

Het dubbel tekort model:

De rol van het werkgeheugen en getalbegrip bij rekenproblemen

Masterthesis

Universiteit Utrecht

Masteropleiding Pedagogische Wetenschappen

Masterprogramma Orthopedagogiek

Auteur: L. E. Evers
Studentennummer: 3943216
Werkveld: Leerlingenzorg
Begeleider: J. E. H. Van Luit
Tweede beoordelaar: I. Friso-van den Bos
Datum: 20-06-2014

Voorwoord

Voor u ligt mijn masterthesis ‘Het dubbel tekort model’, waarbij is gekeken naar de rol van het werkgeheugen en getalbegrip bij rekenproblemen. Deze masterthesis is geschreven voor de opleiding Orthopedagogiek aan de Universiteit Utrecht. Het onderzoek is uitgevoerd van september 2013 tot en met juni 2014 en maakte deel uit van het onderwijsproject ‘Op weg naar rekenen’.

De start van deze masterthesis was moeizaam, onder andere omdat ik later in het studiejaar ben gewisseld van onderwerp. Hierop terugkijkend ben ik erg blij met deze keuze geweest. Het onderwerp heeft mij geboeid, waardoor ik met veel doorzettingsvermogen en enthousiasme aan deze masterthesis heb gewerkt het afgelopen jaar. Door het schrijven van deze masterthesis heb ik veel geleerd over het doen van wetenschappelijk onderzoek. De individuele uitvoering heeft bijgedragen aan mijn zelfstandigheid en het zelf zoeken in oplossingen.

Ik wil meerdere mensen bedanken voor de totstandkoming van deze masterthesis. Als eerste wil ik Hans van Luit bedanken voor zijn begeleiding tijdens dit studiejaar. Zijn feedback op de ingeleverde stukken zorgden ervoor dat ik nieuwe inzichten kreeg en aan het denken werd gezet. Daarnaast wil ik Sylke Toll bedanken voor haar hulp, met name tijdens het uitvoeren van de analyses. Bij haar kon ik elke keer weer met mijn vragen terecht.

Als laatste wil ik het thuisfront bedanken voor de steun en het vertrouwen in mij het afgelopen jaar. Een speciaal woord van dank voor mijn ouders, omdat het zonder hen niet mogelijk was geweest om deze opleiding te volgen. Ook mijn vriend wil ik bedanken voor zijn steun, maar ook voor de ontspanning die hij heeft gebracht in de drukke tijden van het afgelopen studiejaar.

Loes Evers

Albergen, Juni 2014

Samenvatting

Achtergrond: Uit diverse onderzoeken is gebleken dat zowel het visueel-ruimtelijk werkgeheugen als getalbegrip een grote rol spelen in de rekenvaardigheid. De verklaring van rekenproblemen wordt vaak gezocht in een tekort op één van deze factoren. Aangezien er aanzienlijke overlap is tussen reken- en leesvaardigheid, en bij dyslexie vaak wordt gesproken van een *double deficit*, wordt er in dit onderzoek nagegaan of er ook bij rekenproblemen kan worden gesproken van een dubbel tekort. **Doel:** Het doel van deze studie is om te onderzoeken of er sprake is van een dubbel tekort, dus zowel problemen in het visueel-ruimtelijk werkgeheugen als getalbegrip, bij kinderen met rekenproblemen. **Methode:** In totaal hebben 658 kinderen deelgenomen van eind groep 2 tot midden groep 4 van de basisschool. Deze kinderen zijn verdeeld in vier groepen: 1) visueel-ruimtelijk werkgeheugen tekort, 2) getalbegrip tekort, 3) dubbel tekort, 4) geen tekort. Getalbegrip is gemeten door middel van de *Symbolic Comparison Task*, en het visueel-ruimtelijk werkgeheugen is gemeten met de *Dot Matrix* en *Odd One Out* taak. **Resultaten:** De resultaten tonen aan dat de groep met een dubbel tekort een significant lagere score op de rekenvaardigheidstoets M4 laat zien dan de groep zonder een tekort. Tevens laat de groep met een dubbel tekort een significant lagere score zien op de rekenvaardigheidstoets M4 dan de groep met enkel een tekort op het visueel-ruimtelijk werkgeheugen. Voor getalbegrip is dit verschil niet significant. **Conclusie:** Er is sprake van een dubbel tekort bij kinderen met rekenproblemen in vergelijking met de kinderen zonder dit tekort. Getalbegrip is sterker gerelateerd aan de rekenvaardigheid in vergelijking met het visueel-ruimtelijk werkgeheugen.

Trefwoorden: dubbel tekort, getalbegrip, visueel-ruimtelijk werkgeheugen, rekenvaardigheid

Abstract

Background: Several studies have shown that both the visuo-spatial scratchpad and number sense play an important role in numeracy. A deficiency in one of these facilities is a common explanation for difficulties in learning arithmetic. Numeracy and reading skill have a considerable overlap. Since one of the attempted explanations for dyslexia is the so-called double deficit theory, this study aims at investigating whether numeracy problems can be explained in terms of a double deficit as well. **Aim:** The objective of this study is to investigate whether children with problems in numeracy suffer from a double deficit, i.e. deficiencies in the visuo-spatial scratchpad as well as number sense. **Method:** A total of 658 children in primary education have been followed from end "group 2" (age 5-6, last year of kindergarten) until mid "group 4" (age 7-8). These children were assigned to four groups, viz.: 1) visuo-spatial scratchpad deficiency; 2) number sense deficit; 3) double deficit; 4) no deficit. Number sense has been measured by using the *Symbolic Comparison* task and the visuo-spatial scratchpad has been measured by using the *Dot Matrix* and *Odd One Out* tasks. **Results:** The double-deficit group (3) scored significantly lower on the M4 numeracy skills test, than did both the no-deficit (4) and the visuo-spatial scratchpad deficiency (1) groups. No significant difference on the M4 test results was found between the double-deficit (3) and the number sense deficit (2) groups. **Conclusion:** Many children with problems in arithmetic suffer from a double deficit. Numeracy skills are stronger affected by a number sense deficit than by a visuo-spatial scratchpad deficit.

Keywords: double deficit, number sense, visuo-spatial scratchpad, math skills

Introductie

Reken- en leesvaardigheden hangen in belangrijke mate met elkaar samen (Jordan, Hanich, & Kaplan, 2003). Uit onderzoek blijkt dat zowel dyslexie als dyscalculie kunnen worden verklaard vanuit gedeelde onderliggende neuropsychologische tekorten in het werkgeheugen, het verbale begrip en de verwerkingssnelheid (Willcutt et al., 2013). Bij dyslexie wordt er vaak gesproken van een *double deficit hypothesis* (Wolf & Bowers, 1999). Dit betekent dat kinderen met dyslexie een tekort hebben in zowel de fonologie als de benoemensnelheid, ook wel een ‘dubbel tekort’ genoemd. Bij dyscalculie is dit onduidelijker, maar wel is bekend dat twee factoren een grote rol spelen in het leren van rekenvaardigheden: het werkgeheugen (Rotzer et al., 2009) en getalbegrip (Landerl, Fussenegger, Moll, & Willburger, 2009). Aangezien er veel overlap is tussen dyslexie en dyscalculie, zal er in dit onderzoek worden onderzocht of er bij kinderen met rekenproblemen ook kan worden gesproken van een ‘dubbel tekort’. Dit onderzoek zal zich richten op de vraag of kinderen met een dubbel tekort, dus zowel met problemen in het werkgeheugen als getalbegrip, lager scoren op het gebied van rekenvaardigheid midden groep vier van de basisschool.

