

---

# Categorieën leren uit normale verdelingen

---

Dorine Diemer  
Studentnummer: 5994187

Bachelorscriptie Taalwetenschap

Juni 2011



UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM

Begeleider: prof. dr. P. Boersma

## Samenvatting

Recente studies laten zien dat baby's en volwassen luisteraars bij het leren van fonemen waarschijnlijk gebruik maken van informatie over de verdeling van variatie in spraakklanken (Maye & Gerken, 2000, 2001; Maye, Werker & Gerken, 2002; Maye, Weiss & Aslin, 2008; Capel, 2008). Onderzoek naar distributiekennel leren presenteert stimuli in uni- of bimodale verdelingen aan luisteraars, waarna een discriminatietest gedaan wordt op één stimuluspaar. De twee verdelingen worden gemaakt door van een beperkt aantal stimuli het aantal herhalingen te variëren. Echter, uit onderzoek van Rogers en Davis (2009) is gebleken dat door massale stimulusherhaling de categorische perceptie mogelijk uitvergroot wordt. Om dit tegen te gaan is daarom gebruik gemaakt van een normaal verdeeld continuüm waarbij alle stimuli verschillen en slechts één keer voorkwamen. 27 volwassen sprekers van het Nederlands luisterden naar geaspireerde Koreaanse woorden in een unimodale of bimodale verdeling. Voor het vaststellen van het effect hiervan op de perceptie van de klanken is gebruik gemaakt van een continue discriminatiemethode die het hele continuüm afloopt (Boersma & Chládková, 2010). Met behulp van twee *maximum likelihood*-analyses werd bepaald welke luisteraars een piek vertoonden in de discriminatiedata, een aanwijzing voor categorische perceptie van het continuüm. Bij 14 luisteraars werd een dergelijke piek gevonden. Deze lag echter verder naar links op het continuüm dan op basis van de verdelingen verwacht werd. Er was bovendien geen interactie tussen een uni- of bimodale verwerving en het al dan niet vertonen van een discriminatiepiek. De gevonden pieken zijn mogelijk het gevolg van basisgevoeligheden van het menselijk gehoor of van verschillende psychoakoestische strategieën. Vervolgonderzoek zou gebruik moeten maken van een ander contrast, waarin meerdere parameters gemanipuleerd worden en grotere variatie in woorden en sprekers bestaat.

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>2</b>
1.1	Categorische perceptie van spraak . . . . .	2
1.2	Statistisch leren . . . . .	2
1.2.1	Empirische ondersteuning van statistisch leren van fonologische categorieën . . . . .	3
1.3	Taakeffecten in categorische perceptie . . . . .	5
1.4	De continue discriminatiemethode . . . . .	5
1.5	Het experiment: categorieën leren uit normale verdelingen . . . . .	6
1.5.1	Het gebruikte contrast . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Methode</b>	<b>9</b>
2.1	Opname . . . . .	9
2.2	Verwerving . . . . .	9
2.2.1	Stimuli . . . . .	9
2.2.2	Procedure . . . . .	10
2.3	Test . . . . .	10
2.3.1	Stimuli . . . . .	10
2.3.2	Procedure . . . . .	12
2.3.3	Deelnemers . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Conclusie</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Discussie</b>	<b>17</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>19</b>
	<b>Dankwoord</b>	<b>20</b>
<b>A</b>	<b>Opnamescript</b>	<b>21</b>
<b>B</b>	<b>Instructie</b>	<b>22</b>
<b>C</b>	<b>Maximum likelihood-analyses zonder helling</b>	<b>23</b>
<b>D</b>	<b>Scripts</b>	<b>24</b>
D.1	Maak de verwervingsstimuli . . . . .	24
D.2	Maak de verwerving . . . . .	26
D.3	Maak de teststimuli . . . . .	27
D.4	Zet de data van de luisteraars in een matrix . . . . .	29
D.5	Maak tabel met de resultaten . . . . .	30

# 1 Introductie

## 1.1 Categorische perceptie van spraak

Spraakklanken kunnen geclassificeerd worden op basis van een aantal distinctieve kenmerken, zoals plaats van articulatie, manier van articulatie en stemgeving. Wanneer een taal twee klanken betekenisonderscheidend gebruikt, zoals in het Nederlands het geval is voor de /p/ en /b/ in *paard* en *baard*, wordt gezegd dat deze klanken in de taal twee aparte fonemen zijn.

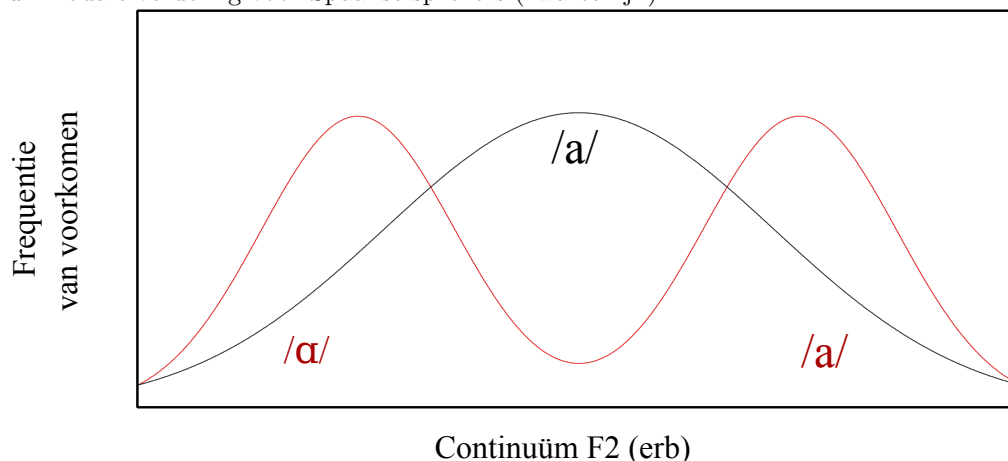
In de praktijk zijn fonemen categorieën van niet-identieke klanken die dezelfde functie hebben (Kuhl, 2004). De akoestische eigenschappen van spraakklanken worden namelijk beïnvloed door spreker, spreek-snelheid en omliggende klanken. Zo is een /p/-klank anders wanneer deze voor een /o/ wordt uitgesproken dan voor een /i/. Volwassen luisteraars hebben geleerd alle bovengenoemde akoestische variatie te negeren en spraakklanken binnen één categorie als hetzelfde foneem waar te nemen, een verschijnsel dat categorische perceptie genoemd wordt. Spraakklanken die in kleine stapjes in elkaar overgaan, worden namelijk niet als geleidelijk veranderend waargenomen, maar als dezelfde klank met scherpe overgangen rond foneemgrenzen. Het is duidelijk dat categorische perceptie de verwerking van spraak vergemakkelijkt. Er hoeft zo namelijk niet voor iedere spreker en iedere fonetische context een andere representatie te worden onderhouden in het brein.

## 1.2 Statistisch leren

Een pasgeboren baby heeft de taak om uit de omgevingstaal de fonemen van zijn of haar moedertaal af te leiden. Tot een leeftijd van 5 maanden kunnen baby's alle fonologische contrasten onderscheiden, maar tussen 6 en 10 maanden vindt er een reorganisatie van het perceptiesysteem plaats. Zij beginnen dan afgestemd te raken op de fonemen van hun moedertaal (Werker & Tees, 1984). Het vermogen om moedertaalcontrasten te onderscheiden neemt toe, terwijl contrasten uit andere talen niet meer goed onderscheiden worden.

De distinctieve kenmerken waar fonemen uit opgebouwd zijn, kunnen beschouwd worden als eigenschappen die gevarieerd worden langs een continuüm. Zo wordt het kenmerk 'stemgeving' bepaald door variaties in het moment waarop in een spraakklank de stembanden beginnen te vibreren, de zogeheten Voice Onset Time, en ontstaan plaatskenmerken door verschuivingen in frequenties van formanten. Talen verschillen in het aantal categorieën op een continuüm en de plaats van de categoriegrenzen. Zo heeft het Nederlands langs het F2-continuüm voor lage klinkers twee categorieën, /a/ en /ɑ/, terwijl het Spaans daar maar één categorie heeft. Omdat er geen manier is om van te voren te weten welke cues belangrijk zijn in de te leren taal, moet de baby gebruik maken van taalneutrale informatie. Een dergelijke betrouwbare, taalneutrale cue voor categoriegrenzen van fonemen wordt gevormd door de verdeling van variatie in spraakklanken. Ongeacht het aantal categorieën en de locatie van de grenzen, zullen de meeste klanken in het midden van een categorie vallen, terwijl aan de randen van de categorie weinig exemplaren voorkomen (Kuhl, 2004), zie figuur 1.1. De statistisch-lerenhypothese veronderstelt dat baby's kennis over de fonemen van hun taal destilleren uit het bijhouden en verwerken van frequenties van fonetische eenheden (Kuhl, 2004). Empirische aanwijzingen voor het bestaan van distributioneel leren komen uit onderzoek naar woordsegmentatie (Saffran, Aslin & Newport, 1996) en fonotactische

Figuur 1.1: Bimodale verdeling van /a/-klanken langs een continuüm voor Nederlandse sprekers (rode lijn) en unimodale verdeling voor Spaanse sprekers (zwarte lijn)



patronen (Jusczyk, Luce & Charles-Luce, 1994). Op neurale niveau is distributioneel leren succesvol gemodelleerd door Guenther en Gjaja (Guenther & Gjaja, 1996). Zij ontwikkelden een verwerkingsmodel waarin blootstelling aan een bepaalde taal tot onregelmatigheden in de vuurpatronen van neuronen leidde. Na verloop van tijd werden bepaalde groepen neuronen gewijd aan de meest frequente klanken. Deze clusters neuronen weerspiegelden de foneemcategorieën van de betreffende taal.

### 1.2.1 Empirische ondersteuning van statistisch leren van fonologische categorieën

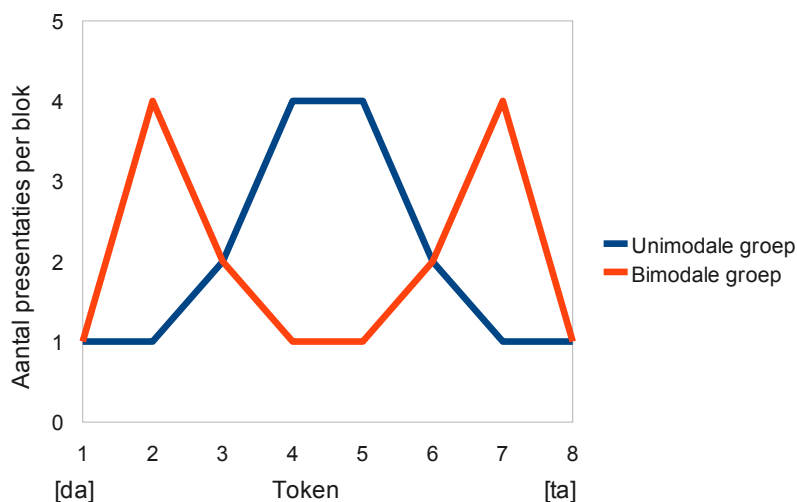
Jessica Maye en Lou-Ann Gerken (Maye & Gerken, 2000) waren de eersten die statistisch leren toepasten op de verwerving van foneemcategorieën. Zij stelden dat sprekers spraakklanken produceren met sterke variatie. In het voorbeeld van de Nederlandse en de Spaanse /a/'s, produceren sprekers van beide talen uiteenlopende versies van de /a/. De variatie zal in iedere categorie normaal verdeeld zijn: klanken rond het midden van een categorie ('prototypische exemplaren') komen veel voor, terwijl klanken rond categoriegrenzen weinig voorkomen. Gezien over het hele continuüm betekent dit dat bij Nederlandse sprekers de klanken in twee clusters vallen met middenin en aan de randen weinig exemplaren (bimodale verdeling), terwijl bij de Spaanse sprekers er sprake is van één groot cluster van klanken rond het midden van het continuüm (unimodale verdeling) (Maye et al., 2002). Figuur 1.1 illustreert dit voor het voorbeeld met de /ɑ/ en de /a/.

