DYSLEXIE ALS ALGEMEEN MAGNOCELLULAIR DEFICIT!? RESULTATEN VAN EEN LONGITUDINALE STUDIE

B. Boets*, J. Wouters° & P. Ghesquière*
*Centrum voor Orthopedagogiek, K.U.Leuven
°Lab. ExpORL, K.U.Leuven

De algemene magnocellulaire theorie veronderstelt dat dyslexie het gevolg is van een tekort in auditieve en visuele temporele informatieverwerkingsvaardigheden. Het auditieve deficit wordt verondersteld te interfereren met accurate spraakperceptie, en zo de ontwikkeling van fonologische vaardigheden en latere lees- en spellingvaardigheden te hypothekeren. Het visuele probleem zou de lees- en spellingontwikkeling bemoeilijken door de orthografische vaardigheid aan te tasten. In deze longitudinale studie werden basale sensorische vaardigheden, spraakperceptie, fonologische vaardigheid en letterkennis onderzocht bij 5-jarige kleuters met een verhoogd familiaal risico op dyslexie, en vergeleken met controlekinderen. Kinderen met een verhoogd risico op dyslexie (op basis van familiaal risico én lees- en spellingachterstand aan het einde van het eerste leerjaar), vertoonden ook op voorschoolse leeftijd al tekorten in basale auditieve en visuele temporele vaardigheden, spraakperceptie, fonologie en letterkennis. Dit toont aan dat het sensorische deficit al aanwezig is voor er van leesproblemen sprake is, wat een ondersteuning kan zijn van het causale model dat door de algemene magnocellulaire theorie vooropgesteld wordt. Bovendien verleenden ook de geobserveerde verbanden steun aan de theorie: enerzijds observeerden we een significante relatie tussen basale auditieve vaardigheden, spraakperceptie, fonologisch bewustzijn en de ontwikkeling van lezen en spellen, anderzijds observeerden we een significant verband tussen visuele magnocellulaire informatieverwerking, orthografische vaardigheid en lees- en spellingscores. Analyse van de individuele profielen van de onderzochte kinderen dwingt ons echter ook tot enige nuancering van deze bevindingen.

KEYWORDS

Sensorische temporele vaardigheden, spraakperceptie, fonologie, orthografische vaardigheid, lees- en spellingontwikkeling

INLEIDING

Dyslexie is een erfelijk bepaalde neurologische aandoening waarvan de prevalentie wordt geraamd op 5 à 10% van de bevolking. De leerstoornis wordt gekenmerkt door ernstige lees- en spellingproblemen die moeilijk te verhelpen zijn door middel van de in het onderwijs gebruikelijke didactische maatregelen en remediëringsinspanningen (Gersons-Wolfensberger & Ruijssenaars, 1997). Vanuit diverse disciplines werden verschillende causale theorieën over dyslexie ontwikkeld die de oorsprong van de stoornis ofwel in het cognitief-linguïstische domein, het auditieve domein of het visuele domein situeren. Binnen de cognitieve benadering heerst er een brede consensus over het feit dat dyslexie veroorzaakt wordt door een tekort in de fonologische vaardigheid en onafhankelijk is van de algemene intelligentie (Snowling, 2000). Fonologische tekorten werden aangetoond inzake fonologisch bewustzijn, benoemsnelheid en verbaal korte-termijngeheugen (Wagner & Torgesen, 1987).

Onderzoek naar de onderliggende neuro(psycho)logische oorzaak van dyslexie suggereert dat de fonologische problemen op zich het resultaat zijn van een meer fundamenteel tekort in de perceptuele basismechanismen die verantwoordelijk zijn voor de verwerking van auditieve temporele informatie. Personen met dyslexie hebben problemen met het verwerken van auditieve stimuli die snel veranderen in de tijd of van korte duur zijn (bv. McAnally & Stein, 1996; Tallal, Miller & Fitch, 1993; Talcott et al., 1999; Van Ingelghem et al., 2005). Deze basale auditieve problemen worden verondersteld te interfereren met de accurate detectie van snelle akoesti-

sche wisselingen in het spraaksignaal, met een subtiel probleem in spraakperceptie tot gevolg. Vervolgens zou dit spraakprobleem op zijn beurt de ontwikkeling van de fonologische vaardigheid bemoeilijken, wat dan uiteindelijk resulteert in een gebrekkige automatisering van de lees- en spellingvaardigheid (Boets, Ghesquière, van Wieringen, & Wouters, 2007a; McBride Chang, 1995).
Daarnaast zijn er studies die wijzen op een specifiek visueel probleem bij personen met dyslexie (bv. Cornelissen et al., 1995; Lovegrove, 1996; Stein & Walsh, 1997). Het gaat hierbij om een tekort in één van de twee subsystemen van het visuele systeem, namelijk het magnocellulaire systeem. Dit subsysteem reageert op visuele stimuli van lage spatiële en hoge temporele frequentie en is vooral verantwoordelijk voor de perceptie van globale vorm en beweging. Men gaat ervan uit dat dit magnocellulair tekort aan de basis ligt van binoculaire instabiliteit, problemen met visuele aandacht en visueel zoeken en onzekerheid over letterpositie, wat op zijn beurt een invloed zal hebben op de ontwikkeling van orthografische vaardigheden en de daaruit voortvloeiende lees- en spellingvaardigheden (Stein & Walsh, 1997; Stein & Talcott, 1999).

Zowel de auditieve als de visuele onderzoekslijn benadrukken het belang van temporele informatieverwerking bij de ontwikkeling van de lees- en spellingvaardigheid. Als een gevolg werd dan ook de hypothese geformuleerd van een algemeen temporeel informatieverwerkingsdeficit in beide sensorische modaliteiten (Farmer & Klein, 1995; Frith & Frith, 1995; Van Ingelghem, et al., 2001) en werd ook een poging ondernomen om deze veronderstelde cross-modale tekorten te herleiden tot één onderliggende biologische oorzaak. Volgens de general magnocellular theory zou dyslexie dan de gedragsmatige manifestatie zijn van een neurologische disfunctie in de zenuwbanen die instaan voor een snelle verwerking van transiënte en dynamische sensorische informatie (Stein & Walsh, 1997; Stein, 2001; Talcott et al., 2002; Witton et al., 1998).

Ondanks haar integratieve kracht en theoretische elegantie is de algemene magnocellulaire theorie de laatste jaren ook onderwerp geweest van groeiende kritiek (bv. Skottun, 2000; Ramus, 2003; Ramus et al., 2003; Rosen, 2003; White et al., 2006). Deze critici beklemtonen dat (a) sommige studies niet in staat zijn om een auditief of visueel deficit aan te tonen bij dyslectici, (b) dat de geobserveerde sensorische problemen niet altijd van temporele aard blijken te zijn, en (c) dat de sensorische problemen slechts bij een relatief kleine proportie individuen met dyslexie worden geobserveerd. Daarnaast is er ook het algemene bezwaar dat de meeste studies zich slechts op een bepaald deelaspect van de theorie hebben toegelegd en niet het volledige causale pad hebben onderzocht op alle subniveaus. Tot slot wordt ook opgemerkt dat het intrinsieke causale ontwikkelingsaspect van de algemene magnocellulaire theorie vooralsnog zelden werd onderzocht aan de hand van longitudinale studies. Het merendeel van de gepubliceerde studies is cross-sectioneel van aard en richt zich op schoolkinderen en volwassenen. Deze data laten echter niet toe om te bepalen of de geobserveerde sensorische problemen oorzaak of gevolg zijn van de leesproblemen. Het is immers niet ondenkbaar dat de auditieve en visuele vaardigheden van goede lezers beter ontwikkeld zouden zijn dan die van dyslectische lezers, als een gevolg van hun meer getrainde fonologische en orthografische vaardigheden (Talcott & Witton, 2002).