1.1 Werkgeheugen

Het werkgeheugen kan worden gedefinieerd als een gebied in de hersenen waar relevante informatie tijdelijk wordt opgeslagen en bewerkt (Baddeley, 2000). Het werkgeheugen is betrokken bij verschillende complexe cognitieve activiteiten (Baddeley, 2003). Een veelgebruikt model om het werkgeheugen te beschrijven is het multicomponentenmodel van Baddeley en Hitch (1974), bestaande uit drie componenten: een centrale uitvoerder, een fonologische lus en het visueel-ruimtelijk schetsblok. Later is hier de episodische buffer aan toegevoegd als vierde component (Baddeley, 2000). De centrale uitvoerder wordt gezien als het centrale systeem dat informatie verwerkt en wordt ondersteund door twee ‘slaafsystemen’: de fonologische lus en het visueel-ruimtelijk schetsblok. In de fonologische lus wordt talige informatie tijdelijk opgeslagen en bewerkt, terwijl in de visueel-ruimtelijk schetsblok visueel-ruimtelijk aangeboden informatie tijdelijk wordt opgeslagen en bewerkt. De episodische buffer is verantwoordelijk voor de integratie van beide slaafsystemen met het lange termijn geheugen (Baddeley, 2003).

Alle componenten van het werkgeheugen hebben een specifieke taak tijdens de uitvoering van verschillende rekenvaardigheden (DeStefano & Lefevre, 2004). De centrale uitvoerder houdt toezicht en is verantwoordelijk voor de verschillende stappen die tijdens het rekenkundige proces worden genomen (Fürst & Hitch, 2000). Het houdt in de gaten welke

delen van een berekening al zijn uitgevoerd (DeStefano & Lefevre, 2004). De fonologische lus is belangrijk bij het coderen, tellen en onthouden van de denkstappen in een berekening (Fürst & Hitch, 2000). Het visueel-ruimtelijk schetsblok speelt een rol wanneer rekenopdrachten visueel-ruimtelijk worden gepresenteerd, bijvoorbeeld door middel van schema's of symbolen. Dit is niet alleen het geval bij complexe geometrische rekenopdrachten (Reuhkala, 2001), maar ook wanneer een kind op jonge leeftijd op de vingers telt (Kyttälä, Aunio, Lehto, Van Luit, & Hautamäki, 2003).

Verschillende studies tonen een belangrijke relatie aan tussen het werkgeheugen en rekenvaardigheid (De Smedt et al., 2009; DeStefano & Lefevre, 2004; Holmes & Adams, 2006; Toll & Van Luit, 2013). Bij kinderen met rekenproblemen en kinderen met dyscalculie wordt er vaak gesproken over een tekort in het werkgeheugen (Gathercole, Pickering, Knight, & Stegmann, 2004; Passolunghi & Siegel, 2001). Er is echter nog steeds discussie over de sterkte van de relatie en welke component van het werkgeheugen de grootste invloed heeft op rekenprestaties (Raghubar, Barnes, & Hecht, 2010)

Uit verschillende onderzoeken blijkt dat het visueel-ruimtelijk schetsblok het sterkst gerelateerd is aan rekenprestaties bij kinderen in de leeftijd van 7 tot 10 jaar (D'Amico & Guarnera, 2005; Holmes & Adams, 2006; Schuchardt, Maehler, & Hasselhorn, 2008). Ook het onderzoek van Rotzer en collega's (2009) toont aan dat er grote betrokkenheid is van het visueel-ruimtelijk schetsblok bij kinderen met dyscalculie in de leeftijd 8 tot 10 jaar. Uit het onderzoek van Krajewski en Schneider (2009) blijkt dat het visueel-ruimtelijk schetsblok, gemeten bij kinderen op 5 jarige leeftijd, de rekenprestaties in groep 3 van de basisschool kan voorspellen. In tegenstelling tot bovenstaande onderzoeken komt in het onderzoek van Kyttälä, Aunio, en Hautamäki (2010) naar voren dat kinderen met rekenproblemen zowel een tekort hebben in de fonologische lus als in het visueel-ruimtelijk schetsblok. Volgens het onderzoek van Passolunghi en Siegel (2001) kan dit wijzen op een algemeen tekort van het werkgeheugen. Een mogelijk verklaring voor de tegenstrijdige bevindingen zou kunnen zijn dat vooral kinderen uit de onder- en middenbouw van de basisschool visueel-ruimtelijke strategieën toepassen (Andersson & Lyxell, 2007; Kyttälä et al., 2003). Op latere leeftijd, als ze hiertoe in staat zijn, zullen kinderen meer verbale en abstracte strategieën toepassen en hierop vertrouwen in de onderwijssituatie. Dit onderzoek zal zich uitsluitend richten op het visueel-ruimtelijk schetsblok.

1.2 Getalbegrip

Er is tussen onderzoekers weinig consensus over de manier waarop getalbegrip wordt gedefinieerd (Gersten, Jordan, & Flojo, 2005). Ondanks de verschillende definities is er overeenstemming dat de definitie getalbegrip bestaat uit meerdere facetten, waaronder de vaardigheden van een kind om numerieke hoeveelheden te begrijpen, te onderscheiden, in te schatten en tevens te manipuleren (Berch, 2005; Dehaene, 1997; 2001; Gersten et al., 2005; Van Luit & Van de Rijt, 2009). In dit onderzoek zal uitgegaan worden van het *triple code model* van Dehaene (1992), aangezien dit een veelgebruikt model is en dit model kan worden gerangschikt onder de symbolische en niet-symbolische vaardigheden.

Volgens het triple code model kunnen getallen op verschillende manieren worden gerepresenteerd in de hersenen. Het model maakt onderscheid in drie verschillende codes van mentale representaties; een analoge code, een auditief-verbale code en een visuele code. De ontwikkeling van een kind start bij de analoge code, waarbij een kind leert om getallen te vergelijken en te plaatsen op een mentale getallenlijn. Hierna ontwikkelt het kind de auditief-verbale code, waarbij het kind het woord leert kennen dat gekoppeld is aan een bepaald getal ('drie'). Als laatste wordt de visuele code ontwikkeld, ofwel het Arabisch numerieke systeem, waar het kind beseft krijgt van het getal dat gekoppeld is aan een hoeveelheid ('3') (Dehaene, 2001). De analoge code wordt ook wel gerangschikt onder de niet-symbolische vaardigheden, terwijl de auditief-verbale en visuele code worden gerangschikt onder de symbolische vaardigheden (Desoete, Ceulemans, De Weerd, & Pieters 2012; Kolkman, Kroesbergen, & Leseman, 2013)

De niet-symbolische vaardigheden zijn volgens verscheidende onderzoeken een aangeboren component (Dehaene, 2001; Korvorst, 2006). Een baby van een paar maanden oud is bijvoorbeeld al in staat om kleine hoeveelheden te onderscheiden, door een inschatting te maken van de hoeveelheid (Korvorst, 2006; Von Aster & Shalev, 2007). Dit kan door in te schatten op welke afbeelding de meeste stippen zijn afgebeeld (Barth, La Mont, Lipton, & Spelke, 2005). In tegenstelling tot de niet-symbolische vaardigheden, wordt verondersteld dat de symbolische vaardigheden te verwerven zijn (Korvorst, 2006). Kinderen ontwikkelen deze vaardigheden door omgang met taal, symbolen en onderwijs. (Dehaene, 2001). In de eerste jaren van de basisschool leren kinderen de niet-symbolische en symbolische vaardigheden langzaam met elkaar te integreren, ook wel mapping genoemd, zodat het mogelijk is om steeds complexere vaardigheden uit te voeren (Dehaene, 2001; Mundy & Gilmore, 2009).

