

## De motorische variabiliteitshypothese als oorzaak van een stottermoment

G. Wieneke en P. Janssen

*Universitair Medisch Centrum, Utrecht, afdeling Foniatrie*

Onderzocht wordt in hoeverre experimentele onderbouwing is te vinden voor de hypothese dat verhoogde variabiliteit in het motorische deel van het spraakproductiesysteem de oorzaak vormt voor de productie van een stotter. Alhoewel verschillende experimentele resultaten de hypothese ondersteunen, geeft een essentieel experiment een resultaat dat tegenstrijdig is met de verwachting. De hypothese is daarom niet te handhaven. De verhoogde variabiliteit in de spraak van stotteraars moet niet als veroorzakende factor gezien worden maar als een gevolg van een ander mechanisme.

### **Inleiding**

Theorieën over het ontstaan van stotteren bevatten in veel gevallen (impliciet of expliciet) een vooronderstelling over het mechanisme dat een stottermoment veroorzaakt. Een stotter is een gebeurtenis op een bepaald moment en men kan zich de vraag stellen wat er op dat moment mis gaat in de spraakproductie. Dit is een veel beperktere vraagstelling dan de vraag naar het ontstaan van stotteren ofwel de vraag waarom iemand een stotteraar wordt. In de literatuur wordt ook deze beperkte vraagstelling niet eenduidig beantwoord. Op grond van experimentele resultaten kan de oorzaak van de verstoring in de vloeiendheid van de spraak niet eenduidig aan één van de vele bij spraak betrokken hersengebieden of uitvoerende organen toegekend worden. Omdat het evident is dat tijdens een stottermoment de motorische realisatie van een klank verstoord is, is het niet onlogisch de bron van de storing in het motorische subsysteem van het spraakproductiesysteem te zoeken (Van Lieshout 1995). Dit subsysteem wordt gedacht te zorgen voor de sturing van de articulatoren. Deze motorische sturing zorgt voor de fysieke realisatie van de duur en sterkte van de activaties van articulatiespiegelen, het afmeten van de tijdsintervallen tussen opeenvolgende activaties en het instellen van de eigenschappen van de perifere reflexmechanismen. Verschillende auteurs veronderstellen dat dit systeem bij stotteraars instabiel wordt waardoor de sturing van de spraakbewegingen ontregeld kan raken. Over de reden waarom er een instabiliteit optreedt, lopen de meningen echter sterk uiteen (zie voor een overzicht Janssen 1994, Kalveram 1993, Starkweather 1995).

---

Correspondentieadres: G. Wieneke, Universitair Medisch Centrum Utrecht, hsp F02.504.  
Postbus 85500, 3508 GA Utrecht.

Er zijn auteurs die veronderstellen dat discoördinatie tussen de informatiestromen die bij de uitvoering van spraak in elkaar gevoegd moeten worden (bv prosodie en fonologische inhoud) aanleiding geeft tot instabiliteit. Veelal wordt traagheid in één van de subsystemen als oorzaak gesuggereerd. Een andere veronderstelling is dat het motorische stuurpatroon nodig voor de realisatie van een spraaksegment niet snel genoeg uit een geheugen te voorschijn komt. In een andere groep van theorieën wordt verondersteld dat één of meer van de vele terugkoppelingen in het spraakmotorische systeem gestoord is en daardoor de grens van stabiliteit overschreden wordt. Het waarneembare stottergedrag: herhalingen en blokkades lijkt inderdaad op de verschijnselen die een teruggekoppeld regelsysteem kan laten zien als het niet meer stabiel is. Een meer modelmatig uitgewerkt model gaat uit van het idee dat bij de sturing van spraakbewegingen gebruik wordt gemaakt van een intern model van het perifere motorische systeem. Dit model moet worden opgebouwd door de sensorische signalen die bij bewegingen worden opgewekt te evalueren. Indien de opbouw van het interne model niet goed verloopt, zal dit, in deze theorie, aanleiding geven tot verstoringen van de motorische sturing. Tenslotte zijn er suggesties dat de stuurstrategie voor spraakbewegingen verandert gedurende de ontwikkeling van spraak. Bij kinderen in de overgangsfase van de ene naar de andere stuurstrategie zouden instabiliteit kunnen optreden. Sommige kinderen groeien daar overheen, bij andere kinderen lukt dat niet.

Instabiliteit wordt vaak geassocieerd met variabiliteit. Dit is echter in het algemeen niet correct. Een instabiel systeem kan zowel oscillaties vertonen, dus een variabele output laten zien, als in een extreme maar constante toestand komen, dus juist extreem niet-variabel zijn. De experimentele bevinding dat stotteraars een grotere variabiliteit in spraakmotorische variabelen laten zien dan controle sprekers, is dus nog geen bewijs voor een instabiel motorische systeem bij stotteren. Men kan echter een specifieke hypothese formuleren waarin er een direct verband bestaat tussen variabiliteit en het optreden van stottermomenten. Deze luidt als volgt: Door verhoogde variabiliteit in het motorische stuursysteem wordt de articulatorische sturing soms zodanig verstoord dat de productie van de beoogde klank onmogelijk wordt. Het idee is dat de tijd afmetende en sterkte regelende neurale processen die de articulatorische spieren aansturen, tot zeer variabele resultaten leiden. Er ontstaat daardoor een kans dat een drempel wordt overschreden en een onmogelijke combinatie van spieractivaties ontstaat die de voortgang van de spraak onderbreekt. Binnen een klankovergang kan de coördinatie (ofwel de faserelaties) tussen de bewegingen van de verschillende articulatoren verstoord worden (Caruso, Abbs & Gracco 1988), de instelling van een terugkoppeling instabiel worden (Nudelman, Herbrich, Hoyt & Rosenfield 1989; Zimmerman 1980), of de in spraak snel op elkaar volgende bewegingen kunnen niet meer met elkaar in overeenstemming zijn.

