

Lezen, leren lezen, dyslexie: de auditieve basis van visuele woordherkenning*

Gerard Kempen**

Dyslexie is een leerstoornis op het vlak van de visuele woordherkenning. Recent onderzoek toont aan dat zelfs bij ervaren lezers de toegang tot het Mentale Lexicon in hoofdzaak verloopt via een auditief kanaal. Dit betekent dat omzetting van schrifttekens tot interne spraakcodes een belangrijke stap in het woordherkenningsproces is. De stoornis manifesteert zich voornamelijk bij het leren lezen van alfabetische schriftsoorten. Deze vooronderstellen segmentatie van de klankstructuur van woorden in fonemen, en afbeelding van fonemen op letter(combi-

natie)s. Het lezen van alfabetisch geschreven woorden omvat (1) herkenning van spellingpatronen, (2) omzetting van spellingpatronen tot fonemen of foneemcombinaties, en (3) integratie daarvan tot interne spraakcodes die overeenstemmen met trefwoorden in het Mentale Lexicon. Dyslectici bereiken een onvoldoende niveau van automatisering in deze complexe vaardigheid. De contouren van een connectionistisch model voor dyslexie (een neurale netwerk met covariaat leren) worden geschetst.

Het lezen van deze regels brengt in uw brein een ingewikkeld samenspel van cognitieve processen op gang. Ze sturen uw oogbewegingen, stellen de vorm van de letters vast, herkennen woorden, analyseren de bouw van de zinnen en leggen de tekstinhoud bloot. (Vele kanten van het leesproces komen aan de orde in Rayner & Pollatsek, 1989; Thomassen, Noordman & Eling, 1991; Ellis, 1993.) Leesprocessen verlopen gewoonlijk geheel automatisch. Zodra u een tekst onder ogen krijgt, begint de betekenisinhoud zich voor uw geestesoog te ontploegen. In dit opzicht komt lezen overeen met spraakver-

staan, dat eveneens in hoge mate geautomatiseerd is en weinig mentale inspanning vergt.

Dat de meesten van ons vlot en gemakkelijk kunnen lezen, is eigenlijk verbazingwekkend. De pianist die bladmuziek *à vue* ten gehore kan brengen zonder haperen en in het juiste tempo wordt bewonderd om de zeldzame prestatie die hij verricht. Als u teksten hardop voorleest, levert u een prestatie van vergelijkbare visuele en motorische complexiteit. Dat vinden we evenwel de gewoonste zaak van de wereld. Wie niet vlot piano kan leren spelen, heet hoogstens onmuzikaal; wie niet kan leren lezen, lijdt aan een cognitief defect.

Lezen en spraakverstaan zijn twee vormen van taalbegrip die op grotendeels dezelfde cognitieve mechanismen berusten. Het essentiële verschil tussen lezer en verstaander heeft natuurlijk te maken met het zintuigkanaal waarlangs de te begrijpen taal informatie hun cognitieve systeem bereikt. Toch ligt dat verschil op een ander vlak dan u wellicht denkt.

* Een eerdere versie van dit artikel is verschenen in de bundel *Dyslexie* die onder redactie van J.B.K. Lanser en E. Marani in december 1995 is uitgegeven door de Boerhaave Commissie voor Postacademisch Onderwijs in de Geneeskunde (Rijksuniversiteit Leiden) ter gelegenheid van een studiedag over dit onderwerp. Ik dank de volgende personen voor hun commentaar op het manuscript: E. Marani, W. van den Broeck, A. Ruijsseenaars en twee anonieme referenten. Het artikel kwam tot stand tijdens een verblijf van de auteur op het NIAS in Wassenaar.

** Experimenteel-psychologische Onderzoekschool, Rijksuniversiteit Leiden, Postbus 9555, 2300 RB Leiden.

Visuele woordherkenning

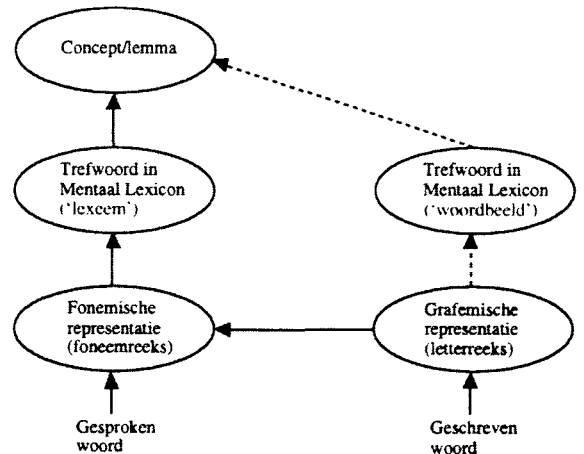
De cognitieve processen die ons in staat stellen tot taalbegrip laten zich beschrijven op vier niveaus:

- 1 Op het *invoerniveau* worden visuele dan wel auditieve zintuigstimuli geïnterpreteerd als elementaire taalkundige eenheden. Bij de invoer van gesproken taal zijn dat (onder andere) *fonemen*. Bijvoorbeeld, de klank van het woord *bied* is opgebouwd uit de drie fonemen /b/, /i/ en /t/. Bij het lezen van alfabetisch schrift gaat het (onder andere) om *letters*.
- 2 Op het *lexicale* of *woordniveau* worden reeksen van dergelijke eenheden opgesplitst tot en herkend als woorden met bepaalde syntactische eigenschappen en betekenissen.
- 3 Het *syntactische* of *zinsniveau* stelt bouw en betekenis vast van woordreeksen die als zinnen of als grammaticaal gestructureerde woordgroepen zijn herkend.
- 4 Het *conceptuele* of *tekstniveau* leidt uit de betekenissen van een reeks zinnen de inhoud van de complete tekst af.