De verwachting van de onderzoekers was dat bimodale luisteraars de klanken als exemplaren van verschillende categorieën zouden beschouwen, terwijl unimodale luisteraars de verschillen zouden leren negeren en de klanken in één categorie zouden onderbrengen. Als te leren contrast gebruikten Maye en Gerken de stemhebbende [d] en het Engelse ongeaspireerde allofoon [t] uit /s/-clusters. Dit contrast is fonemisch in andere talen, bijvoorbeeld het Nederlands. Engelse luisteraars zijn in staat het waar te nemen, maar zij onderscheiden het niet als fonologisch contrast (Maye & Gerken, 2000).

Uit 6 woorden werden drie continua gegenereerd die in 8 stappen van [d] naar [t] liepen. De uni- en bimodale verdeling werden vervolgens gemaakt door het aantal presentaties van de tokens te variëren (zie figuur 1.2).

In de unimodale groep werden de middelste tokens vier keer vaker gepresenteerd dan de klanken

Figuur 1.2: Continuüm gebruikt in Maye & Gerken, 2000



aan de categoriegrens, in de bimodale groep kwamen tokens 2 en 7 vier keer vaker voor. Volwassen sprekers van het Engels luisterden naar de continua in de unimodale of bimodale verdeling en kregen de instructie de klanken goed in zich op te nemen. Vervolgens deden alle deelnemers een discriminatietest op tokens 1 en 8, de eindpunten van de continua. Deze zijn door beide groepen evenveel gehoord<sup>1</sup>. In overeenstemming met de verwachting gaven bimodale luisteraars meer ‘verschillend’-responsen op de discriminatietest dan luisteraars uit de unimodale groep. Dit vormde ondersteuning voor de hypothese dat mensen waarschijnlijk gebruik maken van de distributies van klanken in de omgevingstaal om informatie af te leiden over de categorieën van deze taal.

Een vervolgonderzoek (Maye & Gerken, 2001) onderzocht of de representatie die luisteraars tijdens de verwerving hadden gevormd naar andere plaatsen van articulatie generaliseerde. Dit zou betekenen dat de verwerving had geleid tot veranderingen op het niveau van foneemkenmerken. Deze keer luisterden deelnemers naar /d/-/t/- óf /g/-/k/-continua in een uni- óf bimodale verdeling. Er waren dus vier groepen in dit experiment. Vervolgens werd iedere luisteraar niet alleen op het getrainde contrast, maar ook op het andere, nog niet eerder gehoorde, contrast getest. De deelnemers die tijdens de verwerving het /d/-/t/ contrast hadden gehoord, deden dus een discriminatietest met zowel /d/-/t/ als /g/-/k/-paren en ook de /g/-/k/-luisteraars hoorden /d/-/t/- en /g/-/k/-paren. Voor het getrainde contrast werd wederom gevonden dat bimodale luisteraars het contrast beter onderscheidden dan unimodale luisteraars. Voor de ongetrainde stimuli werd tegen de verwachting in geen verschil gevonden tussen bimodaal en unimodaal getrainde luisteraars, een nulresultaat. Volgens de onderzoekers zou dit kunnen komen doordat er te weinig variatie in de stimuli was. Variatie in tokens en sprekers zou, hoewel niet relevant voor de perceptie van fonemen, wel van belang kunnen zijn voor de vorming van categorieën doordat het de invariante eigenschappen van de categorie duidelijker naar voren laat komen (Maye & Gerken, 2001).

<sup>1</sup>In vervolgonderzoek (Maye et al., 2002, 2008) werden de snijpunten van de curves van de twee verdelingen gebruikt, tokens 3 en 6.

### 1.3 Taakeffecten in categorische perceptie

Het belang van variatie blijkt ook uit studies die onderzocht hebben welke effecten de gebruikte stimuli hebben op de waargenomen categorische perceptie. In spraakperceptie-onderzoek wordt categorische perceptie meestal vastgesteld met identificatie- of discriminatietaken. Bij identificatietaken (ook wel categorisatietaken) worden klanken stapsgewijs gevarieerd langs een continuüm. Luisteraars moeten deze klanken benoemen als een foneem uit een bepaalde taal. De categorische perceptie blijkt uit dat stimuli binnenin een categorie stelselmatig als het ene foneem worden geïdentificeerd en rondom de categoriegrens met een scherpe overgang ineens benoemd worden als het andere foneem. Identificatietaken hebben als nadeel dat foneemlabels en het aantal categorieën altijd expliciet gemaakt moeten worden aan de luisteraar.

Bij discriminatietaken hoort de deelnemer per trial meer dan één stimulus. De simpelste versie van een discriminatietask is de AX-taak. Hierbij hoort de luisteraar twee stimuli, waarna hij of zij aangeeft of deze klanken hetzelfde waren of verschillend. De stimuli worden wederom stapsgewijs gevarieerd langs een continuüm. Categorische perceptie blijkt uit het feit dat stimuli op gelijke akoestische afstand *binnenin* categorieën als hetzelfde worden waargenomen en *rondom* een categoriegrens als verschillend.

Categoriegrenzen kunnen veranderen onder invloed van bepaalde factoren. Veranderingen in de breedte van het stimulusbereik kunnen de grens van de categorie verplaatsen (Brady & Darwin, 1978) en de scherpheid van de categoriegrens wordt beïnvloed door de distributie van de stimuli die de deelnemers horen (Clayards, Tanenhaus, Aslin & Jacobs, 2008). Het effect van stimulusherhalingen op de sterkte van het categorische perceptie-effect werd onderzocht door Rogers and Davis (Rogers & Davis, 2009). Met behulp van een “Straight”-vocoder vermengden zij groot aantal Engelse minimale woord- en non-woordparen in stapjes van 10% met elkaar. Zo ontstonden verschillende, natuurlijk klinkende continua woorden met ambigue klanken. Verschillende groepen Engelse luisteraars deden vervolgens onder andere twee discriminatietaken op deze woordparen. In de eerste discriminatietask werden 96 woordparen 16 keer gepresenteerd, terwijl in de tweede taak 2 paren 416 keer herhaald werden. Het bleek dat, in vergelijking met de resultaten op de eerste discriminatietask, grote aantallen herhalingen van een klein aantal stimuli de discriminatie tussen categorieën versterkte, terwijl discriminatie binnenin categorieën afnam. Volgens Rogers en Davis bevestigt dit dat veel bevindingen in categorische perceptie-onderzoek berusten op geconcentreerde stimulusherhalingen. Ze benadrukken het belang van ‘naturalistische luistercondities’ en het werken met stimuli die niet veel herhaald worden.

### 1.4 De continue discriminatiemethode

Boersma en Chládková (2010) ontwikkelden een methode die categorische perceptie in spraak vaststelt zonder gebruik te maken van stimulusherhalingen. In een perceptie-experiment testten zij discriminatie van klanken op het een continuüm [i]-[e]. Deze klanken verschillen in de hoogte van de eerste formant (F1), die laag is voor [i] en hoger voor [e]. Een F1-continuüm dat liep van 280 Hz (6.93 erb) tot 725 Hz (12.86 erb) werd dichtopeen gesampled in 260 stimuli. De afstand tussen twee stimuli van een paar was telkens 0.09 erb, 23 keer groter dan de afstand tussen twee opeenvolgende stimulusparen in het continuüm, namelijk 0.039 erb. Tsjechische luisteraars kregen vervolgens deze paren in willekeurige volgorde aangeboden met de taak aan te geven of de twee klanken van een paar hetzelfde of verschillend waren. In werkelijkheid waren de leden van een paar altijd verschillend, maar dit verschil was zo klein dat het in slechts ongeveer de helft van de trials waarneembaar was. Ieder paar werd twee keer aangeboden:

één keer met de hoge F1 eerst en een keer met de lage F1 eerst.

Boersma en Chládková redeneren dat een luisteraar die meerdere categorieën langs het F1-continuüm heeft, de stimulusparen op bepaalde plekken in het continuüm (rond categoriegrenzen) als verschillend waarneemt en op andere plekken (binnen de categorieën) als hetzelfde. De plek waar de meeste ‘verschillend’-responsen gegeven worden, is de locatie van de categoriegrens. Voor analyse werden de responsen op de stimulusparen gescoord als het aantal ‘verschillend’-responsen dat gegeven was op ieder paar: 0 voor twee ‘hetzelfde’-responsen, 1 voor één ‘hetzelfde’- en één ‘verschillend’-respons en 2 voor twee ‘verschillend’-responsen. Vervolgens werd de data onderworpen aan drie *maximum likelihood*-analyses. Elk van deze analyses doet een aanname over de perceptie van de luisteraar. In het eerste model wordt aangenomen dat de luisteraar het continuüm niet categorisch waarneemt en een constante kans heeft om ‘verschillend’ te antwoorden. Het tweede model veronderstelt één discriminatiepiek op het continuüm en het derde twee. Beginnend met willekeurige uitgangswaarden voor de locatie, hoogte en standaarddeviatie van de piek, worden deze waarden langzaam aangepast tot de *log-likelihood* maximaal is. Vervolgens worden de modellen onderling vergeleken. Bepaling van het model dat de data het best beschrijft, vindt plaats door de verbeteringen op de *log-likelihood* te onderwerpen aan een  $\chi^2$ -toets.

De continue discriminatiemethode heeft vier voordelen boven klassieke identificatie- en discriminatietaken. Ten eerste wordt geconcentreerde stimulusherhaling voorkomen, waardoor een betrouwbaarder maat van categorische perceptie gevonden wordt. Daarnaast hoeft bij deze methode geen aanname gedaan te worden over het aantal categorieën dat de luisteraar heeft langs het continuüm. Verder kan de methode ook toegepast worden op stimuli waar luisteraars nog geen labels voor hebben, omdat geen identificatiedata meer nodig is om discriminatie uit te voorspellen. Tot slot geeft de analyse ook informatie over de locatie en scherpte van de categoriegrens. Al deze eigenschappen maken de continue discriminatiemethode bijzonder geschikt om de resultaten van distributioneel leren vast te stellen.

