

Communicatie en het brein:

Het gebruik van neuroimaging bij onderzoek naar dialogen

John Hoeks^{1,2}, Petra Hendriks¹ & Gisela Redeker¹

¹Center for Language and Cognition Groningen

²BCN NeuroImaging Center

Universiteit Groningen

Corresponderend Auteur:

John Hoeks

CLCG / BCN NeuroImaging Center

Postbus 716

9700 AS Groningen

tel. 050-3637443

fax. 050-3636855

Abstract

Zowel spreker als luisteraar gaan bij hun deelname aan een gesprek uit van bepaalde veronderstellingen (Grice, 1967). De spreker, bijvoorbeeld, wordt geacht niet meer, maar ook niet minder mee te delen dan noodzakelijk. In het huidige onderzoek wordt bekeken hoe de luisteraar (of beter gezegd: haar brein) reageert wanneer deze pragmatische veronderstelling geschonden wordt. Dit soort van vragen kan beantwoord worden met behulp van zogeheten 'neuroimaging' methoden, waarbij de werking van de hersenen in beeld kan worden gebracht. De meest gebruikte neuroimaging methoden (PET, fMRI en ERPs) worden kritisch besproken en de ERP-methode wordt daarna geïllustreerd aan de hand van een experiment. In dit experiment kregen proefpersonen vraag-antwoord paren aangeboden waarin het Griceaanse 'Maxime van Hoeveelheid' werd geschonden. De pragmatische schending bleken een specifieke, tot nog toe onbekende respons op te roepen. Daarnaast werden andere effecten gevonden die duiden op thematische en syntactische heranalyse van de aangeboden taaluiting. Schending van Griceaanse maxims wordt dus onmiddellijk gesignaleerd, en leidt tot aanzienlijke verwerkingsproblemen.

Inleiding

Bij hun deelname aan een gesprek gaan spreker en luisteraar uit van bepaalde veronderstellingen. Deze veronderstellingen zijn door Grice (1975) geformuleerd in de vorm van vier 'maximes', die als volgt kunnen worden beschreven:

1. **KWALITEIT:** Wees waarheidsgetrouw!

HOEVEELHEID: Wees niet informatiever, maar ook niet minder informatief dan vereist!

RELEVANTIE: Wees relevant!

STIJL: Wees helder!

Mede omdat deze stelregels voor communicatie in de gebiedende wijs zijn geformuleerd is lang gedacht (en wordt nog steeds gedacht), dat de maximes een soort van overgedetailleerd puriteins recept vormen voor een geslaagde conversatie.

Campbell (2001, p. 256), bijvoorbeeld, verzucht: "Would we want to have dinner with such a person, such an impeccably polite maxim observer?". Een meer vruchtbare benadering is echter de maximes op te vatten als een standaard set van veronderstellingen, met name van de luisteraar over de spreker, waarvan alle deelnemers aan het gesprek zich bewust zijn (Horn, 2004). Het Maxime van Hoeveelheid, bijvoorbeeld, beschrijft hoe de luisteraar ervan uitgaat dat de spreker inderdaad niet meer, maar ook niet minder zegt dan noodzakelijk is. In het huidige onderzoek zullen we zien wat er gebeurt wanneer de spreker zich niet aan deze pragmatische veronderstelling houdt. Met name zullen we bekijken op welke manier

de luisteraar omgaat met schendingen van het Maxime van Hoeveelheid in een dialoog. Bekijk bijvoorbeeld de fictieve mini-dialoog in (2).

2. V: Wat deed Jan?

A: Hij zoende Annet.

In dit gesprekje geeft A een antwoord dat pragmatisch gezien correct is: A geeft, voor zover we hier kunnen overzien, precies genoeg informatie: het antwoord gaat over Jan en beschrijft een handeling die Jan uitvoerde. Op zich zou de vragensteller dus tevreden moeten zijn. Dat geldt ook voor het vraag-antwoord paar in (3).

3. V: Wat deden Jan en Piet?

A: Jan zoende Annet en Piet zoende Henk.

Ook hier krijgt de vragensteller keurig antwoord op de vraag wat Jan en Piet gedaan hebben. Dit is echter niet het geval in de nu volgende dialoog (4), en dat is juist de reden waarom dit gesprek interessant is voor ons onderzoek.

4. V: Wat deden Jan en Piet?

A: Jan zoende Annet en Piet in de tuin.

We zien hier dat zowel Jan als Piet voorkomen in het antwoord op de vraag, maar dat er ook cruciale informatie mist, te weten het antwoord op de deelvraag "Wat deed Piet?". Door de luisteraar deze informatie te onthouden, schendt de spreker het Maxime van Hoeveelheid.

Het is misschien goed om te vermelden dat dit niet de enige manier is om het onderhavige maxime te schenden. Bijvoorbeeld, iemand kan op de vraag hoeveel kinderen zij heeft het antwoord "twee" geven, terwijl ze er in werkelijkheid drie heeft, of onterecht zeggen dat het "warm" is, terwijl het snikheet is. Het verschijnsel waar we in (4) mee te maken hebben bevindt zich in een enigszins ander domein en is gerelateerd aan het pragmatische concept 'topic-structuur'. Een 'topic' kan omschreven worden als de entiteit waarover de zin informatie verschaft (Lambrecht, 1994). Door de vraag in (3) en (4) worden er twee entiteiten 'Jan' en 'Piet' geïntroduceerd en tot zeer waarschijnlijke topics van de volgende zin gemaakt. Anders gezegd: de vraag maakt het zeer waarschijnlijk dat 'Jan' en 'Piet' het zogenaamde 'tweeledig topic' van de volgende zin zullen zijn. Wanneer 'Jan' en 'Piet' samen iets hadden gedaan, zou het antwoord kunnen zijn "Zij deden X". Aan de andere kant zou het antwoord ook een constructie kunnen zijn met zogeheten 'contrastieve' topics, waarbij elk van de jongens afzonderlijk iets doet: "Jan deed X en Piet deed Y." In dialoog (4) wordt dus het Maxime van Hoeveelheid geschonden door het ontbreken van de verwachte topic-structuur: de zin zou een tweeledig topic moeten hebben ('Jan en Piet'), maar heeft slechts een enkelvoudig topic ('Jan').

Nu weten we van eerder onderzoek dat topic-structuur een belangrijke rol speelt in het incrementeel verwerken van taal (Hoeks, 1999; Hoeks, Hendriks, Vonk, Hagoort, & Brown, in druk; Hoeks, Vonk, & Schriefers, 2002). Dit is met name het geval wanneer taaluitingen syntactische ambiguïteiten bevatten, zoals bij het antwoord van voorbeelden (3) en (4). Doordat taalverwerking incrementeel is, en niet opgeschort wordt tot het einde van de zin, zal de taalverwerker soms voor lastige keuzes komen te staan. Als de luisteraar of lezer van het zinsfragment "Jan zoende Annet en Piet .." bij de naam 'Piet' is aangekomen, zijn er twee mogelijkheden. Ofwel

'Piet' is het topic van een gecoördineerde zin, zoals in het antwoord bij voorbeeld (3), ofwel 'Piet' is onderdeel van het groepje mensen dat door topic 'Jan' wordt gezegd, als in het antwoord van (4). Onderzoek heeft aangetoond dat taalgebruikers normaliter een voorkeur hebben voor de structuur in (4), die ook wel 'NP-coördinatie' wordt genoemd. Doordat de te onderzoeken dialogen allemaal de geprefereerde syntactische structuur hebben wordt dus voorkomen dat er zogenaamde 'garden-path' zinnen in het experiment betrokken worden. Dit is een verzamelterm voor tijdelijk ambigue zinnen die niet de geprefereerde syntactische structuur hebben, en taalgebruikers dus (tijdelijk) op het verkeerde been zetten.