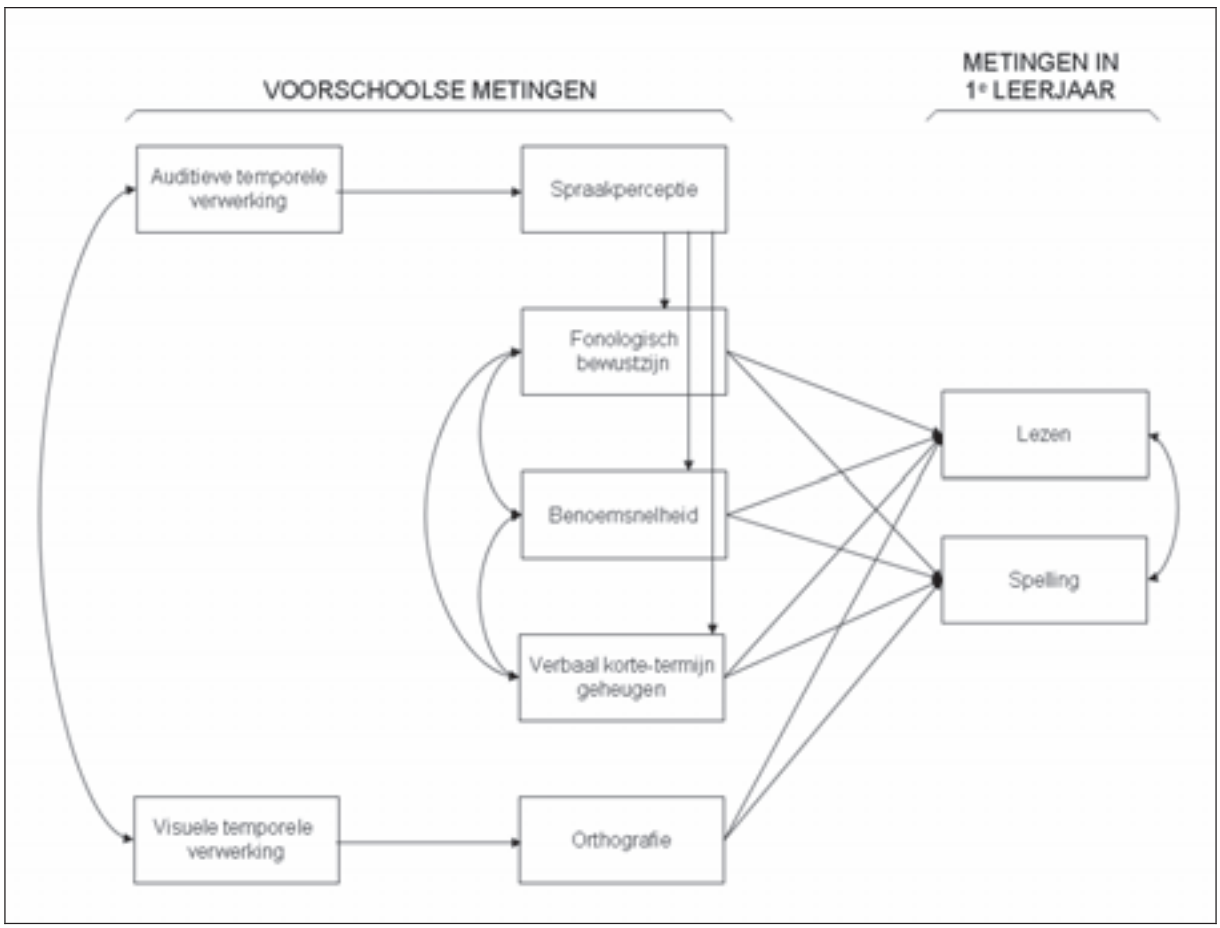
De voorliggende studie probeert tegemoet te komen aan de genoemde bezwaren door diverse deelaspecten van de algemene magnocellulaire theorie te onderzoeken aan de hand van een longitudinaal onderzoeksdesign dat werd opgestart vooraleer formele leesinstructie werd aangeboden. Basale auditieve en visuele vaardigheden, spraakperceptie, fonologische vaardigheden en letterkennis werden gemeten bij 5-jarige kleuters met een verhoogd familiaal risico op dyslexie, en werden vergeleken met de vaardigheden van nauwkeurig gematchte controlekinderen. Beide groepen kinderen werden opgevolgd tot aan het einde van het eerste leerjaar wanneer ook de lees- en spellingvaardigheid werd bepaald.
Vertrekkende vanuit de algemene magnocellulaire theorie kunnen twee hypothesen worden geformuleerd: (1) personen met dyslexie worden verondersteld significante tekorten te vertonen op het vlak van auditieve en visuele temporele informatieverwerking, spraakperceptie, en fonologische en orthografische vaardigheden, en (2) significante relaties worden verwacht tussen auditieve temporele informatieverwerking, spraakperceptie, fonologische vaardigheid en leesontwikkeling enerzijds, en tussen visuele temporele informatieverwerking, orthografische vaardigheid en leesontwikkeling anderzijds. In het eerste deel van dit artikel zullen we aan de hand van een retrospectieve analyse kleuters met latere leesproblemen vergelijken met kleuters die

een normale leesontwikkeling kennen. Als de sensorische problemen effectief aan de basis van het leesprobleem liggen, veronderstellen we dat deze al aantoonbaar zullen zijn vooraleer met leesonderricht wordt gestart. In het tweede deel van het artikel exploreren we vervolgens de relaties tussen de verschillende variabelen, en evalueren we de totaliteit van de algemene magnocellulaire theorie aan de hand van causale padanalyse. Op grond van de algemene magnocellulaire theorie en de traditionele fonologische theorie werd het model in Figuur 1 geconstrueerd en getest. Dit model veronderstelt dat auditieve temporele informatieverwerking bepalend is voor de kwaliteit van spraakperceptie, die op zijn beurt de fonologische vaardigheid bepaalt. We verwachten in de eerste plaats een invloed op fonologisch bewustzijn, maar staan ook toe dat spraakperceptie het verbale korte-termijngeheugen en de benoemsnelheid beïnvloedt (McBride-Chang, 1996). De drie fonologische vaardigheden worden verondersteld onderling gecorreleerd te zijn (zie Wagner & Torgesen, 1987) en elk een invloed uit te oefenen op de ontwikkeling van de lees- en spellingvaardigheid. Daarnaast veronderstelt het model dat de kwaliteit van visuele temporele informatieverwerking bepalend is voor de orthografische vaardigheid, die op zijn beurt ook bepalend is voor de lees- en spellingontwikkeling. Tot slot staan we toe dat de metingen voor auditieve en visuele informatieverwerking gecorreleerd zijn, aangezien ze beiden berusten op temporele informatieverwerking (Talcott & Witton, 2002).

METHODE

Subjecten

Tweeënzestig kinderen (36 jongens / 26 meisjes) namen deel aan de studie en werden opgevolgd van begin derde kleuterklas tot eind eerste leerjaar. De helft van hen was afkomstig uit ‘dyslectische gezinnen’; zij vormden de hoog-risico groep (HR). De andere helft waren controlekinderen uit ‘normaal lezende gezinnen’, de zogenaamde laag-risico groep (LR). Alle kinderen spraken Nederlands als moedertaal. Ze hadden geen voorgeschiedenis van hersen-



Figuur 1: Het theoretische structurele model voor de padanalyse.

letsel, gehoorverlies of visuele problemen. Ook op het moment van dataverzameling vertoonden ze geen tekorten op het gebied van gehoor (PTA<25 dB HL) of gezichtsscherpte (Snellen acquity>0.85). De HR-kinderen hadden minimaal één eerstegraadsverwant met een officiële dyslexiediagnose. Aangezien dyslexie in belangrijke mate erfelijk bepaald is, vertonen deze kinderen een aanzienlijk verhoogd risico om zelf ook leesproblemen te ontwikkelen. De LR-kinderen vertoonden geen voorgeschiedenis van taal- of spraakproblemen en hadden geen verwanten met leer- of taalmoeilijkheden. Voor elk individueel HR kind werd het meest gelijkende LR kind geselecteerd op basis van vijf criteria: (1) school, (2) geslacht, (3) leeftijd, (4) non-verbale intelligentie, en (5) opleidingsniveau van moeder en vader. Non-verbale intelligentie werd bepaald met behulp van een aangepaste versie van de Raven Coloured Progressive Matrices test (Raven, Court, & Raven, 1984), een collectieve intelligentietest die spatiaal redeneren meet. Ouderlijk opleidingsniveau werd bepaald met behulp van de 'International Standard Classification of Education' (UNESCO, 1997). De gemiddelde leeftijd op het moment van de eerste dataverzameling was 5 jaar en 4 maanden voor zowel de HR en de LR groep [gepaarde $t(30) = 0.22$, $p = .83$]. Beide groepen scoorden bovengemiddeld voor non-verbale intelligentie (HR groep: 107; LR groep: 111), en verschilden niet significant van elkaar [gepaarde $t(30) = 1.88$, $p = .07$]. Kinderen van hoog-opgeleide ouders waren oververtegenwoordigd in beide groepen, maar Fisher's Exact Test bevestigde dat er geen groepsverschillen waren in de verdeling van de verschillende opleidingscategorieën ($p = .71$ voor opleidingsniveau moeder en $p = .43$ voor opleidingsniveau vader). Voor verdere details over de deelnemers en de selectieprocedure verwijzen we naar Boets, Wouters, van Wieringen, & Ghesquière (2006a).

Instrumenten

Fonologische tests

De tests waren zodanig gekozen dat de drie traditioneel onderscheiden fonologische vaardigheden werden gemeten (Wagner & Torgesen, 1987). Fonologisch bewustzijn werd gemeten aan de hand van drie klank-identificatietests en een rijmtest. Verbaal korte-termijngeheugen werd gemeten met een cijferreeksentest en een non-woordrepetitietaak. Benoemsnelheid werd gemeten met een test voor het snel serieel benoemen van kleuren en een test voor het snel serieel benoemen van voorwerpen. Hieronder geven we een summiere beschrijving van de tests. Voor verdere details verwijzen we naar Boets et al. (2006a).

