beroep doen op dit vermogen als we de stemmen van meerdere sprekers tegelijk uit elkaar moeten houden Wie wel eens een monobandopname (dus zonder richtingsinformatie) van een discussie heeft moeten uitschrijven, weet uit ervaring hoe moeilijk dit wordt zodra twee of meer sprekers door elkaar heen praten

Meer in het algemeen zijn wij mensen onbegrijpelijk knap in wat wel *selectief luisteren* genoemd wordt We zijn in staat de spraak van een spreker te blijven volgen onder de meest barre omstandigheden, ondanks de aanwezigheid van achtergrondlawaai, stoorgeluiden en andere sprekers [15] Er zijn zelfs situaties waarin we spraak beter kunnen verstaan in achtergrondlawaai dan in stilte

Van deze vermogens begrijpen we nog maar weinig Natuurlijk zouden we er graag veel meer van willen weten, niet alleen uit nieuwsgierigheid, maar ook omdat we dan wellicht met meer succes kunnen toewerken naar machines en computersystemen die onder realistische omstandigheden menselijke spraak kunnen verstaan

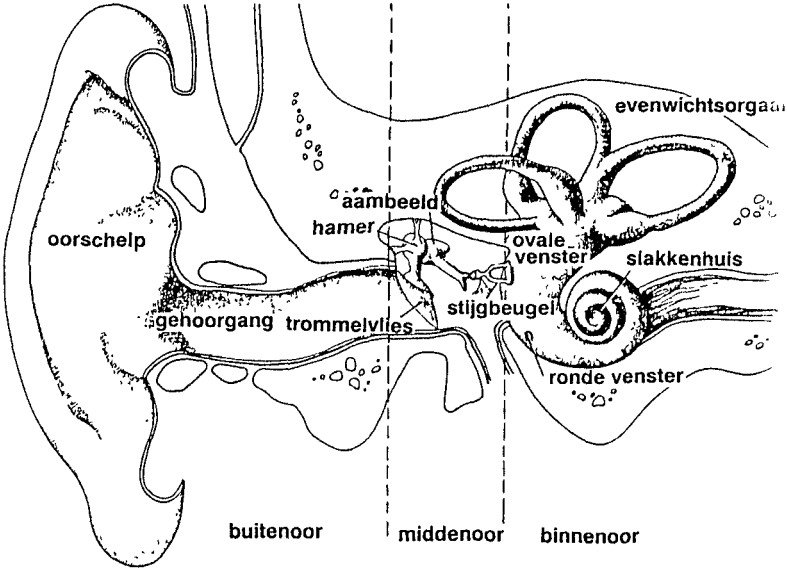
2 Het oor

Het is gebruikelijk het oor onder te verdelen in drie stukken, het *buitenoor*, het *middenoor* en het *binnenoor* Zoals duidelijk is uit de tekening in Figuur 1, omvat het buitenoor de *oorschelp*, en de *gehoorgang*, die loopt tot aan het *trommelvlies* De oorschelp helpt bij het richting horen

Het middenoor is de ruimte die zich bevindt tussen het trommelvlies aan de buitenkant en het ovale venster meer hoofdinwaarts De luchtdrukverschillen duwen het trommelvlies beurtelings naar binnen en zuigen het naar buiten Via drie minuscule botjes, die naar hun uiterlijk *hamer*, *aambeeld* en *stijgbeugel* genoemd zijn, wordt de beweging van het trommelvlies doorgegeven aan het ovale venster Omdat het ovale venster een veel kleiner oppervlak heeft dan het trommelvlies en omdat de botjes als een hefboom werken, worden de zwakke bewegingen van het trommelvlies mechanisch versterkt De hamer kan in zijn bewegingen geremd worden door kleine spiertjes die reflexmatig worden aangespannen wanneer het oor getroffen wordt door heel luide, lage trillingen Na bijvoorbeeld een rockconcert blijven we enige tijd hardhorend omdat deze zelfbeschermingsreflex zich niet meteen ontspant Helaas komt de reflex te langzaam op gang om ook gehoorbeschadiging als gevolg van knallen en explosies te voorkomen

Pas echt interessant wordt het in het binnenoor Het binnenoor, dat om voor de hand liggende redenen (zie Figuur 1) ook wel het *slakkehuis* wordt genoemd, is aan de boven-

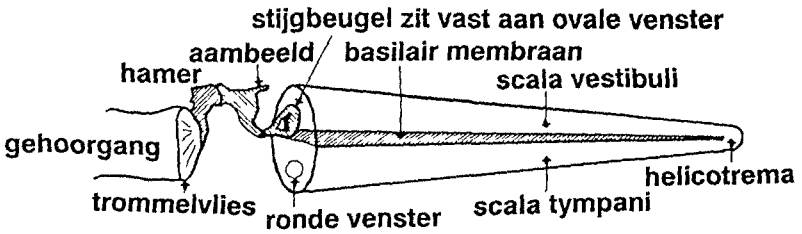
zijde getooid met drie halfcirkelvormige buizen. Hierin zetelt ons *evenwichtsorgaan*, d
het horen verder geen rol speelt. Als we het slakkehuis ontrollen (zie Figuur 2), zien w
buis van ongeveer 35 mm lengte, die naar de buitenzijde toe (aan de *basis*) relatief bre
maar naar binnen toe taps toeloopt.



Figuur 1: Structuur van het *perifere gehoor*, met buitenoor, middenoor en binnenoor.

Het slakkehuis, dat gevuld is met vloeistof, wordt over zijn totale lengte horizonta
tweeën gedeeld door het *basilair membraan*. Het membraan loopt echter niet helemaal t
tot in de spits, waardoor de vloeistof in de bovenste kamer van het slakkehuis in
verbinding staat met die in de onderste kamer. De vloeistof in het slakkehuis zit opges
tussen twee vliezen, het *ovale venster* aan de basis, en het *ronde venster* aan het uiter
De bewegingen van het ovale venster zetten zich voort als drukgolven in de vloeistof
het binnenoor. Na korte tijd gaat het basilair membraan meedeinen op de golfbewegin
de vloeistof. Het blijkt nu dat de plaats van maximale deining meer naar de basis of e
van het basilair membraan komt te liggen naarmate de frequentie van de geluidstrill
hoger, resp. lager is. Daarnaast leidt sterkere geluidsstimulering tot deining over een gr

stuk van het basilair membraan Op deze manier worden de eigenschappen frequentie en intensiteit van akoestische trillingen omgezet in eigenschappen van het bewegingspatroon van het basilair membraan (zie verder Figuur 3)



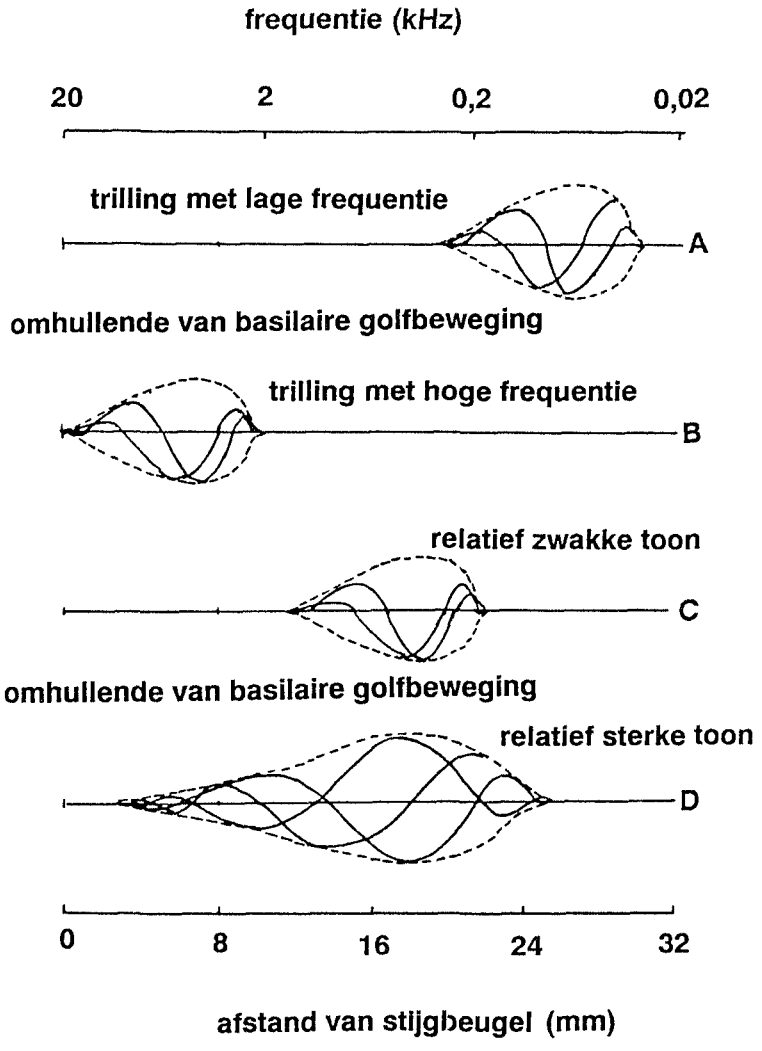
Figuur 2 Schematische voorstelling van het slakkehuis in (denkbeeldige) ontrolde toestand

Minstens drie eigenschappen van het basilair bewegingsgedrag zijn belangrijk bij het spraakverstaan

Bij iedere verdubbeling van de akoestische frequentie komt de plaats van maximale uitwijking op het basilair membraan ongeveer 3 mm dichter naar het ovale venster toe te liggen De hoorbare eigenschap die we toekennen aan verschillen in frequentie noemen we toonhoogte Algemeen geldt dat een hogere frequentie wordt waargenomen als een hogere toonhoogte Voor het menselijk oor is een verdubbeling van de frequentie (een octaafsprong) altijd een even grote toonsprong, of het nu een verandering van 100 naar 200 Hz betreft of van 1000 naar 2000 Hz Ons oor evalueert frequentieverschillen dus als verhoudingen, ofwel logaritmisch

Het stuk van het basilair membraan dat meegolft is niet symmetrisch gespreid rond de plaats van de maximale uitwijking, maar ligt vooral aan de zijde waar zich het ovale venster bevindt naar het gebied dus dat gevoelig is voor hoge tonen Deze eigenschap zal ons straks in staat stellen asymmetrie in *toonmaskeringsverschijnselen* te begrijpen

De basis (begin, bij het ovale venster) van het basilair membraan is relatief dik en stijf Door zijn mechanische eigenschappen kan dat deel van het membraan alleen meedeinen op snelle golfbewegingen, d w z hoge tonen Door de dikte en stijfheid van dit stuk van het membraan zal de deining meteen ophouden als het geluid weg is Het uiteinde van het membraan (bij de spits) is echter dun en flexibel, en is daardoor juist gevoelig voor langzame bewegingen, dus voor lage tonen Bovendien zal dit deel van het membraan lang nadeinen na beëindiging van de laagfrequente geluidsstimulering Aan de hand hiervan kunnen we straks begrijpen waarom *namaskering* door lage tonen langer duurt dan door hoge tonen



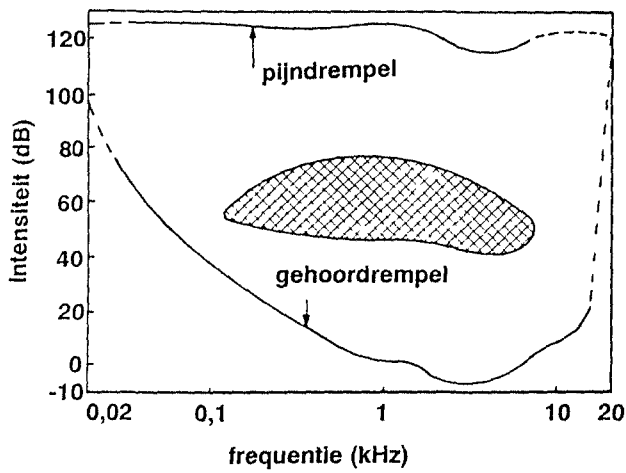
Figuur 3: Lopende golven op het basilair membraan als reactie op stimulering door e zuivere toon. A: stimulerende toon heeft een lage frequentie. B: stimulerende toon he een hoge frequentie. C: stimulerende toon heeft een frequentie in het middenbereik m relatief geringe sterkte. D: als C, maar nu met grote sterkte.

