

Het sprekende brein



PETER HAGOORT

Peter Hagoort is oprichter (sinds 1999) van het F.C. Donders Centre for Cognitive Neuroimaging, directeur van het Centre for Cognitive Neuroimaging (onderdeel van het Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour), en is sinds eind 2006 tevens directeur van het Max Planck Instituut voor Psycholinguïstiek. Beide instituten zijn internationaal vermaarde wetenschappelijke onderzoeksinstituten, waar in totaal zo'n 300 mensen uit 25 verschillende landen werkzaam zijn. Het Centre for Cognitive Neuroimaging is een instelling van de Radboud Universiteit Nijmegen. Het Max Planck Instituut behoort tot de Duitse Max Planck Gesellschaft, de meest succesvolle wetenschappelijke organisatie in Europa. Peter Hagoort is tevens hoogleraar in de cognitieve neurowetenschap aan de Radboud Universiteit Nijmegen.

Beide instituten bevinden zich op het terrein van hersenen en cognitie, met voor het Max Planck Instituut een focus op het menselijk taalvermogen. Dankzij de ontwikkeling van een reeks geavanceerde nieuwe technieken om de hersenen in actie te onderzoeken, wordt momenteel grote vooruitgang geboekt in onze kennis over de menselijke hersenen en de wijze waarop deze centrale cognitieve functies (geheugen, taal, waarneming, aandacht, emotie, bewustzijn) mogelijk maken. Uiteindelijk is dit mede van belang voor de kwaliteit van leven van mensen met een hersenaandoening. Kosten gerelateerd aan hersenaandoeningen beslaan op dit moment zo'n 30% van alle ziektegerelateerde kosten in de EU. Maar ook voor leren en onderwijs is kennis van brein en cognitie van eminent belang.

Peter Hagoort geeft leiding aan twee instituten die op dit gebied baanbrekend onderzoek verrichten. Zijn eigen onderzoeksterrein betreft het menselijk taalvermogen: hoe het brein ons in staat stelt te communiceren via een complex systeem van symbolen. Daarover publiceert hij in de meest toonaangevende wetenschappelijke tijdschriften, waaronder *Science*. Tevens deelt hij de uitkomsten van zijn onderzoek met het grote publiek in tal van lezingen en live optredens, onder meer op het Lowlands Festival, in Paradiso, tijdens de Wissenschaftssommer in Duitsland, etc.

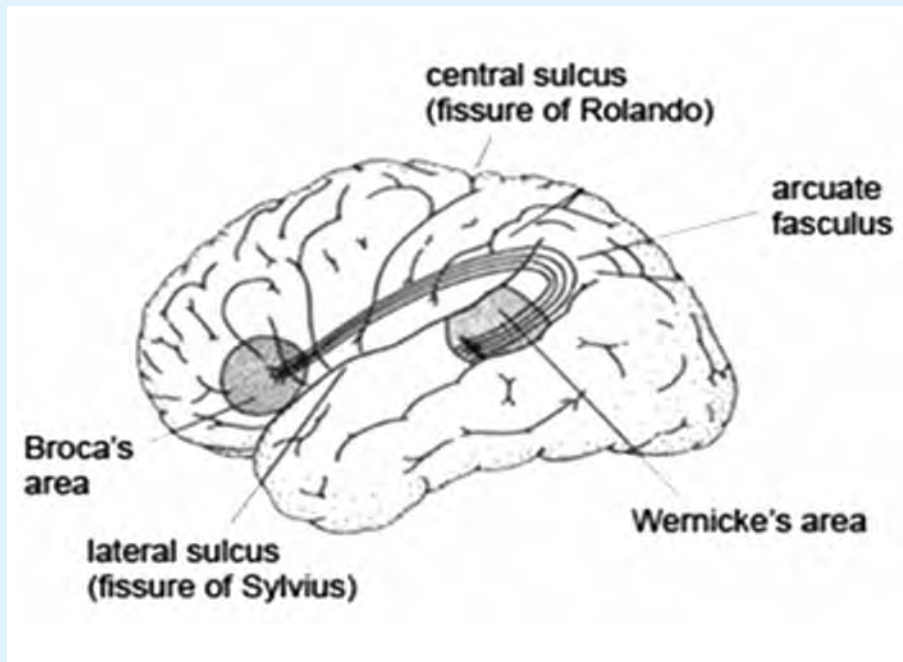
Voor zijn bijdragen ontving Peter Hagoort een aantal onderscheidingen, waaronder de Hendrik Mullerprijs, uitgereikt door de Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen (2003), en de Spinozapremie (2005). In 2004 werd hij benoemd tot Ridder in de Orde van de Nederlandse Leeuw, en gekozen tot lid van de Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen. In 2007 verleende de Universiteit van Glasgow hem een eredoctoraat voor zijn wetenschappelijk werk.

