

Het fonologisch coherentiemodel voor lezen en spellen¹

A. M. T. Bosman en G. C. Van Orden

Samenvatting

Met deze studie wordt het fonologisch coherentiemodel voor lezen en spellen geïntroduceerd in het Nederlandse taalgebied. Het model werd voor het eerst in 1990 door Van Orden en zijn collega's gepresenteerd en is sindsdien verder uitgewerkt. Het geeft een beschrijving van de cognitieve processen die ten grondslag liggen aan lezen en spellen door volwassenen, verklaart het proces van leren lezen en spellen, beargumenteert waarom spellen moeilijker is dan lezen, en is bovendien in staat om het verschijnsel ontwikkelingsdyslexie op adequate wijze te beschrijven. In deze bijdrage wordt ook ruim aandacht besteed aan de wetenschapstheoretische vooronderstellingen waarop het fonologisch coherentiemodel gestoeld is, en aan de mogelijke implicaties voor lees- en spellinginstructie.

1 Inleiding

Deze bijdrage heeft tot doel bredere bekendheid te geven aan het fonologisch coherentiemodel - voortkomend uit een theorie over lezen en spellen - dat voor het eerst in 1990 door Van Orden, Pennington en Stone werd gepresenteerd. Het model is later verder uitgewerkt door Van Orden en zijn collega's (Bosman & Van Orden, 1997; Farrar & Van Orden, 2001; Van Orden, Bosman, Goldinger, & Farrar, 1997; Van Orden & Goldinger, 1994, 1996; Van Orden, Jansen op de Haar, & Bosman, 1997). Het fonologisch coherentiemodel is een voorbeeld van een zogeheten recurrent of attractor netwerk en komt voort uit de traditie van de zogenaamde neurale netwerktheorie, ook wel aangeduid met de populaire term *connectionisme*.

Aan de opkomst van neurale netwerktheorie ging een andere, nog steeds populaire conceptie vooraf, de zogeheten informatieverwerkingstheorie. Binnen dit kader wordt de menselijke geest opgevat als een compu-

tationeel systeem (dat wil zeggen, een complexe rekenmachine). In termen van deze computationele machine dient een goed definieerbaar (mentaal) proces te bestaan uit elementaire, mechanisch uitvoerbare rekenstapjes, die van zuiver syntactische aard zijn en waar geen interpreterende instantie aan te pas komt (Levelt, 1989). Anders gezegd, de rekenstappen in het proces hebben alleen betrekking op de vorm en niet op de inhoud van de berekening (computatie). Een machine die voldoet aan deze assumptie is de computer, een complexe rekenmachine. Deze opvatting over de menselijke geest wordt ook wel aangeduid met de term *computermetafoor* (ontleend aan Draaisma, 1995).

Enkele, met name oudere, cognitieve (lees)modellen stelen op de aanname dat de menselijke geest, conform de computer, input krijgt aangeboden, bijvoorbeeld in de vorm van een woord. Deze input wordt door het relevante zintuig waargenomen, in dit geval het oog, en voor verdere verwerking gereedgemaakt. De hersenen functioneren vervolgens als een complexe rekenmachine die de stimulus verwerkt en die, waar nodig, een overte response voorbereidt en uitvoert, bijvoorbeeld het hardop lezen van het woord.² Enkele oudere voorbeelden van dergelijke leesmodellen zijn het Dual Route-model van Coltheart (1978) en het leesmodel van Ehri (1992), waarin de ontwikkeling van leesvaardigheid benadrukt wordt. Een recente uitwerking en implementatie van Colthearts model is het Dual Route Cascaded-model van Coltheart, Rastle, Perry, Langdon en Ziegler (2001), waarvan een eerdere versie werd gepresenteerd door Coltheart, Curtis, Atkins en Haller (1993).

GEDURENDE DE GESTAGE OPMARS EN DE TOENEMENDE POPULARITEIT VAN DE OPVATTING VAN DE MENS ALS INFORMATIEVERWERKINGSSYSTEEM ONTWIKKELDE ZICH, AANVANKELIJK IN DE SCHADUW VAN DE ALOM AANVAARDE COMPUTERMETAFOOR, EEN GEHEEL NIEUWE KIJK OP COGNITIEVE PROCESSEN IN HET ALGEMEEN, EN LEZEN IN HET BIJZONDER. IN DEZE BENADERING WORDT DE MENSelijke

geest niet gezien als een symboolmanipulerende machine, maar worden cognitieve processen voorgesteld als het resultaat van een groot aantal met elkaar verbonden en interacterende neuronen. Deze veronderstelling is gebaseerd op de werking van de hersenen, die bestaan uit zenuwcellen (neuronen) die onderling met elkaar verbonden zijn. De neuronen vormen samen met hun verbindingen een netwerk. De meeste neuronen kunnen extern (bijvoorbeeld door een sensorische activiteit van buitenaf) of intern (door de activiteit van een ander neuron) geactiveerd of geïnhibeerd worden (onderdrukken van activiteit). De onderlinge verbindingen zorgen ervoor dat geactiveerde zenuwcellen hun activiteit kunnen doorgeven aan andere neuronen of aan spieren. In deze opvatting, die door Draaisma de *breinmetafoor* (1995) wordt genoemd, wordt expliciet een link gelegd tussen de fysiologische werking van de hersenen en de daarbij optredende mentale processen. Zoals gezegd staat deze bekend onder de naam neurale netwerktheorie of connectionisme. In een artificieel neuraal netwerk worden de basiselementen (lees "neuronen") voorgesteld als knopen. Deze knopen zijn onderling verbonden zoals axonen van de neuronen via de synapsen onderling met elkaar verbinden. Deze verbindingen maken het mogelijk om activatie van de ene knoop (neuron) door te sturen naar elke andere waarmee deze verbonden is. Ook in artificiële neurale netwerken kunnen de verbindingen excitatoir (activerend) of inhibitorisch (onderdrukkend) zijn. De sterkte van deze verbindingen, uitgedrukt in gewichten, kan variëren van nul tot maximaal.

Het eerste netwerkmodel voor visuele woordherkenning is het interactieve activatiemodel van McClelland en Rumelhart (1981). In dit model worden drie typen of families van knopen onderscheiden: letterkenmerknopen, letterknopen, en woordknopen. De knopen binnen een familie zijn onderling inhibitorisch met elkaar verbonden, terwijl de knopen tussen families excitatoir verbindingen bezitten. Hoewel knopen in een neuraal netwerk geen representaties zijn in de strikte zin van het woord, representeren ze wel basisconcepten, zoals letterkenmerken of letters. Herkenning van letters of woorden is

echter niet zoals in het klassieke Dual Route-model de activatie van een representatie van een woord in het mentale lexicon, maar wordt hier voorgesteld als het patroon van activatie van alle verbindingen binnen het netwerk. We spreken van herkenning van een letter of een woord, als de activatie in het netwerk een stabiele toestand heeft bereikt.

Sinds de publicatie van McClelland en Rumelhart (1981) heeft het onderzoek naar visuele herkenning in de traditie van neurale netwerktheorie een grote vlucht genomen. Recente uitwerkingen en implementaties zijn gerapporteerd door achtereenvolgens Plaut (1999), Plaut, Harm en Seidenberg (1999), McClelland, Seidenberg en Patterson (1996), Seidenberg en McClelland (1989), en Zorzi, Houghton en Butterworth (1998). Ook het werk van Van Orden en zijn collega's is geworteld in neurale netwerktheorie, maar neemt daarin om twee redenen een uitzonderlijke plaats in. Ten eerste wijkt de feitelijke implementatie van het model principieel af van die van alle reeds eerder genoemde (Farrar & Van Orden, 2001). Ten tweede zijn de filosofische assumpties verbonden aan het fonologisch coherentiemodel fundamenteel afwijkend van die van vertegenwoordigers van de informatieverwerkingstheorie en die van de meeste vertegenwoordigers van de neurale netwerktheorie (zie met name Van Orden et al., 1997).

Wat de implementatie van het leesmodel betreft, is het belangrijkste onderscheid tussen het fonologisch coherentiemodel en alle andere neurale netwerkversies, dat het eerste een voorbeeld is van een *recurrent* netwerk, terwijl de andere leesmodellen *feedforward*-modellen zijn. In *feedforward*-modellen verspreidt activatie zich slechts in één richting, terwijl in *recurrente* modellen de activatie in beide richtingen verloopt. De keuze voor de conceptie van een recurrent netwerk is een principiële die in de volgende paragraaf wordt toegelicht.