Op zins- en tekstniveau verlopen lezen en spraakverstaan globaal langs dezelfde lijnen (Kempen, 1995). Zodra er woorden zijn herkend, zorgen dezelfde syntactische en conceptuele processen voor het interpreteren van de gesproken of geschreven tekst. Dyslectische problemen vinden daarom niet op deze niveaus hun oorsprong. Dyslectici zijn goede verstaanders (tenzij ze over onvoldoende intelligentie beschikken of aan andere taalstoornissen lijden; maar dan worden ze niet als dyslectisch gediagnostiseerd). Evenmin hebben dyslectici problemen op het invoerniveau: hun gezichtsvermogen, visuele patroonherkenning, sturing van de oogmotoriek en dergelijke blijven binnen de grenzen van het normale en komen niet in aanmerking als oorzaak van de leesstoornis.

Daarom resteert het woordniveau als bron van het kwaad. Inderdaad karakteriseert de neuro- en taalpsychologische literatuur dyslexie als een stoornis die op een of andere manier met de visuele woordherkenning te maken heeft. (Voor overzichten zie bijvoorbeeld Ellis, 1993; Perfetti, 1994; Van der Leij, 1994. Dit artikel handelt uitsluitend over de zogenaamde ontwikkelingsdyslexie, niet over 'verworven dyslexie' als gevolg van een hersenbeschadiging.) Maar over de precieze oorzaak lopen de meningen uiteen. De discussie loopt deels parallel aan een psycholinguïstisch debat over het woordherkenningsproces bij normale lezers. (De standpunten en hun empirische onderbouwing worden helder uiteengezet door Harley, 1995. Zie Kempen, 1994, voor een knopte behandeling.)

De controverse spitst zich toe op de vraag via welk cognitief kanaal ervaren lezers hun 'Mentale Lexicon' raadplegen, dat wil zeggen de afdeling van hun lange-termijngeheugen die de woordenschat herbergt. Omdat lezers goede verstaanders zijn, kunnen ze in dat lexicon woorden opzoeken op basis van *uitspraakcodes*. Dat is boven alle twijfel verheven. Onzeker is of dankzij jarenlange leeservaring wellicht een extra toegangsweg tot het Mentale Lexicon gebaad is: een kanaal dat *schriftcodes* transporteert. Voorstanders van een 'dubbelkanaalmodel' beantwoorden deze vraag positief: letterreeksen die corresponderen met bestaande woorden kunnen rechtstreeks in het Mentale Lexicon opgezocht worden. Dankzij de leestraining zijn 'woordbeelden' hierin als trefwoord gaan fungeren; omzetting van woordbeelden in uitspraakcodes is overbodig. Volgens het 'enkelkanaalmodel' daarentegen werkt het Mentale Lexicon uitsluitend met uitspraakcodes. Van elk gelezen woord wordt vliegensvlug de uitspraak berekend, en via deze code geeft het Mentale Lexicon de opgeslagen informatie prijs, dat wil zeggen de grammaticale eigenschappen van het woord en zijn betekenis.



Figuur 1. Het enkel- en het dubbelkanaalmodel. In het enkelkanaalmodel wordt de grafemische representatie direct in een fonemische omgezet (zie de horizontale pijl). In het dubbelkanaalmodel verloopt de visuele woordherkenning daarnaast ook via de gestippelde pijlen.

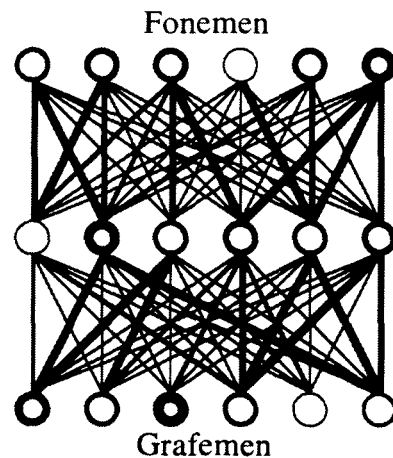
Een en ander staat schematisch weergegeven in figuur 1. Onder lexemen versta ik de uitspraakcodes voor de woorden die de taalgebruiker kent. De term 'lemma' staat voor de grammaticale eigenschappen van een woord (bijvoorbeeld woordsoort); 'concept' duidt de woordbetekenis aan. Grafemen zijn schrifttekens; letters van een alfabet, of karakters van een lettergreep-schrift of een beeldschrift. De linkerkant van de figuur

toont enkele stappen in de procesgang die gesproken woorden ondergaan op weg naar hun interpretatie. Aan de rechterkant ziet u een analoge procesgang voor geschreven of gedrukte woorden. Het dubbelkanaalmodel postuleert het bestaan van beide toegangswegen tot het Mentale Lexicon. Het enkelkanaalmodel ontkent het bestaan van de gestippelde weg en opteert voor een 'grafeem-naar-foneemomzetter', hier aangeduid door de horizontale pijl die de grafemische met de fonemische representaties verbindt.

Welk van de twee modellen komt het beste overeen met de verschijnselen van visuele woordherkenning die in experimenteel-psychologisch onderzoek zijn waargenomen? Een gemotiveerd antwoord op deze vraag vergt aanzienlijk meer ruimte dan ik mij hier kan veroorloven. De voorlopige uitslag van de wedstrijd lijkt neer te komen op een gelijk spel (Jacobs & Grainger, 1994), tenminste als het dubbelkanaalmodel de extra aanname maakt dat bij het lezen van een woord *beide* kanalen *gelijktijdig* worden doorlopen. In tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht, blijken niet alleen beginnende maar ook ervaren (stil)lezers uitspraakcodes te berekenen, dat wil zeggen, de grafeemreeksen inwendig te 'verklanken'. Visuele woordherkenning heeft kennelijk een auditieve basis. Het dubbelkanaalmodel kan dit gegeven verantwoord door aan te nemen dat lezers niet alleen de gestippelde pijlen volgen, maar tevens de horizontale pijl. Wellicht brengt u hiertegen in dat tijdens *snel*lezen vele tientallen woorden per seconde kunnen worden verwerkt – een tempo dat niet is bij te houden door een grafeem-naar-foneemomzetter die slechts acht tot tien woorden per seconde haalt. Inderdaad komt het maximale tempo van inwendige spraak niet uit boven die tien woorden per seconde (Neisser, 1967). Maar snellezers zien maar een deel van de tekst. Ze 'scannen' een paar woorden per regel en uitgaande van de betekenissen daarvan vormen ze zich een beeld van de globale tekstinhoud. Ze kapitaliseren hierbij op achtergrondkennis, op verwerkingsprocessen van het vierde niveau dat ik hierboven heb onderscheiden. Leest u zonder woorden over te slaan, dan komt u niet uit boven de maximumsnelheid van inwendige spraak: een kleine tien woorden per seconde. Bovendien wordt het enkelkanaalmodel in de kaart gespeeld door het ontbreken van harde bewijzen voor het bestaan van woordbeelden als trefwoorden in het Mentale Lexicon. Een aanwijzing in die richting vormt de observatie DaT aFwIsSeLiNg VaN kLeInE eNgRoTe LeTtErS hEt LeZeN sLeChTs MiLd VeRsToOrT oFsChOoN hEt WoOrDbEeLd GrOf WoRdT aAnGeTaSt.