Als deze vooronderstelling inderdaad de oorzakelijke factor voor de ontregeling van de spraak beschrijft, zou men een hoge variabiliteit in duur en/of kinematische variabelen verwachten op momenten dat een stotter voorkomt. Aan het begin van een stottermoment bestaat er echter onzekerheid of de gebeurtenissen behoren tot de aanleiding of tot de gevolgen. Een gevolg is bijvoorbeeld secundair compensatie gedrag: (aangeleerde) pogingen van de stotteraar om de aanwezige verstoring in de spraak te

herstellen. Omdat volgens de hypothese de hoge variabiliteit een kenmerk van het systeem is, moet een toegenomen variabiliteit ook aanwezig zijn zonder dat er van stottermomenten sprake is. De genoemde hypothese is daarom ook experimenteel te verifiëren door de variabiliteit in *vloeiende* spraak te meten. De kans op stotteren is te variëren door gebruik te maken van spreekcondities waarvan bekend is dat ze de stotterfrequentie beïnvloeden. Daartoe behoren in eerste instantie de bekende stotterreducerende condities, zoals meelesen, ritmisch lezen en masking.

Als strikt volgens de eenvoudige motorische hypothese geredeneerd wordt, moet als consequentie verwacht worden dat:

- 1) de stotteraars tijdens vloeiend spreken variabelere zijn in hun timing en coördinatie van spraakbewegingen dan controle sprekers,
- 2) deze variabiliteit vermindert in condities die stotteren reduceren en vermeerderd in condities die stotteren verergeren,
- 3) als in de spraak van een stotteraar stottermomenten voorkomen, de overige vloeiende spraak gekenmerkt is door een relatief hogere duurvariabiliteit.

## Experimentele resultaten

### *Meting intra-individuele variabiliteit*

De meting van de intra-individuele variabiliteit van tijdsintervallen of kinematische variabelen vereist dat dezelfde uiting een aantal malen herhaald wordt. Door in iedere herhaling de duur van een segment, het tijdsinterval tussen twee kenmerkende punten of amplitude van een beweging te meten en daarover de standaard deviatie te berekenen krijgen we een maat voor de duurvariatie of amplitudevariatie. De variabiliteit van een spreker kan gekarakteriseerd worden door het gemiddelde of mediaan van de standaard deviaties gemeten in de zin of meerdere zinnen. Duurvariabiliteit kan bijvoorbeeld gekarakteriseerd worden door de mediaan van de standaard deviaties van de duur van verschillende segmenten. Daarbij kunnen de standaard deviaties al of niet genormaliseerd worden op de gemiddelde duur van de individuele segmenten. In de literatuur wordt op deze wijze ook de variabiliteit berekend van de Voice Onset Time of de maximale verplaatsing van een articulator.\*\*

Bij de bepaling van variabiliteit in een spraakuiting moet men zich goed realiseren dat wat gemeten wordt het resultaat is van een groot aantal processen die bij spraak betrokken zijn. In hypothesen wordt meestal een uitspraak gedaan over één van de subsystemen in de spraakproductie. In de motorische variabiliteitshypothese is dat het motorische systeem. De variabiliteit van dit subsysteem kan geheel verloren gaan in de variabiliteit die voortkomt uit andere bronnen. Een experimentele opzet is dan noodzakelijk, waarbij in twee condities wordt gemeten die alleen verschillen wat betreft de variabiliteit uit die ene bron. Mits er verder geen veranderingen zijn, geeft een verandering in outputvariabiliteit de verandering aan in de variabiliteit uit deze ene bron.

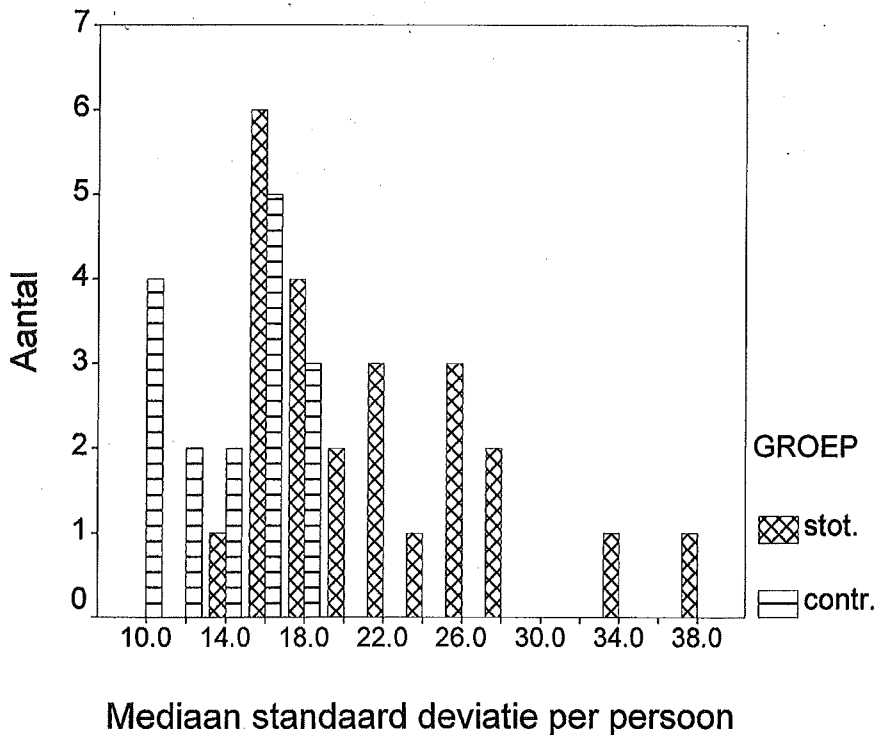
Bij de bepaling van de duurvariabiliteit over herhalingen van dezelfde tekstuiting is een variërende spreesnelheid in de achtereenvolgende herhalingen een storende fac-

tor. Als bij variatie van de spreeknelheid de duur van alle segmenten in de zin in evenredigheid verlengt of verkort, kan men uit de zinsduur een correctie afleiden. Door de standaard deviaties van de duur van alle opeenvolgende en aansluitende segmenten in een zin te berekenen, kan men ook een schatting maken van de variabiliteit die ontstaat op een perifeer niveau en de variabiliteit die afkomstig is uit een centraal timingsmechanisme (Wieneke, Janssen & Brutten 1995, zie bijlage).