Wat de wetenschapstheoretische assumpties betreft die aan het netwerk ten grondslag liggen, is het belangrijkste onderscheid met de andere neurale netwerkmodellen dat wij weliswaar gebruikmaken van de analogie met het zenuwstelsel, maar dat wij de structuur en werking van het zenuwstelsel aller-

minst zien als representaties van het leesproces. In tegenstelling tot alle andere netwerkmodellen hebben knopen (of in cognitieve termen subsymbolen) in ons netwerk dus *geen* symbolische of representatieve functie en zijn daarmee dus *geen* psychologisch reële eenheden van cognitie (Van Orden & Goldinger, 1994). Knopen hebben *uitsluitend* een narratieve functie binnen het model, fungeren als pragmatische notaties ter illustratie en hebben *uitsluitend* een causale functie binnen de dynamische eigenschappen van het model waarin zij participeren. Wij noemen ons cognitieve leesmodel dan ook een recurrent netwerk (en niet een neurale netwerk), omdat wij een directe analogie met het zenuwstelsel willen vermijden.³ Behalve dit fundamentele uitgangspunt liggen er nog enkele additionele assumpties aan het model ten grondslag.

2 Assumpties van het fonologisch coherentiemodel

Het meest fundamentele onderscheid tussen de wetenschappelijke benadering die wij voorstaan en de hiervoor besproken opvattingen over cognitieve processen, is dat binnen de recurrente netwerkmetafoor de relatie hersteld wordt tussen organisme en omgeving; een relatie die zo drastisch verbroken werd in de informatieverwerkingstheorie (en het connectionisme). Wij stellen hier expliciet dat deze relatie *hersteld* wordt, omdat in het behaviorisme (Skinner, 1957)⁴ en in de ecologische psychologie (zie o.a. Gibson, 1979; Turvey & Carello 1995) de relatie tussen organisme en omgeving, stimulus en response, input en output wel degelijk wordt erkend.

Zowel in de informatieverwerkingstheorie als in de neurale netwerktheorie is de buitenwereld irrelevant geworden op het moment dat de stimulus het brein is binnengegaan. Een cognitief proces wordt gezien als een zuiver mentaal proces waarop de omgeving, nadat de stimulus het informatieverwerkingsstelsel is binnengetrepen, geen invloed meer heeft. Het zijn immers de representaties, op de een of andere wijze opgeslagen in het brein, die de spiegel vormen van de buitenwereld, maar daar niet meer direct mee

in verbinding staan. De verklaring voor het menselijke gedrag vindt plaats in termen van computaties op deze eerder gevormde representaties, of in termen van neurale netwerken: als activatiepatronen van de verbindingen in het netwerk.

Dus zowel binnen de computer- als de breinmetafoor wordt verondersteld dat de relatie tussen de informatieverwerkingsmachine, respectievelijk de hersenen en de omgeving verbroken is zodra de stimulus door het zintuig is waargenomen. Hoewel het fonologisch coherentiemodel geïmplementeerd is in de vorm van een neurale netwerk, impliceert dit niet dat er geen wederkerige relatie tussen stimulus en response bestaat. Het fonologisch coherentiemodel is een voorbeeld van een dynamisch systeem en als zodanig een voorbeeld van het gedachtegoed zoals dat binnen de complexe systementheorie is uitgewerkt.

Complexe systementheorie heeft haar sporen reeds verdiend in een groot aantal wetenschappelijke disciplines, waaronder de fysica (Davies, 1989; Prigogine & Stengers, 1984), biologie (Edelman, 1992; Goodwin, 1994), meteorologie (Lorenz, 1993) en economie (Arthur, 1994). Ook in de sociale psychologie (Vallacher & Nowak, 1994), ontwikkelingspsychologie (Van Geert, 1991; Van der Maas & Molenaar, 1992) en verrichtingsleer (Kelso, 1995; Thelen & Smith, 1993) wordt de dynamische of complexe systementheorie als raamwerk voor wetenschappelijk onderzoek gehanteerd.

Een van haar wezenlijkste uitgangspunten is dat de werkelijkheid niet statisch, maar dynamisch opgevat moet worden; de fenomenen die wij bestuderen veranderen immers voortdurend en meestal op niet-lineaire wijze. Gezien dit uitgangspunt lijkt de complexe systementheorie uitermate geschikt als theoretisch kader voor cognitieve psychologie in het algemeen en (ortho)pedagogiek in het bijzonder. Gedragsveranderingen staan daarin immers centraal. Hieronder zullen wij de zes belangrijkste interafhankelijke uitgangspunten die wij hanteren ten aanzien van cognitieve processen (dat wil zeggen, lees- en spellingprocessen) bespreken.

Het eerste uitgangspunt is dat cognitieve processen dynamische processen zijn. Dat dit

geenszins een triviale opmerking is, blijkt uit het feit dat vrijwel alle standaardmodellen in de cognitieve psychologie statisch zijn. Ook in het taalpsychologische onderzoek naar lezen wordt in de theorieën de nadruk gelegd op de statische aspecten ervan, en blijft de ontwikkeling van bijvoorbeeld leren lezen en spellen beperkt tot een beschrijving van elkaar opvolgende stadia zonder dat er aangegeven wordt hoe een beginnende lezer van het ene naar het andere stadium geraakt. Welnu, een dynamisch model vraagt daar juist expliciet aandacht voor. Tijdelijke of langdurige stabiele toestanden in het model ontstaan (emmergeren) als gevolg van intrinsieke eigenschappen ervan. Het fonologisch coherentiemodel is een goed voorbeeld van een dynamisch model.

Het tweede uitgangspunt, dat geïmpliceerd wordt door het eerste, is dat cognitieve processen historisch gebonden processen zijn. Hiermee wordt bedoeld dat een proces op tijdstip t bepaald wordt door de omstandigheid waarin het systeem zich bevond op tijdstip $t-1$. Ook aan deze conceptie wordt in traditionele modellen nauwelijks aandacht geschonken.

Het derde uitgangspunt is dat cognitieve processen contextgebonden zijn. Hiermee wordt bedoeld dat cognitieve processen ook mede bepaald worden door de taak en de stimulus. Kortom, alle relevante aspecten van de omgeving beïnvloeden het cognitieve proces. In het onderzoek naar leren en instructie wordt deze assumptie ook aanvaard door wetenschappers die zich bezighouden met 'situated cognition' (zie Brown, Collins, & Duguid, 1989; Kirshner & Whitson, 1997). In de standaardtheorie worden experimentele effecten die veroorzaakt worden door de context als hinderlijk opgevat, omdat zij ruis veroorzaken die het zicht op het zuiver cognitieve proces versluieren. In onze opvatting van cognitie speelt de context echter een fundamentele rol, omdat cognitieve processen per definitie contextbepaald zijn. De vraag naar het zuiver cognitieve proces wordt daarmee betekenisloos (Stone & Van Orden 1993).

De vierde assumptie, gerelateerd aan het derde uitgangspunt, is dat cognitieve processen het product zijn van wederkerigheid tus-

sen oorzaak en gevolg, waardoor oorzaak tegelijkertijd gevolg, en gevolg tegelijkertijd oorzaak is. Dit wordt ook wel aangeduid met bi-directionele of wederkerige causaliteit. Binnen de fysica is het principe van wederkerige causaliteit inmiddels gemeengoed geworden (zie Davies & Gribbin, 1992), en ook in de biologie neemt het aantal verdedigers van deze opvatting toe (zie Goodwin, 1994). De veronderstelling van wederkerige causaliteit moet niet verward worden met een combinatie van 'top-down'- en 'bottom-up'-processen uit de klassieke informatieverwerkingstheorie. Die processen zijn namelijk uni-directioneel.⁵

De vijfde assumptie, die geïmpliceerd wordt door het derde en vierde uitgangspunt, betreft de fundamenteel interactieve relatie tussen organisme en omgeving. Dit houdt in dat de omgeving of de stimulus niet meer los gezien kan worden van het organisme, maar ook dat het organisme niet meer onafhankelijk gezien kan worden van zijn omgeving. De veronderstelling dat organisme en omgeving niet gescheiden (wel onderscheiden) kunnen worden, leidt onvermijdelijk tot de volgende vooronderstelling.

