

Onderzoek naar de verwerking van taal met behulp van Event-Related Potentials

L.A. Stowe
A.A. Wijers

Algemene Taalwetenschap & Experimentele en Werkpsychologie
Rijksuniversiteit Groningen

Verschillende disciplines houden zich bezig met de vraag hoe taal ontleed kan worden in termen van deelfuncties en of er een relatie is met de wijze waarop de hersenen zijn georganiseerd. Deze vakgebieden zijn theoretische linguïstiek, neurolinguïstiek en functionele neuroanatomie. Het huidige artikel laat zien hoe event-gerelateerde potentialen (ERPs) gebruikt kunnen worden om verschillende deelfuncties te onderscheiden, om het tijdsverloop van deze deelfuncties vast te stellen, en deze gegevens te relateren aan taalkundige modellen gebaseerd op gedragsgegevens. We bespreken hoe ERP-gegevens dergelijke modellen kunnen bevestigen of juist falsifiëren. Ook zullen we ingaan op de problemen en beperkingen die op kunnen treden bij de interpretatie van ERP-gegevens. Ten slotte laten we zien hoe we met ERP's onderzoek kunnen doen naar vragen die betrekking hebben op de interactie tussen verschillende deelprocessen. We tonen aan dat ERP's potentieel een zeer krachtig onderzoeksinstrument vormen om gedragsmodellen en modellen van hersenfunctie onderling te relateren.

1. Inleiding

Bij taalverwerking en taalproductie zijn een aantal verschillende (onderling gerelateerde) representatienivo's en nivo's van informatieverwerking te onderscheiden. Fonetische verwerking leidt tot toegang tot interne woordrepresentaties. Deze representaties omvatten informatie als syntactische categorie die in combinatie met morfologische informatie (grammatikale overeenkomst) en woordvolgorde gebruikt worden om een syntactische representatie op te bouwen. Op basis van de syntactische structuur kunnen de betekenissen van de individuele woorden gecombineerd worden tot een semantische representatie die op haar beurt samengevoegd wordt met contextuele informatie (fysische context, de context binnen het gesprek) tot een volledige geïnterpreteerde uiting. Op grond van deze gedachtengang ligt het voor de hand te

Correspondentieadres: Dr. L.A. Stowe, Postbus 716, 9700 AS Groningen
E-mail: L.A.Stowe@let.rug.nl

veronderstellen dat deze processen een intrinsieke tijdsvolgorde hebben: een woord kan bv. niet worden geïdentificeerd voordat de geluiden althans gedeeltelijk geanalyseerd zijn.

In zijn algemeenheid gaat het dus om de volgende vragen: Welke representatienivo's kunnen we onderscheiden? Welke functioneel te onderscheiden processen hangen er samen met de verschillende representatienivo's? Wat is het tijdsverloop van deze mentale processen, hoe zijn ze onderling (al dan niet) afhankelijk en hoe wisselen ze onderling informatie uit? Dit soort vragen komen we zowel tegen bij theorieën over de structuur van taal als bij theorieën over de functionele anatomie van de hersenen. Zowel taaltheorie als neurolinguïstiek gaan uit van een modulaire benadering van de organisatie van taal en de hersenen. Een complexe taak blijkt te worden opgelost door haar op te delen in eenvoudiger deeltaken, die door verschillende delen van de hersenen worden uitgevoerd. Er is dus sprake van complexe interacties tussen verschillende hersengebieden die onderling verbonden zijn in een "grootschalig neurocognitief netwerk" (Mesulam, 1990).

Het onderzoek richt zich op het identificeren en lokaliseren van de verschillende deelfuncties van de taal. Daarnaast is het van groot belang het tijdsverloop van de verschillende taalprocessen te onderzoeken. Zijn sommige deelfuncties eerder actief dan andere, en op welke tijdstippen wisselen verschillende deelfuncties informatie uit? Het bepalen van "Event-gerelateerde potentialen (ERP's)" is een methode die uiterst geschikt is om deze vragen te beantwoorden (zie sectie 2).

Recente "neuroimaging" studies hebben duidelijk gemaakt dat taaltheorie en hersenonderzoek elkaar uitstekend aanvullen en hebben belangrijke inzichten opgeleverd omtrent het type fundamentele vragen zoals hierboven geformuleerd. Neurobiologische onderzoeksmethoden maken aspecten van de informatieverwerking zichtbaar die op grond van gedragsonderzoek minder toegankelijk zijn. Anderzijds is een proces op neuronaal nivo beter te begrijpen indien er kennis bestaat omtrent de (taal- of psychologische) functie die het dient. In dit artikel bespreken we een aantal voorbeelden van dit type onderzoek en de kennis die het opleveren kan.

2. Neuroimaging Van Cognitieve Processen Met Behulp Van ERP's

Tot voor kort was het slechts mogelijk relaties tussen brein en geest vast te stellen aan de hand van effecten van hersenbeschadigingen. Alhoewel dergelijk neuropsychologisch onderzoek baanbrekende inzichten heeft opgeleverd, bv. omtrent de differentiatie van verschillende hersengebieden bij taal-productie (Broca, 1861) en taal-comprehensie (Wernicke, 1874), kleven er aanzienlijke beperkingen aan. Ten eerste is de precieze lokatie van de hersenbeschadiging dikwijls onbekend. Ten tweede is de beschadiging zelden beperkt tot een enkele anatomische structuur en/of enkele cognitieve functie. Ten derde kan perifere, diffuse schade optreden in gebieden verwijderd van de primaire kwetsuur (lesie), bv. t.g.v. hypometabolisme en/of zwellingen, welke eventueel een belangrijker rol kan spelen bij de cognitieve stoornis dan de lesie zelf.

Recentelijk echter is het arsenaal van onderzoeksmethoden om hersenen en hun functioneren in kaart te brengen sterk uitgebreid met de opkomst van moderne technieken als MRI (Magnetic Resonance Imaging), PET (Positron Emissie Tomografie), en bronanalyse van EEG (Electroencephalogram) en MEG (Magnetoencephalogram). Deze "neuroimaging" methoden maken het mogelijk op non-invasieve wijze het levende, intact functionerende brein van de mens te bestuderen. In dit artikel geven we voorbeelden van onderzoek waarbij het tijdsoplossend vermogen van hersenpotentialen aangewend wordt om vragen te beantwoorden die betrekking hebben op de tijdsvolgorde waarin verschillende taalprocessen worden uitgevoerd. Tevens zullen we zien hoe op grond van topografische informatie (d.w.z. de schedelverdeling) uitspraken gedaan kunnen worden omtrent de neurale oorsprong van ERP-componenten, en uiteindelijk omtrent de modulariteit van mentale functies en hersengebieden.

Het EEG is een macroscopische maat van de elektrische activiteit van de hersenen, zichtbaar gemaakt door elektroden op de schedel te plaatsen en het gemeten signaal te versterken. Het EEG bestaat uit ritmische potentiaalveranderingen. Een groot gedeelte van het EEG bestaat uit spontane hersenactiviteit, niet nader te herleiden tot voor de experimentator interessante factoren. Verborgen in het EEG bevindt zich echter hersenactiviteit die gerelateerd is aan sensorische, motorische of cognitieve processen. Deze event-gerelateerde potentialen worden geëxtraheerd uit het spontane achtergrond EEG door herhaalde aanbieding van een bepaalde soort stimulus (bv. woorden) en het middelen van de EEG-segmenten die in de tijd gesynchroniseerd zijn met deze stimulusgebeurtenissen.

