

*Katholieke Universiteit Leuven
Centrum voor Mathematische Psychologie en
Psychologische Methodologie*

PERCEPTUELE STRUKTUREN VAN SYNTHETISCHE EN NATUURLIJKE KLINKERS

[PERCEPTUAL STRUCTURES OF SYNTHETIC AND NATURAL VOWELS]

GEORGES GOVAERTS

The investigation which is reported here, forms part of a study which concentrates on the relation between acoustical dimensions of speech sounds on the one hand and some response dimensions on the other hand. The research is aimed at gaining more insight into the perceptual organization of vowels. In order to attain different levels or aspects of the perceptual organization, various experiments were designed in which the task of the subjects, in relation to the same stimulus materials, was very different. This report deals with the experiments concerning similarity judgements on pairs of human vowels and pairs of synthetic vowels. The synthetic vowels are generated with a five-formant parallel hardware synthesizer. The results from previous experiments on the naturalness (Fig. 1) and the identification-value (Tab. 3) of both kinds of vowels suggest that the selected physical parameters (Tab. 1), measured on the human vowels, allow the generation of synthetic vowels which match the natural ones. This heightens the external validity of our results. A multidimensional analysis on the pooled similarity data resulted for both kinds of vowels in a predicted structure (Fig. 3) with two qualitative dimensions. The first dimension reflects the distinctive features acute vs. grave and in there a tense/lax distinction. The second dimension reflects the distinctive features plain vs. flat and in there the compact/diffuse contrast. A multidimensional analysis which takes into account inter-individual differences in perception resulted for both kinds of vowels in a six-dimensional structure (Fig. 4). The first, qualitative, dimension reflected the subjective importance of low versus high frequency information plus the position on the frequency scale (multiple r of D_1 with the acute/grave and the plain/flat indices = .934). The other dimensions were related to the bandwidth of the formants (r of D_2 with $\Sigma \log_{10} B_i$ = .970), the central frequency of the second formant (r of D_3 with $\log_{10} CF_2$ = .959), the central frequency of the first formant (r of D_4 with $\log_{10} CF_1$ = .933), the duration of the vowels (r of D_5 with time in msec = .894) and the loudness (r of D_6 with loudness indices = .839).

SITUERING

In normale omstandigheden blijkt een luisteraar behorend tot een bepaald taalgebied geen moeilijkheden te ondervinden zinvolle boodschappen in zijn taal geuit te verstaan. Hij is hiertoe in staat omwille van bepaalde fysische kenmerken die de spraakklanken bezitten en door toedoen van allerlei psychologische factoren. Tot deze laatste behoren o.a. de bekwaamheid verschillen in bepaalde fysische dimensies

te onderscheiden, een kennis van de relatie tussen bepaalde akoestische dimensies van het spraaksignaal en de te herkennen spraakelementen (e.g. woorden, fonemen), een kennis van het aantal beschikbare alternatieven, de betekenisvolheid van de klanken, een kennis van de paradigmatische, syntagmatische, grammaticale en semantische mogelijkheden van de betrokken taal, een kennis van de omgeving en de sociale kontekst. Bovendien heeft een luisteraar allerlei tactieken ontwikkeld om dergelijke vormen van hoofdzakelijk impliciete kennis en bekwaamheid te gebruiken bij het ontcijferen van de hem aangeboden spraaksignalen.

Het onderzoek waarvan de resultaten hier worden weergegeven, vormt een deel van een studie die zich concentreert op de relatie tussen akoestische dimensies van spraakklanken, in casu van geïsoleerd uitgesproken Zuidnederlandse klinkers, en hun responsdimensies.

Resultaten van akoestische analyse van natuurlijke klinkers, gaven de laatste 25 jaren aanleiding tot het onderzoeken van de invloed van een aantal, meestal individuele, fysische variabelen op de waarneming van synthetische klinkers (e.g. Cooper et al., 1952; Liberman et al., 1957; Delattre, 1958; Chistovich en Mushnikov, 1971). De variatie van de waarde van één fysische parameter kan echter bij complexe auditieve stimuli, zoals klinkers, niet altijd gebeuren zonder dat andere parameters mee een variatie ondergaan, zodat de verandering in respons van de proefpersonen niet altijd aan de betrokken variabele alleen kan worden toegeschreven. Bovendien wordt in dat soort experimenten de natuurlijke samenhang (Fant, 1970²) tussen de waarden van verscheidene parameters over het hoofd gezien. Tevens worden belangrijke onderstellingen gemaakt die niet experimenteel geverifieerd werden als e.g. dat de resultaten van experimenten met synthetische klinkers generaliseerbaar zijn naar de perceptie van natuurlijke klinkers, dat luisteraars een perceptuele formantanalyse doorvoeren.

Over het feit welke variabelen samen uiteindelijk als een complex geheel gebruikt worden, voor het kategoriseren van klinkers of het vellen van oordelen over klinkers en over de mate van perceptuele relevantie van deze variabelen, is dan ook eerder weinig geweten. Wij besloten daarom een alternatieve benaderingswijze te gebruiken, nl. het onderzoeken van groeperingen en structuren van klinkers, opgesteld aan de hand van rechtstreeks en onrechtstreeks waargenomen relaties tussen die klinkers. Hiermee hoopten wij meer inzicht te verkrijgen in de processen die zich in de waarnemer voordoen, in de perceptuele organisatie van klinkers.

Aan de basis van dergelijk soort onderzoek ligt de onderstelling dat stimuli worden waargenomen op een dimensionaal georganiseerde wijze. D.w.z., men onderstelt dat er psychologische dimensies bestaan via dewelke prikkels worden waargenomen en gestructureerd. Deze dimensies worden conceptueel voorgesteld in een multidimensionale ruimte met een bepaalde metriek (Beals, Krantz en Tversky, 1968; Tversky en Krantz, 1969; Tversky en Krantz, 1970; Krantz en Tversky, 1973).

Om te trachten verschillende niveaus of aspecten van de perceptuele organisatie te benaderen, werden experimenten op touw gezet, waarbij de taak van de proefpersonen t.o.v. hetzelfde stimulus-materiaal van uiteenlopende aard was, nl. het vellen van gelijkenisoordelen over paren klinkers, het identificeren van klinkers en het op beschrijvende beoordelingsschalen plaatsen van klinkers.

Dit verslag handelt over de experimenten waarbij de proefpersonen als taak hadden gelijkenisoordelen te vellen over paren natuurlijke en paren synthetische klinkers. Eerst worden de realisatie en de perceptuele evaluatie van de gebruikte synthetische klinkers behandeld waarna de analyse van de gelijkenisoordelen wordt besproken.

PROBLEEMSTELLING

In het dagelijks leven vellen wij frekvent het oordeel dat twee objecten meer of minder gelijkend zijn. Deze oordelen zijn ergens gelokaliseerd op een psychologisch continuüm gaande van "volledig gelijk" naar "helemaal geen gelijkenis". Een numerische omschrijving van de ervaren graad van gelijkenis tussen twee objecten, s_{ij} , kan gebeuren aan de hand van een beperkt bereik uit het getallensysteem, $0 \leq s_{ij} \leq N$, waarbij 0 geen gelijkenis aanduidt en N ($N > 0$) een waarde is die funktie is van de betrokken stimulusmodaliteit en het discriminerend vermogen van de waarnemer m.b.t. die modaliteit.

De aard van gelijkenis blijkt afhankelijk te zijn van verscheidene factoren. Uit onderzoek van Shepard (1964) blijkt dat de aard van de prikkels mede de aard van gelijkenis bepaalt. Hij vond nl. dat er analyseerbare en unitaire of niet analyseerbare prikkels zijn. Deze visie is in overeenstemming te zien met het onderscheid door Torgerson (1958) gemaakt tussen prikkels die variëren t.o.v. meerdere attributen enerzijds en prikkels met een multidimensionaal attribuut anderzijds. In het eerste geval is het voor een waarnemer gemakkelijker de onderscheiden waar te nemen attributen van de objecten afzonderlijk te beoordelen dan een globaal gelijkenisoordeel te vellen. Uit experimenten van Schulman en Torgerson (Torgerson, 1965) blijkt dat gelijkenis ook afhankelijk is van de totale verzameling prikkels. Het feit dat prikkel x meer gelijkend beoordeeld wordt aan y dan aan z wordt bepaald door de overige prikkels van de verzameling. Uit deze experimenten bleek eveneens dat gelijkenis afhankelijk is van de door de proefpersonen gebruikte strategie.

Gelijkenis is dus geen unieke onveranderlijke relatie tussen een prikkelpaar. Wat betreft gelijkenis tussen klinkers onderstellen wij dat zij ergens ligt tussen beide door Torgerson aangehaalde uitersten. Enerzijds hebben klinkers het multidimensionaal attribuut "vokaliteit", maar anderzijds zijn klinkers tot op zekere hoogte analysebaar. Men kan e.g. waarnemen of een klinker kort of lang is, luid of niet, scherp of dof.

De richting in het perceptieonderzoek waarbij gepoogd wordt

responsdimensies van spraakklanken te achterhalen, gebaseerd op rechtstreekse of onrechtstreekse oordelen van gelijkenis, is in 1954 ontstaan door toedoen van Wilson en Saporta (1965²). Zij introduceren voor het eerst het begrip "psychologische ruimte van spraakklanken" en stellen tevens een experimentele procedure voor om deze te bekomen. Na deze suggestie volgt dan een reeks onderzoeken waarbij gepoogd wordt de responsdimensies van spraakklanken te achterhalen (o.a. Fischer-Jørgensen, 1958; Peters, 1960; Hanson, 1961, 1963, 1964, 1967, 1968; Knops, 1967; Pols, van der Kamp en Plomp, 1969; Singh en Woods, 1970).

Bij deze onderzoeken zijn sommige bedenkingen te maken. Wat betreft de *aard van de prikkels* stelt men vast dat veelal incidentele klinkers gebruikt worden. Bij het gebruik van natuurlijke klinkers zijn zij soms gerealiseerd door de onderzoeker zelf. De fonemische aard van dergelijke stimuli is onzeker. In het geval van synthetische klinkers zijn zij soms zodanig dat zij nog moeilijk de naam "klinker" kunnen gegeven worden, e.g. geen intonatiecontour ingebouwd, of een gebrekkige spektrale samenstelling. Bij dergelijke stimuli heeft men niet de minste zekerheid dat de proefpersonen de stimuli in spraakwijze zullen waarnemen. Ook het laten beoordelen van stimuli door de proefpersonen zelf gerealiseerd is niet aan te raden daar er dan een reële kans bestaat artikulatorische fenomenen mee in de auditieve gelijkenisoordelen te betrekken.

Wat betreft de *methode* lijkt ons het gebruik van de triadische techniek voor het beoordelen van temporale verschijnselen, in casu klinkers, moeilijker dan de paarsgewijze ratingprocedure.

Wat betreft de *verwerking van de data* stelt men vast dat geen rekening gehouden wordt met interindividuele verschillen in beoordeling tussen de proefpersonen: de individuele resultaten worden gekombineerd. Zoals het onderzoek van Peters (1963) met medeklinkers suggereert, gaat er met het poolen van gegevens informatie verloren.

Ook de *interpreteerbaarheid van de resultaten* stelt meestal problemen. Niettegenstaande het aantal bekomen responsdimensies in de vermelde onderzoeken klein is (meestal twee), is er geen duidelijk één-eenduidig verband waar te nemen met akoestische parameters. Men houdt bij de interpretatie waarschijnlijk geen rekening met de projecteerbaarheid van andere akoestische variabelen of combinaties van variabelen in een twee-dimensionale akoestische ruimte.

De *doelstellingen van dit onderzoek* zijn de volgende. Uit een vooronderzoek (Govaerts, 1974) bleek dat de gelijkenisoordelen tussen (₂¹⁵) paren klinkers aanleiding gaven tot groeperingen van klinkers in de multidimensionale responsruimte. Wij willen de realiteit en de aard van deze structuren nagaan.

Omwille van een groot aantal perceptueel relevant onderstelde fysische variabelen (Govaerts, 1974) stellen wij de hypothese dat de luisteraar bij het beoordelen van de gelijkenis tussen klinkers gebruik maakt van – in tegenstelling met de resultaten vermeld door hoger

vernoemde auteurs – meer dan twee tot drie responsdimensies. Hierbij gaan wij na of deze responsdimensies in relatie te brengen zijn met akoestische dimensies en welke hun perceptuele relevantie is.

Daar alleen synthetische klinkers, omwille van de nauwkeurig gekende akoestische samenstelling, het mogelijk maken met meer zekerheid uitspraak te doen over die relatie wordt het onderzoek gedaan met synthetische klinkers en, omwille van de generaliseerbaarheid van de resultaten met dergelijke prikkels naar het domein van de natuurlijke spraak, tevens met natuurlijke klinkers. Voor de externe validiteit is het tevens aangewezen klinkers te gebruiken waarvan de fonemische status zeker is. Daarom dient het onderzoek te gebeuren met prikkels die perceptueel representatief zijn voor het betrokken taalgebied. Dit betekent: een systeem dat klinkers bevat die 1. een zo hoog mogelijke identificatiescore en 2. terzelfdertijd een zo goed mogelijke kwaliteit bezitten. Voor de synthetische klinkers betekent dit dat die fysische variabelen gebruikt worden die maken dat zij minstens gelijken op menselijke spraakklanken. Hieruit volgt dat eerst moet worden onderzocht in welke mate de gerealiseerde klinkers als hun natuurlijke tegenhangers worden aanvaard.

Wat betreft het aantal klinkers waren drie criteria bepalend. Een psychologische ruimte dient zo goed mogelijk opgevuld te zijn om ze relevant te kunnen onderzoeken (Torgerson, 1965). Om de bekomen multidimensionale structuur zo min mogelijk door ruis te laten bepalen, vereisen de multidimensionale methodes voor het analyseren van niet-metrische gegevens een groot aantal stimuluspunten (minstens groter dan 7 à 8, Klahr, 1969). Hierbij aansluitend, toont Shepard (1972) aan dat de graad van metrische precisie bij ordinale gegevens afhankelijk is van het gebruikte aantal objecten. Rekening houdend met deze externe criteria besloten wij volgende Zuidnederlandse eigenlijke klinkerfonemen: *lied* /i/, *boot* /o/, *puur* /y/, *boek* /u/, *haat* /a/, *beek* /e/, *bik* /ɪ/; *beuk* /ø/, *suf* /œ/, *mol* /ɔ/, *fel* /ɛ/, *de* /ə/, *bak* /ɑ/, en volgende leenfonemen: *serre* /ɛ:/ en *rose* /ɔ:/ in ons onderzoek te betrekken.

Deze vijftien klinkers werden via *identificatieexperimenten* en *kwaliteitsbeoordelingen* uit een staal van 7.000 mannelijke klinkers geselecteerd (Govaerts, 1974).

PERCEPTUELE EVALUATIE VAN DE SYNTHETISCHE KLINKERS

PROBLEEMSTELLING

Onnatuurlijk klinkende en slecht identificeerbare klinkers kunnen tot foutieve konklusies aanleiding geven. In dit verband stellen Cohen, Slis en 't Hart (1967) dat zij meer moeten zijn dan alleen maar een karikatuur in termen van twee waarden, nl. de eerste en tweede formant. Fant (1967) merkt op dat vereenvoudigde stimuli de kans lopen onvoldoende dragers van fonemische cues te hebben zodat de conclusies getrokken uit experimenten met dergelijke stimuli slechts geldig zijn

voor de gebezigde spraaksynthetizator en niet voor menselijke spraak. Het is daarom noodzakelijk de aanvaardbaarheid van de synthetische klinkers als natuurlijke klinkers te onderzoeken. Dit gebeurt door de kwaliteit van de gesynthetiseerde klinkers op twee eigenschappen perceptief te evalueren: 1. de natuurlijkheidsindruk en 2. de identificeerbaarheid.