Grafeem-naar-foneemomzetting

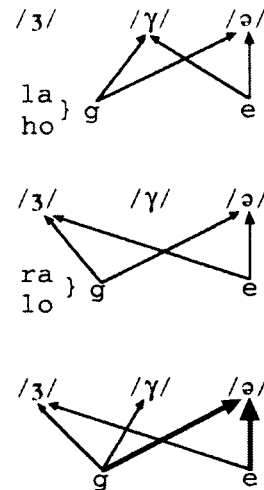
Hoe ook de strijd tussen enkel- en dubbelkanaalmodellen zal aflopen, zeker is dat grafeem-naar-foneemomzetting in het leesproces de hoofdrol speelt. Twee typen mechanismen zijn voorgesteld om dit werk te klaren. Het ene werkt met expliciete uitspraakregels die ontleend zijn aan de taalkunde. Deze regels koppelen letters of lettercombinaties aan fonemen of foneemcombinaties. Sommige regels zijn heel algemeen, andere gelden in speciale gevallen en hebben eerder het karakter van uitzondering. Men neemt aan dat deze regels deels afkomstig zijn uit het leesonderwijs op school, en deels ontdekt door een zelflerend systeem in het brein van de beginnende lezer. De omzetter omvat een lange reeks regels van de vorm *Als L dan F*, waarbij *L* een letter(combinatie) aanduidt, en *F* een foneem(combinatie). Bovendien gelden er voorrangregels voor de oplossing van conflicten tussen deze uitspraakregels. Vaak zijn namelijk meerdere *als-dan*-regels tegelijk van toepassing. Dit vraagt om een instantie die uitmaakt welke van de toepasselijke uitspraakregels daadwerkelijk uitgevoerd gaat worden en aldus de uitspraak van het woord mede bepaalt.



Figuur 2. Schematisch voorbeeld van een neuronaal netwerk. De cirkels staan voor neuronen. De lijndikte van de cirkels staat voor de mate waarin de neuronen op een bepaald moment geactiveerd zijn. De dikte van de rechte lijnen geeft de begaanbaarheid van de verbindingen aan. Het activatiepatroon in de onderste laag neuronen wordt bepaald door het gelezen woord. Spreiding van deze activatie via de tussenvoegde laag leidt tot activatie van de bovenste laag neuronen. Het activatiepatroon in die laag vertegenwoordigt de uitspraak van het gelezen woord. Het aantal neuronen per laag heb ik willekeurig gekozen. Tussenvoegde lagen zijn niet altijd aanwezig. Ze heten ook wel 'verborgen laag' omdat hun neuronen niet corresponderen met vooraf bepaalde representatie-eenheden.

Het andere mechanisme voor grafeem-naar-foneemomzetting is helemaal niet gebaseerd op expliciete uitspraakregels maar op activatiespreiding in een zelflerend neuraal netwerk (figuur 2). De in de invoer herkende grafemen (letters) activeren bepaalde neuronen die vervolgens hun activatie doorgeven aan andere neuronen. Hoeveel activatie aankomt bij laatstgenoemde neuronen hangt af van de begaanbaarheid van de verbindingen: goede verbindingen geven veel activatie door, slechte verbindingen weinig. De activatie die zich aldus door het netwerk verspreidt, komt uiteindelijk aan bij neuronen die corresponderen met fonemen of foneemcombinaties. Hoe meer activatie zo'n neuron toegevoerd krijgt, hoe groter de kans dat het 'vuurt' en daarmee dat de corresponderende foneem(combinatie) een rol gaat spelen in de uitspraak van het gelezen woord in kwestie. Het leervermogen van zo'n neuraal netwerk schuilt in de begaanbaarheid van de vele verbindingen. Tijdens de leerfase raakt elke verbinding erop ingesteld dat een bepaald percentage van de toegevoerde activatie wordt doorgegeven: de ene een hoger, de andere een lager percentage. Dit leren gaat globaal als volgt in zijn werk. Aanvankelijk hebben alle verbindingen eenzelfde mate van begaanbaarheid, met als gevolg dat aanbieding van een geschreven woord leidt tot een willekeurige uitspraak. Telkens wanneer het netwerk een nieuw woord aangeboden krijgt, wordt gekeken welke fonemen (toevallig) correct waren. De verbindingen die activatie aan de bij deze fonemen behorende neuronen hebben toegevoerd, worden vervolgens ietsje begaanbaarder gemaakt. Maar er zijn aanvankelijk ook neuronen wier foneem(combinatie) niet in de uitspraak van het betreffende woord voorkomt, en die dus niet hadden mogen vuren. De verbindingen die leiden naar deze 'foute' neuronen krijgen dan een lagere begaanbaarheidswaarde. Terwijl het netwerk aldus met een lange reeks van geschreven woorden en hun correcte uitspraak wordt geconfronteerd, blijkt het steeds beter in staat de juiste uitspraak van de woorden te bepalen. De begaanbaarheidswaarden veranderen dan steeds minder, zodat de training kan worden beëindigd. Hoe ongelofelijk het misschien ook klinkt, dergelijke 'connectionistische' systemen zijn langs deze weg tot goede leesprestaties te brengen, geheel en al zonder expliciete uitspraakregels. De geschetste trainingsprocedure is een speciaal geval van 'covariaat leren' (Stone & Van Orden, 1994; Hinton, 1990). Figuur 3 illustreert hoe de uitspraak van de letters *g* en *e* in de context van de woordjes *hoge*, *lage*, *rage* en *loge* wordt geleerd. Aanbieding van *hoge* en *lage* verhoogt de begaanbaarheid van de verbindingen