De op deze manier bepaalde opgeroepen potentiaal reflecteert de hersenactiviteit die specifiek te maken heeft met processen van stimulusverwerking. Activiteit die niet aan deze processen gerelateerd is wordt weggemiddeld. De ERP is een continu variërende maat, waarmee de reactie van de hersenen op een bepaalde gebeurtenis van moment tot moment (bv. van ms. tot ms.) gevolgd kan worden. Hierdoor is de ERP bij uitstek geschikt om inzicht te krijgen in de organisatie en het tijdsverloop van processen die zich in kort tijdsbestek afspelen. De ERP bestaat uit een serie pieken die benoemd worden op grond van hun polariteit (positief versus negatief) en rangorde (bv. P1, N1, P2, etc.) of latentie in ms. (bv. P300). Het doel van de "cognitieve psychofysiologie" is het vaststellen van systematische verbanden tussen ERP-componenten en aspecten van informatieverwerking.

Bij onderzoek naar taal worden taakvariabelen gemanipuleerd die op grond van bepaalde taalverwerkingstheorieën geacht worden specifieke taalfuncties te beïnvloeden. Door ERP's te vergelijken die worden opgeroepen door verschillende typen taalstimuli en/of onder verschillende taakcondities kan het exacte moment en tijdsverloop bepaald worden waarop het gemanipuleerde taalproces een verschil in hersenactiviteit veroorzaakt. Bij alle verderop genoemde voorbeelden gaat het om het verwerken van zinnen. De gangbare aanpak hierbij is dat de zinnen woord voor woord, in een vrij hoog tempo (bv. 2 woorden/sec) worden aangeboden. Op deze manier is het mogelijk de hersenreactie te bepalen tijdens het verwerken van specifieke gedeelten van de zin.

Een ERP-component hoeft niet noodzakelijkerwijs samen te vallen met één bepaalde ERP-piek, maar wordt gedefinieerd als een bron van gecontroleerde, observeerbare variabiliteit. Een ERP-component kan bv. overlappen met meerdere ERP-pieken; een voorbeeld hiervan is de langzame negativiteit die wordt veroorzaakt door het splitsen van een hoofdzin (Gunter, Jackson en Mulder, 1995).

- (1) a. De kleine drenkeling werd door de held, **terwijl de grote menigte stond toe te kijken**, gered.
- b. **Terwijl de grote menigte stond toe te kijken**, werd de kleine drenkeling door de held gered.

Gunter et al (1995) vonden dat de golfvorm opgeroepen door de ingebedde bijzin (*terwijl de grote menigte stond toe te kijken*) negatiever was als de bijzin binnen de hoofdzin stond (zoals in 1a) vergeleken met bijzinnen die aan de hoofdzin voorafgaan (zoals in 1b). Deze langdurige negativiteit lijkt het gevolg te zijn van de noodzaak om informatie omtrent de hoofdzin langdurig actief in het geheugen te houden totdat het laatste werkwoord gelezen is.

3. Verschillende Taal-Gerelateerde ERP-Componenten

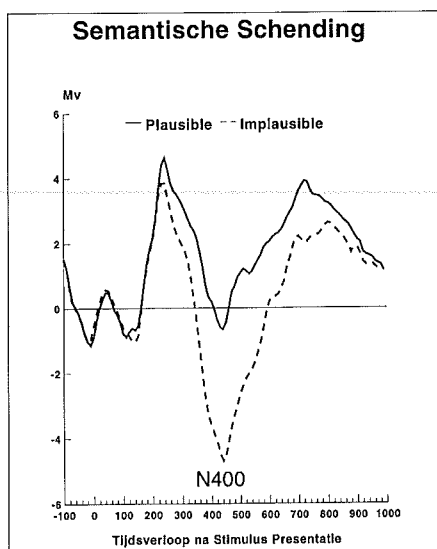
Om taalverwerking te kunnen relateren aan de functionele organisatie van het brein, is het noodzakelijk te overwegen welke verschillende soorten processen er optreden, wat het onderlinge tijdsverloop is van de processen, en op welke manier ze onderling afhankelijk zijn. ERP-gegevens verschaffen bij uitstek informatie die relevant is voor dit soort vraagstelling. We gaan hier in op onderzoek waarbij drie aspecten van ERP's informatie opleveren voor deze vraagstelling. Ten eerste kunnen we stellen dat wanneer twee processen in verschillende delen van de hersenen worden uitgevoerd, dat ze dan modulair zijn zowel in neuroanatomisch opzicht als in functioneel opzicht. Dit zullen we illustreren met een voorbeeld over het verschil tussen syntactische en semantische verwerking. Ten tweede is het tijdstip waarop verschillende vormen van informatie beschikbaar komen van belang. Informatie over de componenten en tijdsvolgorde van taalprocessen verschaft daarom buitengewoon waardevolle informatie omtrent de computationele structuur van taal. We zullen een voorbeeld bespreken gebaseerd op modellen die bepaalde voorkeuren voor grammaticale ontleding verklaren vanuit het tijdsverloop waarmee verschillende vormen van informatie beschikbaar komen. Ten derde kan onderzoek naar de interactie tussen verschillende componenten op neuronaal nivo informatie opleveren die betrekking heeft op de vraag naar interacties tussen verschillende verwerkingsnivo's. Hier zullen we weer vooral kijken naar potentiële interacties tussen syntactische en semantische verwerking.

De interesse in het gebruik van ERP's voor taalonderzoek kreeg een enorme opleving na een baanbrekende studie van Kutas en Hillyard (1980), die voor het eerst aantoonde dat een taalproces resulteerde in hersenactiviteit die in vrijwel alle opzichten verschilde van de hersenactiviteit opgeroepen door een algemener (niet

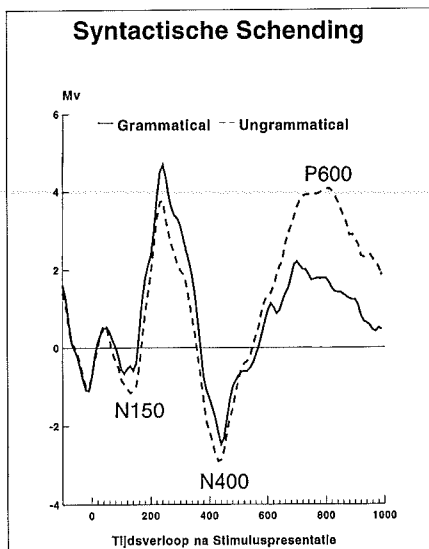
taal-gerelateerd) proces. Het was destijds bekend dat onverwachte (verassende) stimuli een late positieve golf oproepen (P300). Stimuli die een grote P300 oproepen zijn stimuli met een lage waarschijnlijkheid van optreden, met name wanneer de proefpersoon aandacht besteedt aan de stimuli omdat ze taakrelevant zijn. Kutas en Hillyard (1980) vergeleken zinnen die eindigden met een semantisch onverwachts of onjuist (incongruent) woord (2b) met congruente zinseinden (2a), in de verwachting dat semantisch incongruente (verrassende) zinseinden een P300 zouden oproepen.

- (2) a. De man at patat met **mayonnaise**.
- b. De man at patat met **trompetten**.
- c. De man at patat met **MAYONNAISE**.

In scherpe tegenstelling tot de verwachting riepen de incongruente zinseinden een negatieve golf op ten opzichte van de congruente zinseinden. Het verschil in hersenreactie begint op te treden na zo'n 300 ms en piekt na 400 ms (N400; zie Figuur 1 voor een voorbeeld, uit Gunter, Stowe en Mulder, 1997). Zinnen die op een niet-linguïstische manier onverwachts werden beëindigd, namelijk doordat ze in een grotere



Figuur 1. Zinnen beëindigd met een semantisch onverwacht woord (streepjeslijn) roepen een negativiteit op (semantische N400) t.o.v. zinnen die beëindigd worden door een semantisch verwacht woord. Uit Experiment 2 van Gunter et al (1997).