## 1.5 Het experiment: categorieën leren uit normale verdelingen

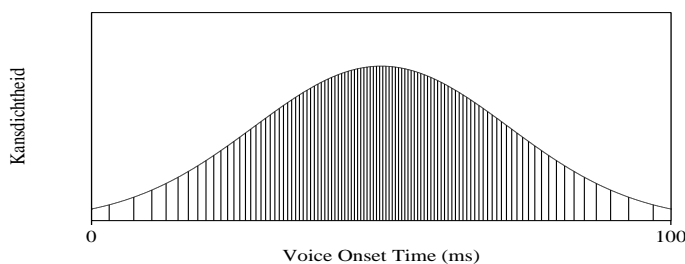
Distributioneel leren van fonemen is sinds 2000 enkele keren gerepliceerd (Maye & Gerken, 2001; Maye et al., 2002, 2008; Capel, 2008). In al deze experimenten is gebruik gemaakt van herhaling van een beperkt aantal stimuli in de verwerving en zijn de deelnemers getest met slechts twee stimuli. In het nu volgende experiment luisterden eentalige Nederlandse sprekers naar een onbekend contrast in een uni- of bimodale verdeling, waarna zij getest werden op discriminatie van hetzelfde contrast. Het experiment baseerde zich op de methode van Maye en Gerken (2000), maar paste deze zo aan dat op alle onderdelen maximale continuïteit in de stimuli bestond en geconcentreerde herhaling van stimuli werd vermeden. In de verwervingfase is het continuüm volgens een normale verdeling gesampled, dicht opeen rond het midden van categorieën en ver uiteen aan de randen, zodat een groot aantal verschillende stimuli ontstond (zie figuur 1.3 en 1.4). In de testfase is gebruik gemaakt van de continue discriminatiemethode van Boersma en Chládková (2010) waar wederom een groot aantal verschillende stimuli uit een dichtopeen gesampled continuüm is gebruikt, waardoor voorspellingen over de locatie van de categoriegrens zeer precies geëvalueerd konden worden.

### 1.5.1 Het gebruikte contrast

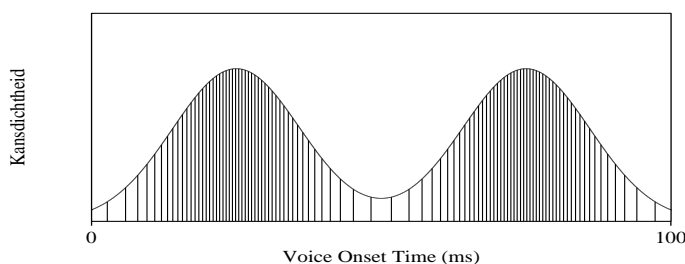
Net als in het onderzoek van Maye en Gerken moest ook voor dit experiment een contrast gebruikt worden dat waarneembaar was, maar door Nederlandse sprekers niet fonologisch wordt onderscheiden. Het besluit met natuurlijke spraak te werken beperkte het mogelijke distinctieve kenmerk tot Voice



Figuur 1.3: Unimodale verdeling, continu en *even* gesampled



Figuur 1.4: Bimodale verdeling, continu en *even* gesampled



Onset Time, aangezien dit makkelijk te variëren is door stukken ruis of *prevoicing* periodes te knippen en plakken. Op het VOT-continuüm bestaan verschillende fonologische contrasten in talen van de wereld. Nederlandse sprekers maken al onderscheid tussen stemhebbende versus stemloze plosieven en uit het Engels is het contrast stemloos ongeaspireerd versus stemloos geaspireerd bekend. Deze contrasten waren daarom ongeschikt. Een geschikt contrast werd gevonden in het Koreaans. Deze taal kent een driewerf contrast in stemloze plosieven op alle drie de plaatsen van articulatie: lenis, fortis en geaspireerd (zie tabel 1.1).

Tabel 1.1: Koreaanse plosieven met minimale paren. Dikgedrukt: het contrast dat gebruikt is in het onderzoek.

Lenis			Fortis			Geaspireerd		
/p/	pang	“kamer”	/p*/	p*ang	“brood	/p <sup>h</sup> /	p <sup>h</sup> ang	“bang”
/t/	<b>tal</b>	<b>“maan”</b>	/t*/	t*al	“dochter”	<b>/t<sup>h</sup>/</b>	<b>t<sup>h</sup>al</b>	<b>“masker”</b>
/k/	kæta	“opvouwen”	/k*/	k*æta	“breken”	/k <sup>h</sup> /	k <sup>h</sup> æta	“opgraven”

Fortis plosieven worden beschreven als gespannen, gelaryngaliseerd en ongeaspireerd, lenis plosieven als breathy en licht geaspireerd en geaspireerde plosieven als sterk geaspireerd (Cho et al., 2002). De klanken verschillen dus op meer akoestische parameters dan enkel VOT, waaronder toonhoogte in de erop volgende klinker (F0), harmoniciteit, energie van de burst en intraorale druk (zie hoofdstuk 5: Discussie). Het contrast tussen lichte aspiratie (lenis plosief) en sterke aspiratie (geaspireerde plosief) is voor Nederlandse sprekers geheel onbekend. De denti-alveolaire versie van dit contrast, /tal/ (“maan”) en /t<sup>h</sup>al/ (“masker”), heeft model gestaan voor de in mijn experiment gebruikte continua. In een pilot-experiment met twee sprekers van het Nederlands heb ik vastgesteld dat het mogelijk was om deze

<sup>1</sup>Bron: Cho, Jun & Ladefoged, 2002

klanken te onderscheiden, maar niet direct. De verwachting is dat de unimodale luisteraars leren om de stimuli als leden van één categorie te beschouwen en daarom op de test een akoestische strategie hanteren waarbij geen piek ontstaat in het aantal ‘verschillend’-responsen. De bimodale luisteraars leren daarentegen dat de stimuli behoren tot twee categorieën en voor hen wordt een discriminatiepiek verwacht rond de overgang tussen de categorieën. Bij een prototypische lenis /t/ met een VOT van +35 ms en een geaspireerde /t<sup>h</sup>/ van +90 ms (zie ook sectie 2.2.1) ligt deze categoriegrens middenin, rond +63 ms. Op deze plek in het continuüm verwacht ik daarom de discriminatiepiek.

## 2 Methode

### 2.1 Opname

Dertien Koreaanse woorden met verschillende beginklanken, waaronder het denti-alveolaire minimaal triplet /tal, t\*al, t<sup>h</sup>al/, werden in Koreaanse orthografie aan een 24-jarige moedertaalspreekster van het Koreaans gepresenteerd. Van ieder woord werden vier exemplaren opgenomen. Leden van het minimale triplet stonden niet direct na elkaar om te voorkomen dat contrasten in de articulatie uitvergroot werden. De opnames werden gemaakt in een geluidsdichte kamer met een Sennheiser MKH-105 HF microfoon en een Tascam RW-900 CD-Recorder. Vervolgens werden ze gesampled op 44.100 Hz, opgeslagen als WAV-bestanden en omgezet naar mono. De opnames werden geanalyseerd en gemanipuleerd met behulp van Praat, versie 5.2.17 (Boersma & Weenink, 2011). Uit de opnames bleek duidelijk dat woorden met lenis /t/ een lagere F0 hadden dan woorden met fortis /t\*/ en geaspireerde /t<sup>h</sup>/. Ook overlaptten lenis en geaspireerde klanken erg in VOT en was de ruis in de geaspireerde woorden een stuk korter dan in de literatuur. Omdat het woord /tal/ enkele breathy-voice periodes bevatte in de overgang van medeklinker naar klinker, werd besloten de continua te genereren van één van de exemplaren van /t<sup>h</sup>al/ (“masker”).

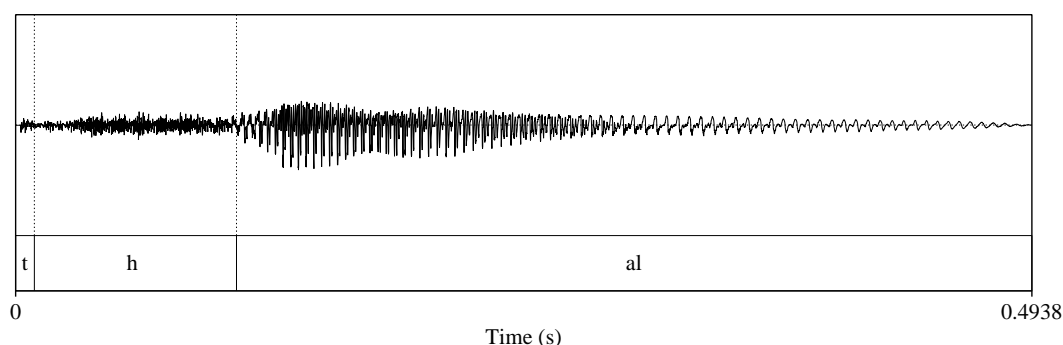
### 2.2 Verwerving

#### 2.2.1 Stimuli

In het exemplaar dat de bron vormde voor de stimuli werd de aspiratie met behulp van Praat op nuldoorgangen gemarkeerd en uit het woord gesneden. In navolging van Cho, Jun en Ladefoged (2002) werd de Voice Onset Time gemeten vanaf het moment van release burst tot aan het begin van regelmatige periodes in de geluidsgolf (zie figuur 2.1). Dit gaf een VOT van +55 ms. Andere methoden meten VOT tot aan het begin van de tweede formant in de erop volgende klinker. Het bleek dat de start van regelmatige periodiciteit hiermee goed samenviel. Aangezien de continua ook stimuli moesten bevatten met extreem lange aspiratie, is in het brontoken de aspiratie verlengd door stukken van ongeveer 10 ms ruis uit het midden van het geaspireerde deel van de klank te kopiëren en op andere plekken in de aspiratie te plakken. Het uiteindelijke stuk aspiratie had een duur van 134 ms.

Het geaspireerde deel van het brontoken werd vervolgens gemanipuleerd met behulp van een *continuous even sampling*-script. Dit script genereerde 180 samples langs het VOT-continuüm door de oppervlakte onder de bimodale of unimodale curve in 180 stukken van gelijke grootte op te delen. Dit resulteert in dichtopeenstaande samples rond de pieken van de verdelingen en geleidelijk wijder uiteenstaande samples aan de randen (zie figuur 2.2 en 2.3). Door de dichtheid van het samplen was het onmogelijk om de zo ontstane aspiratiesegmenten steeds op nuldoorgangen uit te snijden. Aangezien het echter ruis betrof, was dit ook niet noodzakelijk om discontinuïteiten te voorkomen. Het bereik van het continuüm liep van 0 tot 134 ms, de aspiratieduur. Voor de bimodale verdeling werd de som van twee normale verdelingen gebruikt met  $\mu_1$  op 35 ms in het continuüm (de prototypische lenis /t/), en  $\mu_2$  op 90 ms (de prototypische geaspireerde /t<sup>h</sup>/). De  $\sigma$  was 13 ms, ofwel 8,5% van het continuüm. Voor de unimodale verdeling werd één normale verdeling gebruikt met  $\mu=63$  ms en  $\sigma=26$  ms.

Figuur 2.1: Oscillogram van het brontoken /t<sup>h</sup>al/ met markeringen bij het begin en eind van de Voice Onset Time



Nadat de aspiratie volgens de verdeling in 180 segmenten was opgedeeld, werd een continuüm van 180 stimuli gegenereerd door voor de  $n$ -de stimulus respectievelijk de burst, aspiratiesegmenten 1 tot en met  $n$  en coda te selecteren en aan elkaar te plakken. Burst en coda werden constant gehouden over alle stimuli. De stimuli varieerden in duur van 409 tot 533 ms met een gemiddelde duur van 471 ms. Er werd besloten om de totale stimulusduur niet gelijk te maken voor alle stimuli. In natuurlijke spraak hebben woorden met langere aspiratie meestal ook een iets langere totale duur. Hoewel het mogelijk was dat discriminatie van de stimuli plaats zou vinden op totale stimulusduur, was de cue die luisteraars zouden gebruiken niet belangrijk.

