

# Aandacht voor taal

INAUGURELE REDE DOOR PROF. DR. ARDI ROELOFS

in au  
gurele  
redo

*change perspective*

Radboud Universiteit



## INAUGURELE REDE

PROF. DR. ARDI ROELOFS



De negentiende-eeuwse theorie van Wernicke over taal, taalstoornissen en de hersenen heeft laten zien dat niets zo nuttig is voor diagnostiek en therapie als een goede theorie. Maar het is ook al lang duidelijk dat

deze theorie tekortkomingen heeft, zoals het ontbreken van een inbedding van taal binnen andere psychologische functies, waarvan aandacht één van de belangrijkste is. Op basis van recente inzichten uit de cognitieve neurowetenschap presenteert Ardi Roelofs een nieuwe theorie over de relatie tussen taal, aandacht en de hersenen. Die theorie heeft implicaties voor diagnostiek en taaltherapie. Ze verklaart hersenactiviteit en gedragskenmerken van spreken en begrijpen, en ook taalontwikkelingsstoornissen en taalstoornissen ten gevolge van beroertes en hersenziekten. Onderzoek zal in de komende jaren moeten uitwijzen hoe juist en nuttig deze nieuwe theorie is.

Ardi Roelofs studeerde Psychologie aan de Radboud Universiteit, waar hij (cum laude) zijn bachelor en master behaalde en in 1992 (cum laude) promoveerde. Daarna was hij werkzaam aan het Massachusetts Institute of Technology in de Verenigde Staten, het Max Planck Institute for Psycholinguistics in Nijmegen, de University of Exeter in Engeland, opnieuw het Max Planck Institute en tenslotte het Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour van de Radboud Universiteit. In 2013 werd hem door deze universiteit een persoonlijke leeropdracht toegekend op het gebied van taal en aandacht. Sinds dat jaar is hij ook opleidingsdirecteur van de onderzoeksmaster Cognitive Neuroscience.

AANDACHT VOOR TAAL



## **Aandacht voor taal**

*Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar Taal en aandacht aan de Faculteit der Sociale Wetenschappen van de Radboud Universiteit op vrijdag 19 september 2014*

**door prof. dr. Ardi Roelofs**

Vormgeving en opmaak: *gloedcommunicatie*, Nijmegen  
Fotografie omslag: Bert Beelen  
Drukwerk: Van Eck & Oosterink

© Prof. dr. Ardi Roelofs, Nijmegen, 2014

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar worden gemaakt middels druk, fotokopie, microfilm, geluidsband of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de copyrighthouder.

*« Un discours doit être comme une minijupe, suffisamment long pour couvrir le sujet, mais suffisamment court pour retenir l'attention »*

*Jacques Gandouin*

*Mijnheer de rector magnificus,  
zeer gewaardeerde toehoorders,*

De komende drie kwartier vraag ik u dat te doen waar deze oratie over gaat, namelijk aandacht te schenken aan taal. Dat taal om aandacht vraagt blijkt uit tal van situaties. Zo is bellen tijdens het autorijden in een drukke stad vaak een probleem omdat de aandacht dan verdeeld moet worden. Een gesprek voeren op een receptie, bijvoorbeeld na afloop van deze oratie, vraagt om extra aandacht om niet afgeleid te worden door andere gesprekken. Spreken in een vreemde taal vraagt meestal extra aandacht, met name als de andere taal nog niet goed wordt beheerst. En een hersenbeschadiging door een beroerte of hersenziekte kan tot taalverlies leiden, waarna extra aandacht nodig is voor het spreken en begrijpen. Aandacht dient er voor om snel en accuraat te blijven in situaties zoals net beschreven, waarin snelheid en accuratesse niet automatisch gegarandeerd zijn.

#### COMPONENTEN VAN AANDACHT

Aandacht omvat een aantal deelvermogens (Petersen & Posner, 2012; Posner & Raichle, 1994). Drie belangrijke vermogens zijn concentreren, oriënteren en controleren. Concentreren is het vermogen om de aandacht vast te houden over een langere periode, datgene wat u moet doen tijdens deze oratie. Oriënteren is het vermogen om de aandacht te verplaatsen in de ruimte, wat meestal gepaard gaat met een verandering van kijkrichting. Dit vermogen maakt het bijvoorbeeld mogelijk dat ik van mijn papier opkijk naar de zaal. Controleren is het vermogen om andere mentale processen te sturen zodat ze doelgericht blijven. Dit vermogen maakt het bijvoorbeeld mogelijk dat ik mijn verhaal houd en niet met mijn vrouw en kinderen op de eerste rij ga praten. Controleren bestaat uit een aantal deelfuncties, namelijk bijwerken, onderdrukken/versterken en schakelen (Friedman, Miyake, Young, DeFries, Corley, & Hewitt, 2008; Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter, & Wager, 2000). Bijwerken is het vermogen om de inhoud van het werkgeheugen te vernieuwen en aan te passen aan veranderde situaties. Mijn werkgeheugen zei een paar minuten geleden dat ik u welkom moest heten en zegt nu dat ik het over onderdrukken/versterken moet hebben, dat is het vermogen om activiteitsverschillen van geheugenrepresentaties te vergroten. Schakelen tenslotte, is het vermogen om te wisselen van de ene taak naar de andere, bijvoorbeeld van de ene taal naar de andere. Al deze vermogens zijn functies van de hersenen. Vandaag wil ik het met u hebben over de vraag hoe de hersenen aandacht voor taal mogelijk maken.

#### PIONIERSWERK VAN WERNICKE EN WUNDT

Wetenschappelijk onderzoek naar aandacht en taal bestaat pas ongeveer honderdvijftig jaar. In 1874 verschenen er twee boeken die de fundamenteën hebben gelegd voor alle latere wetenschappelijke ontdekkingen en inzichten. Het ene boek is van Carl Wernicke, getiteld *Het afatische symptomencomplex: Een psychologische studie op anatomische basis* (Wernicke, 1874). Hierin beschrijft Wernicke een theorie over taal en de hersenen, en hoe taalstoornissen afhankelijk zijn van de plaats van hersenbeschadiging door beroertes. Het werk van Wernicke heeft afgelopen eeuw laten zien dat niets zo nuttig is voor diagnostiek en therapie als een goede theorie. Het andere boek is van Wilhelm Wundt, getiteld *Principes van de fysiologische psychologie* (Wundt, 1874). Hierin geeft Wundt een overzicht van alles wat er indertijd bekend was over de hersenen en over mentale processen vanuit het reactietijdonderzoek, waarmee kort daarvoor de Nederlander Donders was begonnen. In latere uitgaven van Wundts boek wordt ook de theorie van Wernicke besproken (zie bijvoorbeeld Wundt, 1904). Wundt wees op een fundamentele tekortkoming van Wernickes theorie, namelijk het ontbreken van een inbedding van taal binnen andere psychologische functies, waarvan aandacht één van de belangrijkste is. Vreemd genoeg is meer dan een eeuw aan deze kritiek weinig gedaan. Ik zal eerst wat meer zeggen over het werk van Wernicke en Wundt en zal daarna ingaan op latere ontwikkelingen. De boeken van Wernicke en Wundt hebben geleid tot verschillende, grotendeels gescheiden onderzoekstradities. In afasieonderzoek kijkt men naar de taalaccuratesse, oftewel de fouten die iemand maakt, en bij reactietijdonderzoek kijkt men naar de snelheid van produceren en begrijpen. Ik zal vandaag een concreet voorstel doen om de tradities van Wernicke en Wundt, van accuratesse en snelheid, bij elkaar te brengen en te verenigen in een nieuwe theorie over taal, aandacht en de hersenen. Mijn leerstoel is bedoeld om hieraan de komende jaren verder te werken. Onderzoek zal moeten uitwijzen hoe juist en nuttig voor diagnostiek en therapie deze nieuwe theorie is.

