

Mediërend Effect van Werkgeheugen op de Relatie tussen Verwerkingsnelheid en

Getalbegrip

Definitieve versie

Master's thesis

Utrecht University

Master's programme in Clinical Child, Family and Education Studies

Student: Meggie de Groot

Studentnummer: 4115767

Eerste beoordelaar: Ilona Friso-van den Bos

Tweede beoordelaar: Marije Stolte

Datum: 12 juni 2018

Aantal woorden: 4787 (4387 zonder tabellen en figuren)

Samenvatting

Achtergrond: In deze studie is gekeken of werkgeheugen de relatie tussen verwerkingssnelheid en getalbegrip medieert. Hierbij is uitgegaan van alfanumerieke, non-alfanumerieke en gecombineerde verwerkingssnelheid en symbolisch getalbegrip. Leeftijd en geslacht werden meegenomen als covariaten. **Methode:** Dit onderzoek maakte deel uit van een project dat naar voorspellers van rekenvaardigheden keek. Aan het onderzoek hebben 49 jongens en 49 meisjes in de leeftijd van 6;3 tot 10;2 jaar deelgenomen. Het werkgeheugen is gemeten met de taken word recall forwards, word recall backwards, dotmatrix en odd one out. Getalbegrip is gemeten met een symbolische getallenlijntaak. Verwerkingssnelheid werd gemeten door een taak gebaseerd op de *Rapid Automated Naming [RAN]*. **Resultaten:** De mediatieanalyse is uitgevoerd met behulp van de PROCESS-tool van Hayes (2012). Uit de analyses bleek dat alfanumerieke verwerkingssnelheid en getalbegrip een relatie hebben die gemedieerd wordt door het werkgeheugen. Het indirecte effect is hierbij klein tot middelgroot en heeft een borderline significantie. Volgens de analyses bestaat geen relatie tussen non-alfanumerieke verwerkingssnelheid of gecombineerde verwerkingssnelheid en getalbegrip. In alle modellen kan gesproken worden van een positieve relatie tussen werkgeheugen en getalbegrip. Tevens bleek dat de covariaten geslacht en leeftijd het grootste deel van de variantie bepaalden en niet de onafhankelijke of mediërende variabele. **Conclusie:** De gevonden resultaten werden op basis van de literatuur verwacht. Echter, de bevinding dat de gecombineerde verwerkingssnelheid geen relatie onderhield met getalbegrip spreekt eerder onderzoek tegen. Voor vervolgonderzoek wordt geadviseerd gebruik te maken van geavanceerdere meetapparatuur. Daarnaast wordt beargumenteerd waarom ook de rol van niet-symbolisch getalbegrip onderzocht moet worden.

Trefwoorden: getalbegrip, werkgeheugen, verwerkingssnelheid, mediatieanalyse

Abstract

Background: This study examined if working memory mediates the relation between processing speed and number sense. Processing speed was divided into alphanumeric, non-alphanumeric and combined processing speed and the study only examined symbolic number sense. Age and gender were used as covariates. **Methods:** This study was part of a project which investigated predictors of mathematical ability. A total of 49 boys and 49 girls in an age range of 6;3 to 10;2 years participated in the study. Working memory was assessed with word recall forwards, word recall backwards, dotmatrix and odd one out. Number sense was assessed with a symbolic number line task. Processing speed was assessed with a task based on the *Rapid*

Automatized Naming [RAN]. **Results:** A mediation analysis has been done using the PROCESS-tool of Hayes (2012). Working memory mediated the relation between alphanumeric processing speed and number sense, with a small to medium indirect effect. There is no relation between non-alphanumeric or combined processing speed and number sense. The three models showed a positive relation between working memory and number sense. The covariates age and gender explained most of the variance in the model rather than the independent or mediating variable. **Conclusion:** The results were expected based on literature. Nevertheless, the finding that combined processing speed has no influence wasn't expected. For further research, the use of advanced measuring equipment is advised. Moreover, the role of non-symbolic number sense needs to be specifically investigated.