De belangrijkste vraag van dit onderzoek is dus: Wat is het effect op de taalgebruiker van een schending van het Maxime van Hoeveelheid, teweeggebracht door het ontbreken van de verwachte topic-structuur.

Vensters op het brein

Het liefst zouden we direct te weten komen hoe een taalgebruiker reageert op een pragmatische schending, zonder het aan haar te moeten vragen. De taalgebruiker kan dit soort van vragen immers alleen beantwoorden als ze toegang heeft tot allerlei cognitieve processen die meestal onbewust verlopen. Daarom is het bijzonder prettig dat er methodes zijn om (reflecties van) cognitieve activiteit waar te nemen zonder dat de proefpersoon daar uitspraken over hoeft te doen. Bedoelde methodes worden 'neuroimaging' methodes genoemd omdat ze afbeeldingen voortbrengen van het zenuwstelsel in actie. Ze kunnen in twee klassen verdeeld worden: methodes gebaseerd op veranderingen in locale bloedtoevoer in de hersenen (zie sectie 'Bloed'),

en methodes gebaseerd in veranderingen van elektrische hersenpotentialen (zie sectie 'Stroom').

Bloed

Wanneer een groepje hersencellen actief is tijdens informatieverwerking, bijvoorbeeld tijdens het stellen van een vraag of bij het begrijpen van een antwoord, nemen die cellen zuurstof op uit het bloed, en ontstaat er op korte termijn een, relatief, zuurstoftekort. De hersenen reageren hier onmiddellijk op door de dichtstbijzijnde bloedvaten iets te verwijden waardoor er meer zuurstofrijk bloed wordt aangevoerd. Deze toestroom van zuurstofrijk bloed kan worden gemeten en vormt de basis voor het zichtbaar maken van actieve hersengebieden. Let wel, het gaat hier dus om een relatief indirecte maat: niet de hersenactiviteit zelf wordt gemeten, maar de reactie van het bloedvatstelsel op die activiteit. De op dit moment meest gebruikte methode om dit soort van veranderingen te meten is fMRI, ofwel functional Magnetic Resonance Imaging. Bij fMRI wordt gebruik gemaakt van het feit dat zuurstofrijk en zuurstofarm bloed verschillen in magnetische eigenschappen. Dat gaat als volgt: het hoofd van een proefpersoon wordt in een zeer krachtig magnetisch veld gebracht (meestal 1.5 of 3 Tesla). Door dit magnetische veld nemen de waterstofatomen, die in alle weefsels van het lichaam, en dus ook de hersenen voorkomen, een bepaalde configuratie aan. Wanneer dan een radiopuls (als bij een TV-zendstation) op de hersenen wordt afgestuurd, nemen de waterstofatomen die energie op en gaan met de radiopuls mee resoneren. Stopt de radiopuls, dan schieten de waterstofatomen weer terug in hun basistoestand en geven daarbij de toegevoerde energie weer af. Dit afgifteproces, waarbij de energie weer in de vorm van radiopulsen wordt afgestaan, is verschillend voor de verschillende weefsels in het lichaam. Omdat MRI gevoelig is

voor deze verschillen in afgiftekarakteristieken is het een zeer geschikte techniek om afbeeldingen van het inwendige van het hoofd en andere lichaamsdelen te maken. Het feit dat er ook belangrijke verschillen in dat afgifteproces zijn tussen zuurstofrijk en zuurstofarm bloed, maakt het mogelijk om niet alleen plaatjes te maken van hoe de hersenen eruitzien (dwz., de fysieke aspecten), maar ook van waar de hersengebieden zitten die bij een bepaalde cognitieve taak actief zijn (dwz., de functionele aspecten). Vandaar de "f" van fMRI die staat voor 'functional'.

Voordat fMRI in zwang kwam is er veel gebruik gemaakt van PET (Positron Emission Tomography) om de hersenen in vivo te bestuderen (Stowe et al., 1994). Net als fMRI is PET gebaseerd op locale veranderingen in bloeddorstrooming in de hersenen. Maar waar fMRI gebruikt maakt van magnetische eigenschappen van het bloed, wordt bij PET iets aan het bloed toegevoegd waardoor veranderingen in bloedtoevoer direct traceerbaar zijn. Deze toevoeging is een zeer licht radio-actieve stof, meestal een radioactieve variant van water (zgn. waterPET). Radioactieve stoffen zijn instabiel, en vervallen continu naar de meer stabiele, niet radioactieve variant. Bij dit verval worden kleine deeltjes uitgezonden, waaronder zogeheten "positronen" (met een positieve lading), die reageren met het eerste het beste "electron" (identiek aan een positron, maar met een negatieve lading) dat ze op hun pad tegenkomen. Bij elk van zulke reacties (waarbij de massa van de deeltjes volledig wordt omgezet in energie) komen precies twee fotonen vrij die een heel specifieke baan beschrijven. Wanneer deze fotonen door de PET-camera worden gedetecteerd, kan men op basis van het precieze tijdstip waarop en de precieze plaats in de camera waar ze zijn waargenomen reconstrueren uit welk deel van de hersenen ze vandaan gekomen moeten zijn.

Een belangrijk nadeel van PET is dat het aantal mogelijke experimentele designs zeer beperkt is: eigenlijk is alleen een 'geblokte' opzet mogelijk. Hierbij krijgt de proefpersoon de stimuli in blokken van een 40-tal seconden aangeboden. In elk van deze blokken komen de stimuli steeds in dezelfde conditie voor, om zo het brein in een 'steady state' te brengen. In het voorbeeld van onderzoek naar dialogen zou dat dus betekenen dat er voor één van een serie metingen 40 seconden lang alleen incongruente, of alleen congruente dialogen worden aangeboden. Dit is ongewenst omdat het tot gevolg kan hebben dat proefpersonen tijdens het experiment de bedoeling gaan proberen te raden van het onderzoek, of, bewust of onbewust, strategieën gaan ontwikkelen die afwijken van hun normale taalgedrag. Daarnaast is PET onderzoek enigszins belastend voor de proefpersoon vanwege de radioactiviteit van de stof die wordt ingespoten, en ook vanwege de injectie zelf, die een klein risico op bloedstolsels met zich meebrengt. fMRI heeft deze nadelen niet: er hoeft niets te worden ingespoten, en gemengde onderzoeksopzetten, waarbij de condities elkaar dus voortdurend afwisselen (zogenoeten Event-Related fMRI), zijn inmiddels de standaard manier van onderzoek geworden. Verder lijkt het zo te zijn dat de kortstondige blootstelling aan de sterke magnetische velden bij fMRI geen nadelige effecten heeft. Wat wel een probleem kan zijn, met name voor stimuli die auditief worden aangeboden, is het enorme lawaai dat de MR-scanner maakt tijdens het data-verzamelen: doordat elk (virtueel) plakje van de hersenen zo snel mogelijk moet worden gemeten, moeten bepaalde mechanische elementen in de scanner razendsnel bewegen, hetgeen met groot lawaai gepaard gaat (110 - 130 decibel, dus iets meer dan een live rockconcert). Ondanks de oordopjes worden is dat geluid heel goed waarneembaar. Verder is het zo dat de proefpersoon, en dat geldt met name voor

fMRI, gedurende het experiment heel stil moet blijven liggen om de metingen niet te verstoren.