Over de hele lengte van het basilair membraan bevinden zich zgn *haarcellen*, een kleine 30 000 stuks Elke haarcel geeft aan of het stukje van het basilair membraan waarop deze zich bevindt, deint Zo ja, dan geeft hij een zenuwimpuls af naar de hersenen (via de zenuwvezels die in de centrale gehoorzenuw gebundeld zijn), en blijft dat regelmatig doen totdat de deining ophoudt Op deze manier kunnen onze hersenen precies bijhouden waar langs het basilair membraan deining ontstaat, en dus ook welke frequenties in het geluid aanwezig zijn Bovendien kunnen de hersenen uit de spreiding van de reagerende haarcellen uitrekenen hoe sterk een bepaalde frequentie is Over de nauwkeurigheid waarmee we frequentie, geluidssterkte en -duur kunnen horen, zullen we het hierna hebben

3 GEVOELIGHEID VAN HET GEHOOR

3 1 ABSOLUTE HOORBAARHEID

Niet iedere luchtdrukverstoring wordt door ons gehoor waargenomen als geluid Als een drukverstoring te gering is horen we niets, als de verstoring te sterk is ervaren we pijn, maar geen geluid Evenmin kunnen we heel langzame of heel snelle verstoringen als geluid waarnemen Het gebied van hoorbare luchtdrukverstoringen ligt tussen frequenties van 20 tot 20 000 Hz, en intensiteiten van 0 tot 120 decibel (dB), zoals aangegeven in Figuur 4



Figuur 4 Het gebied van hoorbare geluiden Bij spraakgeluid ligt de intensiteit tussen 40 en 80 dB en liggen de relevante frequenties tussen 100 en 8000 Hz (zie het gearceerde gebied)

De notie *decibel* verdient toelichting *Geluidsdruk* wordt gemeten in aantal dynes per cm2 Voor een referentietoon van 1000 Hz is de geringste geluidsdruk die we kunnen onderscheiden van stilte 0,0002 dyne/cm2, terwijl de krachtigste geluidsdruk een miljoen

keer sterker is 200 dyne/cm2 Bij afspraak stellen we de druk van het zachtste geluid we kunnen horen (de spreekwoordelijke vallende speld) op 0 dB Een vertienvoudiging de druk noemen we een relatieve toename van 2 Bel (ofwel 20 decibel) Het vers tussen het zachtste en het luidste hoorbare geluid kunnen we dan overbruggen in 6 maal vertienvoudiging (dus een vermiljoenvoudiging), ofwel 6 maal 20 dB = 120 dB pijngrens ligt dan even boven de 120 dB Onderstaande rijtjes illustreren een en ander

geluidsdruk in dyne/cm2	hoeveel maal sterker dan referentie	sterkteverschil t o v referentie in decibel	voorbeeld van geluid met deze sterkte
0,0002	1 x	0 dB	vallende speld
0,002	10 x	20 dB	fluisteren
0,02	100 x	40 dB	stad bij nacht
0,2	1000 x	60 dB	conversatie
2	10000 x	80 dB	schreeuwen
20	100000 x	100 dB	pneumat hamer
200	1000000 x	120 dB	straalmotor op 10

Voor ons gehoor is elke toename van de geluidsdruk met bijvoorbeeld 10 dB een ev grote toename Tevens blijkt een verschil in druk van 1 dB ruwweg het kleinste verschil zijn dat we kunnen we horen Dit maakt de decibel tot een handige en zinvolle eenheid

In Figuur 4 zien we dat ons oor voor frequenties tussen 1000 en 4000 Hz maxim gevoelig is Voor hogere, en vooral lagere, frequenties is ons oor een stuk minder gevoe Een toon met een frequentie van 1000 Hz kunnen we inderdaad bij 0 dB van sti onderscheiden, maar om een toon van bijvoorbeeld 100 Hz te kunnen onderscheiden v stilte, moet hij al gauw een 50 dB sterker zijn

Gelukkig liggen de frequenties die voor de spraakwaarneming belangrijk zijn precies het gevoeligste deel van ons gehoorbereik Bovendien spreken wij met een geluidsdruk keurig het midden houdt tussen de vallende speld en de pijngrens

3 2 HOORBAARHEID VAN VERSCHILLEN

Er is in de loop van de jaren een uitgebreide literatuur opgebouwd over de gevoeligheid v het menselijk gehoor Van allerhande eigenschappen van geluid is bekend hoev verandering daarin minimaal moet worden aangebracht om te kunnen horen dat er i veranderd is Zo'n kleinst mogelijk, maar toch hoorbaar verschil heet een *verschildrem* of *JWV* (*Just Waarnembaar Verschil*, ook wel *JND* naar het Engels *Just Noticeal Difference*) Zo zagen we al dat een verandering van de geluidsdruk van 1 dB net g genoeg is om te kunnen horen dat er een verschil bestaat tussen twee geluiden Op dezel manier kunnen we ons afvragen hoe groot een verschil in frequentie tussen twee to minstens moet zijn willen we die tonen als verschillend ervaren, of hoe groot een versc in duur, enz We willen dan eerst weten welke eigenschappen van het geluid van bel zijn bij de spraakwaarneming, en vervolgens vaststellen hoe gevoelig ons oor is voor van deze eigenschappen

In 1 HART hebben we kunnen zien dat spraakgeluid nooit bestaat uit een enkelvoudige toon Spraakklanken zijn altijd complexe, samengestelde trillingen, al dan niet met een periodieke structuur Bovendien hebben we gezien dat de verdeling van de energie over het frequentiespectrum bij spraakklanken niet uniform is In de literatuur is het meest onderzoek beschreven naar de waarneming van eenvoudiger gestructureerde geluiden, zoals enkelvoudige fluittonen en witte ruisstoten Specifiek op spraakklanken aangelegd onderzoek is veel schaarser, daar valt nog veel te doen Niettemin kunnen we, met de nodige slagen om de arm, wel wat voorlopige cijfers noemen

Om enigszins betrouwbaar te kunnen horen dat er een toonhoogteverschil bestaat tussen twee losse, kunstmatige spraakklanken, moet het verschil in grondfrequentie minstens 0 3 tot 2,5% bedragen [23]

Een verschil in geluidsdruk moet ten minste 1 dB zijn om gehoord te worden

Om te horen dat twee klanken verschillen in duur moet er een duurverschil zijn van ten minste 10% [5] Er zijn aanwijzingen dat duurverschillen tussen stemloze klanken gemakkelijker te horen zijn dan tussen stemhebbende klanken [21] Een nog nauwelijks onderzochte vraag is hoe nauwkeurig we de duur kunnen horen van stukjes stilte tussen spraakgeluiden in [8, 21]

Om te horen dat twee klinkers verschillen in *timbre* moet de middenfrequentie van de eerste of de tweede formant ten minste 3% verschillen [19, 34] Wanneer twee of meer formanten tegelijk verschillen kan het verschil voor elke formant apart kleiner zijn, maar hoeveel precies is niet bekend [31] Men kan vermoeden dat de resultaten bij gesproken klinkers anders liggen dan bij gefluisterde klinkers Ook hierover is (mij) niets bekend

Tot nu toe hebben we het gehad over eigenschappen van niet-veranderende geluiden In spraak veranderen spraakklanken voortdurend van toonhoogte, timbre en sterkte Met name het onderzoek naar de gevoeligheid waarmee we de snelheid en richting van veranderingen binnen spraakklanken waarnemen, staat nog helemaal aan het begin Toch enkele eerste indrukken

Om te horen dat twee accentverlenende grondtoonbewegingen van elkaar verschillen in spronggrootte, is een verschil van 1,5 semitoon (ca 9%) voldoende [23, 37]

Om te horen dat twee klanken verschillen in de mate van abruptheid waarmee ze inzetten of eindigen, moet de amplitude aan het begin of eind van de klanken ten minste 25% sneller of langzamer oplopen c q dalen [14, 25]

Aan de hand van de waargenomen duren van herkende klanken en woorden kan de luisteraar het spreektempo schatten Er is nog maar heel weinig bekend over hoe nauwkeurig verschillen in spreektempo worden waargenomen, of op grond waarvan een luisteraar hoort dat een spreker zijn tempo versnelt of vertraagt [10] (zie verder DLN Os)

Er is een begin gemaakt met onderzoek naar de gevoeligheid waarmee we verandering van grondfrequentie en verandering van formantfrequenties waarnemen Hieruit blijkt o a dat kortdurende veranderingen moeilijk hoorbaar zijn, en dat over het algemeen frequentieveranderingen vrij groot moeten zijn voordat we überhaupt horen dat het geluid niet langer stationair blijft Ten slotte blijkt dat, als we al kunnen horen dat

frequenties veranderen, het heel lastig is om te horen of de ene verandering snelle dan de andere, of zelfs of de verandering een stijging of een daling van de frequ inhoudt [35]

3 3 MASKERINGSVERSCHIJNSLLI N

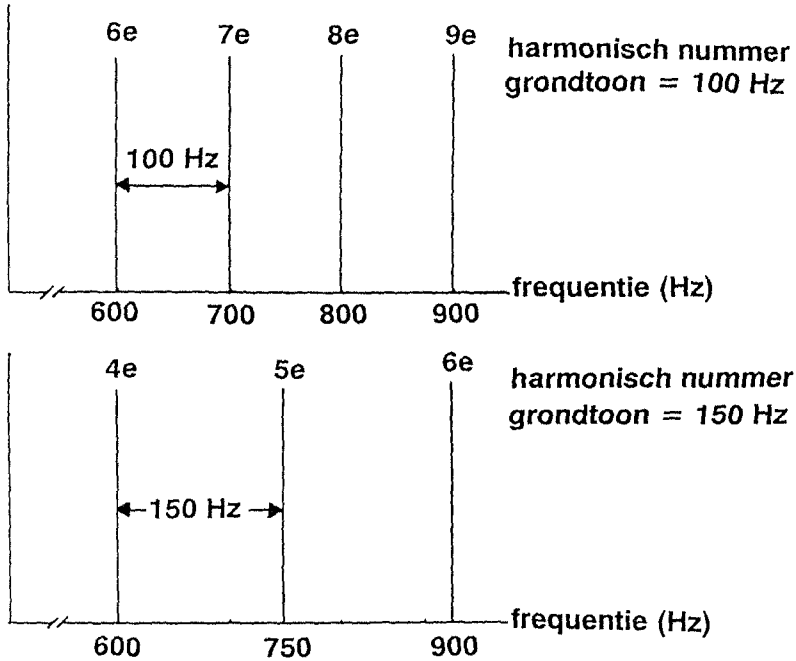
Omdat zelfs een zuivere toon al leidt tot activering van haarcellen over een groot gebie het basilair membraan, is het oor niet goed in staat andere in frequentie naburige to waar te nemen We zeggen dan dat de ene toon de andere maskeert, d w z onhoorbaar (ieder geval minder hoorbaar maakt Over het algemeen zien we dat een lage toon hogere toon sterker maskeert dan omgekeerd Het gebied waarbinnen tonen elk waameembaarheid beinvloeden, noemen we een *kritieke band* Heel grof gesteld het gelijktijdige tonen l ist van elkaar zolang zij minder dan een kleine terts van elk verschillen hun frequentieverhouding is dan kleiner dan 1 1,25