Klank-identificatie test

Het kind moet uit vier alternatieven het woord kiezen met dezelfde (a) beginklank, (b) eindklank, (c) eindrijm als een opgegeven woord . Elk item bestaat uit een rij met vijf plaatjes, waarbij het eerste plaatje het doelwoord representeert. Alle plaatjes worden vooraf benoemd. De beginklank en eindklank identificatietaak bestaan elk uit 10 items, voorafgegaan door twee oefenitems. De eindrijm identificatietaak bestaat uit twaalf items, voorafgegaan door twee oefenitems.

Rijmtest

Het kind krijgt een eenlettergrepig woord aangeboden en moet een rijmend (non-)woord produceren. De test bestaat uit 8 items, voorafgegaan door twee oefenitems, en kent een opklimmende moeilijkheidsgraad.

Non-woordrepetitie test

Het kind krijgt 48 nonsenswoorden te horen, gepresenteerd op een CD, en moet elk woord zo accuraat mogelijk herhalen (Scheltinga, 2003). De moeilijkheidsgraad stijgt systematisch van twee tot vijf lettergrepen. De test is voorafgegaan door twee oefenitems.

Cijferreeksen voorwaarts

Het kind moet een reeks gesproken cijfers, gepresenteerd op een CD, in de juiste volgorde nazeggen. De test begint met een reeks van twee cijfers en kent een opklimmende moeilijkheidsgraad. De test wordt afgebroken als het kind faalt op twee van drie items met dezelfde lengte (De Smedt, Verschaffel & Ghesquière, 2004).

Snel serieel benoemen: voorwerpen

Een kaart met 50 afbeeldingen van vijf gekende voorwerpen in toevallige volgorde wordt aan het kind voorgelegd. Het kind moet deze zo snel en accuraat mogelijk benoemen (van den Bos, Zijlstra, & Spelberg, 2002). De totale benoemingstijd wordt vervolgens omgezet in het aantal benoemde items per seconde.

Snel serieel benoemen: kleuren

Deze test is identiek aan de voorgaande, maar nu wordt een kaart met 50 rechthoekjes in vijf gekende kleuren aan het kind voorgelegd (van den Bos, Zijlstra, & Spelberg, 2002).

Letterkennis
De 16 meest frequent gebruikte letters in Nederlandstalige boeken worden op een kaart gepresenteerd en het kind moet deze benoemen. Zowel de klank als de naam van een letter worden correct gescoord.

Auditieve informatieverwerking
De kwaliteit van auditieve informatieverwerking voor in de tijd veranderende ('dynamische') stimuli wordt gemeten met behulp van een psychofysische frequentiemodulatie (FM) detectietaak. Via een koptelefoon (verbonden met audiometer en laptop) luistert het kind naar reeksen van drie tonen van 1000 Hz. Eén van de drie tonen vertoont telkens een 2 Hz sinusoïdale frequentiemodulatie en het kind moet deze gemoduleerde toon detecteren. De modulatiediepte (= moeilijkheidsgraad) wordt systematisch gemanipuleerd volgens een adaptieve procedure totdat het drempelniveau is bepaald (dit is de minimale modulatiediepte die nog juist detecteerbaar is). De test is geïntegreerd in een interactief computerspel met tekenfilmpjes en touch screen om het kind gemotiveerd en aandachtig te houden (zie Laneau, Boets, Moonen, van Wieringen, & Wouters, 2005). Na een korte oefenperiode, worden er voor elk kind drie drempels bepaald. Het gemiddelde van de twee beste drempels wordt gebruikt als indicator van de auditieve sensitiviteit van het kind. Een meer gedetailleerde beschrijving van de stimuli, testprocedure en apparatuur is te vinden in Boets et al. (2006a).

Visuele informatieverwerking
Om de gevoeligheid voor visuele temporele informatieverwerking te meten en om een indicatie te verkrijgen van de kwaliteit van visueel magnocellulair functioneren, wordt een psychofysische coherente-beweging (CB) detectietaak afgenomen. Bij deze taak zit het kind in een verduisterde ruimte voor een computerscherm waarop twee rechthoekige vlakken zijn afgebeeld. Elk vlak bestaat uit 1103 random bewegende witte stipjes tegen een zwarte achtergrond. Het doelvlak is virtueel in drie horizontale stroken opgedeeld. In de middelste strook is er een variabele proportie stipjes die gezamenlijk ('coherent') in horizontale richting bewegen; alle andere stipjes bewegen kriskras door elkaar. De opdracht van het kind is om het vlak te identificeren met de middenstrook met coherent bewegende stipjes. De proportie coherent bewegende stipjes (= moeilijkheidsgraad) wordt systematisch gemanipuleerd volgens een adaptieve procedure totdat het drempelniveau is bepaald (dit is de minimale proportie coherent bewegende stipjes die nog toelaten om het doelvlak met coherente beweging te identificeren). Deze test is eveneens geïntegreerd in een interactief computerspel met tekenfilmpjes. Na een korte oefenperiode, worden er voor elk kind vier drempels bepaald. Het gemiddelde van de twee beste drempels wordt gebruikt als indicator van de visuele sensitiviteit van het kind. Een meer gedetailleerde beschrijving van de stimuli, testprocedure en apparatuur is te vinden in Boets, Wouters, van Wieringen, & Ghesquière (2006b).

Spraakperceptie
Spraakperceptie wordt geëvalueerd met een gestandaardiseerde spraak-in-ruis perceptietaak voor 5- en 6-jarigen (de Göttingerlijst, ontwikkeld en opgenomen door Wouters, Damman, & Bosman, 1994). In deze taak worden zeven lijsten van tien gekende eenlettergrepige woorden via koptelefoon aangeboden samen met een continue achtergrondruis met spraakspectrum. De woorden worden aangeboden aan -1, -4 en -7 dB signaal-ruis-verhouding (SNR). Voor de afname van de zes testlijsten (3 x 2), wordt een oefenlijst aangeboden aan +4 dB SNR. De opdracht van het kind is om de woorden zo correct mogelijk te herhalen. Per testlijst wordt het percentage correcte antwoorden bepaald. Voor verdere details verwijzen we naar Boets et al. (2007a).

Lees- en spellingvaardigheden aan het einde van het eerste leerjaar
Lezen
De Eén-minuut-test (Brus & Voeten, 1973) en de Klepel (van den Bos, Spelberg, Scheepstra, de Vries, 1994) worden afgenomen om respectievelijk het lezen van woorden en non-woorden te meten. Om een onderscheid te maken tussen leesaccuratesse en leessnelheid werden nog vier bijkomende tests geconstrueerd naar het voorbeeld van de Jong en Wolters (2002): de woord leesaccuratesse test, de non-woord leesaccuratesse test, de woord leessnelheid test en de non-woord leessnelheid test. Via een grootschalige pilootstudie werden er leeftijdsnormen verzameld voor deze tests (Peeters, 2005).

Spelling
Een gestandaardiseerde spellingtest wordt afgenomen (Dudal, 1997). In deze test moet het kind woorden schrijven die afzonderlijk worden aangeboden, woorden die in zinnen worden aangeboden, en korte zinnen.

Pseudohomofoon taak
Om een indicatie te verkrijgen van orthografische en passieve spellingvaardigheden, wordt een pseudohomofoon taak aangeboden. In deze taak worden 40 door zesjarigen gekende woorden aangeboden op een computerscherm tezamen met een nonwoord met dezelfde verklanking (bv. 'blauw' versus 'blouw'). Simultaan met de visuele presentatie wordt het woord ook auditief gepresenteerd en gebruikt in een voorbeeldzin. De taak van het kind is het correct gespelde woord aan te duiden. Als beloning verschijnt er na elk antwoord een extra puzzelstukje op het scherm, zodat er doorheen de test een grappige figuur wordt onthuld (voor details zie Boets, 2006).

Dataverzameling
Alle tests werden individueel afgenomen verspreid over verschillende sessies (+/- 10 uur per kind). De fonologische vaardigheden, letterkennis, FM-detectie, CB-detectie en spraakperceptie werden bepaald in de derde kleuterklas (= Groep 2 in Nederland), dus vooraleer de kinderen enige formele leesinstructie hadden gekregen. De fonologische metingen, de letterkennis en de FM-detectietaak werden afgenomen tijdens het eerste trimester van de derde kleuterklas. De data voor spraakperceptie en CB-detectie werden verzameld in het tweede trimester van dat zelfde schooljaar. Alle lees- en spellingtests werden afgenomen in de laatste maand (juni) van het eerste leerjaar, nadat de kinderen één schooljaar formele leesinstructie hadden gekregen.