### *Verskil tussen stotteraars en controle sprekers*

Onderzoeken waarin stotteraars in hun vloeiende spraak trager blijken te zijn in hun spraakbewegingen dan niet-stotteraars of een afwijkende coördinatie tussen articulatoren laten zien, komen in de literatuur veelvuldig voor (zie voor een overzicht Van Lieshout 1995). Veel schaarser zijn de onderzoeken naar de intra-individuele motorische variabiliteit in de vloeiende spraak van stotteraars. Deze onderzoeken laten wel alle zien dat stotteraars gemiddeld in hun spraak variabeler zijn dan controle sprekers. Cooper & Allen (1977) vonden dit voor de relatieve variantie van een lang segment in een 80 maal herhaalde zin. De Nil & Brutten (1991) konden een significant verschil aantonen voor de variatie van de VOT bij de klankcombinaties C/i/ waarbij C=/p/,/t/ of /k/ of een combinatie van deze consonanten. De variantie van de stotteraars was gemiddeld bijna een factor twee groter dan die van controles. Jäncke (1994) gebruikte langere en ritmisch uitgesproken stimuli met de structuur CaCáCas waarin C= /p/,/t/ of /k/. De nadruk lag op de tweede lettergreep, die hierdoor een langere duur krijgt. Niet alleen de VOT van de tweede lettergreep, maar ook de duur van de klinkers werd gemeten. Per individu werd de gemiddelde variatiecoëfficiënt ( $MICV = (SD/gemiddelde) \times 100\%$ ) over alle trials berekend. Er werd een duidelijk significant verschil in MICV gevonden voor alle VOT's in de uiting. De MICV's van de stotteraars bleken ongeveer een factor 1.5 groter dan die van de niet-stotteraars. Dezelfde berekeningen voor de duur van de klinkers gaf een vergelijkbaar beeld. De resultaten komen overeen met een eerder experiment van Kalveram & Jäncke (1989). In een reeks onderzoeken van Janssen en Wieneke werd eveneens gevonden dat tijdsintervallen in de spraak van stotteraars een variabelere duur hebben dan de overeenkomstige intervallen bij controle sprekers. Dit werd gevonden voor de intervallen tussen de start van de activiteit van vier articulatiespijeren en de fonatie bij het uitspreken van losse woorden beginnend met de klanken /m/,/w/,/f/ en /s/ (Janssen, Wieneke & Vaane 1983). In dit onderzoek werden overigens geen significante verschillen in de duur van de intervallen gevonden. De verhoogde duurvariabiliteit bij stotteraars werd bevestigd voor stemhebbende en stemloze segmenten in een zin met totaal 15 segmenten (Janssen & Wieneke 1987, Wieneke & Janssen 1991). Het begin en einde van de segmenten werd in dit experiment bepaald op grond van het electroglottografisch signaal. Segmentduren werden bepaald door de tijdsintervallen tussen steeds twee opeenvolgende grenzen te meten. De standaard deviatie van een segmentduur over 10 herhalingen werd gebruikt als maat voor de variabiliteit. De mediane waarde van de standaard deviaties van alle segmenten uit de zin bleek gemiddeld 18.4 ms voor een groep van 24 stotteraars te zijn tegenover 13.0 ms voor een groep van 16 controle sprekers.

Alle genoemde onderzoeken bevestigen de verwachting dat stotteraars variabelere



Figuur 1. Histogram van duurvariabiliteit per individu voor 24 stotteraars (stot) en 16 controle sprekers (contr).

in de 'timing' van spraak zijn dan controle sprekers. Bekijken we echter het histogram van de variabiliteit per persoon voor de beide groepen uit het laatst genoemde onderzoek (figuur 1), dan valt de grote overlap van de verdeling voor stotteraars en controle sprekers op. Op zich lijkt dit tegenstrijdig aan de hypothese. Als een stotteraar even variabel is als de normale sprekers waarom zou die hogere variabiliteit dan te maken hebben met de oorzaak van een stottermoment? Er zijn argumenten om op grond hiervan de hypothese niet direct te verwerpen. Ten eerste zal de spreekconditie: hardop voorlezen niet voor alle stotteraars even problematisch zijn. Het is duidelijk dat allerlei externe factoren de mate van stotteren beïnvloeden en voorlezen is zeker niet voor alle stotteraars belastend. Ten tweede is al eerder aangegeven dat in de output van het spraakproductiesysteem niet alleen de variabiliteit van het motorische subsysteem aanwezig zal zijn, maar alle variabiliteit uit het gehele systeem. De andere bronnen van variabiliteit zijn 'confounding' bronnen en alleen het statistisch significante verschil tussen de groepen telt. De resultaten van genoemde onderzoeken kunnen dus nog steeds als ondersteuning van de motorische variabiliteitshypothese beschouwd worden.