We hebben eerder kunnen vaststellen dat ons gehoor, binnen het spraakgebied moeite heeft lage tonen te horen dan hoge (zie Figuur 4) Het asymmetr maskeringsgedrag daarentegen bevoordeelt lage tonen boven hoge, zodat de balans enigszins hersteld wordt

De menselijke stembandtrilling bevat een grondtoon en in principe alle bovento Boventonen hebben frequenties op hele veelvouden van de grondtoon De eerste boven ligt precies een octaaf boven de grondtoon, en valt dus buiten diens kritieke band He boventonen komen verhoudingsgewijs steeds dichter bij elkaar te liggen, en (ruwweg) de 12e boventoon zijn we niet meer in staat individuele boventonen in complexe toon 'uit te luisteren', d w z apart waar te nemen Naastliggende bovent vallen dan volledig binnen elkaars kritieke banden Geluiden maskeren elkaar sterker mate hun stimuleringsgebieden op het basilair membraan elkaar meer overlappen

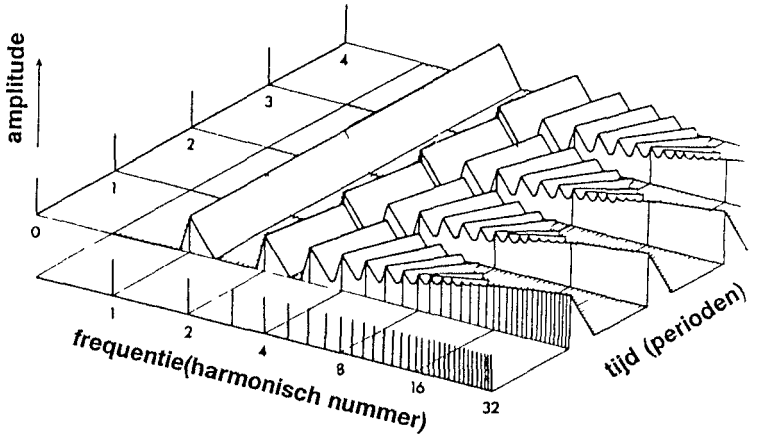
De toonhoogte van een tooncomplex, zoals van een menselijke klinker, leiden we de ligging van de lagere, apart hoorbare harmonischen Geen enkele indivi harmonische, ook de grondtoon niet, bepaalt op zich de waargenomen toonhoogte menselijk gehoor rekent de toonhoogte uit aan de hand van de afstanden tussen pl van maximale stimulering op het basilair membraan als gevolg van apart waargen boventonen De toonhoogte in normale spraakgeluiden is dan gelijk aan de grootste ge deler van de waargenomen frequenties (zie Figuur 5)

Niet alleen gelijktijdig klinkende geluiden kunnen elkaar maskeren Als we 's nac de auto een tegenligger ontmoeten die vergeet zijn koplampen te dimmen, dan zijn enige tijd verblind In die periode zijn onze ogen niet in staat zwakke lichtschijnsels w nemen Op dezelfde manier kunnen onze oren korte tijd verdoofd raken na het hore een krachtig geluid We noemen dit *namaskering* of *voorwaartse maskering* (normale omstandigheden duurt deze tijdelijke ongevoeligheid hooguit 200 ms D heeft het gehoor zich voldoende hersteld om ook weer de details van zwakke geluide te nemen In dit opzicht komt het heel goed uit dat zgn plofklanken (bijvoorbeeld [p] [d]) een korte stilte bevatten op de overgang tussen de voorgaande (luide) klinker (veel zwakkere) explosie van de medeklinker zelf Laboratoriumproeven h uitgewezen dat het verschil tussen bijvoorbeeld [p], [t] en [k] een stuk moeilijker te h wanneer we die natuurlijke stilte uit het spraakgeluid elimineren [39, 43]



Figuur 5: Het gehoor bepaalt de toonhoogte in een tooncomplex door de grondtoon uit te rekenen die het best past bij de hoorbare harmonischen. In normale gevallen is dat de grootste gemene deler van de boventoonfrequenties. A: bij een tooncomplex met harmonischen van 600, 700, 800 en 900 Hz (resp. de 6e, 7e, 8e en 9e harmonische van een grondtoon van 100 Hz). B: bij een tooncomplex met harmonischen bij 600, 750 en 900 Hz (resp. de 4e, 5e en 6e harmonische van een grondtoon van 150 Hz).

Het gehoor herstelt zich sneller van een hoogfrequent geluid dan van een lage trilling. Met name in het gebied onder de 400 Hz klinken tonen lang na in ons gehoor. Dit is mogelijk ook een (gedeeltelijke) verklaring voor het feit dat we ons niet bewust zijn van onderbrekingen van de zinsmelodie bij stemloze medeklinkers. Figuur 6 illustreert treffend de besproken beperkingen van het *oplossend vermogen* van ons oor in tijd en frequentie.



Figuur 6 Geïdealiseerde voorstelling van de reactie van het basilair membraan stimulering door een periodieke puls De tijd loopt lineair van voor naar achteren frequentie logaritmisch van links naar rechts en de amplitude staat verticaal uit langs c logaritmische as Uiterst links de golfvorm van de pulsreeks, op de voorgrond l bijbehorende spectrum Het midden van de Figuur laat de (denkbeeldige) omhullende l van de lopende golf langs het basilair membraan zien als functie van de tijd [N Duifhuis, H (1972) *Perceptual analysis of sound* Dissertatie TH Eindhoven]

In recente pogingen de prestaties van systemen voor *automatische spraakherkenni* verbeteren, streeft men ernaar de eigenaardigheden van het oor na te bootsen Door aan begin van de automatische spraakherkenner een oormodel te plaatsen (een zgn *front processor*) kan het herkenningsmechanisme zich meteen concentreren op de essentie eigenschappen van het binnenkomend geluid, en zo sneller en efficienter beslissen w woord in het geheugen daar het meest op lijkt Zo'n oormodel als voorzetstuk blijkt vo een verbetering op te leveren bij automatische spraakherkenning in achtergrondlaw (vrgl POLS)

4 WAARAAN HERKENNEN WE DE DIVERSE SPRAAKKLANKEN?

4.1 IS SPRAAKVERSTAAN HETZELFDE ALS KLANKEN VERSTAAN?

Het is verleidelijk ons voor te stellen dat we bij het spraakverstaan de geluidsstroom die ons oor binnenkomt opdelen in stukjes ter grootte van aparte klanken. Klanken zijn, in deze visie, stukjes geluid die we in gedrukte tekst terugvinden als letters. We beslissen dan bij iedere klank onmiddellijk welke het is. Daarbij kijken we steeds in het woordenboek in ons achterhoofd (LAMMENS), om te zien of de reeks geïdentificeerde klanken al overeenkomt met een woord. Als dat zo is, dan hebben we een woord herkend. Reeksen herkende woorden brengen we vervolgens met elkaar in verband, en zo begrijpen we zinnen.

Deze primitieve voorstelling is in de praktijk niet houdbaar. Het is vrijwel uitgesloten dat we bij het normale spraakverstaan aparte klanken kunnen identificeren, om daarna pas woorden te herkennen.

> Bij het spreken bewegen onze spraakorganen (mond, lippen, tong, enz.) zich volmaakt vloeiend van de ene klank naar de volgende. Wat we klanken noemen, zijn in feite denkbeelden in de geest van de spreker en de luisteraar, in de spraak zelf hebben we alleen maar bewegingen. Als gevolg hiervan verandert ook het spraakgeluid voortdurend. Het is daarom onmogelijk voor een luisteraar om te zeggen 'hier is een klank afgelopen, en begint de volgende'. Zolang de luisteraar niet weet van waar tot waar klanken lopen, kan hij natuurlijk ook niet zeggen welke klanken hij hoort.
>
> Als we in laboratoriumproeven spraakklanken - zo goed en zo kwaad als dat gaat - lossnijden uit de woorden waarin ze gesproken zijn, dan blijkt zo'n geïsoleerde klank meestal niet herkenbaar te zijn. De spraakklanken zijn stuk voor stuk te slordig uitgesproken om ze te kunnen identificeren. Pas als meerdere klanken met elkaar een gekende eenheid vormen, hebben we voldoende duidelijkheid over de identiteit van elke aparte klank.

Hoe mensen woorden herkennen zullen we hier verder niet bespreken. Daaraan zijn aparte hoofdstukken (NOOTEBOOM, QUENÉ) gewijd in dit boek. Evenmin zullen we echt kunnen ingaan op de manier waarop mensen uit een reeks woorden een zinsbetekenis destilleren. Wel is gebleken dat zinsmelodie en frasering een belangrijke bijdrage leveren aan de verwerking van zinnen, zie verder de hoofdstukken van DEN OS (over *ritmiek*), RIETVELD (over *klemtoon* en *accent*) en COLLIER (over *zinsmelodie*). Aan het eind van dit hoofdstuk zal ik enige aandacht besteden aan enkele problemen rond de spraakwaarneming die op dit ogenblik het wetenschappelijk veld bezighouden. Voor het overige zullen we ons in dit hoofdstuk een beetje van den domme houden, en doen alsof we klanken succesvol kunnen herkennen in eenheden die niet groter zijn dan een lettergreep. Hierover is na zo'n 20 jaar intensief onderzoek, met name in de Verenigde Staten, veel bekend.

4.2 KLINKER TEGENOVER MEDEKLINKER

Zoals we in eerdere hoofdstukken hebben kunnen zien, is het gebruikelijk spraakklanken in te delen in categorieën. Het bekendste onderscheid is dat tussen klinkers en medeklinkers. Binnen de groep medeklinkers kunnen we klanken verder uitsplitsen naar bijvoorbeeld de

manier waarop de uitstromende lucht in de mond en/of keelholte gehinderd wordt, en de belangrijkste hindernissen zitten We zouden nu graag willen weten aan de hand welke eigenschappen van het spraakgeluid de luisteraar beslist met wat voor spraakklank hij te maken heeft Hoe weet de luisteraar of hij een klinker of medeklinker heeft gehoord?