Geen andere soort dan homo sapiens heeft in de loop van zijn evolutionaire geschiedenis een communicatiesysteem ontwikkeld waarin een eindig aantal symbolen samen met een reeks van regels voor het combineren daarvan een oneindig aantal uitdrukkingen mogelijk maakt. Dit natuurlijke taalsysteem stelt leden van onze soort in staat gedachten een uiterlijke vorm te geven en uit te wisselen met de sociale groepen, door de uitvinding van schriftsystemen, met de gehele samenleving. Spraak en taal zijn effectieve middelen voor het behoud van sociale cohesie in samenlevingen waarvan de groeps-grootte en de complexe sociale organisatie van dien aard is dat dit niet langer kan door middel van 'vlooiën', de wijze waarop onze genetische burens, de primaten van de oude wereld, sociale cohesie bevorderen [1,2].

De generatieve kracht van het menselijk taalsysteem berust op zijn driedelige architectuur [3]. In deze architectuur wordt taalrelevante informatie gecodeerd in ten minste drie afzonderlijke representaties: een voor betekenis, een voor syntaxis, en een voor de klankstructuren van woorden en uitingen. Door deze representatiestructuren met elkaar in verband te

brengen kan de inhoud van de boodschap van de spreker uitgedrukt worden als een lineaire reeks spraakklanken. Anderzijds wordt tijdens het luisteren naar spraak de in het spraaksignaal vervatte boodschap via een aantal stappen daaruit gedestilleerd. Deze stappen bestaan onder andere uit het segmenteren van het continue spraaksignaal in afzonderlijke woorden en klanken, het ophalen van met die woorden verbonden informatie uit het geheugen, zoals de betekenis en de grammaticale eigenschappen, en ten slotte het combineren van afzonderlijke woordinformatie tot een coherente interpretatie van de gehele uiting. Dit alles voltrekt zich in een razend tempo. Wij spreken en verstaan zonder enig probleem zo'n 2-5 woorden per seconde. Wie zich realiseert dat de gemiddelde spreker kennis over niet veel minder dan 50.000 woorden in zijn geheugen heeft opgeslagen, zal moeten toegeven dat snelheid en complexiteit twee centrale aspecten van het menselijk taalvermogen zijn. Bovendien weet elke neuroloog dat hersenbeschadiging tot zeer diverse taaluitvalsverschijnselen kan leiden, afhankelijk van welk aspect van dit complexe vermogen is aangedaan. Taal komt dus tot stand door het samenspel van een reeks gebieden in ons brein. Wat weten we inmiddels over dat sprekende brein? ▶

ACC	anterieure cingulaire cortex
DTI	diffusion tensor imaging
MEG	magneto-encefalografie
MUC	Memory, Unification, Control
STG	superior temporal gyrus



Figuur 1. Het klassieke model van taal in het brein. Volgens dit Wernicke-Lichtheim-Geschwind model is het gebied van Broca verantwoordelijk voor spreken en het gebied van Wernicke voor het begrijpen van taal. Deze gebieden staan via de fasciculus arcuatus met elkaar in verbinding.