Keywords: Number sense, working memory, processing speed, mediation analysis

Mediërend Effect van Werkgeheugen op de Relatie tussen Verwerkingssnelheid en Getalbegrip

Vandaag de dag is het Nederlandse rekenonderwijs onderwerp van gesprek, omdat de rekenvaardigheid van de leerlingen achterblijft en het niveau van het rekenonderwijs onder druk staat (Inspectie van het Onderwijs, 2017a; 2017b). De Inspectie van het Onderwijs wil weten welke oorzaken een rol spelen bij de neergaande trend en wat gedaan kan worden om de prestaties van leerlingen te verbeteren. Om hier een antwoord op te kunnen geven is het van belang te weten welke factoren een rol spelen bij het verwerven van rekenkundige vaardigheden. Bij het verwerven van rekenkundige vaardigheden spelen domein-algemene factoren, zoals werkgeheugen en verwerkingssnelheid, en domein-specifieke factoren, zoals getalbegrip, een rol (Butterworth, 2005; Passolungi & Lanfranchi, 2012; Sasanguie, Göbel, Moll, Smets, & Reynvoet, 2013). Huidig onderzoek bekijkt de onderlinge relaties tussen werkgeheugen, verwerkingssnelheid en getalbegrip om zo een antwoord te geven op de vraag hoe de rekenprestaties van leerlingen verbeterd kunnen worden.

De domein-algemene factor werkgeheugen speelt een rol bij het verwerven van rekenvaardigheden, omdat veel rekentaken veronderstellen dat informatie gelijktijdig verwerkt en opgeslagen wordt (Raghubar, Barnes, & Hecht, 2010). Het werkgeheugen is een gelimiteerd capaciteitssysteem dat de tijdelijke opslag en manipulatie van informatie toestaat. Het werkgeheugen bestaat uit een centrale uitvoeringssysteem, visueel-ruimtelijke kladblok, fonologische lus en een episodische buffer (Baddeley, 2000). Het centrale uitvoeringssysteem controleert en reguleert de informatie die in het visueel-ruimtelijke kladblok en de fonologische lus aanwezig is (Baddeley & Hitch, 1974) en wordt door onderzoekers onderverdeeld in de drie executieve functies *shifting*, *updating* en *inhibitie* (Miyake et al., 2000). Het visueel-ruimtelijk kladblok onthoudt visueel-ruimtelijke informatie. De fonologische lus slaat auditieve informatie op. De episodische buffer integreert informatie uit verschillende bronnen en vormt een overgangsgebied tussen de fonologische lus of het visueel-ruimtelijk kladblok en het langtermijngeheugen (Baddeley, 2000). Het is een abstract concept dat moeilijk te meten is en waar meer onderzoek naar gedaan moet worden (Baddeley, Allen, & Hitch, 2010; Rudner & Rönnerberg, 2008).

In het onderzoek dat gedaan is naar de relatie tussen werkgeheugen en rekenvaardigheden bestaat weinig consensus over welk werkgeheugenonderdeel het meest aan rekenvaardigheden bijdraagt (Friso-van den Bos, van der Ven, Kroesbergen, & van Luit, 2013). Dit komt onder andere door het grote aantal onderdelen die het werkgeheugen omvat en de complexiteit en verscheidenheid aan taken die het werkgeheugen meten (Baddeley, 2007).

Peng, Namkung, Barnes & Sun (2015) concluderen dat de relatie tussen het werkgeheugen en rekenvaardigheden meer gestuurd wordt door het centrale uitvoeringssysteem, dan door specifieke werkgeheugenonderdelen. Uit hun onderzoek blijkt tevens dat een composietscore of een taak die meerdere werkgeheugenonderdelen meet, sterker gerelateerd is aan getalbegrip dan scores of taken met betrekking tot één werkgeheugenonderdeel (Peng et al., 2015). Zij suggereren dan ook gebruik te maken van een test die meerdere werkgeheugenonderdelen tegelijkertijd meet, omdat dit betrouwbaarder zou zijn (Peng et al., 2015).

Wanneer specifiek gekeken wordt naar de relatie tussen werkgeheugen en getalbegrip, blijkt dat werkgeheugen substantieel bijdraagt aan de ontwikkeling van getalbegrip (Epsy et al., 2004; Kroesbergen, van de Rijt, & van Luit, 2007). Dit is zowel het geval bij kinderen met als zonder rekenproblemen (Kyttälä, Aunio, & Hautamäki, 2010; Kyttälä, Aunio, Lepola, & Hautamäki, 2014). Ook hier is het onduidelijk of dit gekoppeld kan worden aan een specifiek werkgeheugenonderdeel. Volgens Holmes, Adams en Hamilton (2008) spelen alle werkgeheugenonderdelen een belangrijke rol bij het ontwikkelen van getalbegrip.