Behalve deze relatief praktische problemen zijn er ook wat meer theoretische belangrijke tekortkomingen van PET en fMRI. Eén daarvan is het al eerder genoemde punt dat de neurale activiteit in de hersenen niet direct wordt gemeten, maar indirect, door te kijken naar veranderingen in de bloeddorstrooming. Dit betekent dat we feitelijk plaatjes zien van bloedvaten en niet van hersencellen; wanneer gebieden minder goed van bloedvaten zijn voorzien kunnen we ze dus misschien niet eens zien, ook al zijn ze actief. Daarnaast is de localisatie van de verandering in bloedtoevoer heel nauwkeurig vast te stellen, maar weten we dus niet precies waar de actieve groepen van hersencellen zitten: de extra toevoer van zuurstofrijk bloed is niet altijd het grootst precies op de plaats van het groepje actieve cellen, maar vaker iets daarboven of iets daaronder. Verder is het zo dat er soms grote verschillen zijn tussen mensen wat de vorm en functionele indeling van hun hersenen aangaat. Omdat bij de meeste onderzoeken sprake is van groepsgemiddelden is er geavanceerde software ontwikkeld om alle individuele hersenen 'op elkaar te passen' en de activatie-niveaus te middelen. Deze programmatuur kan echter niet voorkomen dat er door die individuele verschillen veel variabiliteit in deze gemiddelden zit. Een ander probleem is dat, waar hersenprocessen veranderen in intervals van tientallen tot enkele honderden milliseconden (1 ms is een duizendste van een seconde), de metingen met fMRI relatief traag verlopen, in termen van meerdere seconden (om nog maar niet te spreken over PET, waarin gewerkt wordt met metingen van 40 seconden!). Dit is zo vanwege de traagheid van het bloedtoevoersysteem: pas na een seconde of zes is het te meten MR-sigitaal maximaal (zie Figuur 1). Tenslotte moet nog gemeld dat bepaalde delen van de hersenen, zoals gedeeltes van de frontale en temporale

kwabben, moeilijk te meten zijn met fMRI, omdat ze aan schedelholtes grenzen, hetgeen bij fMRI meet-artefacten en signaalverlies kan veroorzaken.

Tegenover de genoemde problemen van deze soort van neuroimaging staan natuurlijk ook grote voordelen, met name bij fMRI. Het belangrijkste is dat de techniek het mogelijk maakt om in te zoomen op hersengebieden die actief zijn tijdens het proces waarin de onderzoeker geïnteresseerd is. En door na te gaan in welke eerdere onderzoeken deze gebieden zijn gevonden, in welke taken en in welke condities, kan vastgesteld worden op welke manier de hersengebieden het veronderstelde proces ondersteunen. Deze tak van wetenschap werkt dus op twee vlakken tegelijkertijd: op basis van het veronderstelde proces kan een functie of een serie van mogelijke functies aan een hersengebied worden toegekend, aan de andere kant zijn onderzoekers vaak hoogst benieuwd wat er in een bepaalde conditie gebeurt, en kan op basis van wat reeds bekend is uit eerdere onderzoeken een hypothese gevormd worden over welke cognitieve processen door de experimentele manipulatie worden opgeroepen. Hoe meer onderzoek er plaatsvindt naar de functie van hersengebieden, des te nauwkeuriger zal op een gegeven moment het verband tussen locatie en functie kunnen worden vastgesteld. Voorlopig echter zijn de hersenen, met name waar het de hogere mentale processen aangaat, nog grotendeels een terra incognita, hetgeen neuroimaging onderzoek tot een zeer interessante en spannende onderneming maakt. Dat geldt overigens onverkort voor de methoden die op basis van een ander kenmerk van neurale activiteit werken: stroom!

<< figuur 1 ongeveer hier >>

Stroom

Wanneer groepjes hersencellen, of 'neuronen', actief zijn tijdens het verwerken van informatie, zal deze activiteit in eerste instantie, voordat er ook maar sprake is van veranderingen in de bloedtoevoer, leiden tot elektrische potentiaalverschillen in de onmiddellijke omgeving van die cellen. Deze 'primaire' potentiaalverschillen zullen zich verplaatsen door de hersenmassa, het hersenvocht en de schedel, en uiteindelijk de hoofdhuid bereiken, waar ze inmiddels 'secundair' genoemd worden. De schedel, overigens, is bijzonder slecht in het geleiden van stroom en werkt als een soort isolatie-laag waardoor de primaire potentiaalverschillen als het ware worden uitgesmeerd. Niet alle informatieverwerkingsprocessen zullen tot secundaire potentiaalverschillen leiden: alleen als er een grote hoeveelheid neuronen (1000 tot 10.000 is de schatting) die parallel aan elkaar liggen, met dezelfde frequentie actief zijn, ontstaan er primaire potentiaalverschillen die mogelijk detecteerbaar zijn. Dit betekent dat er hersengebieden zijn die nooit tot secundaire potentiaalverschillen aanleiding geven, ook al zijn ze belangrijk voor een bepaald cognitief proces. Dit geldt met name voor dieper liggende hersenstructuren. De potentiaalverschillen die wel op de hoofdhuid aankomen zijn heel klein (we spreken hier in termen van microvolts, ofwel miljoenste van een volt), maar kunnen desalniettemin gemeten worden. Dit wordt gedaan door bovenop de hoofdhuid metalen elektroden te plaatsen, de weerstand tussen deze elektroden en de hoofdhuid te minimaliseren met een zoute pasta, en de gemeten potentiaalverschillen aanzienlijk te versterken. Het gaat hier uitdrukkelijk om verschillen: de elektrische potentiaal van elke elektrode wordt vergeleken met die van zogeheten referentie-elektroden, die gewoonlijk achter de oren of op de oorlel worden aangebracht. Wanneer de potentiaal van de gemeten elektrode hoger is dan die van de referentie-elektrode is er sprake van een positieve potentiaal, wanneer de gemeten potentiaal lager is dan de referentie-waarde is er sprake van een

negatieve potentiaal. Deze polariteit (d.w.z. het positief of negatief zijn) is, zoals we zometeen zullen zien, een belangrijk kenmerk van hersenpotentialen.

Natuurlijk zijn de hersenen met meer dingen bezig dan alleen taalverwerking: een groot aantal mentale en fysiologische processen wordt door de hersenen aangestuurd en bewaakt. Daardoor is het EEG (ElectroEncefaloGram), zoals het samenstel van continue, ritmische potentiaalveranderingen wordt genoemd, op zichzelf moeilijk te interpreteren; het vormt immers een reflectie van al deze verschillende processen. Als echter bekend is wanneer precies een bepaalde stimulus wordt aangeboden, kan de hersenrespons op die specifieke stimulus worden vastgesteld. Om de reactie op elke stimulus te ontdoen van sporen van spontane hersenactiviteit, zijn er veel herhalingen van de stimulus nodig ('trials'); door het relatief grote aantal stimuli (minimaal 25, sommigen zeggen zelfs 40, per te meten conditie) te middelen, zullen alleen die componenten van het EEG overblijven die systematisch aan de stimulus verbonden zijn. We spreken dan van 'stimulus-gebonden' potentialen ofwel ERPs (Event-Related brain Potentials).