#### TAAL, ACCURATESSE EN DE HERSENEN

In zijn boek bouwt Wernicke voort op een cruciale ontdekking van de Fransman Paul Broca tien jaar daarvoor. Broca (1861) ontdekte dat er problemen bij taalproductie optreden na beschadiging van het achterste deel van de onderste hersenwinding van de linker frontaalschors, later het gebied van Broca genoemd. De hersenen van zijn historische patiënt, Leborgne, zijn bewaard gebleven in een museum in Parijs, en konden daarom ruim een eeuw na dato met een röntgentechniek worden gescand (Castaigne, Lhermitte, Signoret, & Abelanet, 1980). Deze en latere hersenscans bevestigden heel duidelijk de beschadiging van de linker frontaalschors, maar lieten ook beschadiging zien van andere hersenstructuren zoals de basale ganglia. Er was bovendien niet alleen beschadiging van de hersenschors maar ook van zenuwbanen zoals de arcuate fasciculus. Wernicke zelf ontdekte bij een andere patiënt, dat er problemen bij het begrijpen van taal optraden na beschadiging van het achterste deel van de bovenste winding van de



linker temporaalschors, later het gebied van Wernicke genoemd. In zijn theorie stelt Wernicke daarom dat de motorische woordbeelden in de linker frontaalschors liggen opgeslagen en de klankbeelden van woorden in de linker temporaalschors. Die twee hersengebieden zijn verbonden, zodat je kunt nazeggen wat je hoort, belangrijk voor de taalontwikkeling van een kind. Als je bijvoorbeeld 'kat' hoort, dan kun je 'kat' zeggen. De klankbeelden zijn ook verbonden met visuele informatie, bijvoorbeeld hoe een kat eruitziet, zodat je kunt begrijpen waar het woord naar verwijst. Die visuele beelden zijn op hun beurt verbonden met de motorische woordbeelden, zodat je de kat kunt benoemen. Als de klankbeelden van woorden zijn beschadigd, dan zal een patiënt problemen met begrijpen en nazeggen hebben, maar taalproductie gaat nog redelijk goed. Zulke patiënten hebben de afasie die Wernicke ontdekte. Als de motorische woordbeelden zijn beschadigd, dan zal een patiënt problemen met taalproductie en nazeggen hebben, maar begrijpen gaat nog goed. Zulke patiënten hebben de afasie die Broca ontdekte. Een paar jaar na het verschijnen van Wernickes boek heeft Ludwig Lichtheim de theorie nog wat verder uitgewerkt en vervat in een diagram dat in menig tekstboek over afasie is gereproduceerd (Lichtheim, 1885). Een andere belangrijke ontdekking betreft de voornaamste zenuwbaan die de gebieden van Wernicke en Broca verbindt, namelijk de arcuate fasciculus, zoals beargumenteerd door Constantin von Monakow (1885).

In de jaren zestig van afgelopen eeuw werd de draad van Broca, Wernicke, Lichtheim, en Von Monakow weer opgepakt. Dat werd gedaan door Norman Geschwind, die een eigen draai aan de theorie van Wernicke-Lichtheim gaf. Geschwind veronderstelde dat de klankbeelden in het gebied van Wernicke zowel bij begrijpen als productie zijn betrokken, en dat zowel nazeggen als productie via de arcuate fasciculus verlopen (Geschwind, 1970). Patiënten met een beschadiging van de arcuate fasciculus hebben meestal problemen met zowel productie als nazeggen. De verbinding met betekenis, zoals de visuele vorm van een kat, loopt volgens Geschwind via de hoekwinding. Maar deze theorie werd bijgesteld door patiëntenstudies van Elizabeth Warrington, die afgelopen jaar nog in Nijmegen was voor het geven van een lezing. Patiënten met een goed taalbegrip kunnen soms goed taal produceren maar slecht nazeggen of omgekeerd (McCarthy & Warrington, 1984). Dit suggereert dat er verschillende routes bestaan voor nazeggen en taalproductie. Warrington (1975) ontdekte ook dat er patiënten met dementie zijn die problemen met betekenis hebben, waardoor ze slecht taal produceren en slecht woorden begrijpen. Later onderzoek toonde aan dat de hersenen bij deze semantische dementie met name afsterven in het voorste deel van de temporaalschors (Hodges, Patterson, Oxbury, & Funnell, 1992). In dit deel van de hersenen blijken dus de concepten voor produceren en begrijpen opgeslagen te zijn, de hoekwinding lijkt hiervoor minder belangrijk.

In patiëntenstudies van Wernicke tot Warrington werd gekeken naar de taal-accuratesse, dat wil zeggen naar de fouten die gemaakt worden bij begrijpen, nazeggen en produceren. Tot in de jaren tachtig van afgelopen eeuw waren de theorieën hierover

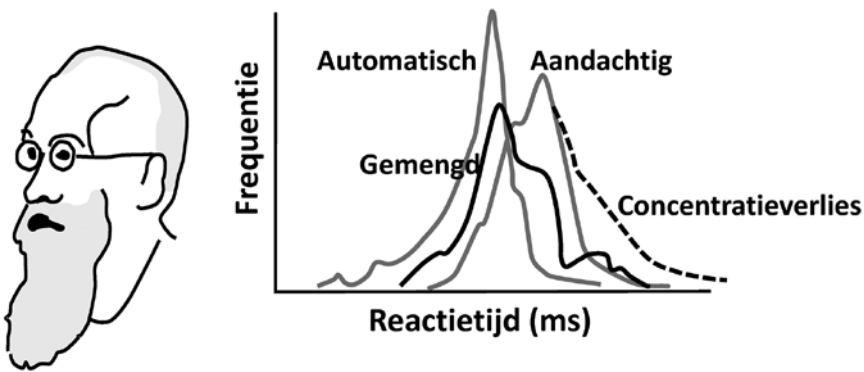
niet geformaliseerd. Gary Dell bracht hierin verandering door een computermodel voor versprekingen te ontwikkelen (Dell, 1986). Hiermee kon hij heel precies doorrekenen welke versprekingen je moet verwachten onder bepaalde theoretische aannamen. Eerst keek hij naar alledaagse versprekingen, zoals die een eeuw lang waren verzameld in navolging van Meringer (Meringer & Mayer, 1895), onder meer door Sieb Nooteboom voor het Nederlands. Net als Wundt zag Meringer een relatie tussen aandacht en taal: ‚Beim Sprechfehler versagt nur die Aufmerksamkeit‘. Recentelijk heeft Dell zijn modelleerwerk uitgebreid naar afasie, en probeert hij afatische versprekingen te relateren aan hersenletsels door beroertes (Dell, Schwartz, Nozari, Faseyitan, & Coslett, 2013).