die in het bovenstuk van de figuur zijn getekend. (De betreffende fonemen zijn /z/, de /stemhebbende g/ en de /stomme e/.) Het middenstuk van de figuur toont het effect van aanbieding van *rage* en *loge*. Nu wordt de begaanbaarheid van de verbindingen die voeren naar /ə/ en naar /z/ verhoogd. De verbindingen naar /ɣ/ blijven onaangeroerd. Het eindresultaat is dat de verbindingen naar /ə/ meer aan begaanbaarheid hebben gewonnen dan die naar /ɣ/ en naar /z/. Anders uitgedrukt, de zekerheid dat de letter *e* aan het eind van een woord wordt uitgesproken als een /ə/ is tijdens deze leerepisode meer gestegen dan die voor de juiste uitspraak van de letter *g* in *-ge*. Dus: hoe 'regelmatiger' de uitspraak van een letter (hoe minder afhankelijk van letters in de context), hoe sneller en hoe beter deze wordt geleerd.



Figuur 3. Een voorbeeld van 'covariaat leren' in een grafeem-naar-foneemomzetter. (Aanpassing van figuur 3 uit Van Orden & Goldinger, 1994. Zie ook Van den Broeck, 1993.)

Een aldus getraind neuraal netwerk zet een geschreven invoerwoord om in een reeks fonemen. Het woordherkenningsproces is hiermee echter nog niet voltooid. De foneemreeks moet eerst nog contact maken met het Mentale Lexicon dat de uitspraak bevat van alle woorden die we kennen. Elke uitspraak ligt daar opgeslagen in een code die, zo nemen we aan, de foneemreeks en verdere klankeigenschappen van het trefwoord specificeert. Als de grafeem-naar-foneemomzetter zijn werk goed heeft gedaan, zal één van de opgeslagen uitspraakpatronen een foneemreeks bevatten die nagenoeg of geheel overeenstemt met de voor het invoerwoord berekende foneemreeks. Dit overeenstemmende uitspraakpatroon activeert dan het bijbehorende trefwoord. Ook

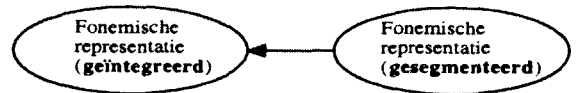
dit 'matching'-proces is heel goed uitvoerbaar door een connectionistisch systeem. Seidenberg en McClelland (1989) hebben met succes een lerend neurale netwerk voor deze taak geconstrueerd. (Zie Balota, 1994, voor een evaluatie van dit model en van enkele alternatieve benaderingen.)

Auditieve segmentatie en integratie

Zoals gezegd is dyslexie primair een stoornis op het lexicale niveau van het leesproces, dat wil zeggen op gebied van de visuele woordherkenning. En we hebben gezien dat in zowel het dubbel- als het enkelkanaalmodel grafeem-naar-foneemomzetting een cruciale rol speelt. Dit voert tot de hypothese dat de oorzaak van dyslectische stoornissen gezocht moet worden in dit mechanisme. In het cognitieve systeem van de dyslecticus zijn kennelijk niet alle voorwaarden vervuld om in een normaal leer-tempo een efficiënt functionerende grafeem-naar-foneemomzetter op te bouwen. Tot de ontbrekende voorwaarden behoort slechts zelden de *visuele* grafeemherkenning. Dyslectici hebben meestal weinig moeite met het herkennen van schrifttekens die hele woorden aanduiden, zoals cijfers en andere rekenkundige symbolen. Het hoofdprobleem is auditief van aard. Ook al is dit voor ervaren lezers slecht invoelbaar, kinderen van vijf, zes jaar vinden het opdelen van gesproken woorden in een rijtje fonemen een lastige taak. Ook de omgekeerde taak – los uitgesproken fonemen samenvoegen tot verstaanbare woorden – stelt ze voor aanzienlijke problemen. Daarentegen gaat auditieve segmentatie en synthese met *syllaben* (lettergrepen) als eenheid hun betrekkelijk gemakkelijk af. Tijdens training in auditieve analyse en synthese op foneembasis maken de meeste kinderen snelle vorderingen. Maar toekomstige dyslectici blijven hardnekkige problemen houden met taken waarin de opbouw van woorden uit *fonemen* bewust moet worden gemanipuleerd: fonemisch of fonologisch bewustzijn (Marcel, 1980; Gombert, 1992; Van Bon, 1994).

De uitzonderlijke cognitieve moeilijkheid van dit fonemisch bewustzijn wordt ook treffend geïllustreerd door de historie van het alfabetische schrift (Gelb, 1963). Ruim 3000 jaar geleden is het ontstaan uit een logografische schrift ('beeldschrift'), waarvan sommige tekens een syllabische waarde hadden gekregen. De evolutie van beeld- via lettergreep- naar alfabetisch schrift weerspiegelt aldus de mate van (on)herkenbaarheid van de spraakklankeenheden: respectievelijk hele woorden, lettergrepen, en fonemen. Als fonemisch bewustzijn

zich spontaan zou ontwikkelen, zou men verwachten dat alfabetisch schrijven, net als beeldschrift, op meerdere plaatsen en tijdstippen zou zijn ontstaan. Historisch onderzoek heeft echter hooguit twee geheel onafhankelijke bronnen van alfabetisch schrift opgeleverd. De eerste is het 3000 jaar oude Fenicische schrift dat aan de oorsprong ligt van onder meer de Griekse, Romeinse en Cyrillische alfabetten. De tweede bron betreft het Koreaanse alfabet, dat in het midden van de vijftiende eeuw is bedacht door een taalgeleerde en ingevoerd op keizerlijk bevel (Vos, 1971).

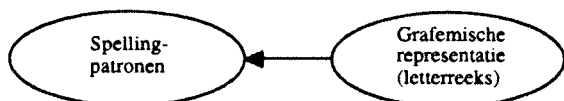


Figuur 4. Grafeem-naar-foneemomzetting: van expliciete (gesegmenteerde) naar impliciete (geïntegreerde) fonemische representatie van gesproken woorden.