Een tweede belangrijk aspect dat als ondersteuning van deze hypothese kan gelden

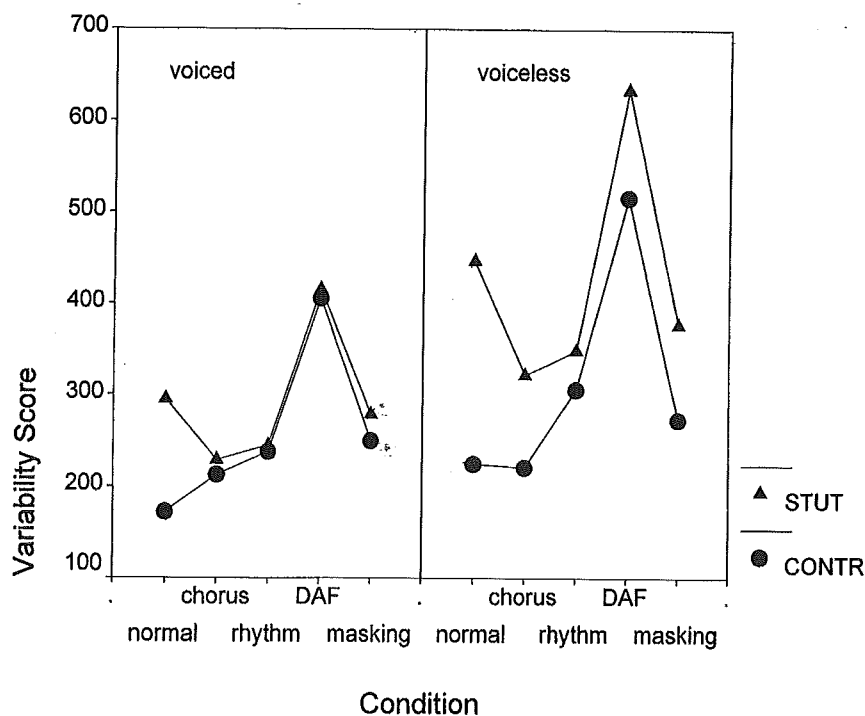
is het feit dat de hogere duurvariabiliteit bij de stotteraars voor alle segmenten geldt. Er zijn niet, eventueel per stotteraar verschillende, segmenten die bijzonder variabel zijn terwijl het merendeel van de andere segmenten een normale duurvariabiliteit hebben. Bijzonder variabele segmenten zouden beschouwd kunnen worden als onhoorbaar stottergedrag. Indien een histogram van de standaard deviatie van alle segmenten per groep wordt gemaakt, blijkt dat het histogram van de stotteraars als geheel is uitgerekt naar hogere waarden en niet alleen een langere staart heeft (Wieneke & Janssen 1987). Indien alle standaard deviaties van de stotteraars met een factor van 0.62 worden vermenigvuldigd blijkt het histogram van de stotteraars vrijwel gelijk aan dat van de controle sprekers. Er is dus sprake van een systematisch verhoogde duurvariabiliteit bij stotteraars.

### *Effect spreekcondities op duurvariabiliteit*

Een tweede experimenteel resultaat dat door de duurvariabiliteitshypothese wordt voorspeld is een vermindering van de duurvariabiliteit als de frequentie van stottermomenten afneemt. Omdat in vloeiende spraak gemeten moet worden, betekent dit dat de variabiliteit moet afnemen onder spreekcondities die de kans op stotteren verminderen.

In een experiment van Janssen & Wieneke 1987 werd dit getest voor de condities meelesen, ritmisch lezen, DAF en maskerende ruis. De resultaten zijn weergegeven in figuur 2. Daarin is per groep weergegeven de gemiddelde waarde van een maat voor de intra-individuele duurvariabiliteit voor de 5 spreekcondities. Onder de hardop leesconditie verschilt de variabiliteit significant tussen stotteraars en controle sprekers, maar onder de stotterreducerende condities is er geen verschil meer tussen beide groepen. Bij de stotteraars daalt inderdaad de variabiliteit bij meelesen, maar bij de andere condities stijgt de variabiliteit. Dit is alleen in overeenstemming met de hypothese onder de aanname dat in die condities de toegenomen variabiliteit afkomstig is uit delen in het spraakproductiesysteem die de stabiliteit van het spreekproces niet aantasten. Omdat dezelfde verhoging van de variabiliteit wordt gevonden bij de controle sprekers die verder geen instabiliteit vertonen, is dit aannemelijk.

In stottertherapieën is verlangzaming van het spreektempo een bekend element om tot vloeiende spraak te komen. Juist bij een lager tempo, dus langere segmentduren, zou de variabiliteit in het motorische systeem minder storend kunnen zijn. In een experiment van Wieneke & Janssen (1991) werd het spreektempo bij het uitspreken van een testzin met 20% verlaagd of verhoogd, gesteund door een auditief voorbeeld. In figuur 3 is het resultaat weergegeven voor stemhebbende en stemloze segmenten. De verdeling van de intra-individuele variabiliteit in een groep van 27 stotteraars en 17 controle sprekers is voor verschillende spreekcondities weergegeven. Bij de normale snelheid aan begin en eind van het experiment bleken de stotteraars weer significant variabelere dan de controle spreker. De verandering van het spreektempo had echter weinig effect, hoewel de significantie van het verschil verminderde. Na berekening van de centrale timing variantie bleek alleen voor de stemhebbende segmenten bij het lage spreektempo er geen significantie meer te zijn voor het verschil tussen stotteraars en controle sprekers. Jäncke (1994) vond eveneens weinig effect van het spreektempo op de variabiliteit van de VOT in 3 syllable lange woorden. De intra-individuele varia-