Het is belangrijk om op te merken dat de verdeling van de secundaire potentialen vaak volstrekt anders is dan die van de primaire voltages doordat de weefsels in het hoofd verschillen in hoe ze stroom geleiden. Met name het bot in de schedel zorgt voor het uitsmeren van primaire potentiaalverschillen. Bovendien is het zo dat de hersenen niet homogeen zijn, maar aan de oppervlakte ('cortex') juist bestaan uit talloze windingen ('gyri') en groeven ('sulci'). Omdat één en hetzelfde secundaire ERP-patroon zoals gemeten op de schedel op meerdere manieren gerealiseerd kan zijn in termen van primaire potentialen, is het onmogelijk om vanuit de geobserveerde schedelverdeling van een bepaald effect terug te redeneren naar de bron van dat effect. Dit wordt het 'inverse-probleem' genoemd. Dit probleem wordt

verergerd doordat het aantal primaire bronnen voor een secundair verschijnsel niet uit het gemeten ERP-patroon kan worden afgeleid, en ook vanwege het eerder genoemde feit dat het hoofd geen perfecte bol is met een perfect homogene inhoud. Hierdoor zijn ERPs nauwelijks geschikt voor de localisatie van actieve hersengebieden, zeker niet vergeleken met bijvoorbeeld PET of fMRI. Desalniettemin is er software beschikbaar die, gegeven een aantal assumpties over vorm van de hersenen en een schatting van het aantal betrokken hersengebieden, hypothesen oplevert over de oorsprong van de gemeten ERP-effecten (zogenoeten 'bronanalyse').

De ERPs die na middeling kunnen worden vastgesteld bestaan uit een serie pieken en dalen die benoemd worden op basis van hun polariteit (dus P voor positief of N voor negatief), de volgorde waarin ze optreden (bijv. P1, P2, P3, etc.) of ook op de tijdsduur waarop ze maximaal zijn, gemeten na de aanbidding van de stimulus, zoals bijvoorbeeld de P300, een positieve piek die maximaal is rond 300 milliseconden nadat een stimulus is aangeboden. In de laatste vijftig jaar zijn er een aantal componenten geïdentificeerd die met name van belang zijn voor onderzoek naar taal. Wat hierbij opgemerkt moet worden is dat het hier niet specifiek gaat om de piek of het dal in het ERP patroon, maar vooral om de modulatie van de desbetreffende piek of het desbetreffende dal: het gaat dus met name om ERP-effecten, ook wel verschuivingen (of 'shifts') genoemd, waarbij dus minimaal twee condities worden vergeleken, vaak een normale controle conditie tegenover een conditie met een taalkundige manipulatie (bijv. syntactische, semantische of pragmatische schending, etc.). Hieronder bespreken we een selectie van de belangrijkste taalgerelateerde ERP-effecten, te weten de "ELAN", de "LAN", de "N400" en de "P600"; voor een complete lijst wordt de geïnteresseerde lezer verwezen naar een zeer recent overzichtsartikel van Kutas, Van Petten en Kluender

(te verschijnen; zie ook Van Petten, in druk, voor een beschrijving van 'MEG' (Magneto-EncefaloGrafie) een methode die nauw verwant is aan EEG).

ELAN

De ELAN of Early Left Anterior Negativity is, zoals de naam al zegt, een vroege verschuiving in de ERPs die maximaal is aan de linkerkant van de schedel, met name op frontale electrodes (dwz., aan de voorkant van het hoofd, bijv. F7, zie Figuur 3). Dit effect treedt op tussen 100 en 300 ms na het kritische woord, en wordt gevonden wanneer in een taaluiting een woord van een bepaalde categorie wordt verwacht, maar een woord van een andere categorie wordt aangeboden (Friederici, 1995; Neville, Nicol, Barss, Forster, & Garrett, 1991). Friederici et al., bijvoorbeeld, vonden een ELAN in "Der Freund wurde im besucht" (letterlijk: 'De vriend werd in_het bezocht'), waarin een zelfstandig naamwoord wordt verwacht na "im", maar waar een werkwoord wordt gepresenteerd (controle-zin: "Der Freund wurde besucht"; lett., 'De vriend werd bezocht'). Om nog onduidelijke redenen is niet in alle onderzoeken bij dit soort van schendingen een ELAN gevonden.

LAN

Net als de ELAN is de LAN (Left Anterior Negativity) een negatieve verschuiving in het ERP-signaal dat optreedt in reactie op syntactische schendingen. De LAN is vooral zichtbaar op (links) frontale electrodes, zo'n 400 ms na het aanbieden van de kritische stimulus. Gunter, Stowe en Mulder (1997) vonden (onder andere) een LAN als respons op een grammaticale schending in zinnen als "De kleine drenkeling werd door de held redden", vergeleken met de correcte versie "De kleine drenkeling werd door de held gered". Hier gaat het dus niet, als bij de ELAN, om een schending van

syntactische categorie, maar om een schending van de correcte vorm van het woord ('morfologische' schending).

N400

De N400 is een negatieve verschuiving die optreedt wanneer een taaluiting waarin een semantische schending voorkomt, zoals bijvoorbeeld "Het brood werd door de bakkers bedreigd", wordt vergeleken met een semantisch correcte controlezin zoals bijvoorbeeld "Het brood werd door de bakkers gebakken". Zie Figuur 2, linkerpaneel, voor een grafische weergave van deze vergelijking (bron: Hoeks & Stowe, in voorbereiding). De negatieve verschuiving ten opzichte van de normale zin is maximaal rond 400 ms na aanbidding van het kritische woord (hier: "bedreigd") en is met name geprononceerd op elektroden in het midden en aan de achterkant van het hoofd (Kutas & Hillyard, 1980). In sommige omstandigheden wordt er geen N400 gevonden, ook al is de taaluiting semantisch anomaal, zoals in "Het brood heeft de bakkers gebakken"; dit wordt ook wel een 'semantische illusie' genoemd (Hoeks, Stowe, & Doedens, 2004).

P600

De P600 is een positieve verschuiving die optreedt wanneer een taaluiting waarin een syntactische schending voorkomt, zoals bijvoorbeeld "Het verwende kind gooien het speelgoed op de grond", wordt vergeleken met een syntactisch correcte controlezin zoals bijvoorbeeld "Het verwende kind gooit het speelgoed op de grond" (Hagoort, Brown, & Groothusen, 1993). De positieve verschuiving die door de schending wordt opgeroepen is maximaal rond 600 ms na aanbidding van het kritische woord (hier: "gooien") en is net als de N400 met name zichtbaar op elektroden nabij het midden en

de achterkant van het hoofd. Over het algemeen wordt aangenomen dat de P600 eerder een reflectie is van syntactische heranalyse dan van syntactische foutdetectie. Daarom kan uit het feit dat de N400 altijd aan de P600 voorafgaat niet worden afgeleid dat semantische verwerking ook aan alle soorten van syntactische verwerking voorafgaat (zoals bijv. het vaststellen van de syntactische structuur van een taaluiting). Zie Figuur 2 (rechterpaneel) voor een voorbeeld van de P600 (bron: Hoeks & Stowe, in voorbereiding).