Leren lezen houdt dus niet alleen in het leren van de lettervormen en hun klankwaarden. Het efficiënt leren hanteren van een expliciete, bewuste representatie van de foneemstructuur van bekende en onbekende woorden is minstens even belangrijk. De auditieve segmenteer- en integreertaken die van deze representatie gebruik maken, moeten in hoge mate geautomatiseerd gaan verlopen. Figuur 4 geeft aan hoe deze vaardigheid past in het woordherkenningsproces. De grafeem-naar-foneemomzetter (dat wil zeggen de horizontale pijl in figuur 1) bevat een component voor omzetting van de 'bewuste' (expliciete) in de 'onbewuste' (impliciete) fonemische representatie van een woord. De bewuste representatie bestaat uit een reeks afzonderlijk verklankte fonemen of foneemcombinaties, bijvoorbeeld /s/, /ɣ/, /t/, /ew/ voor *schreeuw* (/ɣ/ duidt de /stemloze g/ aan). Deze reeks moet worden geïntegreerd tot de fonologische code /sɣrew/ die overeenstemt met de uitspraak van een in het Mentale Lexicon opgeslagen trefwoord.

Hoe komt de lezer aan de expliciete (gesegmenteerde) fonemische representatie van een woord? De eenvoudige oplossing – spreek de letters van het te lezen woord hardop of zachtjes een voor een uit – voldoet niet: probeert u dat maar eens met de letters van de woorden *rage*, *loge* en *schreeuw*. Denkt u voorts aan de schrijfwijze van open en gesloten lettergrepen. De dubbele *l* in *spelling* betekent niet dat het foneem /l/ tweemaal achter elkaar uitgesproken wordt, maar dat de voorafgaande lettergreep 'gesloten' is, hetgeen invloed heeft op het foneem dat met de letter *e* correspondeert. Bovendien

duidt *ng* niet twee fonemen aan maar slechts een. Deze voorbeelden maken duidelijk dat een waargenomen letterreeks opgedeeld moeten worden in zogenaamde spellingpatronen (Gibson & Levin, 1975), en dat pas hieruit een bruikbare fonemische representatie afleidbaar is (zie figuur 5). De splitsing van een letterreeks in spellingpatronen is niet in alle talen even moeilijk. Frans en Engels bieden in dit opzicht aanzienlijk meer problemen dan Duits en Nederlands.



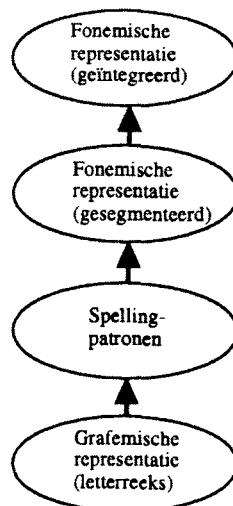
Figuur 5. Grafeem-naar-foneemomzetting: herkenning van spellingpatronen in de grafemische representatie van een woord.

Combineren we de deelprocessen die met grafeem-naar-foneemomzetting gemoeid zijn, dan ontstaat de drietrapsraket van figuur 6. U kunt deze beschouwen als een uitvergoting van de horizontale pijl in figuur 1.

Een neurale leermechanisme voor grafeem-naar-foneemomzetting

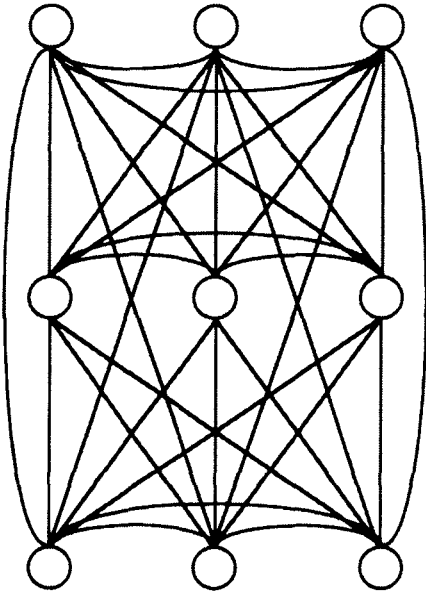
Eigenlijk roept 'drietrapsraket' een verkeerd beeld op. De term suggereert dat de drie omzettingsslagen strikt sequentieel verlopen, dat de vier representaties of codes *na* elkaar worden opgebouwd. Als de omzettingen plaatsvinden in een neurale netwerk door middel van covariaat leren (zoals aangeduid in figuur 3), hoeft dat evenwel niet het geval te zijn. Dit type mechanismen biedt veel ruimte voor parallelle informatieverwerking, en voor feedback van latere naar vroegere stadia in het verwerkingsproces.

Figuur 7 laat zien hoe dit in zijn werk kan gaan. Elke laag neuronen symboliseert een representatieniveau. De onderste laag zou bijvoorbeeld kunnen staan voor individuele letters, de middelste laag voor spellingpatronen en de bovenste laag voor fonemen of foneemcombinaties. Herkenning van letters betekent dan dat neuronen in de onderste laag worden geactiveerd en hun activatie doorsturen naar hogere *lagen* – niet noodzakelijk naar de naasthogere laag: de verbindingen slaan soms een of meer lagen over. Elke lijn die twee neuronen met elkaar verbindt staat in feite voor twee verbindingen in tegengestelde richting. Parallel aan de verbinding tussen neuron A en neuron B loopt een andere van neuron B naar neuron A. De tweede, terugwaartse verbinding heeft niet



Figuur 6. Drie deelprocessen in grafeem-naar-foneemomzetting.