De tweede domein-algemene factor die in dit onderzoek centraal staat, is verwerkingssnelheid. Verwerkingssnelheid bepaalt de capaciteit van onder andere het werkgeheugen, omdat het verwerken van informatie tijd kost (Conway, Cowan, Bunting, Theriault, & Minkoff, 2002). Door een hogere verwerkingssnelheid heeft informatie minder tijd om te vervagen, wordt een groter aantal netwerken geactiveerd en wordt meer informatie in dezelfde tijd verwerkt (Conway et al., 2002; Salthouse, 1996). Cognitieve operaties worden daardoor sneller en efficiënter uitgevoerd, dit is van belang voor onder andere het functioneren op school (Kail & Salthouse, 1994; Rindermann & Neubauer, 2004). Verwerkingssnelheid neemt toe tot aan de adolescentie, bereikt dan een plafond en neemt daarna langzaam af (Salthouse & Kail, 1983, zoals geciteerd in Kail & Salthouse, 1994).

De relatie tussen verwerkingssnelheid en rekenvaardigheden is weinig onderzocht (Bull & Johnston, 1997). Bull en Johnston (1997) toonden een positief verband aan tussen rekenvaardigheid en verwerkingssnelheid. Zij veronderstellen dat verwerkingssnelheid de beste indicator is voor rekenvaardigheid en dat verwerkingssnelheid, onafhankelijk van de invloed van het werkgeheugen, bijdraagt aan het ontwikkelen van rekenvaardigheden en rekenprestaties. Uit ander onderzoek blijkt echter dat de relatie tussen verwerkingssnelheid en rekenvaardigheden gemedieerd wordt door het werkgeheugen (Berg, 2008; Clark, Sheffield, Wiebe, & Epsy, 2013; Hecht, Torgesen, Wagner, & Rashotte, 2001). Een daling in het werkgeheugen zou een afname in de verwerkingssnelheid en andere cognitieve processen veroorzaken (Fry & Hale, 1996; Salthouse, 1996). Verwerkingssnelheid is vooral van belang

wanneer kinderen niet zo vaardig zijn in rekenen, omdat verwerkingssnelheid invloed verliest naarmate de verschuiving van simpel naar complex rekenen plaatsvindt (Berg, 2008; Hecht et al., 2001). Uit deze onderzoeken kan worden afgeleid dat enige afhankelijkheid bestaat tussen de factoren verwerkingssnelheid, werkgeheugen en rekenvaardigheden, maar dat niet bekend is hoe verwerkingssnelheid en werkgeheugen van invloed zijn op getalbegrip.

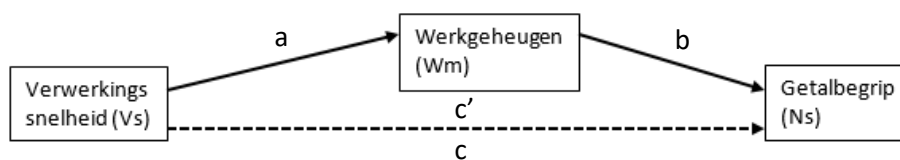
Verwerkingssnelheid kan gemeten worden door de benoemsnelheid van een reeks dagelijkse visuele stimuli te meten (Denckla & Rudel, 1976). Hierbij wordt onderscheid gemaakt in alfanumerieke stimuli (letters en cijfers) en non-alfanumerieke stimuli (objecten en kleuren). De benoemsnelheid meet niet alle vormen van verwerkingssnelheid, maar wel die vorm die de meeste onderwijsrelevantie heeft, namelijk het serieel coderen van visuele stimuli zoals woorden en (meercijferige) getallen (Carroll, 1993; Wolf, Bowers, & Biddle, 2000).

Naast de domein-algemene factoren verwerkingssnelheid en werkgeheugen staat in dit onderzoek ook de domein-specifieke factor getalbegrip centraal. Getalbegrip is het fundament voor formeel rekenen, is van belang voor het aanleren en toepassen van rekenen en zorgt ervoor dat rekenen logisch wordt voor kinderen (Gersten, Jordan, & Flojo, 2005; Howden, 1989; Jordan, Kaplan, Locuniak, & Ramineni, 2007). De cognitieve vaardigheid die het meest aan getalbegrip gekoppeld wordt, is de mentale getallenlijn. Daarom wordt getalbegrip gedefinieerd als de vaardigheid om een getal te representeren en manipuleren op de mentale getallenlijn. De mentale getallenlijn is een analoge representatie van hoeveelheden en de getallen geven de onderlinge verdeling weer (Dehaene, 2001). Getallen worden geordend in overeenstemming met hun grootte en worden met elkaar vergeleken door hun locatie op de mentale getallenlijn te schatten (Laski & Siegler, 2007). De getallenlijn kan voor zowel symbolisch (cijfers) als niet-symbolisch (hoeveelheden) getalbegrip gebruikt worden (Kolkman, Kroesbergen, & Leseman, 2013). Naarmate kinderen ouder worden zijn zij in staat symbolisch en niet-symbolisch getalbegrip te integreren tot één proces. De getallenlijn wordt dan als een *mapping*-taak gezien (Kolkman et al., 2013).