METHODE

Proefpersonen: Veertig fonetisch naïeve studenten van de tweede kandidatuur en de eerste licentie psychologie, allen vrijwilligers, deden aan het onderzoek naar de natuurlijkheid en de identificeerbaarheid mee. Zij kwamen individueel of in groepen van maximaal vijf naar het laboratorium (geluidsvrije kamers).

Apparatuur: Na een studie van mogelijke syntheseprincipes besloten wij voor het genereren van de prikkels een parallel terminaal-analoge spraaksynthetisator te ontwerpen. Dit is een synthetisator waarvan de transmissiekenmerken, alleen gezien van zijn in- en output, gelijk zijn aan deze van de menselijke aanzetbuis en waarbij de samenstellende netwerken waarvan de gecombineerde werking de aanzetbuis nabootst parallel zijn geschakeld. Hij is zeer geschikt voor experimenteerdoeleinden omwille van 1. zijn onafhankelijke controle-mogelijkheden van de verscheidene akoestische variabelen waaruit het spraaksignaal is opgebouwd en 2. de hoge kwaliteit van de spraakklanken die er mee kunnen gerealiseerd worden. Het toestel laat toe volgende instellingen te realiseren. Vooreerst kan de glottale golfvorm, met zijn geassocieerd spectrum, zoals hij de menselijke stembanden verlaat nauwkeurig worden nagebootst, verder de grondtoon (F_0) – die in een bepaalde mate de toonhoogte bepaalt – met zijn variatie (intonatiecontour) en de vijf eerste formanten (F_{1-5}). Een formant is het effect van een beïnvloeding op het ganse spectrum, veroorzaakt door de aanwezigheid van een resonantiefilter met bepaalde eigenschappen. Heeft het filter een relatief smalle bandbreedte dan is dit effect als een waarneembare piek in het spectrum aanwezig. De instelparameters van deze formantfilters zijn: de centrale formantfrequentie (CF), dit is de frequentie te projecteren onder de top van de piek, het niveau (L) van de piek uitgedrukt in decibel (dB) en de bandbreedte (B). De bandbreedte is de afstand uitgedrukt in hertz (Hz, eenheid van frequentie) tussen de punten gelegen op de denkbeeldige formantomhullende links en rechts van de CF waarvan het niveau 3 dB lager is dan dat van de top. Verder zijn nog regelbaar de oplooptijd, de duur en de aflooptijd van de spraakklanken uitgedrukt in msec en hun totaal niveau uitgedrukt in dB.

Stimuli: Tabel 1 geeft de parameterwaarden van de klinkers. De F_0 is een gemiddelde waarde terwijl τ_{tot} de totale duur van de klinkers aangeeft. De formantniveaus zijn uitgedrukt in dB beneden het globale

klinker- symbool	F ₀	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	T _{tot}
/o/	124	420	815	2100	2975	3745	3.50	12.50	32.00	41.25	45.75	70	80	100	275	275	298
/ɔ/	166	540	875	2620	3222	3780	6.15	17.00	37.50	39.00	37.00	60	140	175	190	247	159
/ɔ:/	112	570	1000	2420	3000	4410	4.50	17.00	40.00	41.00	40.00	55	55	90	120	120	474
/u/	152	290	720	1855	2800	3280	6.75	25.00	46.50	57.50	63.00	40	55	60	90	140	245
/a/	141	890	1360	2475	3530	4830	7.20	6.20	21.20	25.00	41.30	110	120	160	275	325	372
/a/	125	770	1160	2470	3250	3825	1.30	5.50	22.00	28.20	28.50	70	90	120	380	275	159
/ø/	139	413	1500	2125	3125	4025	3.00	9.50	12.40	22.20	30.00	30	90	110	120	90	487
/y/	167	275	1775	2200	3120	3975	5.00	22.60	26.40	36.50	51.00	40	70	90	110	140	145
/œ/	147	325	1640	2240	2950	3250	2.50	20.00	20.00	31.00	28.00	40	110	120	120	140	191
/ə/	153	465	1475	2275	3225	3735	1.25	13.60	30.70	30.00	36.10	40	110	325	220	325	195
/e/	147	390	2170	2625	3595	4025	4.00	10.30	13.40	20.50	34.00	70	60	120	140	325	350
/ɛ/	155	590	1695	2325	3125	3690	3.00	10.50	21.70	35.00	35.00	40	60	90	140	220	175
/ɛ:/	124	520	1640	2330	3725	4175	4.10	21.00	28.60	44.25	45.00	30	110	120	190	380	288
/i/	124	320	2000	2650	3400	4050	3.00	20.00	19.60	23.00	23.00	30	120	120	220	400	133
/i/	161	225	2280	2820	3200	3500	7.50	14.00	15.00	13.50	11.00	30	90	120	120	140	243
ɤ	143	466	1473	2370	3216	3886	4.18	14.98	25.80	32.56	36.58	50	90	128	180	236	279

TAB. 1. PARAMETERWAARDEN VAN DE SYNTHETISCHE KLINTERS — PARAMETER VALUES
OF THE SYNTHETIC VOWELS

niveau van elke klinker. De waarden zijn deze gemeten aan de hoger genoemde 15 geselecteerde klinkers. Het is onze hoop met deze vijf-formantklinkers een identifikatiescore te bekomen die deze van natuurlijke klinkers vrij dicht benadert. Er werd een band samengesteld waarin de 15 gesynthetiseerde klinkers en kopieën van de 15 natuurlijke klinkers elk tweemaal volgens toeval voorkwamen. De vijf eerste

klinkers zijn echter de volgens toeval gekozen synthetische klinkers /ɛ:/, /o/, /i/, /u/ en /ø/. De reden hiervoor is dat het mengen van zeer identificeerbare hoog kwalitatieve natuurlijke klinkers met synthetische klinkers, elk gelijk in aantal, gezien een mogelijk kontrasteffect een uiterst strenge test is voor de synthetische klinkers. Ter adaptatie werd de interstimulustijd over 14 opeenvolgende klinkers geleidelijk van 10 tot 5 sec. gereduceerd. De proefpersonen waren zich hiervan niet bewust.

Instructies: In de instructies werden de proefpersonen volledig over het doel van de experimenten geïnformeerd. Voor het weergeven van de mate waarin een klinker als natuurlijk ervaren wordt, werd experimenteel vastgesteld dat een grafische vijf-kategorieënschaal goed voldeed. Voor de identifikatie van de klinkers werd een identifikatiematrix gebruikt waarbij horizontaal de antwoordmogelijkheden werden weergegeven en vertikaal de volgnummers van de klinkers. De antwoordmogelijkheden waren vijftien volgens toeval gekozen woorden waarin een klinker was onderlijnd.

Procedure: Om de proefpersonen geen criteria te verschaffen die hun oordelen zouden kunnen beïnvloeden (mannelijke klinkers), werden de instructies op band ingelezen door een vrouw. Om een analoge reden werd eerst het experiment over de natuurlijkheidsindruk gedaan. Na een pauze van 10 minuten werd het identifikatieexperiment gedaan. Vervolgens werden de proefpersonen ondervraagd over de criteria die zij gebruikten bij de beoordeling van de natuurlijkheidsgraad. Zowel de instructies als de stimuli werden via hoogwaardige hoofdtelefoons van het circumaurale type aangeboden.

RESULTATEN

De criteria die de proefpersonen beweerden te gebruiken voor het beoordelen van de natuurlijkheidsgraad konden gegroepeerd worden onder twee hoofdingen, nl. "met oor waarneembare eigenschappen" en "frekwentie van voorkomen". De criteria van de eerste groep waren het talrijkst. Deze konden verder tot drie onderhoofdingen gereduceerd worden, nl. 1. adjektieven i.v.m. de duur (e.g. korte aanzet, lang), 2. beschrijvende adjektieven (e.g. scherp, hard, metaalachtig) en 3. beschrijvende woorden i.v.m. de manier van produktie (e.g. trillingen, intonatie, ademstoot). Tabel 2 geeft de procenten van de 5 synthetische klinkers die gebruikt werden om de invloed van de aanwezigheid van zeer goede natuurlijke klinkers op de natuurlijkheidsbeoordeling van de synthetische na te gaan. Fig. 1 geeft een grafische voorstelling van de natuurlijkheidsbeoordelingen van de natuurlijke en synthetische klinkers. De met punten opgevulde balken "synthetisch" zijn een combinatie van de vakken 1 en 2 van de vijf-puntenschaal. De niet opgevulde balken "neutraal" komen overeen met vak 3 van de schaal. Deze balken geven dus het procent weer

dat de proefpersonen niet konden oordelen dat de klinkers synthetisch dan wel natuurlijk waren. Vakken 4 en 5 van de schaal werden gekombineerd als de "natuurlijk" oordelen (opgevulde balken). Gemiddeld bedroegen de oordelen "synthetisch", "neutraal" en

klinker- symbool	synthetisch	neutraal	natuurlijk
/ɛ:/	35.0	12.5	52.5
	82.5	12.5	5.0
/o/	2.5	10.0	87.5
	10.0	12.5	77.5
/i/	30.0	35.0	35.0
	62.5	22.5	15.0
/u/	25.0	20.0	55.0
	30.0	35.0	35.0
/ø/	22.5	15.0	62.5
	57.5	25.0	17.5

TAB. 2. NATUURLIJKHEIDSBEOORDELING VAN DE EERSTE EN TWEEDE AANBIEDING VAN VIJF SYNTHETISCHE KLINKERS — JUDGEMENTS ON THE NATURALNESS OF THE FIVE SYNTHETIC VOWELS ON THE FIRST AND SECOND PRESENTATION

"natuurlijk" respectievelijk 16.51%, 13.2% en 70.28% voor de natuurlijke klinkers en respectievelijk 41.30%, 16.12% en 42.58% voor de synthetische klinkers. De resultaten van het identifikatie experiment zijn weergegeven in Tabel 3.

BESPREKING

Uit de vergelijking van de procenten in Tabel 2 van de eerste en de tweede aanbieding van de vijf synthetische klinkers, blijkt duidelijk de invloed van de contrastwerking. Er is bij alle klinkers een verschuiving waar te nemen van het procent oordelen "natuurlijk" naar de categorieën "synthetisch" en/of "neutraal". De mate van de invloed is voor de verscheidene klinkers nogal verschillend. Het sterkst onderhevig zijn klinkers /ɛ:/ (47.5% vermindering "natuurlijk" oordelen) en /ø/ (45% vermindering). Dan komt /u/ en /i/ (elk 20% vermindering) en /o/ (10% vermindering). Met uitzondering van /i/ blijkt deze differentiële invloed verband te houden met het procent "natuurlijk" beoordeling van de natuurlijke klinkers. Er is een tendens waar te nemen dat de mate van vermindering van de beoordeling "natuurlijk" van de vijf synthetische klinkers samengaat met een kleiner procent "natuurlijk" beoordeling van de natuurlijke klinkers (Fig. 1). Een tweede faktor die duidelijk de differentiële invloed mede in de hand blijkt te werken is de plaats van voorkomen op de band van de tweede aanbieding van de vijf synthetische klinkers. De /ɛ:/, /o/, /i/, /u/ en /ø/ kwamen nl. respectievelijk op de 59ste, 32ste, 31ste, 50ste

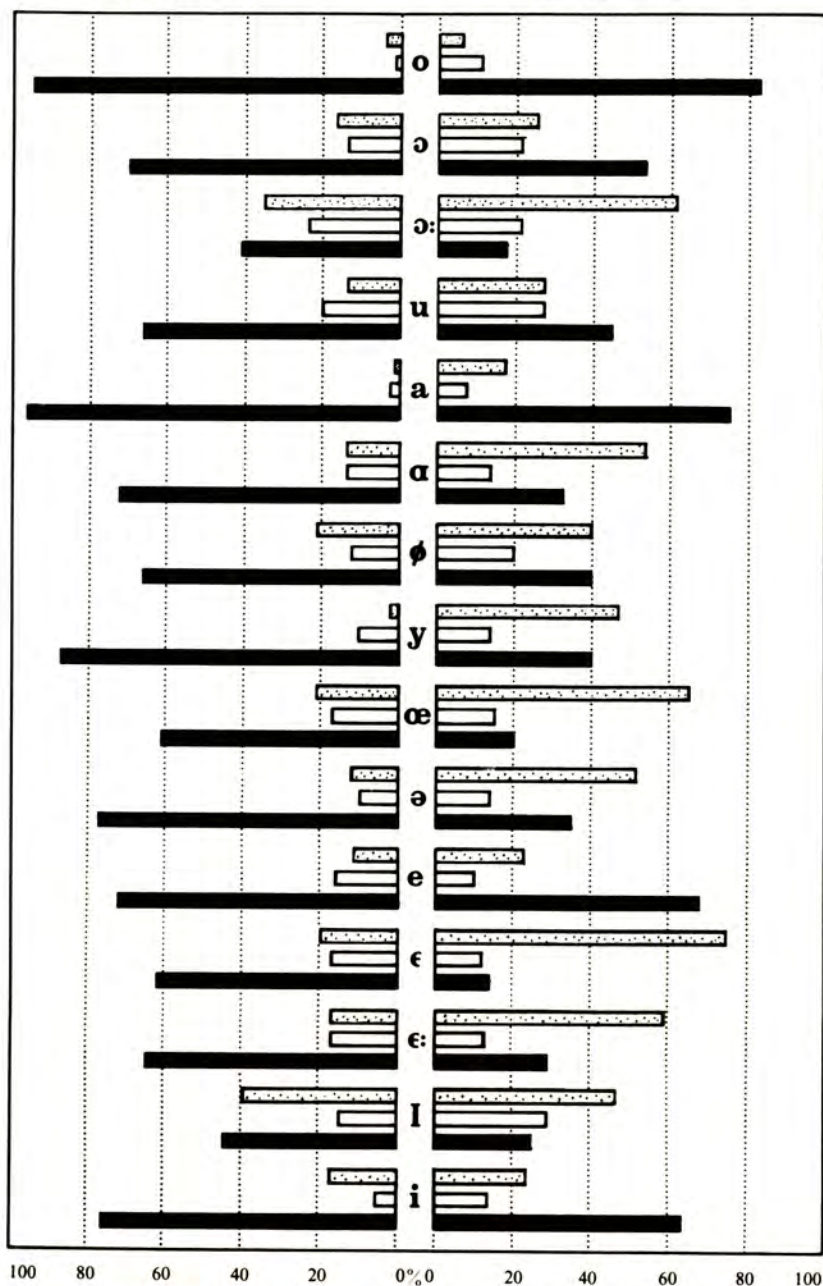


FIG. 1. GRAFISCHE VOORSTELLING VAN HET PROCENT "SYNTHETISCH" (balken met punten), "NEUTRAAL" (niet opgevlude balken) EN "NATUURLIJK" (zwarte balken) OORDELEN VAN DE NATUURLIJKE EN DE SYNTHETISCHE KLANKERS OVER BEIDE AANBIEDINGEN — GRAPHICAL REPRESENTATION OF THE PERCENTAGE "SYNTHETIC" (rectangles with dots), "NEUTRAL" (blank rectangles) AND "NATURAL" (black rectangles) JUDGEMENTS ON THE HUMAN AND SYNTHETIC VOWELS ON BOTH PRESENTATIONS

bedoeld als :	/o/	/ɔ/	/ɔ:/	/u/	/a/	/a/	/ø/	/y/	/œ/	/ɜ/	/e/	/ɛ/	/ɛ:/	/i/	% korrekt
A															
	71	1	7					1							88.75
/ɔ/		79			1										98.75
/ɔ:/	1	5	71		1				1						88.75
/u/		1		78									1		97.50
/a/				1	77						1				96.25
/ø/					79		79						1		98.75
/y/				1			79								98.75
/œ/							1	76	2						95.00
/ɜ/					1			7	72						90.00
/e/							1		5	72				1	90.00
/ɛ/	1									68				2	85.00
/ɛ:/			1					2	12			3		4	71.25
/i/			1				1	1	3			37		4	46.25
/i/		1								1				68	85.00
/i/														9	79
/i/														79	98.75
B															
/o/	68		12												85.00
/ɔ/		78	1		1										97.50
/ɔ:/	2	6	71									1			88.75
/u/			1	77					1						96.25
/a/					79										98.75
/ø/					1										98.75
/y/					79										97.50
/œ/							78			2					82.50
/ɜ/							12	66	1						92.50
/e/							1	4	74						91.25
/ɛ/					1				3	73				1	97.50
/ɛ:/											78			1	97.50
/i/												2		3	57.50
/i/												60		1	75.00
/i/							7							65	81.25
/i/														6	73
/i/														6	91.25

TAB. 3. IDENTIFIKATIES VAN DE NATUURLIJKE (A) EN DE SYNTHETISCHE (B) KLINKERS —
IDENTIFICATION OF THE HUMAN (A) AND SYNTHETIC (B) VOWELS

en 44ste plaats. Tevens kwamen alle vijf natuurlijke versies op band voor vóór de tweede synthetische versie aangeboden werd.