Uit diverse onderzoeken blijkt dat het getalbegrip een belangrijke rol speelt bij het ontwikkelen van rekenvaardigheden (Gersten et al., 2005; Hassinger-Das, Jordan, Glutting,

Irwin, & Dyson, 2014; Jordan, Glutting, Dyson, Hassinger-Das, & Irwin, 2012; Jordan, Kaplan, Ramineni, & Locuniak, 2009; LeFevre et al., 2009). Kinderen met rekenproblemen hebben een beperkt getalbegrip (Von Aster & Shalev, 2007). Ook bij kinderen met dyscalculie wordt een beperkt getalbegrip als belangrijke verklaring gezien voor rekenproblemen (Landerl et al., 2009). Er is echter nog steeds discussie rondom de vraag welke vaardigheden belangrijker zijn tijdens de rekenontwikkeling: de symbolische of de niet-symbolische vaardigheden.

Uit verschillende onderzoeken komt naar voren dat kinderen met rekenproblemen vooral een beperking laten zien in de symbolische vaardigheden (De Smedt & Gilmore, 2011; Rouselle & Noël, 2007). Uit onderzoek van Desoete en collega's (2012) blijkt dat de symbolische getalvergelijking op de kleuterschool de rekenvaardigheid in groep 2 kan voorspellen en dat de niet-symbolische vaardigheden de rekenvaardigheid in groep 1 kan voorspellen. Ook op latere leeftijd is deze relatie aangetoond. Uit het onderzoek van Sasanguie, Göbel, Moll, Smets, en Reynvoet (2013) komt naar voren dat de symbolische getalvergelijking van 6 tot 8 jarigen de rekenprestaties één jaar later kan voorspellen. Gilmore, McCarthy, en Spelke (2007) voegen hier aan toe dat vooral erg jonge kinderen niet-symbolische vaardigheden gebruiken. Vijfjarige kinderen hebben bijvoorbeeld niet-symbolische vaardigheden nodig om symbolische taken op te lossen. Volgens LeFevre en collega's (2010) hebben de niet-symbolische vaardigheden een ondergeschikte rol en spelen deze vaardigheden vooral een rol bij erg jonge kinderen. Dit onderzoek zal zich daarom uitsluitend richten op de symbolische vaardigheden.

1.3 De relatie tussen werkgeheugen en getalbegrip

Uit bovenstaande kan worden geconcludeerd dat zowel het werkgeheugen als getalbegrip een belangrijke rol spelen bij het ontwikkelen van rekenvaardigheden. Ondanks dat er beperkt onderzoek aanwezig is, zijn er meerdere studies die de relatie tussen het werkgeheugen en getalbegrip hebben aangetoond (Davidse, De Jong, Shaul, & Bus, 2014; Geary, Hoard, Nugent, & Byrd-Craven, 2008; Passolunghi & Lanfranchi, 2012). Uit het onderzoek van Passolunghi, Vercelloni, en Schadee (2007) komt naar voren dat getalbegrip en het werkgeheugen op jonge leeftijd de beste voorspellers zijn van rekenvaardigheden in groep 1. Toll, Van der Ven, Kroesbergen, en Van Luit (2011) voegen hier aan toe dat er op basis van getalbegrip en werkgeheugen 66.7% van de rekenvaardigheden kan worden voorspeld. Bovendien kunnen op basis van deze twee factoren veel kinderen worden geïdentificeerd als risico voor het ontwikkelen van hardnekkige rekenproblemen. Hierdoor is

het signaleren van rekenproblemen op jonge leeftijd van belang, zodat hardnekkige problemen zoveel mogelijk kunnen worden voorkomen.

In dit onderzoek staat de volgende onderzoeksvraag centraal: *Is er sprake van een dubbel tekort, dus zowel problemen in het visueel-ruimtelijk werkgeheugen als getalbegrip, bij kinderen met rekenproblemen?* De volgende vier hypothesen zullen door middel van dit onderzoek worden getoetst:

- 1: Zowel het werkgeheugen als het getalbegrip zijn gerelateerd aan rekenvaardigheid
- 2: Op basis van het visueel-ruimtelijk werkgeheugen en getalbegrip eind groep 2, kan het resultaat op rekenvaardigheidstoets M4 worden voorspeld.
- 3: Kinderen met zowel een tekort in het visueel-ruimtelijk werkgeheugen als in het getalbegrip scoren lager op rekenvaardigheidstoets M4 dan kinderen zonder dit tekort.
- 4: Kinderen met zowel een tekort in het visueel-ruimtelijk werkgeheugen als in het getalbegrip scoren lager op rekenvaardigheidstoets M4 dan kinderen met een enkel tekort.

Methoden

Participanten

De participanten van dit onderzoek nemen deel aan een longitudinaal onderzoek. Alle kinderen zijn geselecteerd uit 31 scholen verspreid over tien provincies in Nederland. Deze kinderen zijn eind groep 2 geselecteerd op basis van de sociaal economische achtergrond en het aantal kinderen op de school. De kinderen in het huidige onderzoek zijn gevolgd vanaf eind groep 2 tot en met midden groep 4. Eind groep 2 bestond de onderzoeksgroep uit 897 kinderen met een gemiddelde leeftijd van 70.37 maanden ($sd = 3.98$, range 63 - 83). Hiervan was 51% jongen en 48% meisje. Op basis van de prestaties die leerlingen eind groep 2 hebben behaald, zijn er vier onderzoeksgroepen gemaakt. Eén onderzoeksgroep bestaat uit de 30% laagst scorende kinderen op het visueel-ruimtelijk werkgeheugen, één onderzoeksgroep uit de 30% laagst scorende kinderen op het getalbegrip, één onderzoeksgroep uit de 30% laagst scorende kinderen op zowel visueel-ruimtelijk werkgeheugen en getalbegrip en één onderzoeksgroep bestaande uit kinderen zonder een tekort. Als voorwaarde is genomen dat elke onderzoeksgroep uit minimaal 20 leerlingen moest bestaan. Bij een cut-off score van het 20^e percentiel werd niet aan deze voorwaarde voldaan, waardoor is besloten de scores het dichtst bij het dertigste percentiel te nemen: 31.7 voor getalbegrip en 29 voor het visueel-ruimtelijk werkgeheugen. In Tabel 1 zijn de beschrijvende statistieken van de vier onderzoeksgroepen weergegeven met geslacht, gemiddelde leeftijd en sociaal economische status (leerling-gewicht). Het leerling-gewicht is vastgesteld aan de hand van het

opleidingsniveau van de ouders van de leerling. Bij een leerling-gewicht van 0.3 of 1.2 kan worden gesproken van een achterstandsleerling. Een school wordt in deze situaties extra gefinancierd om achterstanden in het onderwijs te verminderen (Centrale Financiën Instellingen [CFI], 2006).

Tabel 1

Verdeling over de Vier Onderzoeksgroepen Eind Groep 2

	N	Sekse		Leeftijd (in maanden)		Leerling-gewicht ^a		
		jongens	meisjes	<i>M</i>	<i>SD</i>	0	0.3	1.2
1: Visueel-ruimtelijk Werkgeheugen tekort	130	68	62	70.34	3.75	98	6	4
2: Getalbegrip tekort	152	75	77	69.70	3.86	119	7	3
3: Dubbel tekort	131	62	69	69.75	4.39	92	5	7
4: Geen tekort	454	255	229	71.68	3.89	390	9	7
Totaal	897	460	437	70.37	3.98	699	27	21

^a De gegevens met betrekking tot leerling-gewicht zijn niet volledig, aangezien deze gegevens zijn opgevraagd uit het administratiesysteem van de school en niet van ieder kind de gegevens aanwezig zijn.

In Tabel 2 is weergegeven hoe de verdeling over de onderzoeksgroepen midden groep 4 is. Vanaf groep 2 tot midden groep 4 zijn er 239 kinderen uitgevallen. Dit is een percentage van 26.6 %. Dit grote percentage kan worden verklaard doordat veel kinderen zijn gewisseld van school, veel kinderen zijn blijven zitten, vervroegd een klas hoger zijn gegaan en/of ziek waren tijdens een testafname. De grootste groep uitvallers is afkomstig uit de groep met een dubbel tekort.