In de afgelopen jaren is er directe ondersteuning verkregen voor de aanname dat de arcuate fasciculus verschillende routes bevat voor nazeggen en taalproductie. Tractografische studies van Rilling en collega's lieten zien dat de arcuate fasciculus uit twee delen bestaat met verschillende beginpunten en eenzelfde eindpunt in de hersenen (Glasser & Rilling, 2008). De zenuwbaan voor taalproductie gaat van het midden van de linker temporaalschors naar het gebied van Broca, en de baan voor nazeggen gaat van de bovenste temporaalwinding naar Broca. Onderzoek van Friederici en collega's liet zien dat die twee delen van de arcuate fasciculus zich in verschillend tempo ontwikkelen (Brauer, Anwander, Perani, & Friederici, 2013). De nazegroute bestaat al vanaf de geboorte en kan voor brabbelen worden gebruikt. De route voor taalproductie komt pas later tot ontwikkeling.

#### AANDACHT, SNELHEID EN DE HERSENEN

Tot zover de stand van zaken binnen de onderzoekstraditie die door Wernicke in gang is gezet met zijn boek over afasie. Ik zal me nu gaan richten op het werk van Wundt en de lijn van onderzoek die hieruit voortkwam. Hiervoor gaan we honderd jaar terug in de tijd. Op een beroemde foto uit 1912 ziet u Wundt, tachtig jaar oud, omringd door medewerkers. Hij doet alsof hij proefpersoon is in een reactietijdexperiment, met zijn linker en rechter wijsvingers op drukknoppen. De poster op de achtergrond toont reactietijdevidentie voor de kern van Wundts theorie over aandacht, zoals hij die in latere edities van zijn boek over fysiologische psychologie beschrijft. Op de poster staan frequentieverdelingen voor reactietijden, horizontaal de reactietijden en verticaal de frequentie (Figuur 1). Stel dat je op een knop moet drukken zodra je een toontje hoort. En stel dat je dit moet doen voor honderd presentaties van het toontje. De reactietijd zal steeds een beetje variëren, soms ben je snel en soms wat trager. Volgens Wundt bestaat een reactietijdverdeling uit twee typen reacties, snelle automatische reacties en wat tragere aandachtige reacties, die een gemengde verdeling vormen. Laat je iemand op meer toontjes reageren, bijvoorbeeld duizend, dan gaan automatische reacties overheersen, en verschuift de verdeling naar links. Maar vraag je de proefpersonen nu om hun aandacht te gebruiken, dan worden de reacties trager, en schuift de verdeling naar rechts. Concentratieverlies leidt tot abnormaal trage reacties, wat te zien is in de rechter staart van de verdeling.

Deze studie gaat over simpele reacties. Wundt heeft nooit reactietijdstudies gedaan naar produceren, nazeggen of begrijpen. Deze studies zijn wel gedaan door zijn Amerikaanse leerling James McKeen Cattell. Met zijn reactietijdstudies is Cattell de grondlegger geworden van de experimentele taalpsychologie (Cattell, 1886), waarmee hij zich overigens maar kort heeft bezig gehouden. Hij had het namelijk al snel te druk als hoofdredacteur van wetenschappelijke tijdschriften. Zo was hij vijftig jaar lang (tot 1945) de eigenaar en hoofdredacteur van het tijdschrift *Science*.



Figuur 1: Wundt's poster met frequentieverdelingen voor reactietijden. Horizontaal staan de reactietijden en verticaal de frequenties voor gemengde, automatische en aandachtige reacties. De gestreepte lijn weerspiegelt concentratieverlies. Ms = milliseconden.

Alhoewel Wundt geen reactietijdonderzoek heeft gedaan naar aandacht voor taal had hij er wel een theorie over (Wundt, 1904), die volgens hem een belangrijke aanvulling was op de theorie van Wernicke. Volgens Wundt speelt aandacht een belangrijke rol bij het versterken en onderdrukken van de juiste motorische en auditieve woordbeelden, wat ontbreekt in de theorie van Wernicke. Wundt lokaliseerde dit aandachtsvermogen in de frontaalschors.

Wiskundige ontwikkelingen in de afgelopen eeuw hebben het mogelijk gemaakt om reactietijdverdelingen heel nauwkeurig te beschrijven, met name met de zogenaamde exponentiële-Gaussiaanse functie, zoals aangegeven door Duncan Luce (Luce, 1986). Deze functie heeft drie parameters: mu, sigma en tau. De gemiddelde reactietijd is gelijk aan de som van mu en tau. Tau geeft de lengte aan van de staart van de verdeling. Concentratieverlies zal worden weerspiegeld door tau.

Bovendien heeft hersenonderzoek laten zien dat het aandachtsvermogen wordt gerealiseerd door een netwerk van hersengebieden, waaronder de frontaalschors en de pariëtaalschors, zoals blijkt uit het werk van Posner en collega's (Petersen & Posner, 2012;

Posner & Raichle, 1994). Ook is duidelijk geworden dat individuele verschillen in aandachtsvermogen in belangrijke mate erfelijk zijn bepaald, zoals naar voren is gekomen uit tweelingstudies van Miyake en collega's (Friedman, Miyake, Young, DeFries, Corley, & Hewitt, 2008).

Met moderne beeldvormende technieken, met name de combinatie van *magneto-encefalografie* (MEG) en *magnetic resonance imaging* (MRI), is het mogelijk om het tijdsverloop van hersenactiviteit tijdens taalprocessen vast te stellen. Dit tijdsverloop is onder meer vastgesteld voor de hersenactiviteit tijdens het benoemen van plaatjes (Indefrey & Levelt, 2004; Indefrey, 2011). Eerst is de temporaalschors actief, waaronder het gebied van Wernicke, en daarna de frontaalschors, waaronder het gebied van Broca.