Statistische analyses
Voorafgaand aan de analyses werden alle data individueel geïnspecteerd op afwijkende waarden. Bijgevolg werden voor één subject twee onbetrouwbare fonologische testscores verwijderd, en voor een ander subject de spraak-in-ruis perceptie data. Om een normale verdeling te verkrijgen, werden de data van letterkennis, FM-detectie en CB-detectie onderworpen aan een logaritmische transformatie. Voor de groepsvergelijkingen werden alle data geanalyseerd aan de hand van Mixed Model Analysis (MMA) (Littel, Stroup, & Freund, 2002), een geavanceerde techniek die rekening houdt met de geclusterde aard van de data (namelijk: paarsgewijze matching van kinderen). Concreet werden een reeks (herhaalde meting) MMA's berekend met school (= paar nummer) als random variabele en groep als fixed between-subject variabele. Leeftijd, non-verbale intelligentie en opleidingsniveau van vader en moeder werden eveneens opgenomen als fixed covariaten. Alle post-hoc vergelijkingen werden gecorrigeerd voor meervoudige testing volgens de Tukey procedure ($\alpha = .05$).
De causale padanalyse werd uitgevoerd aan de hand van Structurele Vergelijkingsmodellen (LISREL 8.71, Jöreskog & Sorbom, 2004), met toepassing van Bartlett's *k*-factor correctie voor kleine groepsgroottes (Nevitt & Hanckock, 2004). Padanalyse is een covariantie-analyse techniek die toelaat om de (causale) interrelaties tussen een groep variabelen te modelleren en vervolgens de plausibiliteit van het model te toetsen ten aanzien van de geobserveerde gegevens (Kline, 1998). Omwille van afwijkingen van normaliteit werd de asymptotische covariantiematrix als input gebruikt en werd de Satorra-Bentler Scaled chi-kwadraat test (SBS-χ^2) geïnspecteerd. Om de kwaliteit van model-fitting te evalueren, werden de Comparative Fit Index (CFI), de Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) en de Standardized Root Mean Square Residuals (SRMR) geselecteerd. Volgens Hu en Bentler (1999), wijzen de gecombineerde grenswaarden van .95 voor CFI, beneden .08 voor RMSEA en beneden .09 voor SRMR op een goede modelfit.

RESULTATEN

Groepsvergelijkingen

Afbakening van normale lezers versus leesgestoorde kinderen aan het einde van het eerste leerjaar
De gangbare definitie van dyslexie beklemtoont dat de diagnose niet louter gesteld wordt op basis van de observatie van ernstige lees- en spellingproblemen (< Pc 10), maar vereist ook dat deze problemen moeilijk te verhelpen zijn door middel van de in het onderwijs gebruikelijke didactische maatregelen en remediëringsinspanningen (Commissie Dyslexie, Gezondheidsraad Nederland, zie Gersons-Wolfensberger & Ruijssenaars, 1997). Omdat de kinderen van onze studie slechts één jaar leesinstructie ontvingen, kon dit bijkomende hardnekkigheidcriterium nog niet geverifieerd worden. Daarom zullen we de kinderen die aan het einde van het eerste leerjaar ernstige lees- en spellingproblemen vertonen, als kinderen met leesachterstand benoemen en niet als 'dyslectisch'. Om de normale en de groep met leesachterstand te definiëren, werd een samengestelde lees- en spellingscore berekend door de gestan-

daardiseerde scores (ten opzichte van de normpopulatie) van alle lees- en spellingtests te middelen. Volgens het < Pc 10-criterium van de Nederlandse Gezondheidsraad werd de bovengrens van -1.3 standaarddeviaties als criterium gehanteerd om deze groep af te bakenen. Toepassing van dit criterium resulteerde in 3 kinderen met leesachterstand in de LR groep (3/31 = 9 %), en 9 in de HR groep (9/31 = 29 %) [$\chi^2(1) = 3.7$, $p < .05$]. Op grond van het familiale risico en de leesverworvenheid aan het einde van het eerste leerjaar, werden vervolgens vier groepen gedefinieerd: een HR normaal lezende (HR-LN) groep, een HR groep met leesachterstand (HR-LA), een LR normaal lezende (LR-LN) groep en een LR groep met leesachterstand (LR-LA). Om de klinische groep te beperken tot kinderen die zowel het familiale risico als een leesachterstand vertoonden, werden de data van de LR-LA groep niet in de analyses opgenomen. Tabel 1 toont beschrijvende statistieken voor de drie overblijvende groepen; ANOVA toonde aan dat er geen significante groepsverschillen waren voor leeftijd, nonverbale intelligentie en ouderlijk opleidingsniveau. Aangezien de groepen op basis van leesverworvenheid gedefinieerd werden, is het evident dat de HR-LA groep voor alle lees- en spellingtests significant lager scoorde ($p < .0001$) dan de beide andere groepen, die niet van elkaar verschilden.

Groepsvergelijkingen voor de voorschoolse metingen
Tabel 2 toont de prestaties van de drie groepen kinderen op de fonologische tests en op de letterkennis taak. Op vrijwel elke taak scoorde de HR-LA groep significant lager dan de LR-LN groep, behalve op de beginklank identificatietaak en op de cijferreeksen test. Ondanks een vooralsnog normale leesontwikkeling scoorde ook de HR-LN groep significant lager dan de LR-LN groep op de eindklank identificatietaak en op de non-woordrepetitie test. Dit suggereert dat het familiale risico continu is in plaats van discreet.
Een principale componenten factoranalyse met varimax rotatie bevestigde dat de fonologische testbatterij op een valide wijze de drie traditioneel onderscheiden fonologische deeldomeinen representeerde: (a) de fonologische bewustzijn factor werd gekenmerkt door hoge ladingen op de drie klank-identificatietaken en de rijmtest, (b) de benoemsnelheid factor had hoge ladingen van de tests voor het snel serieel benoemen van kleuren en objecten, en (c) de verbaal korte-termijngeheugen factor werd bepaald door hoge ladingen van de nonwoordrepetitie taak en de cijferreeksen taak (voor details, zie Boets et al., 2006a). Voor elke fonologische factor werd vervolgens een samengestelde score berekend door de z-scores van de betreffende tests te middelen (namelijk BWZ, BS, VKTG). Een samengestelde score voor alle fonologische taken (gemiddelde van de z-scores van alle fonologische tests) werd eveneens berekend (FONOLOGIE). Statistieken voor deze samengestelde scores, omgezet in effectgroottes relatief ten aanzien van het gemiddelde en standaarddeviatie van de LR-LN groep, zijn afgebeeld in Tabel 2. Zoals blijkt uit de tabel, scoorde de HR-LA groep significant zwakker op de algemene FONOLOGIE-score en op de deelvaardigheden BWZ en BS. De scores van de HR-LN groep situeerden zich opnieuw tussen die van de beide andere groepen in. Voor VKTG waren de groepsverschillen niet significant.
Resultaten voor de FM- en CB-detectietaak staan in Tabel 2. Op beide psychofysische taken scoorde de HR-LA groep significant zwakker dan de beide andere groepen, die zelf niet van elkaar verschilden.

Figuur 2 toont groepsgemiddelden voor de spraak-in-ruis perceptie taak. Een herhaalde meting MMA met proportie correct gepercipieerde woorden als onafhankelijke variabele, groep als between-subject variabele, SNR als within-subject variabele, en met de bovengenoemde covariaten, resulteerde in een significant hoofdeffect voor groep ($p < .004$) en SNR ($p < .0001$) en een niet-significante groep * SNR interactie ($p = .50$). Post hoc analyse toonde

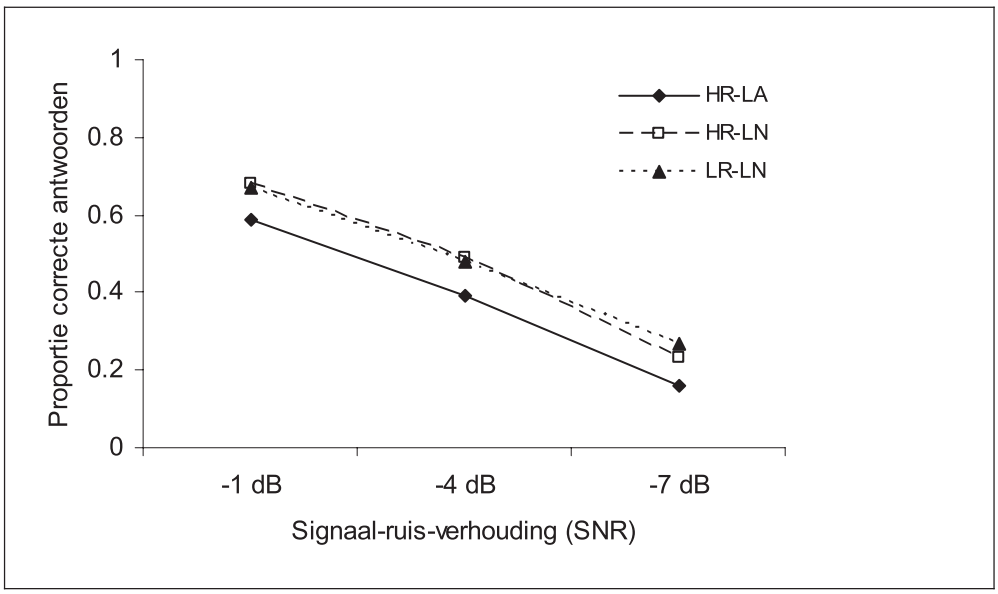
	HR-LA (n = 9)		HR-LN (n = 22)		LR-LN (n = 28)	
	M	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*
Leeftijd (maanden)	63	3	64	3	64	3
Non-verbaal IQ	108	7	106	16	111	14
Opleidingsniveau moeder	2.4	0.7	2.6	0.7	2.6	0.6
Opleidingsniveau vader	2.4	0.5	2.1	0.8	2.4	0.6

Tabel 1: Kenmerken van de deelnemers.

