

Over dyslexie als manifestatie van een meer algemene leerstoornis: Nicolson & Fawcett (1990), Yap & Van der Leij (1994).

WAT ZIJN WOORDEN EN WAAR VINDEN WE ZE IN ONS BREIN?

P. Hagoort

In minstens één opzicht stelt het menselijk brein ons in staat iets te doen dat geen enkele diersoort ons nadoet. Dat is ons vermogen te communiceren via taal. Een goed deel van de dag zijn we bezig woorden en zinnen te spreken en naar woorden en zinnen te luisteren. Doorgaans doen we dat snel en buitengewoon efficiënt. De vraag die de taalpsycholoog zich stelt is: Hoe zit dit menselijk taalvermogen in elkaar dat deze effectieve vorm van communicatie mogelijk maakt. Dit is de vraag naar de cognitieve architectuur van onze taalvaardigheid.

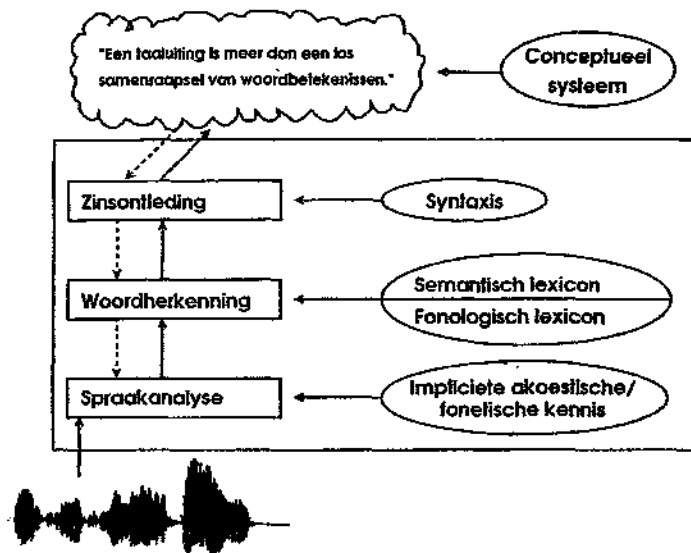


Fig. 1: De cognitieve architectuur van taalverstaan.

Figuur 1 illustreert voor een van deze vaardigheden, nl. taalverstaan (naast spreken, lezen en schrijven) hoe we tegenwoordig over de cognitieve architectuur daarvan nadenken.

Taalverstaan vereist dat we op basis van het spraaksignaal de juiste woorden uit het lexicon ophalen. Het variabele spraaksignaal moet daartoe met behulp van onze impliciete kennis over de akoestisch-fonetische eigenschappen van het Nederlands gebruikt worden om de in het mentale lexicon opgeslagen klankvorm van het te

herkennen woord te activeren. Op basis van de activatie van de klankvorm worden de daarmee geassocieerde syntactische eigenschappen (zoals woordklasse: zelfstandig naamwoord, werkwoord, etc.) en de semantische specificaties van het herkende woord geactiveerd. Deze informatie moet vervolgens worden ingevoegd in de op basis van voorafgaande woorden opgebouwde zinsrepresentatie. Bij dit invoegen speelt onder andere impliciete kennis van de grammatica een belangrijke rol. Woorden krijgen in zinsverband een grammaticale rol toebedeeld die op de relevante thematische rollen (agens, thema, instrument) wordt geprojecteerd. Op deze wijze achterhaalt de luisteraar wie wat doet en waarmee. De uitkomst van dit proces is de interpretatie van de geproduceerde uiting.

Een vergelijkbaar model kan worden gespecificeerd voor de cognitieve architectuur van lezen. Bij lezen gaat het echter om het ophalen van woordinformatie op basis van visuele (in plaats van auditieve) informatie, zoals lijnsegmenten, rondingen, etc. Maar voor het overige, moet de lezer ongeveer dezelfde cascade van processen doorlopen als de luisteraar.

Het probleem waarvoor de taalpsycholoog zich gesteld ziet is te achterhalen uit welke kennisbestanden en verwerkingscomponenten het menselijk taalvermogen is opgebouwd, alsmede hoe razendsnelle processen als lezen en verstaan temporeel georganiseerd zijn. Ter illustratie licht ik er hieronder een component uit: het mentale lexicon.