<< figuur 2 ongeveer hier >>

ERPs kunnen de onderzoeker dus waardevolle aanwijzingen kan geven over wat er gebeurt in de hersenen van de taalgebruiker: ze laten zien of er al dan niet een reflectie is van de experimentele manipulatie en vaak ook wat voor soort proces door de manipulatie is opgeroepen. Met name tijdsinterval, grootte en schedelverdeling van het effect zijn belangrijke parameters om te bepalen met wat voor ERP-effect men te doen heeft (zie Van Berkum, 2004, voor een sublieme uiteenzetting van welke conclusies men wel en niet kan trekken op basis van ERP-data). Met het onderstaande experiment zullen we een antwoord geven op de vraag hoe het ERP-patroon eruit zal zien voor dialogen waarin het Griceaanse Maxime van Hoeveelheid wordt geschonden: vinden we effecten die gerelateerd zijn aan verschillende aspecten van syntactische verwerking (ELAN, LAN, P600-effect), of heeft de schending een duidelijk effect op de semantische verwerking (N400-effect)? In ieder geval zijn er tot op heden geen ERP-effecten gevonden die specifiek zijn voor pragmatische verwerking (Coulson, 2004).

Experiment

Methode

Proefpersonen

Aan het experiment deden 18 studenten (waarvan 6 mannen) van de Rijksuniversiteit Groningen mee. De deelnemers waren tussen de 18 en de 29 jaar, met een gemiddelde leeftijd van 20 jaar. De meesten kregen betaald voor deelname, een aantal kreeg studiepunten. Alle proefpersonen waren rechtshandig en hadden Nederlands als moedertaal.

Materiaal

Het materiaal voor het experiment werd geconstrueerd op basis van 60 zinnen die een NP-coördinatie bevatten (ontleend aan Hoeks, 1999), zie (5) voor een voorbeeld:

5. De burgemeester prees het raadslid en de wethouder uitbundig.

Op het moment dat de lezer het woord 'wethouder' tegenkomt, dus nog zonder het laatste woord te hebben gezien, zijn er nog twee mogelijke interpretaties mogelijk: enerzijds NP-coördinatie, als in (6) en anderzijds zinscoördinatie als in (7).

6. De burgemeester prees [het raadslid en de wethouder].
7. [De burgemeester prees het raadslid] en [de wethouder (lachte)].

Zoals hierboven vermeld is bekend dat lezers een voorkeur hebben voor NP-coördinatie (bijv., Hoeks, 1999; Hoeks et al., in druk). Dit betekent dat in zin (5) het bijwoord in laatste positie ('uitbundig') op zich geen verwerkingsproblemen zou moeten opleveren, het desambigueert de zin namelijk naar NP-coördinatie, hetgeen de voorkeursinterpretatie is.

Op basis van elk van deze 60 zinnen werden drie dialogen gemaakt. In de eerste versie van de dialoog werd de zin voorafgegaan door een neutrale vraag: "Wat gebeurde er?". In de tweede versie werd de vraag zodanig geconstrueerd dat die zeer specifieke verwachtingen op zou roepen omtrent de topic-structuur van de daaropvolgende zin: "Wat deden de burgemeester en de wethouder?". Door de vraag op deze manier te stellen worden zowel de burgemeester als de wethouder zeer waarschijnlijke topics in het antwoord op de vraag (zoals ook aangetoond in Hoeks et al., 2002). De derde versie is voor het huidige onderzoek niet relevant, maar wordt voor de compleetheid toch in het rijtje hieronder weergegeven. Samengevat hebben we dus drie condities, waarvan alleen de eerste twee voor het huidige onderzoek van belang zijn.

8. Congruente conditie

V: Wat gebeurde er?

A: De burgemeester prees het raadslid en de wethouder uitbundig.

9. Incongruente conditie

V: Wat deden de burgemeester en de wethouder ?

A: De burgemeester prees het raadslid en de wethouder uitbundig.

10. Extra conditie (wordt verder niet besproken)

V: Wat gebeurde er?

A: Na de vergadering prees de burgemeester de wethouder uitbundig.

Merk op dat het bijwoord ('uitbundig') hier een cruciale rol speelt. Het maakt immers duidelijk dat de antwoordzin slechts één topic heeft ('de burgemeester'), en niet twee, zoals verwacht in de incongruente conditie (9). De NP 'de wethouder' blijkt geen topic te zijn in de antwoordzin, wat een schending van het Maxime van Hoeveelheid inhoudt.

Naast de experimentele dialogen zijn er ook zogeheten 'fillers' of 'opvulstimuli' die moeten verhinderen dat proefpersonen tijdens het experiment ongewenste strategieën ontwikkelen of de bedoeling van het onderzoek gaan raden. Zo zijn er 40 dialogen waarin zinnen met zinscoördinaties voorkomen om een zeker tegenwicht te geven aan de overvloed aan dialogen met NP-coördinaties (60 in totaal). Daarnaast zijn er ook 100 ongerelateerde fillers die bij een apart onderzoek horen. Tenslotte is er een oefenset van 40 dialogen gemaakt om de proefpersonen te laten wennen aan de materialen.

Opzet

Er werden drie lijsten van stimuli gemaakt. In elk van die lijsten waren er 20 stimuli voor elk van de drie experimentele condities (d.w.z., 20 congruent, 20 incongruent en 20 extra), en elke lijst bevatte slechts 1 versie van een bepaalde stimulus. De volgorde van experimentele en filler dialogen (zie Materiaal) was hetzelfde voor alle lijsten en werd door de experimentator quasi-willekeurig vastgesteld (maximaal drie experimentele stimuli na elkaar, maar nooit twee of meer opeenvolgende stimuli in

dezelfde conditie). Elke lijst werd aan een gelijk aantal proefpersonen aangeboden (hier: 6) en elke proefpersoon kreeg slechts 1 lijst te zien. Elke lijst bevatte 200 stimuli (60 experimentele stimuli, 40 fillers met zincoördinatie en 100 stimuli van het ongerelateerde experiment).

<< figuur 3 ongeveer hier >>

Procedure

Tijdens de voorbereidingsfase werden bij een proefpersoon de elektroden aangebracht middels een elastische 'cap' met 20 elektrodes erop. Zie Figuur 3 voor een grafische weergave van de positie van deze elektrodes. Tijdens het experiment zaten de proefpersonen op een comfortabele stoel achter een computerscherm (afstand tot het scherm ongeveer 60 cm) in een cabine die afgeschermd was voor geluid en elektrische signalen. Alle dialogen werden woord-voor-woord gepresenteerd in het midden van het scherm. Een woord was 243 ms zichtbaar, en werd gevolgd door 243 ms leeg scherm. Tussen de vraagcontext (bijv. "Wat gebeurde er?") en het daaropvolgende antwoord zat 729 ms. Elke dialoog werd voorafgegaan door een sterretje (*) dat 1 seconde zichtbaar was en dat aangaf dat een nieuwe dialoog zou beginnen. Aan het einde van de zin werd het woord 'knipper' vertoond (3 sec.) dat aangaf dat de proefpersoon met de ogen kon knippen; proefpersonen werd gevraagd om niet te knippen gedurende de presentatie van de dialogen, omdat dit de metingen ernstig zou kunnen verstoren. Om de proefpersonen aandachtig te laten lezen werden er verspreid over het experiment 35 vragen gesteld over de inhoud van de voorafgaande dialoog (ongeveer 1 vraag per 6 dialogen). Deze vraag kon met 'ja' of 'nee' beantwoord worden met behulp van twee knoppen op een knoppenkast. Elke vraag

werd gevolgd door een filler-dialoog, om te voorkomen dat mogelijke problemen bij het beantwoorden van de vragen de verwerking van de experimentele dialogen zouden beïnvloeden. Gedurende het experiment kreeg de proefpersoon gelegenheid om te pauzeren na elk blok van 50 dialogen. Het totale experiment duurde ongeveer een uur en drie kwartier, inclusief voorbereiding.