HET TALIGE BREIN

In tegenstelling tot andere centrale functies zoals waarneming en geheugen hebben we voor taal geen diervorm dat ons richting geeft bij het zoeken naar de neurale basis van deze functie.

In de laatste decennia hebben we echter de beschikking gekregen over een aantal hersenscanningstechnieken die enorm geholpen hebben bij het verder ontrafelen daarvan. Tot dan toe waren we aangewezen op experimenten van de natuur in de vorm van afasiepatiënten met een hersenbeschadiging. De geschiedenis van patiëntenonderzoek naar taal gaat ten minste terug tot de tweede helft van de negentiende eeuw, toen de neurologen Broca en Wernicke hun belangrijke ontdekkingen deden. Met de bijdrage van Norman Geschwind in de jaren zestig van de vorige eeuw ontstond het klassieke model van de neurale basis van taal. Dit model, ook wel het Wernicke-Lichtheim-Geschwind model genoemd, geeft de volgende schets: taal is bij de overgrote meerderheid van ons gelokaliseerd in de perisylvische cortex van de linker hersenhelft. Daarbinnen is het gebied van Broca, gelegen in de frontaalschors, verantwoordelijk voor het produceren van taal. Het gebied van Wernicke in de temporaalschors zorgt ervoor dat we gesproken taal begrijpen. De communicatie tussen deze twee cruciale gebieden wordt verzorgd door de fasciculus arcuatus (Figuur 1).

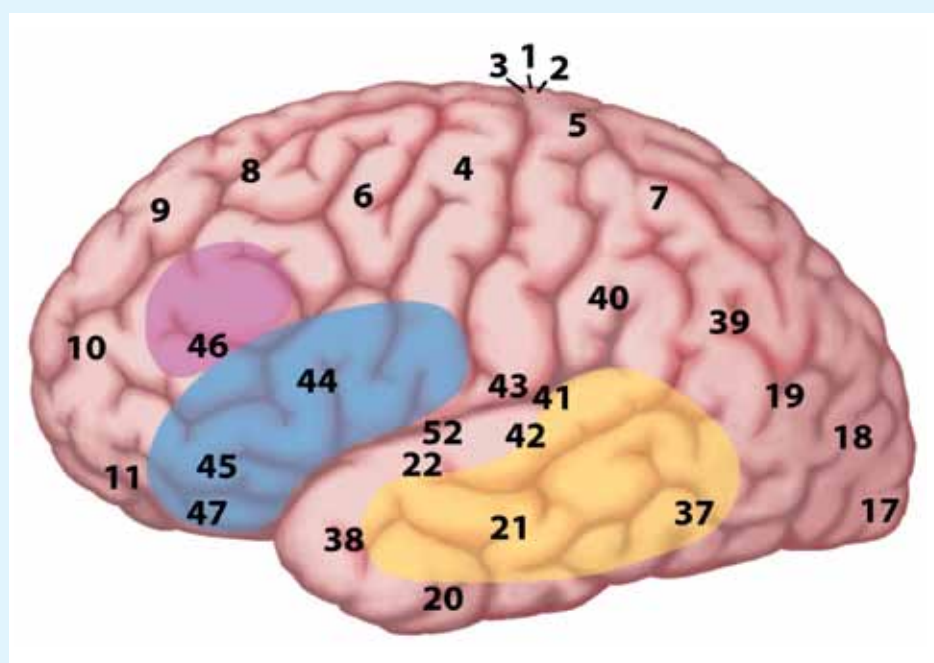
Dit standaardmodel is onjuist gebleken, maar nog steeds van invloed in neurologische kringen, waar laesies in het gebied van Broca geassocieerd worden met problemen in het produceren van taal

en een laesie in het gebied van Wernicke met een gestoord taalbegrip. Deze klassieke opvatting is vervangen door meer adequate modellen van de taakverdeling tussen de bij taal betrokken gebieden. Een daarvan is het Memory, Unification, Control (MUC)-model dat ik zelf heb geformuleerd [4] (Figuur 2).