Bij het inspekteren van Fig. 1 blijkt dat de natuurlijke klinkers hoegenaamd geen perfecte natuurlijkheidsbeoordeling krijgen. Er is

bovendien een grote variabiliteit in de "natuurlijk" beoordelingen vast te stellen. Deze blijkt verband te houden met de kwaliteit van de klinkers. De produkt-moment korrelatie tussen de kwaliteitsbeoordelingen waar in de probleemstelling wordt naar verwezen en het procent "natuurlijk" beoordelingen bedraagt nl. .74, wat op een duidelijk verband wijst. Bij het vergelijken van het procent "natuurlijk" beoordelingen van de synthetische klinkers met deze van de natuurlijke klinkers is er een globaal parallellisme waar te nemen. De produkt-moment korrelatie tussen beide bedraagt .75. Dit is niet zo verwonderlijk daar de synthetische klinkers een zo getrouw mogelijke replek zijn van de natuurlijke klinkers.

De resultaten tonen aan dat in een situatie waarbij men weet dat er natuurlijke en synthetische klinkers voorkomen, de gesynthetiseerde klinkers door de proefpersonen over 't algemeen als een zeer goede benadering van de natuurlijke klinkers worden aanvaard. Enige andere feiten wijzen ook in die richting. Van de 99 proefpersonen die aan het gelijkenisoordeelen experiment (zie verder) deelnamen, waren er zich slechts drie bewust van het feit dat zij soms met synthetische klinkers te maken hadden. Aan een onderzoeker die zelf synthetisatoren ontwikkeld heeft en tevens de meeste buitenlandse synthetisatoren heeft beluisterd, werd dezelfde band ter beoordeling aangeboden. In 56.66% van de gevallen werden de synthetische klinkers als "natuurlijk" of "niet te beslissen" beoordeeld.

Het procent korrekte identifikaties van de individuele natuurlijke klinkers varieert van 98.75 tot 46.25 (Tabel 3). Bij de synthetische klinkers varieert dit tussen 98.75 en 57.5.

De resultaten suggereren dat de geselecteerde fysieke parameters toelaten synthetische klinkers te verkrijgen die qua natuurlijkheid en identificeerbaarheid de natuurlijke klinkers evenaren. Resultaten van experimenten ondernomen met dergelijke klinkers zullen dan ook meer kans hebben extern valide resultaten op te leveren.

GELIJKENISOORDELEN VAN NATUURLIJKE EN VAN SYNTHETISCHE KLINKERS

Proefpersonen: De proefpersonen waren 99 studenten van de eerste kandidatuur psychologie. Zij kwamen individueel of in groepen van maximaal vijf naar het laboratorium.

Stimuli: Er werd een band met de vijftien synthetische en een met de vijftien natuurlijke klinkers samengesteld. De bedoeling van deze banden was de alternatieve prikkels te laten beluisteren om een zo stabiel mogelijk referentiekader te bekomen. Vervolgens werd een band samengesteld met twintig oefenparen synthetische klinkers en een met hetzelfde aantal natuurlijke klinkers. Zeven paren hadden gemiddeld een grote gelijkenis, zeven gemiddeld een kleine gelijkenis en zes een middelmatige gelijkenis. De mate van gelijkenis werd bepaald met behulp van de gelijkenisoordeelen van de voorproef. De

bedoeling van deze paren was drievoudig: 1. de proefpersonen vertrouwd maken met de uit te voeren taak, 2. zoveel mogelijk verschillende klinkers in de oordelen betrekken en het ganse bereik van afstanden te doorlopen en 3. de grootte van de gelijkenisoordelen te stabiliseren. Vervolgens werden de banden met de synthetische en natuurlijke ($\frac{a}{2}$) prikkelparen samengesteld. Hiertussen werd voor 21 stimulusparen een bijkomende aanbieding toegevoegd om de interne consistentie van de oordelen te onderzoeken. Daar uit het onderzoek van Mohr en Wang (1968) bleek dat de orde binnen een paar geen invloed heeft op de grootte van de gelijkenisoordelen, gebruiken wij maar ($\frac{a}{2}$) paren i.p.v. dubbele aantal. Er is dus voldaan aan het metrische axioma van de symmetrie ($s_{ij} = s_{ji}$, zodat $d_{ij} = d_{ji}$). De opeenvolging van de paren, de plaatsing van de 21 dubbelparen en de orde binnen een paar werd volgens toeval bepaald. Het interstimulusinterval werd, om enerzijds voorwaartse en/of achterwaartse maskering te vermijden en om anderzijds de prikkels in tijd zo dicht mogelijk bij elkaar te hebben, experimenteel bepaald op 500 msec. Het interval tussen de paren werd, om een compromis te vinden tussen de kans dat de proefpersonen andere dan auditieve informatie zouden gebruiken (e.g. artikulatorische) en de kans dat de aanduiding van de mate van gelijkenis in een van de negen vakken van de grafische paarsgewijze vergelijkingsschaal minder nauwkeurig zou zijn, eveneens experimenteel bepaald. Een geleidelijke vermindering van acht naar vijf seconden bleek goed te voldoen.

Procedure: De instructies (ingelezen door een vrouw) werden auditief aangeboden, waarbij de proefpersonen visueel op hun instructieblad dienden te volgen. Eerst werd het doel van het experiment uiteengezet, waarna de vijftien in het experiment gebruikte klinkers beluisterd werden. Vervolgens werd op de aard van de te gebruiken negen-puntschalen gewezen, waarna de konkrete werkwijze werd verklaard. Om de proefpersonen in hetzelfde referentiekader te houden, werden de natuurlijke en synthetische paren (na een rustpauze tussen beide) in eenzelfde experimentele zitting ter beoordeling aangeboden. Om een mogelijk effect van het eerst beoordelen van de synthetische of het eerst beoordelen van de natuurlijke klinkerparen op de gelijkenisoordelen te ondervangen werd, toevallig gekozen, aan de helft van de proefpersonen eerst de band met de natuurlijke klinkerparen aangeboden. Na de experimentele zitting werden de proefpersonen ondervraagd over de criteria die zij gebruikten om de graad van gelijkenis tussen een paar klinkers te beoordelen.

RESULTATEN

Daar de validiteit van de oplossing van een multidimensionale analyse bepaald wordt door zowel de mate waarin het betreffende model de gegevens fit, als door de betrouwbaarheid van de data, werd een betrouwbaarheidsindex bepaald. Voor elk van de 99 proefpersonen

werd de produkt-moment korrelatie berekend voor de 21 tweemaal voorkomende paren. Bij de natuurlijke klinkers lagen de korrelaties hoofdzakelijk tussen .61 en 1.00 en bij de synthetische klinkers tussen .71 en 1.00. Voor het geheel van de 21 paren over de proefpersonen bedroeg de korrelatie voor de natuurlijke klinkers .979 en voor de synthetische .987, wat uiterst hoog is voor dit soort beoordelingen. De iets grotere spreiding en lagere waarden bij de natuurlijke klinkers is waarschijnlijk een gevolg van verschillen in stemkarakteristieken. De criteria die de proefpersonen beweerden gebruikt te hebben om de graad van gelijkenis tussen twee klinkers uit te drukken konden als volgt worden gegroepeerd: beschrijvende adjektieve.. (60), unitaire beoordelingen (36), duur (31), artikulatie (16), "groepen van klinkers" (10), visuele voorstelling (4) en luidheid (1). De beschrijvende adjektieven waren de volgende: dofheid (20), scherpte (15), helderheid (6), toonhoogte (5), zuiverheid (4), timbre (3), zachtheid (2) en schelheid, diepte, lichtheid, metaalklank en hardheid elk eenmaal. Unitaire beoordelingen werden weergegeven als e.g. "de overeenkomst tussen de twee klankindrukken", de "klankindruk in zijn geheel". Van de 36 proefpersonen die de paren unitair beoordeelden was de helft zelfs na uitdrukkelijk insisteren niet in staat meer dan een unitair antwoord te geven. Bij de categorie "groepen van klinkers" suggereren de criteria dat er groeperingen van klinkers voorkomen waarvan de gelijkenis tussen de klinkers groter is dan wanneer ze behoren tot verschillende groepen, e.g. "doffe klanken geven eerder de indruk van gelijkenis", "bepaalde klinkers vormen klankgroepen".

De sommatie van de 99 individuele gelijkenismatrices van de natuurlijke klinkers en de 99 gelijkenismatrices van de synthetische klinkers zijn respektievelijk weergegeven in Tabel 4 A en B.

GEBRUIKTE ANALYSEMETHODEN

Voor het analyseren van de gelijkenisoordeelen werd gebruik gemaakt van een niet-dimensionale analysemethode nl. de maximum of de diameter methode van het hiërarchisch klusterschema van Johnson (1967) en van een multidimensionale analysemethode met name het INDSCAL model van Carroll en Chang (1970).

Door middel van het hiërarchisch klusterschema kan men nagaan welke groeperingen van klinkers in de gelijkenismatrices voorkomen. Elk cluster bevat die klinkers die volgens de oordelen van de proefpersonen het meest aan elkaar gelijk zijn. Deze clusters worden verder in superclusters ondergebracht volgens een hiërarchisch schema dat best met de gelijkenisoordeelen uit de matrix overeenkomt. Dit geeft validiteit aan de resulterende clusters daar zij alleen gebaseerd zijn op eigenschappen van gelijkenisoordeelen uit de matrix. Het resultaat van deze opeenvolgende operaties kan visueel voorgesteld worden met behulp van een boomstructuur (dendrogram) waarbij de hoogte van

	/o/	/ɔ/	/ɔ:/	/u/	/a/	/a/	/ø/	/y/	/æ/	/ə/	/e/	/ɛ/	/ɛ:/	/ɪ/
/ɔ/	494													
/ɔ:/	452	509												
/u/	436	346	322											
/a/	240	181	270	186										
/a/	226	273	282	213	569									
/ø/	280	221	262	275	215	175								
/y/	223	192	232	295	211	181	446							
/æ/	248	335	204	327	199	290	482	542						
/ə/	217	393	277	288	210	311	389	281	540					
/e/	235	171	215	212	242	203	383	275	294	403				
/ɛ/	182	319	204	231	184	335	344	202	425	624	454			
/ɛ:/	212	246	338	233	233	248	329	240	367	449	397	593		
/ɪ/	202	245	168	206	152	282	210	210	441	442	396	404	382	
/i/	181	174	156	184	191	162	201	208	240	250	269	288	257	545
A														
B														
/ɔ/	498													
/ɔ:/	429	495												
/u/	464	357	325											
/a/	211	188	309	211										
/a/	226	261	319	208	580									
/ø/	295	237	283	278	222	176								
/y/	231	197	242	298	187	169	399							
/æ/	222	291	194	334	178	279	464	633						
/ə/	208	344	279	273	202	340	372	291	472					
/e/	220	168	226	220	233	194	386	260	224	379				
/ɛ/	188	330	202	233	211	337	302	198	404	622	446			
/ɛ:/	206	197	299	248	245	236	353	243	307	464	383	591		
/ɪ/	222	230	164	182	145	269	211	223	378	406	324	425	332	
/i/	174	170	143	185	181	167	171	225	236	248	225	247	252	590

TAB. 4. KUMULATIEVE GELIJKENISMATRICES VAN DE NATUURLIJKE (A) EN DE SYNTHETISCHE (B) KLINKERS — POOLED SIMILARITY DATA FOR THE HUMAN (A) AND THE SYNTHETIC (B) VOWELS

de verschillende vertakkingspunten gelijkgesteld wordt aan de afstand tussen de objekten die samensmelten op die vertakking.

Voor het analyseren van multidimensionale data bestaan er enerzijds een hele reeks goede metrische methoden zoals de verschillende methoden van faktoranalyse of anderzijds niet-metrische modellen (e.g. Kruskal, of Roskam-Lingoes). Deze kunnen voor twee verschillende doeleinden gebruikt worden, nl. enerzijds voor het "beschrijven" van data en anderzijds voor het "verklaren" ervan. Bij de *beschrijvende toepassing* tracht men een geschikte, zo gekondenseerd mogelijke representatie van de onderlinge datarelaties te vinden. Bij de *verklarende toepassing* daarentegen tracht men de structuur van de ware onderliggende invloeden te vinden die verantwoordelijk zijn voor de geobserveerde onderlinge relaties in de data. Het is nu wanneer men genoemde methodes met de laatste bedoeling gaat gebruiken dat er zich moeilijkheden voordoen. Het is alleen de *interne* structuur van de bekomen configuratie die bij deze methodes uniek door de data bepaald wordt. De *externe* structuur, of de oriëntatie van de referentieassen in de multidimensionale ruimte van de bekomen configuratie, is volledig arbitrair. Daarom hebben wij bezwaren tegen o.a. de faktoranalyse als verklarend principe: 1. van het ogenblik dat er in een gegeven verzameling data meer dan één faktor gemeenschappelijk is in de metingen, kunnen een oneindig aantal mathematisch gelijkwaardige oplossingen, die alle even goed de data fitten, bekomen worden. Men mag dan ook niet onderstellen dat de projecties x_{jk} van de objekten van een bepaalde oplossing op eender welke van de referentieassen k verband houden met externe variabelen, e.g. de CF_j . 2. Het bijgevoegde tweede niveau van analyse, nl. de factorrotatie tot aan één of ander criterium is voldaan, geeft eveneens geen unieke oplossing. Naargelang de aangewende rotatiecriteria krijgt men een andere oriëntatie van de assen. 3. Met de huidige beschikbare programma's dient men te werken met korrelatiecoëfficiënten. Nu is het zo dat vele variabelen geen rechtlijnige verbanden met elkaar onderhouden, zodat een produkt-moment korrelatie niet verantwoord is. Dit wordt in veel onderzoeken over het hoofd gezien. 4. Men vertrekt van een matrix met twee ingangen die gepoolde scores bevat. Hierdoor loopt men de kans pertinente informatie te verliezen, daar men geen rekening houdt met de inter-individuele verschillen tussen de databronnen.