Resultaten

Analyse

Gemiddeld werd 85% (SD=5.6) van alle inhoudsvragen (zie Procedure) correct beantwoord, hetgeen aangeeft dat de proefpersonen met volle aandacht aan het experiment hebben meegedaan. Op basis van visuele inspectie van de data zijn drie tijdsintervallen uitgekozen voor verdere analyse: 1) 180-320 ms na aanbieding van het kritische woord (i.e., het bijwoord); 2) 350-550 ms na het kritische woord; 3) 550-750 ms na het kritische woord. Over elk van de drie gekozen tijdsintervallen is een gemiddeld voltage berekend voor elke conditie van elke proefpersoon op elke electrode. De electrodes werden daarna in drie sets verdeeld: 1) de 'prefrontale' electrodes Fp1, Fza en Fp2; 2) de 'occipitale' electrodes O1 en O2; 3) de rest van electrodes voor de belangrijkste analyse, ook wel de 'hoofdanalyse' genoemd. In deze hoofdanalyse wordt niet alleen de inhoudelijke factor Conditie (incongruent vs. congruent) bekeken, maar zijn ook de topografische factoren Anterioriteit (met de niveaus: frontaal vs. centraal vs. posterieur) en Lateraliteit (met de niveaus: uiterst links vs. links vs. midden vs. rechts vs. uiterst rechts) opgenomen om na te gaan hoe de zogenaamde 'schedelverdeling' is van de effecten: waar zijn de effecten het grootst en waar zijn ze kleiner, afwezig, of zelfs tegengesteld. Bij de analyses op prefrontale en occipitale electrodes heeft de factor Lateraliteit drie (links vs. midden vs. rechts),

respectievelijk twee (links vs. rechts) niveau's; de factor Anterioriteit is hier niet van toepassing. Omdat alleen effecten waarin de factor Conditie voorkomt iets zeggen over onze pragmatische manipulatie zullen andere (topografische) effecten hier niet verder worden besproken.

Vroege bipolaire component (180-320 ms post-onset). Het hoofdeffect van Conditie en het interactie-effect tussen Conditie en Lateraliteit waren niet significant (F -waardes < 1). De interactie Conditie x Anterioriteit was dat wel ($F(2,30)=5.34, p<.05$), maar werd gekwalificeerd door de significante drie-weginteractie tussen Conditie, Anterioriteit en Lateraliteit ($F(8,120)=2.22, p<.05$). Vervolganalyses lieten zien dat er interacties waren tussen Conditie en Anterioriteit op elk niveau van Lateraliteit, met uitzondering van de uiterst rechterkant (uiterst links: $F(2,30)=3.20, p=.069$; links: $F(2,30)=7.36, p<.01$; midden: $F(2,30)=8.72, p<.01$; rechts: $F(2,30)=3.18, p=.069$; uiterst rechts $F<1$). In elk van deze interacties was er sprake van een negativiteit (incongruent negatiever dan congruent) op de frontale electrodes en een positiviteit (incongruent positiever dan congruent) op de posterieure electrodes. De centrale electrodes zaten daar tussenin. Zie tabel 1 voor een weergave van de effectgroottes en bijbehorende significanties.

<< tabel 1 ongeveer hier >>

De analyse op de prefrontale electrodes leverde geen significante resultaten op; de analyse op de occipitale electrodes liet een significant hoofdeffect van Conditie zien ($F(1,15)=5.53, p<.01$), waarbij de incongruente conditie positiever was dan de

congruente conditie (een verschil van $0.81 \mu\text{V}$); er was geen interactie met Lateraliteit ($p > .25$).

Vroege positiviteit (350-550 ms post-onset. In de hoofdanalyse was er een significant hoofdeffect van Conditie ($F(1,15)=5.95$, $p < .05$), met een grotere positiviteit voor de incongruente conditie vergeleken met de congruente conditie (een verschil van $1.27 \mu\text{V}$). Er was geen interactie met de topografische factoren Anterioriteit en Lateraliteit (F -waardes < 1). In de analyse op de prefrontale electrodes was ook alleen het hoofdeffect van Conditie significant (een verschil van $1.82 \mu\text{V}$; $F(1,15)=7.61$, $p < .05$). Er waren geen significante effecten in de analyse op de occipitale electrodes (alle p -waardes $> .19$).

Late positiviteit (550-750 ms post-onset. Wat betreft de late positiviteit werd er een hoofdeffect gevonden van Conditie ($F(1,15)=7.99$, $p < .05$), met een grotere positiviteit voor de incongruente conditie vergeleken met de congruente conditie (een verschil van $1.89 \mu\text{V}$). Er was geen interactie met Anterioriteit ($F < 1$), maar de interactie met Lateraliteit was marginaal significant ($F(4,60)=2.22$, $p = .10$). Deze interactie werd echter gekwalificeerd door een significante drie-wegsinteractie tussen Conditie, Anterioriteit en Lateraliteit ($F(8,120)=2.13$, $p = .05$). Die interactie werd veroorzaakt doordat het effect van Conditie (hier: incongruent positiever dan congruent) met name groot is op de linkse en uiterst linkse electrodes; in het midden en rechts is de positiviteit vooral op frontale electrodes te zien, en uiterst rechts is het effect van Conditie zelfs afwezig. Zie tabel 2 voor een weergave van effectgroottes en significanties.

<< tabel 2 ongeveer hier >>

In de prefrontale analyse was alleen het hoofdeffect van Conditie significant: de incongruente conditie was positiever dan de congruente (een verschil van 2.82 μV ; $F(1,15)=11.65$, $p<.005$). Uit de analyses van de occipitale electrodes tenslotte bleek dat incongruentie een positief verschil veroorzaakte aan de linkerkant (O1: 0.54 μV) en een negatief verschil aan de rechterkant (O2: -0.16 μV). Deze interactie was marginaal significant ($F(1,15)=3.64$, $p=.076$).

<< figuur 4 ongeveer hier >>

Samenvatting Resultaten

Het schending van pragmatische verwachtingen in deze mini-dialogen had een zeer duidelijke weerslag op het ERP golfpatroon, en wel op drie verschillende momenten. Als eerste was er een relatief vroeg effect te zien dat al na 180 ms na het verschijnen van het kritische woord optrad. Deze vroege respons was een bipolair effect - een frontale negativiteit gekoppeld aan een posterieure positiviteit - dat met name zichtbaar was op electrodes in het midden en links op de schedel (het was afwezig aan de uiterste rechterzijde). Dit bipolaire effect werd gevolgd door een tweede effect: een positiviteit die algemeen op de schedel te zien was (behalve op de occipitale electrodes). Dit effect was te zien tussen 350 en 550 ms na het kritische woord. Deze 'vroege' positiviteit mondde uiteindelijk uit in een 'late' positiviteit die het meest geprononceerd was aan de linkerzijde van de schedel, en die met name groot was op frontale en prefrontale electrodes.