Het zesde en laatste uitgangspunt betreft de erkenning dat alle cognitieve processen plaatsvinden in een lichaam, en dat het fysieke een wezenlijk aspect is dat niet gescheiden kan worden van het mentale of cognitieve. Dit gedachtegoed wordt gedragen door onder andere Johnson (1987), en Varela, Thompson en Rosch (1991) en uitgedrukt in de term *embodied cognition*. Op basis van het bovenstaande is het te begrijpen dat wij de mens niet opvatten als een inferentiële machine, maar als een zelforganiserend, biologisch-cognitief systeem dat in voortdurende interactie met zijn omgeving staat.

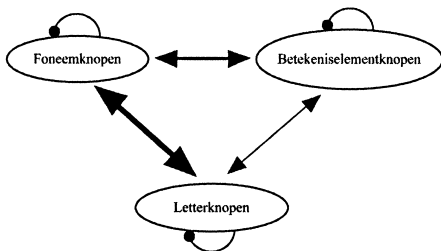
In de volgende paragrafen zal uitgelegd worden hoe het netwerk voorgesteld dient te worden, hoe volgens het model lezen en spellen verloopt, waarom spellen moeilijker is dan lezen, hoe het model ontwikkelingsdyslexie verklaart en welke aanwijzingen het model verschaft voor een adequate didactiek voor lezen en spellen. Voor empirische ondersteuning van het fonologisch coherentiemodel wordt verwezen naar een grote hoeveelheid bevindingen die gerapporteerd

worden in met name Van Orden e.a. (1990), maar ook in Bosman en De Groot (1996), Bosman, Van Leerdam en De Gelder (2000), Stone, Vanhoy en Van Orden (1997) en Van Orden (1991). Een voorbeeld van een simulatiestudie is te vinden in Farrar en Van Orden (2001).

3 Het fonologisch coherentiemodel

Om de beschrijving van het model inzichtelijk te maken, onderscheiden we een macro- en een microniveau. Omdat dit wellicht een zekere hiërarchie suggereert, willen we er hier nadrukkelijk op wijzen dat de werking van het model een dergelijke hiërarchie niet kent. Het model is immers interactief in de ware zin van het woord.

Macroniveau. Het fonologisch coherentiemodel is een recurrent netwerk waarin drie knooppamilies worden verondersteld: letterknopen, foneemknopen en betekenselementknopen (zie Figuur 1). Elke knoop (letter, foneem, of betekenselement) binnen één familie is op recurrente wijze verbonden met alle knopen van de andere families. Als er een verbinding bestaat tussen knoop X uit de letterfamilie en knoop Y uit de foneemfamilie, dan bestaat er ook een verbinding tussen knoop Y en knoop X. Ook de verbindingen tussen de knopen binnen een familie zijn recurrent. De knopen binnen een familie hebben inhibitorische verbindingen met elkaar, terwijl er tussen de knopen van verschillende



Figuur 1. Macroniveau van het fonologisch coherentiemodel voor lezen en spellen: de relatieve sterkte van de relaties tussen letters, fonemen en betekenselementen. De spitse pijlpunten tussen knooppamilies weerspiegelen excitatoire verbindingen, terwijl de ronde punten inhibitorische verbindingen binnen knooppamilies representeren.

families excitatoire verbindingen bestaan.

Als het netwerk een geschreven woord krijgt aangeboden (bijvoorbeeld in het geval van lezen) worden de letterknopen geactiveerd. De letterknopen sturen hun activatie door naar de foneemknopen en de betekenselementknopen (feedforwardactivatie). Vervolgens sturen de foneemknopen hun activatie terug naar de letterknopen (feedbackactivatie) en door naar de betekenselementknopen (feedforwardactivatie). De betekenselementknopen sturen hun activatie ook terug naar de letterknopen (feedbackactivatie) en door naar de foneemknopen (feedforwardactivatie). De letterknopen zenden vervolgens weer hun activatie door naar de foneemknopen (en de betekenselementknopen), die dan weer elkaar en de letterknopen activeren, enzovoorts. Als feedforwardactivatie overeenkomt met feedbackactivatie ontstaan er feedbackloops. Deze feedbackloops zijn tijdelijk stabiel en resulteren in een coherent dynamisch geheel, ook wel aangeduid met resonantie. De theoretische interpretatie van stabiele feedbackloops is dat het netwerk in het geval van het aangeboden geschreven woord een fonologische interpretatie en/of een betekenisvolle interpretatie van het geschreven woord heeft opgebouwd.

Als het netwerk in plaats van een geschreven een gesproken woord krijgt aangeboden (bijvoorbeeld in het geval van spellen), dan worden eerst de foneemknopen geactiveerd. Deze sturen hun activatie door naar de letterknopen en de betekenselementknopen, om vervolgens hun activatie weer naar elkaar en naar de letterknopen terug te sturen. Ook nu zullen er stabiele feedbackloops ontstaan indien de feedforwardpatronen en feedbackpatronen overeenstemmen.

Ook de derde mogelijkheid bestaat, namelijk dat in eerste instantie de betekenselementknopen worden geactiveerd (bijvoorbeeld, wanneer men aan een woord denkt). Feedforwardactivatie gaat in dit geval naar de letter en foneemknopen, die op hun beurt hun activatie naar elkaar (feedforward) en naar de betekenselementknopen sturen (feedbackactivatie). Ook dan zullen er stabiele feedbackloops ontstaan als feedforward- en feedbackactivatie met elkaar overeenstemmen. Uit de beschrijving van de drie mogelijke

den van beginactivatie blijkt dat feedforward en feedback relatieve termen zijn. Immers, wat in het ene geval feedforward is, is in het andere geval feedback, en omgekeerd.

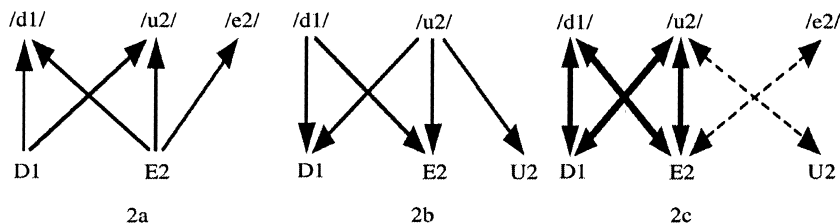
Terugkerend naar Figuur 1, valt op dat de verbindingen tussen de knooppfamilies niet allemaal even sterk zijn. Dit is aangegeven door de dikte van de pijlen; sterke verbindingen hebben dikke pijlen, en zwakkere verbindingen dunne. Dit kenmerk van het netwerk is essentieel; het weerspiegelt de sterkte van relaties tussen de eigenschappen van de drie verschillende knooppfamilies. De sterkste verbindingen in het netwerk zijn de verbindingen tussen de letterknopen en de foneemknopen. Waarom dit juist de sterkste verbindingen zijn, is omdat er zeer consistente relaties bestaan tussen letters en fonemen. De letter T correspondeert immers in de meeste gevallen met de klank /t/, en de letter P met de klank /p/. Een uitzondering hierop vormt de P in combinatie met een H als in Philips of Phoenix. Omgekeerd correspondeert de klank /p/ vrijwel altijd met de letter P, en de klank /t/ met de letter T. Een uitzondering hierop vormt de /t/ aan het eind van woorden als ROOD en BED. Daarentegen is het verband tussen klanken van woorden en betekenselementen, en tussen letters en betekenselementen veel geringer. Een woord dat begint met de letter P of de klank /p/ geeft betrekkelijk weinig informatie over een betekenselement ervan, maar sluit in ieder geval een groot aantal mogelijkheden uit. Dat de verbindingen tussen foneemknopen en betekenselementknopen sterker zijn dan tussen letterknopen en betekenselementknopen is het gevolg van het feit dat we leren spreken voor we leren lezen. Fonologische informatie en betekenisinformatie werden immers vanaf

het moment dat de taal zich ging ontwikkelen geactiveerd, terwijl de letterknopen pas betekenisvol werden toen de leesinstructie begon.