Figuur 2. Zinnen beëindigd met een syntactische schending (streepjeslijn) roepen een vroege negativiteit op (N150), gevolgd door een latere negativiteit (syntactische N400) en tenslotte een late positiviteit (P600), t.o.v. syntactisch correcte zinnen. Merk op dat de maximale positiviteit hier iets later optreedt dan na 600 ms. Uit Experiment 2 van Gunter et al (1997).

letter waren afgedrukt (2c), riepen de typische P300-response op. De verschillende polariteit van deze beide effecten toont dus alleen al aan dat het brein kwalitatief verschillend reageert bij een linguïstisch proces dan bij een niet-linguïstisch proces; dit zelfs alhoewel er in beide gevallen oppervlakkig gezien sprake lijkt te zijn van een vergelijkbare component (nl. verrassingswaarde). Het grote (polariteits) verschil in hersenreactie duidt op het bestaan van een taal-specifieke verwerkingsmodule. In het vervolg zullen we voorbeelden zien waarbij subtielere argumenten (tijdsverloop, schedelverdeling) opgevoerd worden om modulariteit vast te stellen.

Vanuit de linguïstische theorievorming wordt sterk de nadruk gelegd op het onderscheid tussen semantische verwerking en syntactische verwerking als twee verschillende, relatief onafhankelijke modulen. Dit kan bv. onderzocht worden door de hersenreactie op semantisch afwijkende maar grammaticaal correcte zinnen te vergelijken met de reactie van de hersenen op syntactisch incorrecte zinnen.

Neville, Nicol, Barss, Forster en Garrett (1991) waren de eersten die deze benadering in een ERP-studie volgden. Deze onderzoekers vonden met name een verschillend effect voor een semantische anomalie dan voor een grammaticale schending, waarbij een woord van een verkeerde syntactische categorie in de zin verscheen.

- (3) a. The scientist criticized Max's proof **of** the theorem.
 b. *The scientist criticized Max's **of** proof the theorem.

In (3b) is de woordvolgorde verkeerd, vergeleken met het grammaticaal correcte (3a), waarbij een voorzetsel in de verkeerde plek komt te staan; de lezer kan hier geen representatie opbouwen van een coherente zinsstructuur, omdat het voorzetsel op een positie staat waar hij qua categorie niet mag voorkomen. Dit leidde tot een eerste negatieve ERP-golf ongeveer 150 ms na stimuluspresentatie (d.w.z. het woord "of": in het hiernavolgende "N150" genoemd) en tot een tweede negatieve golf ongeveer 400 ms na stimulusaanbieding ("syntactische N400"). Deze negatieve golven werden gevolgd door een late positiviteit die ongeveer 600 ms na het grammaticaal incorrecte woord begon op te treden ("P600"; zie Figuur 2 voor een voorbeeld van effecten van syntactische schendingen; uit Gunter et al, 1997).

Er zijn drie manieren waarop de ERP's verschillen voor syntactische en semantische schendingen. In de eerste plaats roepen syntactische schendingen verschillende ERP-componenten op (N150, syntactische N400, P600), terwijl er bij semantische schendingen over het algemeen slechts sprake is van één ERP-component (de semantische N400). In de tweede plaats leidt een syntactische schending tot een vroeger ERP-effect dan een semantische schending (N150). Dit suggereert dat syntactische informatie vroeger beschikbaar is en eerder gebruikt wordt door de taalverwerker dan semantische informatie.

Tenslotte is de schedelverdeling van alle drie hierboven genoemde effecten van syntactische schendingen verschillend van die van het semantische schendingseffect. De neurale oorsprong van een bepaalde ERP-component kan soms gelokaliseerd worden op grond van zijn schedelverdeling. Een goed beeld van de schedelverdeling kan verkregen worden door het signaal op een groot aantal plaatsen op het hoofd te

meten (d.w.z. registraties met een groot aantal elektroden verdeeld over het hoofd). Bij bronlokalisatie wordt ervan uitgegaan dat de gemeten schedelverdeling verklaard wordt door een beperkt aantal bronnen van lokale elektrische activiteit in de hersenen. De accuraatheid en de zinvolheid van bronlokalisaties hangt echter af van een aantal basisaannamen (bv. dat er sprake is van lokale activiteit). De schedelverdeling van ERP-effecten levert echter ook belangrijke informatie op, zelfs indien deze niet voor bronlokalisatie gebruikt wordt. Indien twee ERP-effecten gegenereerd worden door dezelfde bronnen van hersenactiviteit, dan moeten ze noodzakelijkerwijs dezelfde schedelverdeling hebben. Indien twee manipulaties resulteren in ERP-effecten met verschillende schedelverdelingen dan is de conclusie dat we twee processen gemanipuleerd hebben die verschillende hersengebieden activeren.

Wanneer semantische en syntactische schendingen dezelfde hersengebieden activeren, zouden de ERP-effecten dus dezelfde schedelverdeling moeten hebben. De beide negatieve componenten opgeroepen door grammaticale anomalieën (N150 en syntactische N400) waren echter het grootst boven de linker hersenhelft (hemisfeer) en afwezig boven de rechter hemisfeer. Het effect van semantische anomalieën (semantische N400) was niet aanwezig boven de voorkant van de schedel zoals het geval was bij de syntactische negativiteiten, maximaal boven posterieure hersengebieden en groter boven de rechter hemisfeer. Dus, zelfs twee ERP-componenten die op ongeveer hetzelfde tijdstip na stimulusaanbieding optreden en dezelfde polariteit vertonen kunnen potentieel van elkaar onderscheiden worden. Er zijn echter redenen om voorzichtig te zijn al te sterke conclusies te trekken. Andere onderzoekers hebben zich afgevraagd of de schedelverdeling zoals die werd vastgesteld door Neville et al (1991) wel dezelfde is als die voor de negativiteiten gevonden voor andere vormen van syntactische negativiteiten (zie ook de discussie in sectie 5). Bovendien is geopperd dat de schedelverdeling van de N400 zoals die hier optreedt bij syntactische schendingen slechts lijkt te verschillen van die van de semantische N400 door overlap met de P600 (Osterhout, 1997).

Concluderend kunnen we stellen dat de morfologie, het tijdsverloop en de schedelverdelingen van de effecten van semantische en syntactische schendingen er alle op wijzen dat de twee typen informatie op verschillende wijzen door het brein verwerkt worden. Specifieker gesteld lijkt het erop dat de informatie op verschillende tijdstippen beschikbaar komt en dat syntactische en semantische processen zich in verschillende hersenmodulen afspelen. Dit verschil tussen semantische en syntactische schendingen is reeds meerdere malen gerepliceerd, voor verschillende typen syntactische schendingen. Echter niet alle drie de hierboven beschreven ERP-componenten treden op bij alle vormen van syntactische schendingen. In het hiernavolgende komen we terug op de implicaties hiervan.

4. Een Model Van Het Tijdsverloop Van Syntactische Verwerking

De gegevens die in voorgaande sectie werden behandeld tonen aan dat ERP-gegevens in potentie kunnen aantonen dat een bepaalde vorm van informatie eerder gebruikt

wordt dan een andere vorm van informatie. Het effect van een syntactische schending werd zichtbaar in de ERP 200 ms na presentatie van het woord. Daarom kunnen we veronderstellen dat op dat tijdstip de syntactische categorie van het woord blijkbaar beschikbaar is en gebruikt wordt om het woord te integreren met de rest van de zin. Een semantische schending, daarentegen, veroorzaakte pas een meetbaar ERP-effect na 300 ms, een aanzienlijke vertraging t.o.v. het syntactische effect. Dit soort gegevens suggereert dat ERP's relevant zijn om vraagstukken te beslechten omtrent wanneer verschillende typen informatie gebruikt worden bij het verwerken van zinnen. Deze informatie is van eminent belang voor een complete specificatie van een model van zinsverwerking (Fodor, Ni, Crain en Shankweiler, 1996). Deze gedachtengang is toegepast bij onderzoek waarin een specifiek model omtrent het tijdsverloop van syntactische verwerking getoetst werd.