	HR-LA		HR-LN		LR-LN	
	M	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*
Letterkennis	0.3_{a}	0.5	2.6_{ab}	3.8	3.3_{b}	3.5
Fonologisch Bewustzijn (BWZ)						
Rijmtest	5.1_{a}	2.8	6.6_{ab}	2.2	7.3_{b}	1.8
Rijm identificatie	8.0_{a}	3.2	9.0_{ab}	2.4	10.1_{b}	1.5
Beginklank identificatie	3.9	1.8	4.9	2.2	5.9	2.3
Eindklank identificatie	4.0_{a}	1.4	4.7_{a}	2.4	6.3_{b}	2.3
Benoemsnelheid (BS)						
Kleuren benoemen	0.58_{a}	0.06	0.65_{ab}	0.13	0.71_{b}	0.16
Voorwerpen benoemen	0.58_{a}	0.09	0.65_{ab}	0.13	0.71_{b}	0.16
Verbaal korte-termijngeheugen (VKTG)						
Cijferreeksen voorwaarts	6.4	1.5	7.3	1.6	6.9	1.6
Non-woordrepetitie test	16.1_{a}	3.9	17.1_{a}	5.8	21.3_{b}	6.5
BWZ	-1.49_{a}	1.5	-0.75_{ab}	1.3	0.00_{b}	1.0
BS	-0.87_{a}	0.4	-0.49_{ab}	0.9	0.00_{b}	1.0
VKTG	-0.62	0.6	-0.31	0.9	0.00	1.0
FONOLOGIE	-1.65_{a}	1.3	-0.85_{a}	1.2	0.00_{b}	1.0
FM-detectie (Hz)	11.1_{a}	5.8	7.0_{b}	3.4	6.9_{b}	3.8
CB-detectie (% coherentie)	0.28_{a}	0.18	0.17_{b}	0.06	0.18_{b}	0.09
Spraak-in-ruis perceptie: SRT (dB)	-2.8_{a}	1.7	-3.6_{b}	1.6	-3.9_{b}	1.2

Noot. Paren met verschillende onderschriftletters verschillen significant van elkaar (MMA gecontroleerd voor non-verbale intelligentie, leeftijd, ouderlijk opleidingsniveau; Tukey contrasts, $p < .05$). Voor SRT zijn gewogen groepsgemiddelden en SD 's gepresenteerd.

Tabel 2: Gemiddelden (M) en standaarddeviaties (SD) op de voorschoolse tests voor letterkennis, fonologische vaardigheid, auditieve en visuele temporele vaardigheid en spraakperceptie.



Figuur 2: Spraak-in-ruis perceptie: gemiddelde proportie correcte antwoorden gerelateerd aan de signaal-ruis-verhouding van de aangeboden woorden.

aan dat de HR-LA groep significant verschilde van beide andere groepen, die zelf niet van elkaar verschilden. Om de spraakverstaan drempel te bepalen (Speech Reception Threshold: SRT; dit is het signaalniveau vereist voor 50 % correcte antwoorden), werden de individuele data onderworpen aan een logistische fitting. Tabel 2 toont gewogen groepsgemiddelden voor SRT (gecorrigeerd voor de kwaliteit van fitting, zie Boets et al., 2007a). MMA van deze gewogen SRT's bevestigde dat de HR-LA groep in vergelijking met de twee overige groepen een significant gemakkelijkere signaal-ruis-verhouding nodig had om 50 percent van de gepresenteerde woorden correct te verstaan.

Analyses op individueel niveau

Omdat groepsvergelijkingen belangrijke individuele verschillen tussen subjecten kunnen maskeren, werden er ook analyses op subject-niveau uitgevoerd. Om te bepalen welke kinderen abnormaal presteerden, werd het twee-staps criterium van Ramus en collega's gehanteerd (Ramus et al., 2003). Volgens dit criterium werd de grens voor abnormaal presteren op 1.65 standaarddeviaties van het gemiddelde van de LR-LN groep gelegd, nadat dit gemiddelde eerst zelf werd 'uitgezuiverd' door toepassing van een gelijkaardig 1.65 SD criterium. Een distributieanalyse bevestigde dat de data van de uitgezuiverde LR-LN groep normaal verdeeld waren, wat impliceert dat het 1.65 SD criterium overeenstemt met Pc 5. Een overzicht van de proportie abnormaal presterende subjecten per groep is afgebeeld in Tabel 3. Voor een gedetailleerd overzicht van alle individuele data verwijzen we naar Boets, Wouters, van Wieringen en Ghesquière (2007b). Inspectie van de individuele data leidt tot vier bevindingen: (a) de HR-LA groep vertoonde voor alle metingen, en in het bijzonder voor fonologie, een verhoogde proportie abnormale presteerders; (b) nochtans scoorden niet alle HR-LA kinderen abnormaal; (c) ook heel wat normaal lezende kinderen (HR-LN, LR-LN) vertoonden afwijkende scores; (d) inspectie van de individuele profielen toont aan dat er over de verschillende vaardigheden geen duidelijke overlap in uitval is. Dit betekent dat we geen consistent patroon van tekorten inzake auditieve en visuele temporele informatieverwerking, spraakperceptie, fonologische en orthografische vaardigheid kunnen aantonen voor de kinderen van de HR-LA groep.

Causale padanalyse

Voorafgaande analyses

Variabelen die verondersteld werden hetzelfde theoretische construct te meten, werden gecombineerd in samengestelde scores. Naast de samengestelde scores voor fonologie (BWZ, BS, VKTG), werd er ook een samengestelde score voor LEZEN gevormd (gemiddelde van de z-scores van de zes leestesten) en een samengestelde score voor SPELLING (gemiddelde van de z-scores van de spelling en pseudohomofoontest). Verder werd er ook voor spraakperceptie een samengestelde score (SPRAAK) geconstrueerd door de z-scores van de proportie correct gepercipieerde woorden voor de -4 en -7 dB SNR condities te middelen.

Tot slot werd een voorschoolse maat voor orthografische vaardigheid geconstrueerd. Aangezien het op voorschoolse leeftijd onmogelijk is om een pure orthografische test af te nemen, beschouwden we letterkennis als de best beschikbare indicator van orthografische vaardigheid. Letterkennis berust echter op orthografische én fonologische vaardigheden, omdat zowel de herkenning van de visuele kenmerken van het geschreven symbool als het ophalen van de bijhorende linguïstische informatie essentieel zijn. Om een meer pure orthografische maat te construeren, werden via statistische regressie alle fonologische aspecten uit letterkennis uitgefilterd (zie Boets et al., 2006b). Dit resulteerde in de nieuwe variabele ORTHOGRAFIE.

	HR-LA (n = 9)	HR-LN (n = 22)	LR-LN (n = 28)
FONOLOGIE	78 %	45 %	14 %
FM-detectie	44 %	14 %	7 %
CB-detectie	33 %	5 %	11 %
Spraak-in-ruis perceptie	33 %	5 %	4 %

Tabel 3: De proportie abnormaal presterende subjecten per groep.

Correlaties

Correlaties zijn afgebeeld in Tabel 4. Zoals verwacht waren beide temporele sensorische maten (FM en CB) significant gerelateerd. Coherentebeweging detectie (CB) was gerelateerd aan orthografische vaardigheid, en frequentiemodulatiedetectie (FM) was gerelateerd aan spraakperceptie (SPRAAK) en fonologisch bewustzijn (BWZ). Fonologisch bewustzijn (BWZ) was gerelateerd aan benoemsnelheid (BS) en verbaal korte-termijngeheugen (VKTG), die onderling niet gerelateerd waren. Lezen was significant gerelateerd aan auditieve en visuele temporele informatieverwerking (FM en CB), orthografische vaardigheid, spraakperceptie (SPRAAK), fonologisch bewustzijn (BWZ), benoemsnelheid (BS) en verbaal korte-termijngeheugen (VKTG). Spelling was significant gerelateerd aan orthografische vaardigheid, spraakperceptie (SPRAAK), fonologisch bewustzijn (BWZ) en verbaal korte-termijngeheugen (VKTG). Lezen en spelling waren sterk gecorreleerd. De vermelde correlaties waren in het algemeen sterker in de LR groep dan in de HR of totale groep. Dit suggereert dat de relaties niet louter een artefact zijn van het aggregeren van data over extreme groepen. Visuele inspectie van de correlatiefiguren toonde ook aan dat de geobserveerde verbanden niet louter bepaald werden door enkele kinderen met extreem afwijkende scores.