Het is nu niet moeilijk meer te begrijpen waarom de fonologie in het lees- en spellingproces een zeer belangrijke rol speelt. De sterke, dat wil zeggen consistente relaties tussen letters en fonemen zorgen ervoor dat stabiele feedbackloops (resonantie) allereerst tussen letter- en foneemknopen ontstaan. Door deze snelle activatie van foneemknopen is het niet verwonderlijk dat tijdens lezen en spellen fonologische effecten vaak moeilijk te vermijden zijn. Onderzoek naar lezen laat zien dat proefpersonen bij het lezen van een tekst vaker over een fout gespeld woord als WIJFELEN dan over een fout gespeld woord als WEIKELEN heen lezen (Van Orden, 1991). Bij de laatste spelfout is de klank van het woord *weifelen* niet bewaard gebleven, terwijl dat in het eerste wel het geval is. Onderzoek naar spellen toont aan dat kinderen en volwassenen overwegend fonologisch acceptabele spelfouten maken, bijvoorbeeld GIJT in plaats van GEIT schrijven en UITWIJDEN in plaats van UITWEIDEN (Bosman & De Groot, 1996). Een spelfout als GEIM in plaats van GEIT, waarbij de klank van het woord *Geit* niet bewaard blijft, komt zelden voor.

Microniveau. Aan de hand van Figuur 2 zal duidelijk worden hoe ons model als het ware een geschreven woord leest en een gesproken woord spelt. Om te voorkomen dat de beschrijving van het netwerk te ingewikkeld wordt, concentreren we ons voorlopig op de relaties tussen de letter- en foneemknopen en laten we die tussen de betekenselementknopen en de letterknopen, respectievelijk foneemknopen, buiten beschouwing.

In Figuur 2a worden de letters D₁ en E₂



Figuur 2. Microniveau van het fonologisch coherentiemodel voor lezen en spellen: overeenkomstige voorwaartse en terugwaartse activatie tussen letters en fonemen van het woord DE leiden tot stabiele feedbackloops.

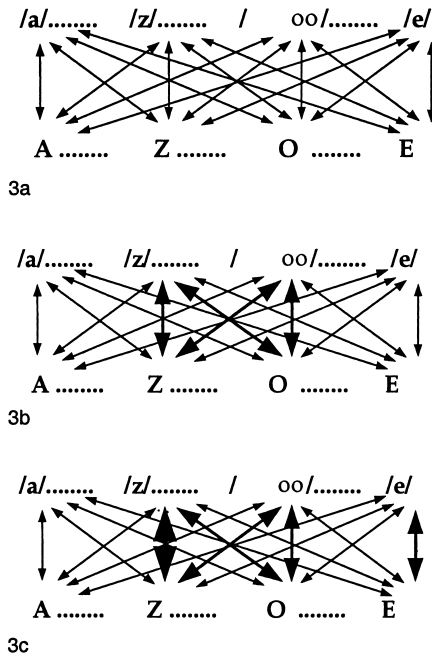
van het woord DE geactiveerd (het netwerk "leest"). De indices $_1$ en $_2$ verwijzen naar de positie van de letter of foneem in het woord. Deze activeren (feedforward) op hun beurt de fonemen /d₁/ en /u₂/, maar ook de concurrerende knoop /e₂/. In het woord DEK wordt de E immers uitgesproken als /e/. In Figuur 2b wordt de activatie van de foneemknopen /d₁/ en /u₂/ teruggezonden (feedback) naar de letterknopen D₁ en E₂, maar ook naar de concurrerende letterknoop U₂. Het foneem /u₂/ in het woord DUS wordt immers gespeld met een U. In eerste instantie zal een geschreven woord niet alleen de correcte letter- en foneemknopen activeren, maar ook een aantal incorrecte. Voor het correct lezen van het woord DE is het dus noodzakelijk dat de incorrecte foneemknoop /e₂/ en de incorrecte letterknoop U₂ worden geïnhibeerd. Pas wanneer de bi-directionele configuratie van verbindingen de wederzijdse activatie tussen de letterknopen D₁ en E₂ en de foneemknopen /d₁/ en /u₂/ tot gevolg heeft, zal het woord DE correct gelezen worden. Figuur 2c laat de activatie zien van letterknopen naar foneemknopen en omgekeerd. Het aanbieden van het gesproken woord /du/ laat eenzelfde dynamiek zien als zojuist besproken.

In de bovenstaande beschrijving van het netwerk zijn we er impliciet van uitgegaan dat het netwerk kon lezen en spellen. Hoe het netwerk deze kennis opdeed, zal in de volgende paragraaf uiteengezet worden. Hierbij zal met name aandacht besteed worden aan de mogelijkheid dat het netwerk in staat is om woorden die uit inconsistente letter-foneem relaties bestaan, toch correct te leren "lezen" en "spellen".

4 Leren lezen en spellen

Het fonologisch coherentiemodel is eigenlijk een ontwikkelingsmodel. Dit houdt in dat er geen extra assumpties gedaan hoeven te worden om leren lezen en spellen te verklaren in termen van ons netwerk. Opnieuw wordt de aandacht gericht op de verbindingen tussen de letter- en de foneemknopen en worden de verbindingen met de betekenis-elementknopen buiten beschouwing gelaten.

In Figuur 3 is een gedeelte van een net-



Figuur 3. Een illustratie van de ontwikkeling van hechte, relatief onafhankelijke relaties tussen letters en fonemen.

werk gepresenteerd dat de relaties tussen letters en fonemen weergeeft. Bedenk dat alle letterknopen en alle foneemknopen onderling met elkaar verbonden zijn. In Figuur 3a wordt een leertrial voor het woord Zo uitgebeeld. Het netwerk krijgt het gedrukte woord ZO aangeboden samen met de klank /zoo/. Doordat de letterknopen Z₁ en O₂ en de foneemknopen /z₁/ en /oo₂/ tegelijkertijd geactiveerd worden, zullen alle verbindingen tussen de knoopparen Z₁ <=> /z₁/, Z₁ <=> /oo₂/, O₂ <=> /z₁/, en O₂ <=> /oo₂/ versterkt worden ten gunste van alle andere bestaande verbindingen met deze knopen. Door het netwerk een aantal van deze leer-'trials' aan te bieden, zal het uiteindelijk een hechte verbinding maken tussen het spellingpatroon ZO en het fonemisch patroon /zoo/. Het netwerk heeft dan een woordspecifiek patroon geleerd. Voor het ontwikkelen van woordonafhankelijke kennis moet het netwerk een aantal leertrials aangeboden krijgen die slechts gedeeltelijk overeenkomen met het eerder aangeboden. Veronderstel bijvoorbeeld dat het netwerk na aanbieding van het woord ZO, het woord ZE krijgt aangeboden. Opnieuw

worden de verbindingen tussen vier knoopparen versterkt, namelijk, die tussen $Z_1 \Leftrightarrow /z_1/$, $Z_1 \Leftrightarrow /e_2/$, $E_2 \Leftrightarrow /z_1/$, en $E_2 \Leftrightarrow /e_2/$. Nu is echter de verbinding $Z_1 \Leftrightarrow /z_1/$ vaker versterkt dan enig andere verbinding tussen letterknoop en foneemknoop. Dit leidt ertoe dat de $Z_1 \Leftrightarrow /z_1/$ zich tot een relatief onafhankelijke structuur kan ontwikkelen, onafhankelijk van de context waarin deze zich bevindt. Hierbij wordt met context bedoeld het woord waarin de letter Z en het foneem /z/ staan, zoals *Zo*, *Ze*, *Zij*, *Zie*, en *Zoo*. Zodra het netwerk deze relatief onafhankelijke structuren ontwikkeld heeft, kan het ook niet eerder gepresenteerde woorden en pseudo-woorden (zoals *Zee*, respectievelijk *Zoe*) relatief moeiteloos lezen. Het gedrag van een dergelijk netwerk is te vergelijken met een lezer die in staat is nieuwe woorden en pseudo-woorden te verklanken.