noodzakelijk dezelfde mate van begaanbaarheid als de eerste. Via de terugwaartse verbindingen kunnen latere (of 'hogere') eenheden invloed uitoefenen op de activatie van vroegere (of 'lagere'). Bijvoorbeeld: stel dat het spellingpatroon *-ing* is geactiveerd door duidelijke herkenning van de letters *i* en *g*, terwijl de letter *n* niet goed is herkend. Het neuron dat correspondeert met het spellingpatroon zal nu activatie terugleiden naar elk van de individuele letters. Samen met de in eerste instantie onvoldoende opwaartse ('bottom-up') activatie kan deze extra neerwaartse ('top-down') activatie het neuron dat met de letter *n* correspondeert over de drempel helpen. Met behulp van neerwaartse activatie valt eveneens inzichtelijk te maken hoe de uitkomst van grafeem-naar-foneemomzetting beïnvloed kan worden door woordkennis. Stel, de toegang tot het Mentale Lexicon wordt verzorgd door een neurale netwerk zoals beschreven in de paragraaf *Grafeem-naar-foneemomzetting*. (Het netwerk van Seidenberg & McClelland, 1989, is een concreet voorbeeld.) Lezing van het woord *rage* leidt via grafeem-naar-foneemomzetting tot opwaartse activatie van onder meer de fonemen /r/, /a/, /ʒ/, /ɹ/ en /ə/. Het trefwoord /rɑʒə/ in ons Mentale Lexicon verhoogt via een neerwaartse verbinding de activatie van /ʒ/ maar niet die van /ɹ/. Bij lezing van *ragebol* zal neerwaartse activatie juist leiden tot bevoordeling van /ɹ/.



Figuur 7. Schets van een neurale netwerk met drie representatielagen. Elke lijn staat voor twee verbindingen in tegengestelde richting. Verbindingen tussen lagen vervoeren positieve activatie ('excitatie'), verbindingen binnen een laag zijn inhibitorisch, dat wil zeggen verspreiden negatieve activatie.

Neuronen die tot eenzelfde laag behoren, *inhiberen* elkaar. Dat wil zeggen, ze sturen elkaar *negatieve* activatie toe. De sterkte van het inhibitiesignaal dat een neuron aan zijn burens afgeeft, hangt af van de mate waarin het geactiveerd is. Hoe actiever een neuron, hoe sneller het de activatie van minder actieve buurcellen kan wegdrukken. Aldus ontstaat *competitie* tussen de eenheden van eenzelfde laag. Het neuron dat uiteindelijk als overwinnaar uit de bus komt, zal naar verhouding veel activatie doorgeven zowel naar boven als naar beneden. De competitie *binnen* lagen kan de activatiespreiding *tussen* lagen danig vertragen. Reactietijden zullen dus worden vertraagd bij aanbidding van stimuli die gelijktijdig meerdere neuronnen binnen dezelfde laag activeren. Bijvoorbeeld, het hardop voorlezen van het woord *rage* zal enige vertraging ondervinden van het feit dat de letter *g* in het spellingpatroon *-age* twee verschillende fonemen activeert. Een dergelijk effect is inderdaad aangetoond (zie bijvoorbeeld het literatuuroverzicht in Harley, 1995). Omdat de /ʒ/-uitspraak van de *g* veel minder frequent is dan de /ɣ/-uitspraak, hetgeen zijn weerslag vindt in de begaanbaarheid van de betreffende verbindingen, zal *rage* meer te lijden hebben van de

competitie dan het woord *lage*.

Het spel van activatie en inhibitie dat in een meerlagig netwerk zoals figuur 7 wordt opgeroepen door presentatie van een stimulus, komt na enige tijd tot rust. In de neuronellaag die een uitwendig waarneembare respons moet leveren, is op dat moment de competitie – hopelijk – beslecht. De overwinnaar kan zich dan aan de buitenwereld kenbaar maken. Neuronale netwerken zijn dynamische systemen wier uitwendig observeerbare gedrag bepaald wordt door het subtiel samenspel en tegenspel van de krachten die door stimulatie van het ogenblik zijn opgeroepen. De krachtenverdeling kan bovendien wijzigingen ondergaan. Eén oorzaak heb ik al genoemd: covariaat leren kan de begaanbaarheid van de verbindingen tussen lagen beïnvloeden. Dit leidt tot lange-termijneffecten. Een effect dat zich over korte perioden doet gelden heeft te maken met aandacht en mentale inspanning. In sommige neurale netwerkmodellen kan de totale hoeveelheid activatie die in het netwerk circuleert, worden gevarieerd. Via deze manipulatie probeert men de invloed na te bootsen die uitgaat van aandacht (zie bijvoorbeeld het model van Phaf, Van der Heijden & Hudson, 1990). Geconcentreerd bezig zijn met een taak betekent dat het betreffende neurale netwerk alle benodigde activatie toegevoerd krijgt om optimaal te kunnen responderen (snelle beslechtiging van competitie, snelle spreiding van activatie). Van de weeromstuit wordt hierdoor aan netwerken die zich met andere taken bezighouden activatie onttrokken. Daar zal de competitie tussen eenheden van een representatielaag dan minder snel een duidelijke overwinnaar opleveren, met als gevolg tragere reacties, of reacties die zijn gebaseerd op onvolledig uitgekristalliseerde competitie (onnauwkeurigheid).

In het geval van grafeem-naar-foneemomzetting zal het covariaat-leerproces in eerste aanleg leiden tot afregeling van de begaanbaarheid van 'korte' verbindingen, dat wil zeggen verbindingen tussen aangrenzende representatielagen. Maar op den duur zullen ook 'lange' verbindingen tussen niet-aangrenzende lagen mee gaan spelen. In het bijzonder zullen rechtstreekse verbindingen tussen de grafemische en de fonemische representatieniveaus steeds fijner afgeregeld raken en het gedrag van het netwerk langzamerhand gaan beheersen. Anders gezegd, de rol van de twee tussenniveaus – spellingpatronen en gesegmenteerde fonemische representaties – wordt naarmate het lees-leerproces vordert geleidelijk aan bescheidener. Grafeem-naar-foneemomzetting krijgt aldus het karakter van een vaardigheid die onmiddellijk en automatisch tot het juiste resultaat voert.

Tevens zal op deze hoge vaardigheidsniveaus het omzettingsproces minder gevoelig zijn voor schommelingen in de aandacht, dat wil zeggen in de hoeveelheid activatie die het proces toegevoerd krijgt. Immers, hoe geringer het belang van tussenliggende representaties, hoe kleiner de invloed van onopgeloste competitie in die tussenlagen.