Kortom, er is veel onderzoek gedaan naar de relatie tussen verwerkingssnelheid en algemene rekenvaardigheden (Berg, 2008; Bull & Johnston, 1997; Hecht et al., 2001), de relatie tussen werkgeheugen en verwerkingssnelheid (Berg, 2008; Clark et al., 2013; Fry & Hale, 1996; Hecht et al., 2001; Salthouse, 1996) en de relatie tussen werkgeheugen en getalbegrip (Kyttälä et al., 2010; Kyttälä et al., 2014; Peng, et al., 2015). Echter, een kennishiaat bestaat wanneer gekeken wordt naar de relatie tussen verwerkingssnelheid en getalbegrip. Het is dan ook van belang meer onderzoek te doen naar de rol die verwerkingssnelheid en werkgeheugen spelen bij het ontwikkelen van getalbegrip (Berg, 2008; Bull & Johnston, 1997; Clark et al.,

2013; Friso- van den Bos, 2013; Fry & Hale, 1996; Hecht et al., 2001; Salthouse, 1996). Door in dit onderzoek te kijken naar de relaties tussen werkgeheugen, verwerkingssnelheid en getalbegrip, zie Figuur 1, kunnen nieuwe inzichten gecombineerd worden met al aanwezige kennis. Op die manier kan bepaald worden waar in het rekenonderwijs rekening mee gehouden moet worden en op welke factor interventies het beste ingezet kunnen worden. Momenteel is bijvoorbeeld wel onderzoek gedaan naar interventies met betrekking tot getalbegrip en werkgeheugen (Dehn, 2011; Gersten et al., 2005), maar is weinig bekend over interventies met betrekking tot verwerkingssnelheid en getalbegrip.

Recent is getracht het kennishiaat met betrekking tot de relatie tussen verwerkingssnelheid en getalbegrip te verkleinen (Tosto et al., 2017). Uit het onderzoek bleek dat verwerkingssnelheid alleen samenhangt met niet-symbolisch getalbegrip (Tosto et al., 2017). In dit onderzoek is alleen gekeken naar de twee vormen van getalbegrip (symbolisch en niet-symbolisch) en is geen onderscheid gemaakt tussen de vormen verwerkingssnelheid (alfanumeriek en non-alfanumeriek). Eerder is ook al eens onderzoek gedaan naar de gemedieerde invloed van verwerkingssnelheid (Rindermann & Neubauer, 2004). Hierbij werden echter andere mediators (intelligentie en creativiteit) en een andere afhankelijke variabele (schoolpresteren) gebruikt. Daarnaast werd geen onderscheid gemaakt in de vormen verwerkingssnelheid en werd het onderzoek uitgevoerd bij een andere leeftijdsgroep.



Figuur 1. Relatie tussen Verwerkingssnelheid en Getalbegrip gemedieerd door Werkgeheugen

Om de rol van en onderlinge relatie tussen verwerkingssnelheid en werkgeheugen bij het ontwikkelen van getalbegrip te onderzoeken is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: Is er sprake van een mediërend effect van het werkgeheugen op de relatie tussen verwerkingssnelheid en getalbegrip? Hieruit vloeien de volgende deelvragen voort:

1. Is er sprake van een bestaande relatie tussen alfanumerieke, non-alfanumerieke of gecombineerde verwerkingssnelheid en getalbegrip?
2. Is er sprake van een relatie tussen alfanumerieke, non-alfanumerieke of gecombineerde verwerkingssnelheid en werkgeheugen?
3. Is er sprake van een relatie tussen werkgeheugen en getalbegrip?

4. In hoeverre heeft de alfanumerieke, non-alfanumerieke of gecombineerde verwerkingssnelheid een directe invloed op getalbegrip?
5. In hoeverre heeft de alfanumerieke, non-alfanumerieke of gecombineerde verwerkingssnelheid een indirecte invloed op getalbegrip?

Verwacht wordt dat symbolisch getalbegrip en alfanumerieke verwerkingssnelheid een bestaande relatie hebben (Tosto et al., 2017). Tevens wordt verwacht dat de gecombineerde verwerkingssnelheid een positieve invloed heeft op het werkgeheugen (Rindermann & Neubauer, 2004). Het werkgeheugen heeft op haar beurt invloed op het getalbegrip. Het directe effect van de gecombineerde verwerkingssnelheid op getalbegrip is klein. Als antwoord op de hoofdvraag wordt verwacht dat de relatie tussen verwerkingssnelheid en getalbegrip gemedieerd wordt door het werkgeheugen (Berg, 2008; Clark et al., 2013; Hecht et al., 2001).

