

Klinkerfonemen in zorgvuldig uitgesproken eenlettergrepige woorden kunnen gemakkelijk door proefpersonen in een benoemingsexperiment worden geïdentificeerd, wanneer althans complete lettergrepen worden aangeboden. De verstaanbaarheidsresultaten zoals gegeven in paragraaf 2.5 bevestigen dit, zelfs voor synthetische spraak. Het is evenwel ook bekend dat er grote verschillen bestaan tussen akoestische realisaties van hetzelfde klinkerfoneem in verschillende contexten. In spraakspektrogrammen is dit duidelijk zichtbaar, evenals in een dimensionele representatie van bandfilterspektra van klinkers, zie paragraaf 3.5.

Doel van dit onderzoek is de spektrale variaties te bestuderen in de klinkersegmenten van 270 eenlettergrepige Nederlandse woorden van het type beginmedeklinker-klinker-eindmedeklinker. De woorden werden uitgesproken door drie natuurlijke sprekers. Andere dan spektrale, akoestische aspecten van de klinkersegmenten, zoals duur en grondtoon, werden in dit onderzoek niet in detail bekeken. Alle 270 geïsoleerde klinkersegmenten van één spreker werden tevens ter identificatie aangeboden aan 27 luisteraars. De resultaten tonen in hoeverre de klinkerfonemen eenduidig kunnen worden benoemd op basis van uitsluitend de akoestische informatie in de segmenten. Vergelijking met de spektrale data laat zien in hoeverre de foutieve benoemingen kunnen worden verklaard uit de gemiddelde en/of dynamische spektrale eigenschappen van de klinkersegmenten.

Voor een gedetailleerde spektrale analyse van een grote set data, zoals de onderhavige, is een efficiënt en automatisch analyse- en dataverwerkingssysteem gewenst. Automatische en snelle procedures voor het bepalen van de formanten zijn tot nu toe zo goed als niet beschikbaar. Bovendien zijn wij van mening dat formantparameters ook niet noodzakelijk de meest relevante parameters zijn om de spraakperceptie te beschrijven.

Wij gebruiken een bandfilteranalyse, gevolgd door een dimensionele spektrale representatie van de filternivo's in een laag-dimensionele subruimte, enigszins vergelijkbaar met het formantvlak. De analyse met behulp van een derde oktaaf bandfilters simuleert de beperkte spektrale resolutie van het menselijk gehoororgaan. De dimensionele spektrale representatie maakt optimaal gebruik van de statistische variatie in, en de onderlinge correlatie tussen, de bandfilternivo's van vele 10-msec monsterringen van te analyseren spraak. Een gedetailleerde beschrijving van deze benadering wordt gegeven in paragraaf 2.1 tot 2.3.

Het gebruik van een programmeerbaar spraaksynthesesysteem is onmisbaar in klinkersegmentatie- en benoemingsexperimenten. Daarom werd een computer-bestuurd spraaksynthesesysteem ontwikkeld. Het is in principe het spiegelbeeld van het spraakanalysesysteem, hetgeen resulteert in een vocoderachtig totaalsysteem. De details van het synthesesysteem, alsmede de ermee verkregen verstaanbaarheidsresultaten staan beschreven in paragraaf 2.5. De resultaten zijn ruim voldoende gezien het gebruik van dit synthesesysteem als onderzoeksinstrument.

Het complete systeem maakt een gedetailleerde analyse en dataverwerking van de set van 270 eenlettergrepige woorden mogelijk, zie hoofdstuk 3. Door de spektrale analyse per 10-msec is alle informatie beschikbaar om het dynamische spek-

trale verloop nauwkeurig te specificeren. Dit maakt het bijvoorbeeld mogelijk de dynamische spektrale eigenschappen van de Nederlandse tweeklanken *au*, *ai* en *ei* (/au, ʏ, ei/) kwantitatief te beschrijven; het toont ons bovendien dat de Nederlandse klinkers *ae*, *oo* en *eu* (/ø, o, ø/) op een tweeklank-achtige wijze worden geproduceerd, en een ander gedrag vertonen wanneer deze klinkers voorafgaan aan de *r*. Alhoewel er tevens aanwijzingen zijn van andere klinkerartikulationseffekten in the spektrale data, bevatte onze woordlijst niet voldoende replikaties om deze effecten eenduidig aan te tonen.

Door de oorspronkelijke spektrale data te bekijken, maar meer nog door het verloop van het woord te bezien als spoor in een twee-dimensionele spektrale representatie, en door bovendien te luisteren naar (gedeelten uit) het gesynthetiseerde woord, konden de klinkersegmenten worden geïsoleerd. Deze geïsoleerde en gesynthetiseerde klinkersegmenten zijn vervolgens individueel aan proefpersonen aangeboden ter identificatie. De door de 27 luisteraars gemaakte verwarringen waren vaak duidelijke aanwijzingen van koartikulationseffekten in de klinkersegmenten. Een aantal foutieve benoemingen van klinkersegmenten kon begrepen worden vanuit de gemiddelde positie van die segmenten in de twee-dimensionele spektrale subruimte. Het dynamische spektrale verloop in de segmenten moest echter ook herhaaldelijk in de beschouwingen worden betrokken om de gemaakte foutieve benoemingen te kunnen begrijpen. De richting waarin het laatste, meest dyn-

amisch verlopende, deel van het klinkersegment zich bewoog was meestal belangrijker dan het, vaak veel langere, stabiele, beginstuk van het klinkersegment.

De eindmedeklinker lijkt een grotere invloed te hebben op de eigenschappen van de klinker dan de beginmedeklinker. In hoofdstuk 4 zijn alle details van het benoemingsexperiment beschreven en worden de resultaten besproken. In hoofdstuk 1 wordt een overzicht gegeven van hetgeen in de literatuur gevonden wordt over de spektrale en perceptieve verschillen tussen klinkerfonemen onder diverse omstandigheden.

We hebben in dit onderzoek laten zien dat het goed mogelijk is met het gebruikte analyse-, dataverwerkings- en synthesesysteem klinkerkoartikulationseffekten te bestuderen. Ook een studie van het dynamische spektrale verloop van klinkers in het algemeen is goed mogelijk. De in paragraaf 3.6 gegeven gedetailleerde beschrijving van de Nederlandse tweeklanken is hiervan een voorbeeld. Een uitbreiding in de richting van niet-klinker sonoranten, zoals nasalen en half-klinkers is in voorbereiding; de eerste resultaten lijken veelbelovend. De tot nu toe verkregen resultaten met de 270 eenlettergrepige woorden rechtvaardigen meer gedetailleerd onderzoek met meer sprekers, meer replikaties en meer contexten.