Het mentale lexicon

Een centrale rol in taalpsychologisch onderzoek wordt toegekend aan de woordenschat waarover taalgebruikers beschikken. Hoe is deze woordenschat georganiseerd en op welke wijze halen we die informatie uit het geheugen op? Bij een taalgebruiker met een gemiddeld scholingsniveau ligt al gauw kennis over zo'n 40.000 woorden van de moedertaal opgeslagen in de hersenen. Daarbij moeten we niet alleen denken aan kennis over hoe de betreffende woorden klinken en geschreven worden, maar ook aan specificaties van hun betekenis en syntactische eigenschappen. De syntactische eigenschappen van woorden bepalen onder andere of we te maken hebben met een werkwoord, een zelfstandig naamwoord, een voorzetsel, etc.

Bij spreken, lezen en luisteren wordt al deze informatie in een fractie van een seconde uit het geheugen opgehaald. Feitelijk is de snelheid waarmee wij kunnen spreken, lezen en verstaan ronduit verbazingwekkend. Zonder problemen volgen wij op een doorsnee zondagavond in de uitzending van Studio Sport het commentaar van Hans Eijsvogel bij "De koers van de maand". Eijsvogel laat zich daarin door de paarden regelmatig opjagen tot een spreektempo van zo'n 4 woorden per seconde. Om zijn commentaar te begrijpen, moeten we uit ons omvangrijke mentale woordenbestand de juiste woorden inclusief hun syntactische en semantische kenmerken ophalen. Eijsvogel zelf moet bij het spreken met dezelfde snelheid de juiste woorden selecteren, maar ook nog eens de grote hoeveelheid spieren (zo'n 100 in getal) aansturen die bij het articuleren van

woorden en zinnen betrokken zijn. Ook bij een doorsnee spreektempo van zo'n 2 woorden per seconde, blijft dit een verbazingwekkende prestatie.

Het is verbluffend hoe moeiteloos en adequaat wij doorgaans in staat zijn bij het spreken alle elementen van een zin razendsnel te selecteren, op de juiste plaats te zetten en uit te spreken. Desalniettemin gaat er wel eens wat fout, hetgeen zich onder andere manifesteert in haperingen en versprekingen. De keren dat versprekingen iets over onze onbewuste drijfveren onthullen (de Freudiaanse verspreking) zijn te verwaarlozen vergeleken bij het aantal versprekingen dat een gevolg is van een hapering in de cognitieve machinerie die een gedachte omzet in een welgevormde zin. Zo versprak de voorzitter van de politiebond zich in een radiointerview (3/1/1989): "We moesten ook de boezem in eigen hand steken", waarbij de twee zelfstandige naamwoorden in de zin van plaats verwisselden. Ook klanken kunnen van plaats verwisselen zoals in het voetbalverslag van Evert te Napel (juni 1990): "Het snel werd speller." (i.p.v. "Het spel werd sneller"). Voormalig minister Van den Broek sprak in 1991 zijn bezorgdheid uit over "een staatsgriep naar klassiek model", waarbij de ie-klank van 'klassiek' bij het uitspreken van 'staatsgreep' op typisch Hollandse wijze voor zijn beurt ging. De reeds genoemde Te Napel tenslotte had het tijdens zijn verslag van Ajax-Porto (januari 1988) over "een goeie demarratie", waarbij de alternatieve woorden 'demarrage' en 'acceleratie' kennelijk gelijktijdig uit het geheugen waren opgehaald en bij het uitspreken in elkaar geschoven werden.

Taal en hersenen

Versprekingen zijn niet willekeurig, maar voldoen aan bepaalde regelmatigheden. Tezamen met in experimenteel onderzoek verkregen gegevens, stelt dit soort informatie de taalpsycholoog in staat complexe taalvaardigheden in hun onderdelen uiteen te leggen en aan te geven hoe deze in de tijd zodanig georkestreerd zijn dat snelle en adequate uitvoering van de betreffende taalvaardigheid gerealiseerd kan worden. Pas met een dergelijke schets van de onderdelen en hun samenspel in de hand kan de vraag hoe taal en hersenen met elkaar samenhangen zinvol gesteld worden. De cognitieve architectuur vormt als het ware de bestektekening waarmee wij in het brein op zoek kunnen gaan naar de neurale bouwstenen waaruit het menselijk taalvermogen is opgetrokken.