Bij klinkers fungeert het hele keel-mondkanaal als *verkleurend filter* (zie 'T H Daardoor zitten er in de spectrale omhullende van een klinker goed-gemarkeerde top (*formanten*) op min of meer regelmatige afstanden Wat we precies moeten verstaan o goed-gemarkeerd is nog onduidelijk Laten we zeggen dat de *bandbreedte* van de gering moet zijn t o v de middenfrequentie Als we de toppen erg breed maken tegenwoordig in het laboratorium een koud kunstje is, dan kunnen we de verschille klinkers niet meer van elkaar onderscheiden Als we daarentegen spraak maken door al maar een zuivere toon te genereren op de plaats van de middenfrequenties van de ee drie formanten (drie formanten dus met een oneindig kleine bandbreedte), dan is resultaat - met enige moeite - nog steeds te verstaan (zgn *sinusgolf analogons*) [36]

Bij een gemiddelde mannenstem zitten in het gebied tot 5000 Hz bij neutrale tonest vijf van zulke toppen, en wel bij 500, 1500, 2500, 3500 en 4500 Hz De verschille klinkers in de taal maken we dan door de ligging van deze vijf toppen (en met name v de laagste twee of drie) wat t o v elkaar te verschuiven

Essentieel voor het waarnemen van een klinker is dat ons oor duidelijke top signaleert Overigens zijn er ook medeklinkers met een goed-gemarkeerde form structuur, de sonorante medeklinkers zoals [w], [j], [l], [r] en de nasalen In zulke gev al berust het onderscheid tussen klinker en medeklinker vooral op een verschil geluidssterkte klinkers hebben een grotere intensiteit dan deze medeklinkers Hieruit bl al dat het vrijwel ondoenlijk is van eén enkele klank te zeggen of het een klinker dan een medeklinker is We moeten minstens een klinker en een medeklinker naast el hebben, doorgaans een lettergreep dus, voordat we kunnen zeggen wie wat is

Ook zijn klinkers bij uitstek *stemhebbend*, terwijl echte medeklinkers het gemakkel *stemloos* gemaakt worden Aan stemhebbende klanken kan ons oor een *toonhe* toekennen er zijn *boventonen*, d w z uitwijkingen op regelmatige (logaritmisch ge wordende) afstanden langs het basilair membraan (zie boven) Stemloze klanken hel geen eenvoudig definieerbare toonhoogte Toch is dit onderscheid van ondergeso belang Als we fluisteren trillen de stembanden helemaal niet, terwijl uitstekend te h blijft wat de klinkers en wat de medeklinkers zijn

We zien hier een belangrijk gegeven in de waarneming van spraakklanken Kl onderscheiden zich altijd van elkaar in meerdere opzichten tegelijk We zulle aanstonds nog diverse malen tegenkomen Het is dan interessant te leren op v verschillen het oor het meest acht slaat, en na te gaan of verschillen die normaal ondergeschikte rol spelen, onder speciale omstandigheden doorslaggevend kunnen wor

4 3 VERSCHILLEN TUSSEN KLINKERS

De verschillende klinkers herkennen we in de eerste plaats aan de ligging van de form in het spectrum Het gaat hierbij vooral om de plaats van de middenfrequenties v formanten De bandbreedtes luisteren niet zo nauw, vooropgesteld dat deze klein g zijn om überhaupt de gedachte aan een klinker op te roepen Klinkers kunnen in

benadering goed geïdentificeerd worden op basis van hun laagste drie formanten De ligging van de F_1 correspondeert hierbij vooral met de graad van mondopening waarmee de klinker tot stand is gekomen Gesloten klinkers zoals [i] of [u] hebben een relatief lage F_1, voor een mannenstem in de buurt van 250 Hz Open klinkers als [a] hebben een hoge F_1 van ongeveer 800 Hz Aan de ligging van de F_2 kan het oor vaststellen of het te maken heeft met een voorklinker of een achterklinker Hoe verder naar voren in de mond de klinker gearticuleerd wordt, des te hoger komt de F_2 te liggen Voor een [i] kan de F_2 bij 2300 Hz liggen, voor een [u] bij 600 Hz Ook is wel gesuggereerd dat het voor/achter-karakter van een klinker het best beluisterd kan worden aan de afstand tussen de F_2 en de F_1 Hoe groter deze afstand hoe verder naar voren een klinker gearticuleerd is Als klinkers gemaakt worden met getuite lippen, bijvoorbeeld [u, y], dan wordt het spraakkanaal een stukje langer, waardoor met name de F_2 en de F_3 een lagere frequentie krijgen

Hoe de klinkers op het gehoor het best van elkaar te onderscheiden zijn, wordt duidelijk gemaakt wanneer we de formantfrequenties niet uitdrukken in *Hertz*, maar kijken naar de plaats van de formanttoppen op het basilair membraan De afstanden tussen de formanten zetten we dan af langs een zgn *Bark*-schaal [11, 29] Een *Bark* is een afstand tussen twee tonen ter grootte van een kritieke band Tonen die minder dan 1 Bark van elkaar af liggen, kan ons oor niet onafhankelijk van elkaar waarnemen (zie boven) Vergelijk de rangschikking van klinkers in de Bark-plot (Figuur 7b) met die in de Hertz-plot (Figuur 7a)

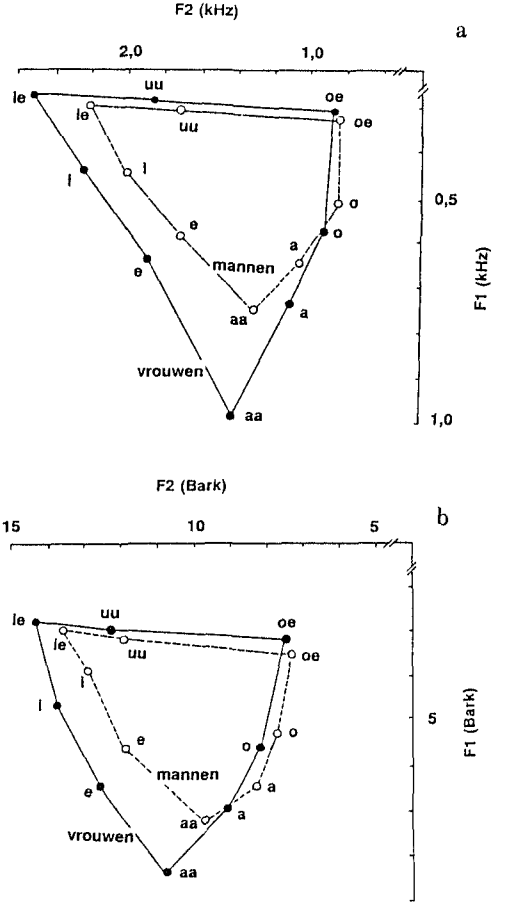
Een probleem apart vormen de *nasale klinkers* zoals we die tegenkomen in het Franse zinnetje **un bon vin blanc** Bij nasale klinkers is er een opening vanuit de keel naar de neusholte Daardoor ontstaat een extra formant met een heel lage frequentie, de zgn *nasaalformant* Tegelijkertijd echter worden hogere frequenties uitgedoofd, waardoor in het spectrum een deuk ontstaat, een zgn *nul-* of *antiformant* Als het gebied waarover tonen ontbreken maar breed genoeg is, is ons oor wel gevoelig voor zo'n deuk, en nemen we een nasale klinker waar

Om te kunnen vaststellen of een klinker een tweeklank is, moet ons gehoor letten op een verandering in formantligging Hierbij is ons oor niet al te selectief als er maar een duidelijke en betrekkelijk langzame verandering optreedt in formantfrequenties in een bepaalde richting dan horen we een tweeklank De richting van de verandering is hierbij belangrijker dan daadwerkelijk bereikte eindfrequentie(s)

Klinkers kunnen voorts systematisch verschillen in duur In het Nederlands onderscheiden we korte en lange klinkers In andere talen, bijvoorbeeld het Estisch, bestaan zelfs korte lange en superlange klinkers [28]

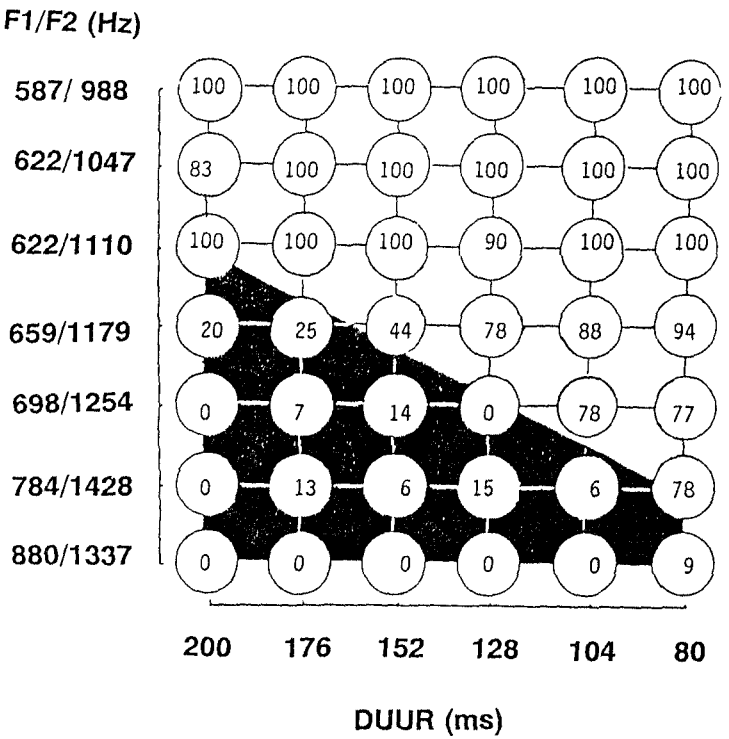
In het Nederlandse hebben we bijvoorbeeld een korte [ɑ] en een lange [a] De [a] duurt ongeveer twee keer zo lang als de [ɑ] Daarnaast echter articuleren we de [a] wat meer naar voren in de mond, die ook nog eens wat verder geopend wordt dan bij de [ɑ], waardoor de F_1 en de F_2 van de [a] wat hoger liggen dan die van de [ɑ] Waaraan horen we nu of we met een [a] of met een [ɑ] te maken hebben?

Uit Figuur 8 blijkt dat de duur- en de formantverschillen in ongeveer gelijke mate bijdragen aan het onderscheid Bovendien blijkt er onderlinge compensatie mogelijk als een klinker op grond van zijn formantligging een [a] zou moeten zijn, kunnen we er in het laboratorium toch een [ɑ] van maken door zijn duur extra kort te maken, en vice versa [26] Deze onderlinge compensatiemogelijkheden hebben in de literatuur veel aandacht gekregen onder de naam *trading* (zie verder sectie 6 3)



Figuur 7 Ligging van de Nederlandse niet-verglijdende klinkers in een F_1/F_2-veld (n formantfrequenties uit Pols, L.C.W. (1977). *Spectral analysis and identification of D vowels in monosyllabic words*. Dissertatie VU Amsterdam). 7A: de klinkers uitgezet l lineaire frequentieassen in Hertz. 7B: de klinkers uitgezet na omrekening van formantfrequenties in perceptief relevante schalen m.b.v. de Bark-transformatie, wa een afstand van 1 Bark overeenkomt met 1 kritieke band. Merk op dat de klinkers na B transformatie evenwichtiger gespreid liggen in het klinkerveld. Bovendien vertonen klinkersystemen van mannen (doorgetrokken lijnen) en van vrouwen (onderbroken lijn nu meer overeenkomst. Een handige formule voor de Bark-transformatie

$$f_{bark} = 7^{*}\ln(f_{Hz}/650 + \sqrt{(f_{Hz}/650)^2 + 1})$$



Figuur 8 Percentage [a]-oordelen (complement is [α] oordelen) als functie van klinkerkwaliteit (F_1 en F_2 in Hz verticaal aflopend) en klinkerduur (in ms van links naar rechts aflopend) De scheidslijn tussen het [a] gebied (zwart) en het [α]-gebied (wit) is de zgn *fonemgrens*

De identificatie van klinkers is tot nog toe overdreven vereenvoudigd voorgesteld Ik stel twee complicaties aan de orde

De ligging van de formanten is sterk afhankelijk van de spreker De formanten van een spreker met een groot hoofd dus met grote resonantieholten, liggen bij lagere frequenties dan die van een spreker met een klein hoofd, bijvoorbeeld vrouwen en kinderen In Figuur 7B komen de formanten dan allemaal 1 tot 2 Bark hoger te liggen Wil ons gehoor kunnen beslissen welke klinker er gesproken wordt, dan moet het oor eerst weten wat voor een spreker er aan het woord is, een met een groot hoofd of een met een klein koppie Hoewel er al veel onderzoek naar gedaan is [17], weten we nog steeds niet goed hoe ons gehoor in staat is de beeldvertekening als gevolg van sprekerverschillen te corrigeren [42] Niettemin blijken luisteraars voortreffelijk in staat

de sprekergebonden eigenaardigheden te scheiden van de voor de spraakherken essentiele informatie in de geluidsstroom
Wanneer de klinkers niet langzaam en zorgvuldig worden uitgesproken, wordt afstand tussen de klinkers in het klinkerveld kleiner Toch blijft ons gehoor deze klinker horen, of die nu snel en slordig of langzaam en nauwkeurig gearticuleerd w In ons brein voeren we kennelijk een rekensom uit, waarmee we deze verschi kunnen wegwerken Alweer hoe we dit precies doen, is nog steeds onduidelijk (zie sectie 5 3)