Om aan deze bezwaren zoveel mogelijk tegemoet te komen, maakten wij gebruik van het INDSCAL (INDividual DIfference SCALing) model van Carroll en Chang (Carroll en Chang, 1970; Carroll en Wish, 1972; Wish en Carroll, 1972; Carroll, 1972). In dit model onderstelt men r dimensies onderliggend aan een reeks van objekten n in een multidimensionale ruimte, en $\binom{2}{2}$ proximiteiten (of anti-proximiteiten) – e.g. afstanden, gelijkenissen, relaties, korrelaties – van deze objekten afkomstig van verschillende individuen of andere databronnen i ($i = 1, \dots, m$) voor het konstrueren van die ruimte. Er wordt nu ondersteld dat de r dimensies differentieel gemeenschappelijk zijn aan de data-

bronnen, d.w.z. dat bepaalde dimensies door bepaalde databronnen in meerdere of mindere mate sterker worden gewogen. De $\binom{n}{2}$ proximiten van elk van de databronnen worden ondersteld een lineair verband te hebben met gewogen Euclidische afstanden tussen de n objecten van de gemeenschappelijke groepsruimte, of:

$$\delta_{jk}^{(i)} = L (d_{jk}^{(i)}) \quad <1>$$

waarin $\delta_{jk}^{(i)}$ de proximiteit (of anti-proximiteit) waarde is van objectpaar jk van individu of databron i , $d_{jk}^{(i)}$ de gewogen Euclidische afstandswaarde tussen die objecten voor individu of databron i , berekend met behulp van de dimensies van de groepsruimte voor de objecten, en L een lineaire funktie. De gewogen Euclidische afstand wordt weergegeven door:

$$d_{jk}^{(i)} = \left[\sum_{t=1}^r w_{it} (x_{jt} - x_{kt})^2 \right]^{1/2} \quad <2>$$

waarin x_{jt} en x_{kt} de waarden zijn van het j -de ($j = 1, \dots, n$) en k -de object op t -de ($t = 1, \dots, r$) dimensie. Het verschil met de gewone Euclidische afstand ligt alleen in de aanwezigheid van het gewicht w_{it} . Dit weerspiegelt de belangrijkheid die door individu of databron i aan dimensie t gegeven wordt. Dus de afstand $d_{jk}^{(i)}$ wordt zowel bepaald door de gewichten toegekend door de databronnen als door de koördinaten van de r -dimensionale groepsruimte. Men kan dan $d_{jk}^{(i)}$ beschouwen als een gewone Euclidische afstand in de «private» ruimte van databron i , waarin echter de objektokoördinaten $y_{jt}^{(i)}$ als volgt worden weergegeven:

$$y_{jt}^{(i)} = w_{it}^{1/2} x_{jt} \quad <3>$$

De individuele ruimten worden dus afgeleid van de groepsruimte, door het differentieel inkrimpen of uitrekken van de individuele ruimte in richtingen overeenkomend met de referentieassen van de groepsruimte, en dit in verhouding met de wortel uit de gewichten toegekend aan de respektievelijke dimensies r .

De analyse verloopt principieel als volgt. De proximiteit van elke databron i wordt omgezet in afstandsestimaties via de additieve konstante methode van Torgerson (1958). Deze afstandsestimaties worden vervolgens omgezet in scalaire produkten van vectoren,

eveneens via vergelijkingen van Torgerson (1958). Om niet de kans te lopen dat één van de databronnen de analyse zou overheersen, in de zin dat e.g. een dimensie zou worden bepaald door één databron, worden de scalaire produkten van elk van de databronnen zo genormaliseerd dat de som van zijn vierkanten = 1. Vervolgens worden de parameters w_{it} , x_{jt} en x_{kt} uit de expressie :

$$z_{ijk} = \sum_{t=1}^r w_{it} x_{jt} x_{kt} \quad < 4 >$$

waarin z_{ijk} = het kruispunt of het scalair produkt tussen de vectoren j en k in de ruimte voor databron i , geëstimeerd via wat Carroll en Chang de «canonische ontbinding van drie-modale matrices» noemen. D.w.z. dat gegeven de z_{ijk} 's en een bepaalde waarde van r , de analyse-methode w_{it} 's, x_{jt} 's en x_{kt} 's vindt die volgens de kleinste kwadraten-methode het best overeenkomen met de z_{ijk} 's. Dit gebeurt door achter-eenvolgens twee van de drie parameters konstant te houden waardoor de overblijvende kan worden geschat. Deze procedure wordt iteratief herhaald om de schattingen van de drie parameters te verbeteren totdat de oplossing convergeert bij een gelijktijdige kleinste kwadratenoplossing voor al de parameters. Het gevolg van de procedure is dat een oplossing tot stand komt waarbij referentieassen gevonden worden, die zo geplaatst zijn, dat ze toelaten voor alle databronnen gezamenlijk de overeenkomst tussen proximiteiten en de ermee overeenkomende inter-objektafstanden, berekend met het gewogen-afstand model, te maximaliseren. Dergelijke oplossingen kunnen bijgevolg als uniek worden aanzien. Zowel de interne structuur als de externe structuur of de oriëntatie van de assen in de multidimensionale ruimte, worden dus door de data zelf bepaald en niet door een criterium van de onderzoeker. Dit heeft voor gevolg dat de dimensies van de oplossingen over 't algemeen eerder gemakkelijk te interpreteren zijn. Vervolgens worden de bekomen eindoplossingen opnieuw genormaliseerd, zo dat de varianties van de projecties van de objecten op de coördinaten gelijk zijn aan 1, en de oorsprong van de oplossingsruimte met de centroid van de punten samenvalt. Hierdoor zijn de gewichten van een databron op de dimensie een weerspiegeling van de produkt-moment correlatie tussen verschillen in objectcoördinaten op de betreffende dimensie en de proximateitswaarde van de betrokken databron. Het vierkant van dat gewicht kan dus geïnterpreteerd worden als de proportie van de variantie die in de matrix van de databron door de betrokken dimensie wordt verklaard. De variantie wordt echter onderschat indien de dimensies (D_i) van de objektruimte gekorreleerd zijn.

De standaard output van de analyse is 1. een $n \times r$ matrix die de coördinaten geeft van de n objecten op de r dimensies van de gemeen-

schappelijke ruimte (de zg. stimulus-, objekt- of groepsruimte) en 2. een $m \times r$ matrix van de gewichten van de m individuen of databronnen op de r dimensies (de zg. subjektruimte).

Door de toepassing van $<3>$ verkrijgt men de privaatrijmen van de databronnen.

BESPREKING VAN DE RESULTATEN NA ANALYSE VAN DE GEGEVENS

Indien de door de proefpersonen genoemde criteria de reële onderliggende criteria weerspiegelen, dan blijkt hieruit dat er enerzijds proefpersonen zijn die de klinkers grotendeels als een niet analyseerbaar geheel waarnemen, waarvoor "vokaliteit" dus een multidimensionaal attribuut is. Anderzijds zijn er ook proefpersonen die, alleszins tot op zekere hoogte, in staat zijn de klinkers als analyseerbare gehelen waar te nemen. Dit geeft enige steun aan onze onderstelling betreffende de aard van gelijkenis tussen paren klinkers. Het impliceert dat "vokaliteit" tot op zekere hoogte ervaren wordt als een multidimensionaal attribuut én dat de klinkers tevens tot op zekere hoogte ervaren worden als stimuli die variëren ten overstaan van meerdere attributen. Als dit zo is moet deze gekombineerde eigenschap tot uiting komen bij het specificeren van de responsdimensies. Meestal impliciet, maar ook expliciet (e.g. Hanson, 1967) onderstelt men dat vokaliteit een multidimensionaal attribuut is, en dat al de dimensies van de ruimtelijk voorgestelde psychologische organisatie van klinkers kwantitatief (kontinu) van aard zijn. Een eerste reden voor deze opvatting is waarschijnlijk te zoeken in de meest voorkomende vorm van onderzoek, nl. met één onafhankelijke variabele, waar oordelen dienen gemaakt te worden langs een continuüm. Een tweede reden is waarschijnlijk de algemeen geldende opvattingen in de artikulatorische en akoestische fonetiek waarbij klinkers ondersteld worden kontinu te variëren langs hun betrokken dimensies – wat niet het geval blijkt te zijn, zie Stevens (1972) –, welke lijn van denken doorgetrokken wordt naar het auditieve. Een derde reden is ook het feit dat over 't algemeen een klein aantal klinkers in het onderzoek betrokken wordt, waardoor mogelijke andere eigenschappen in de ruimtelijke structuren (e.g. kwalitatieve of niet-kontinue dimensies) moeilijk visueel waarneembaar zijn. Een vierde en misschien belangrijkste reden is waarschijnlijk gelegen in het feit dat men de gegevens van meerdere proefpersonen combineert. Wanneer, zoals ten dele blijkt uit de hoger opgegeven criteria en uit andere perceptiedomeinen (Isaac, 1970), de proefpersonen zich niet baseren op dezelfde attributen (of op dezelfde maar in ongelijke mate) voor het beoordelen van de gelijkenis tussen klinkerparen, kan dit in de multidimensionale oplossing aanleiding geven tot een vervormde weergave van de werkelijke structuur die in de originele matrices aanwezig is. De responsdimensies kunnen tot op zekere hoogte wel geïnterpreteerd worden in functie van enkelvoudige fysische variabelen zoals e.g. CF_1 en CF_2 , maar men kan evengoed alternatieve inter-

pretaties geven, zoals de projecteerbaarheid van meerdere fysische variabelen in het CF_1 - CF_2 veld laat vermoeden. Dergelijke interpretaties zijn dus niet eenduidig.

Om een eerste evidentie te vinden voor de validiteit van klasstructuren, pasten wij op de gegevens van Tabel 4_A en 4_B het hiërarchisch klusterschema van Johnson (1967) toe. De resultaten zijn weergegeven in Fig. 2.

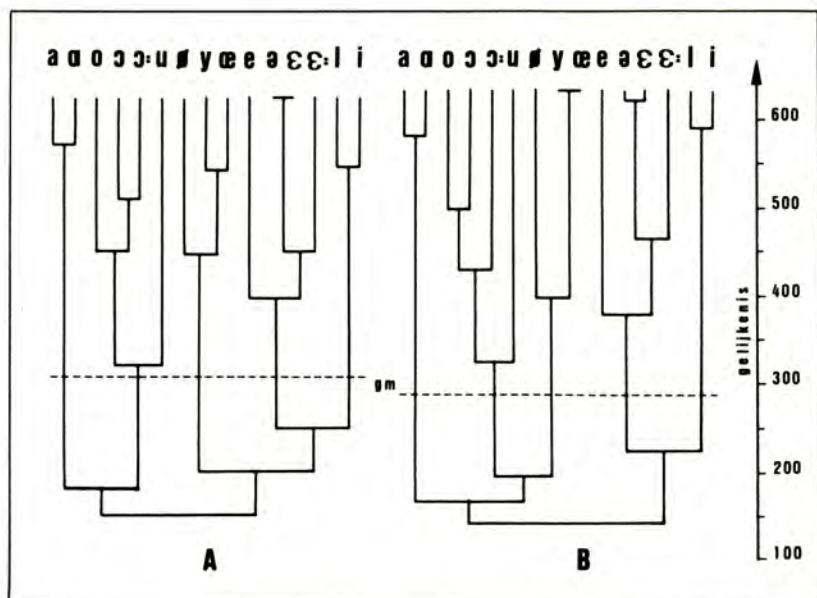


FIG. 2. HIËRARCHISCHE KLUSTERING VAN DE NATUURLIJKE (A) EN DE SYNTHETISCHE (B) KLINKERS — HIERARCHICAL CLUSTERING ON THE HUMAN (A) AND THE SYNTHETIC (B) VOWELS

Een eerste feit wat opvalt is dat er duidelijke clusters en subclusters zijn waar te nemen, zowel bij de natuurlijke klinkers als bij de synthetische. Opvallend is ook de praktisch perfecte overeenkomst in de groeperingen van beide soorten klinkers. Een horizontale snede ergens door een dendrogram verdeelt de klinkers in een bepaald aantal elkaar uitsluitende exhaustieve klassen. Het probleem is dan waar een snede te maken die het meest relevant is. De klustering zelf is strikt invariant onder monotone transformaties van de oorspronkelijke gelijkenissen. De gelijkenisniveaus in de resulterende hiërarchische klustering hebben deze eigenschap echter niet. Strikt genomen weerspiegelen deze alleen de rangorde van de gegeven gelijkeniswaarden. Shepard (1972,b) vermoedt dat deze waarden echter meer dan een rangorde karakter hebben, zodat zij kunnen gebruikt worden voor het selecteren van

bepaalde sneden door het dendrogram. Een snede ter hoogte van het geometrisch midden van de twee uiterste gelijkenisniveaus resulteert voor beide soorten gegevens in de klusters /o-ɔ-ɔ:-u/, /a-a/, /ø-y-æ/, /e-ə-ε-ε:/ en /i-i/. Merkwaardig zijn dit juist de klassen die wij vaststelden bij de analyse van de data van de voorproef. Een ander merkwaardig feit is dat deze groepen overeenkomen met groepen klinkers waarbinnen hoofdzakelijk konfusies voorkwamen bij de selectieprocedure en met de groepering van deze klinkers volgens de fysische korrelaten van de distinkatieve eigenschappen. De theorie van de zg. "distinctive features" (zie o.a. Jakobson, Fant en Halle, 1965⁶; Fant, 1968) poneert dat elk foneem verder kan gereduceerd worden tot een kleiner aantal eenheden die de laatste distinkatieve eigenschappen van taal uitmaken. Deze eigenschappen worden ondersteld korrelaten te hebben op het niveau van het artikulatorische, het akoestische en het perceptieve, en dit meestal volgens een binair principe. "Grave" klinkers hebben een grotere concentratie van de energie in het lager gedeelte van *hun* spektrum dan "acute" klinkers. Vergelijk de CF_1 en de L_1 in Tabel 1. Bij de "flat" klinkers zijn de formanten naar een lager deel van *het* spektrum verschoven, bij de "plain" klinkers naar een hoger deel. Bij "compact" klinkers is de hoofdenergie meer centraal gelegen dan bij de "diffuse" klinkers. "Tense" klinkers zijn relatief lang, "lax" klinkers relatief kort.

Deze feiten, enerzijds afkomstig uit een ander onderzoek met fonetisch andere klinkers, en anderzijds uit observaties bij een andere taak van de proefpersonen, staven eveneens het feit van het bestaan van diskrete klassen.