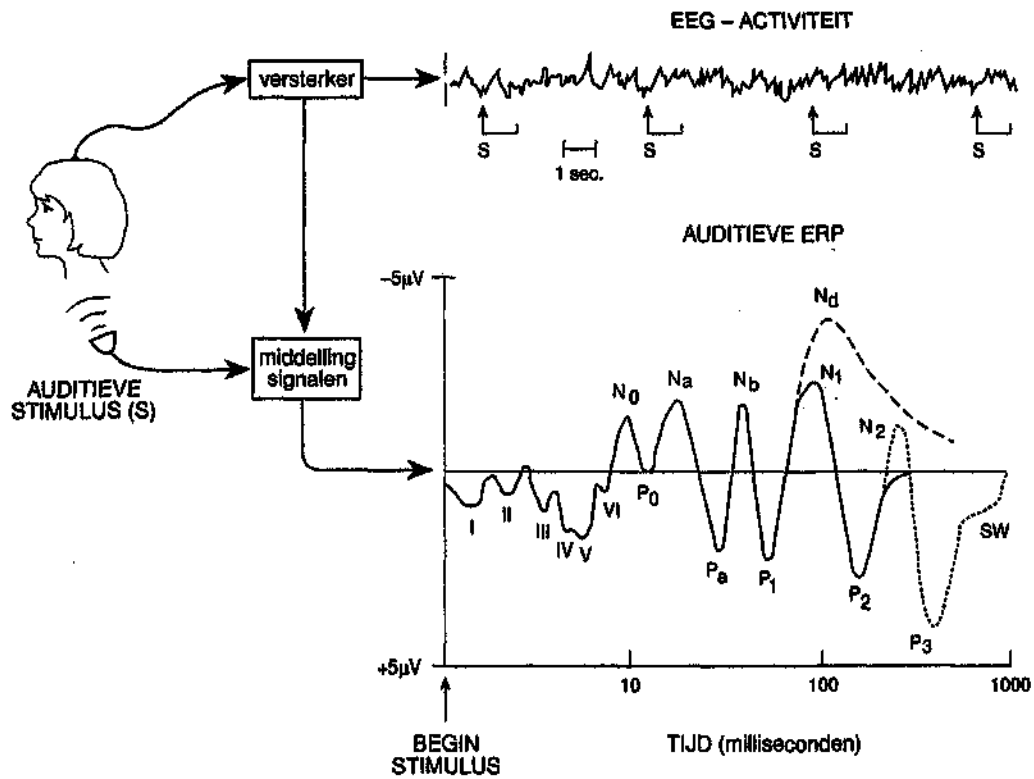
Het in kaart brengen van de neurale architectuur van het menselijk taalvermogen is echter minder eenvoudig dan voor andere cognitieve functies zoals bijvoorbeeld de visuele waarneming. Onze kennis over de wijze waarop het brein waarneemt is voor een belangrijk deel gebaseerd op dierproeven. Voor spreken en verstaan is een dergelijk diermodel echter niet voorhanden. Tot op heden komen sprekende dieren voornamelijk in tekenfilms en kinderboeken voor. Dientengevolge kunnen we uit dierproeven niet al te veel leren over de neurale architectuur van het menselijk taalvermogen. Lange tijd waren we daarvoor aangewezen op 'experimenten van de natuur' in de vorm van hersenbeschadigingen en de daarmee samenhangende taaltuitval. Op basis van gegevens

verkregen uit deze 'experimenten van de natuur' weten we dankzij het baanbrekende werk van de Franse neuroloog Broca sinds eind vorige eeuw dat bij de meeste mensen het taalvermogen zetelt in de linker hersenhelft. Met name delen van de frontaalkwab, de temporaalkwab en de pariëtaalkwab spelen een centrale rol bij ons taalvermogen. Indien we echter meer in detail willen specificeren welke rol voor deze gebieden is weggelegd bij spreken en verstaan wordt het lastiger. Lange tijd is gedacht dat een gedeelte van de frontaalkwab (met name het gebied van Broca) de metselaar was die met behulp van syntactisch cement de bouwstenen van de zin tot een welgevormde uiting samenvoegt. De meer naar achter gelegen windingen werden geacht de woordklanken te huisvesten en ons tevens in staat te stellen de betekenis van de gehoorde uiting te achterhalen. Recent onderzoek laat zien dat het toch allemaal nog wat ingewikkelder is. Conclusies die gebaseerd zijn op hersenbeschadigingen alleen blijken niet voldoende. Een beter inzicht in de relatie tussen taal en hersenen hangt af van de mate waarin we de hersenen kunnen inspecteren terwijl ze actief met taal bezig zijn. Dus moeten we de hersenactiviteit tijdens spreken, luisteren, lezen of schrijven proberen vast te leggen.