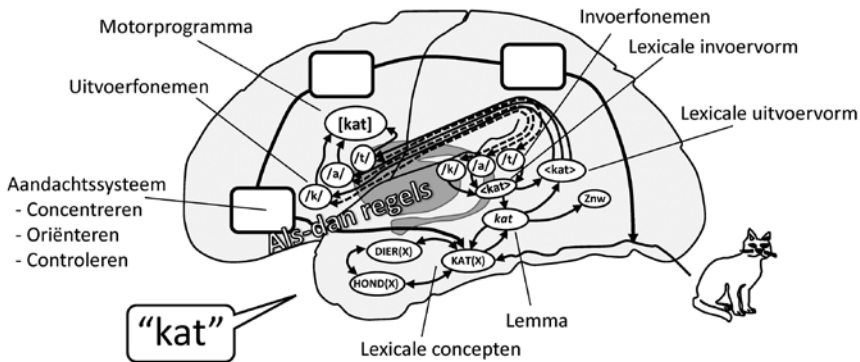
#### DOELGERICHTHEID

Maar zoals Wundt in zijn kritiek op de theorie van Wernicke al stelde, met het activeren van het taalnetwerk ben je er nog niet. Toen ik tweeëntwintig jaar geleden op deze plaats in de Aula vol trots mijn proefschrift verdedigde (onder meer verschenen als Roelofs, 1992) onder het toezien van mijn promotoren Pim Levelt en Gerard Kempen, hier vandaag opnieuw aanwezig, kwam Herman Kolk met eenzelfde kritiek op mijn theorie over woordproductie als Wundt indertijd had op de theorie van Wernicke. Bij het benoemen van een plaatje, bijvoorbeeld van een kat, heb je tal van opties. Je kunt 'kat' zeggen, maar ook 'dier' en nog veel meer. Maar waarom zeg je 'kat' en niet 'dier'? Dit vraagt om een theorie over doelgerichtheid en aandacht, en die had ik toen nog niet.

Het taalnetwerk met informatie over woorden in de temporaalschors en frontaalschors, waar de theorieën van Wernicke, Geschwind, Warrington en Dell over gaan, maakt deel uit van het zogenaamde declaratieve geheugen in de hersenen (Eichenbaum, 2012). Hierin ligt feitenkennis opgeslagen, zodat je weet dat het woord 'kat' een zelfstandig naamwoord is dat de klanken /k/, /a/ en /t/ bevat. Daarnaast bestaat er een procedureel geheugen, waarin kennis ligt opgeslagen over hoe je iets moet doen, zoals hoe je een plaatje benoemt met het woord 'kat' en niet 'dier', en hoe je de aandacht stuurt. Dit procedurele geheugen is verbonden met de frontaalschors, pariëtaalschors, basale ganglia, thalamus en cerebellum. Het procedurele geheugen bevat als-dan regels die zorgen voor doelgerichtheid. De theorie dat doelgerichtheid mogelijk wordt gemaakt door een procedureel systeem van als-dan regels gaat terug op het werk van Selz begin vorige eeuw (Selz, 1913) en vormde de basis voor de opkomst van kunstmatige intelligentie in de jaren vijftig. Pioniers als Newell en Simon maakten met als-dan regels de eerste computerprogramma's voor onder meer schaken (Newell, Shaw, & Simon, 1958). Het onderscheid declaratief/procedureel staat centraal in de theorieën over denken en taal van onder meer Anderson (Anderson, 1983; Anderson, Bothell, Byrne, Douglas, Lebiere, & Qin, 2004) en Ullman (2004).

## THEORIE EN COMPUTERMODEL

Alle inzichten die tot nu toe zijn besproken heb ik onlangs gecombineerd in een nieuwe theorie en een computermodel (Roelofs, 2014a). De theorie bouwt voort op werk dat ik met Pim Levelt en Antje Meyer vijftien jaar geleden heb gepubliceerd (Levelt, Roelofs, & Meyer, 1999). Figuur 2 illustreert de theorie. De theorie veronderstelt dat het declaratieve taalnetwerk met informatie over woorden zich bevindt in de temporaalschors en frontaalschors. Het netwerk bevat informatie over woordbetekenis (zogenaamde lexicale concepten), syntactische eigenschappen (zoals woordcategorie en woordgeslacht, opgeslagen in het zogenaamde lemma), lexicale invoer- en uitvoervormen, invoer- en uitvoerfonemen, en motorprogramma's. Het aandachtssysteem voor concentreren, oriënteren en controleren bevindt zich in de frontaalschors en de pariëtaalschors. Tenslotte, een procedureel systeem met als-dan regels voor doelgerichtheid bevindt zich in de frontaalschors, pariëtaalschors, basale ganglia, thalamus en cerebellum. Het procedurele systeem stuurt de taalprocessen en de aandacht. Het vormt de schakel tussen het aandachtssysteem en het taalnetwerk.



Figuur 2: illustratie van de nieuwe theorie over taal, aandacht en de hersenen. Volgens de theorie vormt een procedureel ('weten-hoe') systeem, gelokaliseerd in de frontaalschors, pariëtaalschors, basale ganglia, thalamus en cerebellum, de schakel tussen aandachtsfuncties zoals concentreren, oriënteren en controleren, gelokaliseerd in de frontaalschors en pariëtaalschors, en een declaratief ('weten-dat') taalnetwerk, gelokaliseerd in de temporaalschors en de frontaalschors. Gebaseerd op Roelofs (2014a).

In de rest van mijn oratie zal ik ter onderbouwing van deze nieuwe theorie over aandacht en taal een aantal wetenschappelijke bevindingen bespreken uit onderzoek dat ik in de afgelopen jaren samen met collega's heb gedaan. De bevindingen gaan over concentreren, oriënteren, en controleren, genetische invloeden en afasie. Ik zal beginnen met onderzoek naar reactiesnelheid en de hersenen, in de traditie van Wundt, en ik zal

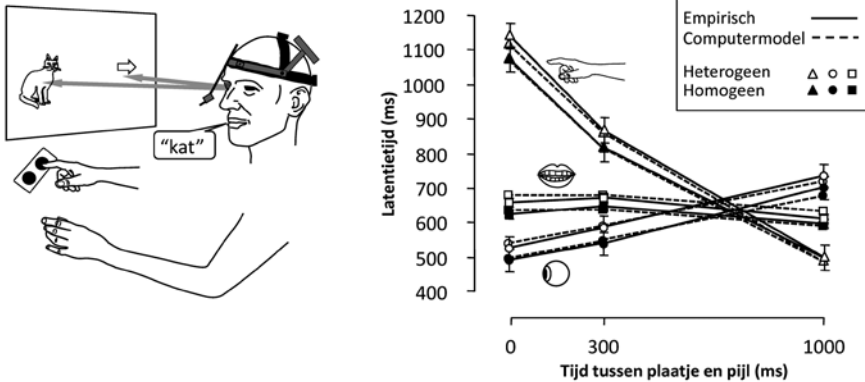
eindigen met onderzoek naar accuratesse en de hersenen, en de gevolgen van hersenbeschadigingen, in de traditie van Wernicke. U zult zien dat mijn theorie deze bevindingen en onderzoekslijnen samenbrengt.