Daar de klinkers van elk van de gevonden klassen onderling meer gelijkenis bezitten, dient dit tot uiting te komen in een multidimensionale oplossing: zij moeten klusters vormen in een multidimensionale ruimte die door een "ledige" ruimte van elkaar gescheiden zijn. In functie van de bevindingen met de klusteranalyse en de relatie met de fysische korrelaten van de distinkatieve eigenschappen, werd op basis van deze korrelaten een prediktie gemaakt betreffende de responsstructuur van de gelijkenisoordelen in een tweedimensionale ruimte. Opeenvolgende splitsingen van de klinkers op basis van de fysische korrelaten (+ of -) resulteert in de groeperingen van Tabel 5. Projekteren wij de klusters met deze eigenschappen in een tweedimensionale ruimte, dan ziet de hypothetische structuur er uit als weergegeven in Figuur 3A.

Wij kunnen ons afvragen of we meer dan louter ordinale eigenschappen kunnen toekennen aan onze gegevens. Naar Shepard's hoger aangehaald vermoeden, en daar het geometrisch midden in de gelijkenisniveaus in een psychologisch relevante scheiding in de klusterings blijkt te resulteren, lijkt ons de onderstelling dat meer dan ordinale informatie in de gelijkenisoordelen aanwezig is, plausibel te zijn. Daarom leek het ons verantwoord een metrische multidimensionale analyse op de gelijkenisoordelen toe te passen. Deze heeft bovendien

eigenschap :	klinkersymbol :													
	/u/	/o/	/ɔ:/	/ɔ/	/a/	/ɑ/	/ø/	/y/	/œ/	/e/	/ɛ:/	/ɛ/	/i/	/ɪ/
acute (+)	—	—	—	—	—	×	+	+	+	+	+	+	+	+
grave (—)														
plain (—)	—	—	—	—	×	+	—	—	×	+	+	+	+	+
flat (—)														
diffuse (+)	+	+	—	—	—	—	+	+	+	+	—	—	+	+
compact (—)														
tense (+)	—	+	+	—	+	—	+	+	—	+	—	—	+	—
lax (—)														

TAB. 5. GROEPING VAN DE KLINKERS VOLGENS DE FYSISCHE KORRELATEN VAN DE
DISTINKTIEVE EIGENSCHAPPEN — GROUPING OF THE VOWELS ACCORDING TO THE PHYSICAL
CORRELATES OF THE DISTINCTIVE FEATURES

het voordeel dat als er zich klusters voordoen, de informatie over de interne structuur ervan behouden blijft (Shepard, 1972a).

Een eerste INDSCAL analyse werd dan doorgevoerd op de matrices van Tabel 4A en B. Zij werden geanalyseerd in respectievelijk 7 tot

2 dimensies. Zoals hoger opgemerkt, wordt voor elke dimensionaliteit een kleinste kwadratenoplossing gezocht d.m.v. een iteratieve procedure. Vóór en na de laatste iteratie wordt telkens de korrelatie berekend tussen de oorspronkelijke afstanden (data) en de afstanden bepaald op basis van de bekomen configuratie. Indien de bekomen

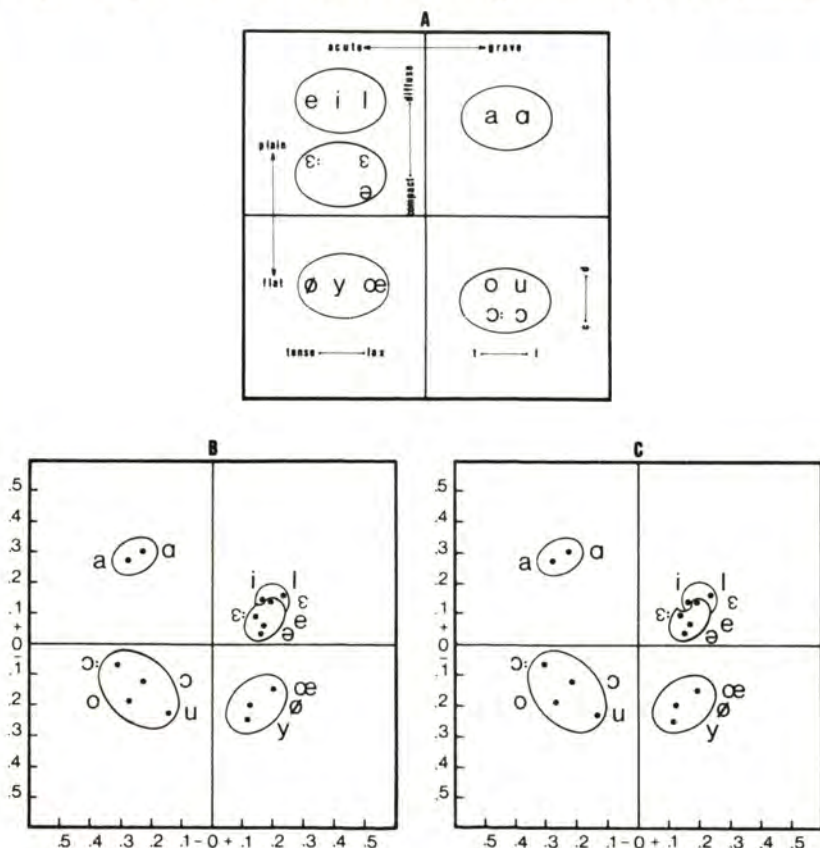


FIG. 3. TWEEDIMENSIONALE HYPOTHETISCHE-RESPONSSTRUKTUUR (A) EN DE TWEEDIMENSIONALE INDSCAL OPLOSSING VAN DE NATUURLIJKE (B) EN DE SYNTHETISCHE (C) KLINKERS (gepoolde data) — TWO-DIMENSIONAL HYPOTHETICAL RESPONSE STRUCTURE (A) AND THE TWO-DIMENSIONAL INDSCAL STRUCTURE OF THE HUMAN (B) AND THE SYNTHETIC (C) VOWELS (pooled data)

oplossing adequaat is, mogen beide korrelatiecoëfficiënten slechts weinig van elkaar verschillen. Het verschil nu tussen beide coëfficiënten verminderde geleidelijk naar de lagere dimensionaliteiten toe, en was praktisch nul bij de twee-dimensionale oplossing. Uit deze resultaten is op te maken dat de oplossingen van de hogere dimensionaliteiten niet convergeerden, wat op een gedegenerende oplossing wijst. De twee-dimensionale oplossing blijkt dan ook het meest aangewezen.

De twee-dimensionale oplossingen van de natuurlijke en synthetische gelijkenismatrices zijn weergegeven in Figuur 3b en c. De gewichten van de natuurlijke en synthetische klinkers op D_1 en D_2 bedragen respectievelijk .63-.48 en .61-.49.

Een eerste opvallend feit is dat er in de ruimtelijke voorstelling klusters voorkomen en dat deze overeenkomen (omlijning) met de groepen van het geometrische midden van de klusteranalyse. Er was vooraf geen enkele verzekering dat dit zo zou zijn. Immers de hiërarchische analyse en de multidimensionale analyse zijn twee verschillende soorten analyses.

Dat de omlijningen zonder overlappingsen in de ruimtelijke oplossing konden geplaatst worden, vergroot de plausibiliteit van beide analyses. Een tweede opvallend feit is dat de klusters bij de natuurlijke en synthetische multidimensionale oplossingen gelijk zijn. Een derde opvallend feit is dat de gevonden klusters in de multidimensionale oplossing dezelfde zijn als voorspeld uit de fysische korrelaten van de distinktieve kenmerken van de klinkers en dat de organisatie in de ruimte grote overeenkomst vertoont met de voorspelde. Alleen /e/ ligt niet in het verwachte cluster, nl. /i/ en /ɪ/. De reden hiervoor is niet zo onmiddellijk duidelijk, wel kan men vaststellen dat in tabel 4a en b de gelijkenis tussen /e/ en /ɛ/ en /ɛ:/ groter beoordeeld werd dan tussen /i/ en /ɪ/. De vrij goede overeenkomst van de structuren met de hypothetische suggereert dat luisteraars bij het beoordelen van gelijkenis tussen klinkers gebruik maken van de fysische korrelaten van de distinktieve eigenschappen, die echter geen enkelvoudige fysische dimensies zijn. De combinaties van die eigenschappen blijken een kwalitatief onderscheid te veroorzaken, wanneer luisteraars klinkers afkomstig van verschillende klusters op hun gelijkenis dienen te beoordelen. Horen de klinkers tot dezelfde klas, dan speelt het kwalitatief onderscheid geen rol en krijgen de betrokken paren een hoge gelijkenisscore. Het feit dat de ladingen op D_1 het hoogst zijn, suggereert dat het klasonderscheid "acute"- "grave" perceptueel belangrijker is dan het klasonderscheid "plain"- "flat". Daar de dimensies van de responsorganisatie van de klinkers van deze analyse kwalitatief van aard zijn, mag men ze niet de inhoud geven van de klassieke term dimensie, nl. dat zij een continue geordende variatie van de prikkel-objekten toelaten.

Bijkomende evidentie voor het bestaan van kwalitatieve structuren geven ons de multidimensionale analyses door Degerman (1972) uitgevoerd op gegevens van andere auteurs, en gelegen op andere perceptiedomeinen zoals e.g. vormperceptie en tastindrukken. Bij een analyse doorgevoerd op gegevens van een "short-term recall" experiment van Wickelgren (1965) met Engelse klinkers vond Degerman twee dimensies, een kwantitatieve dimensie die hij interpreteerde als "width of vocal tract" en een binaire dimensie "front versus back articulation". Bricker (persoonlijke mededeling, oktober 1971) vond eveneens een dichotomie in een her-analyse van gelijkenisdata van Hanson (1967).

Het is echter moeilijk te aanvaarden dat de twee klas-'dimensies' de enige zouden zijn die de luisteraar zouden toelaten een gelijkenisoordeel te vellen. Waarop gaat hij zich immers baseren wanneer hem twee klinkers van één klas worden aangeboden om zijn gelijkenisoordeel te vellen? Gezien wij het aantal responsdimensies groter dan 2 à 3 onderstelden, en daar wij ook vooral het poolen van de data verantwoordelijk achtten voor het slechts tot uiting komen van twee responsdimensies, werd een INDSCAL analyse doorgevoerd op de individuele gelijkenismatrices van de synthetische klinkers, en één op deze van de natuurlijke klinkers. Daar het programma geen 99 matrices aankan, waren wij verplicht de proefpersonen volgens toeval in twee groepen te splitsen. Elk van de zo ontstane vier groepen werd aan een aparte analyse onderworpen. Daar de bekomen oplossingen praktisch identiek zijn, bespreken wij alleen de resultaten van een groep van 49 van de synthetische gelijkenisoordelen en de complementaire groep van 50 van de natuurlijke gelijkenisoordelen. Omwille van het feit dat men alleen zekerheid heeft over de waarde van de parameters van de synthetische klinkers, en daar bij de natuurlijke klinkers mogelijk allerlei factoren eigen aan de verschillende stemkarakteristieken in de gelijkenisoordelen kunnen betrokken zijn, bespreken wij eerst de oplossing van de gelijkenisoordelen van de synthetische klinkers.

Een eerste probleem na de analyse was het bepalen van het aantal dimensies. In de 1- tot 4-dimensionale oplossingen kwam geen duurdimensie tot uiting, wat wel het geval is voor de 5- en 6-dimensionale oplossingen. De 5-dimensionale oplossing is dan al minstens te overwegen. De korrelatie tussen de oorspronkelijke en berekende afstanden vóór en na de laatste iteratie van de 6- en 5-dimensionale oplossing bedroeg respectievelijk .81 en .79. Het verschil in verklaarde variantie is echter miniem, nl. 3%, zodat de 5-dimensionale oplossing zou te verkiezen zijn. Dit verschil is echter een statistisch verschil, zodat dit niet noodzakelijk een maat van psychologische belangrijkheid is voor de bij te voegen of weg te laten dimensie. Wanneer deze dimensie bovendien geïnterpreteerd kan worden, is het waard ze in de oplossing te behouden (Wish en Carroll, 1972). Daar wij de multidimensionale analyse bovendien verklarend willen gebruiken, verkozen wij de 6-dimensionale oplossing als meest verantwoorde.

Klusterstructuren zoals in beide vorige analyses gevonden, kunnen in allerlei vormen voorkomen, zoals e.g. de "klas x klas" structuur, genestelde structuren als "dimensie in klas" structuur, of de "zuiver hiërarchische" structuur. De dimensies in dergelijke structuren zijn volgens ondervinding van Degerman (1972) uiterst moeilijk te interpreteren. De moeilijkheden houden verband met de hoge dimensionaliteit, de lokalisatie van de oorsprong in de ruimtelijke representatie van de multidimensionale oplossingen en de onderlinge oriëntatie van de structuren in die ruimte. Bij de interpretatie van de oplossingen zullen wij dan met dergelijke verschijnselen terdege rekening moeten houden.

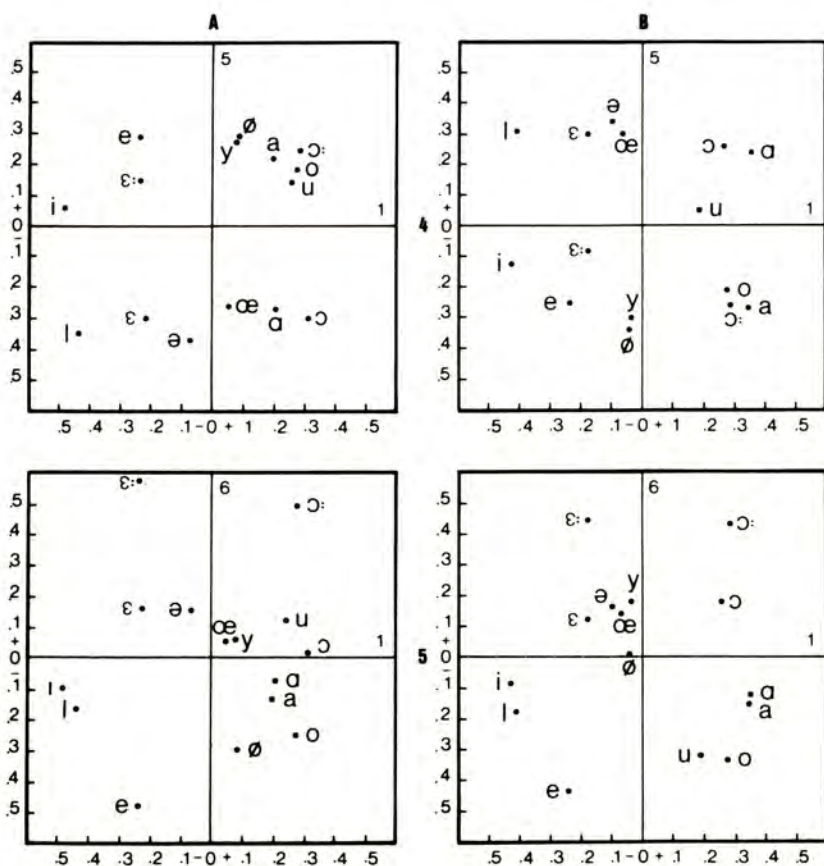
De grafische voorstellingen van de 6-dimensionale oplossing van de synthetische en de natuurlijke klinkers zijn respectievelijk weergegeven in de Figuren 4A.1-5 en B.1-5, de gewichten in respectievelijk Tabel 6 en 7.