De relatie tussen de letter Z en het foneem /z/ uit de voorgaande voorbeelden weerspiegelt een consistente letter-foneemkoppeling. De Z werd immers in deze voorbeelden altijd als /z/ uitgesproken en omgekeerd: de /z/ werd steeds als Z geschreven, maar er zijn natuurlijk veel voorbeelden te noemen waarbij de omringende letters de klank of schrijfwijze van een letter of klank veranderen. Zo is bijvoorbeeld de uitspraak van de letter E afhankelijk van de context waarin deze verschijnt. In woorden als HET, MET en NET moet deze als /e/ worden uitgesproken, maar in woorden als HETEN, METEN en NETEN wordt de klank van de letter E verlengd en moet als /e:/ worden gesproken. Een nog drastischer voorbeeld van inconsistente letter-foneemrelaties is het woord ZEUG. Hier wordt de klank van de letter E op positie 2 niet verlengd, maar geheel gewijzigd als gevolg van de letter U op positie 3. Deze voorbeelden maken duidelijk dat de letter-foneemrelaties in woorden principieel bepaald worden door de context. Anders gezegd, elke letter en elk foneem in het woord dragen bij aan de uitspraak respectievelijk spelling ervan.⁶

5 Spellen is moeilijker dan lezen

Uit de beschrijving van het fonologisch coherentiemodel blijkt dat één en hetzelfde

principe zowel lezen als spellen verklaart. Desondanks is er een belangrijk verschil tussen beiden vaardigheden. Spellens blijkt niet alleen moeilijker te leren dan lezen, het is ook een vaardigheid die zelfs bij ervaren geletterden meer problemen oplevert (Bosman & Van Orden, 1997). We *tweifelen* immers allemaal wel eens over de spelling van *wijfelen*, maar we voelen ons zelden onzeker over hoe een woord gelezen moet worden, enkele homografen uitgezonderd, zoals *kantelen*, *bedelen*, en *regent*. Dit effect is niet moeilijk te verklaren in termen van het fonologisch coherentiemodel.

We keren terug naar Figuur 2. Wanneer de letterreeks DE wordt aangeboden aan het netwerk worden niet alleen de foneemknopen /d₁/ en /u₂/ en de letterknopen D₁ en E₂ geactiveerd, maar worden ook alle mogelijke uitspraken van D (/t/, als in *Had*) en E (/e/, als in *Eg*), en alle mogelijke spellingen van /d₁/ (DD, als in *Hadden*) en /u₂/ (U, als in *Uk* of IJ als in *Makkelijk*) geactiveerd. Om het woord *De* correct te lezen moeten alle incorrecte foneemknopen geïnhibeerd worden, en voor het correct spellen van het woord /De/ alle incorrecte letterknopen.

Wanneer het netwerk een woord moet “lezen”, worden letters aangeboden, waardoor de foneem-letterambigüiteit nauwelijks kans krijgt om incorrecte letterknopen te activeren. Dit omdat de stabiele input van letters (stabiel, omdat de letters op papier staan) ervoor zorgt dat er snel feedbackloops worden gecreëerd tussen letter- en foneemknopen en tussen letter en betekenselementknopen. Als het netwerk daarentegen een woord moet “spellen”, is er geen stabiele input van de omgeving (instabiel, omdat deze op herinnering, dan wel uitspraak gebaseerd is), en moeten feedbackloops opgebouwd worden door uitsluitend fonologische activatie en betekenisactivatie. Om dit probleem op netwerkniveau te begrijpen, kijken we naar zowel de macro- als de microdynamiek.

De oorzaak op microniveau is dat de foneem-letterinconsistentie groter is dan letter-foneeminconsistentie. Anders gezegd, in vrijwel alle alfabetische schriftsystemen zijn er meer mogelijke letters voor een foneem dan er mogelijke fonemen voor een letter zijn (Stone, Vanhoy, & Van Orden, 1997; Ziegler,

Stone, & Jacobs, 1996).⁷ In het Nederlands kan het foneem [ei] gespeld worden met het grafeem IJ, zoals *Bij* en *Dij*, maar ook met het grafeem EI zoals in *Kei*. De uitspraak van de beide grafemen IJ en EI is daarentegen eenduidig. Hetzelfde geldt voor het foneem [au], dat gespeld kan worden met het grafeem AU als in *Pauw*, of met het grafeem OU als in *Touw*. Ook hier is de uitspraak van de twee grafemen eenduidig. Deze asymmetrische inconsistentie is echter in een recurrent netwerk op zichzelf niet voldoende voor het feit dat spellen moeilijker is dan lezen.

Door de stabiele input bij het lezen zal, wanneer het model het letter-foneeminconsistente woord *Jus* krijgt aangeboden, de aanvankelijke lezing van dit woord rijmen met de consistente woorden, *Bus*, *Dus*, *Kus*, *Lus* en *Zus*. Echter, de relatief sterke foneem-betekenselementen-relaties kunnen deze de aanvankelijk foutieve fonologische activatie van *Jus* makkelijk bijsturen. In het geval van spellen, wanneer de input minder stabiel is, en het netwerk het foneem-grafeeminconsistente woord /Pech/ moet spellen, zal de incorrecte letterknoop G sterk concurreren met de correcte CH. In de meeste gevallen wordt de finale /g/ gespeld met een G, *Heg*, *Keg*, *Leg*, *Neg*, *Weg*, en *Zeg*. Ter oplossing van deze inconsistentie kan echter alleen de dynamiek van letters en betekenselementen te hulp schieten. Het probleem is echter dat deze dynamiek relatief zwak is.

Kort samengevat komt het er dus op neer dat spellen moeilijker is dan lezen, omdat de reeds op microniveau bestaande grotere inconsistentie van de foneem-letterrelaties door de zwakste macrodynamiek, die van letter-betekenselementenverbindingen, gesteund moet worden.

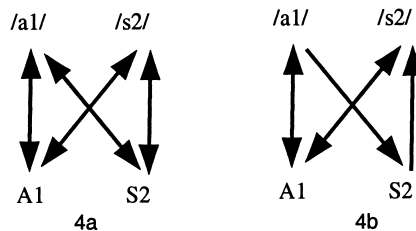
6 Ontwikkelingsdyslexie

Ontwikkelingsdyslexie definiëren wij hier globaal als een ernstige achterstand in de technische leesvaardigheid. Veel onderzoekers zijn van mening dat ontwikkelingsdyslexie een fonologische oorsprong heeft. Het meest opvallende van het leesgedrag van dyslectische kinderen is de zeer moeizame verklanking van woorden en pseudoworden.

6.1 Verklaring van ontwikkelingsdyslexie

In ons model vertalen wij dit met het onvermogen of verminderd vermogen tot het ontdekken van de statistische regelmatigheid tussen letters en klanken. Er zijn meer mogelijkheden om het verschijnsel ontwikkelingsdyslexie in ons netwerk uit te drukken, waaronder een tragere leersnelheid (waardoor het meer aanbiedingen vergt om stabiele verbindingen op te bouwen) en/of een sneller verval van de opgebouwde activatie. Wij hebben ervoor gekozen om dit onvermogen in het model uit te drukken door te veronderstellen dat bij een lezer met ontwikkelingsdyslexie de relaties tussen letterknoten en foneemknoten niet volledig recurrent, maar op sommige plaatsen slechts partieel zijn. In een partieel verbonden netwerk kan er een verbinding van X naar Y bestaan, zonder dat deze samengaat met de terugwaartse verbinding van Y naar X. Volledige recurrentie is noodzakelijk voor het ontstaan van relatief onafhankelijke relaties, dat wil zeggen onafhankelijk van de context waarin de letters staan. In Figuur 4a staat een voorbeeld van een volledig recurrent netwerk, terwijl Figuur 4b een voorbeeld toont van een partieel verbonden netwerk (weergegeven door de aanwezigheid van twee enkele pijlpunten).

Een partieel verbonden netwerk voorkomt de opbouw van sterke verbindingen tussen letters en fonemen. Dit is het eenvoudigst te demonstreren aan de hand van het voorbeeld. In het geval van 4b kan er geen stabiele feedbackloop gevormd worden tussen de letter S en het foneem /s/, omdat de activatie van de letter S niet direct naar het foneem /s/ teruggevoerd kan worden. Alleen doordat de activatie via de letter A en het foneem /a/ gestuurd kan worden, kan er een globaal stabiel



Figuur 4. Een voorbeeld van een volledig recurrent (4a) en van een partieel recurrent netwerk (4b).

activatiepatroon ontstaan, maar geen lokaal stabiel patroon tussen de letter S en het foneem /s/.

Het gevolg van een dergelijk partieel verbonden netwerk is dat er op het meest verfijnde niveau van relaties tussen orthografie en fonologie, namelijk die tussen letters en fonemen, moeilijk of misschien zelfs wel helemaal geen stabiele feedbackloops kunnen ontstaan. Op het tussenniveau (i.c. letteren foneemgroepen, bijv. tussen EEUW en /eeuw/) en het grofste niveau (i.c. het geschreven woord en de klank van het woord, bijv. SPREEUW en /spreeuw/) is dit echter nog wel mogelijk.