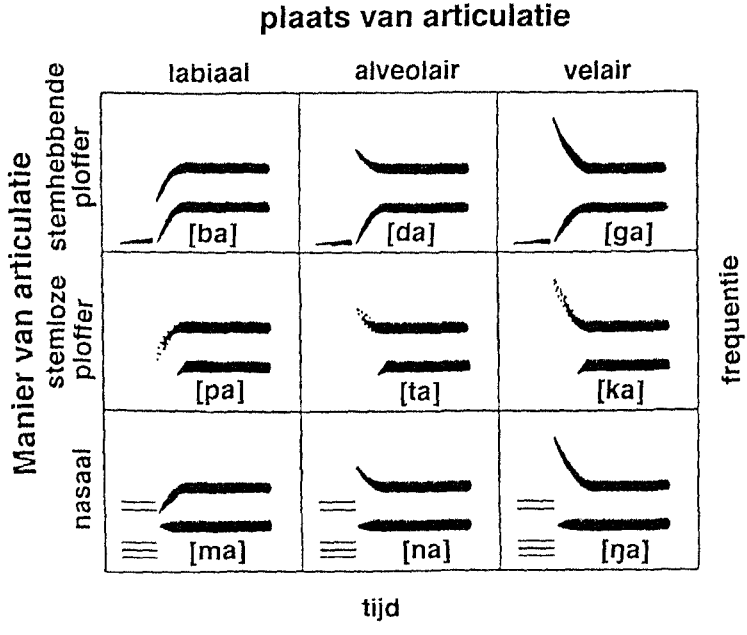
4 4 VERSCHILLEN TUSSEN MEDEKLINKERS

In de categorie medeklinkers onderscheiden we allereerst de *obstruenten* (de e medeklinkers) van de *sonoranten* (de klinkerachtige medeklinkers) *Echte medeklin* worden gemaakt met een vernauwing ergens in de mond of keel die of de uitstroom i lucht geheel onderbreekt, waardoor een kort moment van stilte ontstaat, of leidt hoorbare luchtwervelingen, dus ruis In beide gevallen ontbreekt de formantstructuur kenmerkend is voor klinkers Obstruenten herkennen we dus aan het kortstondig wegv van formanten Sonoranten bezitten wel zo'n formantstructuur, maar hun intensiteit zwakker dan die van klinkers

Obstruenten

Bij zgn *ploffers* is er (vrijwel) geen geluid in de tijd dat de formantstructuur afwezig is I luchtdoorgang in de mond of keel is dan volledig geblokkeerd Op het moment dat blokkade wordt opgeheven ontstaat een korte explosie Deze knal duurt ongeveer 10 ms is na de stilte heel goed waar te nemen Aan de kleuring van de knal is uitstekend te h waar in de mond of keel de blokkade zich bevond, bij de lippen, op de tandkassen of op zachte gehemelte De knal bestaat in beginsel uit witte ruis, waarin alle tooncomponen met gelijke sterkte vertegenwoordigd zijn De holte die zich voor de afsluiting bevi fungeert weer als verkleurend filter Is deze voorste holte groot, zoals bij een vel plotfer, dan is de ruis dof gekleurd, d w z hij heeft overwegend lage frequenties I voorste holte klein, zoals bij een tandkasklank [t], dan is de ruis veel scherper i lipklanken zit er in feite helemaal geen holte meer voor de afsluiting, waardoorde ruis deze klanken min of meer ongekleurd (wit) blijft De verschillende kleuringen van de leiden tot stimulering van verschillende delen van het basilair membraan In tegenstelli tot klinkers (formanten) is deze stimulering breedbandig

Zo'n afsluiting van het mond-keelkanaal wordt tamelijk geleidelijk gemaakt Onze to of lippen doen er 30 tot 100 ms over om zich vanaf hun klinkerstand naar medeklinkerpositie te bewegen en nog eens een keer zoiets om daarna weer klinkerstand aan te nemen Tijdens deze bewegingen verandert de vorm van h spraakkanaal relatief snel, waarbij de formanten stijgen of dalen in frequentie Vooral de beweging van de F_2 kunnen we goed horen waar in de mond of keel de afsluiting z bevindt (zie Figuur 9)

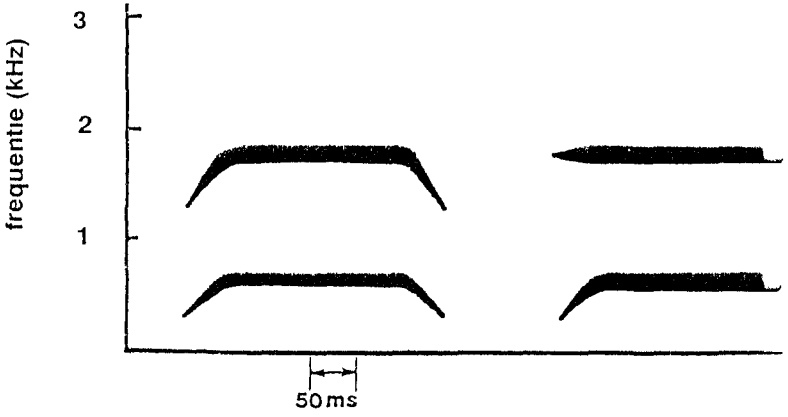


Figuur 9: Gestileerd verloop van F_1 en F_2 in enkele eenvoudige syllaben. Wanneer we volgens deze patronen een spraaksynthetisator aansturen, ontstaan duidelijk herkenbare medeklinkers gevolgd door een klinker [a]. Merk op dat de plaats van articulatie vooral af te leiden uit het verloop van de F_2. Deze ontspringt voor een labiale klank bij 700 Hz en beweegt dan in 50 ms naar de doelwaarde voor de klinker; bij een alveolaire medeklinker ontspringt de F_2 bij 1700 Hz, en voor een velaire medeklinker bij 2700 Hz.

De kleur van de knal en de formantbewegingen voor en na de stilte zijn niet constant voor een bepaalde articulatieplaats. Zij worden mede beïnvloed door de eigenschappen van de aangrenzende klinker(s). Er is nog steeds veel onderzoek gaande om uit te maken hoe precies de articulatieplaats van een ploffer herkend wordt in verschillende klinkeromgevingen (zie verder [20] en verwijzingen aldaar, met name naar het werk van Stevens & Blumstein).

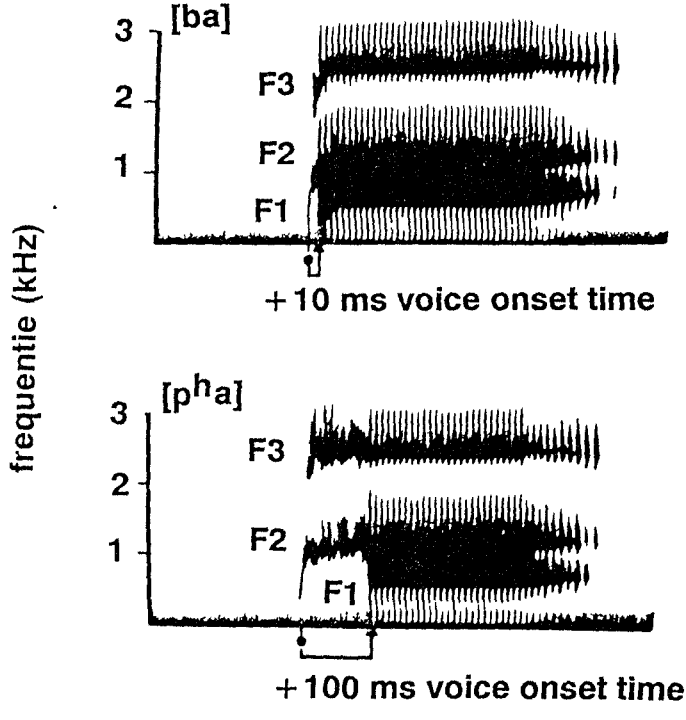
We hebben dus nu minstens drie aanwijzingen in het geluid die ons kunnen vertellen wat de articulatieplaats van een plofklank is: de kleur van de knal, de F_2-verandering (formantverglijding of -transitie) voor de stilte, en de F_2-verandering na de knal. In normale

spraak werken deze aanwijzingen samen, maar in kunstmatige spraak kunnen we ze in elkaar in conflict brengen In zulke situaties blijkt de kleur van de knal doorslaggevend zijn Als we de knal weglaten (wat in ieder geval gebeurt bij stemhebbende plofiers) en F_2-bewegingen voor en na de stilte met elkaar in conflict brengen, dan horen we niet maar twee medeklinkers achter elkaar de eerste heeft dan de articulatieplaats die wor gesuggereerd door de F_2-beweging naar de stilte toe, de tweede die van de F_2 beweging de stilte (zie Figuur 10)



Figuur 10 Gestileerd verloop van F_1 en F_2, geschikt als recept voor herkenbare synthe van de syllabereeks [bɛbdɛ] In een medeklinkeropeenvolging als [-bd-] is de l eindbuiging van de eerste syllabe bepalend voor de waargenomen articulatieplaats van -b] en de F_2-beginbuiging van de tweede syllabe bepalend voor de [d-]

Het verschil tussen stemhebbende en stemloze plofiers horen we, in weerwil van d naamgeving, niet of nauwelijks aan de aan- of afwezigheid van stembandtrilling, of portermen - aan een *toonhoogtegewaarwording* Het onderscheid blijft goed beluisterb n fluisterspraak, waar de stembanden uberhaupt niet trillen We hebben boven al gezi dat de bewegingen van het uiteinde van het basilair membraan (bij lage tonen dus) niet meteen ophouden als het geluid verdwijnt De aan- of afwezigheid van alleen maar wat l onen (stembandtrilling) in de stilte van een plofier is dus op zich geen goede aanwijzin 32] Wel is belangrijk dat de stilte, of afwezigheid van formantstructuur, bij stemlo plofiers veel langer duurt dan bij stemhebbende, dat de knal bij stemloze plofiers lange duurt en luider is dan bij stemhebbende, en dat de formantveranderingen voor en na d tilte bij stemhebbende plofiers wat langzamer gaan dan bij stemloze [40] In sommi alen (bijv Engels) treedt onmiddellijk na de explosie een stemloos (d w z *gefluisterd* of *geaspireerd*) klinkerdeel op Hierbij verdwijnt de periodiciteit uit het spraakgeluid en ontbreekt de F_1 (zgn F_1-cutback, zie Figuur 11) Ook hiervan is aangetoond dat d waarneming van het stemhebbend/stemloos contrast erdoor beinvloed wordt



Figuur 11 Onderlinge afhankelijkheid van *Voice Onset Time (VOT), aspiratieduur*, en F_1-uitbak in het Amerikaans-Engelse klankcontrast [ba] [pʰa]

In dit verband is in de literatuur vrij veel aandacht besteed aan het verschijnsel *steminzettijd voice onset time*, of *VOT*) Als we het moment van de knal (de overgang van stilte naar geluid) bij plofers als referentiepunt nemen, dan geldt het volgende Bij stemhebbende plofers (aan het begin van een spraakuiting) begint de stembandtrilling al enige tijd voor de knal (30 tot 100 ms) de steminzettijd krijgt dan een negatieve waarde van -30 tot -100 ms Stemloze plofklanken hebben een steminzettijd van 0 of hoger Bij 0 valt de steminzet samen met de knal, bij een positieve waarde beginnen de stembanden pas te trillen nadat de explosie is afgelopen Het tijdsinterval tussen de knal en de steminzet wordt dan opgevuld met *fluisterruis* (zgn *aspiratie*), die verder dezelfde kleur heeft als het daaropvolgende stemhebbende klinkerdeel Naar aanleiding hiervan is verondersteld dat het onderscheid

tussen stemhebbende en stemloze ploffers primair berust op het waarnemen van de (on gelijktijdigheid, of (a)synchronie, in de inzet van geluiden met lage (stembandtrilling) hoge (explosieruis) frequenties Merk echter op dat negatieve steminzet hetzelfde is a aanwezigheid van stembandtrilling tijdens het zgn stille interval, en dat positieve stemin identiek is aan aspiratie Voor zover ik heb kunnen nagaan, zijn er nooit proeven ged om deze verwarring van steminzet met andere cues uit te sluiten