Dyslectische stoornissen

Gegeven deze karakterisering van het leesleerproces, op welk(e) front(en) is er dan bij dyslectici iets misgegaan? De *eenheden* die de onderscheiden representatieniveaus bevolken (respectievelijk letters, spellingpatronen, losse fonemen/foneemcombinaties, fonemische woordpatronen) lijken op zichzelf gemakkelijk gevormd en verwerkt te kunnen worden. Het probleem schuilt veeleer in de *verbindingen* tussen eenheden. Er zijn dan twee mogelijkheden. Ten eerste, de inhibitorische verbindingen *binnen* een representatielaag kunnen er ten onrechte toe leiden dat een of meer van de eenheden die gelijktijdig actief moeten zijn, worden onderdrukt. Bijvoorbeeld, een spellingpatroon dat ergens in een te lezen woord voorkomt, zou een spellingpatroon elders in dat woord kunnen wegdrukken. Ten tweede, het leermechanisme dat de begaanbaarheid van de verbindingen *tussen* de representatielagen moet optimaliseren, functioneert gebrekkig. Dit belemmert het ontstaan van de juiste correspondenties tussen eenheden van verschillende representatielagen. Meer in het bijzonder bestaat de mogelijkheid dat het leermechanisme geen goede balans weet te vinden tussen 'korte' en 'lange' verbindingen. Sommige dyslectici lijken te blijven steken in korte verbindingen. Wie bijvoorbeeld in *rage* het spellingpatroon *-age* herkent, zal dit wellicht lezen als *-age* in *lage*. Dit op basis van korte verbindingen tussen spellingpatronen en gesegmenteerde foneemcombinaties. Zekerheid over de correcte uitspraak kan alleen worden verschaft door 'lange' verbindingen tussen spellingpatronen (of individuele letters) enerzijds en geïntegreerde foneemcombinaties anderzijds. Andere dyslectici daarentegen kapitaliseren op lange verbindingen. Bijvoorbeeld, de afstand tussen het grafeem- en het geïntegreerde foneemniveau proberen ze in één sprong te overbruggen. Dit leidt tot 'globaal' lezen zonder altijd genoeg rekening te houden met de letterdetails. (De diagnose en behandeling van dyslectische stoornissen komt uitvoerig aan de orde in Bakker, 1993; Spyer, 1994; Ruijsenaars & Kleijnen, 1995.)

Als de neurale circuits waarop visuele woordherkenning berust inderdaad op de beschreven wijzen kunnen dys-

functioneren, rijzen minstens drie vragen. De eerste kan ik bij gebrek aan neurofysiologische deskundigheid niet beantwoorden: wat is de oorzaak van de dysfuncties? Ten tweede, blijven de dysfuncties beperkt tot visuele woordherkenning, of zijn ook circuits aangetast die andere vaardigheden voor hun rekening nemen? Er zijn aanwijzingen dat het laatste het geval is. Dyslectici hebben vaak ook moeite met schrijfmotoriek (Hamstra-Bletz, 1993) en spelling (De Haan, 1995). En men heeft gevonden dat bepaalde niet-talige sensomotorische vaardigheden, in concreto het bewaren van evenwicht op een evenwichtsbalk, zich bij dyslectische kinderen gemakkelijk laten verstoren als gevolg van aandachtsschommelingen (Nicolson & Fawcett, 1990; Yap & Van der Leij, 1994). Dit suggereert dat dyslexie een uitvloeisel is van een meer algemeen probleem bij het aanleren van sensomotorische vaardigheden (vergelijk de laatste alinea van de vorige paragraaf). Waarom manifesteert dit probleem zich dan vooral bij het leren lezen? Op de eerste plaats is lezen een zeer complexe vaardigheid. Ten tweede kan in onze geletterde wereld niemand het zich veroorloven analfabeet te blijven; hetgeen de kans verhoogt dat een algemeen sensomotorisch leerprobleem in eerste aanleg bij het lezen aan de dag treedt.

De derde vraag betreft therapie. Hoe kunnen, zolang de oorzaak van dyslectische stoornissen onbekend of onherstelbaar is, de symptomen worden bestreden? Het antwoord moet luiden: probeer door uitvoerige en goed gedoseerde trainingen de balans te herstellen tussen de werkzaamheid van de onderscheiden soorten verbindingen in de neurale netwerken (inhibitoire, korte excitatoire, lange excitatoire). Nodig zijn oefeningen in auditieve segmentatie en integratie van gesproken woorden, in de herkenning van de klankwaarde van veel voorkomende spellingpatronen, en in het vlot lezen van hele woorden die meerdere spellingpatronen omvatten. De eerstgenoemde twee typen training hebben betrekking op de afzonderlijke trappen van figuur 6; het derde type beklemtoont de vorming van lange-afstandverbindingen. Misschien kan een deel van de leesproblemen voorkomen worden door in het aanvankelijk leesonderwijs een uitgewogen dosering en combinatie van deze oefeningstypen in te bouwen. (Een methode van leestraining gebaseerd op covariaat leren is onlangs met gunstig resultaat uitgetoetst door Van den Broeck & Ruijsenaars, in druk.)

De opvattingen die ik in de laatste twee paragrafen te berde heb gebracht, zijn gebaseerd op nieuwe theoretische inzichten in het proces van visuele woordherkenning, in het bijzonder in de auditieve basis daarvan en

het onderliggende neurale correlaat. Niettemin zijn het slechts speculaties. Ik heb ze durven opschrijven omdat hun plausibiliteit zich betrekkelijk snel laat toetsen met behulp van een onderzoeksmethode die in samenhang met leesstoornissen nog nauwelijks is toegepast. Het functioneren van de geschetste zelflerende neurale netwerken kan op de computer worden gesimuleerd. Voor elk van de trappen van figuur 6, en voor combinaties daarvan, kunnen neurale circuits worden geprogrammeerd en vervolgens getraind aan de hand van geschreven woorden, hun uitspraken en hun foneemsamenstelling. Tevens kan onderzocht worden hoe de leesleerprestaties van de netwerken variëren onder invloed van meer of minder gunstige instellingen van leerparameters, van verschillende trainingregimes, en van selectieve beschadigingen van de netwerken. De afgelopen tien jaar is in binnen- en buitenland ruime ervaring opgedaan met de benodigde simulatietechnieken. Als de hierboven geschetste denkbeelden over woordherkenning in alfabetische schriftsoorten een kern van waarheid bevatten, zullen connectionistische computersimulaties ons inzicht in leren lezen, in dyslectische stoornissen en in de behandeling ervan aanzienlijk verrijken.