Padanalyse voor lees- en spellingontwikkeling

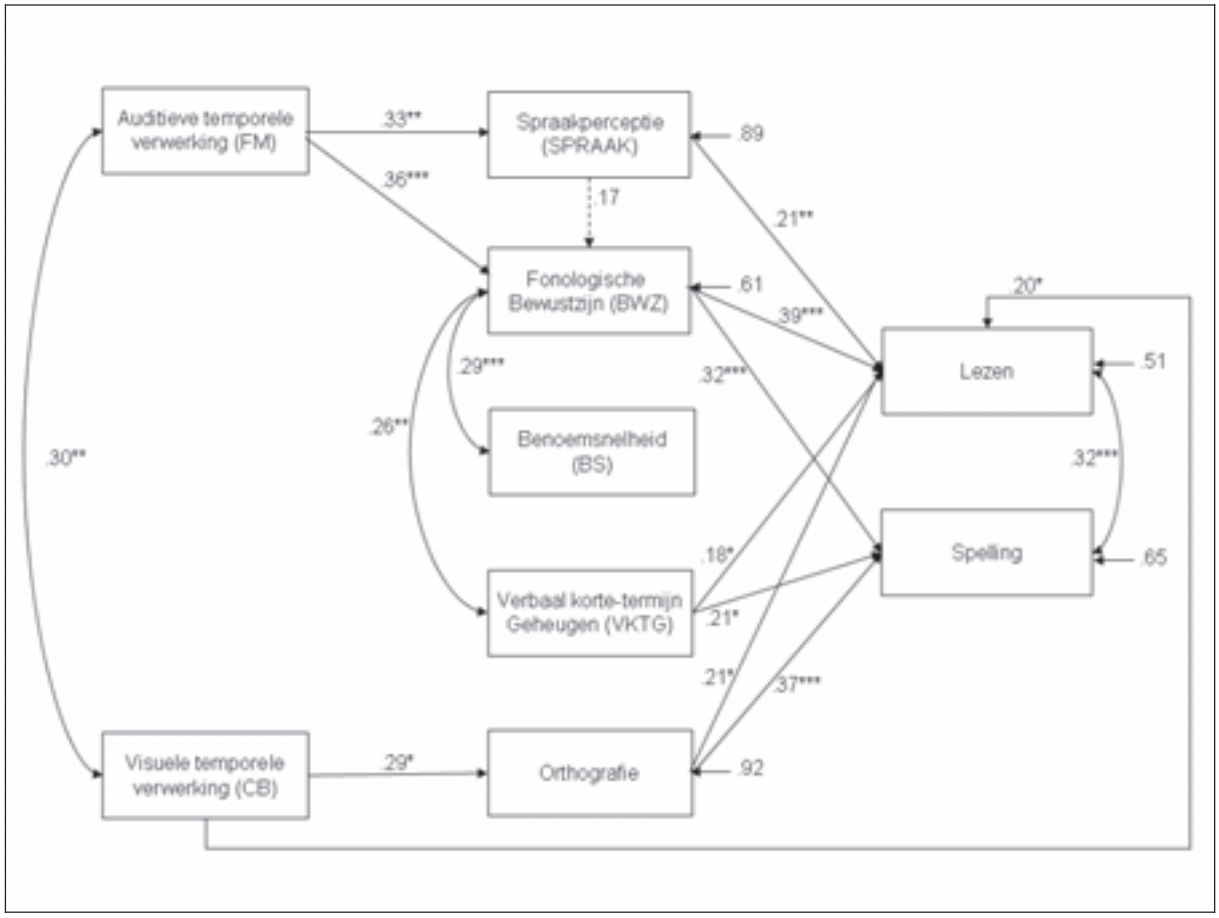
Statistische toetsing van het theoretische model uit Figuur 1 leidde tot een middelmatige "fit" (SBS-_2(18) = 25.41, $p > .10$; CFI = .94; RMSEA = .09; SRMR = .11). Alle padcoëfficiënten waren significant, met uitzondering van het SPRAAK? BS pad, het SPRAAK? VKTG pad, het BS ? LEZEN pad, het BS ? SPELLING pad en de correlatie tussen BS en VKTG. Om na te gaan of het toevoegen of verwijderen van paden de modelfit zou bevorderen, werd een model trimming strategie toegepast waarbij aanvankelijk alle mogelijke paden en correlaties werden toegelaten om dan systematisch de niet-significante paden te verwijderen. Dit leidde tot het bijzonder goed passende model uit Figuur 2 (SBS-?2 (15) = 12.50, p > .25; CFI = 1.00; RMSEA = 0.00; SRMR = .07) dat 49 % van de variantie in lezen en 35 % van de variantie in spelling kan verklaren. Om dit model te bekomen werden de vijf bovengenoemde niet-significante paden weggelaten en werden drie significante paden toegevoegd, namelijk FM ? BWZ, SPRAAK ? LEZEN, en CB ? LEZEN. Om de stabiliteit van het model na te gaan, werd dezelfde padanalyse ook uitgevoerd op data die vooraf uitgezuiverd werden voor individuele verschillen in niet-verbale intelligentie. Deze bijkomende analyse leidde tot een analoog model wat fit-indicatoren en padcoëfficiënten betreft, met het enige verschil dat ook het SPRAAK ? BWZ pad significant werd weerhouden (*?* = .19, $p < .05$).

	NON-VERB I	CB	ORTHO-GRAFIE	FM	SPRAAK	BWZ	BS	VKTG	LEZEN	SPELLING
CB	.25*	-	.26*	.27*	.12	-.04	-.05	.07	.33**	.22
ORTHOGRAFIE	.17	.29*	-	.17	.30*	-.03	.02	-.04	.31*	.37**
FM	.16	.30*	.20	-	.35**	.43***	.07	.05	.43***	.22
SPRAAK	-.10	.09	.28*	.33**	-	.37**	.14	.13	.49****	.34**
BWZ	.17	.00	.00	.45***	.35**	-	.38**	.30*	.51****	.39**
BS	-.14	-.08	.00	.05	.15	.35**	-	.12	.25*	.12
VKTG	.25*	.13	.00	.09	.10	.33**	.08	-	.34**	.31*
LEZEN	.12	.34**	.32**	.44***	.48****	.52****	.24*	.35**	-	.71****
SPELLING	.10 -	.23	.38**	.23	.33**	.40***	.10	.32**	.72****	-

Noot: De coëfficiënten boven de diagonaal zijn partiële correlaties na uitzuivering van individuele verschillen in non-verbale intelligentie.

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, **** $p < .0001$

Tabel 4: Pearson (partiële) correlaties tussen de tests.



Figuur 3: Causale padanalyse: voorspelling van lees- en spellingverworvenheid in het eerste leerjaar op basis van voorschoolse metingen van auditieve en visuele temporele informatieverwerking, spraakperceptie, fonologische en orthografische vaardigheid.
** p < .05, ** p < .01, *** p < .001*

DISCUSSIE

In deze studie werden basale auditieve en visuele temporele informatieverwerkingsvaardigheden, spraakperceptie, en fonologische en orthografische vaardigheid onderzocht bij 5-jarige kleuters die nog geen leesonderricht hadden ontvangen. Op basis van het familiale risico voor dyslexie en de lees- en spellingverworvenheid aan het einde van het eerste leerjaar werden groepen gedefinieerd, en werden de kleuterdata retrospectief geanalyseerd. Omdat dyslexie in onze groep niet afdoend kon worden gediagnosticeerd, verkozen we te spreken van kinderen met een leesachterstand. Onderzoek heeft echter aangetoond dat verschillen in lees- en spellingvaardigheden vrij stabiel zijn over de tijd en dat het merendeel van de kinderen met problemen in het eerste leerjaar ook in hun verdere schoolcarrière problemen blijft ondervinden in lezen en spelling (McCardle, Scarborough, & Catts, 2001). Bovendien werden de kinderen uit onze klinische groep niet enkel gekenmerkt door de leesproblematiek, maar vertoonden ze ook het familiale risico. Follow-up in het derde leerjaar toonde dan ook aan dat het merendeel van de kinderen uit de HR-LA groep wellicht in aanmerking komt voor een officiële dyslexiediagnose (Boets, De Smedt, Wouters, Lemay, & Ghesquière, 2007d).

Als we de HR-LA groep met de LR-LN groep vergelijken, observeren we significante voorschoolse tekorten voor letterkennis, fonologische vaardigheid, auditieve en visuele temporele informatieverwerking en spraakperceptie. Wat letterkennis en fonologie betreft, zijn onze resultaten consistent met andere prospectieve longitudinale studies die gelijkaardige tekorten aantoonden in kinderen met een familiaal risico op dyslexie (bv. Scarborough, 1998). Wat de sensorische vaardigheden betreft, is het significante groepsverschil voor FM- en CB-detectie consistent met een hele resem psychofysi-

sche studies die aantoonden dat deze taakjes differentiëren tussen volwassen en schoolgaande dyslectische lezers en normale lezers (bv. (Cornelissen et al., 1995) (Talcott, Hansen, Assoku, & Stein, 2000) Talcott & Witton, 2002; (Van Ingelghem et al., 2005; Witton et al., 1998). Op het vlak van spraak-in-ruisperceptie, wordt het geobserveerde probleem eveneens ondersteund door gelijkaardige bevindingen bij volwassen en schoolgaande dyslectische subjecten (Bradlow, Kraus, & Hayes, 2003) (Bradlow, Kraus, & Hayes, 2003) . De ernst van het spraakperceptie probleem is echter opmerkelijk: kinderen van de HR-LA groep blijken gemiddeld 10 % minder woorden correct te verstaan dan hun leeftijdgenoten, en dit ongeacht de toegepaste signaal-ruis verhouding. Wetende dat een typische klasomgeving gekenmerkt wordt door heel wat achtergrondlawaai, betekent dit dat een aanzienlijk deel van de communicatie en instructie niet wordt opgepikt door deze kinderen. Het lijkt evident dat dit niet enkel nefaste gevolgen zal hebben voor de algemene schoolse ontwikkeling, maar ook voor de ontwikkeling van talige en fonologische vaardigheden.