Voorgaand op de analyses is gekeken of de participanten in de vier groepen significant van elkaar verschillen op de achtergrond variabelen sekse, leeftijd en leerling-gewicht. Met behulp van een chi-kwadraat toets is gebleken dat er geen significante relatie is tussen de vier groepen en sekse $\chi^2(3) = 2.19, p = .53$. Uit de toets bleek tevens geen significante relatie te bestaan tussen de vier groepen en leerling-gewicht $\chi^2(9) = 13.96, p = .12$. Uit een ANOVA is gebleken dat er een significant effect is van leeftijd op de vier groepen, $F(3, 654) = 7.56, p = .00$. De post hoc toets van Bonferroni laat zien dat groep 4 (zonder tekort) een significant hogere leeftijd heeft dan groep 2 (getalbegrip tekort) ($p = .00$). Ook heeft groep 4 (zonder tekort) een significant hogere leeftijd dan groep 1 (visueel-ruimtelijk werkgeheugen tekort) ($p = .01$). Groep 4 (zonder tekort) heeft een hogere leeftijd dan groep 3 (dubbel tekort), maar dit

verschil is niet significant ($p = .06$). Op basis van deze resultaten zal leeftijd in dit onderzoek mee worden genomen als covariaat.

Tabel 2

Verdeling over de Vier Onderzoeksgroepen Midden Groep 4

	N	Sekse		Leeftijd (in maanden) ^a		Leerling-gewicht		
		jongens	meisjes	<i>M</i>	<i>SD</i>	0	0.3	1.2
1: Visueel-ruimtelijk Werkgeheugen tekort	99	51	48	70.66	3.51	77	5	3
2: Getalbegrip tekort	98	48	50	70.40	3.60	81	4	1
3: Dubbel tekort	50	21	29	70.50	3.91	38	1	3
4: Geen tekort	411	216	195	71.95	3.80	326	9	6
Totaal	658	336	322	70.88	3.71	522	19	13

^a Leeftijd in maanden bij start van het onderzoek.

Meetinstrumenten

Visueel-ruimtelijk werkgeheugen

Het visueel-ruimtelijk werkgeheugen is gemeten door middel van twee computertaken van het *Automated Working Memory Assessment* (AWMA; Alloway, 2007). Deze taken zijn vertaald naar het Nederlands en kunnen worden afgenomen bij kinderen in de leeftijd van 4.5 tot 11.5 jaar. Elke taak begint met een korte oefensessie. De taak wordt beëindigd na het geven van drie verkeerde antwoorden. De AWMA heeft een goede construct- en diagnostische validiteit voor kinderen met lage werkgeheugenvaardigheden.

De eerste taak waarmee het visueel-ruimtelijk werkgeheugen wordt gemeten is de *Dot Matrix*. Kinderen krijgen tijdens deze taak een matrix gepresenteerd van vier bij vier vakjes op het computerscherm. Een rode stip verschijnt kort op één van de boxen, waarna het kind moet aanwijzen in welk box de rode stip naar voren komt. De test start met een blok waarin één stip naar voren komt en wordt opgebouwd naar een blok met zeven stippen. Elke serie bestaat uit zes items die als onjuist worden gescoord wanneer één van de boxen wordt weggelaten, wanneer de volgorde van de boxen verkeerd is of een verkeerde box wordt aangeklikt. Wanneer de eerste vier items van een serie goed zijn, mag het kind over naar de volgende serie. De score kan liggen tussen de 0 tot 28. Deze taak heeft een test-hertest betrouwbaarheid van .83 (Alloway, Gathercole, Kirkwood, & Elliot, 2008).

De tweede taak, waarmee het visueel-ruimtelijk werkgeheugen wordt gemeten, is de *Odd One Out* taak. Bij deze taak worden drie geometrische vormen op een rij gepresenteerd,

waarbij twee vormen dezelfde zijn en één vorm afwijkend is. Het kind moet de vreemde vorm in een rij van drie geometrische vormen aanwijzen en de locaties van deze vormen onthouden. Hierna verschijnen drie nieuwe vormen. Aan het eind van elke oefening verschijnen drie lege hokjes en wordt aan het kind gevraagd de locaties van de vreemde vormen aan te geven. De test start met een ronde van één item, oplopend naar een blok met zeven items. Het aantal correcte antwoorden wordt geteld voor elke goed herhaalde reeks binnen een ronde. De score kan liggen tussen de 0 tot 28. Deze taak heeft een test-hertest betrouwbaarheid van .81 (Alloway et al., 2008).

Getalbegrip

Getalbegrip is gemeten door middel van de *Symbolic Comparison Task*. Tijdens de symbolische getalvergelijking taak ziet het kind twee getallen in een frame, waarna het kind wordt gevraagd het getal te kiezen met de hoogste numerieke waarde. Het kind krijgt tijdens deze taak eerst twee voorbeeldopdrachten, waarbij aanwijzingen mogen worden gegeven door de testleider. Bij de daadwerkelijke opdracht is het niet toegestaan om aanwijzingen te geven. Er zijn drie condities die kunnen worden onderscheiden, namelijk: 1) ongelijke conditie waarbij het hoogste getal groter is afgebeeld 2) ongelijke conditie waarbij het hoogste getal kleiner is afgebeeld 3) een neutrale conditie waarbij beide getallen even groot zijn afgebeeld, maar waarbij de getallen verschillen qua numerieke waarde. Het kind krijgt bij deze taak 30 items te zien. Zowel de interne consistentie als de test-hertest betrouwbaarheid van deze taak is aanvaardbaar ($\alpha = .67$) (Clarke & Shinn, 2004).

Cito rekenen/wiskunde M4

Rekenvaardigheid is gemeten door middel van de Cito Rekenen-Wiskunde M4. Door het gebruik van deze toets kan het rekenniveau van elke leerling worden vastgesteld en worden vergeleken met het landelijke niveau (Janssen, Verhelst, Engelen, & Scheltens, 2010). De toets bestaat uit verschillende onderdelen, namelijk: getallen en getalrelaties, optellen en aftrekken, vermenigvuldigen en delen, meten, meetkunde en tijd. De toets bestaat uit 26, voornamelijk open, opgaven waar kinderen 40 minuten de tijd voor hebben. De kinderen moeten antwoorden in de vorm van een getal. De toets kan zowel digitaal of schriftelijk worden gemaakt. Bij de toets M4 wordt de instructie klassikaal voorgelezen, zodat iedereen even veel kans heeft om de opdrachten te begrijpen. Na afname wordt van elke leerling de totaalscore berekend. Deze toets is methode onafhankelijk. De toets heeft een goede betrouwbaarheid van .93. Tevens kan wat betreft de inhoudsvaliditeit worden geconcludeerd

dat alle onderdelen zijn getoetst in de Cito Rekenen-Wiskunde M4. De begripsvaliditeit is als goed beoordeeld (Janssen et al., 2010).

Procedure

De eerste testen, getalbegrip en het visueel-ruimtelijk werkgeheugen, zijn in de maanden mei/juni van groep 2 afgenomen. Alle kinderen zijn getest door getrainde testassistenten. Alle taken zijn individueel bij de leerlingen afgenomen en zijn op de computer gemaakt in twee ochtenden. De Cito Rekenen – Wiskunde M4 is klassikaal in januari groep 4 schriftelijk afgenomen onder leiding van de leerkracht.

Data analyse

Voorafgaand aan de analyse worden alle scores, die drie standaarddeviaties boven of onder het gemiddelde zitten, verwijderd. Op de afhankelijke variabele, Cito Rekenen-Wiskunde M4, worden geen *outliers* gevonden. Op de *Dot Matrix* zijn vier *outliers* verwijderd, waarvan één lage score (score = 3) en drie hoge scores (score = 27, 28 en 31). Op de *Odd One Out* taak zijn twee lage scores verwijderd (score = 0). Op de *Symbolic Comparison Task* zijn 20 *outliers* verwijderd, allemaal lage scores (score = 11, 12 en 13). Na verwijdering van de *outliers* is de gemiddelde score op deze taak 26.81 ($sd = 3.08$, range 14 – 30)

De twee taken van het visueel-ruimtelijk werkgeheugen zullen na standaardisatie worden samengevoegd, waardoor er een samengestelde variabele wordt gevormd. Op deze manier ontstaat er één score per kind op het visueel-ruimtelijk werkgeheugen en is het mogelijk om kinderen onderling te vergelijken.