4.1 Categorie voor subcategorisatie

Een woord is geassocieerd met zowel een categorie (bv. werkwoord of zelfstandig naamwoord) als een syntactische subcategorie (bv. is het een "het" of "de" zelfstandig naamwoord). Volgens één theorie, die wordt aangehangen door Frazier (1987), Mitchell (1987) en Friederici (1995), komen niet alle vormen van syntactische informatie die bij een woord horen op hetzelfde moment beschikbaar. Een zin als *"Although he heard his wife didn't appear to notice"* is moeilijk te ontleden omdat het niet duidelijk is waar de eerste bijzin eindigt (door het weglaten van een komma achter *heard*). Aanvankelijk lijkt het dat *wife* het object is van *heard*, maar dan is er geen subject voor de hoofdzin, wat een probleem oplevert bij het verwerken van de zin, totdat men zich realiseert dat *heard* in deze zin als een intransitief werkwoord wordt gebruikt. Toch hebben proefpersonen nog steeds problemen met het lezen van dergelijke zinnen zonder punctuatie, zelfs als het werkwoord vervangen wordt door een intransitief werkwoord als *arrive*, zoals in *Although he arrived his wife didn't appear to notice*. Alhoewel *arrive* een intransitief werkwoord is, en de lezer daarom genoeg informatie heeft om te weten dat *his wife* niet het object van *arrived* kan zijn, vertonen proefpersonen toch verlengde leestijden bij dit type zinnen. Frazier (1987) en Mitchell (1987) verklaren dit effect door aan te nemen dat de ontleder zich in eerste instantie alleen bewust is dat er een werkwoord is geweest, maar niet of het transitief of intransitief is. Normaal gesproken is in het Engels een zelfstandige naamwoord-frase die volgt op een werkwoord het lijdende voorwerp van dit werkwoord: dit is de frase structuur die in eerste instantie geconstrueerd wordt. Later, wanneer getracht wordt een semantische rol te vinden voor *his wife*, wordt het duidelijk dat de subcategorisatie of de argument structuur van het werkwoord niet correct is. Friederici (1995) concludeert dat categorie snel wordt herkend en gebruikt, maar dat andere, meer specifieke informatie behorende bij een woord zoals transitiviteit later wordt herkend en gebruikt.

Friederici (1995) beargumenteert dat ERP-gegevens het hierboven beschreven model, waarin alleen syntactische categorie aanvankelijk beschikbaar is, ondersteunen. Ze veronderstelt dat thematische en lexicale verwerking later uitgevoerd worden. Dit standpunt zou bevestigd worden door aan te tonen dat subcategorisatie informatie

minder snel gebruikt wordt tijdens het verwerken van zinnen dan categorie-schendingen. Rösler, Putz, Friederici en Hahne (1993) vergeleken een type schending van transitiviteit (4b) met grammaticale controle zinnen (4a).

- (4) a. Der Präsident wurde **begrüßt**.
b. Der Präsident wurde **befallen**.

Befallen is een intransitief werkwoord en kan geen object hebben, maar omdat het hier in de passieve constructie voorkomt, moet *der Präsident* het lijdend voorwerp zijn. Deze schendingen resulteerden in een negativiteit tussen 400 en 700 ms na aanbieding van het werkwoord. Deze negativiteit was breed verspreid over de schedel maar was groter boven de linker hemisfeer, en was groter boven frontale gebieden. Dit suggereert dat dit effect vergelijkbaar is met de tweede negativiteit (syntactische N400) zoals die werd opgeroepen bij syntactische categorie schendingen (Neville et al, 1991). Omdat de eerste hersenreactie op de subcategorisatieschendingen later komt dan de eerste reactie op categorieschendingen (N150, Neville et al, 1991), lijkt hiermee bevestigd dat subcategorisatie later beschikbaar komt dan de syntactische categorie.

4.2 Categorie voor morfologie

Andere soorten specifieke informatie, bv. naamval en werkwoordsvorm komen mogelijk ook later beschikbaar dan de syntactische categorie en hebben dus niet zo'n onmiddellijk effect op de opbouw van de syntactische structuur als categorie. Als casus niet onmiddellijk beschikbaar is voor de ontleder, dan wordt een zelfstandig naamwoordfrase of voornaamwoord aanvankelijk gevoegd in de meest waarschijnlijke syntactische structurele positie, ongeacht het feit dat de casus markering misschien niet klopt voor deze positie. Er is enige aanwijzing dat dit inderdaad het geval is. Duitse zinnen als (5b) zijn moeilijker te begrijpen dan zinnen als (5a), volgens onderzoek van Konieczny, Scheepers en Hemforth (1994).

- (5) a. **Der** hungrigen Fuchs bemerkte den fetten Hahn.
b. **Den** hungrigen Fuchs bemerkte der fette Hahn.

Een zinsstructuur waarin de eerste zelfstandige naamwoordfrase het subject is komt vaker voor dan de getopicaliseerde structuur in (5b). In zowel (5a) als (5b) past de categorie van het eerste woord bij deze frequentere structuur. Echter, de accusatieve vervoeging van *den* en *hungrigen* past niet bij deze structuur. Op vergelijkbare wijze is in het Nederlands een zin als *Dat meisje heeft hij al ontmoet* moeilijker om te lezen dan een zin met *hem* in dezelfde positie als *hij*, zoals *Dat meisje heeft hem al ontmoet* (Kaan, 1997; Lamers, 1995). In beide gevallen blijken proefpersonen het voornaamwoord (*hij*) aanvankelijk te ontleden als een object, om zich vervolgens later bewust te worden van het feit dat dit incompatibel is met de syntactische positie van het object, vanwege zijn casus markering. Op basis van deze nieuwe informatie (casus markering) moet nu de structuur die aanvankelijk was opgebouwd, geheranalyseerd worden.

Echter, op basis van de langere reactietijden in deze experimenten is nog niet zonder meer gezegd dat aanvankelijk de verkeerde syntactische structuur werd opgebouwd. De langere leestijden zouden ook kunnen betekenen dat proefpersonen meer tijd nodig hebben om de correcte syntactische structuur op te bouwen. Data uit ERP onderzoek naar de verwerking van zinnen die ongrammaticaal zijn op basis van morfologische informatie ondersteunen de verklaring waarin aangenomen wordt dat de verkeerde structuur in eerste instantie opgebouwd wordt. Münte en Heinze (1991) onderzochten het ERP-effect van naamval-schendingen (bv. de genitieve in plaats van accusatieve naamval voor een object zelfstandig naamwoord) en vonden een negativiteit in het 300-450 ms tijdsinterval. Wederom was dit effect groter boven frontale hersengebieden, terwijl de negativiteit opgeroepen door semantische schendingen in hetzelfde tijdsinterval groter was boven meer posterieure hersengebieden. Dit effect lijkt dus op de in de studie van Neville et al (1991) gevonden syntactische N400. Het effect treedt later op dan het N150 effect bij categorie schendingen; dus is het goed mogelijk dat categorie informatie gebruikt wordt voor casus informatie.