Het eerste opvallend feit bij het bestuderen van de ruimtelijke representaties is het voorkomen van groepen langs D_1 . Zij komen overeen met deze vastgesteld in de klusteranalyse en de multidimensionale analyse op de gepoolde matrices. Verder blijken de klinkers zich binnen deze groepen lijnvormig langs de overige orthogonale dimensies te ordenen. Dit suggereert duidelijk een klas x kwantitatieve structuur (Torgerson, 1965). Niettegenstaande het groepsverband, vertoont /ə/ nog duidelijk een neutrale tendens. De samenstelling en de rangorde van de groepen langs D_1 suggereert dat deze kwalitatieve responsdimensie hoofdzakelijk een gevolg is van de gekombineerde invloeden van de fysische korrelaten van de "acute"/"grave" en de "plain"/"flat" distinkatieve eigenschappen. Om deze suggestie te verifiëren werd de produkt-moment korrelatie berekend tussen de projecties op D_1 en enerzijds een index voor het weergeven van de mate van het "acute"/"grave" zijn van de klinkers en anderzijds een index voor het "plain"/"flat" zijn.

De indices zijn respectievelijk CF_2-CF_1/CF_3-CF_2 en ΣCF_i . De koëfficiënten bedroegen respectievelijk .770 en .534, wat wijst op een zeker verband. Daarom werd de multiple korrelatie berekend tussen de D_1 waarden van de klinkers en hun overeenkomende "acute"/"grave" en "plain"/"flat" indices. Deze bedroeg .809 en betekent dat 65.44% van de variantie in D_1 verklaard wordt door de "acute"/"grave" en de "plain"/"flat" dimensies gekombineerd met hun regressiegewichten. De bekomen regressievergelijking is :

$$Z_{D_1} = .6625 Z_{A/G} + .2696 Z_{P/F} \quad < 5 >$$

Het relatieve aandeel van de "acute"/"grave" variabele in de totale voorspelde variantie bedraagt 51% en dit van de "plain"/"flat" variabele 14%. Wanneer men de gemiddelden van de klusters neemt, wat meer overeenkomt met de aard van klusters, dan bedraagt de produkt-moment korrelatie tussen D_1 en de "acute"/"grave" dimensie .877 en tussen D_1 en de "plain"/"flat" dimensie .617. De multiple korrelatie bedraagt dan .934, wat een verklaarde variantie van 87.26% betekent. Het hoofdeffekt in D_1 blijkt dus het "acute"/"grave" onderscheid te zijn, met verder binnen elk van beide groepen de "plain"/"flat" tegenstelling. Perceptueel zou dit neerkomen op het afwegen van de subjektieve belangrijkheid van meer uitgesproken lage of hoge frekwentiecomponenten in de klinkerspektra plus de plaats waar deze gelokaliseerd zijn op de frekwentieschaal. Buiten de interpretatie gegeven bij de gepoolde gegevens brengen enige andere resultaten evidentie bij voor de kwalitatieve interpretatie van de dimensie. Uit het onderzoek van Plomp (1964) blijkt dat het oor eerder een beperkt



proefpersoon nummer	dimensies					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	0.53	0.44	0.43	0.26	0.19	0.12
2	0.36	0.39	0.31	0.30	0.31	0.20
3	0.44	0.23	0.55	0.38	0.10	0.06
4	0.38	0.48	0.40	0.32	0.17	0.23
5	0.27	0.22	0.27	0.28	0.42	0.28
6	0.40	0.43	0.40	0.46	0.12	0.17
7	0.41	0.55	0.39	0.34	0.14	0.18
8	0.40	0.46	0.37	0.48	0.09	0.14
9	0.44	0.41	0.40	0.37	0.12	0.07
10	0.54	0.38	0.45	0.32	0.16	0.12
11	0.35	0.30	0.30	0.26	0.35	0.24
12	0.54	0.16	0.30	0.16	0.30	0.20
13	0.54	0.39	0.41	0.28	0.10	0.20
14	0.16	0.36	0.19	0.43	0.31	0.20
15	0.22	0.16	0.19	0.27	0.63	0.14
16	0.47	0.39	0.38	0.32	0.16	0.11
17	0.51	0.29	0.42	0.35	0.23	0.10
18	0.29	0.18	0.32	0.26	0.60	0.03
19	0.46	0.51	0.43	0.34	0.11	0.11
20	0.37	0.19	0.20	0.24	0.45	0.17
21	0.14	0.23	0.20	0.17	0.15	0.32
22	0.47	0.55	0.36	0.23	0.25	0.12
23	0.46	0.42	0.40	0.33	0.21	0.16
24	0.44	0.38	0.26	0.33	0.25	0.26
25	0.57	0.16	0.44	0.16	0.25	0.03
26	0.37	0.35	0.37	0.36	0.16	0.23
27	0.44	0.45	0.43	0.33	0.09	0.16
28	0.46	0.35	0.33	0.38	0.19	0.14
29	0.42	0.43	0.46	0.32	0.09	0.17
30	0.47	0.23	0.41	0.34	0.26	0.10
31	0.44	0.43	0.37	0.20	0.20	0.17
32	0.57	0.54	0.34	0.22	0.11	0.08
33	0.45	0.31	0.42	0.19	0.28	0.11
34	0.19	0.15	0.18	0.12	0.22	0.27
35	0.40	0.40	0.38	0.38	0.09	0.21
36	0.38	0.41	0.35	0.40	0.17	0.22
37	0.41	0.45	0.37	0.40	0.16	0.24
38	0.45	0.41	0.36	0.33	0.21	0.20
39	0.18	-0.05	0.25	0.18	0.45	0.29
40	0.48	0.29	0.27	0.20	0.26	0.31
41	0.51	0.34	0.36	0.29	0.15	0.08
42	0.39	0.30	0.27	0.21	0.27	0.17
43	0.53	0.41	0.33	0.36	0.17	0.09
44	0.41	0.30	0.33	0.23	0.40	0.14
45	0.39	0.18	0.29	0.16	0.48	0.14
46	0.38	0.39	0.28	0.31	0.16	0.24
47	0.49	0.44	0.38	0.29	0.08	0.23
48	0.60	0.21	0.51	0.16	0.12	0.09
49	0.13	-0.01	0.27	0.06	0.59	0.21
x	0.43	0.36	0.36	0.30	0.27	0.18

TAB. 6. INDSICAL GEWICHTEN VAN DE ZES-DIMENSIONALE OPLOSSING VAN DE SYNTHETISCHE KLANKERS — INDSICAL WEIGHTS OF THE SIX-DIMENSIONAL STRUCTURE OF THE SYNTHETIC VOWELS

proefpersoon nummer	dimensies					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	0.36	0.40	0.41	0.36	0.12	0.17
2	0.39	0.24	0.33	0.13	0.45	0.23
3	0.51	0.37	0.19	0.23	0.14	0.21
4	0.46	0.43	0.34	0.25	0.17	0.19
5	0.15	0.23	0.19	0.15	0.45	0.31
6	0.45	0.48	0.39	0.43	0.08	0.14
7	0.49	0.45	0.42	0.37	0.21	0.15
8	0.47	0.53	0.29	0.40	0.09	0.04
9	0.01	0.09	0.05	0.07	0.88	0.15
10	0.17	0.18	0.09	0.01	0.30	0.34
11	0.38	0.37	0.30	0.24	0.21	0.17
12	0.47	0.50	0.36	0.31	0.08	0.15
13	0.59	0.32	0.16	0.22	0.21	0.24
14	0.44	0.37	0.25	0.39	0.15	0.27
15	0.42	0.43	0.31	0.31	0.10	0.25
16	0.41	0.43	0.45	0.40	0.10	0.15
17	0.56	0.41	0.34	0.32	0.09	0.18
18	0.48	0.46	0.39	0.34	0.07	0.17
19	0.50	0.44	0.30	0.35	0.10	0.16
20	0.37	0.30	0.22	0.16	0.20	0.24
21	0.29	0.25	0.25	0.27	0.43	0.27
22	0.23	0.06	0.51	0.15	0.17	0.28
23	0.43	0.42	0.33	0.45	0.06	0.13
24	0.34	0.41	0.38	0.27	0.18	0.26
25	0.41	0.51	0.39	0.28	0.10	0.20
26	0.33	0.41	0.41	0.21	0.28	0.15
27	0.45	0.45	0.37	0.28	0.08	0.26
28	0.51	0.42	0.34	0.40	0.15	0.17
29	0.46	0.29	0.49	0.20	0.21	0.19
30	0.41	0.40	0.36	0.28	0.08	0.19
31	0.49	0.34	0.47	0.23	0.22	0.05
32	0.52	0.53	0.39	0.25	0.16	0.12
33	0.25	0.29	0.34	0.30	0.36	0.26
34	0.42	0.46	0.39	0.24	0.15	0.17
35	0.30	0.30	0.28	0.36	0.42	0.30
36	0.26	0.06	0.10	0.17	0.40	0.12
37	0.42	0.41	0.32	0.19	0.28	0.06
38	0.41	0.50	0.40	0.25	0.17	0.14
39	0.44	0.34	0.40	0.41	0.29	0.16
40	0.67	0.20	0.27	0.16	0.18	0.00
41	0.46	0.22	0.24	0.02	0.18	0.24
42	0.56	0.34	0.35	0.22	0.11	0.17
43	0.48	0.39	0.24	0.27	0.21	0.18
44	0.43	0.20	0.27	0.31	0.24	0.18
45	0.45	0.34	0.48	0.22	0.19	0.20
46	0.54	0.38	0.26	0.15	0.25	0.16
47	0.37	0.23	0.42	0.30	0.30	0.17
48	0.36	0.32	0.28	0.31	0.15	0.28
49	0.39	0.28	0.36	0.20	0.19	0.31
50	0.31	0.18	0.29	0.27	0.45	0.20
$\bar{x}$	0.43	0.37	0.34	0.28	0.26	0.20

TAB. 7. INDSCAL GEWICHTEN VAN DE ZES-DIMENSIONALE OPLOSSING VAN DE NATUURLIJKE KLINKERS — INDSCAL WEIGHTS OF THE SIX-DIMENSIONAL STRUCTURE OF THE HUMAN VOWELS

dit dat alleen bij de lagere formanten (F_1 en F_2) een goede frekwentie-analyse kan worden doorgevoerd, terwijl met het stijgen van de formantnummers deze overgaat in, of gekombineerd wordt met, een tijdsanalyse. Daar het mechanisch-hydraulisch gedeelte van het perifeer auditorisch systeem voor het grootste deel verantwoordelijk is voor de frekwentieanalyse (von Békésy, 1960; Johnstone, Taylor en Boyle, 1970) en daar de tijdsanalyse in het zenuwstelsel blijkt plaats te grijpen (Duijhuys, 1970b) kan dit verschil, wanneer twee klinkers op hun gelijkenis dienen beoordeeld te worden waarvan de ene hoofdzakelijk een frekwentieanalyse en de andere daarbij komend een temporale analyse ondergaat, een kategorisch effect teweegbrengen hetwelk dan resulteert in een kwalitatieve responsdimensie.

Met uitzondering van /ε/ waarvan de verwachte plaats onder /e/ is, blijkt de rangordening van de klinkers binnen elk van de klusters langs D_2 zeer goed overeen te komen met $\Sigma \log_{10} B_i$. Het bereik van elke groep langs D_2 blijkt bovendien een hoge produkt-moment correlatie, nl. .970, te onderhouden met het $\Sigma \log_{10} B_i$ bereik van de overeenkomende groepen². Op te merken is nog dat voor de "grave" groep het nulpunt het scheidingsvlak tussen de twee klassen blijkt te zijn.

De relatie van deze responsdimensie met de lineaire combinatie van de logaritmen van de bandbreedte van de formanten op de -3dB punten komt als heel verrassend voor. De aard van het verband maakt het interpreterend principe voor deze responsdimensie echter plausibel. Een verdere verklaring is echter niet zo eenvoudig. Verscheidene psychoakoestische experimenten suggereren duidelijk het bestaan van auditorische filters voor het verwerken van complexe signalen (zie e.g. Sharf, 1970) en klinkerachtige signalen (e.g. Chistovich, 1971). De tonale maskerings- en frekwentiediscriminatie-experimenten tonen aan dat het oor een zeer goede frekwentie selektiviteit bezit. De resultaten van de tonale maskeringscurven zijn zodanig dat over 't algemeen aangenomen wordt dat de gebruikte (kritische) bandbreedte ongeveer $1/3$ oktaaf bedraagt. Elektrofysiologische onderzoeken bevestigen dat individuele cochleaire zenuwvezels (e.g. kat en Guinees biggetje) eveneens vrij scherpe filterfuncties bezitten (Evans en Wilson, 1971). Deze afstemcurven blijken zelfs significant scherper te zijn dan deze bekomen uit de psychofysische experimenten. Dit kan echter te wijten zijn aan een verschil in species of aan niet-spektrale factoren die in de psychofysische oordelen zouden verweven zitten (Wilson en Evans, 1971). Anderzijds tonen metingen van het laag (von Békésy, 1960) en het hoog frekwentiegebied (Johnstone, Taylor en Boyle, 1970) aan dat de basilaire membraan resonantiecurven veel breder zijn dan deze gevonden in de psychofysische experimenten en neurofysiologische metingen (een bandbreedte van 3 tot 8 maal groter). Het verschil tussen beide soorten data wijst er op dat er een meer verfijnde analyse

² Wegens de klusters is het niet mogelijk de correlatie te berekenen tussen de individuele projecties van de klinkers op D_2 en de $\Sigma \log_{10} B_i$ waarden.

plaats grijpt dan deze veroorzaakt door de omhullende van de lopende golf van de basilaire membraan. Deze filtering zou een mechanisch en/of neurale proces kunnen zijn ter hoogte van de basilaire membraan (tweevoudige funktie van het orgaan van Corti en een interactie van opeenvolgende uitgangen die aanleiding geeft tot laterale inhibitie, zie von Békésy, 1970; Tonndorf, 1970) en mogelijk een bijkomende neurale filtering in hogere niveaus van het auditorisch systeem (Sharf, 1970). Deze bijkomende processen zouden verantwoordelijk zijn voor de vastgestelde scherpere filterfunkties. Wij kunnen dan stellen dat gedurende de aanbidding van een klinker, gecentreerd op de stimulerende frekwentiezones, filters opgebouwd worden die een bepaalde bandbreedte bezitten³. Deze onderstelling van het opbouwen van de filters is aanvaardbaar daar wij alle frekwenties van het hoorbaar gebied kunnen waarnemen. De filters kunnen dan niet als vaste structuren aanwezig zijn, maar dienen als een continue funktie van de frekwentie te worden opgebouwd. Het is dan waarschijnlijk plausibel te onderstellen dat niet alleen de plaatsen van stimulatie aan het centraal auditief systeem worden doorgegeven, maar ook de activiteit van het opbouwen van de filterfunkties, de afbakening van de zones van stimulatie. Dit zou dan aanleiding geven tot een responsdimensie waarin het effect van deze gelijktijdige filteractiviteit wordt weerspiegeld, vandaar de overeenkomst met de lineaire combinatie $\Sigma \log_{10} B_i$. Indien deze interpretatie valide is, dan suggereert dit dat voor het waarnemen van klinkers auditorische filters gebruikt worden met een kleiner frekwentie-interval dan dit van de kritische bandbreedte en dat de bandbreedte toeneemt met de stijging van de centrale formant-frekwentie (maar niet met een konstante Q). Daar de auditorische filters een bandbreedte blijken te bezitten die praktisch gelijk is aan deze van de formanten zou dit interessante implicaties kunnen hebben voor een formant-extractie model.