#### CONCENTREREN EN SNELHEID

Laten we beginnen met concentreren, het vasthouden van de aandacht over een langere tijd. Hopelijk lukt dat bij u nog een beetje tijdens mijn verhaal. Recentelijk heb ik met Suzanne Jongman en Antje Meyer gekeken naar de invloed van concentreren op het beschrijven van plaatjes (Jongman, Roelofs, & Meyer, 2014). Proefpersonen moesten bijvoorbeeld zeggen 'de rode kat'. Zoals we al bij Wundt zagen varieert de reactietijd van plaatje tot plaatje, soms is de reactie snel en soms wat trager. Concentratieverlies leidt tot abnormaal trage reacties, wat zich weerspiegelt in de lange staart van de verdeling. We gebruikten daarnaast een standaardtest voor het meten van individuele verschillen in concentratievermogen, waarbij de proefpersonen een lange serie van hoge en lage toontjes hoorden en alleen op een knop moesten drukken bij het horen van een hoog toontje. Individuele verschillen in de lengte van de staart van de reactietijdverdeling voor de plaatjesbeschrijving bleken te correleren met de individuele verschillen in concentratievermogen. Dit laat een invloed zien van concentratievermogen op taalproductie. Concentratievermogen lijkt ook een belangrijke rol te spelen bij taalontwikkeling, wat we verder willen gaan onderzoeken bij kinderen met een taalontwikkelingsstoornis, in samenwerking met Annette Scheper van Kentalis.

#### ORIËNTEREN EN SNELHEID

Oriënteren is het vermogen om de aandacht te verplaatsen in de ruimte, wat meestal gepaard gaat met een verandering van kijkrichting. Om oriënteren te onderzoeken heb ik gebruik gemaakt van een oogbewegingscamera (Roelofs, 2008). Proefpersonen moesten plaatjes benoemen en dan hun aandacht verplaatsen naar een pijltje om daarvan de richting aan te geven met een linker of rechter drukknopreactie (Figuur 3). In verschillende delen van het experiment begonnen de plaatjes met dezelfde beginklank, zoals bij 'kat', 'kei', en 'kus', of de beginklanken verschilden, zoals bij 'kat', 'zon', en 'pen'. We zagen eerder dat uitvoerfonemen liggen opgeslagen in het gebied van Broca en pas laat tijdens het plannen van een woord een rol spelen. Het pijltje werd tegelijk met het plaatje op het scherm gezet of ietsje later, bij voorbeeld 300 of 1000 milliseconden. In het experiment werden de tijden voor het benoemen van het plaatje, de verandering van kijkrichting en de drukknopreactie gemeten. Alle drie lieten een invloed zien van het wel of niet delen van de beginklank door de plaatsjesnamen. Dit betekent dat de aandacht pas laat tijdens het plannen van de plaatjesnamen kan worden verplaatst. Het plannen van de plaatjesnaam vraagt om aandacht. Het patroon van latentietijden lijkt ingewikkeld, maar de voorspellingen van het computermodel blijken heel goed te kloppen.



Figuur 3: oriënteren tijdens taalproductie. Proefpersonen moesten plaatjes benoemen en hun ogen verplaatsen van het plaatje naar een pijltje om daarvan de richting aan te geven met een linker of rechter drukknopreactie. De plaatjes begonnen met dezelfde beginklanken (homogeen) of de beginklanken verschilden (heterogeen). Het pijltje werd tegelijk met het plaatje op het scherm gezet of ietsje later. De latentietijden voor het benoemen van het plaatje, de verandering van kijkrichting en de drukknopreactie werden gemeten. De doorgetrokken lijnen laten de empirische tijden zien voor de verschillende condities en de gestreepte lijnen tonen de voorspellingen van het computermodel. Gebaseerd op Roelofs (2008). Ms = milliseconden.

Voordat ik verder ga met andere aspecten van aandacht wil ik kort een uitstapje maken naar China en Japan. Het computermodel is oorspronkelijk ontwikkeld voor Germaanse talen zoals het Nederlands en het Engels. Recent is het model uitgebreid naar het Chinees en Japans. De voorspellingen voor die talen bleken heel goed te kloppen wat betreft het reactietijdeffect van het wel of niet delen van beginklanken, syllaben, tonen, en mora's (Roelofs, 2014b). Ik ben momenteel bezig in samenwerking met Rinus Verdonschot en Katsuo Tamaoka in Japan om het computermodel verder te toetsen voor het Japans.

#### CONTROLLEREN EN SNELHEID

In onderzoek met Zeshu Shao en Antje Meyer heb ik gekeken naar de invloed van bijwerken, onderdrukken en schakelen op de snelheid van plaatjes benoemen (Shao, Roelofs, & Meyer, 2012). Het bleek dat de snelheid wordt beïnvloed door iemands vermogen tot bijwerken en onderdrukken, maar niet door schakelen. Tijdens het plannen van de plaatjesnaam moet je de inhoud van het werkgeheugen bijwerken en alternatieve namen onderdrukken, maar er hoeft niet geschakeld te worden. In ander onderzoek met Kasia Sikora, Daan Hermans, Harry Knoors en Simon Fisher lieten we proefpersonen wisselen tussen kortere en langere uitingen, bijvoorbeeld 'de kat' en 'de groene rok', dus met wel of geen kleuradjectief (Sikora, Roelofs, Hermans, Fisher, &

Knoors, 2014). De reactietijd werd nu bepaald door alle drie de vermogens, bijwerken, onderdrukken en schakelen. We gaan dit binnenkort verder bestuderen bij kinderen met een taalontwikkelingsstoornis, waarbij we onder meer willen onderzoeken of training van de aandachtsfuncties de taalprestaties verhoogt. Het gedragsonderzoek dat ik tot nu toe besproken heb laat dus een invloed zien van alle aandachtsvermogens op de snelheid van taalproductie.

Maar hoe zit het nu met mijn beginvraag, hoe maken de hersenen aandacht voor taal mogelijk? Ik wil dit illustreren aan de hand van onderzoek naar onderdrukken, versterken en schakelen.

#### ONDERDRUKKEN, VERSTERKEN EN DE HERSENEN

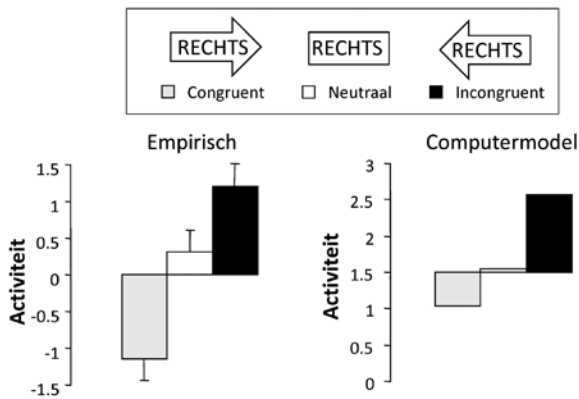
Onderdrukken is niet alleen van belang voor taal maar ook buiten de taal, bijvoorbeeld als je moet stoppen voor een rood stoplicht. In de hersenen wordt dan de onderste winding van de rechter frontaalschors actief, recht tegenover het gebied van Broca. Gebruikmakend van functionele MRI (fMRI) heb ik in onderzoek met Angela de Bruin, Ton Dijkstra en Ian FitzPatrick onlangs bekeken of dit hersengebied ook actief wordt als je in een vreemde taal spreekt (de Bruin, Roelofs, Dijkstra, & FitzPatrick, 2014). We vonden inderdaad bij proefpersonen met Nederlands als moedertaal meer activiteit in dit hersengebied tijdens het benoemen in het Engels wanneer het vorige plaatje in het Nederlands was benoemd vergeleken met herhaling van het Engels.