## 2.2.2 Procedure

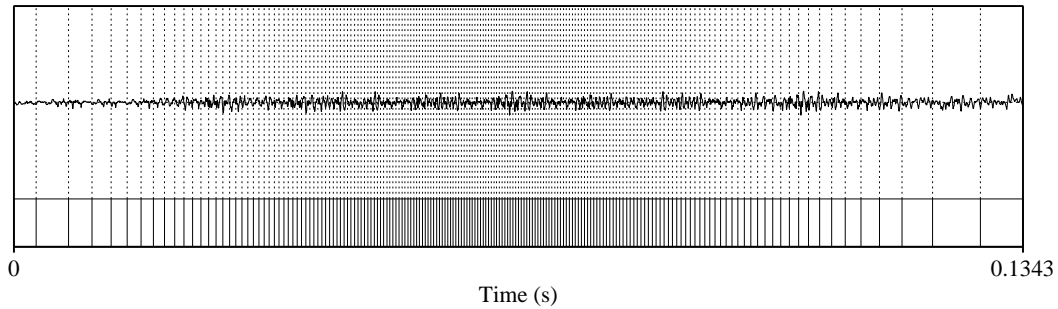
Deelnemers kregen een geschreven instructie die informatie bevatte over de gevolgde procedure (zie Bijlage B.1). Tijdens de verwerving hoorden luisteraars twee series stimuli. Elke serie bevatte 180 doel- en 20 vulstimuli, gescheiden door 1000 ms stilte. De twee series werden van elkaar gescheiden door een pauze van 10 seconden. De volgorde van stimuli binnen iedere serie was willekeurig, maar voor iedere deelnemer hetzelfde. Deelnemers in de unimodale groep luisterden naar stimuli in een unimodale verdeling terwijl deelnemers in de bimodale groep naar een bimodale verdeling luisterden. Er werd hen verteld dat zij naar woorden uit een vreemde taal zouden luisteren met het doel te leren over de klanken van de taal en dat hun taak was de klanken in zich op te nemen. Vier verschillende opnames van het Koreaanse woord /mal/ (“paard”), ingesproken door dezelfde Koreaanse spreker, fungeerden als vulstimuli. Om ervoor te zorgen dat de deelnemers hun aandacht bij de woorden hielden, kregen zij de taak om telkens als zij dit woord langs hoorden komen, op de  $m$ -toets te drukken. Dat deze toetsaanslag in werkelijkheid niets deed, wisten deelnemers niet. De verwerving duurde in totaal ongeveer 9 minuten.

## 2.3 Test

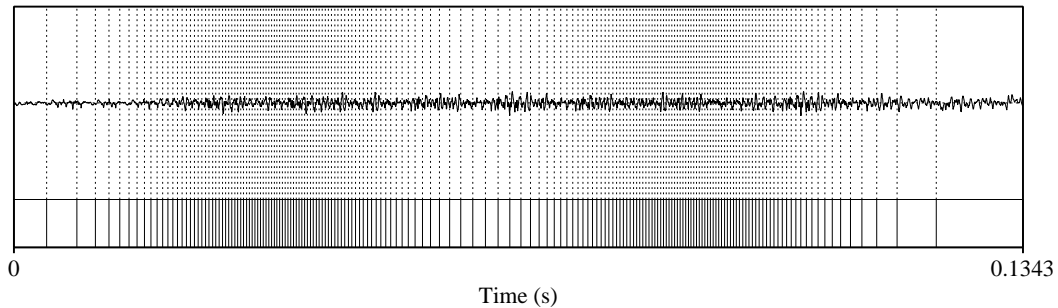
### 2.3.1 Stimuli

Het doel van de test was vast te stellen of de verwerving had geleid tot systematische verschillen in de waarneming van het continuüm. Om subtiele verschillen in het aantal ‘verschillend’-responsen op te kunnen merken moest de afstand tussen de stimuli van één paar (intrapaarafstand) corresponderen

Figuur 2.2: Aspiratie unimodaal verdeeld

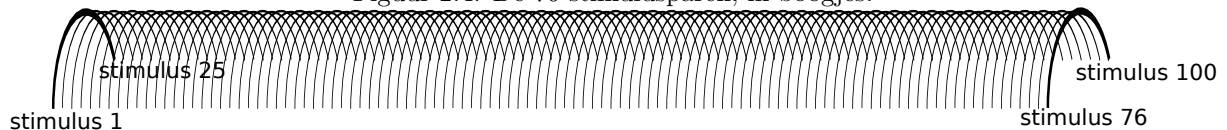


Figuur 2.3: Aspiratie bimodaal verdeeld



met de *just noticeable difference* in VOT. Een pilot-experiment waarin drie moedertaalsprekers van het Koreaans naar de stimuli luisterden, stelde vast dat de *just noticeable difference* in Voice Onset Time correspondeerde met een verschil van 25 ms in aspiratieduur. Hierbij was het aantal ‘hetzelfde’-responsen namelijk ongeveer even groot als het aantal ‘verschillend’-responsen. Vervolgens werd bij het bepalen van de afstand tussen paren onderling maximale continuïteit gewaarborgd door deze 24 keer kleiner te laten zijn dan deze intrapaarafstand (Boersma & Chládková, 2010). Dit was het geval bij een interpaarafstand van 1,1 ms en een intrapaarafstand van 26,4 ms. De teststimuli van het experiment werden gemaakt door de aspiratie van het in de verwerving gebruikte token te verlengen tot 110 ms, voor de  $n$ -de stimulus het geaspireerde deel van het brontoken af te knippen op  $n$  keer de interpaarafstand en dit tussen burst en coda te plakken. Vervolgens werden 76 stimulusparen met een VOT-verschil van 26,4 ms gevormd door stimulus 1 te koppelen aan stimulus 25, stimulus 2 aan 26, stimulus 3 aan 27 en verder. Zowel de inter- als de intrapaarafstand werd gelijk gehouden over het hele continuüm. Figuur 2.4 geeft de 76 stimulusparen weer als punten verbonden door een boog.

Figuur 2.4: De 76 stimulusparen, in boogjes.



### **2.3.2 Procedure**

De test was vormgegeven als een AX-discriminatietask. Deelnemers werd verteld dat ze woordparen uit de vreemde taal te horen zouden krijgen en dat het de bedoeling was dat zij voor ieder paar aangaven of dit twee verschillende woorden waren of twee keer hetzelfde woord. In werkelijkheid waren alle paren verschillend. De instructie vermeldde dat de twee woorden van ieder paar veel op elkaar zouden lijken. Alle stimulusparen werden in willekeurige volgorde aangeboden. Hierbij kwam ieder paar twee keer langs: één keer met de korte en één keer met de lange stimulus van het paar eerst. Stimuli in een paar werden gescheiden door 500 en trials door 600 ms stilte. In de test waren twee korte pauzes van telkens 1 minuut ingelast. De hele test duurde ongeveer 9 minuten.

### **2.3.3 Deelnemers**

Aan het experiment deden 27 eentalige sprekers van het Nederlands mee met een leeftijd van 20 tot 55 jaar. Alle deelnemers hadden een normaal gehoor en ontvingen een kleine vergoeding voor hun deelname. Toewijzing van deelnemers aan de verwervingsgroep gebeurde willekeurig, met 13 deelnemers in de unimodale groep en 14 in de bimodale groep.

### 3 Resultaten

Per luisteraar werden de responsen op ieder stimuluspaar gescoord als het totaal aantal verschillend-responsen op dat paar, 0 voor twee ‘hetzelfde’-responsen, 1 voor één ‘hetzelfde’- en één ‘verschillend’-respons en 2 voor twee ‘verschillend’-responsen. Om de ruwe data visueel aanschouwelijker te maken werden er met behulp van Gaussische convolutie gladde curves van gemaakt. De ruwe en gladgemaakte data van de unimodale en bimodale luisteraars is te zien in figuur 3.1 en 3.2.

In deze figuren is te zien dat de meeste curves aflopende hellingen zijn en het aantal ‘verschillend’-responsen vanaf stimuluspaar 70 bijna altijd sterk terugloopt. Waarschijnlijk is dit een gevolg van het feit dat het VOT-continuüm voor de test in gelijke segmenten is onderverdeeld, terwijl de waarneming van het VOT-continuüm niet lineair verloopt. Een *maximum-likelihood*-analyse die een constante kans op een ‘verschillend’-respons aanneemt, is hierdoor niet goed in staat om pieken te detecteren. Daarom is een aangepaste *maximum-likelihood*-analyse gedaan die de data beschrijft met een helling. Wederom wordt begonnen met het aannemen van willekeurige waarden voor  $p_{min}$ ,  $p_{max}$ ,  $\mu$  en  $\sigma$ . Om ook hellingen te kunnen maken, wordt  $p_{min}$  opgesplitst in  $p_{min}Left$ , de kans op een ‘verschillend’-respons bij stimuluspaar 1, en  $p_{min}Right$ , de kans op een ‘verschillend’-respons bij stimuluspaar 76. Vervolgens wordt door middel van interpolatie  $p_{min}$  ter hoogte van de piek bepaald en worden de waarden van de parameters weer stapsgewijs aangepast tot de *log-likelihood* maximaal is.