Een aantal andere studies naar syntactische schendingen hebben in zijn algemeenheid laten zien dat morfologische informatie later beschikbaar komt dan categoriale informatie. Osterhout en Mobley (1994) toonden aan dat overeenkomst-schendingen in zinnen als *The elected officials hopes...* resulteren in een negativiteit met een piek rond 400 ms na presentatie van het ongrammaticale woord. Dit effect werd gevolgd door een langdurige positiviteit die begon op te treden na 500 ms. De negativiteit was voornamelijk links frontaal zichtbaar. Deze twee effecten zijn blijkbaar vergelijkbaar met de syntactische N400 en P600 die opgeroepen werden bij categorie-schendingen in het experiment van Neville et al (1991). Het vroegste effect (N150) dat werd gevonden door Neville et al (1991) trad echter niet op in het experiment van Osterhout en Mobley (1994). Een en ander (zie ook Friederici et al, 1993) is consistent met de bewering dat specifieke syntactische informatie later beschikbaar komt dan syntactische categorie.

4.3 Potentiële problemen bij het gebruik van tijdsverloop data in ERP's

Tot hier zijn alle besproken gegevens consistent met een verwerkingsmodel waarin categoriale informatie tamelijk snel beschikbaar is, terwijl meer specifieke typen syntactische informatie, zoals subcategorisatie, casus en werkwoord overeenstemming, vertraagd beschikbaar komen. Echter, niet alle gegevens ondersteunen dit onderscheid. Gunter, Stowe en Mulder (1997) vonden bv. een vroege negativiteit in reactie op werkwoordsvorm schendingen (naast de latere syntactische N400 en P600), in tegenstelling tot de veronderstelling dat meer gedetailleerde lexicale syntactische informatie pas op een later tijdstip gebruikt wordt. Merk op dat de data in Figuur 2 afkomstig zijn uit Gunter et al (1997). In zinnen zoals hieronder werd dit effect aangetoond voor de incorrecte vervoegingen, en was beperkt tot een klein aantal elektroden.

- (6) a. De kleine drenkeling werd door de held **gered**.
 b. *De kleine drenkeling werd door de held **redden**.

Dit resultaat zou kunnen betekenen dat zowel preciezere informatie als categorie informatie even vroeg beschikbaar zijn. Het zou echter ook het gevolg kunnen zijn van een verwachting omtrent een bepaald visueel patroon, omdat in dit geval de syntactische context de verwachting oproept dat het werkwoord zal beginnen met *ge-*. Gegeven de vroege negatieve effecten die door Connolly en Phillips (1994) werden gevonden met auditief gepresenteerde woorden die niet voldeden aan het fonologische patroon van het woord met de hoogste cloze probabiliteit, kan deze verklaring niet uitgesloten worden. Het is echter ook mogelijk dat sommige vormen specifieke syntactische informatie eerder beschikbaar zijn dan wordt aangenomen door het model dat we tot nu toe besproken hebben.

Dit probleem is misschien algemener dan we zouden wensen. Een ERP effect op een bepaald tijdstip kan aangeven dat bepaalde informatie dan beschikbaar is, maar sluit niet uit dat de informatie ook al eerder beschikbaar was, zonder in meetbare ERP-activiteit te resulteren. Een noodzakelijke voorwaarde voor een meetbaar signaal is temporele synchroniciteit. D.w.z. dat elektrische activiteit in de hersenen slechts meetbaar is in het EEG indien grote groepen neuronen (geschat wordt minimaal 5000; in Peters en De Munck, 1990) op hetzelfde moment actief zijn. Men neemt aan dat ERP's vooral postsynaptische potentialen reflecteren. Tevens wordt aangenomen dat ERP's vooral activiteit laten zien van groepen neuronen met een parallelle oriëntatie in het hersenweefsel, zoals bv. de grote corticale pyramidale neuronen. In het EEG (en ERP's) komt dus slechts een gedeelte van de totale elektrische activiteit van de hersenen tot uitdrukking. Een belangrijke consequentie hiervan is het volgende. Wanneer een taakvariabele een ERP- effect veroorzaakt na een bepaald tijdstip, dan is dit een bovengrens voor het tijdstip waarop het gemanipuleerde proces een verschil in hersenactiviteit veroorzaakt. Het is immers mogelijk dat er al eerder een verschil in hersenactiviteit aanwezig is dat niet zichtbaar wordt in de ERP-meting (Rugg en Coles, 1995).

Het ontbreken van een vroeg ERP-effect kan dus het gevolg zijn van het feit dat de techniek niet in staat is het te meten. Vroege effecten kunnen ook onzichtbaar blijven door een gebrek aan power in het onderzoeksdesign. Osterhout en Holcomb (1992) vonden dat syntactisch afwijkende zinnen als *The stockbroker persuaded the man was ...* een late positiviteit opriepen, zichtbaar vanaf 600 ms na aanbieding van het woord dat de zin afwijkend maakte (e.g. *was*); ze vonden geen vroegere significante effecten (zie ook Hagoort, Brown en Groothuysen, 1993). Dit is waarschijnlijk de P600 die door Neville et al (1991) werd gevonden als het derde effect van syntactische anomalie. Gegeven het tijdsverloop van dit effect tegenover het semantische N400 effect zou men kunnen concluderen dat syntactische informatie pas na semantische informatie beschikbaar komt. Gegeven de eerder genoemde vroegere syntactische negativiteiten kan dit niet daadwerkelijk worden geconcludeerd, maar Osterhout en Holcomb vonden zelf geen significante vroegere effecten van syntactische schendingen, alhoewel er wel een niet-significante negativiteit zichtbaar was. Dit onderstreept het punt dat het nooit **helemaal** zeker is dat een effect toe te schrijven is aan het initiële gebruik van een bepaald type informatie.

4.4 *Tijdsverloop verschaft niet altijd het antwoord*

Tot nu toe hebben we ons geconcentreerd op voorbeelden waarbij ERP-evidentie werd aangewend om aan te tonen dat aanvankelijk de verkeerde syntactische ontleding van een zin wordt gekozen; dit omdat niet alle informatie reeds beschikbaar is op het moment dat de keuze tussen alternatieve structuren gemaakt wordt. Het zou aan de andere kant ook zo kunnen zijn dat beide typen informatie op hetzelfde moment beschikbaar zijn, maar dat één van beide een hogere prioriteit heeft bij het kiezen van de syntactische structuur. We zullen hiervan een voorbeeld bespreken.

In het Engels is het een ambiguïteit of een zelfstandig naamwoord volgend op een werkwoord hiervan het directe object is of juist het subject is van een ingebedde bijzin zoals in (7a). Zoals we zullen zien blijken drie typen informatie belangrijk te zijn bij het verwerken van zulke zinnen: syntactische disambiguering, subcategorisatie informatie en semantische informatie. De oplossing van deze ambiguïteit is afhankelijk van welk werkwoord er gebruikt wordt en van wat er volgt op de zelfstandige naamwoord frase, zoals geïllustreerd in (7).

- (7) a. The doctor **hoped** the patient was lying.
 b. *The doctor **forced** the patient was lying.
 c. The doctor **believed** the patient was lying.
 d. The doctor **charged** the patient was lying.