Wrijfklanken verschillen van ploffers vooral daarin dat het stille, formantloze, inter bij wrijfklanken geheel wordt opgevuld met ruis Dit is in beginsel dezelfde ruis, in dezelfde kleuring, die we bij de stemloze ploffers aan het eind van de stilte aantreffen (ruis bij wrijfklanken duurt alleen veel langer en de inzet ervan is heel voorzichtig, is de/ bruusk dan horen we toch weer een plofter (die daarna overgaat in een wrijfklank) | Formantveranderingen voor en na de ruis zijn bij wrijfklanken onbeduidend [27] Ever bij ploffers horen we het onderscheid tussen stemhebbende en stemloze wrijfklanken i zo zeer aan de aan- of afwezigheid van toonhoogte, maar eerder aan verschillen in duur intensiteit van de ruis

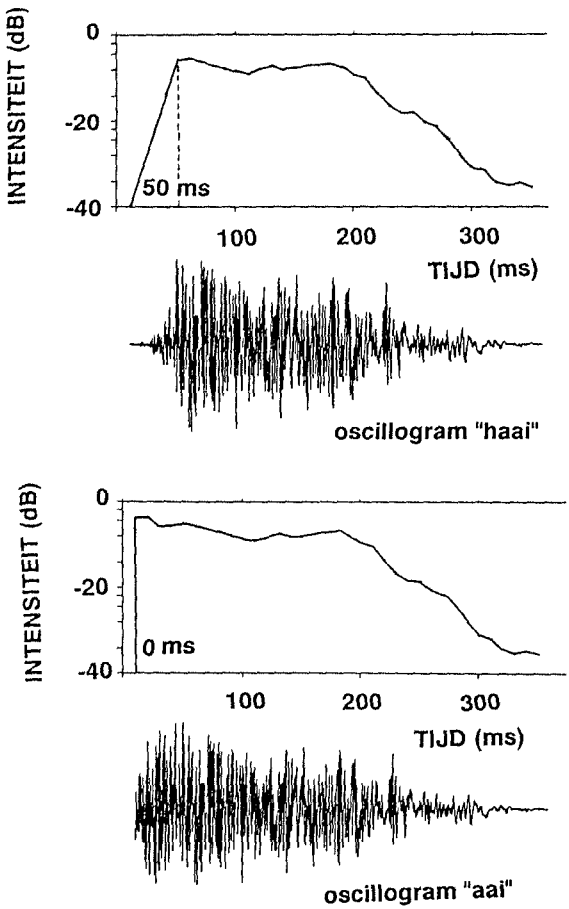
Sonoranten

Bij *nasalen* wordt tijdens de afsluiting in het mond-keelkanaal de doorgang naar neusholte open gehouden, waardoor in het gebied tot ca 1000 Hz nog vrij veel ener hoorbaar blijft Het neusgeluid zelf is op het gehoor niet of nauwelijks verschillend v bijvoorbeeld [m], [n] en [ŋ] Het verschil tussen deze drie in articulatieplaa contrasterende nasalen wordt vooral aangegeven door de snelle veranderingen in de F_2 v en na de afsluiting, op de manier waarop we dat eerder zagen bij de plofklanken (zie Figuur 9, onderste paneel)

De zgn *halfklinkers* [w] en [j] hebben dezelfde formantstructuur als resp de c klinkers [u] en [i], maar de halfklinkervarianten hebben een geringere intensiteit worden tevens gekenmerkt door heel duidelijke, relatief trage formantveranderingen i voor en kort na de (onvolmaakte) afsluiting In kunstmatige spraak kunnen we een [l een [w], of een [d] in een [j] veranderen door alleen de snelheid van de F_2-verandering verminderen [16]

De *liquidae* [l] en [r] lijken sterk op elkaar Zij hebben beide een duidel formantstructuur Hun energie, vooral in de hogere formanten, is geringer dan bij c klinkers, en er zijn duidelijke formantveranderingen op de overgangen van aangrenzende klinkers en de medeklinker Bij de [l] lopen de F_2 en de F_3 tijden (gedeeltelijke) afsluiting vrij sterk uiteen, om bij de overgang naar de volgende klin weer naar elkaar toe te bewegen, de [r] herkennen we vooral aan een verlaging van de l

De [h] ten slotte is een geval apart Hij lijkt als twee druppels water op de klink waaraan hij voorafgaat, met precies dezelfde formantstructuur, zij het dat de intensiteit de hele linie zwakker is De [h] wordt gemaakt met veel ruis, die wordt opgewekt in strottehoofd In fluisterspraak is het spectraal onderscheid tussen de [h] en een klinke goed als verdwenen Toch kunnen we nog altijd goed horen of iemand **aai** of **haai** fluis Het verschil dat we dan nog over hebben zit hem in de abruptheid waarmee de kli inzet Begint het woord met een klinker dan zet die abrupt in, zit er een [h] voor, dan c klinker geleidelijk in (zie Figuur 12)



guur 12 Oscillogram (golfvormregistratie) en intensiteitscurve voor het woordpaar **haai** iai Het enige verschil wordt gevormd door de inzet van de klinker een geleidelijke inzet ier 50 ms stijgtijd) wordt als [h] waargenomen, een abrupte (hier 0 ms stijgtijd) klinkt als n glottisslag (vaste klinkerinzet) Aan deze registraties ligt alleen het gefluisterde woord t ten grondslag

DE ROL VAN DE GESPROKEN CONTEXT

ils gezegd zullen we het in dit hoofdstuk niet hebben over woordherkenning Maar ook we geen woorden kunnen herkennen in de geluidsstroom die ons oor treft, maken we bij

de identificatie van klanken uitvoerig gebruik van informatie uit de gesproken context H stel drie soorten contextinformatie aan de orde

5 1 Spectrale normering

We hebben eerder al gezien dat als twee sprekers voor het gehoor twee precies dezelfd klinkers (of medeklinkers) maken, deze akoestisch flink kunnen verschillen Over h algemeen is het moeilijk om van een enkele, los gesproken klinker te zeggen welke bedoe wordt Identificatie is succesvoller als we een klank laten horen onmiddellijk na een ke zinnetje waarin de luisteraar zich een indruk kan vormen van de eigenaardigheden van spreker in kwestie Hoe kort zo'n kennismakingszinnetje mag zijn, en welke klanken da in bij uitstek moeten voorkomen, is niet echt bekend Het vermoeden is dat een zin van slecl enkele woorden al volstaat [9]

5 2 Temporele normering

Als mensen snel spreken, dan gebeuren er verschillende dingen Door de bank genomen z de duur van elke aparte spraakklank geringer worden, en tevens zullen de spraakklanke minder vol, dus onnauwkeuriger worden uitgesproken Dit betekent dat de criteria die v gebruiken om bijvoorbeeld te beslissen of we met een korte of een lange klinker te doe hebben, niet vastliggen, maar verschuiven naar gelang het spreektempo Stel dat bij ee normaal spreektempo de grens tussen korte en lange klinkers ligt bij 100 ms Klinkers d korter duren dan 100 ms worden dan als korte klinkers geïdentificeerd, en klinkers bove dit criterium als lange Bij een hoger spreektempo moet dit criterium bij een lagere waard komen te liggen, bijv bij 90 of zelfs bij 80 ms Voordat een luisteraar de duur van ee klinker kan gebruiken bij zijn beslissing over de identiteit van die klinker, moet hij eer een betrouwbare indruk hebben van het spreektempo van het omringende stuk spraa Hierbij blijken vooral de klanken in de onmiddellijke nabijheid van belang, en is merkwaardig genoeg - het tempo van de volgende klanken van grotere invloed dan dat v de voorafgaande klanken Er is dus sprake van achterwaartse temporele normering D betekent opnieuw dat beslissingen over de identiteit van individuele klanken in de re alleen achteraf genomen kunnen worden [33]

5 3 Coarticulatie

Bij het spreken verspringen onze spraakorganen niet van de ene klank naar de volgend maar veranderen ze min of meer vloeiend van de ene doelpositie naar de andere, zonde ooit het beoogde doel te bereiken Als gevolg hiervan kunnen we aan de spectr verandering meestal horen welke klank bezig is gesproken te worden, welke klank er vo zat, en welke klank gaat volgen Een spraakklank bevat daarmee niet alleen informatie ov zijn eigen identiteit, maar ook over die van zijn buren De aanwezigheid in een spraakkl van eigenschappen van aangrenzende klanken noemen we *coarticulatie* De onderlin beïnvloeding tussen spraakklanken zal sterker zijn naarmate de betrokken klanken in de ti dichterbij elkaar staan Kunstmatige spraak waarin nagelaten is de effecten v

coarticulatie tussen naastliggende klanken te simuleren, is in het algemeen slecht te verstaan

Er is al veel onderzoek gedaan naar de rol van coarticulatie op de herkenning van spraakklanken Wanneer we de begin- en eindmedeklinker in een CVC-syllabe via een elektronische ingreep onhoorbaar maken, dan kunnen luisteraars de weggevallen medeklinkers toch identificeren, voornamelijk aan de hand van de snelheid en richting van formanttransities (zie ook boven) Hierbij geven de *eindtransities* grosso modo nog wat meer houvast dan de *begintransities* Omgekeerd kunnen we in de ruisstoot van een plof- of wrijfklank goed horen wat voor klinker daar onmiddellijk aan grenst Voor literatuuroverzichten zie [18, 27]

Los uitgesproken klinkers blijken minder goed geïdentificeerd te worden dan dezelfde klinkers gesproken in CVC-syllaben, ook als we de luisteraar er niet bij vertellen welke medeklinkers het zijn [41] Het lijkt er dus op dat de klankovergangen bij de spraakwaarneming bruikbaarder informatie verschaffen dan de middens van klanken

De onderlinge beïnvloeding tussen niet-aangrenzende klanken, als die al meetbaar aanwezig is, heeft alleen in uitzonderlijke situaties nog een merkbaar effect op de spraakwaarneming [18]

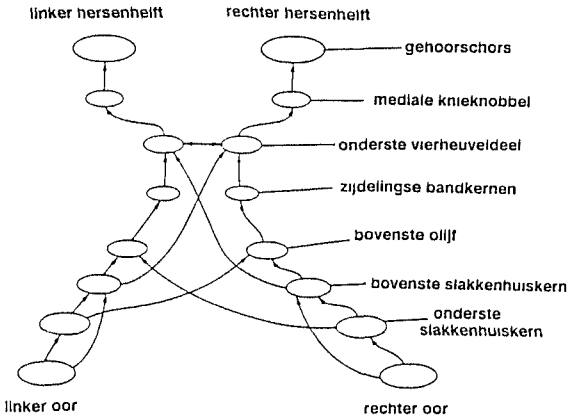
6 Is er iets bijzonders met spraak?