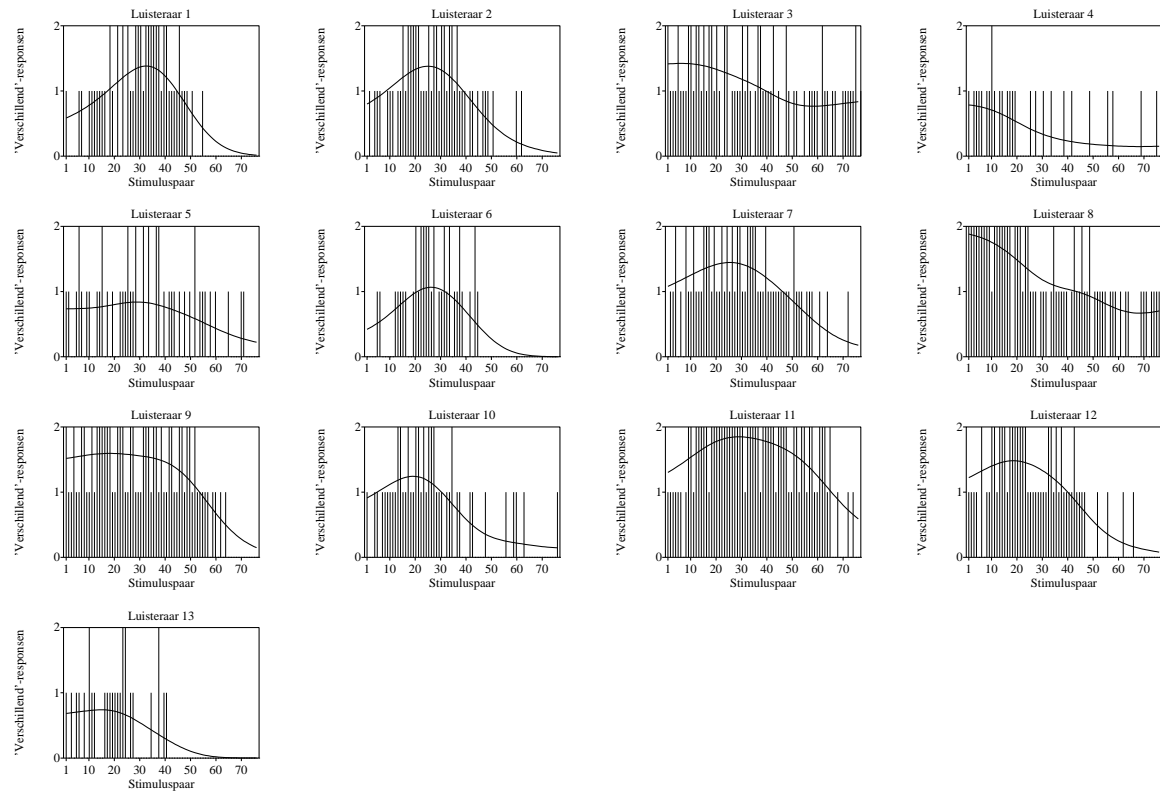
De resultaten hiervan zijn te zien in tabel 3.1<sup>1</sup> In kolom 1 en 2 staan respectievelijk luisteraar en verwervingsgroep. Kolom 3 en 4 bevatten de log-likelihoods van respectievelijk een model met alleen een helling en van een model met één piek op de helling. De verbetering in log-likelihood van model 2 ten op zichte van model 1 ( $\Delta LL$ ) staat in kolom 5. Om de verbetering te toetsen is een  $\chi^2$ -test gedaan op  $-2\Delta LL$  met drie vrijheidsgraden, het aantal nieuwe parameters dat bij iedere nieuwe piek toegevoegd wordt aan het model ( $\mu$ ,  $\sigma$  en  $p_{max}$ ). Het resultaat van die  $\chi^2$ -test staat in kolom 6. De laatste drie kolommen zijn gewijd aan de locatie van de piek in het continuüm ( $\mu$ ), de breedte ( $\sigma$ ) en de hoogte van de gevonden pieken. Deze hoogte wordt berekend door het verschil tussen  $p_{max}$  en  $p_{min}$  te nemen op de plaats van de piek in het continuüm.

De data van 17 luisteraars kon significant beter gemodelleerd worden met een piek dan met alleen een helling ( $p < 0.05$ ). Opmerkelijk is wel dat bij een aantal van deze luisteraars (13, 25 en 27) op het oog niet duidelijk een piek is waar te nemen. Deze pieken zijn ook veel lager dan de duidelijk zichtbare pieken. Daarom is besloten deze pieken niet mee te nemen in de verdere analyse. De pieken van de overige luisteraars lagen gemiddeld op een Voice Onset Time van +42 ms (sd = 6.54, SEM = 1.75, N = 14). De spreiding in locatie van de pieken is slechts 6% van het hele continuüm. Dit geeft aan dat het niet waarschijnlijk is dat de gevonden pieken door willekeurige variatie zijn ontstaan. Vervolgens is gekeken of de gevonden discriminatiepiek correspondeerde met de verwachte categoriegrens. Deze lag midden tussen de toppen van de bimodale verdeling, op +63 ms VOT. Dit betekent dat de gemiddelde categoriegrens 21 ms links lag van de plek waar hij op basis van de verwerving verwacht zou worden (zie figuur 3.3).

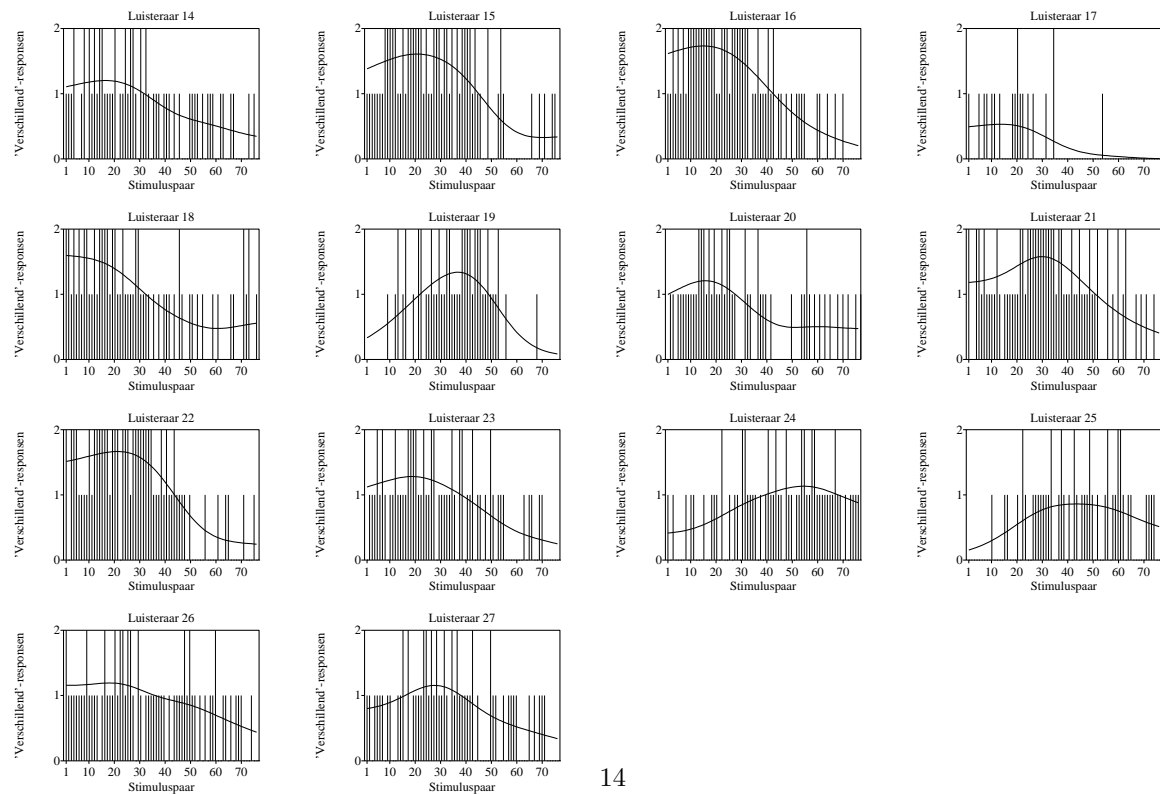
Om te bepalen of er een relatie bestond tussen verwervingsgroep en het laten zien van een discriminatiepiek is een tweezijdige Pearson-correlatie gedaan op de variabelen ‘verwervingsgroep’ (unimodaal = 1, bimodaal = 2) en ‘vertonen van een piek’. Als bimodale luisteraars inderdaad de klanken zijn

<sup>1</sup>Het resultaat van *maximum-likelihood*-analyse zonder hellingen is opgenomen in bijlage C.

Figuur 3.1: Ruwe data in staafjes en gladgetrokken data (ononderbroken lijn) van luisteraars in unimodale groep



Figuur 3.2: Ruwe data in staafjes en gladgetrokken data (ononderbroken lijn) van luisteraars in bimodale groep



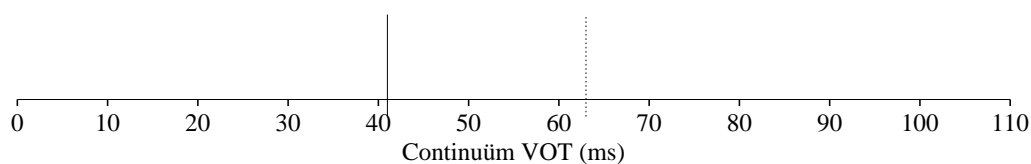


Tabel 3.1: Resultaten van de twee *maximum likelihood*-analyses met helling

Luisteraar	Groep	LL(Geen pieken)	LL(Eén piek)	$\Delta$ LL	$p(\chi^2)$	Piek?	$\mu$ (stimuluspaar)	$\sigma$	hoogte
1	1	-89.999	-62.814	27.185	$9.4 \times 10^{-12}$	ja	33	10.704	0.887
2	1	-84.706	-67.839	16.867	$2.3 \times 10^{-7}$	ja	26	13.701	0.795
3	1	-100.027	-98.614	1.414	0.42	nee	61	0.209	0.441
4	1	-65.283	-62.767	2.517	0.17	nee	9	6.678	0.324
5	1	-91.018	-88.607	2.411	0.19	nee	38	18.110	0.260
6	1	-74.045	-53.711	20.334	$7.7 \times 10^{-9}$	ja	26	9.822	0.797
7	1	-93.366	-82.018	11.349	$4.7 \times 10^{-5}$	ja	26	19.897	0.802
8	1	-86.495	-84.050	2.445	0.18	nee	5	13.053	0.407
9	1	-84.742	-74.801	9.941	$1.8 \times 10^{-4}$	ja	31	19.787	0.565
10	1	-82.688	-71.885	10.803	$7.9 \times 10^{-5}$	ja	20	10.627	0.751
11	1	-85.277	-65.665	19.612	$1.6 \times 10^{-8}$	ja	33	26.067	0.891
12	1	-81.027	-71.389	9.638	$2.4 \times 10^{-4}$	ja	22	17.002	0.759
13	1	-58.764	-52.899	5.865	0.01	ja	17	13.467	0.435
14	2	-94.357	-92.471	1.886	0.29	nee	22	9.861	0.283
15	2	-88.030	-77.831	10.199	$1.5 \times 10^{-4}$	ja	21	18.867	0.864
16	2	-78.172	-69.827	8.345	$8.2 \times 10^{-4}$	ja	19	21.110	0.816
17	2	-49.264	-46.534	2.730	0.14	nee	11	17.894	0.298
18	2	-90.173	-86.988	3.185	0.09	nee	10	17.819	0.726
19	2	-97.996	-68.094	29.902	$6.5 \times 10^{-13}$	ja	35	13.286	0.839
20	2	-95.621	-88.807	6.815	$3.4 \times 10^{-3}$	ja	17	10.922	0.677
21	2	-96.976	-83.702	13.274	$7.32 \times 10^{-6}$	ja	31	8.749	0.589
22	2	-80.989	-71.450	9.538	$2.6 \times 10^{-4}$	ja	24	16.169	0.656
23	2	-92.111	-88.364	3.747	0.06	nee	21	23.415	0.678
24	2	-99.835	-96.211	3.624	0.06	nee	53	21.260	0.569
25	2	-91.810	-84.674	7.136	$2.6 \times 10^{-3}$	ja	42	17.467	0.437
26	2	-99.063	-98.029	1.034	0.56	nee	35	30.886	0.325
27	2	-97.651	-91.764	5.887	0.01	ja	29	8.448	0.415

gaan groeperen in twee categorieën en rond de grens een discriminatiepiek laten zien, zou een positieve correlatie moeten ontstaan. Er was geen significante interactie tussen verwervingsgroep en het laten zien van een piek ( $r = -0.13$ ,  $df = 25$ ,  $p = 0.53$ , 95% CI [-0.48, 0.27]). Het betrouwbaarheidsinterval is een geschat bereik van waardes, berekend uit de data van de steekproef, waar de echte waarde van de correlatie in valt. De ‘echte’ correlatie is onveranderlijk, terwijl bij herhaling van het onderzoek en berekening van de betrouwbaarheidsintervallen daarover, de boven- en ondergrens van het interval steeds andere waardes aan zullen nemen. Van al deze intervallen zal 95% de echte correlatie omvatten en 5% niet. De verwachting dat luisteraars in de bimodale groep vaker een discriminatiepiek zouden laten zien dan unimodale luisteraars, werd niet bevestigd.