Het feit dat veel kinderen en volwassenen met ontwikkelingsdyslexie na veel oefening wel in staat blijken te zijn om bestaande woorden relatief vlot en accuraat te lezen, maar eenzelfde vaardigheid moeilijker bereiken wanneer het pseudowoorden betreft, verschaft empirische evidentie voor onze theoretische verklaring van dyslexie (Rack, Snowling, & Olson, 1992; zie Van den Broeck & Van den Bos, 2002 voor een alternatieve visie op het pseudowoord *deficit*). Voor het lezen van pseudowoorden is namelijk gedegen kennis van de statistische relaties op het meest verfijnde niveau van de orthografie en fonologie, dus van letters en fonemen, een vereiste. Voor het lezen van bestaande woorden is dit niet absoluut noodzakelijk. De foneem-betekenselementrelatie kan dan immers ondersteuning bieden; iets dat niet mogelijk is bij het lezen van pseudowoorden.

6.2 Remediering van ontwikkelingsdyslexie

Het fonologisch coherentiemodel geeft duidelijk aan dat de problemen van kinderen met dyslexie gezocht moeten worden in een niet goed ontwikkelde letter-foneemdynamiek, maar het is de vraag of remediering uitsluitend gericht moet zijn op de verbetering van dit aspect in het leesproces. In vrijwel al het onderzoek naar leesproblemen ligt het accent op het versterken van de letter-foneemrelaties. Op meer of minder gestructureerde wijze worden woorden en pseudowoorden, soms met zogenaamde flitsmethoden ter bevordering van de automatisering, veelvuldig

ter lezing aangeboden. Een specifieke uitwerking hiervan (zie Van den Bosch, 1991; Wentink, 1997) zijn oefeningen die gericht zijn op delen van woorden groter dan het foneem, bijvoorbeeld lettergrepen (ON-DER-DEEL), 'onset-rime' (STR-AAT), en lettergroepen (-AUW, STR-, -RK). De effectiviteit van deze laatste oefeningen wordt vanuit het model verklaard doordat er gebruikgemaakt wordt van de aanwezige mogelijkheden, namelijk het tot stand brengen van hechte relaties tussen subwoordeenheden groter dan die van letters en fonemen.

Het fonologisch coherentiemodel geeft echter nog een andere aanwijzing voor de remediering van leesproblemen. Deze aanwijzing is expliciet gericht op de aanwezige mogelijkheden en niet op de tekorten of disfuncties van de dyslectische lezer. Het betreft hier het gebruikmaken van de reeds bestaande en meestal goed ontwikkelde relaties tussen semantiek en fonologie. Eerder werd uitgelegd dat in de dynamiek tussen letters, fonemen en betekenselementen, die tussen de letters en fonemen het sterkst is, gevolgd door de dynamiek tussen fonemen en betekenselementen. Bovendien zijn alle drie aspecten onderling afhankelijk, waardoor de drie dynamieken elkaar kunnen ondersteunen.

Op basis van het voorgaande kunnen twee hypothesen geformuleerd worden met betrekking tot de remediering van lees- en spellingproblemen. De eerste is dat door activatie van de bestaande relaties tussen fonemen en betekenselementen de slecht ontwikkelde relaties tussen letters en fonemen ondersteund kunnen worden. Deze beïnvloeding kan plaatsvinden, omdat het fonologisch coherentiemodel een volledig interactief netwerk is. De tweede hypothese luidt dat ondersteuning van de bestaande relaties tussen fonemen en betekenselementen er *niet* toe leidt dat de relaties tussen letters en fonemen verbeterd wordt, omdat verbetering daarin niet kan optreden, omdat de vereiste recurrentie van de betrokken verbindingen niet bestaat.

Vertaald naar de praktijk komt het erop neer dat nagegaan dient te worden of kinderen met dyslexie gebaat zijn bij lees- en spellingoefeningen waarin woorden aangeboden worden in een betekenisvolle context. Aanwijzingen dat een dergelijke aanpak effectief kan zijn, wor-

den gesteund door de veelvuldig gerapporteerde 'priming'-effecten die met zeer ervaren lezers werden verkregen: woorden die in een semantisch gerelateerde context worden aangeboden, worden sneller verwerkt dan woorden die in een niet-gerelateerde context worden aangeboden (zie bijv. De Groot, 1985; Meyer & Schvaneveldt, 1971).

7 Lees- en spellinginstructie

Alle bestaande leesmodellen, inclusief het fonologisch coherentiemodel, geven een beschrijving van het volwassen leesproces. In tegenstelling tot de meeste leesmodellen bevat het fonologisch coherentiemodel een ontwikkelingscomponent. Het laat immers zien hoe het verwervingsproces van lezen en spellen van woorden (en pseudowoorden) bij de beginnende lezer en speller verloopt. Maar net zo min als uit andere theoretische modellen, kunnen uit het fonologisch coherentiemodel strikt eenduidige conclusies worden getrokken aangaande de meest effectieve instructie voor lezen en spellen. Desondanks verschaft het model wel degelijk aanwijzingen of hints voor didactisch verantwoorde lees- en spellinginstructie, hoewel deze stuk voor stuk empirisch getoetst dienen te worden.

Een eerste belangrijke aanwijzing voor effectief lees- en spellingonderwijs betreft de fundamentele rol van de fonologie in het fonologisch coherentiemodel. De fonologie is (en blijft) de belangrijkste determinant van het lees- en spellingproces. Daaruit kan in ieder geval geconcludeerd worden dat instructiemethoden de fonologische component op het foneemniveau dienen te benadrukken. Het model laat daarmee zien dat in de discussie tussen aanhangers van de 'whole-word method' (in Nederland beter bekend als de globaalmethode) en die van de 'phonics method' (in Nederland bekend onder de naam structuurmethode), de phonics-aanhangers in het gelijk worden gesteld. Anders gezegd: het belang van de fonologie is dermate groot dat dit in een effectieve methode niet mag ontbreken.

Een tweede belangrijke aanwijzing die uit het model afgeleid kan worden, is dat leren

lezen (en spellen) in een betekenisvolle context geplaatst dient te worden. Deze aanwijzing leiden wij af uit de volledige recurrentie tussen letters, fonemen en betekenis-elementen. Hiermee wordt gesuggereerd dat alle drie aspecten fundamenteel bijdragen aan het soepele en voorspoedige verloop van geleterdheid. In termen van instructiemethoden voorspellen wij dat lezen en spellen in eerste instantie het beste kan plaatsvinden met woorden waarmee leerlingen vertrouwd zijn. Ze beschikken dan immers over drie potentiële informatiebronnen (een orthografische, een fonologische en een semantische) die zij kunnen aanwenden om de woorden te ontsleutelen. Dat wil overigens niet zeggen dat pseudowoorden te allen tijde in het aanvankelijke leesonderwijs vermeden moeten worden. Door het gebruik van pseudowoorden worden leerlingen immers aangemoedigd om de alfabetische code te kraken. Het is echter hoogst aannemelijk dat met name voor leerlingen die moeite hebben met leren lezen en spellen, het gebruik van pseudowoorden in eerste instantie afgeraden moet worden.

Een derde veronderstelling die we voorlopig uit het model afleiden, is dat leren lezen en spellen moet gebeuren onder aanbieding van het hele geschreven of gesproken woord. Uit het model blijkt immers hoe belangrijk de omringende letters of klanken zijn voor de decodering van het woord. Door de intrede van computers in het onderwijs is de dreiging evenwel groot dat daarvan afgezien wordt en de mogelijkheden van de computer boven het educatieve principe gaan prevaleren. Het fonologisch coherentiemodel is duidelijk over de rol van de context waarin letters of fonemen zich bevinden. Daarom lijkt het niet waarschijnlijk dat het tot voordeel strekt om woorden in stukjes aan te bieden. Een goed voorbeeld van problemen die ontstaan wanneer een woord letter voor letter wordt aangeboden is het woord GEKNOEI. Verklanking van achtereenvolgens G, GE, GEK, GEKN, GEKNO, GEKNOE, GEKNOEI maakt duidelijk dat toevoeging van elke volgende letter de uitspraak van het woord verandert. Aanwijzingen voor de effectiviteit van de zogenaamde "hele-woord"-aanbieding voor spellen komen uit eerder onderzoek uitgevoerd door Bosman en Van Leer-

dam (1993), en Van Leerdam, Bosman en Van Orden (1997). Uit een vergelijking van een groot aantal spellinginstructiemethoden bleek dat het oefenen van de spelling van het hele woord (en tevens uit het hoofd) betere spellingprestaties tot gevolg had dan methoden waarbij slechts gedeelten van het woord werden geoefend. Het model geeft overigens evenmin aanwijzingen voor de effectiviteit van de zogenaamde flitsmethode. Dat wil niet zeggen dat flitsen geen voordelen kent. Het is mogelijk dat de flitsmethode leerlingen motiveert zich beter te concentreren vanwege het spelelement dat het in zich heeft.