D_3 blijkt voor de "grave" klinkers duidelijk het effect van CF_2 te weerspiegelen. De produkt-moment korrelatie tussen de projekties op D_3 en de $\log_{10} CF_2$ van deze klinkers bedraagt .959. De variabiliteit binnen de groepen van de "acute" klinkers is t.o.v. deze van de "grave" klinkers veel kleiner, en de rangorde komt ook niet goed overeen, e.g. de plaats van /e/. Dit suggereert dat CF_2 voor de "acute" klinkers een kleiner effect resorteert op D_3 en dat CF_2 hoofdzakelijk van belang zou zijn voor het onderscheid van de "grave" klinkers. Het feit dat de CF_2 van de "grave" groep duidelijk gescheiden ligt van de hogere formanten dan deze van de "acute" groep, zodat hij auditorisch beter te onderscheiden is, maakt deze onderstelling plausibel.

D_4 blijkt het effect van CF_1 te weerspiegelen. Het bereik van de "acute" groepen langs D_4 is duidelijk groter dan dit van de "grave"

³ Wij laten in het midden of de breedte van de banden bepaald wordt door een stimulus-afhankelijk mechanisme of door cognitieve factoren zoals gesuggereerd door Swets (1963).

groepen. Nochtans zijn de afstanden tussen de klinkers van de "acute" groepen langs CF_1 kleiner dan deze van de "grave" groepen. Dit suggereert dat CF_1 voor de "acute" klinkers een groter effect resorteert dan voor de "grave" klinkers en dat dus CF_1 hoofdzakelijk van belang zou zijn voor het discrimineren van de "acute" klinkers. Dit komt overeen met een bevinding bij de analyse van de middelmatig geïdentificeerde /i/ (Govaerts, 1974) waarbij bleek dat een verhoging van CF_1 t.o.v. zijn ideale waarde bepalend was voor de verwarring met /ε/. Dit wordt ook bevestigd door het onderzoek van Chistovich en Mushnikov (1971) betreffende de auditorische meting van de eerste formant. Hierin bleek dat het onderscheid tussen /i/ en /ε/ alleen bepaald wordt door CF_1 . Verder vonden Nobach (1967), Cohen en Willems (1967) en Fant (1970²) dat twee-formant "grave" klinkers perceptueel kunnen vervangen worden door één-formant approximatie, wat niet het geval is voor de "acute" klinkers. Een verklaring voor deze fenomenen is waarschijnlijk dat CF_1 van de "acute" klinkers het duidelijkst auditorisch van de overige formanten te onderscheiden is.

Zoals de rangordening binnen de klusters langs D_5 laat zien, is deze responsdimensie duidelijk als een duurdimensie te interpreteren. De produkt-moment korrelatie tussen de afstanden van de overeenkomende lange en korte klinkers langs D_5 en het overeenkomend verschil in duur bedraagt .894. De projekties van beide soorten klinkers op D_5 toont aan dat de Zuidnederlandse klinkers perceptueel in twee fonetische categorieën "kort" en "lang" worden ingedeeld.

D_6 blijkt een formantniveau of luidheidsdimensie te zijn. Om deze dimensie te interpreteren dienden wij rekening te houden met de manier waarop ons gehoororgaan waarschijnlijk de niveaus uit verschillende frekwentiebanden verwerkt, en met een mogelijke onderlinge maskering van aanpalende frekwentiebanden. In de procedures voor het benaderen van de luidheid (attribueert dat toelaat een klank te ordenen op de schaal zacht-luid) is het fundamenteel begrip het sommeren van partiële luidheden. Wij gebruikten een door ons aangepaste vorm van de gestandaardiseerde werkwijze van Stevens (iso Recommendation 532, method A). In deze procedure worden de partiële luidheden bepaald d.m.v. gelijke luidheidscontouren die de relatie weergeven tussen de centerfrekwentie van een bepaalde frekwentieband en het bandniveau uitgedrukt in dB. Stevens noemt een zo bepaalde luidheid een luidheidsindex. De curven zijn gemeten in 1-, $1/2$ - of $1/3$ -oktaafbanden. Om de partiële maskering in rekening te brengen worden – met uitzondering van deze met de grootste waarde – de luidheidsindices vermenigvuldigd met een bepaalde faktor – < 1 en afhankelijk van de bandbreedte – en opgeteld bij de luidste. Dit geeft de totale luidheid s of:

$$s = s_m + F(\sum s - s_m) \quad < 6 >$$

waarin s_m de maximale luidheidsindex, F de faktor die de partiële maskering in rekening brengt en $\sum s$ de som van alle luidheidsindices.

Daar de afstanden tussen de CF_i van de klinkers niet gelijk zijn aan de afstanden van Stevens, werd voor F volgende korrektie uitgevoerd :

$$F = aD_0 + b \quad <7>$$

waarin a en b konstanten zijn, respektievelijk gelijk aan .2 en .1 en D_0 de afstand tussen twee opeenvolgende CF_i uitgedrukt in oktaafeenheden. De berekende totale luidheid van de klinkers is dan :

$$S = s_{L_m} + \sum s_{L_i} (aD_0 + b) \quad <8>$$

waarin s_{L_m} de luidheidsindex van de formant met het hoogste niveau en s_{L_i} de luidheidsindices van de overige formantniveaus. De produkt-moment korrelatie tussen de bereiken van de klusters langs D_6 en de overeenkomende afstand langs s bedraagt .839. Dit suggereert dat het onderhavige luidheidsmodel bij de waarneming van klinkers opgaat. Konkreet zou dit betekenen dat de luisteraar de sterkste pieken uit het auditorisch spektrum (spreiding van het patroon van neurale activiteit in de primaire neuronen overeenkomend met het fysisch spektrum) extraheert en daarvan een lineaire combinatie maakt. Externe evidentie voor het extraheren van de luidste pieken wordt gegeven door het onderzoek van Chistovich en Mushnikov (1971). Hieruit bleek dat bij twee-formant approximaties de hoogste piek uit het luidheidspatroon werd geëxtraheerd en dat zijn positie langs het auditorisch spektrum fungeert als het CF_1 korrelaat. Het multiband detectiemodel van Green (1958) geeft evidentie voor de sommatieaktiviteit. Volgens dit model, dat verder geverifieerd werd door Green et al. (1959), blijkt een waarnemer in staat te zijn gelijktijdig naar verschillende frekwentiebanden te luisteren. Zijn beslissing wordt vervolgens gebaseerd op de lineaire combinatie van de outputs van de betrokken frekwentiebanden. Samen met de bandbreedte dimensie blijkt deze responsdimensie sterk in het voordeel van een formant-extractie model te pleiten.

De gemiddelde gewichten per dimensie suggereren dat bij het beoordelen van de gelijkenis tussen klinkers, de proefpersonen duidelijk het meeste belang hechten aan het kwalitatief onderscheid tussen klinkers. Vervolgens komen de B_1 -dimensie en de CF_2 -dimensie die praktisch evenveel gewicht krijgen toegekend. Daarna komt de CF_1 -dimensie, de duurdimensie en de luidheidsdimensie. Deze resultaten zijn in tegenspraak met de algemeen geldende opvatting dat CF_1 en CF_2 de belangrijkste fysische variabelen zijn bij het beoordelen van de gelijkenis tussen klinkers.

Niettegenstaande de proefpersonen die de natuurlijke klinkerparen beoordeelden niet dezelfde zijn als degenen die de synthetische paren dienden te beoordelen, blijkt uit visuele inspectie (Figuren 4A.1-5 en 4B.1-5) dat beide ruimtelijke voorstellingen zeer gelijkend zijn. De produkt-moment korrelatie tussen de projekties van beide soorten klinkers op de zes *niet-geroteerde* dimensies bedragen respektievelijk

.950, .689, .761, .972 en .817. De lagere korrelatie voor D_2 is te wijten aan een verschuiving van klinkers binnen een kluster, nl. /y/, /ə/ en /e/.

D_1 van de natuurlijke klinkers blijkt eveneens een kwalitatieve dimensie te zijn die het effect van de "grave"/"acute" en de "plain"/"flat" eigenschappen weerspiegelt. Er is een verwisseling van plaats vast te stellen van de "plain"/"flat" groep binnen de "grave" groep t.o.v. die van de synthetische klinkers. De multiple korrelatie tussen de projekties op D_1 en hun overeenkomende "acute"/"grave" en "plain"/"flat" indices bedraagt .854. 72.93% van de variantie in D_1 wordt dus verklaard door de "acute"/"grave" en de "plain"/"flat" dimensies gekombineerd met hun regressiegewichten. De regressievergelijking is:

$$Z_{D_1} = .8443 Z_{A/G} + .0236 Z_{P/F} \quad <9>$$

Het relatieve aandeel van de "acute"/"grave" variabele in de totale voorspelde variantie bedraagt aanzienlijk meer dan dit van de "plain"/"flat" variabele, nl. 72.08% t.o.v. .9%. Dit houdt verband met de hierboven vermelde omkering in de "grave" groep.

D_2 van de natuurlijke klinkers is eveneens als een bandbreedte dimensie te interpreteren. Deze dimensie blijkt een groter effect te ressorteren bij de "grave" dan bij de "acute" klinkers. De hoger vermelde verschuivingen van de drie "acute" klinkers maken dat de produkt-moment korrelatie tussen de afstanden van $\Sigma \log_{10} B_i$ van dezelfde klinkers als bij de synthetische laag is, nl. .417. Gebruikt men echter bij de berekening van de korrelatie tussen de afstanden langs de responsdimensie en de fysische dimensie de *reële afstanden* van de bestaande twee "acute" groepen (y-ø en ε-ε:), dan wordt de produkt-moment korrelatie .923. De reden voor dit verschil met de synthetische klinkers is waarschijnlijk voor een groot deel te wijten aan het feit dat de B_i niet kontinu konden gemeten worden, waardoor voor de betrokken klinkers de overeenkomst tussen de bij de synthese ingestelde B_i en D_2 groter is dan tussen de gemeten B_i en D_2 van de natuurlijke klinkers.

Het CF_2 effect, D_3 in figuur 4B.2, blijkt omwille van het groter bereik binnen de clusters bij de natuurlijke "acute" klinkers sterker door te wegen dan bij de synthetische klinkers. Ook hier ligt /e/ niet op de verwachte plaats.

D_4 blijkt ook bij de natuurlijke klinkers het effect van CF_1 bij de "acute" klinkers te weerspiegelen. De produkt-moment korrelatie tussen de projekties van deze klinkers op D_4 en het $\log_{10} CF_1$ bedraagt .933. Gezien het uiterst kleine bereik binnen de "grave" klinkers blijkt CF_1 voor deze klinkers in de gelijkenisoordelen praktisch geen effect te ressorteren.

D_5 weerspiegelt eveneens duidelijk de duur van de klinkers, alleen ligt /u/ nu iets dichterbij de fonetische groep "kort", waar hij bij de synthetische klinkers duidelijk tot de fonetische groep "lang" hoorde.

De produkt-moment korrelatie tussen de afstanden van de overeenkomende lange en korte klinkers langs D_5 en het overeenkomend verschil in duur bedraagt .703. Dit is merkkelijk lager dan bij de synthetische klinkers. Daar echter de stijgtijd en vooral de aflooptijd van de natuurlijke klinkers eerder exponentieel verloopt, is het waarschijnlijk dat de luisteraars de klinkers niet waarnamen van het fysisch begin van de klinkers tot hun fysische einde. Daarom berekenden wij eveneens de produkt-moment korrelatie tussen het responsbereik en de duuraafstand, nu echter berekend op de operationele duur lopende van halfweg de stijgtijd tot halfweg de aflooptijd. Zoals te verwachten is deze aanmerkelijk hoger, nl. .827.

D_6 is eveneens als een luidheidsdimensie te interpreteren. Alleen ligt /u/ ook nu weer niet op de verwachte plaats. De produkt-moment korrelatie tussen de bereiken van de klusters langs D_6 (dezelfde stimuli als bij de synthetische klinkers) en de overeenkomende afstand langs s bedraagt .784. De iets lagere korrelatie dan bij de synthetische klinkers kan waarschijnlijk voor een groot deel te wijten zijn aan het feit dat bij de natuurlijke klinkers nog energie aanwezig is in de formanten $> F_5$, deze werd bij de s berekening niet in rekening gebracht.

Inspektie van de gewichten (Tabel 7) op de zes dimensies toont aan dat de proefpersonen eveneens bij de natuurlijke klinkers een grote inter-individuele variabiliteit vertonen betreffende het belang dat zij bij het beoordelen van de gelijkenis tussen klinkers aan de verschillende dimensies toekennen. Het patroon van de gemiddelde gewichten per dimensie is gelijkaardig aan dat van de synthetische klinkers. Dit suggereert nogmaals dat CF_1 en CF_2 niet de voornaamste fysische variabelen zijn bij het beoordelen van de gelijkenis tussen klinkers.

SLOTBESCHOUWING

Uit de klusteranalyse blijkt dat er duidelijke groeperingen van klinkers zijn waar te nemen en dat deze overeenkomen met degene die werden opgemerkt in het vooronderzoek. Niettegenstaande de gelijkenis-niveaus uit de klusteranalyse niet strikt invariant zijn bij monotone transformaties van de gelijkenissen (zij weerspiegelen strikt genomen alleen de rangorde van de gelijkeniswaarden) blijkt dat zij meer dan een rangorde betekenis hebben. Een cesuur ter hoogte van het geometrisch midden in de gelijkenisniveaus nl. geeft voor beide soorten data dezelfde klusters die overeenkomen met de waarneembare groeperingen in de metrische multidimensionale analyses op de gepoolde en niet-gepoolde data. Wat betreft de aard van de groeperingen blijkt dat wij te maken hebben met een klas x kwantitatieve structuur. De hieraan beantwoordende dimensies zijn, zoals vastgesteld, kwalitatief van aard. Ze kunnen niet als continue dimensies worden beschouwd, de groeperingen worden door "ledige ruimten" van elkaar gescheiden. Binnen de klassen zijn de dimensies kontinu. Analoge bevindingen

van andere auteurs en op andere perceptiedomeinen (cfr. hoger) geven externe evidentie voor de realiteit en de aard van de gevonden perceptuele structuren.

Zowel bij de synthetische als bij de natuurlijke klinkers blijken er zes onderliggende interpreteerbare dimensies te zijn die verantwoordelijk zijn voor de geobserveerde relaties in de data. Vier van deze dimensies zijn nog niet eerder in analoge onderzoeken tot uiting gekomen, nl. de kwalitatieve dimensie (D_1), de bandbreedte dimensie (D_2), de duurdimensie (D_5) en de luidheidsdimensie (D_6). Hierdoor wordt onze hypothese dat de luisteraar bij het beoordelen van de gelijkenis tussen klinkers gebruik maakt van meer dan 2 à 3 responsdimensies bevestigd.