Figuur 3.3: Verwachte en gevonden categoriegrenzen op het VOT-continuüm. Stippellijn: verwachte categoriegrens, +63 ms VOT. Ononderbroken lijn: gevonden categoriegrens, +42 ms VOT.



## 4 Conclusie

Dit experiment heeft onderzocht of luisteraars een onbekend fonologisch contrast kunnen leren uit continue verdelingen. Van het Koreaans woord /t<sup>h</sup>al/ (“masker”) werden 180 stimuli met verschillende Voice Onset Times gemaakt in twee verdelingen. Eén groep luisteraars werd toegewezen aan een unimodale verdeling van de stimuli, terwijl de andere groep luisterde naar een bimodale verdeling. De deelnemers van beide groepen werden vervolgens onderworpen aan dezelfde test, waarop wederom het hele continuüm van klanken werd gepresenteerd. De verzamelde data werd per luisteraar onderworpen aan twee *maximum likelihood*-analyses zodat precieze informatie werd verkregen over hoe de klanken langs dit continuüm onderscheiden werden. In dit onderzoek is geen relatie gevonden tussen de distributie die luisteraars aangeboden kregen tijdens de verwerving en het wel of niet optreden van een discriminatiepiek op het continuüm. De luisteraars waarbij een piek vastgesteld werd, hadden deze eerder in het continuüm dan verwacht. Het onderzoek geeft geen nieuwe evidentie voor het distributioneel leren van fonologische categorieën.

## 5 Discussie

Dit onderzoek was een herhaling van Maye en Gerken (2000). In tegenstelling tot in dat onderzoek werden de unimodale en bimodale verdelingen gemaakt door grote aantallen normaal verdeelde stimuli te genereren, wat de verdeling van spraakklanken in de omgevingstaal beter weergeeft dan distributies met verschillende frequenties van een beperkt aantal tokens. Om ook in de test geen stimuli te hoeven herhalen, is ook daar het hele continuüm gebruikt. De verwachting was dat het gebruik van normaal verdeelde continua in vergelijking met discrete verdelingen minder sterke categorische perceptie op zou leveren. De discrete en continue methode hadden echter alleen vergeleken kunnen worden als het onderzoek ook een groep deelnemers aan discrete verdelingen had blootgesteld wat helaas buiten het bereik van het onderzoek viel.

Ondanks dat de invloed van de gebruikte methode op de gevonden categorische perceptie niet geëvalueerd kon worden, zou er op de test nog steeds verschil tussen de unimodale en bimodale groepen te zien moeten zijn. Voor het uitblijven van een effect van de gehoorde distributie op de discriminatie van het contrast in de test kunnen een aantal zaken verantwoordelijk zijn. Ten eerste is tijdens de verwerving en de test gebruik gemaakt van slechts één token van één spreker. Hiervan is één enkele akoestische eigenschap, VOT, gemanipuleerd. Hoewel op deze parameter in de stimuli dus heel veel variatie bestond, waren alle andere parameters constant. Hoewel categorische perceptie uiteindelijk draait om het negeren van allerlei niet ter zake doende akoestische variatie, is deze variatie misschien wel nodig om tot de foneemrepresentaties te komen, omdat juist op deze manier de onveranderlijke eigenschappen van de categoriegrenzen gaan opvallen (Maye & Gerken, 2001). Het leren van categorieën op basis van één enkele cue is onwaarschijnlijk. Iedere baby of spreker staat voor de moeilijke taak in korte tijd uit beperkte input taal te leren. Het leren van foneemcategorieën is daar slechts een onderdeel van. In dit licht is het waarschijnlijker dat de spreker van meerdere cues gebruik maakt en alle informatie die maar bruikbaar kan zijn (prosodische, semantische, fonotactische informatie) meeneemt om de categorieën te vormen (Titia Benders, persoonlijke communicatie, 24 juni 2011).

Naast dat het contrast misschien te eendimensionaal gemanipuleerd is, kan het ook zijn dat het Koreaanse contrast zich niet goed leende voor dit onderzoek. Koreaanse sprekers differentiëren /t/ en /t<sup>h</sup>/ klanken op veel meer parameters dan VOT, waaronder de toonhoogte van de erop volgende klinker. In 1970 rapporteerden Han en Weitzman (1970) nog dat het F0-verschil niet essentieel was voor het onderscheiden van lenis en geaspireerde plosieven en enkel fungerde als aanvullende cue. Het Koreaanse plosievensysteem is echter een klankverandering aan het ondergaan waarbij jongere sprekers de VOT-waardes van lenis en geaspireerde plosieven laten samenvallen. Als gevolg daarvan is voor hen F0 de bepalende cue geworden (Kang & Guion, 2008). Oudere sprekers onderscheiden lenis en geaspireerde plosieven echter nog wel voornamelijk met VOT. Aangezien het voor het onderzoek het belangrijkste was dat het contrast waarneembaar was en mogelijk fonemisch onderscheiden kon worden, is aangenomen dat het enkel manipuleren van de bepalende cue voldoende zou zijn om een effect van distributioneel leren te zien. Toch is het misschien niet zonder reden dat het contrast in Korea aan het veranderen is. Het aspiratieverschil is subtiel en perceptueel niet opvallend, waardoor sprekers en luisteraars het contrast tussen de twee klanken op andere manieren willen versterken.

Veel luisteraars namen de beginklank op andere plaatsen van articulatie waar. Vooral /pal/ werd veel gerapporteerd, maar ook /kal/ en zelfs /qal/ (door taalwetenschapper) is gehoord. Plaatskenmerken

ontstaan door formanttransities, maar verschillen ook in de duur van de releaseburst. De burst was aan de korte kant (9 ms) en dit zou de waarneming van /pal/ in ongeaspireerde tokens kunnen verklaren. In tokens met korte stukken aspiratie kan deze aspiratie als lange releaseburst zijn waargenomen, waardoor in de perceptie /kal/ ontstond.

Ondanks dat er geen relatie te vinden is tussen de gehoorde verdelingen en het laten zien van een piek, is het wel opvallend dat bijna de helft van de luisteraars op dit voor Nederlandse sprekers onbekende contrast een discriminatiepiek vertoont. Een mogelijke verklaring voor het optreden van deze pieken kan gevonden worden in onderzoek van Patricia Kuhl (Kuhl & Miller, 1975; Kuhl, 1981). In een experiment dat probeerde te onderzoeken of voor de plek van foneemgrenzen gebruik gemaakt wordt van basisgevoeligheden van het gehoor van zoogdieren, leerden Kuhl en Miller (1975) chinchilla's om verschillende identificatieresponsen te geven op [d] en [t]-klanken uit VOT-continua. Het bleek dat de categoriegrens van de chinchilla's lag op 33,5 ms VOT voor alveolaire en op 25 ms voor bilabiale plosieven, de locatie van de grens tussen de Engelse /d/ en /t/. Een vervolgonderzoek dat gebruik maakte van een discriminatietest over het hele continuüm (Kuhl, 1981) vond wederom een discriminatiepiek op deze plek. Volgens de onderzoekster is dit een aanwijzing dat discriminatiepieken op continua niet alleen talige maar ook sensorische vermogens weerspiegelen. De in dit onderzoek gevonden categoriegrens van 42 ms is niet direct te interpreteren als hetzelfde verschijnsel, aangezien de standaardfouten daarvoor te klein zijn. In de inleiding is echter al gewezen op de gevoeligheid van categoriegrenzen voor stimulusbereik en spreiding van de stimuli. Het bereik van de stimuli liep in de verwerving van 0 tot 134 ms en in de test van 0 tot 110 ms VOT waardoor stimuli aan de lange VOT-kant in dit experiment sterker vertegenwoordigd waren dan in Kuhls experiment. Dit zou ervoor gezorgd kunnen hebben dat de basisdiscriminatiepiek naar rechts was opgeschoven.

Basisgevoeligheden van het gehoor kunnen verklaren waarom er ondanks het uitblijven van een effect van de verwerving toch pieken te vinden zijn in de data. Een dergelijke piek zou dan echter verwacht worden voor iedere luisteraar. Het zou kunnen zijn dat pieken en hellingen in de curves corresponderen met twee mogelijke strategieën die leiden tot verschillende uitkomsten op de test. Misschien letten sommige luisteraars op de totale stimulusduur, terwijl anderen de duur van de aspiratie als cue gebruikten. Door enkele luisteraars werd ook gerapporteerd dat zij letten op de duur van de totale stimulus.

Het is dus mogelijk dat de gevonden discriminatiecurves het resultaat van een psychoakoestisch effect zijn geweest. Het is ook mogelijk dat alle studies naar distributioneel leren die gebruik hebben gemaakt van discrete verwervingstimuli en repeterende teststimuli de categorische perceptie hebben overschat en dat het effect van distributioneel leren in meer naturalistische luistercondities niet aan te tonen is. Zeker is dat verder onderzoek naar distributioneel leren onder naturalistische luistercondities gebruik zal moeten maken van meerdere cues en meer variatie in de stimuli in het algemeen.

## Literatuur

- Boersma, P. & Chládková, K. (2010). Detecting categorical perception in continuous discrimination data. In *Eleventh Annual Conference of the International Speech Communication Association*.
- Boersma, P. & Weenink, D. (2011). Praat. Doing phonetics by computer. *Internet: <http://www.praat.org>*.
- Brady, S. & Darwin, C. (1978). Range effect in the perception of voicing. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 63, 1556–1558.
- Capel, D. (2008). *Statistical cues affect phonetic discrimination in Dutch infants*. Masterscriptie, Universiteit Utrecht.
- Cho, T., Jun, S. & Ladefoged, P. (2002). Acoustic and aerodynamic correlates of Korean stops and fricatives. *Journal of Phonetics*, 30(2), 193–228.
- Clayards, M., Tanenhaus, M., Aslin, R. & Jacobs, R. (2008). Perception of speech reflects optimal use of probabilistic speech cues. *Cognition*, 108(3), 804–809.
- Guenther, F. & Gjaja, M. (1996). The perceptual magnet effect as an emergent property of neural map formation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 100(2), 1111–1121.
- Han, M. & Weitzman, R. (1970). Acoustic Features of Korean /P, T, K/, /p, t, k/ and /ph, th, kh/. *Phonetica*, 22(2), 112–128.
- Jusczyk, P., Luce, P. & Charles-Luce, J. (1994). Infants' Sensitivity to Phonotactic Patterns in the Native Language. *Journal of Memory and Language*, 33, 630–645.
- Kang, K. & Guion, S. (2008). Clear speech production of Korean stops: Changing phonetic targets and enhancement strategies. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124, 3909–3917.
- Kuhl, P. (1981). Discrimination of speech by nonhuman animals: Basic auditory sensitivities conducive to the perception of speech-sound categories. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 70, 340–348.
- Kuhl, P. (2004). Early Language Acquisition: Cracking the Speech Code. *Nature reviews neuroscience*, 5(11), 831–843.
- Kuhl, P. & Miller, J. (1975). Speech Perception by the Chinchilla: Voiced-Voiceless Distinction in Alveolar Plosive Consonants. *Science*, 190(4209), 69–72.
- Maye, J. & Gerken, L. (2000). Learning Phonemes without Minimal Pairs. In *Proceedings of the 24th Annual Boston University Conference on Language Development* (Dl. 2, pp. 522–533).
- Maye, J. & Gerken, L. (2001). Learning Phonemes: How Far Can the Input Take Us? In *Proceedings of the 25th Annual Boston University Conference on Language Development* (Dl. 1, p. 480).
- Maye, J., Weiss, D. & Aslin, R. (2008). Statistical Phonetic Learning in Infants: Facilitation and Feature Generalization. *Developmental Science*, 11(1), 122.
- Maye, J., Werker, J. & Gerken, L. (2002). Infant Sensitivity to Distributional Information Can Affect Phonetic Discrimination. *Cognition*, 82(3), 101–111.
- Rogers, J. & Davis, M. (2009). Categorical perception of speech without stimulus repetition. In *Tenth Annual Conference of the International Speech Communication Association* (pp. 342–351).
- Saffran, J., Aslin, R. & Newport, E. (1996). Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*, 274(5294), 1926–1928.
- Werker, J. & Tees, R. (1984). Cross-Language Speech Perception: Evidence for Perceptual Reorganization During the First Year of Life. *Infant behavior and development*, 7(1), 49–63.