Methode

Design

In dit relationele onderzoek werd tevens gebruik gemaakt van een literatuurstudie. De onafhankelijke variabele was hierbij verwerkingssnelheid (alfanumeriek, non-alfanumeriek of gecombineerd). De afhankelijke variabele was getalbegrip en de mediërende variabele werkgeheugen. Als covariaat werden leeftijd en sekse meegenomen.

Participanten

Aan het onderzoek deden, verdeeld over vier scholen, 98 kinderen mee. Hiervan gingen 16 kinderen (16.33%) naar een internationale school waar Engelstalig onderwijs gegeven werd. Het aantal jongens en meisjes was gelijk verdeeld ($n = 49$). De gemiddelde leeftijd van de onderzochte kinderen is 7;9 jaar ($SD = 1;2$ jaar). De kinderen waren verdeeld over groep 3 ($n = 23$), groep 4 ($n = 21$), groep 5 ($n = 37$) en groep 6 ($n = 17$). Het overgrote deel van de ouders en kinderen kwam uit Nederland (respectievelijk $n = 80$ en $n = 82$). Vijf kinderen (5.10%) hebben gedoubleerd en twee kinderen (2.04 %) hebben een (leer)stoornis.

Instrumenten

Werkgeheugen. De gebruikte instrumenten waren grotendeels gebaseerd op de Automated Working Memory Assessment (AWMA; Alloway, 2007). Voor alle taken gold dat de lengte van een testblok werd verhoogd na vier correcte antwoorden. De taak werd beëindigd wanneer drie fouten binnen één testblok werden gemaakt. Het aantal correcte antwoorden werd gebruikt als meeteenheid.

Het centrale uitvoeringssysteem werd gemeten met *word recall backwards* en *odd one out*. Word recall backwards was een taak waarbij de leerling een reeks woorden van één lettergreep te horen kreeg en deze in omgekeerde volgorde moest herhalen. De lengte van het

testblok was maximaal zeven woorden. De odd one out taak bestond uit steeds drie figuren, waarbij de leerling moest aanwijzen welk figuur verschilde van de andere twee figuren en moest onthouden waar dit figuur stond. Het testblok had een maximum van 5 figuren. De test-hertest betrouwbaarheid van odd one out is $\alpha = .88$ en die van word recall backwards (gebaseerd op digit recall backwards) is $\alpha = .86$ (Alloway, Rajendran, & Archibald, 2009).

Dotmatrix werd gebruikt voor het meten van het visueel-ruimtelijk kladblok. In een 4 x 4 matrix verscheen in een van de vierkanten een stip. De leerling moest de locatie van de stip onthouden en aanwijzen. De lengte van het testblok is maximaal zeven stippen. De test-hertest betrouwbaarheid van de dotmatrix heeft een Cronbachs alfa van $\alpha = .85$ (Alloway et al., 2009).

De fonologische lus werd gemeten met *Word recall forward*. Bij deze taak kreeg de leerling een reeks woorden te horen die hij in dezelfde volgorde moest herhalen. Het testblok heeft een lengte van maximaal van zeven woorden. De test-hertest betrouwbaarheid van word recall forward heeft een Cronbachs alfa van $\alpha = .89$ (Alloway et al., 2009).

Getalbegrip. Getalbegrip werd gemeten met een getallenlijntaak (0-1000). De kinderen moesten van 2 oefenitems (0 en 1000) en 30 testitems (2, 34, 72, 94, 145, 159, 181, 202, 241, 265, 297, 309, 349, 352, 391, 413, 458, 473, 537, 541, 619, 631, 686, 694, 752, 773, 831, 849, 925, 956) aangeven waar het getal zich op de getallenlijn bevond. De gemiddelde absolute afwijking tussen de geschatte en de daadwerkelijke posities van de getallen werd gebruikt als meeteenheid. De test-hertest betrouwbaarheid van de symbolische getallenlijn is $\alpha = .79$ (Kolkman et al., 2013).

Verwerkingssnelheid. Verwerkingssnelheid werd gemeten met een aangepaste *Rapid Automated Naming* (RAN) taak. Bij deze taak werden voor kleuren (blauw, bruin, geel, groen, oranje, paars, rood, roze, zwart) 18 items en voor cijfers (1 t/m 10) 20 items voorgelegd. De leerling moest zo snel mogelijk het juiste antwoord geven. De reactietijd werd als meeteenheid gebruikt. De test-hertest betrouwbaarheid van de kleurtaak is $\alpha = .90$ en van de cijfertaak $\alpha = .92$ (Georgiou, Parrila, & Liao, 2008).