Om het verschil te vergroten tussen goede en foute reacties kun je de foute reactie onderdrukken, zoals we net zagen, maar je kunt ook de goede reactie versterken. Dit versterken heb ik een paar jaar geleden onderzocht met Esther Aarts en Miranda van Turenout (Aarts, Roelofs, & Van Turenout, 2009). We gaven proefpersonen een naar links of rechts wijzend pijltje met het woord LINKS of RECHTS erin, en we vroegen de proefpersonen om met een drukknopreactie op het pijltje of op het woord te reageren, de taak wisselde om de twee reacties. We vonden dat het procedurele systeem actief was, dus de frontaalschors, pariëtaalschors, thalamus, basale ganglia en cerebellum. Binnen dit systeem bleken sommige deelgebiedjes betrokken te zijn bij het versterken van de juiste taak, de juiste respons, of beide. Dat het om versteken gaat en niet om onderdrukken bleek uit het patroon van hersenactiviteit binnen de anterieure cingulaire cortex (Roelofs, Van Turenout, & Coles, 2006). De hersenactiviteit in dit gebied was niet alleen hoger in de incongruente dan neutrale conditie, maar ook hoger in de neutrale dan de congruente conditie (Figuur 4). In laatste twee condities worden geen foute responsen geactiveerd, dus onderdrukken is niet nodig, maar de condities verschillen wel in de mate waarin de goede respons door de stimulus wordt ondersteund. Het computermodel laat hetzelfde patroon zien van relatieve activiteit tussen de drie condities.

Tot nu toe heb ik onderzoek besproken waarbij de hersenactiviteit met fMRI is gemeten. Met deze techniek kun je met millimeter nauwkeurigheid vaststellen waar de hersenen actief zijn, maar er valt slecht mee vast te stellen wanneer de hersengebieden



precies actief zijn. Met een andere techniek, namelijk MEG, kun je daarentegen met milliseconde nauwkeurigheid vaststellen wanneer de hersenen actief zijn, maar er valt minder goed mee vast te stellen waar de hersenen precies actief zijn. In MEG onderzoek heb ik samen met Vitória Piai, Jan-Mathijs Schoffelen, Ole Jensen en Mathilde Bonnefond onderzocht wanneer versterking nu precies plaatsvindt (Piai, Schoffelen, Jensen, & Bonnefond, 2014). Proefpersonen moesten plaatjes benoemen en daarbij incongruente of neutrale woorden negeren. We vonden daarbij dat de frontaalschors actiever was in de incongruente dan de neutrale conditie, ongeveer 400-600 milliseconden na aanbieding van het plaatje. Dit tijdsinterval correspondeert met het moment van selecteren van lemma's, die dan actief zijn in het midden van de linker temporaalschors. De frontaalschors lijkt dan het juiste lemma te versterken. Ik ben momenteel bezig dit verder uit te zoeken in onderzoek samen met Natalia Shitova, Jan-Mathijs Schoffelen, Marcel Bastiaansen en Herbert Schriefers.



Figuur 4: rol van de anteriore cingulaire cortex bij aandacht. Proefpersonen zagen het woord LINKS of RECHTS gecombineerd met een incongruent of congruent wijzend pijltje of een neutraal rechthoekje, en ze moesten met een linker of rechter drukknopreactie op het woord reageren. De figuur toont het empirisch gemeten patroon van hersenactiviteit in de anteriore cingulaire cortex en de voorspellingen van het computermodel. Gebaseerd op Roelofs, Van Turenout en Coles (2006).

#### GENETISCHE INVLOED OP SCHAKELEN

Eerder gaf ik aan dat individuele verschillen in aandachtsvermogens voor een deel erfelijk zijn bepaald. De laatste jaren zijn een aantal genen ontdekt die bij aandacht zijn betrokken, en te verwachten is dat verschillen in genvariant een invloed hebben op gedrag en hersenactiviteit. Dit heb ik onderzocht samen met Esther Aarts, Roshan Cools en anderen (Aarts, Roelofs, Franke, Rijpkema, Fernandez, Helmich, & Cools,

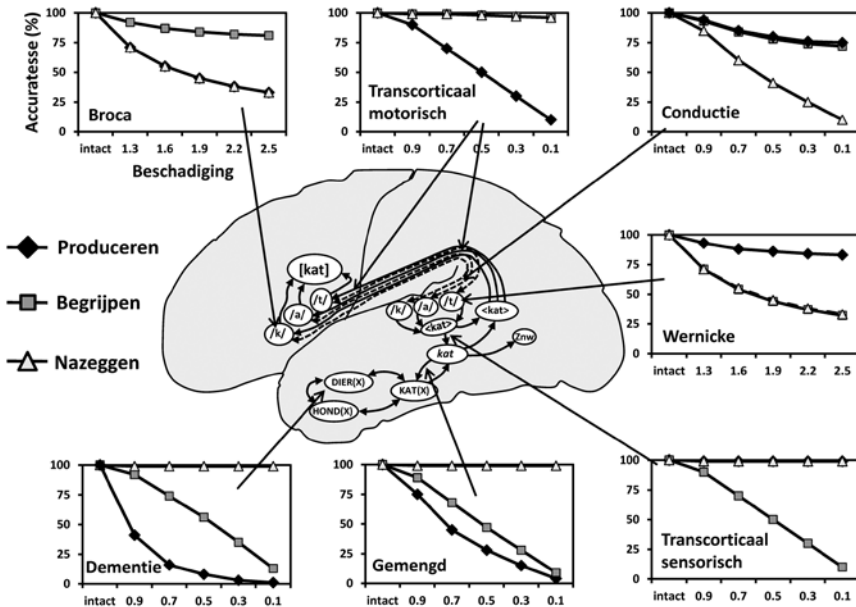
2010). We keken daarbij naar de invloed van het *DAT1*-gen, dat een rol speelt bij de heropname van dopamine, met name in de basale ganglia. Deze hersenstructuur speelt een belangrijke rol bij schakelen. We lieten proefpersonen reageren op pijltje-woordcombinaties, waarbij ze steeds moesten schakelen tussen reageren op het woord of het pijltje. We vonden dat de *DAT1*-genvariant een invloed had op de accuratesse van schakelen en de fMRI-activiteit in de basale ganglia. Ik ga dit verder uitzoeken voor taalproductie samen met Marpessa Rietbergen, Roshan Cools, Simon Fisher en Bas Bloem, onder meer bij patiënten met de ziekte van Parkinson. Bij deze patiënten functioneren de basale ganglia niet meer goed.