# Dankwoord

Deze scriptie is het resultaat van een lange periode hard werken die begon toen ik op de allereerste scriptiebijeenkomst zei: “Ik wil zelf een experiment opzetten en uitvoeren”. Het uitvoeren van het experiment en het schrijven van de scriptie bleek veel meer te omvatten dan ik van te voren dacht, wat het tot een gevarieerd en uitdagend project heeft gemaakt. Veel mensen hebben bijgedragen aan het tot stand komen van het experiment en de scriptie en hen wil ik in dit dankwoord graag vermelden. Allereerst mijn begeleider, de heer Boersma, die mij naar het onderzoeksgebied gidste en wiens kennis en kunde mij al in het eerste jaar van mijn studie inspireerde. Naast het geven van adviezen, stelde hij ook de scripts ter beschikking die belangrijke onderdelen van het experiment genereerden.

Daarnaast wil ik alle taalwetenschappers en musici bedanken die proefpersoon waren in het experiment en die met hun enthousiaste deelname deze belangrijke fase van het project tot een echt leuke tijd maakten.

Ik wil ook speciaal Kyuri Kim bedanken voor het opnemen van de Koreaanse woorden en voor het mij in contact brengen met andere moedertaalsprekers van het Koreaans.

Dank ook aan Jan-Willem van Leussen voor het regelen van de onderzoeksruimte en -apparatuur en het mij laten gebruiken van de proefpersonen-database en dank aan Dirk-Jan Vet voor de assistentie bij de opnames van het Koreaans.

En tot slot heel veel dank aan mijn vriend Pieter Hijma, die mij steunde op alle momenten dat ik het niet meer zag zitten, mij de basisbeginselen van het programmeren leerde, hielp met Latex en me met alle gesprekken over onderzoek doen in het algemeen een enorm vooruit heeft geholpen.

Deze scriptie was niet mogelijk geweest zonder jullie.

## A Opnamescript

Please repeat every word four times:

1. /t/ 달 [tal] 'maan'
2. /k/ 가다 [kada] 'gaan'
3. /l/ 라디오 [ladio] 'radio'
4. /n/ 날 [nal] 'dag'
5. /t̚/ 딸 [t̚al] 'dochter'
6. /k̚/ 까다 [k̚ada] 'pellen'
7. /m/ 말 [mal] 'woord, taal'
8. /tʰ/ 탈 [tʰal] 'masker'
9. /h/ 하다 [hada] 'doen'
10. /kʰ/ 칼 [kʰal] 'mes'
11. /s/ 살 [sal] 'vlees'
12. /l/ 바람 [param] 'wind'
13. /s̚/ 쌀 [s̚al] 'ongekookte rijst'

## B Instructie

Figuur B.1: Instructie die de deelnemers ontvingen bij het experiment

### **Informatie over het onderzoek**

Geachte deelnemer aan het onderzoek,

U gaat participeren in een onderzoek naar perceptie van spraakklanken. Voordat het onderzoek begint is het belangrijk dat u kennis neemt van de procedure die in dit onderzoek wordt gevolgd. Leest u daarom het onderstaande zorgvuldig door.

### **Doel van het onderzoek**

U gaat meedoen aan een experiment waarin onderzocht wordt hoe mensen spraakklanken leren.

### **Procedure en instructie**

Het experiment bestaat uit twee delen. In het eerste deel gaat u verschillende woorden uit een vreemde taal horen. Uw taak is goed te luisteren naar deze woorden. Daarnaast is het de bedoeling dat u telkens als u het woord '*mal*' langs hoort komen, op de *m*-toets drukt. Dit deel van het experiment duurt een kleine 10 minuten. In het midden heeft u 10 seconden pauze.

In het tweede deel van het experiment hoort u steeds twee klanken uit de vreemde taal, gescheiden door 0,5 seconde stilte. Uw taak is aan te geven of de twee klanken hetzelfde waren of verschillend. Als u denkt dat het antwoord 'hetzelfde' is, drukt u op de *z*-toets, als u denkt dat het antwoord 'verschillend' is, drukt u op de */*-(forward slash)toets. U zult zorgvuldig moeten luisteren, want de klanken van één paar lijken veel op elkaar. Als u twijfelt, volg dan uw gevoel. In dit onderdeel zijn twee pauzemomenten ingelast. Het advies is om minimaal 1 minuut pauze te nemen.

Het geheel zal ongeveer 30 minuten in beslag nemen.



## C *Maximum likelihood*-analyses zonder helling

Tabel C.1: Resultaten van de twee *maximum likelihood*-analyses zonder helling.

Luisteraar	Groep	LL(Geen pieken)	LL(Eén piek)	$\Delta$ LL	$p(\chi^2)$	Piek?	$\mu$ (stimuluspaar)	$\sigma$	hoogte
1	1	-100.033	-63.967	36.066	$1.5 \times 10^{-15}$	ja	31	12.684	0.885
2	1	-100.558	-67.862	32.696	$4.1 \times 10^{-14}$	ja	26	14.352	0.829
3	1	-105.029	-98.845	6.184	0.01	ja	13	15.54	0.362
4	1	-71.103	-62.993	8.11	$1.0 \times 10^{-3}$	ja	9	8.537	0.37
5	1	-94.796	-89.009	5.787	0.01	ja	26	25.788	0.454
6	1	-85.475	-53.559	31.916	$8.9 \times 10^{-14}$	ja	26	10.115	0.749
7	1	-105.24	-82.02	23.22	$4.6 \times 10^{-10}$	ja	26	19.976	0.809
8	1	-103.456	-84.263	19.193	$2.3 \times 10^{-8}$	ja	2	19.216	0.63
9	1	-103.124	-76.368	26.756	$1.4 \times 10^{-11}$	ja	23	24.64	0.873
10	1	-96.281	-71.813	24.469	$1.3 \times 10^{-10}$	ja	21	10.257	0.722
11	1	-89.595	-65.681	23.914	$2.35 \times 10^{-10}$	ja	31	27.14	0.973
12	1	-104.039	-71.353	32.686	$4.28 \times 10^{-14}$	ja	21	18.076	0.838
13	1	-71.103	-52.87	18.233	$6.0 \times 10^{-8}$	ja	17	13.08	0.455
14	2	-102.765	-92.778	9.986	$1.7 \times 10^{-4}$	ja	19	15.975	0.465
15	2	-105.148	-77.909	27.239	$8.9 \times 10^{-12}$	ja	22	18.015	0.781
16	2	-105.029	-69.814	35.215	$3.5 \times 10^{-15}$	ja	18	22.579	0.922
17	2	-57.269	-46.315	10.954	$6.8 \times 10^{-5}$	ja	16	11.762	0.321
18	2	-105.148	-87.117	18.031	$7.3 \times 10^{-8}$	ja	11	16.005	0.599
19	2	-100.033	-68.05	31.983	$8.36 \times 10^{-14}$	ja	35	13.441	0.819
20	2	-101.054	-88.847	12.208	$2.0 \times 10^{-5}$	ja	18	7.978	0.563
21	2	-104.515	-86.155	18.359	$5.3 \times 10^{-8}$	ja	29	16.521	0.752
22	2	-105.148	-71.622	33.525	$1.8 \times 10^{-14}$	ja	21	19.052	0.848
23	2	-103.761	-88.367	15.394	$9.4 \times 10^{-7}$	ja	22	23.613	0.671
24	2	-103.456	-96.317	7.139	$2.6 \times 10^{-3}$	ja	51	19.353	0.456
25	2	-94.007	-84.765	9.242	$3.5 \times 10^{-4}$	ja	45	19.5	0.509
26	2	-104.884	-98.243	6.642	$4.1 \times 10^{-3}$	ja	18	36.519	0.609
27	2	-101.965	-92.559	9.406	$2.3 \times 10^{-4}$	ja	28	12.512	0.482

# D Scripts

## D.1 Maak de verwervingsstimuli

```
form Maak verwervingsstimuli
  choice Verdeling 2
    option Unimodaal
    option Bimodaal
  natural Aantal_stimuli 180
  real interstimulusinterval 1.0
  sentence Continuum Voice Onset Time (ms)
  real mu1 0.035
  real mu2 0.090
  real sigma 0.013
  choice Tekenen 1
    option Niets
    option Verdeling
    option Verdeling en samples
endform

burst = Read from file... 02_syllabesegmenten/burst.wav
aspiratie = Read from file... 02_syllabesegmenten/aspiratie.wav
aspiratieTextGrid = To TextGrid... aspiratiesegmenten
select aspiratie
left_Range = Get start time
right_Range = Get end time
range = right_Range - left_Range
nrSamples = aantal_stimuli - 1

if verdeling$ = "unimodaal"
  formula$ = "exp (-0.5 * ((t - mu1) / sigma) ^ 2)"
  outputDir$ = "verwerving/unimodaal"
else
  formula$ = "exp (-0.5 * ((t - mu1) / sigma) ^ 2) + \
    exp (-0.5 * ((t - mu2) / sigma) ^ 2)"
  outputDir$ = "verwerving/bimodaal"
endif

#nodig om verderop het gemiddelde te bepalen en de oppervlakte gelijk te stellen
pitchTier = Create PitchTier... pitchTier left_Range right_Range
numberOfPoints = 2000
for i to numberOfPoints
  t = left_Range + (i - 0.5) * (right_Range - left_Range) / numberOfPoints
  y = 'formula$'
  Add point... t y
endfor

mean = Get mean (curve)... left_Range right_Range
area = mean * (right_Range - left_Range)
Formula... self * nrSamples / area

samples = To PointProcess
```

```

numberOfGeneratedSamples = Get number of points
assert numberOfGeneratedSamples = nrSamples

#maken van de markeringen in de aspiratie:
for i to aantal_stimuli
  select samples
  t = Get time from index... i
  y = 'formula$'
  select aspiratieTextGrid
  if i <= nrSamples
    Insert boundary... 1 't'
    Set interval text... 1 i 'i'
  else
    Set interval text... 1 i 'i'
  endif
  select aspiratie
  plus aspiratieTextGrid
  aspiratiesegment = Extract intervals where... 1 no "is equal to" 'i'
  coda = Read from file... 02_syllabesegmenten/klinker.wav
  isi = Create Sound from formula... isi 1 0 interstimulusinterval 44100 0 * \
    sin(2*pi*377*x)
#alles aan elkaar plakken:
  select burst
  plus aspiratiesegment
  plus coda
  plus isi
  stimulus = Concatenate
#opslaan:
  if i < 10
    Save as WAV file... 'outputDir$'/00'i'.wav
  elsif i < 100
    Save as WAV file... 'outputDir$'/0'i'.wav
  else
    Save as WAV file... 'outputDir$'/'i'.wav
  endif
  select stimulus
  plus aspiratiesegment
  plus coda
  plus isi
  Remove
endfor

if tekenen$ > "niets"
  Erase all
  Font size... 12
  Select outer viewport... 0 6 0 3
  Draw inner box
  Marks bottom... 2 yes yes no
  Text bottom... yes Continuum Voice Onset Time (ms)
  Text left... yes Kansdichtheid
#het tekenen van de pitch tier:
  select pitchTier
  Draw... left_Range right_Range 0 2.5*nrSamples/(right_Range-left_Range) \
    no lines
  Axes... left_Range right_Range 0 2.5*area/(right_Range-left_Range)
endif