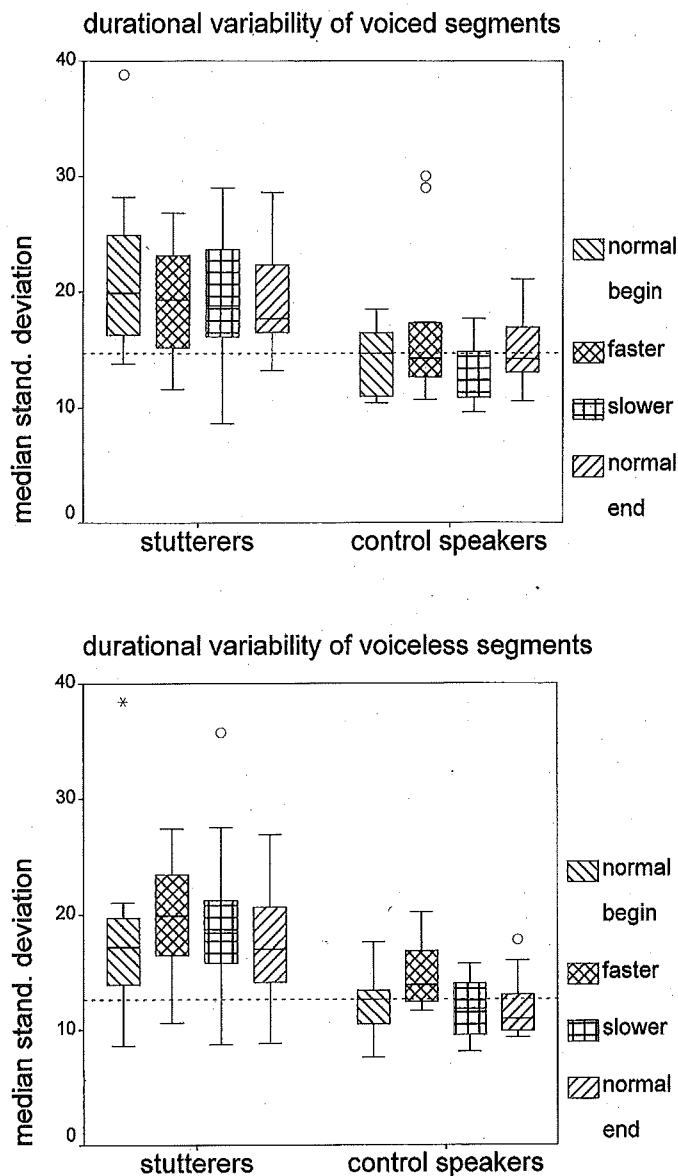


Figuur 2. Gemiddelde duurvariabiliteit (Variability score = zinsgemiddelde standaard deviatie gecorrigeerd voor segmentduur x 100) voor 16 stotteraars (STUT) en 16 controle sprekers (CONTR) bij hardop voorlezen (normal) en in de stotter reducerende condities: meelesen (chorus), ritmisch lezen (rhythm), DAF en maskerende ruis (masking). De resultaten zijn apart weergegeven voor stemhebbende (voiced) en stemloze segmenten (voiceless).

tie van de VOT en van de klinkerduur verschilde niet significant voor het langzame en snelle spreektempo.

In het algemeen daalt de stotterfrequentie als een stotteraars herhaald dezelfde tekst voorleest. Hoewel het mechanisme dat hieraan ten grondslag ligt nog niet geheel duidelijk is (Max & Caruso 1998), kan men wel stellen dat de kans op stotteren vermindert. Als de in de inleiding gestelde hypothese het mechanisme beschrijft dat stoters veroorzaakt, dan zou de verwachting zijn dat de duurvariabiliteit in de loop van de herhalingen daalt. In een experiment met 8 blokken van 10 herhalingen van een aantal zinnen werd geen daling van de variantie van de duur van de stemhebbende en de stemloze segmenten in de zinnen gevonden (Bos, 1992).

In het algemeen blijkt dus dat onder stotterreducerende condities het verschil tussen stotteraars en controle sprekers verdwijnt. Mits de aanname gemaakt wordt dat conditie gebonden variabiliteit hier een rol speelt, kunnen deze resultaten als ondersteuning van de motorische variabiliteitshypothese opgevat worden. Experimenten met verlaging van spreektempo en adaptatie geven echter geen ondersteuning.



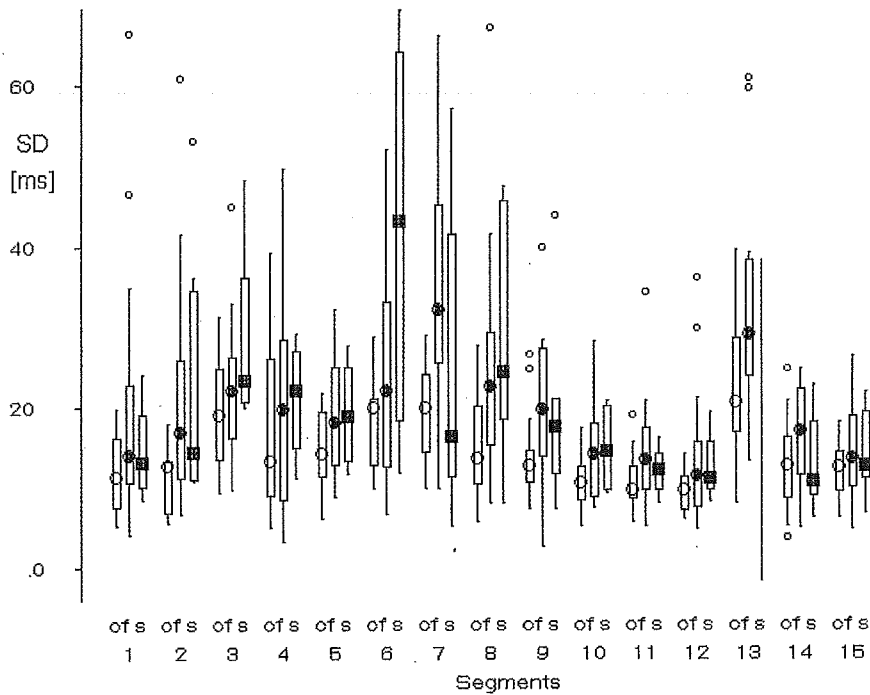
**Figuur 3.** Boxplots van de intra-individuele variabiliteit (mediane SD van de segmentduren in de testzin) in een groep van 27 stotteraars en 17 controle sprekers voor de spreekcondities: hardop lezen aan begin van het experiment (normal begin), 20% langzamer (slower), 20% sneller hardop lezen dan normaal (faster) en hardop lezen na afloop van het experiment (normal end). De horizontale lijn in de rechthoek is de mediane waarde per groep, de rechthoek geeft een maat voor de spreiding binnen de groep (IQR). Als referentie is een stippellijn getrokken door de mediane waarde van de eerste hardop lezen conditie van de controle sprekers. De resultaten zijn apart weergegeven voor stemhebbende (voiced) en stemloze segmenten (voiceless).



### ***Relatie met stottermomenten***

Stotteraars, die veel stottermomenten produceren, zouden volgens de duurvariabiliteitshypothese een hogere variabiliteit moeten hebben dan stotteraars met minder stottergedrag en uiteraard dan controle sprekers. Immers als de variabiliteit in het motorische systeem hoog is, zal volgens die hypothese de kans op ontregeling van de spraak groter zijn. De klinisch bepaalde stotterernst is overigens niet gelijk aan de stotterfrequentie in een experiment. Ten eerste, kan de experimentele spreekconditie voor de individuele stotteraars juist niet belastend zijn en geen stotters opwekken. Ten tweede zal niet altijd de ernst van het stotteren tot uiting komen in een hoge frequentie van stottermomenten. Bij de interpretatie van een experiment moet men voorzichtig zijn, indien stotterernst als parameter wordt gebruikt en niet de stotterfrequentie tijdens het experiment.