#### AFASIE EN DE HERSENEN

We hebben nu evidentie gezien dat aandacht invloed heeft op de snelheid en accuratesse van reacties. Deze onderzoekslijn gaat terug op het werk van Wundt. Ten slotte wil ik kijken naar het verlies van accuratesse als gevolg van beroertes of hersenziekten vanuit een onderzoekslijn die terug gaat op Wernicke. Zoals we eerder al zagen veronderstelt het computermodel dat bepaalde taalprocessen gekoppeld zijn aan bepaalde hersengebieden. Op basis hiervan voorspelt het model specifieke taalstoornissen afhankelijk van de plaats van een hersenbeschadiging door beroerte of ziekte (Roelofs, 2014a), en die voorspellingen blijken goed te kloppen met de taalstoornissen van patiënten (voor een overzicht, zie Hillis, 2007). Figuur 5 laat de taalaccuratesse voor produceren, begrijpen en nazeggen zien, afhankelijk van de plaats en mate van beschadiging volgens het computermodel. Ik zal eerst de klassieke afasieën ten gevolge van een beroerte bespreken. Bij Broca-afasie is het produceren en nazeggen gestoord, maar het begrijpen gaat nog redelijk goed. Dit is anders bij Wernicke-afasie, waarbij juist het begrijpen en nazeggen gestoord zijn, maar taalproductie nog redelijk goed gaat. Daarentegen gaat bij conductie-afasie het produceren en begrijpen goed, maar nazeggen is gestoord. Bij transcorticale motorische afasie gaat het produceren slecht, maar nazeggen en begrijpen gaan nog redelijk goed. Maar bij transcorticale sensorische afasie is het begrijpen gestoord, en nazeggen en produceren gaan redelijk goed. Ten slotte, bij gemengde transcorticale afasie gaan produceren en begrijpen slecht, maar nazeggen gaat nog goed. Dit laatste patroon zie je ook bij semantische dementie, waar de hersenbeschadiging het gevolg is van een hersenziekte (Hodges, Patterson, Oxbury, & Funnell, 1992). Bij afasie wordt het aandachtssysteem actiever om de taaluitval te compenseren (Geranmayeh, Brownsett, & Wise, 2014). Deze compensatie is minder goed wanneer het aandachtssysteem zelf ook is beschadigd. Tijdens taalproductie wordt vanuit het gebied van Broca de activiteit versterkt van concepten die liggen opgeslagen in de temporaal-schors. Bij beschadiging van het gebied van Broca is die versterking minder en maken patiënten meer semantische fouten (Schnur, Schwartz, Kimberg, Hirshorn, Coslett, & Thompson-Schill, 2009; Schwartz, Kimberg, Walker, Faseyitan, Brecher, Dell, & Coslett, 2009). Ik ga dit verder onderzoeken in samenwerking met Roy Kessels en anderen.

### JUIST EN NUTTIG?

Dit brengt me bij het einde van mijn oratie, waarin ik een nieuwe theorie over taal en aandacht heb geschetst die de onderzoekslijnen van Wernicke en Wundt verenigt. De theorie geeft aan hoe de hersenen aandacht voor taal mogelijk maken. Ik heb ter ondersteuning van deze nieuwe theorie heel kort een aantal wetenschappelijke bevindingen besproken uit onderzoek dat ik in de afgelopen jaren samen met collega's heb gedaan. De negentiende-eeuwse theorie van Wernicke over taal, taalstoornissen en de hersenen heeft laten zien dat niets zo nuttig is voor diagnostiek en therapie als een goede theorie. Onderzoek zal in de komende jaren moeten uitwijzen hoe juist en nuttig mijn nieuwe theorie is.



Figuur 5: taalaccuratesse voor produceren, begrijpen en nazeggen afhankelijk van de plaats en mate van hersenbeschadiging volgens het computermodel. De figuur toont de voorspellingen voor klassieke afasieën ten gevolge van een beroerte (Broca-afasie, Wernicke-afasie, conductie-afasie, transcorticale motorische afasie, transcorticale sensorische afasie en gemengde transcorticale afasie) en voor semantische dementie ten gevolge van hersenziekte. Gebaseerd op Roelofs (2014a).

## DANKWOORD

Tot slot wil ik graag een aantal mensen bedanken, te beginnen met Hetty Dekkers (mijn voormalige decaan) en Daniël Wigboldus (mijn huidige decaan) voor hun steun en vertrouwen bij de toekenning van de leerstoel. Om dezelfde redenen wil ik Harold Bekkering (voormalige directeur van het Donders Centrum voor Cognitie) en Pieter Medendorp (huidige directeur van het Donders Centrum voor Cognitie), en Herbert Schriefers en Ton Dijkstra (hoofd taalsectie) bedanken. Speciale dank gaat ook uit naar Pim Levelt en Gerard Kempen, destijds mijn promotoren, voor het op de rails zetten van mijn wetenschappelijke carrière, en naar Herman Kolk, voor de 'Aufgabe', eigenlijk een heel onderzoeksprogramma. Daarnaast dank aan Antje Meyer en James McQueen. Met Antje en James heb ik het langst samengewerkt in onderzoek en onderwijs. Met Antje heb ik het meest gepubliceerd, en met James heb ik nog nooit iets gepubliceerd maar heb ik het meest mee samengewerkt in het onderwijs. Dank ook aan tal van collega's in binnen- en buitenland waarmee ik heb samengewerkt, het is een hele lijst en er is helaas geen tijd om alle namen te noemen (alfabetisch: Dan Acheson, Harold Baayen, Marcel Bastiaansen, Mathilde Bonnefond, Dorothee Chwilla, Michael Coles, Simon Fisher, Ian FitzPatrick, Peter Hagoort, Daan Hermans, Ole Jensen, Harry Knoors, Kristin Lemhöfer, Eric Maris, Jan-Mathijs Schoffelen, Rob Schreuder, Annette Scheper, Atsuko Takashima, Miranda van Turenout, Rinus Verdonschot en Pienie Zwitserlood). Hetzelfde geldt voor de PhD- en MA-studenten waarmee ik heb samengewerkt, opnieuw een hele lijst en geen tijd om alle namen te noemen (chronologisch: Dirk Janssen, Marjolein Korvorst, Rebecca Özdemir, Esther Aarts, Kim Verhoef, Gabriela Garrido Rodriguez, Martijn Lamers, Svetlana Lito Gerakakis, Zeshu Shao, Angela de Bruin, Vitória Piai, Henriette Raudszus, Ingeborg Roete, Suzanne Jongman, Kasia Sikora, Natalia Shitova, en Marpessa Rietbergen). En last but not least, dank aan mijn thuisfront, nu op de eerste rij, bestaande uit Jantine, Yoram en Sterre, voor hun niet aflatende steun. Ik ben uitgesproken, dank voor jullie aandacht.