Discussie

We hebben gezien dat het Griceaanse Maxime van Hoeveelheid van groot belang is voor de onmiddellijke verwerking van taaluitingen. Nog geen 180 ms nadat duidelijk is geworden dat het Maxime is geschonden is er al een significante verschuiving in het ERP signaal te zien van de incongruente conditie ten opzichte van de congruente conditie. Op frontale electrodes (d.w.z., aan de voorzijde van de schedel), is deze verschuiving negatief, op meer posterieure electrodes (aan de achterkant) is de verschuiving positief. Dit vroege bipolaire effect in het ERP-patroon - dat volgens ons nog niet eerder gevonden is - is hoogstwaarschijnlijk een weerslag van de detectie van een pragmatische fout. De taalgebruiker verwacht dat de zojuist gepresenteerde entiteit (hier, 'de wethouder') een actie uit gaat voeren. Zodra het desambiguerende bijwoord wordt gepresenteerd blijkt dat deze verwachting niet klopt, hetgeen zich dan manifesteert als een pragmatische 'foutmelding'. Men zou kunnen tegenwerpen dat dit niet een puur pragmatisch effect is, maar juist een syntactisch effect dat wordt geïnstigeerd door de pragmatische manipulatie. Immers, de taalgebruiker verwacht naar alle waarschijnlijkheid een werkwoord (als in: "... en de wethouder lachte"), maar krijgt een woord van een geheel andere grammaticale klasse, namelijk een bijwoord (bijv., "uitbundig"). Echter, in dat geval zouden we een effect verwachten dat steevast optreedt bij schendingen van syntactische categorie, namelijk de ELAN (Early Left Anterior Negativity; Friederici, 1995). In het huidige onderzoek vinden we echter naast de negativiteit ook duidelijk een positiviteit. Het lijkt er dus op dat we een uniek, pragmatisch effect hebben geïdentificeerd dat optreedt wanneer pragmatische verwachtingen, in het huidige onderzoek gecreëerd op basis van het Maxime van Hoeveelheid, geschonden worden.

Na het vroege bipolaire effect vinden we een relatief vroege positiviteit in het tijdsinterval waar normaliter de N400 voorkomt (350-550 ms post-onset). Deze positiviteit komt op bijna alle electrodes voor behalve helemaal achter op de schedel, bij de occipitale electrodes. Dit effect vertoont grote overeenkomsten met een vroege positiviteit zoals gevonden door Bornkessel, Schlesewsky en Friederici (2002). Volgens Bornkessel et al. was deze positiviteit een weerspiegeling van 'thematische' heranalyse, waarbij de thematische rol die in eerste instantie aan een discourse entiteit was toegekend, uiteindelijk niet bleek te passen. In het huidige onderzoek zou zeker ook thematische heranalyse op kunnen treden omdat de ambigue NP (hier: 'de wethouder') pragmatisch gezien een AGENS (de entiteit die een handeling uitvoert) zou moeten zijn, maar uiteindelijk een PATIENS (de entiteit die een handeling ondergaat) blijkt te zijn. Het zou dus deze thematische verwarring kunnen zijn geweest die tot de vroege positiviteit heeft geleid.

Tenslotte vinden we na het vroege bipolaire en het vroege positieve effect een grote positieve verschuiving voor de incongruente dialogen dat gezien het tijdsverloop sterk aan een P600 doet denken. De schedelverdeling wijkt enigszins af van die van de 'standaard' P600: in plaats van een brede verdeling op de achterkant van de schedel vinden we hier een enigszins naar links verschoven positiviteit die met name op de frontale en prefrontale electrodes erg sterk is. Desalniettemin is het erg waarschijnlijk dat we hier met een lid van de P600 familie te maken hebben, al was het maar omdat we hier een P600 verwachtten: de P600 is namelijk een universele reactie op syntactische en semantische anomalie, dus waarom niet op pragmatische anomalie? De taalgebruiker doet haar uiterste best om alle taaluitingen te begrijpen en investeert over het algemeen veel om tot een coherente betekenis van een uiting te komen (Hoeks et al., 2004). De reden daarvoor is dat de lezer/luisteraar ervan uitgaat dat de

spreker/schrijver een rationeel wezen is dat waarheidsgetrouwe uitspraken doet, zoals ook door Grice beschreven (Grice, 1975). Wanneer taalgebruikers dus met taaluitingen worden geconfronteerd die niet helemaal kloppen, zullen ze alles doen om tot een coherente representatie van hetgeen gezegd werd te komen, met als laatste optie de syntactische heranalyse die zich manifesteert als een P600. Dit zou voor sprekers en schrijvers een les moeten zijn: schendingen van Griceaanse maxims kosten uw lezers en toehoorders meer cognitieve energie dan hen lief is.

Is neuroimaging de moeite waard?

Neuroimaging methoden hebben ontegenzeggelijk een aantal praktische en theoretische tekortkomingen. Bij ERP-registratie mag een proefpersoon niet met de ogen knipperen, en moet ze rechttuit kijken om oogbewegingsartefacten te voorkomen; bij fMRI moet ze lange tijd liefst helemaal stilliggen terwijl ze, omgeven door lawaai, met haar hoofd in een soort tunnel ligt. Vaak, en dat geldt voor beide methoden maar het meest voor ERPs, zijn veel herhalingen van stimuli in dezelfde conditie nodig om een helder signaal te verkrijgen. Het effect van deze herhaling op de proefpersonen, en uiteindelijk op de uitkomsten van het onderzoek is onbekend. Bovendien is het zo dat onder andere deze eis om veel stimuli te gebruiken het doen van dit soort experimenten behoorlijk kostbaar maakt, met name als het gaat om experimentele stimuli die het woord- en het zinsniveau overstijgen, zoals in onderzoek naar pragmatische en discourse-gerelateerde verschijnselen. Het construeren en valideren van materiaal bestaand uit kleine verhaaltjes kan gemakkelijk een half jaar in beslag nemen (Van Berkum, 2004). Gegeven de andere problemen bij fMRI (ongevoeligheid voor de tijdsduur van cognitieve processen, signaal komt van bloedvaten en niet van

groepjes neuronen, verschillen tussen mensen in vorm en functionele indeling van hun hersenen, meetartefacten bij frontale en temporale hersengebieden) en ERPs (ongevoeligheid voor de localisatie van de bron van processen, niet alle hersenactiviteit komt in het EEG terecht, moeite met interpreteren van effecten) rijst de vraag: is het doen van dit soort onderzoek, met deze methoden, de moeite wel waard?