In de literatuur zijn wel vermeldingen van langere duurmaten zoals de Laryngeal Reaction Time (Watson & Alfonso 1987) en langere duur van spraaksegmenten (Dembowski & Watson 1991) met toenemende stotterfrequentie, maar de variabiliteit wordt daarin niet genoemd. Alfonso, Story & Watson (1987) melden toename van de variabiliteit van relatieve timing met stotterfrequentie voor 1 controle spreker, 1 lichte en 1 ernstige stotteraar. In een artikel van McClean, Levandowski & Cord (1994) wordt gerapporteerd over 21 lichte en 10 ernstige stotteraars met of zonder therapie. Gedurende het herhaald uitspreken van een korte testzin werden de positie van de boven- en onderlip, de kaak en de trilling van de stembanden gemeten. De variabiliteit van intervallen in het signaal van dezelfde en verschillende articulators werden bepaald over alle vloeiende herhalingen (18 tot 90) van elke proefpersoon. In 4 van de 6 bepaalde variabelen bleek er een zwakke maar significante *negatieve* correlatie te zijn tussen de gemeten variabiliteit en de stotterfrequentie, gemeten tijdens het uitspreken van de testzin ( $R$  van  $-0.36$  tot  $-0.45$ ). Dat wil zeggen, stotteraars met veel stottermomenten zeker niet variabelere waren dan die met weinig stottermomenten. Dit is tegenstrijdig met de motorische variabiliteitshypothese. Deze experimentele bevinding werd bevestigd in een experiment van Eijken (1996). De duurvariatie van de vloeiende segmenten werd bepaald voor stotteraars die in 20 herhalingen van de testzin niet stottervrij waren. Hun score op de schaal van Riley lag boven die van de stotteraars die wel 10 vloeiende zinnen produceerden. De vergelijking van de intra-individuele duurvariabiliteit van de groepen stotteraars en controle sprekers wordt per segment weergegeven in figuur 4. Vergelijken we de medianen van de 3 groepen dan is het duidelijk dat de vloeiende segmenten van de in het experiment stotterende stotteraars gemiddeld niet variabelere zijn dan die van de in het experiment stottervrije stotteraars. Bij statistische analyse onderscheidt alleen de laatste groep stotteraars zich van de controle sprekers, maar niet de eerste groep stotteraars. De segmenten met een hoge variabiliteit bleken niet overeen te komen met de segmenten waarop de meeste stottermomenten werden gevonden (segmenten 2, 6, 10 en 13). Ook segmenten in de buurt van de plaatsen waar stotters voorkwamen onderscheidden zich niet van andere segmenten door een significant hogere duurvariabiliteit. Deze feiten zijn niet in overeenstemming met de simpele motorische variabiliteitshypothese.



Figuur 4. Boxplots van de intra-individuele variabiliteit per vloeiend uitgesproken segment in een zin voor een groep van 9 stotteraars die tijdens het uitspreken van de zin stotTERS produceerden (S; mediaan = gevuld vierkant), 24 stotteraars die de zin geheel vloeiend uitspraken (F; mediaan = gevulde cirkel) en 17 controle sprekers (C; mediaan = open cirkel). De zin bevat (fonetisch) 8 stemhebbende (oneven nummers) en 7 stemloze segmenten (even nummers). (De open cirkeltjes in de boven helft van de figuur zijn zg extreme waarden)

## Discussie

Hoewel de experimenten gedeeltelijk de in de inleiding geformuleerde hypothese ondersteunen, kan gesteld worden dat, als men alle resultaten in beschouwing neemt, er géén experimentele ondersteuning is voor de motorische variabiliteitshypothese. Men zou nog kunnen beweren dat niet een verhoogde variabiliteit de kans op stotteren vergroot, maar een verlaging van de drempel voor vloeiendheid. Binnen de gestelde hypothese zou gedacht kunnen worden aan een algemeen verhoogde gevoeligheid van perifere motorische reflexen waardoor een kleinere aan spraak gerelateerde verhoging tot een instabiel systeem leidt. Er werd echter gevonden dat de verdeling van de duurvariabiliteit in de vloeiende spraak van de stotteraars die bleven stotteren min of meer tussen die van de controle sprekers en de stotteraars die vloeiend waren tijdens het experiment lag. Een verlaagde drempel in de eerste groep lijkt daarom geen aantrekkelijke verklaring omdat er in dat geval een positieve correlatie zou zijn tussen variabiliteit en drempelwaarde. Een stotteraar met een lagere drempel zou ook een lagere duurva-

riabiliteit moeten hebben en omgekeerd. Bovendien bleek experimenteel dat de stotterreducerende conditie met het sterkste effect: meelesen een daling van de variabiliteit veroorzaakte. Ook dit strookt niet met de gedachte dat een verschuiving van een drempel voor vloeiendheid de bepalende factor is. Het is waarschijnlijker dat een ander proces verantwoordelijk is voor het ontstaan van stottergedrag in spraak. De gemeten verhoogde duurvariabiliteit in de vloeiende spraak van stotteraars is dan niet een uiting van het mechanisme dat een stottermoment veroorzaakt, maar het bijproduct van andere mechanismen.

Het feit dat de duurvariabiliteit lager is indien de stotteraar stottert dan als de stotteraar vloeiend spreekt, is tegenstrijdig aan wat men zou verwachten. Het blijkt echter dat er meer voorbeelden zijn waarin de variabiliteit juist afneemt in een situatie waarin het systeem abnormaal functioneert.