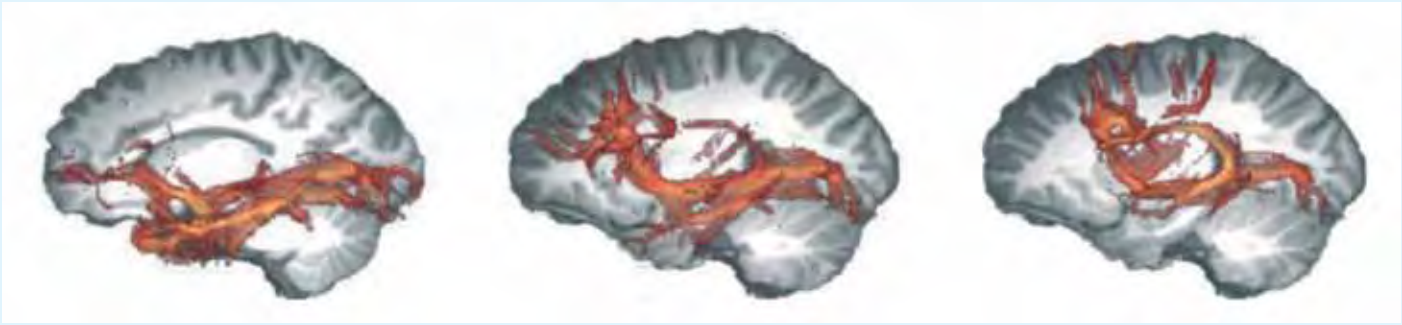
Volgens dit model is de temporaalschors cruciaal voor het ophalen van de informatie die gedurende de taalontwikkeling in ons geheugen is opgeslagen. Dit betreft onder andere de klankaspecten van woorden (het bovenste deel van de temporaal-

schors (STG), de betekenis van woorden (het onderste deel van de temporaalschors) en de grammaticale eigenschappen van woorden (het middelste gedeelte van de temporaalschors). Grammaticale informatie betreft onder andere de woordsoort ('bed' is een zelfstandig naamwoord; 'slapen' een werkwoord) en het grammaticale geslacht ('bed' is onzijdig; vandaar 'het bed' en niet 'de bed'). Het unieke van het menselijk taalvermogen is dat we die talige brokstukken in ons geheugen op een eindeloos aantal verschillende manieren kunnen combineren. Dit betekent dat we met het grootste gemak taaluitingen begrijpen die we nog nooit eerder gehoord hebben en die dus ook niet als zodanig in het geheugen liggen opgeslagen. We moeten de brokstukken uit het geheugen dus kunnen unificeren tot grotere gehelen. Daarbij spelen het gebied van Broca (Brodmangebieden 44 en 45) en de aangrenzende gebieden (zoals Brodmangebied 47 en het ventrale deel van gebied 6) een buitengewoon belangrijke rol.

Ten slotte is een belangrijke rol weggelegd voor gebieden die betrokken zijn bij executieve controle. Als spreker moet ik de juiste taal in de juiste context selecteren. Met internationale collega's spreek ik Engels, met mijn dochter Nederlands en met mijn werkgever Duits. Een ander voorbeeld is conversatie. Tijdens een conversatie wisselen we steeds van rol. Op een bepaald moment zijn we spreker, op een ander moment luisteraar. We moeten deze conversatie voortdurend monitoren om te zien wanneer ik aan de beurt ben als spreker en wanneer als luisteraar. Bij dit soort controleprocessen spelen de dorsolaterale prefrontaalschors en de anterieure cingulaire cortex (ACC) een voorname rol.



Figuur 2. Het Memory (geel), Unification (blauw), Control (roze) model voor taal. De cijfers verwijzen naar de gebieden van Brodman. Voor details, zie tekst.