Het feit dat de D_i van beide soorten data – die onafhankelijk van elkaar geanalyseerd werden – op dezelfde wijze konden geïnterpreteerd worden en daar de data bovendien afkomstig zijn van verschillende proefpersonen, maakt de interpretatie aanvaardbaar. Uit de gelijkheid van de perceptuele organisatie van beide soorten klinkers kan men met vrij grote zekerheid afleiden dat fonetisch naïeve luisteraars dezelfde processen gebruiken voor het beoordelen van beide soorten klinkers. Bevindingen met perceptueel relevante synthetische klinkers bezitten dan ook externe validiteit, en de resultaten van experimenten met dergelijke prikkels zijn dientengevolge generaliseerbaar naar het domein van de natuurlijke spraak.

Waarom kwamen een zo groot aantal responsdimensies tot uiting in vergelijking met de tot nu gepubliceerde onderzoeken, waaruit praktisch altijd twee dimensies naar voor kwamen (en soms een niet te interpreteren derde) die dan als CF_1 en CF_2 of als “voor versus achter plaats van artikulatie” en “openingsgraad” geïnterpreteerd werden? Uit de vergelijking van de analyse van de gepoolde gegevens en de analyse waarbij rekening gehouden wordt met de interindividuele verschillen in perceptie, en die beide met hetzelfde multidimensionaal model geanalyseerd werden, komt zoals vermoed al een eerste duidelijke oorzaak naar voor, nl. het combineren van de gelijkenisoordelen van verschillende proefpersonen. Hierdoor wordt geen rekening gehouden met 1. het aantal dimensies dat zij in hun oordelen betrekken, 2. de aard van de betrokken dimensies (die verschillend kan zijn) en 3. de differentiële belangrijkheid die zij aan de betrokken dimensies toekennen. Zoals de gewichten zowel bij de synthetische als de natuurlijke gelijkenisoordelen aantoonde, kunnen deze effectief sterk verschillen. Een frappant voorbeeld is proefpersoon nr 9 van de natuurlijke klinkers (Tabel 7). In het interview na het experiment verklaarde hij alleen de duur van de klinkers in rekening gebracht te hebben bij zijn gelijkenisoordelen. Zijn gewicht op D_6 is dan ook zeer hoog terwijl deze op de overige D_i zeer laag zijn. Opmerkenswaardig is ook dat praktisch al de overige proefpersonen die verklaarden samen met andere criteria ook de duur in rekening gebracht te hebben, een gewicht hebben op D_6 dat groter is dan het gemiddelde gewicht.

Als men een multidimensionaal model verklarend wil gebruiken, is het dan ook niet erg aangewezen data gebaseerd op inter-individuele verschillen in perceptie te poolen. Bijkomende evidentie hiervoor vonden wij door de zes-dimensionale oplossingen te "projekteren" in een twee-dimensionaal vlak, nl. de twee-dimensionale INDSCAL oplossingen van de niet-gepoolde data. Deze komen, op een rotatie van $+135^\circ$ na, perfect overeen met de INDSCAL oplossingen van Figuur 3. Hiermee komen wij bij een volgende reeks oorzaken terecht. Wanneer men een schaalmethode gebruikt om de data te analyseren waarvan de oplossing geen unieke oriëntatie van de assen in de multidimensionale ruimte geeft, dan is het toegestaan de bekomen oplossingen te roteren en de oorsprong te veranderen (wat bij INDSCAL dus niet toegelaten is). Wanneer men daarenboven weinig klinkers gebruikt, en meent dat de eerste en tweede formant de determinerende factoren zijn voor het vellen van gelijkenisoordeelen tussen klinkers, dan gaat men 1. visueel geen klusters opmerken, als gevolg hiervan 2. de dimensies als continue dimensies interpreteren en 3. de assen van de bekomen oplossing zo roteren dat zij zo goed mogelijk met CF_1 en CF_2 overeenkomen.

Wat betreft de perceptuele relevantie van de gevonden dimensies, of het belang dat de proefpersonen aan de perceptuele dimensies hechten, blijkt uit de gemiddelde gewichten dat bij het beoordelen van de gelijkenis tussen zowel synthetische als natuurlijke paren klinkers fonetisch naïeve proefpersonen gemiddeld het meeste belang hechten (D_1) aan de afweging van de lokalisatie van de (minstens) vijf eerste formanten binnen het betrokken klinkerspektrum samen met de plaats waar de spektra gelegen zijn op de frekwentieschaal (cfr. hoger de beschrijving van de indices van de distinkatieve eigenschappen). In belangrijkheid volgen dan in praktisch gelijke mate de bandbreedte-dimensie en de CF_2 dimensie. Vervolgens komen de CF_1 dimensie, de duur- en de luidheidsdimensie. Deze bevindingen komen niet overeen met de algemeen geldende opvatting dat de eerste en tweede formant (of de waarde van hun centerfrekwenties) de belangrijkste fysische variabelen zijn bij het beoordelen van de gelijkenis tussen klinkers.

Zoals uit de waarde van de produkt-moment korrelaties blijkt, is er een zeer duidelijke relatie te zien tussen de zes perceptuele dimensies en bepaalde fysische dimensies. Bepaalde van deze dimensies, nl. deze die in relatie staan met B_1 , CF_1 en L_1 , suggereren dat bij het waarnemen van klinkers de luisteraar een soort perceptuele formant-analyse doorvoert.

Niettegenstaande een duidelijke scheiding tussen fysische termen en perceptuele termen in het psychologisch onderzoek een eerste vereiste is werden slechts D_5 en D_6 met een perceptuele term aangeduid. De overige werden, gewoon om de dimensies te kunnen onderscheiden in de bespreking, benoemd met de term van de fysische variabele waarmee zij een verband onderhouden. Dit duidt de volgende stap aan betreffende dit deel van het onderzoek, nl. het achterhalen van

de psychologische aard van de gevonden responsdimensies. Verder dienen ook de mathematische expressies voor de samenstellende indices van de eerste dimensie en deze van het luidheidsmodel (D_6) verfijnd te worden om een nog betere prediktie toe te laten.

REFERENTIES

- BEALS, R., KRANTZ, D., & TVERSKY, A. Foundations of multidimensional scaling. *Psychological Review*, 1968, 75, 127-142.
- BÉKÉSY, G. von. *Experiments in hearing*. New York: McGraw-Hill, 1960.
- CARROLL, J. *Introduction to INDSCAL*. Handout for Bell-Penn MDS Workshop, 1972.
- CARROLL, J., & CHANG, J. Analysis of individual differences in multidimensional scaling via an N-way generalisation of Eckart-Young decomposition. *Psychometrika*, 1970, 35, 283-319.
- CARROLL, J., & WISH, M. Multidimensional models and measurement methods. In E. CARTERETTE & M. FRIEDMAN (Eds.), *Handbook of perception*. New York: Academic Press, 1973.
- CHISTOVICH, L. Auditory processing of speech stimuli - Evidence from psycho-acoustics and neurophysiology. *Proceedings of the 7th International Congress of Acoustics*, Budapest: Akadémiai Kiadó, 1971, 1, 27-41.
- CHISTOVICH, L., & MUSHNIKOV, V. Auditory measurement of the first formant. *Proceedings of the 7th International Congress of Acoustics*, Budapest: Akadémiai Kiadó, 1971, 3, 233-236.
- COHEN, A., SLIS, I., & HART, J. 't. On tolerance and intolerance in vowel perception. *Phonetica*, 1967, 16, 65-70.
- COHEN, A., & WILLEMS, L. Some aspects of the distinctive-feature theory in the light of psycho-acoustic evidence: The perception of formants of front and back vowels. *IP0 Annual Progress Report*, 1967, 2, 93-99.
- COOPER, F., DELATTRE, P., LIBERMAN, A., BORST, J., & GERSTMAN, L. Some experiments on the perception of synthetic speech sounds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1952, 24, 597-606.
- DEGERMAN, R. The geometric representation of some simple structures. In R. SHEPARD, A. ROMNEY & S.B. NERHOVE (Eds.), *Multidimensional scaling. Theory and applications in the behavioral sciences*. Vol. 1: *Theory*. New York-London: Seminar Press, 1972, 193-211.
- DELATTRE, P. Les indices acoustiques de la parole: premier rapport. *Phonetica*, 1958, 2, 108-118.
- DUIFHUIS, H. Audibility of high harmonics in a periodic pulse. II. Time effect. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1970a, 49, 1155-1162.
- DUIFHUIS, H. Backward masking: Central or peripheral. *IP0 Annual Progress Report*, 1970b, 5, 10-14.
- EVANS, E., & WILSON, P. Frequency sharpening of the cochlea: The effective bandwidth of cochlear nerve fibres. *Proceedings of the 7th International Congress of Acoustics*, Budapest: Akadémiai Kiadó, 1971, 3, 453-456.
- FANT, G. Sound features, and perception. *Quarterly Progress and Status Report*, Stockholm: Speech Transmission Laboratory, RIT, 1967, nr. 2-3, 1-15.
- FANT, G. Analysis and synthesis of speech processes. In B. MALMBERG (Ed.), *Manual of Phonetics*, Amsterdam, 1969.
- FANT, G. *Acoustic theory of speech production*. Den Haag: Mouton, 1960 (1970²).
- FISCHER-JØRGENSEN, E. What can the new techniques of acoustic phonetics contribute to linguistics? *Proceedings of the 8th International Congress of Linguists*, Oslo, 1958, 433-478.

- GOVAERTS, G. *Psychologische en fysische structuren van perceptueel geselecteerde klinkers. Een onderzoek aan de hand van Zuidnederlandse klinkers*. Niet gepubliceerd doctoraatsproefschrift, K.U.Leuven, 1974.
- GREEN, D. M. Detection of multiple component signals in noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1958, 30, 904-911.
- GREEN, D. M., MCKAY, M. J., & LICKLIDER, J. C. R. Detection of a pulsed sinusoid in noise as a function of frequency. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1959, 31, 1446-1452.
- HANSON, G. *Phoneme perception. A factorial investigation*. Språkvetenskapliga Sällskapet i Uppsala Förhandlingar 1958-1960. 1961, 109-147.
- HANSON, G. A factorial investigation of speech sound perception. *Scandinavian Journal of Psychology*, 1963, 4, 123-128.
- HANSON, G. A further factorial investigation of speech sound perception. *Scandinavian Journal of Psychology*, 1964, 5, 117-122.
- HANSON, G. Dimensions in speech sound perception. An experimental study of vocal perception. *Ericsson Techniques*, 1967, 23, pp. 3 e.v.
- HANSON, G. Distinctive features and response dimensions of vowel perception. *Zeitschrift für Phonetik, Sprachwissenschaft und Kommunikationsforschung*, 1968, 21, 99-101.
- ISAAC, P. Dissimilarities as indices of individual perceptual structure. *Perception & Psychophysics*, 1970, 7, 229-233.
- JAKOBSON, R., FANT, G., & HALLE, M. *Preliminaries to speech analysis. The distinctive features and their correlates*. Cambridge, Mass.: The M.I.T. Press, 1951 (1965*).
- JOHNSON, S. Hierarchical clustering schemes. *Psychometrika*, 1967, 32, 241-254.
- JOHNSTONE, B., TAYLOR, K., & BOYLE, A. Mechanics in the guinea pig cochlea. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1970, 47, 504-509.
- KLAHR, D. A Monte Carlo investigation of the statistical significance of Kruskal's nonmetric scaling procedure. *Psychometrika*, 1969, 34, 319-330.
- KNOPS, L. De auditieve structuur der spraakklanken. *Psychologica Belgica*, 1967, 7, 59-65.
- KRANTZ, D., & TVERSKY, A. Similarity of rectangles: An analysis of subjective dimensions. *Michigan Mathematical Psychology Program*, 1973, Nr. 8.
- LIBERMAN, A., HAARIS, K., HOFFMAN, H., & GRIFFITH, B. The discrimination of speech sounds within and across phoneme boundaries. *Journal of Experimental Psychology*, 1957, 54, 358-368.
- MOHR, B., & WANG, W. Perceptual distance and the specification of phonological features. *Phonetica*, 1968, 18, 31-45.
- NOBACH, H. G. *Oriënterende studie van perceptieve vergelijking van één met twee-formantklanken*. IPO Rapport, nr. 90, 1967.
- NORDMARK, J. Time and frequency analysis. In J. TOBIAS (Ed.), *Foundations of modern auditory theory* (Vol. 1). New York-London: Academic Press, 1970.
- PETERS, R. *Research of psychological parameters of sound*. WADD Technical Report 60-249. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio: Wright Air Development Center, 1960.
- PETERS, R. Dimensions of perception for consonants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1963, 35, 1985-1989.
- PLOMP, R. The ear as a frequency analyser. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1964, 36, 1628-1636.
- PLOMP, R. Pitch of complex tones. *Journal of Acoustical Society of America*, 1967, 41, 1526-1533.
- POLS, L., VANDERKAMP, L., & PLOMP, R. Perceptual and physical space of vowel sounds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1969, 46, 458-467.

- SCHARF, B. Critical bands. In J. TOBIAS (Ed.), *Foundations of modern auditory theory* (Vol. 1). New York-London: Academic Press, 1970, 159-202.
- SHEPARD, R. Attention and the metric structure of the stimulus space. *Journal of Mathematical Psychology*, 1964, 54-86.
- SHEPARD, R. *Introduction*. University of Pennsylvania: Multidimensional scaling workshop, 1972a, niet gepubliceerde tekst.
- SHEPARD, R. Psychological representation of speech sounds. In E. DAVID & P. DENES (Eds.), *Human communication: A unified view*. New York: McGraw-Hill, 1972b.
- SINGH, S., & WOODS, D. Perceptual structure of 12 American English vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1970, 49, 1861-1866.
- STEVENS, K. The quantal nature of speech: Evidence from articulatory-acoustic data. In E. DAVID & P. DENES (Eds.), *Human communication: A unified view*. New York: McGraw-Hill, 1972, 51-66.
- SWETS, J. Central factors in auditory frequency selectivity. *Psychological Bulletin*, 1963, 60, 429-440.
- TONNDORF, J. Cochlear mechanics and hydro-dynamics. In J. TOBIAS (Ed.), *Foundations of modern auditory theory* (Vol. 1). New York-London: Academic Press, 1970, 205-254.
- TORGERSON, W. *Theory and methods of scaling*. New York: Wiley, 1958.
- TORGERSON, W. Multidimensional scaling of similarity. *Psychometrika*, 1965, 30, 379-393.
- TVERSKY, A., & KRANTZ, D. Similarity of schematic faces: A test of interdimensional additivity. *Perception & Psychophysics*, 1969, 5, 124-128.
- TVERSKY, A., & KRANTZ, D. The dimensional representation and the metric structure of similarity data. *Journal of Mathematical Psychology*, 1970, 7, 572-596.
- WICKELGREN, W. Distinctive features and errors in short-term memory for English vowels. *Journal of the Acoustic Society of America*, 1965, 38, 583-588.
- WILSON, K., & SAPORTA, S. Linguistic organization. In C. OSGOOD, T. SEBOCK (Eds.), *Psycholinguistics. A survey of theory and research problems with a survey of psycholinguistic research*. Bloomington-London: Indiana University Press, 1954 (1965²), 77-83.
- WISCH, M., & CARROLL, J. Applications of "INDSCAL" to studies of human perception and judgment. In E. CARTERETTE & M. FRIEDMAN (Eds.), *Handbook of perception* (Vol. 2). New York: Academic Press, 1973.

Centrum voor Mathematische Psychologie en
Psychologische Methodologie
Tiensestraat 102
3000 Leuven

Received October 1977