Het brein in bedrijf

Om het brein in bedrijf te zien, zijn we kortom aangewezen op registraties van hersenactiviteit. De meest bekende maat van hersenactiviteit is het Electro-Encephalo-Gram (EEG). Afname van het EEG gebeurt tegenwoordig niet alleen voor medische doeleinden, maar ook in wetenschappelijk onderzoek. In dat laatste geval gaat het er onder andere om neurofysiologische correlaten op te sporen van specifieke cognitieve vaardigheden. Indien we een proefpersoon een aantal stimuli (bijvoorbeeld woorden) aanbieden en we middelen de stukjes EEG die na elke afzonderlijke stimulus optreden, kunnen we een karakteristiek patroon van pieken en dalen in het gemiddelde EEG waarnemen. Elk van deze pieken en dalen vertegenwoordigt een afzonderlijke hersenpotentiaal. Algemeen wordt aangenomen dat verschillende hersenpotentialen door verschillende groepen hersencellen opgewekt worden. Figuur 2 laat de basisprincipes van de ERP-methode zien.

Voor onderzoek naar het menselijk taalvermogen won deze techniek aan belang na de opzienbarende ontdekking van een hersenpotentiaal met een specifieke gevoeligheid voor taal. Het waren Marta Kutas en Steven Hillyard, beiden verbonden aan de Universiteit van Californië, die daarover in 1980 voor het eerst in *Science* rapporteerden. Zij observeerden een negatieve piek in het EEG die zijn piekwaarde bereikte zo om en nabij de 400 milliseconden nadat een woord zichtbaar geworden was. Om die reden doopten zij deze hersenpotentiaal de N400. De grootte van deze negatieve piek



wordt beïnvloed door de mate waarin de betekenissen van woorden in een zin met elkaar samenhangen. Kutas en Hillyard vonden een grotere N400 voor het laatste woord in de zin "Hij besmeerde zijn boterham met *socken*" dan voor het zinsfinale woord in "Hij besmeerde zijn boterham met *boter*". Simpelweg kan men zeggen dat hoe harder het brein moet werken om de verschillende afzonderlijke woordbetekenissen tot een interpretatie van de gehele uiting samen te smeden, des te groter de N400-piek. Origineel is in ons eigen laboratorium een hersenpotentiaal gevonden die samen lijkt te hangen met de opbouw van een syntactische structuur voor een zin. Proefpersonen kregen zinnen te lezen die in sommige gevallen een syntactische schending bevatten, zoals in "Het verwerende kind *gooien* het speelgoed op de grond". In deze zin is het onderwerp enkelvoud en het werkwoord meervoud, hetgeen tegen de regels van de grammatica voor het Nederlands is. Het werkwoord 'gooien' leidt in zo'n geval tot een grote positieve uitslag in het ERP-signaal om en nabij de 500 milliseconden nadat het op het beeldscherm is verschenen. Deze hersenpotentiaal hebben wij de SPS (Syntactic Positive Shift) genoemd.

Het bestaan van een onafhankelijke 'semantische' en 'syntactische' hersenpotentiaal is neurofysiologische ondersteuning voor de gedachte dat bij lezen en luisteren onderscheid moet worden gemaakt tussen het opbouwen van een syntactische structuur en het genereren van een semantische interpretatie. Het betreft hier twee afzonderlijke deelcomponenten van de menselijke taalvaardigheid. Tevens kan uit deze bevindingen worden afgeleid dat het samenstel van hersenstructuren dat betrokken is bij syntactische processen op zijn minst gedeeltelijk verschillend is van de hersengebieden die zich bezighouden met de betekenis van woorden en zinnen.

De neurale bouwstenen van woorden

Dankzij nieuwe technologische ontwikkelingen is de laatste jaren het scala aan mogelijkheden om het menselijk brein in bedrijf te zien uitzonderlijk snel toegenomen. Voor het bestuderen van taalprocessen in het gezonde brein zijn we in belangrijke mate op recente beeldvormingstechnieken aangewezen.

Een van de meest geavanceerde technieken om bij taal betrokken hersenprocessen te bestuderen, is de Positronen Emissie Tomografie (PET). In de voor ons doel relevante PET-studies wordt zeer licht radioactief gemaakte zuurstof in de bloedbaan ingebracht. Door de uitgezonden straling te registreren kan worden nagegaan naar welke gebieden in de hersenen de bloedtoevoer het grootst is. De achterliggende gedachte is dat de gebieden die er hard aan moeten trekken meer zuurstof nodig hebben dan hersengebieden die het kalmjes aan doen. Als we proefpersonen bijvoorbeeld vragen naar een bepaald patroon te kijken zien we duidelijk de primair visuele cortex achter in het hoofd 'oplichten', ten teken van de noeste arbeid die daar op dat moment verricht wordt.