Als eerste zal de correlatie tussen verschillende variabelen eind groep 2 worden berekend. Er wordt gekeken naar de relatie tussen het visueel-ruimtelijk werkgeheugen en getalbegrip, visueel-ruimtelijk werkgeheugen en rekenvaardigheid en getalbegrip en rekenvaardigheid. Deze relatie zal worden getoetst door middel van de Pearson's correlatiecoëfficiënt.

Als blijkt dat er een relatie bestaat dan zal er door middel van een meervoudige lineaire regressieanalyse worden nagegaan of het visueel-werkgeheugen en getalbegrip eind groep 2 de rekenvaardigheid op de toets M4 kan voorspellen. Er zal worden gekeken hoeveel variantie het visueel-ruimtelijk werkgeheugen voorspelt van de rekenvaardigheidstoets M4, hoeveel variantie getalbegrip voorspelt en hoeveel beide variabelen samen voorspellen op de

rekenvaardigheidstoets M4. Op deze manier zal inzicht worden verkregen in welke variabele de grootste invloed heeft op de rekenvaardigheidstoets M4.

Hierna zullen er vier groepen kinderen worden gemaakt, eind groep 2, op basis van het visueel-ruimtelijk werkgeheugen en getalbegrip: 1) visueel-ruimtelijk tekort; 30% laagst scorende kinderen op visueel-ruimtelijk werkgeheugen. 2) getalbegrip tekort; 30% laagst scorende kinderen op het getalbegrip. 3) dubbel tekort; 30% laagst scorende kinderen op zowel visueel-ruimtelijk werkgeheugen en getalbegrip. 4) geen tekort; alle kinderen boven de 30% laagst scorende kinderen. Hierna zal een ANCOVA worden uitgevoerd om te kijken hoe de verschillende kinderen het doen op rekenvaardigheid. Als blijkt dat de groepen significant van elkaar verschillen dan zal er door middel van de post hoc toets van Bonferroni worden gekeken welke groepen van elkaar verschillen. Vervolgens zal de toets nogmaals worden uitgevoerd, maar dan zonder de vierde groep erbij. Op deze manier wordt getracht beter in kaart te kunnen brengen of er een significant verschil is tussen de groepen en op welke manier deze groepen verschillen.

Resultaten

In Tabel 3 zijn de beschrijvende statistieken weergegeven van het visueel-ruimtelijk werkgeheugen (gestandaardiseerde score), getalbegrip en de rekenvaardigheid M4 met gemiddelden en standaarddeviaties. Bij alle variabelen geldt dat hoe hoger de waarde des te beter het resultaat op de betreffende toets.

Tabel 3

Beschrijvende Statistieken met Gemiddelde en Standaarddeviatie

	Visueel-ruimtelijk werkgeheugen		Getalbegrip		Rekenvaardigheid M4	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
1: Visueel ruimtelijk werkgeheugen tekort	-.88	.32	27.72	1.33	50.09	12.66
2: Getalbegrip tekort	.22	.51	22.43	2.89	48.43	15.51
3: Dubbel tekort	-.97	.36	21.82	3.17	42.84	12.47
4: Geen tekort	.50	.59	28.24	1.33	58.27	15.85
Totaal	.14	.78	26.80	3.08	54.40	15.98

Ten eerste is door middel van een Pearson correlatiecoëfficiënt de lineaire relatie tussen rekenvaardigheid, het visueel-ruimtelijk werkgeheugen en getalbegrip nagegaan. Aangezien er een positieve relatie tussen de variabelen wordt verwacht is ervoor gekozen om éézijdig te toetsen. De correlaties tussen rekenvaardigheid, het visueel-ruimtelijk werkgeheugen en getalbegrip zijn weergegeven in Tabel 4. Tussen alle variabelen zijn significante correlaties gevonden. Volgens de criteria van Cohen (1988) kunnen deze correlaties worden beschouwd als gemiddelde positieve correlaties.

Tabel 4

Correlatie tussen Visueel-ruimtelijk Werkgeheugen, Getalbegrip en Rekenvaardigheid M4

	Visueel-ruimtelijk werkgeheugen	Getalbegrip	Rekenvaardigheid M4
1: Visueel ruimtelijk werkgeheugen	-	.30*	.35*
2: Getalbegrip	.30*	-	.38*
3: rekenen M4	.35*	.38*	-

Note. * $p < .01$

Om te toetsen of het visueel-ruimtelijk werkgeheugen en getalbegrip een voorspellende functie hebben voor de rekenvaardigheid midden groep 4 is gebruik gemaakt van een lineaire regressieanalyse. Er is een enkelvoudige lineaire regressie analyse uitgevoerd voor het visueel-ruimtelijk werkgeheugen (model 1) en hierna voor getalbegrip (model 2). Daarna is een meervoudige regressieanalyse uitgevoerd om te kijken hoeveel variantie de twee variabelen samen verklaren (model 3). Alle regressiemodellen zijn significante voorspellers voor de rekenvaardigheid midden groep 4. Het visueel-ruimtelijk werkgeheugen verklaart 12% van de rekenvaardigheid midden groep 4, terwijl dit voor getalbegrip 15% is. Beide variabelen samen verklaren 21% van de rekenvaardigheid midden groep 4. In Tabel 5 zijn de resultaten van de regressie analyse voor de drie modellen weergegeven.

Als laatste stap is er door middel van een ANCOVA getoetst of de vier groepen significant verschillen op de rekenvaardigheid midden groep 4. Als covariaat is leeftijd meegenomen in de analyse. Uit de ANCOVA blijkt, na het corrigeren van leeftijd, dat de vier

groepen significant verschillen op rekenvaardigheid, $F(3, 653) = 25.71, p < .001, \eta^2 = .11$. Volgens de criteria van Cohen (1988) kan dit effect als gering worden beschouwd. Een post hoc analyse van Bonferroni is uitgevoerd om na te gaan welke groepen verschillen. Hieruit blijkt dat groep vier een significant hogere score op rekenvaardigheid heeft ten opzichte van groep één (M verschil = 8.20, $p < .001$), ten opzichte van groep twee (M verschil = 9.86, $p < .001$) en ten opzichte van groep drie (M verschil = 15.45, $p < .001$). Daarnaast blijkt dat groep één een significant hogere score op rekenvaardigheid heeft ten opzichte van groep drie (M verschil = 7.25, $p = .04$). De resultaten zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 5

Resultaten van de Regressie Analyse voor de Drie Modellen

	B	SE	β	t	p	R^2	F
<i>Model 1</i>						.12	88.55*
Constant	53.42	.59		89.87	< .001		
Visueel-ruimtelijk werkgeheugen	7.04	.75	.35	9.41	<.001		
<i>Model 2:</i>						.15	112.24*
Constant	1.31		5.04	.26	.80		
Getalbegrip	1.98	.19	.38	10.6	<.001		
<i>Model 3:</i>						.21	84.53*
Constant	11	5.06		2.17	.03		
Visueel-ruimtelijk werkgeheugen	5.19	.74	.25	6.98	<.001		
getalbegrip	1.59	.19	.31	8.43	<.001		

Note. * $p < .01$

Hierna is de toets nogmaals uitgevoerd, waarbij groep vier (zonder tekort) uit de analyse is verwijderd. Er is nagegaan of deze aanpassing zorgt voor een verandering tussen de groepen met een tekort. Uit de ANCOVA blijkt dat de drie groepen met een tekort significant verschillen op rekenvaardigheid, $F(2, 243) = 4.70, p = .010, \eta^2 = .04$. Dit effect kan evenwel als gering worden beschouwd (Cohen, 1988). Ook hierbij is een post hoc analyse van Bonferroni uitgevoerd om na te gaan welke groepen verschillen. Hieruit blijkt dat groep één een significant hogere score op rekenvaardigheid heeft ten opzichte van groep drie (M verschil = 7.29, $p = .008$). In Tabel 7 zijn de resultaten van deze toets weergegeven.