Als we kijken naar de relaties tussen de verschillende vaardigheden, merken we dat de auditieve temporele informatieverwerkingsvaardigheid significant gerelateerd is aan spraakperceptie, wat op zijn beurt gerelateerd is aan fonologisch bewustzijn. Daarnaast is visuele temporele informatieverwerking gerelateerd aan orthografische vaardigheid. Tot slot zijn fonologisch bewustzijn, orthografische vaardigheid en verbaal korte-termijngeheugen unieke voorspellers van lees- en spellingvorderingen. Tegen de theoretische verwachtingen in, kon de modelfit nog significant verbeterd worden door een directe beïnvloeding van auditieve temporele informatieverwerking op fonologisch bewustzijn toe te laten. Daarnaast was er ook een directe invloed van spraakperceptie op lezen, naast de indirecte invloed via fonologisch bewustzijn. Op een zelfde wijze oefende visuele informatieverwerkingsvaardigheid ook een directe invloed uit op lezen, naast de orthografie-gemedieerde invloed. Voor een gedetailleerde discussie van het causale padmodel en de geobserveerde relaties verwijzen we de lezer naar Boets, Wouters, van Wieringen, De Smedt, & Ghesquière (2007c).

Aangezien alle metingen voor sensorische vaardigheid, spraakperceptie, fonologie en orthografische vaardigheid werden afgenomen vooraleer de kinderen leesonderricht ontvingen, is het evident dat de geobserveerde tekorten niet louter het gevolg zijn van een gebrek aan leeservaring. Integendeel, het sensorische deficit is al aanwezig voor er van leesproblemen sprake is, wat een ondersteuning kan zijn van het causale model dat door de algemene magnocellulaire theorie vooropgesteld wordt. Hetzelfde geldt voor de geobserveerde relaties: door via een longitudinaal design het autoregressieve effect van leeservaring onder controle te houden, kunnen we overtuigend aantonen dat voorschoolse auditieve en visuele temporele informatieverwerkingsvaardigheden predictief zijn voor de latere lees- en spellingontwikkeling.

Het resultaat van de voorgaande globale analyses (groepsvergelijkingen, correlaties, padanalyse) biedt sterke empirische evidentie voor de validiteit van de algemene magnocellulaire theorie. Als we de data echter op het niveau van de individuele subjecten analyseren, zijn er ook een aantal bevindingen die in tegenspraak zijn met de theorie (zie Boets et al., 2007b voor een gedetailleerd overzicht van deze individuele data). In de eerste plaats is het duidelijk dat niet alle HR-LA kinderen een sensorisch deficit vertonen. Dit betekent dat een problematische auditieve en/of visuele temporele informatieverwerking geen noodzakelijke voorwaarde is om lees- en spellingproblemen te ontwikkelen. Blijkbaar zijn er naast de door de algemene magnocellulaire theorie beschreven ontwikkeling ook andere wegen die tot dyslexie leiden. De hoge proportie HR-LA kinderen met fonologische problemen suggereert alvast dat fonologie hierin eveneens een cruciale rol zal spelen. Ten tweede zijn er ook heel wat normale lezers die sensorische problemen vertonen. Dit toont aan dat een verstoorde sensorische informatieverwerking geen voldoende voorwaarde is om lees- en spellingproblemen te ontwikkelen. Dit betekent ofwel dat basale sensorische informatieverwerking slechts een bescheiden rol speelt in de ontwikkeling van leesvaardigheden, ofwel dat deze sensorisch beperkte kinderen kunnen terugvallen op compenserende mechanismen om hun basale beperkingen te overwinnen en toch te leren lezen. Ten derde is het niet mogelijk om een consistent individueel patroon van tekorten aan te tonen op het vlak van sensorische informatieverwerkingsvaardigheden, spraakperceptie, fonologische en orthografische vaardigheid, en lees- en spellingvaardigheid. Zelfs op groepsniveau is dit niet altijd mogelijk aangezien de HR-LN groep

gekenmerkt wordt door een mild fonologisch deficit, maar geen sensorische tekorten vertoont. Deze partiële dissociatie van vaardigheden toont aan dat de fonologische tekorten dus niet noodzakelijk een gevolg zijn van auditief-sensorische beperkingen.

De bovengenoemde tegenevidentie, voortvloeiend uit de analyse van de individuele profielen, zou de hypothese van een sensorisch deficit als oorzaak van leesproblemen en de validiteit van de algemene magnocellulaire theorie in twijfel kunnen trekken. Er dient nochtans opgemerkt te worden dat dezelfde bedenkingen ook van toepassing zijn op de fonologische theorie. Er zijn immers ook enkele leesgestoorde kinderen met relatief normale fonologische vaardigheden en normaal lezende kinderen met zeer ernstige fonologische tekorten. Dit betekent dat de aanwezigheid van basale sensorische problemen en in het bijzonder fonologische problemen een duidelijke risicofactor is voor het ontwikkelen van leesproblemen, maar dat geen van beide een noodzakelijke of voldoende voorwaarde is om dyslexie te ontwikkelen. Blijkbaar spelen er naast de genoemde factoren nog andere elementen mee die een beschermende of verzwarende invloed uitoefenen en mede bepalend zijn of iemand effectief leesproblemen ontwikkelt. In deze zin werd er bijvoorbeeld recent aangetoond dat een goede algemene taalvaardigheid een belangrijke beïnvloedende variabele kan zijn in het proces van leesverwerving omdat het sommige kinderen in staat stelt om te compenseren voor beginnende fonologische problemen (Snowling, Gallagher, & Frith, 2003).

Deze bevindingen illustreren dat lezen en spellen een complexe en veelzijdige activiteit is die een dynamisch samenspel vereist tussen verschillende sensorische en cognitief-linguïstische processen en omgevingsvariabelen. Problemen op elk niveau kunnen een vlotte verwerving van de lees- en spellingvaardigheid bemoeilijken. Samen met het groeiende bewustzijn dat er geen eenduidige uitingsvorm van dyslexie is, is er ook een groeiende bewustwording dat er geen enkelvoudige alomvattende verklarende theorie zal worden gevonden. Deze evolutie weerspiegelt zich ook in een bredere conceptuele verandering van deterministische enkelvoudige causale modellen naar probabilistische multifactoriele modellen (bv. Pennington, 2006). In deze context kan de algemene magnocellulaire theorie van dyslexie een belangrijke rol spelen. Hoewel de assumpties niet in elk individueel subject aantoonbaar zijn, biedt deze theorie echter een uniek integratief theoretisch kader om een ruime waaier van variabelen te bestuderen die van invloed kunnen zijn op de ontwikkeling van lees- en spellingvaardigheden.

BESLUIT

Samengevat kunnen we stellen dat de sensorische problemen die met dyslexie geassocieerd worden al aanwezig zijn vooraleer er sprake is van leesproblemen, en dat ze voorspellend zijn voor de ontwikkeling van lees- en spellingvaardigheden. Hoewel de analyse van de individuele profielen van kinderen ons ook tot enige nuancering dwingt, ondersteunen de globale bevindingen van deze studie de algemene magnocellulaire theorie van dyslexie.

REFERENTIES

Boets, B. (2006). Early literacy development in children at risk for dyslexia. A longitudinal study of the general magnocellular theory. Unpublished doctoral dissertation. Katholieke Universiteit Leuven.

Boets, B., Ghesquière, P., van Wieringen, A., & Wouters, J. (2007a). Speech perception in preschoolers at family risk for dyslexia: Relations with low-level auditory processing and phonological ability. Brain and Language, 101, 19-30.

Boets, B., Wouters, J., van Wieringen, A., & Ghesquière, P. (2007b). Auditory processing, speech perception and phonological ability in pre-school children at high risk for dyslexia: A longitudinal study of the auditory temporal processing theory. Neuropsychologia, 45, 1608-1620.

Boets, B., Wouters, J., van Wieringen, A., De Smedt, B., & Ghesquière, P. (2007c, under revision). Modelling relations between sensory processing, speech perception, orthographic and phonological ability, and literacy achievement. Brain and Language.

Boets, B., De Smedt, B., Wouters, J., Lemay, K., & Ghesquière, P. (2007d). No relation between 2D:4D fetal testosterone marker and dyslexia. NeuroReport, 18 (14), 1487-1491.