Een intransitief werkwoord als *hope* kan nooit gevolgd worden door een direct object. De zelfstandige naamwoord frase (*the patient*) moet daarom het subject zijn van een ingebedde bijzin. Een werkwoord als *force* kan nooit gevolgd worden door een ingebedde bijzin. De zelfstandige naamwoord frase kan in dit geval dus niet het subject zijn van een aanvullende bijzin; zin (7b) is dan ook ongrammaticaal. Na werkwoorden als *believe* en *charge* zijn beide structuren mogelijk. Echter, voor *believe* komt de ingebedde bijzin structuur vaker voor terwijl voor *charge* de transitieve structuur gangbaarder is (Connine, Ferreira, Jones, Clifton en Frazier, 1984). Het is aangetoond dat subcategorisatie informatie gebruikt wordt om de geschikte structuur te kiezen. Op grond van leestijdgegevens werd verondersteld dat subcategorisatie een rol speelt in een vroege fase van verwerking van dergelijke zinnen (Holmes, Stowe en Cupples, 1989), en ook bij het verwerken van andere typen ambigue zinnen (Clifton, Frazier en Connine, 1984; Stowe, Tanenhaus en Carlson, 1992). Osterhout, Holcomb en Swinney (1994) vergeleken de ERP's opgeroepen door zinnen als die in (7) op het woord *was*. Ze vonden dat in die condities waarin de proefpersonen reden hebben een direct object te verwachten (hetzij omdat dit de enige grammaticale mogelijkheid zou zijn zoals in (7b), hetzij omdat deze structuur vaker voorkomt zoals in (7d)), de ERP-golfvorm een duidelijk laat positief effect liet zien op het woord *was*. Dit effect was groter wanneer de zin ongrammaticaal was. De zinnen met een intransitief werkwoord dat nooit gevolgd kan worden door een direct object (7a) verschilde niet van de zinnen met werkwoorden die minder vaak gevolgd worden door objecten (7c). Deze verschillen suggereren dat voordat syntactisch disambiguerende informatie beschikbaar is, de proefpersonen gekozen hebben voor

één van de mogelijke structuren op basis van subcategorisatie informatie.

Alhoewel werkwoord informatie een belangrijke rol speelt bij het bepalen van de structuur die proefpersonen prefereren voor zinnen als die hierboven, speelt semantische informatie ook een rol. Zo toonden Garnsey, Pearlmutter, Myers en Lotocky (1996) overtuigend aan dat semantische informatie een rol speelt bij het disambigueren van tijdelijke ambiguïteiten van het type *The man concluded the speech/ bank was ...*. Omdat *bank* geen plausibel object is van *conclude*, wordt het gemakkelijker geanalyseerd als het subject van een ingevoegde bijzin dan *speech*. *Conclude* kan even goed gevolgd worden door een bijzin als door een lijdend voorwerp. Garnsey et al (1996) toonden echter ook aan dat wanneer het werkwoord in de context normaal gesproken gevolgd wordt door een bijzin en minder vaak door een lijdend voorwerp (*He believed ...*), het verschijnen van een plausibel object niet tot meer moeite met een bijzin leidt (*The jury believed the witness was lying*). Wanneer het werkwoord daarentegen normaal gesproken zou worden gevolgd door een direct object en minder vaak door een bijzin, dan is implausibiliteit van het zelfstandig naamwoord als object niet sterk genoeg om moeite met begrip van een bijzin te voorkomen (*The woman saw the scent was not popular*). Blijkbaar is het dus zo dat de subcategorisatie van het werkwoord de meest belangrijke rol speelt bij het kiezen van de syntactische structuur. Alleen wanneer het werkwoord geen sterke verwachting voor een structuur afdwingt, kan ook de semantische informatie de structuur-keuze gaan bepalen. Britt (1994) vermeldt gelijksoortige evidentie dat subcategorisatie informatie vroeger beschikbaar is of zwaarder meetelt bij het kiezen van de geschikte structuur dan tekst-gerelateerde context.

Een bepaald type informatie kan dus een prominentere rol spelen bij het kiezen van een initiële syntactische structuur voor een ambigue sequentie dan een ander type informatie. Verschillende theoretische verklaringen zijn hiervoor denkbaar. De eerste verklaring suggereert dat de belangrijker informatie sneller beschikbaar is en dus aanvankelijk de enige beschikbare informatie is om een structuur te kunnen kiezen, zoals het geval bleek te zijn bij de eerder besproken effecten van categoriale informatie ten opzichte van meer specifieke syntactische informatie. Een alternatieve verklaring is dat beide typen informatie weliswaar op hetzelfde moment beschikbaar zijn, maar dat toch aan één van beide prioriteit wordt gegeven bij de structuur-keuze.

Zoals we al hebben gezien blijkt uit ERP-gegevens dat subcategorisatie informatie beschikbaar komt in een tijdsinterval van 300 tot 500 ms na de presentatie van een woord, terwijl semantische informatie op ongeveer hetzelfde tijdstip beschikbaar komt. Deze twee typen informatie veroorzaken respectievelijk de syntactische N400 en de semantische N400. Het tijdstip van beschikbaar komen van beide typen informatie kan dus geen verklaring bieden voor de gedragsgegevens, waaruit bleek dat subcategorisatie een dwingendere rol speelt bij het kiezen van de zinsstructuur dan semantische informatie. Op grond van het tijdsverloop lijkt het juist eerder redelijk te verwachten dat beide typen informatie een even belangrijke rol zouden spelen om de juiste structuur te kiezen. Een alternatieve verklaring stelt dat de syntactische informatie simpelweg belangrijker is bij het kiezen van de zinsstructuur. Deze verklaring is wel consistent met de ERP-gegevens. Het is belangrijk op te merken dat

ERP-gegevens een dergelijke theorie, waarin een bepaalde ontleed-preferentie wordt verklaard in termen van verschillen in het tijdstip van beschikbaar komen van informatie, zowel kan falsifiëren als bevestigen.

4.5 Potentiële implicaties van ERP-gegevens voor modellen van syntactische disambiguatie

De theorie van Frazier (1987), Mitchell (1987) en Friederici (1995) veronderstelt dat verschillende typen (bv. syntactische) informatie op verschillende tijdstippen worden gebruikt. Dit is vooral bedoeld om fouten of moeite in de verwerking van tijdelijk ambigue zinnen te verklaren, zoals al boven vermeld. Volgens de theorie wordt in eerste instantie aan de hand van de syntactische categorie de meest voor de hand liggende structuur opgebouwd en daarna, indien nodig, opnieuw geanalyseerd. ERP-gegevens kunnen hier wederom extra inzicht bieden. De voorspelling is dat wanneer eerst de incorrecte structuur wordt geconstrueerd, dan zou het herkennen van de vergissing ongeveer op hetzelfde moment moeten plaats vinden, en dezelfde ERP-activiteit moeten oproepen als bij het herkennen van ongrammaticale zinnen bij hetzelfde type gegevens. Daarna zal een effect van heranalyse op moeten treden. De P600 of het late positieve effect gevonden op syntactische schendingen wordt soms op deze manier verklaard.

Toekomstige studies zullen in dit opzicht waardevolle informatie kunnen verschaffen. Tot op heden is de evidentie nog enigszins onduidelijk, alhoewel tenminste twee studies er niet volledig in geslaagd zijn de voorspelling te bevestigen. Alhoewel deze studies wel vonden dat de effecten ongeveer op hetzelfde moment optraden als bij schendingen voor hetzelfde type informatie, hebben deze studies een positiviteit gevonden terwijl er bij schendingen negativiteit ontstaat (Mecklinger, Schriefers, Steinhauer, en Friederici, 1996; Lamers, 1996). Men zou dit kunnen interpreteren als een aanwijzing dat de correcte structuur onmiddellijk geconstrueerd wordt, maar op een verschillende manier of met meer inspanning dan bij de meer voor de hand liggende structuur.