Een vierde aanwijzing vloeit voort uit een bijzondere eigenschap van het model, namelijk dat de volgorde van de input-outputrelaties de momentane prestaties van het model bepaalt. Dat wil zeggen dat woorden die eerder aan het model zijn aangeboden de verwerking van het volgende woord bepalen. Hoewel het model geen concrete aanwijzingen geeft ten aanzien van welke woorden in welke volgorde aangeboden moeten worden, is het wel duidelijk dat de effectiviteit van een instructiemethode erdoor bepaald wordt. Op de vraag welke woorden (bijvoorbeeld beginnen met uitsluitend consistente woorden en/of een gering aantal letters die eerst totaal beheerst worden voordat nieuwe letters worden toegevoegd) en in welke volgorde zij aangeboden moet worden, kan het model geen antwoord geven. Dit kan uitsluitend op basis van empirisch onderzoek gevonden worden (zie voor een eerste aanzet Van den Broeck, 1997).

Een vijfde en laatste aanwijzing voor effectieve lees- en spellingmethoden komt voort uit de aanname dat de kwaliteit van de input de output bepaalt. Hoewel het model, zoals het hierboven is gepresenteerd, op geen enkele wijze dwingend voorschrijft hoe de stimulus (dat wil zeggen, het woord) aangeboden wordt, zijn wij er niettemin van overtuigd dat dit een cruciale rol speelt. Dit betekent dat instructie ecologisch belangrijke relaties dient te benadrukken. Zo is het bijvoorbeeld belangrijk om in het spellingproces aandacht te besteden aan het motorische aspect van de schrijfbeweging, aangezien dit immers deel uitmaakt van het proces van leren spellen. Het is bovendien belangrijk om

onderscheid te maken tussen leerlingen, tussen talen, en tussen situaties. We hebben immers te maken met de unieke combinatie van een kind met haar of zijn kwaliteiten (talenten op het terrein van lezen en spellen vs. kinderen met ontwikkelingsdyslexie) in een specifieke taalomgeving (Nederlands, Chinees of Afrikaans) dat zich in een unieke sociaal-economische omgeving bevindt (schoolklassen met de modernste ICT-middelen vs. lemen hutten waar nog geen pen beschikbaar is).

8 Epiloog

Aan het begin van deze bijdrage hebben wij uiteengezet dat wij de mens opvatten als een zelf-organiserend, biologisch-cognitief systeem dat in voortdurende interactie staat met zijn omgeving. Aan het eind gekomen hopen wij duidelijk gemaakt te hebben dat dit voor de (ortho)pedagogiek betekent dat lezen en spellen bepaald worden door de fundamentele interactie tussen specifieke eigenschappen van het kind (waaronder de mate waarin een kind over "leestalent" en/of meta-cognitieve vaardigheden beschikt), de context waarin het aangeboden wordt (waaronder, de groep, de leerkracht en de methode) en de kwaliteit van de afstemming tussen leerkracht, leerling en materiaal.

Noten

- 1 Wij danken het National Institute of Neurological Disorders and Stroke voor de toekenning van een Independent Scientist Award (1K02 NS 01905) aan Guy Van Orden, waardoor totstandkoming van dit artikel mede mogelijk werd gemaakt. Wij bedanken Joep Bakker, Monique Bartelings, Marjolein Gompel en Ad Smitsman voor hun waardevolle commentaar op eerdere versies van dit manuscript. Bovendien zijn wij Joep Bakker bijzonder erkentelijk voor zijn inhoudelijke en tekstuele commentaar, en Marjolein Gompel voor de noodzakelijke aanpassingen aan de figuren.
- 2 Hoewel de problemen die samenhangen met de overgang van externe stimulus naar interne stimulus nog steeds niet adequaat opgelost zijn binnen het cognitivisme (verza-

melterm voor informatieverwerkingstheorie en neurale netwerktheorie), geldt onverminderd dat een stimulus eerst een perifere verwerking ondergaat. Na een aantal interne mentale bewerkingen via modules wordt een hoger cognitief proces op gang gebracht dat eventueel een coverte of overte respons voorbereidt (Fodor, 1983).

- 3 Het door ons voorgestelde recurrente netwerk is dus niet meer dan een op de werking van het zenuwstelsel geïnspireerd model. Volgens Freeman (1995) zijn er immers meer verschillen dan overeenkomsten tussen neurale netwerken die het cognitief gedrag simuleren en de werking van het centraal zenuwstelsel.
- 4 Dit wordt duidelijk uit het volgende citaat "Men act upon the world, and change it, and are changed in turn by the consequences of their action" (Skinner, 1957, p. 1).
- 5 Wederkerige causaliteit kan en wordt binnen de informatieverwerkingstheorie niet getoleerd, omdat representaties stabiel moeten zijn. Continu veranderende representaties verliezen immers hun verklarende waarde. De consequentie van de aanname van de wederkerigheidsassumptie is dat het concept representatie als verklaringsmechanisme voor een theorie over mentale processen overbodig is (geworden). De term geworden is hier met opzet ingevoegd, omdat wij van mening zijn dat informatieverwerkingstheorie als wetenschappelijk paradigma veel kennis heeft opgeleverd, zonder welke het moeilijker of wellicht zelfs onmogelijk was om een alternatief als complexe systementheorie te formuleren.
- 6 In het geval dat er consistente relaties bestaan tussen letter- en foneemsubstructuren van verschillende woorden is er sprake van consistente 'crosstalk', in het geval van inconsistente relaties wordt gesproken van inconsistente crosstalk. Consistente crosstalk is de basis voor covariaat leren. Voor een uitgebreide, technische beschrijving van het model verwijzen wij naar Van Orden e.a. (1990) of Van Orden en Goldinger (1994).
- 7 Een uitzondering hierop vormt het Hebreeuws en het Arabisch. In beide schriftsystemen worden de klinkers weggelaten. Dit leidt ertoe dat een geschreven woord een grote mate van ambiguïteit kent. In de meeste gevallen biedt de context waarin het woord aangebo-

den wordt uitsluitel over de identiteit (Berent & Frost, 1997).

Literatuur

- Arthur, B. (1994). *Increasing returns and path dependence in the economy*. Ann Arbor, MI: The University of Michigan Press.
- Berent, I., & Frost, R. (1997). The inhibition of polygraphic consonants in spelling Hebrew: Evidence for recurrent assembly of spelling and phonology in visual word recognition. In C. A. Perfetti, L. Rieben, & M. Fayol (Eds.), *Learning to spell* (pp. 195-219). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Bosch, K. van den (1991). *Poor readers' decoding skills. Effects of training, task, and word characteristics*. Academisch Proefschrift, Katholieke Universiteit Nijmegen: Faculteit Sociale Wetenschappen.
- Bosman, A. M. T., & Groot, A. M. B. de (1996). Phonology is fundamental to reading: Evidence from beginning readers. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 715-744.
- Bosman, A. M. T., & van Leerdam, M. (1993). Aanvankelijk spellen: de dominantie van de verklankende spelwijze en de geringe effectiviteit van lezen als spellinginstructie-methode. *Pedagogische Studiën*, 70, 28-45.
- Bosman, A. M. T., Leerdam, M. van, & Gelder, B. de (2000). The /O/ in OVER is different from the /O/ in OTTER: Phonological effects in Dutch children with and without dyslexia. *Developmental Psychology*, 36, 817-825.
- Bosman, A. M. T., & Orden, G. C. Van (1997). Why spelling is more difficult than reading. In C. A. Perfetti, L. Rieben, & M. Fayol (Eds.), *Learning to spell* (pp. 173-194). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Broeck, W. Van den (1997). *De rol van fonologische verwerking bij het automatiseren van de leesvaardigheid*. Academisch Proefschrift. Rijks Universiteit Leiden: Faculteit Sociale Wetenschappen.
- Broeck, W. Van den, & Bos, K. P. van den (2002). *Berust dyslexie op een automatiseringsprobleem?* Paper gepresenteerd op de 26e Interacademiale, Groningen.
- Brown, J. S., Collins, A. & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning.