Boets, B., Wouters, J., van Wieringen, A., & Ghesquière, P. (2006a). Auditory temporal information processing in preschool children at family risk for dyslexia: Relations with phonological abilities and developing literacy skills. Brain and Language, 97, 64-79.

Boets, B., Wouters, J., van Wieringen, A., & Ghesquière, P. (2006b). Coherent motion detection in preschoolers at family risk for dyslexia. Vision Research, 46(4), 527-535.

Bradlow, A. R., Kraus, N., & Hayes, E. (2003). Speaking clearly for children with learning disabilities: sentence perception in noise. Journal of Speech, Language and Hearing Research, 46, 80-97.
Brady, S., Shankweiler, D., & Mann, V. (1983). Speech perception and memory coding in relation to reading ability. Journal of Experimental Child Psychology, 35(2), 345-367.
Brus, B. T., & Voeten, M. J. (1973). Eén-minuut-test vorm A en B. Verantwoording en handleiding. Nijmegen: Berkhout.
Cornelissen, P., Richardson, A., Mason, A., Fowler, S., & Stein, J. (1995). Contrast sensitivity and coherent motion detection measures at photopic luminance levels in dyslexics and controls. Vision Research, 35, 1483-1494.
de Jong, P. F., Seveke, M. J., & van Veen, M. (2000). Phonological sensitivity and the acquisition of new words in children. Journal of Experimental Child Psychology, 76(4), 275-301.
de Jong, P. F., & Wolters, G. (2002). Fonemisch bewustzijn, benoemsnelheid en leren lezen. Pedagogische Studieën, 79, 53-63.
De Smedt, B., Ghesquière, P., & Verschaffel, L. (2004). Working memory and arithmetic abilities in seven and eleven year old children. Poster Presented at the European Working Memory Symposium EWOMS II, 22-24 April 2004, Beaune, France.
Dudal, P. (1997). Leerlingvolgsysteem VCLB (CSBO). Spelling: Toetsen 1-2-3. Basisboek en kopieerbundel. Leuven: Garant.
Farmer, M. E., & Klein, R. M. (1995). The evidence for a temporal processing deficit linked to dyslexia: A review. Psychonomic Bulletin and Review, 2(4), 460-493.
Gersons-Wolfensberger, D. C. M., & Ruijssenaars, W. A. J. J. M. (1997). Definition and treatment of dyslexia: A report by the Committee on Dyslexia of the Health Council of the Netherlands. Journal of Learning Disabilities, 30(2), 209-213.
Hu, L., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: conventional criteria versus new alternatives. Structural Equation Modeling, 6, 1-55.
Joreskog, K. G., & Sorböm, D. (2004). LISREL 8.71. Chicago: Scientific Software International, Inc.
Kline, R. B. (1998). Principles and practice of Structural Equation Modeling. New York: The Guilford Press.
Laneau, J., Boets, B., Moonen, M., van Wieringen, A., & Wouters, J. (2005). A flexible auditory research platform using acoustic or electric stimuli for adults and young children. Journal of Neuroscience Methods, 142(1), 131-136.
Littell, R. C., Stroup, W. W., & Freund, R. J. (2002). SAS for linear models. Cary: SAS Institute.
Lovegrove, B. (1996). Dyslexia and a transient/magnocellular pathway deficit: The current situation and future directions. Australian Journal of Psychology, 48(3), 167-171.
McAnally, K. I., & Stein, J. F. (1996). Auditory temporal coding in dyslexia. Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 263, 961-965.
McBride-Chang, C. (1995). Phonological processing, speech perception and reading disability: an integrative review. Educational Psychologists, 30(3), 109-121.
McCardle, P., Scarborough, H. S., & Catts, H. W. (2001). Predicting, explaining and preventing children's reading difficulties. Learning Disabilities Research and Practice, 16(4), 230-239.
Nevitt, J., & Hancock, G. R. (2004). Evaluating small sample approaches for model test statistics in structural equation modeling. Multivariate Behavioral Research, 39(3), 439-478.
Pennington, B. F. (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. Cognition, 101, 385-413.
Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? Current Opinions in Neurobiology, 13(2), 212-218.
Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., & Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. Brain, 126(4), 841-865.
Raven, J. C., Court, J. H., & Raven, J. (1984). Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales. London: Lewis.
Rosen, S. (2003). Auditory processing in dyslexia and specific language impairment: is there a deficit? What is its nature? Does it explain anything? Journal of Phonetics, 31, 509-527.
Scarborough, H. S. (1998). Early identification of children at risk for reading disabilities: phonological awareness and some other promising predictors. In B.K. Shapiro, P.J. Accardo, & A.J. Capute (Eds), Specific reading disability: a view of the spectrum (pp. 75-119). Timonium, MD: York Press.
Scheltinga, F. (2003). The Dutch Nonword Repetition Test. Unpublished Manuscript, University of Amsterdam.
Skottun, B. C. (2000). The magnocellular deficit theory of dyslexia: the evidence from contrast sensitivity. Vision Research, 40, 111-127.
Snowling, M. J., Gallagher, A., & Frith, U. (2003). Family risk of dyslexia is continuous: individual differences in the precursors of reading skill. Child Development, 74(2), 358-373.
Snowling, M. J. (2000). Dyslexia (2nd ed.). Malden, MA: Blackwell Publishers.
Stein, J. (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. Dyslexia, 7, 12-36.
Stein, J., & Talcott, J. (1999). Impaired neuronal timing in developmental dyslexia. The magnocellular hypothesis. Dyslexia, 5, 59-77.
Stein, J., & Walsh, V. (1997). To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. Trends in Neuroscience, 20(4), 147-152.

Talcott, J. B, Hansen, P. C, Assoku, E. L, & Stein, J. F. (2000). Visual motion sensitivity in dyslexia: evidence for temporal and energy integration deficits. Neuropsychologia, 38(7), 935-943.
Talcott, J. B, Witton, C., Hebb, G. S, Stoodley, C. J, Westwood, E. A, France, S. J, Hansen, P. C, & Stein, J. F. (2002). On the relationship between dynamic visual and auditory processing and literacy skills; results from a large primary-school study. Dyslexia, 8(4), 204-225.
Talcott, J. B, Witton, C., McClean, M., Hansen, P. C, Rees, A., Green, G., & Stein, J. F. (1999). Can sensitivity to auditory frequency modulation predict children's phonological and reading skills? Neuroreport, 10(10), 2045-2050.
Talcott, J. B., & Witton, C. (2002). A sensory linguistic approach to the development of normal and impaired reading skills. In E. Witruk, A. Friederici, & T. Lachmann (Eds.), Neuropsychology and cognition series. Basic functions of language and language disorders. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
Tallal, P., Miller, S., & Fitch, R. H. (1993). Neurobiological basis of speech: a case for the preeminence of temporal processing. Annals of the New York Academy of Sciences, 682, 27-47.
van den Bos, K. P., Spelberg, H. C. L., Scheepstra, A. J. M., & De Vries, J. R. (1994). De Klepel. Vorm A en B. Een test voor de leesvaardigheid van pseudowoorden. Verantwoording, handleiding, diagnostiek en behandeling. Nijmegen: Berkhout.
van den Bos, K. P., Zijlstra, B. J. H., & Spelberg, H. C. (2002). Life-span data on continuous-naming speeds of numbers, letters, colors, and pictured objects, and word-reading speed. Scientific Studies of Reading, 6(1), 25-49.
Van Ingelghem, M., Boets, B., van Wieringen, A., Onghena, P., Ghesquière, P., & Wouters, J. (2005). An auditory temporal processing deficit in children with dyslexia? In P. Ghesquière & A.J.J.M. Ruijssenaars (Eds), Learning disabilities: a challenge to teaching and instruction. Series: Studia Paedagogica 40. (pp. 47-63). Leuven: University Press.
Van Ingelghem, M., van Wieringen, A., Wouters, J., Vandenbussche, E., Onghena, P., & Ghesquière, P. (2001). Psychophysical evidence for a general temporal processing deficit in children with dyslexia. Neuroreport, 12(16), 3603-3607.
Wagner, R. K., & Torgesen, J. K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. Psychological Bulletin, 101(2), 192-212.
White, S., Milne, E., Rosen, S., Hansen, P., Swettenham, J., Frith, U., & Ramus, F. (2006). The role of sensorimotor impairments in dyslexia: a multiple case study of dyslexic children. Developmental Science, 9(3), 237-255.
Witton, C., Talcott, J. B, Hansen, P. C, Richardson, A. J, Griffiths, T. D, Rees, A., Stein, J. F, & Green, G. G. (1998). Sensitivity to dynamic auditory and visual stimuli predicts nonword reading ability in both dyslexic and normal readers. Current Biology, 8(14), 791-797.

DANKWOORD

De auteurs danken de betrokken scholen, leerlingen en ouders van harte voor hun gewaardeerde medewerking.

CORRESPONDENTIEADRES

Bart Boets, Vesaliusstraat 2, B-3000 Leuven, België, Tel. +32 (0)16/ 32.61.82, Fax. +32 (0)16/ 32.59.33, Email: bart.boets@ped.kuleuven.be