In de afgelopen 20-30 jaar lezen we voortdurend claims die inhouden dat er iets bijzonders aan de hand is met de waarneming van spraak Spraak zoudeñ we op een fundamenteel andere wijze waarnemen dan niet-spraakgeluiden Ik verdeel deze wereld onder in drie kampen de *gelovigen*, de *ongelovigen*, en de *agnosten* Ik reken mezelf voorlopig tot de laatste categorie Laten we maar eens kijken wat er aan gegevens beschikbaar is

1 Rechteroorvoordeel

We hebben in sectie 2 gezien dat elke haarcel langs het basilair membraan gevoelig is voor een specifieke frequentie Elk van deze ca 30 000 frequentiedetectoren is via de centrale hoorzenuw verbonden met de hersenen Deze verbinding is niet rechtstreeks, maar loopt via talrijke tussenstations (zie Figuur 13)

We zullen ons niet wagen aan een bespreking van de diverse tussenstations en hun rol voor het spraakverstaan (waarvan nog maar heel weinig bekend is). Belangrijk is dat we constateren dat het systeem in duplo is uitgevoerd dat is ook redelijk, want we hebben uiteindelijk twee oren Onze hersenen zijn verdeeld in een linker- en een rechterhelft (de zogenaamde *hersenhelften* of *hemisferen*, zie ook KOLK) Merkwaardig genoeg heeft de linkerhelft van ons lichaam (spieren en zintuigen) het sterkst contact met de rechter hersenhelft, en corresponderen de rechter helft van het lichaam vooral met de linker hersenhelft De koppeling van lichaamshelft en hersenhelft is dus gekruist Zo ook voor het gehoor Slechts een klein deel van de informatie van het linkeroor bereikt de linker hersenhelft, het gros kruist ergens op de weg naar boven over naar het parallelle kanaal (zie Figuur 13)



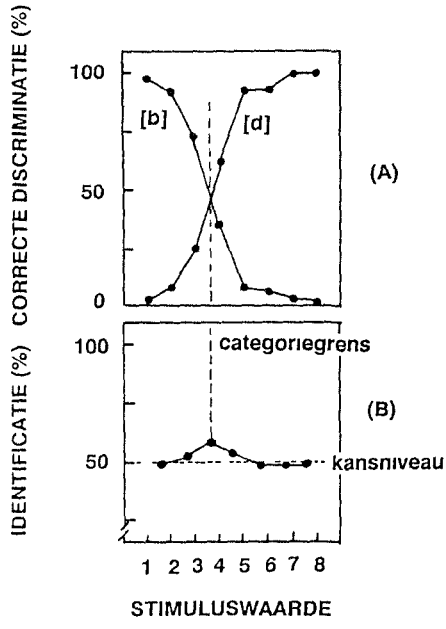
Figuur 13 De afzonderlijke schakelstations in de gehoorbaan (de weg van oor n hersenschors)

Er zijn aanwijzingen dat de linker hersenhelft gespecialiseerd is voor de verwerking v aal en spraak Bekend is dat mensen met beschadigingen aan de linker hersenhelft eerde aan taal- en spraakstoornissen leiden dan patienten met een beschadiging aan de rechte hersenhelft Dit doet vermoeden dat spraakgeluid efficienter verwerkt zal worden wanne het binnenkomt via het rechteroor Inderdaad blijken spraakgeluiden sneller en bet herkend te worden als ze alleen met het rechteroor gehoord worden dan alleen met h inkeroor Met andere geluiden, bijvoorbeeld muziek, ligt dit juist andersom, vandaar d nen het rechter- en linkeroor wel aanduidt als resp het spraakoor en het muziekoor

Als nu de verwerking van spraak plaatsvindt in een gespecialiseerd deel van het bre dan ligt het voor de hand te veronderstellen dat bij de verwerking van spraakgeluid e bijzonder mechanisme betrokken is Toch hoeft dit niet per se zo te zijn Het is nog altij nogelijk dat de verwerking van het spraakgeluid net zo verloopt als van elk ander geluid n dat het taalcentrum in de linker hersenhelft pas ingeschakeld wordt op het moment d le luisteraar een taalgebonden beslissing moet nemen over het gehoorde, bijvoorbeeld d ij aan de proefleider moet melden wat voor een klinker of medeklinker hij meende herkennen

2 CATEGORIALL WAARNEMING

We nemen van een spreker de lettergrepen [ba] en [da] op band op Vervolgens maken w ia een elektronische ingreep een reeks nieuwe lettergrepen die het verschil tussen [ba] e da] (het zgn continuum) overbruggen in bijvoorbeeld 7 kleine, gelijke stappen W ebben dan 8 lettergrepen, genummerd 1 (de oorspronkelijke [ba]) t/m 8 (oorspronkelijke [da]), waarvan elk hoger nummer een klein beetje minder op [ba] lijkt e en beetje meer op [da] We laten deze lettergrepen in willekeurige volgorde horen a luisteraars die steeds moeten beslissen of ze [ba] of [da] horen De resultaten van ze roet zijn te zien in Figuur 14



Figuur 14 A *categorisatie* en B *discriminatie* langs een [ba] - [da] continuum Categoriale waarneming is duidelijk alleen als de syllaben in een vergelijkingspaar uit verschillende fonetische categorieen komen, worden ze (boven kans) gediscrimineerd (naar Studdert-Kennedy, 1976)

Bijna alle lettergrepen, zowel de oorspronkelijke als de elektronisch bijgemaakte, delen de luisteraars eensgezind in als hetzij [ba] hetzij [da] De stemmen staken alleen voor de nummers 3 en 4, precies midden tussen de uitersten in Luisteraars zijn kennelijk voortreffelijk in staat de verscheidenheid aan geluiden te sorteren in twee duidelijk onderscheiden categorieen [ba] en [da]

Vervolgens maken we paren van steeds twee minimaal verschillende lettergrepen, dus net onmiddellijk opeenvolgende nummers [1, 2], [2, 3], [7, 8] De luisteraars moeten nu eggen of ze wel/geen verschil kunnen horen tussen de lettergrepen van elk paar Het blijkt zie ook Figuur 14) dat luisteraars alleen goed kunnen horen dat die lettergrepen hoorbaar an elkaar verschillen als die eerder waren ingedeeld in verschillende categorieen [ba - da], aren lettergrepen die eerder waren toegewezen aan dezelfde categorie, klinken identiek Dit verschijnsel nu wordt *categoriale waarneming* genoemd

De suggestie is nu dat zulke categoriale waarneming alleen voorbehouden is aan praakklanken, met name plofklanken Daartegenover moeten we bedenken dat juist lofklanken zwakke, kortdurende en snel-veranderende geluiden zijn, die snel uit het uditief geheugen vervagen Om de informatie uit zulke geluiden te kunnen vasthouden loet de luisteraar de plofklank provisorisch indelen in een of andere categorie, waarbij de

bekende fonetische categorieen een uitstekend aanknopingspunt bieden Deze situatie zou zich ook kunnen voordoen bij andere geluiden dan spraakklanken

We zouden dus een proef moeten uitvoeren met niet-spraakachtige geluiden die veneens de eigenschap hebben snel uit het auditief geheugen te vervliegen, en die ngedeeld kunnen worden in ons vertrouwde, herkenbare categorieen Hierbij valt te denken aan het geluid van hamerslagen op hout, steen of metaal Zo'n proef wordt inmiddel uitgevoerd [38], maar resultaten zijn nog niet beschikbaar Overigens is al wel categoriale waarneming gevonden voor de herkenning van muzikale accoorden als A-majeur of A mineur [4, p 216], zodat de houdbaarheid van categoriale waarneming als uniek eigenschap van spraakperceptie bij voorbaat gering is

3 CUE TRADING

We hebben boven al opgemerkt dat een klankcontrast zelden teruggevoerd kan worden op slechts een akoestisch verschil Er zijn in de regel meerdere eigenschappen van het spraakgeluid die systematisch verschillen tussen de contrasterende klanken (sectie 4 3) Zo zagen we dat de kleur en duur van een klinkergeluid in het Nederlands beide van belang zijn voor de beslissing of we een korte [α] of een lange [a] horen Een klinkergeluid dat op grond van zijn duur een lange [a] zou moeten zijn, kunnen we veranderen in een korte [ɑ] door de kleur in de richting van [α] op te schuiven. Dergelijke onderlinge compensatiemogelijkheden tussen de vaak heel diverse akoestische eigenschappen (*cues*) van spraakklanken hebben veel aandacht gekregen in de literatuur, en staan bekend onder de naam *trading*, letterlijk *uitwisseling* De claim nu is dat *cue trading* alleen voorkomt bij de identificatie van spraakklanken

Een nog verdergaande claim is dat de vele, uiteenlopende verschijningsvormen van een klank toch herkend worden als steeds dezelfde categorie, doordat de luisteraar zich voortdurend indenkt hoe hij zo'n klank als spreker zou maken Zo bezien is categoriale waarneming een rechtstreeks gevolg van *categoriale produktie* We kunnen op het gehoor een klanken onderscheiden tussen [b] en [d] in, omdat we er ook geen klanken tussen kunnen maken de [b] maken we met de lippen, de [d] met de tongpunt, en iets er tussenin staat niet Volgens deze zgn *motortheorie van spraakwaarneming* maakt de luisteraar op basis van het binnenkomend spraakgeluid een reconstructie van het spraakproduktieproces dat aan dat geluid ten grondslag ligt De luisteraar praat onmerkbaar mee met de spreker Ook moderne uitgaven van deze theorie gaan ervan uit dat de luisteraar met behulp van alle beschikbare informatie, hoorbaar, zichtbaar, of zelfs voelbaar, een reconstructie maakt van de articulatorische gebeurtenis (*event*) die plaatsvindt Volgens aanhangers van de theorie, de zgn *event perception theory*, verloopt zo'n reconstructie onbewust, onwillekeurig, onmiddellijk, en altijd trefzeker [20]

Tegen de gedachte van de motortheorie is vaak ingebracht dat ook mensen die vanaf hun geboorte stom zijn, maar niet doof, een volstrekt normale spraakwaarneming vertonen inclusief categoriale perceptie en cue trading Deze mensen kunnen echter nooit een reconstructie maken van de articulatorische gebeurtenis Los daarvan lijkt het mij heel goed mogelijk cue trading aan te tonen bij de categorisatie van niet-spraakklanken Alweer alle type proeven wordt gewerkt, maar er zijn nog geen resultaten beschikbaar

6.4 AANGEBOREN SPRAAKKENMERKDETECTOREN

De gehoorcellen detecteren de aanwezigheid van specifieke frequenties in het geluid. Deze informatie wordt vanaf het gehoor naar de hersenen doorgegeven via een keten van tussenliggende zenuwcellen (zie Figuur 13). De keten van cellen is hierarchisch georganiseerd, en wel zo dat een hoger gelegen cel informatie uit twee of meer lagere cellen combineert, en aldus kan fungeren als een gespecialiseerde patroonherkenner. Zo is verondersteld dat zich hoog in de hiërarchie gespecialiseerde cellen bevinden die elk in staat zijn de aanwezigheid van een specifiek klankkenmerk te detecteren. Zo zouden er detectoren zijn voor de kenmerken stemhebbend versus stemloos, en voor de plaats van articulatie (labiaal, alveolair, velair). Men vermoedt het bestaan van zulke kenmerkdetectoren op grond van het verschijnsel *gewenning* (of *adaptatie*). Hiermee wordt ruwweg het volgende bedoeld.

Stel weer dat onder normale omstandigheden de scheidslijn tussen een korte en een lange klinker ligt bij 100 ms (zie 5.2). Als we nu een luisteraar gedurende langere tijd steeds overduidelijke voorbeelden geven van ("bombarderen met") extreem korte klinkers, dan zal blijken dat hij daarna een wat langere klinker benoemt als een lange klinker, ook al is deze in werkelijkheid korter dan 100 ms. We noemen dit *criteriumverschuiving* als gevolg van gewenning. De gedachte is nu dat de kenmerkdetector door het bombardement van extreem korte klinkers ongevoelig is geworden voor korte klinkers, waardoor de luisteraar eerder zal beslissen dat een klinker lang is.