Procedure

Dit onderzoek maakte deel uit van een project waarbij gekeken werd naar eventuele voorspellers van rekenvaardigheid. Bij de kinderen werden, naast de hierboven beschreven taken, ook een patroonherkenningstaak en taken met betrekking tot shifting, updating en inhibitie afgenomen. Daarnaast werden de recentste Citorekenresultaten opgevraagd.

Voorafgaand aan het onderzoek werd aan ouders toestemming gevraagd voor vrijwillige deelname van hun kind aan het onderzoek. Bij het plannen van het testen werd rekening gehouden met belangrijke schoolactiviteiten.

De kinderen werden in de periode februari-april tweemaal individueel getest. De testen werden, met uitzondering van de patroonherkenningstaak, in een aparte, rustige ruimte binnen de school op de computer afgenomen. De computer, met aangesloten muis, stond recht voor het kind op tafel. In totaal werden, verdeeld over twee sessies van ongeveer 20 minuten, negen taken afgenomen. Iedere sessie werd gestart met een introductie waarin verteld werd wat het kind ging doen. Vervolgens werd de taak gestart en werd het proefpersoonnummer van het kind ingevoerd. Daarna kwam het instructiescherm tevoorschijn. De instructie werd hardop voorgelezen, waarna het kind een aantal testitems moest maken voordat gestart werd met de daadwerkelijke taak. Het eindscherm verscheen wanneer de taak afgelopen was, ook deze werd hardop voorgelezen voordat de taak werd afgesloten. Tijdens de testafname zat de onderzoeker naast het kind en noteerde bijzonderheden en fout geregistreerde antwoorden in een logboek.

Analyse

Allereerst werd met behulp van een factoranalyse bepaald of de composietscores werkgeheugen en verwerkingssnelheid gecreëerd konden worden. Dit bleek het geval; word recall forwards, word recall backwards, dotmatrix en odd one out laadde op een factor en alfanumerieke verwerkingssnelheid en non-alfanumerieke verwerkingssnelheid laadde op een factor. Om te controleren voor een eventueel verschil in aantal items en moeilijkheidsgraden werden de testen vervolgens gestandaardiseerd. Daarna werden de gestandaardiseerde waarden bij elkaar opgeteld en gedeeld door het aantal testen (respectievelijk vier en twee).

Ten tweede werden een aantal assumpties gecontroleerd. Hieruit bleek dat voor de variabele getalbegrip de skewness >1 was. Hierop werden een aantal uitschieters verwijderd. Daarnaast was voor non-alfanumerieke verwerkingssnelheid de kurtosis >1 . Uit de analyses bleek dat dit geen effect had op de gevonden resultaten, waarna besloten is de dataset zo intact mogelijk te laten. Vervolgens werden de data gecheckt op homoscedasticiteit, lineariteit, ongecorrleerde residuen en multicollineariteit. Hier werden geen bijzonderheden gevonden.

Tot slot werd de mediatieanalyse (ofwel een meervoudige regressieanalyse) uitgevoerd. Hierbij werd voor alle variabelen een aparte lineaire regressie uitgevoerd. Dit resulteerde in drie analyses, namelijk de relatie tussen 1) verwerkingssnelheid en getalbegrip, 2) verwerkingssnelheid en werkgeheugen en 3) werkgeheugen en getalbegrip. Hierbij werd tevens onderscheid gemaakt in drie modellen: alfanumerieke verwerkingssnelheid, non-alfanumerieke verwerkingssnelheid en gecombineerde verwerkingssnelheid. Wanneer een van de analyses niet significant bleek, moest de mediatieanalyse gestopt worden (Baron & Kenny, 1986; Field, 2013). Hierbij werd allereerst gekeken naar relatie c en daarna pas naar relatie a, b en c', zie

Figuur 1. Voor de volledigheid werden in dit onderzoek zowel de niet significante als de significante verbanden beschreven.