Tabel 6

Vergelijking van de Vier Groepen op Gemiddelden Midden Groep 4

Groepen	Groepen	<i>Mverschil</i>	SD
Groep 1	groep 2	1.67	2.16
	groep 3	7.25*	2.63
	groep 4	-8.20**	1.71
Groep 2	groep 1	-1.67	2.16
	groep 3	5.59	2.63
	groep 4	-9.86**	1.72
Groep 3	groep 1	-7.25*	2.63
	groep 2	-5.59	2.63
	groep 4	-15.45**	2.79
Groep 4	groep 1	8.20**	1.71
	groep 2	9.86**	1.72
	groep 3	15.45**	2.79

Note. * $p < .05$, ** $p < .01$

Tabel 7

Vergelijking van de Drie Groepen op Gemiddelden Midden Groep 4

Groepen	Groepen	<i>Mverschil</i>	SD
Groep 1	groep 2	1.72	1.97
	groep 3	7.29*	2.40
Groep 2	groep 1	-1.72	1.97
	groep 3	5.56	2.40
Groep 3	groep 1	-7.29*	2.40
	groep 2	-5.56	2.40

Note. * $p < .01$

Discussie

Het doel van de huidige studie was om te onderzoeken of er sprake is van een dubbel tekort, dus zowel problemen in het visueel-ruimtelijk werkgeheugen als getalbegrip, bij kinderen met rekenproblemen. Aangezien er veel overlap is tussen dyslexie en dyscalculie, en beiden kunnen worden verklaard vanuit gedeelde onderliggende neuropsychologische tekorten, is onderzocht of er ook bij rekenproblemen kan worden gesproken over een *double*

deficit hypothesis. Het is bekend dat bij rekenvaardigheid het werkgeheugen en getalbegrip een grote rol spelen (Landerl et al., 2009; Rotzer et al., 2009). Bovendien kunnen op basis van deze twee factoren veel kinderen worden geïdentificeerd als risico voor het ontwikkelen van hardnekkige rekenproblemen (Toll et al., 2011). Dit maakt dat het van belang is om meer inzicht te krijgen op beide factoren, zodat hardnekkige rekenproblemen kunnen worden voorkomen.

Op basis van de onderzoeksvraag en aanwezige literatuur zijn vier onderzoekshypothesen opgesteld, namelijk: 1) zowel het werkgeheugen als het getalbegrip zijn gerelateerd aan rekenvaardigheid; 2) op basis van het visueel-ruimtelijk werkgeheugen en getalbegrip eind groep 2, kan het resultaat op rekenvaardigheidstoets M4 worden voorspeld; 3) kinderen met zowel een tekort in het visueel-ruimtelijk werkgeheugen als in het getalbegrip scoren lager op rekenvaardigheidstoets M4 dan kinderen zonder dit tekort; 4) kinderen met zowel een tekort in het visueel-ruimtelijk werkgeheugen als in het getalbegrip scoren lager op rekenvaardigheidstoets M4 dan kinderen met een enkel tekort.

In lijn met de verwachting kan worden geconcludeerd dat hypothese 1 is aangenomen. Er is een positieve gemiddelde correlatie gevonden tussen het visueel-ruimtelijk werkgeheugen, getalbegrip en rekenvaardigheid. Daarnaast is uit de resultaten gebleken dat, in overeenstemming met eerder onderzoek (Krajweski & Schneider, 2009; Sasanguie et al., 2013), het visueel-ruimtelijk werkgeheugen en getalbegrip significante voorspellers zijn voor de rekenvaardigheidstoets M4. De verklaarde variantie van het visueel-ruimtelijk werkgeheugen is 12%. De verklaarde variantie van getalbegrip is sterker in vergelijking met het visueel-ruimtelijk werkgeheugen, namelijk 15%. Dit kan mogelijk worden verklaard doordat getalbegrip kan worden gezien als de basis voor rekenvaardigheden, waardoor getalbegrip met name op jonge leeftijd een grote voorspellende functie heeft (Toll et al., 2011). Als laatste blijkt dat beide variabelen samen 21% variantie verklaren op de rekenvaardigheidstoets M4. Dit is in overeenstemming met het onderzoek van Toll en collega's (2011), waaruit blijkt dat het werkgeheugen en getalbegrip gezamenlijk de rekenvaardigheid deels kunnen voorspellen. De verklaarde variantie in het onderzoek van Toll en collega's (2011) is daarentegen wel groter, namelijk 66.7%. Het verschil in verklaarde variantie kan mogelijk worden verklaard door een verschil in de studies tussen een korte of lange termijn voorspelling (Mazzocco & Thompson, 2005). Een korte termijn voorspelling zorgt mogelijk voor meer verklaarde variantie in vergelijking met een lange termijn voorspelling. Bovenstaande betekent dat ook hypothese 2 kan worden aangenomen.

Daarnaast kan in lijn met de verwachting worden geconcludeerd dat hypothese 3 kan worden aangenomen. Dit betekent dat kinderen met een dubbel tekort, dus zowel een tekort in het visueel-ruimtelijk werkgeheugen als getalbegrip, lager scoren op de rekenvaardigheidstoets M4 dan kinderen zonder dit tekort. Ondanks dat er weinig onderzoek aanwezig is waarin het visueel-ruimtelijk werkgeheugen en getalbegrip gezamenlijk naar voren komen, komt deze bevinding overeen met de onderzoeken van Gathercole en collega's (2004), en Von Aster en Shalev (2007). Deze onderzoeken suggereren dat kinderen met rekenproblemen vaak een tekort hebben in zowel het werkgeheugen als getalbegrip. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat getallen eerst moeten worden begrepen, voordat deze kunnen worden bewerkt en/of opgeslagen in het werkgeheugen (Landerl, Bevan, & Butterworth, 2004). Dit betekent dat beide begrippen aan elkaar gerelateerd zijn en op deze manier invloed uitoefenen op de rekenvaardigheid.

De vierde, en tevens laatste hypothese, kan deels worden aangenomen. Kinderen met een dubbel tekort scoren lager op rekenvaardigheidstoets M4 dan kinderen met een enkel tekort in het visueel-ruimtelijk werkgeheugen. Daarentegen scoren kinderen met een dubbel tekort niet lager op de rekenvaardigheidstoets M4 dan kinderen met een enkel tekort op getalbegrip. Dit is niet in lijn met de verwachting. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat het visueel-ruimtelijk werkgeheugen ondergeschikt is aan getalbegrip en een mediërende rol heeft binnen de rekenvaardigheid (Geary, Hoard, Byrd-Craven, Nugent, & Numtee, 2007). Dit leidt tot de conclusie dat kinderen met enkel een tekort op het visueel-ruimtelijk werkgeheugen het beter doen op de rekenvaardigheidstoets M4 dan kinderen met een dubbel tekort.

Sterke en zwakke punten

Binnen dit onderzoek zijn er meerdere sterke punten te benoemen. Als eerste kan worden benoemd dat het onderzoek bestaat uit een grote steekproef en een selectie van leerlingen uit verschillende scholen verspreid in Nederland. Het onderzoek heeft een longitudinaal design. Hierdoor laat dit onderzoek het generaliseren van de bevindingen toe. Alle taken zijn daarnaast gestructureerd afgenomen bij de leerlingen en de taken van het visueel-ruimtelijk werkgeheugen hebben een goede betrouwbaarheid en validiteit. Als laatste sterke punt kan worden benoemd dat het onderzoek maatschappelijk relevant kan worden genoemd. Door meer inzicht te verkrijgen op de factoren die van invloed zijn op de rekenvaardigheid, kunnen rekenproblemen in de toekomst eerder worden gesignaleerd. Als hier een passende aanpak op volgt zorgt dit voor minder uitval in het rekenonderwijs, wat bovendien kostenbesparend is.