5. Interactie En Modulariteit Van Processen

In sectie 3 hebben we ERP-gegevens gepresenteerd die er op duiden dat verschillende linguïstische verwerkingscomponenten te onderscheiden zijn. Echter, zelfs wanneer een model er vanuit gaat dat twee processen, zoals semantische en syntactische integratie, van elkaar zijn te onderscheiden, dan nog is het de vraag in hoeverre en op welke manier de processen elkaar beïnvloeden. Het kan zijn dat de processen nauw verweven zijn en continu met elkaar interacteren. Anderzijds kunnen de processen meer separaat opereren. Verder is de richting van de uitwisseling van informatie van belang: misschien heeft het ene proces alleen toegang tot informatie van een ander proces maar niet vice versa of is er sprake van uitwisseling van informatie in beide richtingen? ERP-gegevens kunnen bijvoorbeeld inzicht geven in de interactie tussen syntactische en semantische processen. Zoals we gezien hebben komt semantische

informatie later beschikbaar dan syntactische categorie informatie. Semantische informatie kan dus geen directe invloed uitoefenen op de vroegste syntactische analyse.

Zoals we al gezien hebben, spelen zowel semantische als syntactische informatie een rol bij het kiezen tussen een directe object structuur dan wel ingevoegde bijzin structuur. Dit geldt ook voor andere ambiguïteiten (Britt, 1994; Stowe, 1989). Het feit dat beide ERP-componenten, zowel de negativiteit opgeroepen door semantische schendingen als de latere negativiteit opgeroepen door syntactische schendingen, op ongeveer hetzelfde tijdstip optreden, is consistent met het idee dat syntactische/semantische interactie mogelijk is, zoals ook al gesuggereerd door gedragsonderzoek (Garney et al, 1997). Hier gaan we nog eens nader in op de vraag in hoeverre de syntactische negativiteit rond 400 ms nu daadwerkelijk te onderscheiden is van het semantische effect rond hetzelfde tijdstip. Beide effecten hebben dezelfde polariteit en treden met dezelfde latentie op. Kan het niet zo zijn dat de negativiteit die wordt opgeroepen door subcategorisatie en casus schendingen in feite niets anders is dan de negativiteit die door semantische schendingen wordt opgeroepen? Hier zijn twee argumenten tegen in te brengen. Het eerste is dat de effecten van semantische en syntactische schendingen verschillende schedelverdelingen hebben: Neville et al (1991) toetsten beide typen effecten bij dezelfde proefpersonen en vonden dat de semantische N400 maximaal was op parietale elektroden, en groter boven de rechter dan de linker hemisfeer, terwijl de negativiteit opgeroepen door schendingen in de zinsstructuur meer frontaal en links-hemisferisch verdeeld was. Dit suggereert dat tenminste sommige van de generatoren van deze effecten verschillen. We dienen hier op te merken dat het syntactische N400 effect dat werd onderzocht door Neville et al (1991) werd opgeroepen door woorden van de verkeerde syntactische categorie, in plaats van verkeerde subcategorisaties. Rösler et al's (1993) gegevens met subcategorisatie schendingen zijn minder duidelijk wat betreft schedelverdeling, alhoewel ook hier het effect frontaal verdeeld lijkt te zijn. Het is nog steeds mogelijk dat het effect dat opgeroepen wordt door subcategorisatie schendingen niet te onderscheiden kan zijn van andere semantische integratie effecten.

Verschillen in schedelverdeling vormen een zwaarwegend argument dat ERP-componenten uit verschillende hersengebieden gegenereerd worden en daarom ook functioneel verschillen. Er zijn echter ook andere manieren om te onderzoeken of twee ERP-effecten verschillende processen reflecteren. Gunter et al (1997) gingen verder in op de vraag in hoeverre en op welke manier semantische en syntactische processen onderling informatie uitwisselen. Ze vergeleken zinnen als:

- (8) a. De kleine drenkeling werd door de held **gered**.
b. De kleine drenkeling werd door de held **redden**.
c. De kleine drenkeling werd door de held **geslagen**.
d. De kleine drenkeling werd door de held **slaan**.

Er werd gevonden dat zowel een semantische schending (zinnen c en d; zie Figuur 1) als een morfologische syntactische schending (zinnen b en d; zie Figuur 2) een

negativiteit opriepen in hetzelfde latentie-interval, en dat de combinatie van beide schendingen (zin d) beide negativiteiten opriep, alsof beide responsen onafhankelijk bij elkaar werden opgeteld. Indien beide responsen door hetzelfde systeem zouden zijn gegenereerd, dan zouden we verwachten dat de response t.g.v. de ene schending een invloed zou hebben op de response t.g.v. de andere schending. Het ontbreken van zo'n interactief effect suggereert dat de semantische en syntactische effecten uit verschillende subsystemen voortkomen.

6. Conclusie

In dit artikel hebben we verschillende voorbeelden besproken die aantonen hoe ERP-gegevens gebruikt kunnen worden om specifieke theoretische modellen van taalverwerking te toetsen en te verfijnen. We hebben gezien hoe dit type gegevens gebruikt kan worden om te beargumenteren dat twee verwerkingsgerelateerde ERP-componenten onderscheidbaar zijn, hetzij op basis van verschillen in tijdsverloop, hetzij op grond van verschillen in schedelverdeling, hetgeen gerelateerd is aan de generatoren in het brein. Verder hebben we laten zien hoe ERP-onderzoek specifieke modellen omtrent het tijdsverloop van verschillende taalverwerkingsprocessen kan ondersteunen of juist tegenspreken. Resumerend lijkt het ERP-onderzoek aan te geven dat syntactische categorie informatie vrij vroeg beschikbaar komt en gebruikt wordt, terwijl specifieke syntactische informatie (zoals morfologische vorm en subcategorisatie) en semantische informatie ongeveer op hetzelfde tijdstip beschikbaar komen, maar vervolgens verschillend gebruikt worden. Subcategorisatie informatie heeft blijkbaar meer prioriteit bij het nemen van de beslissing omtrent de syntactische structuur dan semantische informatie (Britt, 1994; Garnsey et al, 1996), zelfs hoewel beide typen informatie beschikbaar zijn op het moment dat de beslissing wordt genomen. Bovendien hebben we besproken hoe we tevens op basis van uitgekende onderzoeksdesigns kunnen bepalen of twee ERP-componenten onderscheidbaar zijn, in het hier beschreven onderzoek op grond van interactieve dan wel additieve effecten van taakmanipulaties.

Alhoewel de discussie zich tot op heden heeft toegespitst op dit type vragen, waarop het onderzoek ook bevredigende antwoorden lijkt op te leveren, hebben we toch ook gemeend enige relativerende opmerkingen te moeten plaatsen omtrent conclusies gebaseerd op tijdsverloop informatie in ERP's. Ten eerste betekent het ontbreken van vroegere (significante) ERP effecten niet noodzakelijkerwijs dat zo'n hersenresponse er niet is; er kan ook sprake zijn van een effect op hersenactiviteit dat niet (voldoende) zichtbaar wordt in de ERP's. Vroege syntactische ERP-effecten blijken kwetsbaar te zijn voor verschillende andere factoren. Wellicht zullen we in de loop der jaren kunnen aantonen dat ook meer specifieke effecten, net als categorie schendingen, gepaard gaan met vroege negativiteit. Het zou echter kunnen zijn dat deze effecten veel kleiner zijn omdat er hier sprake is van veel minder extreme syntactische schendingen dan bij categorie schendingen, en dat daarom een veel hogere power vereist is om de effecten zichtbaar te maken. De vroege negativiteit die

werd opgeroepen door de morfologische schending in het onderzoek van Gunter et al (1997) zou wel eens een aanwijzing in deze richting kunnen zijn. We hebben ook gezien dat het bestuderen van de schedelverdeling van ERP-effecten krachtige argumenten oplevert omtrent het al dan niet verschillen van het neuro-anatomische substraat dat ten grondslag ligt aan deze effecten. Toekomstige studies waarin grotere aantallen ERP-afleidingen gemaakt zullen worden zullen ons inzicht in dit opzicht nog veel vergroten. Het hoofddoel van dit artikel was om een beeld te schetsen van hoe ERP-onderzoek gebruikt kan worden om te bepalen hoe taal wordt verwerkt in het brein en om te toetsen welk cognitief model het best antwoord geeft op deze vraag.