## LITERATUUR

- Aarts, E., Roelofs, A., Franke, B., Rijpkema, M., Fernandez, G., Helmich, R., & Cools, R. (2010). Striatal dopamine mediates the interface between motivational and cognitive control in humans: Evidence from genetic imaging. *Neuropsychopharmacology*, *35*, 1943-1951.
- Aarts, E., Roelofs, A., & Van Turenout, M. (2009). Attentional control of task and response in lateral and medial frontal cortex: Brain activity and reaction time distributions. *Neuropsychologia*, *47*, 2089-2099.
- Anderson, J.R. (1983). *The Architecture of Cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Anderson, J.R., Bothell, D., Byrne, M.D., Douglas, S., Lebiere, C., & Qin, Y. (2004). An integrated theory of the mind. *Psychological Review*, *111*, 1036-1060.
- Brauer, J., Anwander, A., Perani, D., & Friederici, A.D. (2013). Dorsal and ventral pathways in language development. *Brain & Language*, *127*, 289-295.
- Broca, P. (1861). Perte de la parole, ramollissement chronique et destruction partielle du lobe antérieur gauche du cerveau. *Bulletin de la Société Anthropologique*, *2*, 235-237.
- Castaigne, P., Lhermitte, F., Signoret, J.L., & Abelanet, R. (1980). Description et étude scannographique du cerveau de Leborgne. *Revue Neurologique (Paris)*, *136*, 563-583.
- Cattell, J.M. (1886). The time it takes to see and name objects. *Mind*, *11*, 63-65.
- De Bruin, A., Roelofs, A., Dijkstra, T., & FitzPatrick, I. (2014). Domain-general inhibition areas of the brain are involved in language switching: fMRI evidence from trilingual speakers. *NeuroImage*, *9*, 348-359.
- Dell, G.S. (1986). A spreading-activation theory of retrieval in sentence production. *Psychological Review*, *93*, 283-321.
- Dell, G.S., Schwartz, M.F., Nozari, N., Faseyitan, O., & Coslett, H.B. (2013). Voxel-based lesion-parameter mapping: Identifying the neural correlates of a computational model of word production. *Cognition*, *128*, 380-396.
- Eichenbaum, H. (2012). *The Cognitive Neuroscience of Memory: An Introduction (2nd Ed.)*. Oxford: Oxford University Press.
- Friedman, N.P., Miyake, A., Young, S.E., DeFries, J.C., Corley, R.P., & Hewitt, J.K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, *137*, 201-225.
- Geranmayeh, F., Brownsett, S.L.E., & Wise, R.J.S. (2014). Task-induced brain activity in aphasic stroke patients: What is driving recovery? *Brain*.
- Geschwind, N. (1970). The organization of language and the brain. *Science*, *170*, 940-944.
- Glasser, M.F. & Rilling, J.K. (2008). DTI tractography of the human brain's language pathways. *Cerebral Cortex*, *18*, 2471-2482.
- Hillis, A.E. (2007). Aphasia: Progress in the last quarter of a century. *Neurology*, *69*, 200-213.
- Hodges, J.R., Patterson, K., Oxbury, S., & Funnell, E. (1992). Semantic dementia: Progressive fluent aphasia with temporal lobe atrophy. *Brain*, *115*, 1783-1806.
- Indefrey, P. (2011). The spatial and temporal signatures of word production components: A critical update. *Frontiers in Psychology*, *2*, 255.
- Indefrey, P., & Levelt, W.J.M. (2004). The spatial and temporal signatures of word production components. *Cognition*, *92*, 101-144.

- Jongman, S.R., Roelofs, A., & Meyer, A.S. (2014). Sustained attention in language production: An individual differences investigation, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*.
- Levelt, W.J.M., Roelofs, A., & Meyer, A.S. (1999). A theory of lexical access in speech production. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 1–38.
- Lichtheim, L. (1885). On aphasia. *Brain*, 7, 433–484.
- Luce, R.D. (1986). *Response Times: Their Role in Inferring Elementary Mental Organization*. New York: Oxford University Press.
- McCarthy, R., & Warrington, E.K. (1984). A two-route model of speech production: Evidence from aphasia. *Brain*, 107, 463–485.
- Meringer, R., & Mayer, K. (1895). *Versprechen und Verlesen. Eine Psychologisch-Linguistische Studie*. Stuttgart: Göschen'sche Verlagshandlung.
- von Monakow, C. (1885). Neue experimentelle Beiträge zur Anatomie der Schleife: vorläufige Mitteilung. *Neurologisches Centralblatt*, 12, 265–268.
- Newell, A., Shaw, J.C., & Simon, H.A. (1958). Elements of a theory of human problem solving. *Psychological Review*, 65, 151–166.
- Miyake, A., Friedman, N.P., Emerson, M.J., Witzki, A.H., Howerter, A., & Wager, T.D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex 'frontal lobe' tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49–100.
- Petersen, S.E., & Posner, M.I. (2012). The attention system of the human brain: 20 years after. *Annual Review of Neuroscience*, 35, 73–89.
- Posner, M.I., & Raichle, M.E. (1994). *Images of Mind*. New York: Freeman.
- Piai, V., Roelofs, A., Jensen, O., Schoffelen, J.-M., & Bonnefond, M. (2014). Distinct patterns of brain activity characterise lexical activation and competition in spoken word production. *PLOS ONE*, 9, e88674.
- Roelofs, A. (1992). A spreading-activation theory of lemma retrieval in speaking. *Cognition*, 42, 107–142.
- Roelofs, A. (2008). Attention, gaze shifting, and dual-task interference from phonological encoding in spoken word planning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34, 1580–1598.
- Roelofs, A. (2014a). A dorsal-pathway account of aphasic language production: The WEAVER++/ARC model. *Cortex*, 59, 33–48.
- Roelofs, A. (2014b). Modeling of phonological encoding in spoken word production: From Germanic languages to Mandarin Chinese and Japanese. *Japanese Psychological Research*.
- Roelofs, A., Van Turenhout, M., & Coles, M.G.H. (2006). Anterior cingulate cortex activity can be independent of response conflict in Stroop-like tasks. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 103, 13884–13889.
- Schnur, T.T., Schwartz, M.F., Kimberg, D., Hirshorn, E., Coslett, H.B., & Thompson-Schill, S.L. (2009). Localizing interference during naming: Convergent neuroimaging and neuropsychological evidence for the function of Broca's area. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 322–327.
- Schwartz, M.F., Kimberg, D.Y., Walker, G.M., Faseyitan, O., Brecher, A., Dell, G.S., & Coslett, H.B. (2009). Anterior temporal involvement in semantic word retrieval: Voxel-based lesion-symptom mapping evidence from aphasia. *Brain*, 132, 3411–3427.
- Selz, O. (1913). *Über die Gesetze des Geordneten Denkverlaufs*. Stuttgart: Spemann.

- Shao, Z., Roelofs, A., & Meyer, A.S. (2012). Sources of individual differences in the speed of naming objects and actions: The contribution of executive control. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65, 1927-1944.
- Sikora, K., Roelofs, A., Hermans, D., Fisher, S., & Knoors, H. (2014). *Executive control in spoken noun-phrase production: Contributions of updating, inhibiting and shifting*. Manuscript submitted for publication.
- Ullman, M.T. (2004). Contributions of memory circuits to language: The declarative/procedural model. *Cognition*, 92, 231-270.
- Warrington, E.K. (1975). The selective impairment of semantic memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 27, 635-657.
- Wernicke, C. (1874). *Der Aphasische Symptomencomplex: Eine Psychologische Studie auf Anatomischer Basis*. Breslau: Cohn und Weigert.
- Wundt, W. (1874). *Grundzüge der Physiologischen Psychologie*. Leipzig: Engelmann.
- Wundt, W. (1904). *Principles of Physiological Psychology*. London: Swan Sonnenschein.