```

```

#eventueel tekenen van de samples:
if tekenen$ = "verdeling en samples"
  for i to nrSamples
    select samples
    t = Get time from index... i
    y = 'formula$'
    Draw line... t 0 t y
  endfor
endif

select burst
plus aspiratie
plus aspiratieTextGrid
plus samples
plus pitchTier
Remove

```

## D.2 Maak de verwerving

```

form Maak de verwerving
  choice Verdeling 2
    option Unimodaal
    option Bimodaal
  natural Aantal_stimuli 180
  real Duur_pauze 10
endform

if verdeling$ = "unimodaal"
  inputDir$ = "verwerving/unimodaal"
  outputDir$ = "verwerving/unimodaal"
else
  inputDir$ = "verwerving/bimodaal"
  outputDir$ = "verwerving/bimodaal"
endif

tableOfReal = Create TableOfReal... table aantal_stimuli 1
for stimulus to aantal_stimuli
  Set value... stimulus 1 stimulus
endfor

for i to 2
  call permuteren
  for stimulus to aantal_stimuli
    call array
  endfor
  for stimulus to aantal_stimuli
    call concateneren
  endfor
  serie'i' = Concatenate
  pauze'i' = Create Sound from formula... pauze 1 0 duur_pauze 44100 0 * \
    sin(2*pi*377*x)
endfor

select serie1

```

```

plus pauze1
plus serie2
Concatenate
Save as WAV file... 'outputDir$'/verwerving.wav
select all
Remove

procedure permuteren
  select tableOfReal
  To Permutation (sort row labels)
  volgordeSerie'i' = Permute randomly... 0 0
endproc

procedure array
  select volgordeSerie'i'
  array [stimulus] = Get value... stimulus
  value = array [stimulus]
  if value < 10
    sound'value' = Read from file... 'inputDir$'/00'value'.wav
  elsif value < 100
    sound'value' = Read from file... 'inputDir$'/0'value'.wav
  else
    sound'value' = Read from file... 'inputDir$'/'value'.wav
  endif
endproc

procedure concateneren
  value = array [stimulus]
  if stimulus = 1
    select sound'value'
  else
    plus sound'value'
  endif
endproc

```

### D.3 Maak de teststimuli

```

inputDir$ = "/media/KINGSTON/experiment_sounds/02_syllabesegmenten"
outputDir$ = "/media/KINGSTON/experiment_sounds/05_teststimuli"

```

```
aantal_stimuli = 100
```

```

burst = Read from file... 'inputDir$'/burst.wav
aspiratie = Read from file... 'inputDir$'/aspiratie.wav
left_Range = Get start time
right_Range = Get end time
range = right_Range - left_Range
aantal_samples = aantal_stimuli - 1
interpaarafstand = range / aantal_stimuli

```

```

aspiratieTextGrid = To TextGrid... segmenten
for i to aantal_stimuli
  select aspiratieTextGrid
  tijdspunt = i * interpaarafstand
  if i <= aantal_samples

```

```

        Insert boundary... 1 'tijdspunt'
        Set interval text... 1 'i' 'i'
    else
        Set interval text... 1 'i' 'i'
    endif

    select aspiratie
    plus aspiratieTextGrid
    aspiratiesegment = Extract intervals where... 1 no "is equal to" 'i'
    coda = Read from file... 'inputDir$'/klinker.wav

    select burst
    plus aspiratiesegment
    plus coda
    stimulus = Concatenate

    if i < 10
        Save as WAV file... 'outputDir$'/00'i'.wav
    elsif i < 100
        Save as WAV file... 'outputDir$'/0'i'.wav
    else
        Save as WAV file... 'outputDir$'/'i'.wav
    endif
    select stimulus
    plus aspiratiesegment
    plus coda
    Remove
endfor

select burst
plus aspiratie
plus aspiratieTextGrid
Remove

#de testparen genereren voor in de experimentMFC-file:
intraparaafstand = 24
aantalParen = aantal_stimuli - intraparaafstand
aantalVerschillendeStimuli = 2 * aantalParen
    printline 'aantalVerschillendeStimuli' verschillende stimuli

for i to aantalParen
    j = i + intraparaafstand
    if i < 10
        if j < 10
            printline "00'i',00'j'" ""
            printline "00'j',00'i'" ""
        else
            printline "00'i',0'j'" ""
            printline "0'j',00'i'" ""
        endif
    elsif i < 100
        if j < 100
            printline "0'i',0'j'" ""
            printline "0'j',0'i'" ""
        else
            printline "0'i', 'j'" ""
        endif
    else
        printline "0'i', 'j'" ""
    endif
endfor

```

```

        printline "'j',0'i'" ""
    endif
else
    printline "'i','j'" ""
    printline "'j','i'" ""
endif
endfor

```

## D.4 Zet de data van de luisteraars in een matrix

```

form Zet alle data in een matrix
    natural Aantal_luisteraars 27
    natural Aantal_stimulusparen 76
endform

# een tabel aanmaken waar van alle luisteraars alle responsen per paar
# ingezet worden
alle_luisteraars = Create Table with column names... \
    alle_luisteraars aantal_stimulusparen 1
for luisteraar from 2 to aantal_luisteraars
    Append column... 'luisteraar'
endfor

# eerst voor iedere luisteraar het aantal verschillend-responsen
# per stimuluspaar bepalen
for luisteraar to aantal_luisteraars
    Read from file... 'luisteraar'.Table
    Append column... stimulusPaar
    Append column... stimulus1
    Append column... stimulus2
    Formula... stimulus1 left$(self$[row,"stimulus"],3)
    Formula... stimulus2 right$(self$[row,"stimulus"],3)
    Formula... stimulusPaar min(self["stimulus1"],self["stimulus2"])
    Sort rows... stimulusPaar stimulus1
    Append column... aantalVerschillendResponsen
    Formula... aantalVerschillendResponsen if self$ ["response"] = \
        "verschillend" then 1 else 0 endif
    pooled = Collapse rows... stimulusPaar aantalVerschillendResponsen "" "" ""
    Save as tab-separated file... responsen_'luisteraar'.Table

    responsen = Read from file... responsen_'luisteraar'.Table
    aantalRijen = Get number of rows
    for rij to aantalRijen
        select responsen
        respons = Get value... rij aantalVerschillendResponsen
        select Table alle_luisteraars
        Set numeric value... rij 'luisteraar' 'respons'
    endfor
endfor

#van de tabel een matrix maken:
select Table alle_luisteraars
Down to Matrix
Transpose
Save as text file... alle_luisteraars.Matrix

```

## D.5 Maak tabel met de resultaten

```
form Sorteren
  boolean Helling
  choice Sorteren_op 1
    option Verwervingsgroep
    option Piek
    option Niets
endform

if helling
  model_0_pieken = Read from file... fit10.Table
  model_1_piek = Read from file... fit11.Table
else
  model_0_pieken = Read from file... fit0.Table
  model_1_piek = Read from file... fit1.Table
endif

intrapaarafstand = 24
verwervingsgroep = Read from file... verwerving.Table
aantalLuisteraars = Get number of rows
aspiratieTextGrid = Read from file... aspiratie.TextGrid

resultaten = Create Table with column names... resultaten aantalLuisteraars \
  groep 0_pieken 1_piek dLL p(chiSquare) aantal_pieken mu(stimuluspaar) \
  mu(ms) sigma hoogte

for luisteraar to aantalLuisteraars
  call get_group
  call get_likelihooods
  call calculate_peaks
  call get_mu_sigma_hoogte
endfor

procedure get_group
  select verwervingsgroep
  groep = Get value... luisteraar mod
  select resultaten
  Set numeric value... luisteraar groep 'groep'
endproc

procedure get_likelihooods
  select model_0_pieken
  logLikelihood_0 = Get value... luisteraar logLikelihood
  select model_1_piek
  logLikelihood_1 = Get value... luisteraar logLikelihood
  select resultaten
  Set numeric value... luisteraar 0_pieken round(1000*'logLikelihood_0')/1000
  Set numeric value... luisteraar 1_piek round(1000*'logLikelihood_1')/1000
endproc

procedure calculate_peaks
  dLL = logLikelihood_0 - logLikelihood_1
  Set numeric value... luisteraar dLL round(1000*-'dLL')/1000
  improvement = -2 * dLL
  p = Calculator... chiSquareQ ('improvement',3)
```



```

if p < 0.05
  Set numeric value... luisteraar aantal_pieken 1
else
  Set numeric value... luisteraar aantal_pieken 0
endif
if p > 0.005
  p = round(100*(p))/100
endif
Set numeric value... luisteraar p(chiSquare) 'p'
endproc

procedure get_mu_sigma_hoogte
  select model_1_piek
  mu = Get value... luisteraar mu1
  sigma = Get value... luisteraar sigma1
  if helling
    onderkant= Get value... luisteraar pmin1
  else
    onderkant= Get value... luisteraar pmin
  endif
  bovenkant = Get value... luisteraar pmax1
  hoogte = bovenkant - onderkant
#ophalen welke VOT-duur bij mu(stimuluspaar) hoort:
  select aspiratieTextGrid
  mums = Get end point... 1 round('mu') + 0.5 * intrapaarafstand
  select resultaten
  Set numeric value... luisteraar mu(stimuluspaar) round('mu')
  Set numeric value... luisteraar mu(ms) round(1000*'mums')
  Set numeric value... luisteraar sigma round(1000*'sigma')/1000
  Set numeric value... luisteraar hoogte round(1000*'hoogte')/1000
endproc

if sorteren_op$ = "Verwervingsgroep"
  Sort rows... groep
elseif sorteren_op$ = "Piek"
  Sort rows... aantal_pieken
endif

if helling
  Save as tab-separated file... resultaten_helling.Table
else
  Save as tab-separated file... resultaten.Table
endif

```