Figuur 3. De vezelbanen die de taalgebieden met elkaar en de rest van de cortex verbinden (naar [5]). De vezelbanen zijn geïdentificeerd in de MRI-scanner met behulp van een DTI-protocol.

In het standaardmodel worden de taalgebieden verbonden door de fasciculus arcuatus als de cruciale vezelbaan. Ook dat aspect behoeft aanpassing. Op basis van studies met Diffusion Tensor Imaging (DTI) is inmiddels duidelijk dat er naast een dorsale route ook een ventrale route is die de taalgebieden met elkaar verbindt (Figuur 3).

BREINNETWERKEN

Broca en Wernicke beschouwden losse woorden als de kern van het taalsysteem. Dat is veel te simpel. We weten nu dat het menselijk taalvermogen is opgebouwd uit een hele verzameling van deelprocessen. Deze zijn gespecificeerd in cognitieve architectuurmodellen van produceren en begrijpen van taal. De neurobiologie van taal heeft ten doel te achterhalen hoe deze verschillende componenten in het brein zijn verankerd (Figuur 4). Daarbij zijn meer gebieden betrokken dan de gebieden van Broca en Wernicke. Bovendien

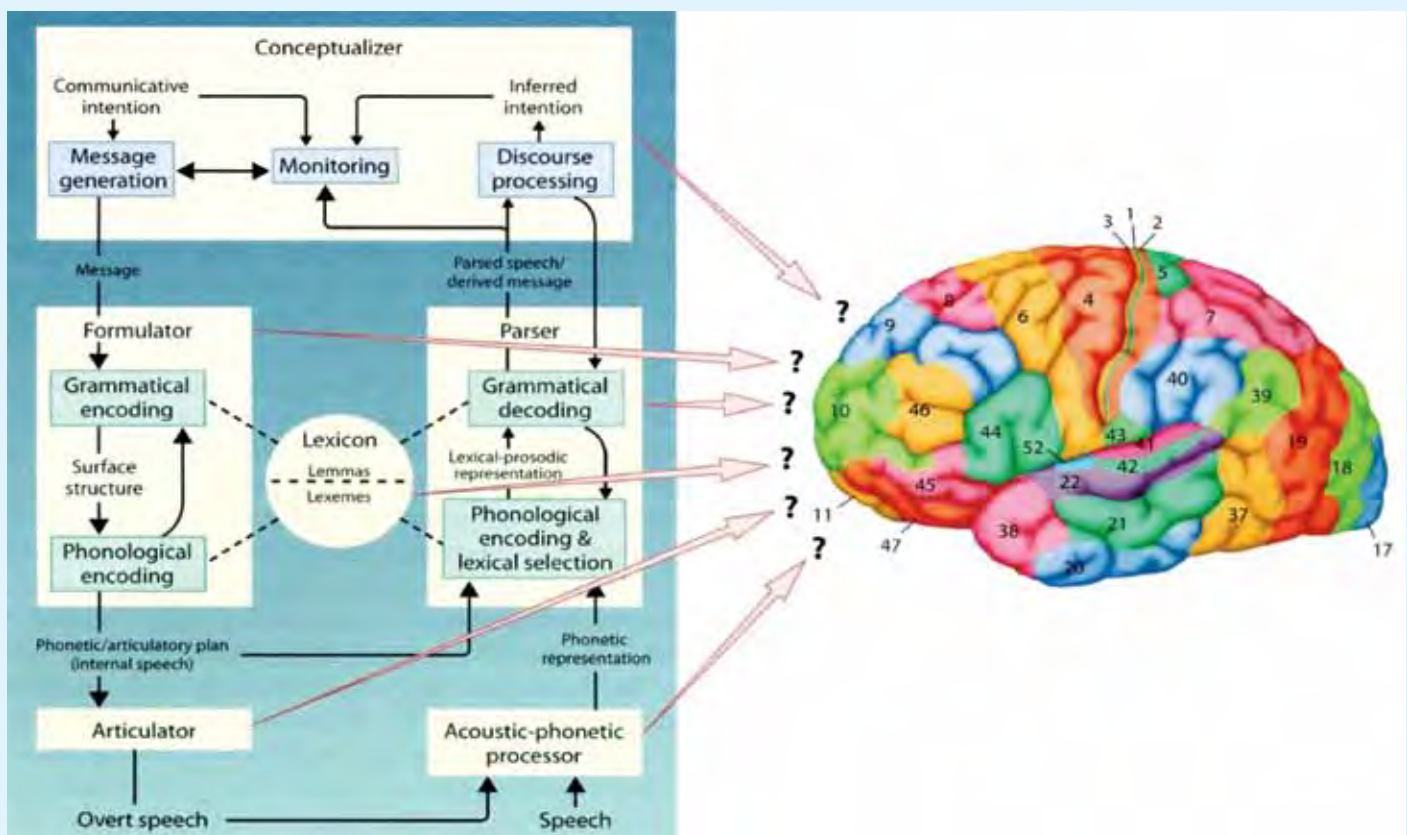
zijn geen van deze gebieden alleen maar bij taal betrokken. Zij dienen meerdere cognitieve functies. De precieze relatie tussen een cognitieve functie en het brein kan niet worden gekarakteriseerd in termen van ‘één hersengebied één functie’. Veeleer worden functies verzorgd door een heel netwerk van gebieden. In toenemende mate staat daarom het netwerkaspect van het brein op de agenda van het hersenonderzoek.