English Abstract

Theoretical linguistics, neurolinguistics and functional neuroanatomy are all concerned with how language and the brain can be explained in terms of component functions. The current article is concerned with how neuroimaging data from event-related potentials (ERPs) can address the distinction between component functions of language, determine their time course, and how these data can be related to models of behavioral data. We discuss how these data can be used to support or disconfirm such models and discuss some of the problems with interpretation of the data. Lastly we show that this sort of data can also be used to investigate issues of how the component processes interact with each other. We demonstrate that ERPs potentially provide a powerful tool for linking models of brain function and of behavior.

Literatuur

- Britt, M.A. (1994). The interaction of referential ambiguity and argument structure in the parsing of prepositional phrases. *Journal of Memory and Language*, 33, 251-283.
- Broca, P. (1861). Remarques sur le siège de la faculté de la parole articulée, suivie d'une observation d'aphémie (perte de parole). *Bulletin de la Société d'Anatomie*, 36, 330-357.
- Clifton, C., Frazier, L., & Connine, C. (1984). Lexical expectation in sentence comprehension. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23, 696-708.
- Connine, C., Ferreira, F., Jones, C., Clifton, C. & Frazier, L. (1984). Verb frame preferences: Descriptive norms. *Journal of Psycholinguistic Research*, 13, 307-309.
- Connolly, J.F., & Phillips, N.A. (1994). Event-related potential components reflect phonological and semantic processing of the terminal word of spoken sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6, 256-266.
- Fodor, J.D., Ni, W., Crain, S., & Shankweiler, D. (1996). Tasks and timing in the perception of linguistic anomaly. *Journal of Psycholinguistic Research*, 25, 25-57.
- Frazier, L. (1987). Processing syntactic structures: Evidence from Dutch. *Natural Language and Linguistic Theory*, 5, 519-559.
- Friederici, A.D. (1995). The time course of syntactic activation during language processing: A model based on neuropsychological and neurophysiological data. *Brain and Language*, 50, 259-281.
- Friederici, A.D., Pfeifer, E., & Hahne, A. (1993). Event-related brain potentials during natural speech processing: Effects of semantic, morphological and syntactic violations. *Cognitive Brain Research*, 1, 183-192.

- Garnsey, S.M., Pearlmutter, N.J., Myers, E., & Lotocky, M.A. (1997). The contributions of verb bias and plausibility to the comprehension of temporarily ambiguous sentences. *Journal of Memory and Language*, 37, 58-93.
- Gunter, T.C., Jackson, J.L., & Mulder, G. (1995). Language, memory, and aging: Electrophysiological exploration of the N400 during reading of memory demanding sentences. *Psychophysiology*, 32, 215-229.
- Gunter, T.C., Stowe, L.A., & Mulder, G. (1997). When syntax meets semantics. *Psychophysiology*, 34, 660-676.
- Hagoort, P., Brown, C., & Groothuysen, J. (1993). The syntactic positive shift as an ERP measure of syntactic processing. *Language and Cognitive Processes*, 8, 439-483.
- Holmes, V.M., Stowe, L.A., & Cupples, L. (1989). Lexical expectations in parsing complement-verb sentences. *Journal of Memory and Language*, 28, 668-689.
- Kaan, E. (1997). *Processing Subject-Object Ambiguities in Dutch*. Groningen: Ph.D. Dissertation, Rijksuniversiteit Groningen.
- Konieczny, L., Scheepers, C., & Hemforth, B. (1994). Reanalysis vs. internal repairs: Non-monotonic processes in sentence perception. In B. Hemforth, L. Konieczny, and G. Strube (Eds.), *First Analysis, Reanalysis, and Repair* (pp. 1-22). Freiburg: IIG Albert-Ludwigs Universität.
- Kutas, M., & Hillyard, S.A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.
- Lamers, M. (1996). Parsing Dutch sentences: Ambiguity resolution. In R. Jonkers, E. Kaan, and J.A. Wiegel, (Eds.), *Language and Cognition* (Vol. 5, pp. 121-135). Groningen: Rijksuniversiteit Groningen.
- Mecklinger, A., Schriefers, H., Steinhauer, K., & Friederici, A.D. (1996). The processing of relative clauses varying in syntactic complexity and semantic plausibility: An analysis with event related potentials. *Memory and Cognition*, 23, 477-494.
- Mesulam, M.M. (1990). Large-scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language and memory. *Annals of Neurology*, 28, 597-613.
- Mitchell, D.C. 1987. Lexical guidance in human parsing. In M. Coltheart, (Ed.), *Attention and Performance XII: The Psychology of Reading* (pp 601-618). London: Erlbaum.
- Münte, T.F., & Heinze, H.-J. (1991). ERP negativities during syntactic processing of written words. In Heinze, H.-J., Münte, T.F., and Mangun, G.R. (Eds.), *Cognitive Electrophysiology*. Boston: Birkhauser.
- Neville, H.J., Nicol, J., Barss, A., Forster, K.F., & Garrett, M. (1991). Syntactically-based sentence processing classes: Evidence from event-related potentials. *Journal of cognitive Neuroscience*, 3, 155-170.
- Osterhout, L., & Holcomb, P.J. (1992). Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of Memory and Language*, 31, 785-806.
- Osterhout, L., Holcomb, P.J., & Swinney, D.A. (1994). Brain potentials elicited by garden-path sentences: Evidence of the application of verb information during parsing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 20, 786-803.
- Osterhout, L., & Mobley, L. (1994). Event-related potentials elicited by failure to agree. *Journal of Memory and Language*, 34, 739-773.
- Osterhout, L. (1997). On the brain response to syntactic anomalies: Manipulations of word position and word class reveal individual differences. *Brain and Language*, 59, 494-522.
- Peters, M., & Munck, J. de (1990). On the forward and the inverse problem for EEG and MEG. In: F. Grandori, M. Hoke, and G.L. Romani (Eds.), *Auditory Evoked Magnetic Fields and Electric Potentials, Advances in Audiology* (Vol. 6. pp. 77-102). Basel: Karger.

- Rösler, F., Putz, P., Friederici, A.D., & Hahne, A. (1993). Event-related brain potentials while encountering semantic and syntactic constraint violations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4, 345-362.
- Rugg, M.D., & Coles, M.G.H. (1995). The ERP and cognitive psychology: conceptual issues. In: M.D. Rugg en M.G.H. Coles (Eds.), *Electrophysiology of Mind* (pp. 27-39). Oxford: Oxford University Press.
- Stowe, L.A. (1989). Thematic structure and sentence comprehension. In G.N. Carlson and M.K. Tanenhaus, (Eds.), *Linguistic Structure in Language Processing* (pp. 319-357). Dordrecht: Reidel.
- Stowe, L.A., Tanenhaus, M.K., & Carlson, G.N. (1992). Filling gaps on-line: Use of lexical and semantic information in sentence comprehension. *Language and Speech*, 34, 319-340.
- Wernicke, C. (1874). The aphasic symptom complex: a psychological study on a neurological basis. Breslau: Kuhn and Weigert. Reprinted in R.S. Cohen and M.W. Wartofsky (Eds.), *Boston Studies in the Philosophy of Science* (Vol. 4, 1974), Boston: Reidel.