Voorbeelden uit de pathologie waarbij vergelijkbare resultaten worden gevonden zijn hartfalen en epileptische aanvallen. Het mechanisme hierachter is nog onbekend, maar er is een overeenkomst met de eigenschappen van een artificieel neurale netwerk. Uitgaande van een model voor de sturing van een arm, kwam Kalveram (1993) tot de conclusie dat een verminderde variabiliteit van de output gepaard kan gaan met een grotere kans op instabiliteit. In zijn neurale netwerkmodel voor motorische sturing wordt verondersteld dat er een inverse afbeelding van het perifere spierzenuwstelsel aanwezig is. Dit inverse systeem kan de eigenschappen van het motorische deel leren door terugkoppeling van de gevolgen van willekeurige motorische stuursignalen. Bij spraak moet men dan denken aan de geluidjes die als baby worden gemaakt ("babbling", Guenther 1994). Indien dit leerproces wordt verstoord, bijvoorbeeld door te veel ruis, kan een toestand ontstaan waarin bepaalde terugkoppelingen te sterk worden, die dan de aanleiding kunnen zijn van onverwacht gedrag (Kalveram & Natke 1997). In een andere poging om met artificiële neurale netwerken stotterend spreken te simuleren (Braamhof, Coolen, Wieneke & Janssen 1991) kwam ook variabiliteit niet als belangrijke factor naar voren. Ook in deze simulatie bleek dat de omstandigheden tijdens de leerfase belangrijk zijn voor het ontstaan van afwijkingen die overeenkomsten vertonen met de verhoogde variabiliteit, zoals bij stotteraars wordt gevonden. Het lijkt daarom de moeite waard om verder onderzoek te doen naar de leerfase van spraak met behulp van artificiële neurale netwerk modellen.

Er zijn een aantal bijzonderheden bij het leren van spraak. Eén daarvan is het feit dat de motorische output (de vorm en bewegingen van de mond-keelholte en de stembanden) niet het uiteindelijk gewenste doel (het akoestische signaal) is. Er is een redundantie in de motorische realisatie, er zijn meerdere mogelijkheden om een fonetisch gewenst doel te bereiken ("motor equivalence"). Dit geeft mede aanleiding tot een grote variatie in spraakbewegingen en grote verschillen tussen normale sprekers. Een andere bijzonderheid is dat het gewenste doel: de spraakklank in principe een herinnerd doel is op grond van de perceptie van de spraakklanken uit de omgeving. Er is daardoor geen directe vergelijking mogelijk tussen de zelf geproduceerde klank en de gewenste klank, zoals dat wel mogelijk is in een bewegingstaak waarbij eigen beweging en ruimtelijk doel visueel vergeleken kunnen worden. Tenslotte ligt het spreektempo van een volwassen spreker hoog in relatie tot de mogelijkheden van het spraak-

motorische systeem. De spraakbewegingen van de articulatoren liggen mechanisch gezien in de buurt van wat maximaal haalbaar is. Bij verhoging van het spreektempo kan men reorganisatie in de spraakbewegingen waarnemen, zoals het in elkaar vloeien van bewegingen (Wieneke 1991). Dit suggereert dat in de sturing van spraakbewegingen mechanismen gebruikt worden die de efficiëntie proberen op te voeren. De mogelijkheid dat een wijziging van stuurstrategie een moeilijkheid is bij de spraakontwikkeling van de 'eerste' spraak naar de volwassen spraak is reeds eerder gesuggereerd door Kalveram & Natke (1997), Van Lieshout, Hulstein & Peters (1996) en Van Riper (1982). Voor stotteraars zou deze wijziging van stuurstrategie dan een struikelblok zijn.

### **Conclusie**

Alhoewel in vele onderzoeken een verhoogde variabiliteit in de 'timing' van de vloeiende spraak bij stotteraars wordt gevonden, moeten we concluderen dat de verhoogde duurvariabiliteit vermoedelijk niet een veroorzakende rol speelt. De afwijking lijkt een bijproduct en niet het mechanisme dat een stottermoment veroorzaakt.

### **Summary**

In literature some support can be found for the hypothesis that increased variability in the motor part of the speech production system causes the production of a stutter. However, in a final experiment, results were found that are contradictory to the expectation following from the hypothesis. Therefore, hypothesis cannot be accepted. The increased variability in speech related variables, that is found in stutters' speech, will be the result of an other mechanism.

### **Noten**

<sup>1</sup> Deze tekst is gebaseerd op een voordracht die werd gehouden op het symposium 'Stotteren: van leerprincipes tot genetische aspecten' ter gelegenheid van het afscheid van Peggy Janssen van de afdeling Foniatrie van het UMC.

<sup>2</sup> Het moge duidelijk zijn dat de intra-individuele variabiliteit niet hetzelfde is als de groepsvariabiliteit waarbij de standaard deviatie over de resultaten van verschillende individuen wordt bepaald.

### **Literatuur**

- Alfonso, P.J., Story, R.S. & Watson, B.C. (1987) Spatial-temporal variability of tongue-jaw movements in stutterers' fluent speech. *ASHA*, 29-10, 159. Paper presented at the Annual Convention of the American Speech-Language-Hearing Association.
- Bos, G. (1992) Adaptatie in de duurvariabiliteit van spraaksegmenten bij stotteraars. *Intern rap-*