Het is gemakkelijk aan te tonen dat zo'n kenmerkdetector niet in het oor zelf zit: als we het bombardement met extreem korte voorbeelden via het ene oor laten horen en de langere klinker via het andere, vinden we dezelfde criteriumverschuiving. De kenmerkdetector zit dus ergens waar de informatie uit beide oren al samengekomen kan zijn.

Ook al zouden er speciale detectorcellen bestaan, afgestemd op eigenschappen van spraakgeluiden, dan nog maakt dat spraak niet echt bijzonder. Op dezelfde manier zouden we ook kunnen beschikken over detectoren voor bepaalde muziekinstrumenten, voor dierengeluiden en andere veel-voorkomende geluiden uit onze dagelijkse omgeving. Daarom heeft het debat zich gaandeweg toegespitst op de vraag of de spraakdetectoren aangeboren zijn, d.w.z. vanaf de geboorte aanwezig. Inderdaad vertonen ook pasgeboren kinderen verschijnselen van gewenning en categoriale waarneming bij spraakgeluiden (KOOPMANS-VAN BEINUM & VAN DER STELT). Sterker nog, dezelfde verschijnselen zijn ook gevonden bij chinchillas, hetgeen erop duidt dat zoogdieren in het algemeen een choormechanisme bezitten dat gespecialiseerde detectoren heeft voor bepaalde geluiden. Dit op zijn beurt leidt tot de conclusie dat niet ons gehoor zich heeft aangepast aan de eisen die spraakverstaan stelt, maar omgekeerd, dat we in de loop van de evolutie (spraak)-geluiden zijn gaan gebruiken waarvoor ons zoogdierengehoor toch al een bijzondere gevoeligheid heeft.

5 SLOT

De gedachte dat de waarneming van spraak gebruik maakt van een speciaal mechanisme l
op het eerste gezicht aantrekkelijk, en lijkt veel merkwaardige verschijnselen begrijpelijk te
maken Daartegenover geldt in de wetenschap de ijzeren wet van Occam's scheermes al
een deel van een verklaring kunt weglaten en toch dezelfde verschijnselen kun
verklaren, dan is die kortere verklaring de beste Het is niet onmogelijk dat spraak wordt
aargenomen met een speciaal mechanisme, bijvoorbeeld via reconstructie van d
rticulatie of via overgeerfde gespecialiseerde kenmerkdetectoren Vooralsnog echt
unnen alle eigenaardigheden van de spraakwaarneming begrepen worden uit algemen
igenschappen van het menselijk gehoor en de organisatie van het gehcugen De toekom
al leren wie er uiteindelijk gelijk heeft

ITERATUUR

VERZICHTSWERKLN

] Ainsworth W A (1976) *Mechanisms of speech recognition* Oxford Pergamon Press
] Darwin C J (1976) The perception of speech in Carterette E C & Friedman M P (eds) *Handbook perception volume VII Language and speech* New York Academic Press pp 175 226
] Green D M (1976) *An introduction to hearing* Hillsdale NJ Erlbaum voorn hoofdstuk XII (Spe perception)
] Moore B C J (1982) *An introduction to the psychology of hearing* London Harcourt Brace & Jovanov hoofdstukken I t/m IV en VII (Speech perception)
] Nootcboom S G & Cohen A (1984) *Spreken en verstaan een nieuwe inleiding tot de experimentele fonet* Assen v in Gorcum hoofdstuk III 5 (Spectrografische afbeelding van spraakgeluiden) III 6 (De proef op som synthese v in spraak) IV (Het oor en het horen van geluiden)
] Schouten M E H (ed) (1987) *The psychophysics of speech perception* The Hague Nijhoff
] Studdert Kennedy M (1976) Speech perception in Lass N J (ed) *Contemporary issues in experime phonetics* New York Academic Press pp 243 293

PECIFIEKE REFERENTIES

] Abel S M (1972) Discrimination of temporal gaps *Journal of the Acoustical Society of America* **52** 519 5
] Balen C W van (1980) *Intelligibility of speech fragments* Dissertatie RU Utrecht
3] Benguérel A P & D Arcy J (1986) Time warping and the perception of rhythm in speech *Journa Phonetics* **14** 231 246
1] Bladon R A W & Lindblom B L I (1981) Modeling the judgment of vowel quality differences *Journ the Acoustical Society of America* **69** 1414 1422
2] Bot C L J de (1982) *Visuele feedback van intonatie* Dissertatie KU Nijmegen
3] Brecuwer M (1985) *Speech reading supplemented with auditory information* Dissertatie VU Amsterd m
4] Broecke M P R v n den & Heuven V J van (1983) Effect and artifact in the auditory discrimination of i and decay time speech and non speech *Perception and Psychophysics* **33** 305 313
5] Brokx J P L & Nootcboom S G (1982) Intonation and the perceptual separation of simultaneous voi *Journal of Phonetics* **10** 23 36
6] Diehl R (1976) Feature analyzers for the phonetic dimension stop vs continuant *Perception Psychophysics* **19** 267 272
7] Disner S F (1980) Evaluation of vowel normalization procedures *Journal of the Acoustical Societ America* **67** 253 261
8] Dupuis M Ch (1987) *Perceptual effects of phonetic and phonological accommodation an experime study on effects of coarticulation and assimilation on perception of words and word beginnings* Dissert RU Leiden
9] Flanigan J L (1955) A difference limen for vowel formant frequency *Journal of the Acoustical Societ America* **27** 613 617
0] Fowler C A (1986) An event approach to the study of speech perception from a direct realist perspect *Journal of Phonetics* **13** 3 28

[21] Fujisaki H Nakamura K & Imoto T (1975) Auditory perception of duration of speech and non speech stimuli in Fant G & Tatham M A A (eds) *Auditory analysis and perception of speech* New York etc Academic Press pp 197 219
[22] Gerstman L J (1957) *Perceptual dimensions for the friction portion of certain speech sounds* Dissertation New York University
[23] Hart J t (1981) Differential sensitivity to pitch distance particularly in speech *Journal of the Acoustical Society of America* 69 811 821
[24] Hawkins S & Stevens K N (1985) Acoustic and perceptual correlates of the non n s il/nasal distinction for vowels *Journal of the Acoustical Society of America* 77 1560 1575
[25] Heuven V J van & Broecke M P R van den (1979) Auditory discrimination of rise and decay times in tone and noise bursts *Journal of the Acoustical Society of America* 66 1308 1315
[26] Heuven V J van Houten J E van & Vries J W de (1986) De perceptie van Nederlandse klinkers door Turken *Spectator* 15 225 238
[27] Klaassen Don L L O (1983) *The influence of vowels on the perception of consonants* Dissertatie RU Leiden
[28] Lehiste I (1970) *Suprasegmentals* Cambridge MA M I T Press
[29] Lindblom B E F (1986) Phonetic universals in vowel systems in Ohala J J (ed) *Experimental phonology* New York etc Academic Press pp 13 44
[30] Massaro D (1988) Speech perception by ear and eye in Dodd B & Campbell R (eds) *Hearing by eye experimental studies in the psychology of lipreading* Hillsdale NJ Erlbaum
[31] Mermelstein P (1978) Difference limens for formant frequencies of steady state and consonant bound vowels *Journal of the Acoustical Society of America* 63 572 580
[32] Nooteboom S G (1974) Experimentele bijdragen aan de fonologie *Forum der Letteren* 15 73 99
[33] Nooteboom S G (1981) Speech rate and segmental perception or the role of words in phonemic identification in Myers T Laver J & Anderson J (eds) *The cognitive representation of speech* Amsterdam North Holland pp 143 150
[34] Nord L & Svenchius E (1979) Analysis and prediction of difference limen data for formant frequencies *Quarterly Progress and Status Report Speech Transmission Laboratory Royal Institute of Technology* Stockholm 3/4 pp 60 72
[35] Pols L C W & Schouten M E H (1987) Perception of tone band and formant sweeps in [6] pp 231 240
[36] Remez R E Rubin P E Pisoni D B & Carrell T D (1981) Speech perception without traditional speech cues *Science* 212 947 950
[37] Rietveld A C M & Gussenhoven C (1985) On the relation between pitch excursion size and prominence *Journal of Phonetics* 13 299 308
[38] Schouten M E H (1987) Speech perception and the role of long term memory in [6] pp 66 79
[39] Slis I H & Nierop D J P J van (1970) On the forward masking threshold of vowels in VC combinations *IPO Annual Progress Report* 5 68 77
[40] Slis I H & Cohen A (1969) On the complex regulating the voiced voiceless distinction I & II *Language and Speech* 12 80 102 137 155
[41] Strange W Verbrugge R R Shankweiler D P & Edman T R (1976) Consonant environment specifies vowel identity *Journal of the Acoustical Society of America* 60 213 224
[42] Verbrugge R R Strange W Shankweiler D P & Edman T R (1976) What information enables a listener to map a talker s vowel space? *Journal of the Acoustical Society of America* 60 198 212
[43] Resnick S B Weiss M S & Heinz J M (1977) Masking of filtered noise bursts by synthetic vowels *Journal of the Acoustical Society of America* 66 674 677

VRAGEN

Wat is de functie van het middenoor? Hoe zou het komen dat we bij een snelle en forse hoogteverandering (zoals in een dalend of opstijgend vliegtuig) tijdelijk hardhorend zijn?
Wat is het gevolg van een frequentieverandering voor het bewegingspatroon van het basilair membraan? En wat van een intensiteitsverandering?
Hoe noemen we het frequentiegebied waarbinnen gelijktijdige tonen elkaars waarneming beïnvloeden? Hoe groot is dat gebied ruwweg?
Wat is een Juist Waarneembaar Verschil? Hoe groot is het JWV (in absolute getallen of in een percentage) voor intensiteit grondfrequentie van een klinker formantfrequentie van een klinker en duur van een klinker?
Wat zou het effect zijn van gelijktijdige (zijwaartse) maskering op de waargenomen scherpte van klinkerformanten
Als we het Nederlandse woord aak op een bandje opnemen en dit achterstevoren afdraaien dan horen we niet kaa maar gaa of eventueel chaa zoals in het woord chaos Kunt u deze verandering van plofklank in wrijfklank verklaren?
De echte medeklinkers (de zgn obstruenten) kunnen worden onderverdeeld in een groep stemhebbende en een groep stemloze medeklinkers Zo staan tegenover elkaar de klanken /p b/ /t d/ /t v/ en /s z/ Hoe kunt en we eenvoudig aantonen dat dit onderscheid niet in de eerste plaats berust op de afwezigheid te enover aanwezigheid van stembandtrilling? Welke andere verschillen tussen de beide klankcategorieën zijn belangrijker
Waaraan horen we dat een spraakklank een klinker is? Is het horen van stemhebbendheid hierbij belangrijk? Waarom wel niet

9 Wat wordt bedoeld met cue-trading in de spraakwaarneming? Kunt u voorbeelden geven van cue-trading?
10 Hoe horen we bij plofklanken wat de articulatieplaats is?
11 Wat bedoelen we met coarticulatie?
12 Los-gesproken klinkers worden voller en duidelijker van elkaar verschillend uitgesproken dan dezelfde klinkers in CVC-syllaben. Toch zijn ze in een syllabecontext beter te herkennen. Hoe zou dat kunnen komen?
13 Hoe kunnen we aantonen dat de luisteraar bij het spraakverstaan ook gebruik maakt van visuele informatie die de spreker hem verschaft?
14 Hoe kunnen we gemakkelijk laten zien dat kenmerkdetectoren voor bijvoorbeeld stemhebbendheid, als die bestaan, niet zetelen in het oor zelf, maar meer centraal in de hersenen?
15 Als we in Figuur 5 (bovenste paneel) de harmonischen met even nummers zouden weglaten, welke toonhoogte zou ons gehoor dan toekennen aan het resterende tooncomplex? En wat zou er gebeuren als we juist de oneven harmonischen weglaten?