TEN SLOTTE

Veel van de huidige inzichten die in de laatste jaren verworven zijn, zijn te danken aan de ontwikkeling van beeldvormende technieken zoals MRI en MEG. Zelfs in afwezigheid van een adequaat diermodel kunnen we daardoor het sprekende brein onderzoeken. Daarmee zijn we op het spoor van iets wat tot het wezen van ons menszijn behoort, zoals prachtig verwoord in het volgende gedicht (‘Biologie voor de jeugd’ van Leo Vroman):

*Ik zeg echter alleen maar dit:
dat onder haar en schedelbeen
een buidel hersencellen zit,
en dat daarvan één cel alleen
wel duizende gedachten wekt
(Dit Vriend zij U ten teken
dat een en ander wel eens lekt;
wij spreken dan van Spreken.)
Eén haartje uit je wonderhoofd
gerukt, ware zij uit je brein ontsproten,
zou je dus van een knol ter grootte
van een miljoen gedachten
hebben ontroofd;
en kon ik je zachte hersenen strelen
zoals ik nu je kruintje strijk,
dan stond wat je nu voelt gelijk
aan tien biljoen tafrelen*

*Ontstelt U dus zulk vergezicht,
Houdt dan Uw schedeldoosjen dicht* ▶



Figuur 4. Levels cognitieve architectuurmodel van taal, met de vraag hoe elk van de deelprocessen is gerealiseerd in het menselijk brein.

Een van de verworvenheden van de moderne beeldvormingstechnieken is dat deze ons heden ten dage in staat stellen vergezichten te openen terwijl wij het schedeldoosje dicht laten.

Prof.dr. P. Hagoort

Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour (Centre for Cognitive Neuroimaging) & Max Planck Institute for Psycholinguistics

Literatuur

1. Dunbar RIM. Determinants of group size in primates: a general model. Evolution of social behaviour patterns in primates and man. In: Maynard Smith J, Runciman WG, Dunbar RIM, (eds.). Evolution of social behaviour patterns in primates and man. Oxford: Oxford University Press, 1966:33-57.
2. Levelt WJM. A blueprint of the speaker. In: Brown C, Hagoort P (eds.). The neurocognition of language (chapter 4). Oxford: Oxford University Press, 1999.
3. Jackendoff R. Foundations of language. Oxford: Oxford University Press, 2002.
4. Hagoort P. On Broca, brain, and binding: a new framework. Trends Cogn Sci 2005;9:416-23.
5. Anwander A, Tittgemeyer M, von Cramon DY, Friederici AD, Knösche T R. Connectivity-based parcellation of Broca's area. Cereb Cortex 2007;17:816-25.