- port 92-5, Foniatrie, Universiteit Utrecht.
- Braamhof, M., Coolen, T., Wieneke, G. & Janssen, P. (1991) Can neural networks explain dysfluent speech? In: H.F.M. Peters, W. Hulstijn & C.W. Starkweather (Eds). *Speech Motor Control and Stuttering*. (pp. 325-331) Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Caruso, A.J., Abbs, J.H., Gracco, V.L. (1988) Kinematic analysis of multiple movement coordination during speech in stutterers. *Brain*, 111, 439-455.
- Cooper, M.H., & Allen, G.D. (1977). Timing control accuracy in normal speakers and stutterers. *Journal of Speech and Hearing Research*, 20, 55-71.
- DeNil, L.F., & Brutten, G.J. (1991). Voice onset times of stuttering and nonstuttering children: The influence of externally and linguistically imposed time pressure. *Journal of Fluency Disorders*, 16, 143-158.
- Dembowski, J. & Watson, B.C. (1991) Preparation time and response complexity effects on stutterers' and nonstutterers acoustic LRT. *Journal of Speech and Hearing Research*, 34, 49-59.
- Eijken, E. (1996) Duurvariabiliteit van spraaksegmenten bij ernstige stotteraars. *Intern Rapport 96-1*, Foniatrie, Universiteit Utrecht.
- Guenther, F.H. (1994) A neural network model of speech acquisition and motor equivalent speech production. *Biological Cybernetics*, 72, 43-53.
- Jäncke, L. (1994). Variability and duration of voice onset time and phonation in stuttering and nonstuttering adults. *Journal of Fluency Disorders*, 19, 21-37.
- Janssen, P. (1994) De etiologie van stotteren: Theorieën, modellen, hypothesen en speculaties. *Stem-, Spraak- en Taalpathologie*, 3, 3-41.
- Janssen, P., Wieneke, G. & Vaane, E. (1983) Variability in the initiation of articulatory movements in the speech of stutterers and normal speakers. *Journal of Fluency Disorders*, 8, p. 341-358.
- Janssen, P. & Wieneke, G. (1987) The effects of fluency inducing conditions on the variability in the duration of laryngeal movements during stutterers' fluent speech. In H.F.M. Peters, W. Hulstijn (Eds.), *Speech Motor Dynamics in Stuttering*, (pp. 337-344). Wien: Springer Verlag.
- Kalveram, K.T., & Jäncke, L. (1989). Vowel duration and voice onset time for stressed and nonstressed syllables in stutterers under delayed auditory feedback condition. *Folia Phoniatrica*, 41, 30-42.
- Kalveram, K.T. (1993) A neural-network model enabling sensorimotor learning: Application to the control of arm movements and some implications for speech-motor control and stuttering. *Psychological Research*, 55, 299-314.
- Kalveram, K.T., Natke, U. (1997) Stuttering and misguided learning of articulation and phonation, or why it is extremely difficult to measure the physical properties of limbs. In: W. Hulstijn, H.F.M. Peters and P.H.H.M. Van Lieshout (Eds), *Speech Production: Motor Control, Brain Research and Fluency Disorders*. Amsterdam, Elsevier.
- Nudelman, H.B., Herbrich, K.E., Hoyt, B.D. & Rosenfield, D.B. (1989) A neuroscience model of stuttering. *Journal of Fluency Disorders*, 14, 399-427.
- Max, L. & Caruso, A.J. (1998) Adaptation of stuttering frequency during repeated readings: Associated changes in acoustic parameters of perceptually fluent speech. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 41, 1265-1281
- McClellan, M.D., Levandowski, D.R. & Cord, M.T. (1994) Intersyllabic movement timing in the fluent speech of stutterers with different disfluency levels. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 1060-1066.
- Starkweather, C.W. (1995) A simple theory of stuttering. *Journal of Fluency Disorders*, 20, 91-116.

- Van Lieshout, P.H.H.M. (1995) Motorplanning and articulation in fluent speech of stutterers and nonstutterers. *Proefschrift*, Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Van Lieshout, P.H.H.M., Hulstijn, W., Peters, H.F.M. (1996) Speech production in people who stutter: Testing the motor assembly hypothesis. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39, 76-92.
- Van Riper C. (1982) *The nature of stuttering*. (2nd edition). Englewood Cliffs NJ: Prentice-Hall.
- Watson, B.C., & Alfonso, P.J. (1987) Physiological bases of acoustic LRT in nonstutterers, mild stutterers, and severe stutterers. *Journal of Speech and Hearing Research*, 30, 434-447.
- Wieneke, G.H. (1991) Articulatiebewegingen bij normale sprekers. *Logopedie en Foniatrie*, 63, 102-106
- Wieneke, G. & Janssen, P. (1987) Duration variations in the fluent speech of stutterers and nonstutterers. In H.F.M. Peters, W. Hulstijn (Eds.), *Speech Motor Dynamics in Stuttering*, (pp. 345-352). Wien: Springer Verlag.
- Wieneke, G., & Janssen, P. (1991). Effect of speaking rate on speech timing variability. In H.F.M. Peters, W. Hulstijn & C.W. Starkweather (Eds.), *Speech Motor Control and Stuttering* (pp. 325-331) Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Wieneke, G., Janssen, P. & Brutten, G.J. (1995) Variance of central timing of voiced and voiceless periods among stutterers and nonstutterers. *Journal of Fluency Disorders*, 20, 171-189.
- Zimmerman, G.N. (1980). Stuttering: A disorder of movement. *Journal of Speech and Hearing Research*, 23, 122-136.

## Bijlage

Om een schatting maken van de variabiliteit die ontstaat op een perifeer niveau en de variabiliteit die afkomstig is uit een centraal timingsmechanisme kan voor aaneengesloten segmenten in een zin de volgende procedure gebruikt worden (Wieneke, Janssen & Brutten 1995).

Er wordt verondersteld dat de duur  $T_{ij}$  van een individueel segment  $i$  in de herhaling  $j$  voldoet aan de volgende model:

$$T_{ij} = \tau_i * (1 + \rho_j) + \pi_{ij} - \pi_{i-1,j} + \epsilon_{ij}$$

waarin  $\tau_i$  = theoretische duur van segment  $i$

$\rho_j$  = relatieve spreesnelheidsvariatie

$\pi_{ij}$  = afwijking in duur van segment  $i$  door verschuiving van de grens tussen de segmenten  $i$  en  $i-1$  in de herhaling  $j$

$\epsilon_{ij}$  = variatie van segment  $i$  in herhaling  $j$  door variatie in centrale timing

Door de correlatie van de duur van een segment met de zinsduur en met het voorgaande en volgende segment te berekenen kan een schatting worden gemaakt van de variantie behorende bij de variatie van spreesnelheid ( $\sigma_\rho^2$ ), klankovergangen ( $\sigma_\pi^2$ ) en de resterende variantie ( $\sigma_\epsilon^2$ ). Deze resterende variantie vertegenwoordigt dan de variabiliteit van het mechanisme in het centrale zenuwstelsel dat de duur van de klanken regelt (centrale timing variantie). Daarbij geldt de vooronderstelling dat dit tijd afmetende proces voor iedere klank ge'reset' wordt, zodat er geen interactie is tussen opeenvolgende klanken wat wel het geval is voor een verschuiving van de grens tussen twee spraaksegmenten.