Steve Petersen en zijn collega's in St. Louis en de Hammersmith groep in Londen hebben deze techniek benut om te achterhalen welke hersengebieden bij het verwerken van woorden zijn betrokken. Petersen vroeg proefpersonen naar letterreeksen te kijken die geen bestaande woorden waren maar wel overeenkwamen met de spellingsregels van het Engels (bijv. 'tweal') of naar letterreeksen die niet kunnen worden uitgesproken (bijv. 'nlpfs'). Alleen in het eerste geval werd in het achterste gedeelte van de linker hersenhelft hogere activiteit waargenomen, hetgeen erop zou kunnen duiden dat dit gebied betrokken is bij het destilleren van een woordvorm uit een reeks losse letters. Petersen vroeg de proefpersonen in een ander experiment voor elk op het beeldscherm verschijnend zelfstandig naamwoord een bijpassend werkwoord te noemen. (bijv. 'kip' - 'kakelen'). In dit geval wordt een gebied in de linker frontale hersenschors actief. De gedachte is dat deze taak de proefpersonen dwingt met name de betekenis van het aangeboden woord (in dit geval 'kip') en de betekenis van een bijpassend werkwoord (bijv. 'kakelen') sterk te activeren. De linker frontale hersenhelft zou derhalve een rol spelen bij semantische processen. In ons eigen onderzoek, hebben we andere gebieden gevonden (met name in de temporaalkwab) die bij het activeren van woordvormen en woordbetekenissen betrokken zijn.

Hoewel deze PET-studies een eerste begin zijn en nog veel vragen openlaten, hebben zij één ding onomstotelijk duidelijk gemaakt. Als we ons afvragen welke gebieden in de hersenen voor de verwerking van woorden verantwoordelijk zijn, dan is het antwoord daarop afhankelijk van de vraag over welk aspect van woorden we het eigenlijk hebben. Bij de waarneming van geschreven woordvormen zijn andere gebieden betrokken dan bij de waarneming van woordklanken. Wat een woord betekent wordt door een ander hersengebied bepaald dan hoe een woord klinkt of geschreven wordt.

De gedachte dat woorden als kant en klare pakketjes ergens in onze hersenen liggen opgeslagen is veel te naïef gebleken. Voor het spreken dan wel schrijven of luisteren dan wel lezen van woorden worden een groot aantal hersengebieden gerecruteerd. Deze gebieden zijn onderling met elkaar verbonden, maar ook met de primaire visuele (lezen) en auditieve gebieden (luisteren), de motorische schors (spreken en schrijven), en met de hersengebieden die onze aandacht sturen. Afhankelijk van wat de taalgebruiker op een bepaald moment met woorden moet doen, wordt de activiteit van deze diverse gebieden neuraal georkestreerd. Uiteraard neemt de complexiteit van dit samenspel in het brein alleen nog maar toe indien we daarbij betrekken hoe woorden in een zinsverband worden ingebed, hoe bij het uitspreken van een zin de juiste intonatie geproduceerd wordt, etc.

Verstoorde woorden

Ongetwijfeld is het vermogen tot communicatie via natuurlijke talen een van de meest complexe producten van de evolutie. De wijze waarop dit vermogen door onze hersenen

wordt gerealiseerd is het product van een uiterst complex samenspel van gebieden die zich bij de meeste mensen met name (maar niet uitsluitend) in de linker hersenhelft bevinden. Steeds duidelijker wordt dat centrale cognitieve vermogens zoals aandacht, geheugen en taal zowel gelocaliseerd als gedistribueerd in het brein verankerd zijn. Gelocaliseerd in de zin dat gebieden die bij taal betrokken zijn kunnen worden aangewezen. Gedistribueerd omdat de verschillende deelaspecten van het menselijk taalvermogen niet lokaal gerealiseerd worden, maar uitkomst zijn van een neurofysiologisch proces waarbij meerdere hersengebieden worden ingeschakeld.

In dit uiterst complexe samenstel van bij lezen en andere taalfuncties betrokken hersengebieden kunnen haperingen in de neurale orkestratie aanleiding zijn tot verminderde efficiëntie en leesproblemen. Wellicht treden deze haperingen eerder op bij lezen en schrijven dan bij spreken en verstaan, omdat in tegenstelling tot spreken en verstaan de neurale circuits voor lezen en schrijven niet via evolutionaire selectiemechanismen zijn gevormd. Bij lezen en schrijven maken we ten dele gebruik van neurale circuits die pas na lange training voor deze functies geschikt te maken zijn. Dit geldt onder andere voor het ophalen van woordinformatie uit het mentale lexicon op basis van visuele vorminformatie. De snelheid waarmee dit moet plaatsvinden, de complexe neurale orkestratie die daarvoor moet worden aangeleerd maken het proces storingsgevoelig. Het gevolg kan zijn dat verstoorde woorden worden gelezen.