Daarnaast zijn er ook een aantal beperkingen te noemen van dit onderzoek. Als eerste beperking kan worden genoemd dat het uitgevoerde onderzoek een onderdeel was van een groter onderzoek. Hierdoor heeft een deel van de kinderen een interventie gevolgd gericht op het verbeteren van de rekenvaardigheid. Dit kan mogelijk de resultaten hebben beïnvloed. Een andere beperking van dit onderzoek is dat er veel kinderen zijn uitgevallen in de periode tussen eind groep 2 en midden groep 4, met name kinderen uit de groep met een dubbel tekort. Hierdoor konden veel leerlingen, waarvan geen score bekend was midden groep 4, niet meer mee worden genomen in het onderzoek. Ondanks dat er nog steeds veel respondenten in het onderzoek waren opgenomen, was dit mogelijk wel van invloed op de gevonden resultaten. Het kan zijn dat de niet meer participerende leerlingen geen gemiddelde afspiegeling vormden van de gehele oorspronkelijke populatie. Tevens kan als kritisch punt worden benoemd dat de interne consistentie als de test-hertest betrouwbaarheid van de *Symbolic Comparison Task* niet noemenswaardig sterk is ($\alpha = .67$). Als laatste punt kan worden benoemd dat er op deze taak 20 outliers zijn verwijderd. Dit is relatief veel, waardoor het de vraag is of hierdoor mogelijk niet de ‘echt’ zwakke rekenaars uit de analyse zijn verwijderd.

Aanbevelingen voor verder onderzoek

Aangezien er nog steeds discussie is over welk component van het werkgeheugen het sterkst gerelateerd is aan rekenprestaties, zou het interessant zijn om vervolgonderzoek te richten op alle componenten van het werkgeheugen. Hierdoor kan meer inzicht worden verkregen over de verschillen tussen de componenten en op welke leeftijd welk component de sterkste invloed heeft. Tevens zou vervolgonderzoek zich kunnen richten op kinderen met dyscalculie, aangezien dit onderzoek zich niet specifiek op deze doelgroep heeft gericht. Hierdoor kunnen kinderen met dyscalculie en dyslexie nauwkeuriger worden onderscheiden en wordt meer inzicht verkregen over het ‘dubbel tekort’ model.

Conclusie

Kinderen met een dubbel tekort, dus zowel een tekort hebben in het werkgeheugen als getalbegrip, laten meer rekenproblemen zien dan kinderen zonder tekort. Daarnaast kan worden gesteld dat kinderen met een dubbel tekort meer rekenproblemen laten zien dan kinderen met enkel een tekort op het visueel-ruimtelijk werkgeheugen. Er is geen verschil gevonden in rekenproblemen tussen kinderen met een dubbel tekort en kinderen met enkel een tekort in getalbegrip.

Literatuur

- Alloway, T. P. (2007). *Automated Working Memory Assessment*. London: Harcourt Assessment.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Kirkwood, H., & Elliot, J. (2008). Evaluating the validity of the automated working memory assessment. *Educational Psychology, 28*, 725-734. doi:10.1080/01443410802243828
- American Psychological Association. (2010). *Publication manual of the American Psychological Association* (6th ed.). Washington, DC: Author
- Andersson, U., & Lyxell, B. (2007). Working memory deficit in children with mathematical difficulties: A general or specific deficit? *Journal of Experimental Child Psychology, 96*, 197-228. doi:10.1016/j.jecp.2006.10.001
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences, 4*, 417-423. doi:10.1016/S1364-6613(00)01538-2
- Baddeley, A. D. (2003). Working memory and language: An overview. *Journal of Communication Disorders, 36*, 189-208. doi:10.1016/S0021-9924(03)00019-4
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 47-89). London: Academic Press.
- Barth, H., La Mont, K., Lipton, J., & Spelke, E. S. (2005). Abstract number and arithmetic in preschool children. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102*, 14116-14121. doi:10.1073/pnas.0505512102
- Berch, D. B. (2005). Making sense of number sense: Implications for children with mathematical disabilities. *Journal of Learning Disabilities, 38*, 333-339. doi:10.1177/00222194050380040901
- Centrale Financiën Instellingen (2006). *Nieuwe gewichtenregeling basisonderwijs*. Verkregen op 18-06-2014 via <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2006/04/26/nieuwe-gewichtenregeling-basisonderwijs.html>
- Clarke, B., & Shinn, M. R. (2004). A preliminary investigation into the identification and development of early mathematics curriculum-based measurement. *School Psychology Review, 33*, 234-248.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analyses for the behavioural sciences*. New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- D' Amico, A., & Guarnera, M. (2005). Exploring working memory in children with low arithmetical achievement. *Learning and Individual Differences, 15*, 189-202. doi:10.1016/j.lindif.2005.01.002

- Davidse, N. J., De Jong, M. T., Shaul, S., & Bus, A. G. (2014). A twin-case study of developmental number sense impairment. *Cognitive Neuropsychology*, *31*, 221-236. doi:10.1080/02643294.2013.876980
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, *44*, 1-42. doi:10.1016/0010-0277(92)90049-N
- Dehaene S. (1997). *The number sense. how the mind creates mathematics*. New York: Oxford University Press
- Dehaene, S. (2001) Précis of the number sense. *Mind and Language*, *16*, 16-36. doi: 10.1111/1468-0017.00154
- De Smedt, B., Janssen, R., Bouwens, K., Verschaffel, L., Boets, B., & Ghesquière, P. (2009). Working memory and individual differences in mathematics achievement: A longitudinal study from first grade to second grade. *Journal of Experimental Child Psychology*, *103*, 186-201. doi:10.1016/j.jecp.2009.01.004
- De Smedt, B., & Gilmore, C. K. (2011). Defective number module or impaired access? Numerical magnitude processing in first graders with mathematical difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, *108*, 278-292. doi:10.1016/j.jecp.2010.09.003
- Desoete, A., Ceulemans, A., De Weerd, F., & Pieters, S. (2012). Can we predict mathematical learning disabilities from symbolic and non-symbolic comparison tasks in kindergarten? Findings from a longitudinal study. *British Journal of Educational Psychology*, *82*, 64-81. doi:10.1348/2044-8279.002002
- DeStefano, D., & Lefevre, J. (2004). The role of working memory in mental arithmetic. *European Journal of Cognitive Psychology*, *16*, 353-386. doi:10.1080/09541440244000328
- Fürst, A. J., & Hitch, G. J. (2000). Separate roles for executive and phonological components of working memory in mental arithmetic. *Memory & Cognition*, *28*, 774-782. doi:10.3758/BF03198412
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C., & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology*, *18*, 1-16. doi:10.1002/acp.934
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Byrd-Craven, J., Nugent, L., & Numtee, C. (2007). Cognitive mechanisms underlying achievement deficits in children with mathematical learning disability. *Child Development*, *78*, 1343-1359. doi:10.1111/j.1467-8624.2007.01069.x
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Nugent, L., & Byrd-Craven, J. (2008). Development of