Resultaten

In Tabel 1 zijn de beschrijvende statistieken (gemiddelde en standaardafwijking) van en de correlaties tussen de verschillende variabelen te vinden. De correlatieanalyse werd uitgevoerd om op voorhand te bekijken of de variabelen met elkaar samenhangen. In Tabel 1 is te zien dat alfanumerieke en non-alfanumerieke verwerkingssnelheid positief samenhangen met de composietscore verwerkingssnelheid. Hieruit kon afgeleid worden dat hoe hoger de participanten scoorden op alfanumerieke of non-alfanumerieke verwerkingssnelheid, hoe hoger hun totale verwerkingssnelheid. Hetzelfde gold voor de vier variabelen die de composietscore werkgeheugen vormen. Hoe hoger de participanten scoorden op dotmatrix, odd one out, word recall forward of word recall backwards, hoe hoger hun totale werkgeheugenscore. De drie verwerkingssnelheid variabelen hadden geen correlatie met de andere variabelen. De werkgeheugenvariabelen daarentegen hangen negatief samen met getalbegrip. Deze negatieve samenhang is positief. Immers hoe hoger de participanten scoorden op werkgeheugen, hoe lager de absolute gemiddelde afstand, hoe vaker de participanten dichtbij de daadwerkelijke positie van het getal schatten en hoe hoger het getalbegrip. Ook de (niet significante) negatieve relatie tussen verwerkingssnelheid en werkgeheugen is positief. Hoe hoger de score op werkgeheugen, hoe lager de score op verwerkingssnelheid, hoe sneller de participanten antwoordden.

Tabel 1

Gemiddelde, Standaardafwijking en Correlatie per Variabele

	M	SD	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
1. Numerieke verwerkingssnelheid	790.16	301.52	-	.62**	.91**	.06	.14	-.03	.05	.08	-.02
2. Niet-numerieke verwerkingssnelheid	1622.90	586.65		-	.90**	.03	.08	-.18	-.06	-.04	-.06
3. Composietscore verwerkingssnelheid ^a	.03	.73			-	.05	.13	-.10	.00	.02	-.04
4. Dotmatrix	16.75	3.49				-	.62**	.18	.35**	.74**	-.45**
5. Odd one out	14.28	3.47					-	.40**	.43**	.85**	-.40**
6. Word recall forward	15.90	2.60						-	.24*	.62**	-.24*
7. Word recall backward	7.02	2.34							-	.69**	-.23*
8. Composietscore werkgeheugen ^a	< .01	.88								-	-.45**
9. Getalbegrip	112.51	64.62									-

Noot. N=83. M en SD op basis van ruwe scores, correlatie op basis van gestandaardiseerde scores.

^aM en SD van composietscores op basis van gestandaardiseerde scores.

*p < .05. ** p < .001.

Ter beantwoording van de deelvragen werden de verschillende stappen van het mediatiemodel van Hayes (2012) doorlopen. Per model worden de resultaten, zie Tabel 2, besproken. Hierbij moet rekening gehouden worden met gerapporteerde negatieve relaties die eigenlijk positief zijn.

Tabel 2

Effecten Mediatieanalyse Verschillende Modellen

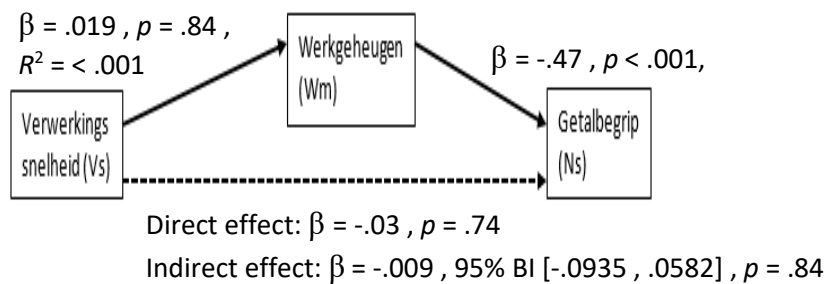
Onafhankelijke variabele	Effect relatie a	Effect relatie b	Direct effect relatie c'	Indirect effect (relatie ab)	Totale effecten (c)
Verwerkingssnelheid	-.10	-.31**	.11	.03	.14
Alfanumerieke verwerkingssnelheid	-.17*	-.29*	.10	.05	.15*
Non-alfanumerieke verwerkingssnelheid	-.004	-.33**	.07	.001	.08

Noot. Resultaten op basis van 5000 bootstraps. N = 83

* $p < .05$. ** $p < .01$.