fMRI en DTI-fibertracking: zicht op taal



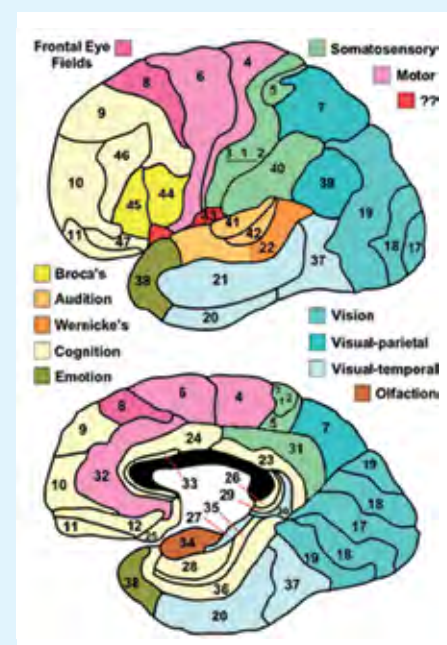
JAAP VALK

fMRI, in de meer beperkte zin van Blood-Oxygenation-Level-Dependent (BOLD) imaging, heeft in de laatste tien jaar een aanvankelijk niet verwacht spectrum van toepassingen gevonden, waarvan vele buiten het werkgebied van de (neuro)radioloog. De belangrijkste toepassing in de neuroradiologie is de lokalisatie van eloquente hersengebieden. In eerste instantie zullen wij ons daarbij beperken tot de lokalisatie van gebieden die een belangrijke rol spelen in spraak (executief) en taal (receptief), en vervolgen met de aanvullende bijdrage van diffusion tensor imaging (DTI) en fibertracking. De anatomische basis is voor een belangrijk deel nog steeds de architectonische kaart van corticale gebieden, als gepubliceerd in 1909 door Korbinian Brodmann [1].

OVERWEGINGEN BIJ PREOPERATIEVE IDENTIFICATIE VAN SPRAAK- EN TAALGEBIEDEN

Anders dan bij de motoriek, waarbij lateraliserende van de corticale aansturing voor de uitvoerende functies regel is – naast gelateraliseerde volledige of onvolledige voorkeur, zoals linkshandigheid, rechtshandigheid, of ambidexteriteit –, is er bij spraak en taal sprake van dominantie, waarbij rechtshandigheid meestal gepaard gaat met linkszijdige dominantie van executieve (Broca) en receptieve (Wernicke) taalgebieden, linkshandigheid in een deel van de gevallen met rechtszijdige voorkeur en, ook meestal bij linkshandigen, soms met een dubbelzijdige

representatie (Figuur 1 & 2). Van betekenis is ook dat Broca en Wernicke door de fasciculus arcuatus met elkaar verbonden zijn, aantoonbaar met DTI en fibertracking. Vaak is deze vezelverbinding beter aantoonbaar in de dominante hemisfeer, als vastgesteld door BOLD-activering van deze centra, tot dusver echter alleen aangetoond voor rechtshandigen [2].



Figuur 1. In de praktijk blijken deze gebieden slechts een benadering te zijn van de werkelijkheid, omdat zowel het centrum van Broca (BA 44,45) als dat van Wernicke (BA 22,41,42) in ligging vrij sterk kan variëren. Tumoren kunnen deze centra uiteendrijven en de onderlinge bindingsvezels verplaatsen of beschadigen. Uitval kan ook worden veroorzaakt door infarcten, infecties, vaatafwijkingen en neurodegeneratieve processen.

BOLD	blood-oxygenation-level-dependent
CST	corticospinale tract
DTI	diffusion tensor imaging
FA	fractionele anisotropie
ROI	region of interest