- Educational Researcher*, 18, 32-42.
- Coltheart, M. (1978). Lexical access in simple reading tasks. In G. Underwood (Ed.), *Strategies of information processing* (pp. 135-155). New York: Academic Press.
- Coltheart, M., Curtis, B., Atkins, P., & Haller, M. (1993). Models of reading aloud: Dual-route and parallel-distributed-processing approaches. *Psychological Review*, 100, 589-608.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108, 204-256.
- Davies, P. (1989). *The new physics*. New York: Cambridge University Press.
- Davies, P., & Gribbin, J. (1992). *The matter myth*. New York: Simon & Schuster.
- Draaisma, D. (1995). *De metaforenmachine*. Groningen: Historische Uitgeverij.
- Edelman, G. M. (1992). *Bright air, brilliant fire: On the matter of mind*. New York: BasicBooks.
- Ehri, L. C. (1992). Reconceptualizing the development of sight word reading and its relationship to recoding. In P. B. Gough, L. C. Ehri, & R. Treiman, *Reading acquisition* (pp. 107-143). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Farrar, W. T., & Van Orden, G. C. (2001). Errors as multistable response options. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 5, 223-265.
- Fodor, J. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Freeman, W. (1995). *Societies of brains. A study in the neuroscience of love and hate*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Geert, P. Van (1994). *Dynamic systems of development: Change between complexity and chaos*. Hertfordshire, UK: Harvester-Wheat-sheaf.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston, MA: Houghton Mifflin.
- Goodwin, B. (1994). *How the leopard changed its spots*. New York: Charles Scribner's sons.
- Groot, A. M. B. de (1985). Word-context effects in word naming and lexical decision. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 37A, 281-297.
- Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (1999). Phonology, reading acquisition, and dyslexia: Insights from connectionist models. *Psychological Review*, 106, 491-528.
- Johnson, M. (1987). *The body in the mind: The bodily basis of imagination, reason, and meaning*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Kelso, S. (1995). *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kirshner, D., & Whitson, J. A. (1997). *Situated cognition*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Leerdam, M. van, Bosman, A. M. T., & Van Orden, G. C. (1998). The ecology of spelling instruction: Effective training in first grade. In P. Reitsma & L. Verhoeven (Eds.), *Problems and interventions in literacy development* (pp. 307-320). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Levelt, W. J. M. (1989). De connectionistische mode. In C. Brown, P. Hagoort, & T. Meijering (Eds.), *Vensters op de geest. Cognitie op het snijvlak van filosofie en psychologie* (pp. 202-219). Utrecht: Stichting Grafiet.
- Lorenz, E. (1993). *The essence of chaos*. London, UK: UCL Press Limited.
- Maas, H. van der, & Molenaar, P. C. (1992). Staged cognitive development: An application of catastrophe theory. *Psychological Review*, 99, 395-417
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive-activation model of context effects in letter perception: Part 1: An account of basic findings. *Psychological Review*, 88, 375-407.
- Meyer, D. E., & Schvaneveldt, R. W. (1971). Facilitation in recognizing pairs of words: Evidence of a dependence between retrieval operations. *Journal of Experimental Psychology*, 90, 227-234.
- Plaut, D. C. (1999). A connectionist approach to word reading and acquired dyslexia: Extension to sequential processing. *Cognitive Science*, 23, 543-568.
- Plaut, D. C., McClelland, J. L., Seidenberg, M. S., & Patterson, K. E. (1996). Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review*, 103, 56-115.
- Prigogine, I., & Stengers, I. (1984). *Order out of Chaos*. New York: Bantam
- Rack, J. P., Snowling, M. J., & Olson, R. K. (1992).

- The nonword reading deficit in developmental dyslexia: A review. *Reading Research Quarterly*, 27, 29-53.
- Rack, J. P., Snowling, M. J., & Olson, R. K. (1992). The nonword reading deficit in developmental dyslexia: A review. *Reading Research Quarterly*, 27, 29-53.
- Seidenberg, M. S., & McClelland, J. L. (1989). A distributed-developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review*, 96, 523-568.
- Skinner, B. F. (1957). *Verbal behavior*. Acton, MA: Copley Publishing Group.
- Stone, G. O., & Van Orden, G. C. (1993). Strategic control of processing in word recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 744-774.
- Stone, G. O., Vanhoy, M., & Van Orden, G. C. (1997). Perception is a two-way street: Feed-forward and feedback phonology in visual word recognition. *Journal of Memory and Language*, 36, 337-359.
- Thelen, E., & Smith, L. B. (1994). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Turvey, M. T., & Carello, C. (1995). Some dynamical themes in perception and action. In R. F. Port & T. van Gelder (Eds.), *Mind as motion* (pp. 373-401). Cambridge, MA: MIT Press.
- Vallacher, R. R., & Nowak, A. (1994). *Dynamical systems in social psychology*. San Diego, CA: Academic Press.
- Van Orden, G. C. (1991). Phonologic mediation is fundamental to reading. In D. Besner, & G. W. Huphreys (Eds.), *Basic processes in reading* (pp. 77-103). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Van Orden, G. C., Bosman, A. M. T., Goldinger, S. D., & Farrar, W. T. (1997). A recurrent network account of reading, spelling, and dyslexia. In J. W. Donahoe, & V. Packard Dorsel (Eds.), *Neural network models of cognition: A bio-behavioral foundation* (pp. 522-538). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Van Orden, G. C., & 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.
- Van Orden, G. C., & Goldinger, S. D. (1996). Phonologic mediation in skilled and dyslexic reading. In C. H. Chase, G. D. Rosen, & G. F. Sherman (Eds.), *Developmental dyslexia: Neural, cognitive and genetic mechanisms* (pp. 185-223). Timonium, MD: York Press
- Van Orden, G. C., Jansen op de Haar, M. A., & Bosman, A. M. T. (1997). Dynamic systems also predict dissociations, but they do not reduce to autonomous systems. *Cognitive Neuropsychology*, 14, 131-165
- Van Orden, G. C., Pennington, B. F., & Stone, G. O. (1990). Word identification in reading and the promise of subsymbolic psycholinguistics. *Psychological Review*, 97, 488-522.
- Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1993). *The embodied mind*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Wentink, H. (1997). *From graphemes to syllables. The development of phonological decoding skills in poor and normal readers*. Academisch Proefschrift. Katholieke Universiteit Nijmegen: Faculteit Sociale Wetenschappen.
- Ziegler, J. C., Stone, G. O., & Jacobs, A. M. (1996). Statistical analysis of the bidirectional inconsistency of spelling and sound in French. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 28, 504-515.
- Zorzi, M., Houghton, G., & Butterworth, B. (1998). Two routes or one in reading aloud? A connectionist dual-process model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 1131-1161.

Manuscript aanvaard: 20 juni 2003

Auteurs

Anna M. T. Bosman is als universitair hoofddocent verbonden aan de sectie Orthopedagogiek van Leren en Ontwikkeling van de Faculteit Sociale Wetenschappen aan de Katholieke Universiteit Nijmegen.

Guy C. Van Orden is hoogleraar aan het Department of Psychology van Arizona State University in de Verenigde Staten.

Correspondentieadres: A. M. T. Bosman, Katholieke Universiteit Nijmegen, Faculteit Sociale Wetenschappen, sectie Orthopedagogiek van Leren en Ontwikkeling, Postbus 9104, 6500 HE Nijmegen, e-mail: a.bosman@ped.kun.nl

Abstract

The phonologic coherence model for reading and spelling

This study presents the phonologic coherence model for reading and spelling. The model was first introduced in 1990 by Van Orden and his colleagues, and has been elaborated since. The phonologic coherence model presents a description of processes guiding reading and spelling, it describes the processes that underly learning to read and spell, explains why spelling is more difficult than reading, and presents an adequate description of developmental dyslexia. In this study, we also pay attention to the philosophical framework in which the phonologic coherence model is rooted and the possible consequences of the model for effective reading and spelling instruction.