De uitkomst van het experiment dat hierboven beschreven is, geeft eigenlijk al een antwoord op die vraag. Immers, het laat zien hoe snel een pragmatische fout wordt gedetecteerd, en ook welke processen op deze detectie volgen. De interpretatie van de gevonden ERP-effecten ligt overigens niet vast, en kan veranderen naarmate we meer kennis vergaren over de relatie tussen ERP-effecten (of actieve hersengebieden) enerzijds en cognitieve verschijnselen anderzijds. Maar het is wel zo dat deze fijnmazigheid van resultaten niet kan worden bereikt in paradigma's als 'drukknop-lezen' of 'oogbewegingsregistratie'. De resultaten van dit soort experimenten hebben slechts één dimensie: die van de tijd: een proces duurt kort of duurt lang, al moet aangetekend worden dat in oogbewegingsexperimenten ook andere maten te berekenen zijn, zoals bijvoorbeeld het aantal regressies (waarbij de ogen terugspringen naar eerder gelezen gedeelte van de tekst) of het aantal keer dat een lezer een woord of tekstgedeelte overslaat. Wat voor soort cognitieve processen in welke volgorde aan deze modulatie van tijdsduur ten grondslag liggen is bijzonder moeilijk vast te stellen. Desondanks zijn dit soort experimenten cruciaal voor het begrijpen en juist interpreteren van neuroimaging onderzoek. Met name in ERP-onderzoek is het niet mogelijk om puur op basis van de gevonden patronen af te leiden of een bepaalde conditie nu moeilijker is dan een andere, hetgeen tot een volstrekt verkeerde interpretatie kan leiden (zie Hoeks, Stowe, & Wunderink, 2004,

waarin aangetoond wordt dat de negatieve verschuiving die door Münte, Schiltz, & Kutas, 1998, werd gevonden geen moeilijkheid, maar juist gemak van verwerking representeert). Ook in fMRI onderzoek is het niet altijd duidelijk welke stimuli nu moeilijker zijn en op welke dimensie. Het is dus essentieel om neuroimaging en reactietijd / oogbewegingsonderzoek te combineren. Dat is ook de reden dat we op dit moment bezig zijn het huidige experiment te herhalen met reactie-tijd metingen.

Literatuur

- Bornkessel, I., Schlesewsky, M., & Friederici, A. D. (2002). Beyond syntax: language-related positivities reflect the revision of hierarchies. *NeuroReport*, 13(3), 361-364.
- Campbell, J. (2001). *The liar's tale*. New York, NY: Norton.
- Coulson, S. (2004). Electrophysiology and pragmatic language comprehension. In: I. Noveck & D. Sperber (Eds.), *Experimental pragmatics* (pp.187-206). San Diego, CA: Palgrave MacMillan.
- Friederici, A. D. (1995). The time course of syntactic activation during language processing: A model based on neuro-psychological and neurophysiological data. *Brain and Language*, 50, 259–281.
- Grice, H. P. (1975). *Logic and Conversation*. In P. Cole & J. L. Morgan (Eds.), *Syntax and Semantics, Volume 3: Speech Acts* (pp. 41–58). New York: Academic Press.
- Gunter, T. C., Stowe, L. A., & Mulder, G. (1997). When syntax meets semantics, *Psychophysiology*, 34, 660-676.
- Hagoort, P., Brown, C. M., & Groothusen, J. (1993). The syntactic positive shift as an ERP measure of syntactic processing. *Language and Cognitive Processes*, 8, 439-484.
- Hoeks, J. C. J. (1999). *The processing of coordination: semantic and pragmatic constraints on ambiguity resolution*. Proefschrift, Universiteit Nijmegen.
- Hoeks, J. C. J., Hendriks, P., Vonk, W., Brown, C. M., & Hagoort, P. (in druk). *Processing the NP- versus S-coordination ambiguity: thematic information does*

- not completely eliminate processing difficulty. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A: Human Experimental Psychology*.
- Hoeks, J. C. J., & Stowe, L. A. (in voorbereiding). The time-course of facilitatory and inhibitory processes in sentence comprehension. Manuscript in voorbereiding, Rijksuniversiteit Groningen
- Hoeks, J. C. J., Stowe, L. A., & Doedens, L. G. (2004). Seeing words in context: the interaction of lexical and sentence level information during reading. *Cognitive Brain Research*, 19, 59-73.
- Hoeks, J. C. J., Stowe, L. A., & Wunderink, C. (2004). Time is of the essence: processing temporal connectives during reading. In K.D. Forbus, D. Gentner, & T. Regier (Eds.), *Proceedings of the Twenty-Sixth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Hoeks, J. C. J., Vonk, W., & Schriefers, H. (2002). Processing coordinated structures in context: the effect of topic-structure on ambiguity resolution. *Journal of Memory and Language*, 46, 99-119.
- Horn, L. R. (2004). Implicature. In: L. R. Horn & G. Ward (Eds.), *The handbook of pragmatics* (pp. 3-28). Malden, MA: Blackwell.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.
- Kutas, M., Van Petten, C., & Kluender, R. (te verschijnen). Psycholinguistics electrified II (1994-2005). In: M. A. Gernsbacher & M. Traxler (Eds.), *Handbook of psycholinguistics* (2nd Edition). New York, NY: Elsevier.
- Lambrecht, K. (1994). *Information structure and sentence form: Topic, focus, and the mental representation of discourse referents*. Cambridge, MA: University Press.

- Münter, T. F., Schiltz, K., & Kutas, M. (1998). When temporal terms belie conceptual order: an electrophysiological analysis. *Nature*, 395, 71-73.
- Stowe, L. A. & Wijers, A. A. (1998). Onderzoek naar de verwerking van taal met behulp van Event-Related Potentials. *Stem- Spraak- en Taalpathologie*, 7(1), 3-22.
- Stowe, L. A., Wijers, A. A., Willemsen, A., Reuland, E., Paans, A. M. J., & Vaalburg, W. (1994). PET studies of language: an assessment of the reliability of the technique. *Journal of Psycholinguistic Research*, 23, 499-527.
- Van Berkum, J. J. A. (2004). Sentence comprehension in a wider discourse: can we use ERPs to keep track of things? In: M. Carreiras & C. Clifton, Jr. (Eds.), *The on-line study of sentence comprehension: Eyetracking, ERPs and beyond* (pp. 229-270). New York: Psychology Press.
- Van Petten, C. (in druk). Neural localization of semantic context effects in electromagnetic and hemodynamic studies. *Brain & Language*.

Tabel 1 Effectgroottes (incongruent *minus* congruent, in μV) voor frontale, centrale en posterieure electrodes op elk niveau van Lateraliteit. In grijs gemarkeerde cellen is het effect van Conditie (marginaal) significant ($p < .10$).

	<i>Uiterst links</i>	<i>Links</i>	<i>Midden</i>	<i>Rechts</i>	<i>Uiterst rechts</i>
<i>Frontaal</i>	-0.8	-0.7	-0.9	-0.5	-0.4
<i>Centraal</i>	0.0	0.4	0.5	0.2	0.2
<i>Posterieur</i>	0.9	1.1	1.2	0.6	0.1

Tabel 2 Effectgroottes (incongruent *minus* congruent, in μV) voor frontale, centrale en posterieure electrodes op elk niveau van Lateraliteit. In grijs gemarkeerde cellen is het effect van Conditie (marginaal) significant ($p < .10$).

	Uiterst links	Links	Midden	Rechts	Uiterst rechts
<i>Frontaal</i>	2.1	3.2	2.6	2.3	1.1
<i>Centraal</i>	2.3	2.1	1.2	1.4	1.3
<i>Posterieur</i>	2.3	2.7	1.9	1.3	0.5

Figuuronderschriften

Figuur 1. Schematische weergave van de intensiteit van het MR-sigitaal na het aanbieden van een stimulus

Figuur 2. Voorbeelden van de bekendste ERP-effecten: het N400-effect (linkerpaneel) en het P600-effect (rechterpaneel); De grijze lijn is steeds de conditie met de schending; de zwarte lijn is de normale controle-conditie; het gaat hier om de electrode Pz.

Figuur 3. Plaatsing van de electrodes op het hoofd; het driehoekje aan de bovenkant stelt de neus van de proefpersoon voor.

Figuur 4. ERP-golfpatronen voor incongruente (grijs) en congruente dialogen (zwart) op een frontale (Fz) en een posterieure electrode (Pz).