- number line representations in children with mathematical learning disability. *Developmental Neuropsychology*, *33*, 277-299. doi:10.1080/87565640801982361
- Gersten, R., Jordan, N. C., & Flojo, J. R. (2005). Early identification and interventions for students with mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, *38*, 293-304. doi:10.1177/00222194050380040301
- Gilmore, C. K., McCarthy, S. E., & Spelke, E. S. (2010). Non-symbolic arithmetic abilities and mathematics achievement in the first year of formal schooling. *Cognition*, *115*, 394-406. doi:10.1016/j.cognition.2010.02.002
- Hassinger-Das, B., Jordan, N. C., Glutting, J., Irwin, C., & Dyson, N. (2014). Domain-general mediators of the relation between kindergarten number sense and first-grade mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*, *118*, 78-92. doi:10.1016/j.jecp.2013.09.008
- Holmes, J., & Adams, J. W. (2006). Working memory and children's mathematical skills: Implications for mathematical development and mathematics curricula. *Educational Psychology*, *26*, 339-366. doi:10.1080/01443410500341056
- Janssen, J., Verhelst, N., Engelen, R. & Scheltens, F. (2010). *Wetenschappelijke verantwoording van de toetsen LOVS Rekenen-Wiskunde voor groep 3 tot en met 8*. Arnhem: Cito.
- Jordan, N. C., Glutting, J., Dyson, N., Hassinger-Das, B., & Irwin, C. (2012). Building kindergartners' number sense: a randomized controlled study. *Journal of Educational Psychology*, *104*, 647-660. doi:10.1037/a0029018
- Jordan, N. C., Hanich, L. B., & Kaplan, D. (2003). A longitudinal study of mathematical competencies in children with specific mathematics difficulties versus children with comorbid mathematics and reading difficulties. *Child Development*, *74*, 834-850. doi:10.1111/1467-8624.00571
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Ramineni, C., & Locuniak, M. N. (2009). Early math matters: Kindergarten number competence and later mathematics outcomes. *Developmental Psychology*, *45*, 850-867. doi:10.1037/a0014939
- Kolkman, M. E., Kroesbergen, E. H., & Leseman, P. P. M. (2013). Early numerical development and the role of non-symbolic and symbolic skills. *Learning and Instruction*, *25*, 95-103. doi:10.1016/j.learninstruc.2012.12.001
- Korvorst, M. (2006). Getallen omzetten in taal. *Neuropraxis*, *10*, 59-63. doi:10.1007/BF03079084
- Krajewski, K., & Schneider, W. (2009). Exploring the impact of phonological awareness,

- visual-spatial working memory, and preschool quantity-number competencies on mathematics achievement in elementary school: Findings from a 3-year longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, *103*, 516-531.
doi:10.1016/j.jecp.2009.03.009
- Kyttälä, M., Aunio, P., & Hautamäki, J. (2010). Working memory resources in young children with mathematical difficulties. *Scandinavian Journal of Psychology*, *51*, 1-15.
doi:10.1111/j.1467-9450.2009.00736.x
- Kyttälä, M., Aunio, P., Lehto, J. E., Van Luit, J. E. H., & Hautamäki, J. (2003). Visuospatial working memory and early numeracy. *Educational and Child Psychology*, *20*, 65-76.
- Landerl, K., Bevan, A., & Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8–9 year old students. *Cognition*, *92*, 99–125.
doi:10.1016/j.cognition.2003.11.004
- Landerl, K., Fussenegger, B., Moll, K., & Willburger, E. (2009). Dyslexia and dyscalculia: Two learning disorders with different cognitive profiles. *Journal of Experimental Child Psychology*, *103*, 309-324. doi:10.1016/j.jecp.2009.03.006
- LeFevre, J., Fast, L., Skwarchuk, S., Smith-Chant, B. L., Bisanz, J., Kamawar, D., & Penner-Wilger, M. (2010). Pathways to mathematics: Longitudinal predictors of performance. *Child Development*, *81*, 1753-1767. doi:10.1111/j.1467-8624.2010.01508
- LeFevre, J., Skwarchuk, S., Smith-Chant, B. L., Fast, L., Kamawar, D., & Bisanz, J. (2009). Home numeracy experiences and children's math performance in the early school years. *Canadian Journal of Behavioural Science*, *41*, 55-66. doi:10.1037/a0014532
- Mazzocco, M. M. M., & Thompson, R. E. (2005). Kindergarten predictors of math learning disability. *Learning Disabilities Research & Practice*, *20*, 142-155.
doi:10.1111/j.1540-5826.2005.00129.x
- Mundy, E., & Gilmore, C. K. (2009). Children's mapping between symbolic and nonsymbolic representations of number. *Journal of Experimental Child Psychology*, *103*, 490-502.
doi:10.1016/j.jecp.2009.02.003
- Passolunghi, M. C., & Lanfranchi, S. (2012). Domain-specific and domain-general precursors of mathematical achievement: A longitudinal study from kindergarten to first grade. *British Journal of Educational Psychology*, *82*, 42-63. doi:10.1111/j.2044-8279.2011.02039.x
- Passolunghi, M. C., & Siegel, L. S. (2001). Short-term memory, working memory, and inhibitory control in children with difficulties in arithmetic problem solving. *Journal of Experimental Child Psychology*, *80*, 44-57. doi:10.1006/jecp.2000.2626

- Passolunghi, M. C., Vercelloni, B., & Schadee, H. (2007). The precursors of mathematics learning: Working memory, phonological ability and numerical competence. *Cognitive Development, 22*, 165-184. doi:10.1016/j.cogdev.2006.09.001
- Raghubar, K. P., Barnes, M. A., & Hecht, S. A. (2010). Working memory and mathematics: A review of developmental, individual difference, and cognitive approaches. *Learning and Individual Differences, 20*, 110-122. doi:10.1016/j.lindif.2009.10.005
- Reuhkala, M. (2001). Mathematical skills in ninth-graders: Relationship with visuo-spatial abilities and working memory. *Educational Psychology, 21*, 387-399. doi:10.1080/01443410120090786
- Rotzer, S., Loenneker, T., Kucian, K., Martin, E., Klaver, P., & Von Aster, M. (2009). Dysfunctional neural network of spatial working memory contributes to developmental dyscalculia. *Neuropsychologia, 47*, 2859-2865. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.009
- Rouselle, L., & Noël, M. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs. non-symbolic number magnitude processing. *Cognition, 102*, 361-395. doi:10.1016/j.cognition.2006.01.00
- Sasanguie, D., Göbel, S. M., Moll, K., Smets, K., & Reynvoet, B. (2013). Approximate number sense, symbolic number processing, or number-space mappings: What underlies mathematics achievement? *Journal of Experimental Child Psychology, 114*, 418-431. doi:10.1016/j.jecp.2012.10.012
- Schuchardt, L., Maehler, C., & Hasselhorn, M. (2008). Working memory deficits in children with specific learning disorders. *Journal of Learning Disabilities, 41*, 514-523. doi:10.1177/0022219408317856
- Toll, S. W. M., Van der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. H. (2011). Executive functions as predictors of math learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities, 44*, 521-532. doi:10.1177/0022219410387302
- Toll, S. W., & Van Luit, J. E. H. (2013). The development of early numeracy ability in kindergartners with limited working memory skills. *Learning and Individual Differences, 25*, 45-54. doi:10.1016/j.lindif.2013.03.006.
- Van Luit, J. E. H., & Van de Rijt, B. A. M. (2009). *Handleiding Utrechtse Getalbegrip Toets-Revised*. Doetinchem: Graviant
- Von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine & Child Neurology, 49*, 868-873. doi:10.1111/j.1469-8749.2007.00868.x

- Willcutt, E. G., Petrill, S. A., Wu, S., Boada, R., DeFries, J. C., Olsen, R. K., & Pennington, B. F. (2013). Comorbidity between reading disability and math disability: Concurrent psychopathology, functional impairment, and neuropsychological functioning. *Journal of Learning Disabilities, 6*, 500-515. doi:10.1177/0022219413477476
- Wolf, M., & Bowers, P. G. (1999). The double deficit hypothesis for the developmental dyslexias. *Journal of Educational Psychology, 91*, 415-438. doi:10.1037/0022-0663.91.3.415