LITERATUUR

- Bakker, D.J. (1993). *Neuropsychological treatment of dyslexia*. Oxford: Oxford University Press.
- Balota, D.A. (1994). Visual word recognition. The journey from features to meaning. In M.A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of psycholinguistics*. San Diego: Academic Press.
- Bon, W.H.J. van (1994). Fonemische segmentatie (v/h auditieve analyse). In W.H.J. van Bon, E.C.D.M. van Lieshout & J.T.A. Bakker (red.), *Gewoon, ongewoon, buitengewoon. Opstellen over leerproblemen, aangeboden aan J.J. Dumont bij zijn afscheid als hoogleraar orthopedagogiek*. Rotterdam: Lemniscaat.
- Broeck, W. van den (1993). Theorieën van woordherkenning en praktische implicaties. *Tijdschrift voor Orthopedagogiek*, 32, 474-488.
- Broeck, W. van den, & Ruijsenaars, A.J.J.M. (in druk). Technisch lezen in theorie en praktijk. In *Jaarboek Pedagogische Instituten*.
- Ellis, A.W. (1993). *Reading, writing and dyslexia: A cognitive analysis*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gelb, I.J. (1963). *A study of writing*. Chicago: University of Chicago Press.
- Gibson, E.J., & Levin, H. (1975). *The psychology of reading*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gombert, J.E. (1992). *Metalinguistic development*. Hemel Hempstead: Harvester Wheatsheaf.
- Haan, W.J. de (1995). Een taalkundig probleem; een taalkundige oplossing. *Moer, tijdschrift voor onderwijs in het Nederlands*, 1995, 149-155.
- Hamstra-Bletz, E. (1993). *Het kinderhandschrift: ontwikkeling en beoordeling*. Dissertatie, Rijksuniversiteit Leiden.
- Harley, T.A. (1995). *The psychology of language. From data to theory*. Hove: Erlbaum (UK) Taylor & Francis.
- Hinton, G. (1990). Connectionist learning procedures. In J. Carbonell (Ed.), *Machine learning: Paradigms and methods*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Jacobs, A.M., & Grainger, J. (1994). Models of visual word recognition-sampling the state of the art. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 1311-1334.
- Kempen, G. (1994). De mythe van het woordbeeld: spellingherziening taalpsychologisch doorgelicht. *Spektator, Tijdschrift voor Neerlandistiek*, 23, 292-301.
- Kempen, G. (1995). Van leescultuur en beeldcultuur naar Internetcultuur. Een misplaatste tegenstelling rechtgezet. *De Psycholoog*, 30, 315-319.
- Leij, A. van der (1994). Taal en dyslexie. *Tijdschrift voor Orthopedagogiek*, 33, 557-567.
- Marcel, T. (1980). Phonological awareness and phonological representation: Investigation of a specific spelling problem. In U. Froth (Ed.), *Cognitive processes in spelling*. New York: Academic Press.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Nicolson, R.I., & Fawcett, A.J. (1990). Automaticity: A new framework for dyslexia research. *Cognition*, 35, 159-182.
- Orden, G.C. van, & Goldinger, S.D. (1994). Interdependence of form and function in cognitive systems explains perception of printed words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 1269-1291.
- Perfetti, C. (1994). Psycholinguistics and reading ability. In M.A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of psycholinguistics*. San Diego: Academic Press.
- Phaf, R.H., Heijden, A.H.C. van der, & Hudson, P.T.W. (1990). SLAM: A connectionist model for attention in visual selection tasks. *Cognitive Psychology*, 22, 273-341.
- Rayner, K., & Pollatsek, A. (1989). *The psychology of reading*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Ruijsenaars, A.J.J.M., & Kleijnen, R. (red.) (1995). *Dyslexie. Lees- en spellingproblemen: diagnostiek en interventie*. Leuven: Acco.
- Seidenberg, M.S., & McClelland, J.L. (1989). A distributed developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review*, 96, 523-568.
- Spyer, G. (1994). *Neuropsychological and pharmacological treatment of dyslexia*. Dissertatie, Vrije Universiteit Amsterdam.
- Stone, G.O., & Orden, G.C. van (1994). Building a resonance framework for word recognition using design and system principles. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 1248-1268.
- Thomassen, A.J.W.M., Noordman, L.G.M., & Eling, P.A.T.M. (red.) (1991). *Lezen en begrijpen: de psychologie van het leesproces*. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Vos, F. (1971). Taal, schrift en letterkunde van Korea. *Intermediair*, 7(14), 23-37.
- Yap, R.L., & Leij, A. van der (1994). Testing the automatization deficit hypothesis of dyslexia via a dual-task paradigm. *Journal of Learning Disabilities*, 27, 660-665.

Ontvangen: 11 oktober 1995; geaccepteerd: 26 maart 1996.

Kempen, G.A.M. (1996). Reading, learning to read, dyslexia: The auditory basis of visual word recognition. Nederlands Tijdschrift voor de Psychologie, 51 (3), 91-100.

Dyslexia is an impairment in the area of visual word recognition. Recent studies have shown that even skilled readers access their Mental Lexicon primarily through an auditory route. This implies that conversion of writing symbols to internal speech codes is an important step in the word recognition process. The impairment manifests itself mainly when learning to read in alphabetic writing systems. These presuppose segmentation of the sound structure of words into phonemes, and mapping the phonemes onto letters or letter combinations. Reading alphabetically written words involves (1) recognizing spelling patterns, (2) converting spelling patterns to phonemes or phoneme combinations, and (3) integrating the latter into internal speech codes that correspond to entries in the Mental Lexicon. Dyslectics attain insufficient levels of automaticity in this complex skill. The contours of a connectionist model of dyslexia (a neural net with covariant learning) are sketched.