Composiet verwerkingssnelheid

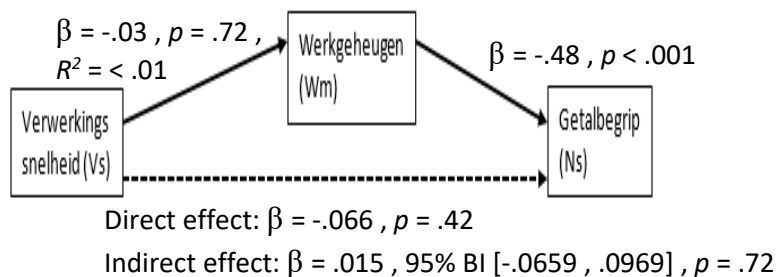
Allereerst moest gekeken worden naar relatie c: een bestaande relatie tussen verwerkingssnelheid en getalbegrip wanneer werkgeheugen geen mediator is. Uit de analyse bleek dat verwerkingssnelheid en getalbegrip geen bestaande relatie hebben ($\beta = .14$, $p = .075$). Vervolgens werd gekeken naar relatie a: verwerkingssnelheid en werkgeheugen. De negatieve relatie tussen verwerkingssnelheid en werkgeheugen bleek niet significant ($\beta = -.10$, $p = .19$). De variabele verwerkingssnelheid en covariaten geslacht en leeftijd verklaarden 44% van de variantie in werkgeheugen ($R^2 = .44$). De bijdrage van de covariaten hierin is significant ($p < .01$). Daarna werd gekeken naar relatie b: werkgeheugen en getalbegrip. De negatieve relatie tussen werkgeheugen en getalbegrip was significant ($\beta = -.31$, $p = .007$). Ten derde werd gekeken naar relatie c': verwerkingssnelheid en getalbegrip met werkgeheugen als mediator. De positieve relatie tussen verwerkingssnelheid en getalbegrip is niet significant ($\beta = .11$, $p = .15$) en daarmee is ook het indirecte effect (relatie ab) niet significant ($\beta = .030$, BI [-.0006, .1036], $p = .26$). In Figuur 2 is de relatie tussen de factoren weergegeven wanneer de covariaten niet meegenomen werden in het model.



Figuur 2. Mediërend Effect van Werkgeheugen op de Relatie tussen Compositet Verwerkingsnelheid en Getalbegrip zonder Covariaten

Alfanumerieke verwerkingsnelheid

Wanneer dezelfde procedure werd gevolgd voor alfanumerieke verwerkingsnelheid bleek relatie c wel significant ($\beta = .15, p = .036$). Relatie a was ook significant ($\beta = -.17, p = .015$). Deze relatie is negatief en alfanumerieke verwerkingsnelheid verklaarde samen met covariaten geslacht en leeftijd 47% van de variantie in het werkgeheugen ($R^2 = .47$). Daarnaast bleek relatie b ook significant ($\beta = -.29, p = .014$), maar relatie c' niet ($\beta = .10, p = .15$). Beide variabelen en covariaten verklaarden 51% van de variantie in getalbegrip ($R^2 = .51$). Het indirecte effect (relatie ab) van alfanumerieke verwerkingsnelheid op getalbegrip was klein tot middelgroot ($\beta = .048, \text{ BI } [.0067, .1255]$), maar slechts borderline significant ($p = .089$). In Figuur 3 zijn de effecten zonder tussenkomst van covariaten te vinden.

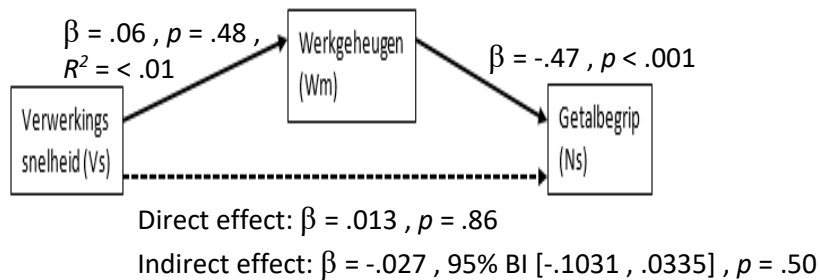


Figuur 3. Mediërend Effect van Werkgeheugen op de Relatie tussen Alfanumerieke Verwerkingsnelheid en Getalbegrip zonder Covariaten

Non-alfanumerieke verwerkingsnelheid

Tot slot werd gekeken naar non-alfanumerieke verwerkingsnelheid. Bij deze variabele bleek relatie c niet significant ($\beta = .08, p = .25$). Ook relatie a was niet significant ($\beta = -.004, p = .95$). Wederom was de relatie negatief en verklaarden de variabele en covariaten 43% van de variantie ($R^2 = .43$). Relatie b was wel significant ($\beta = -.33, p = .004$), maar relatie c' was niet significant ($\beta = .07, p = .23$). De variabelen en covariaten samen verklaarden 51% van de variantie in getalbegrip ($R^2 = .51$). Ook hier is geen sprake van een indirect effect (relatie ab)

($\beta = .001$, BI [-.0251 , .0360] , $p = .95$). Figuur 4 laat de mediërende invloed van het werkgeheugen zien zonder tussenkomst van covariaten.



Figuur 4. Mediërend Effect van Werkgeheugen op de Relatie tussen Non-alfanumerieke Verwerkingssnelheid en Getalbegrip zonder Covariaten

Discussie

Ondanks de grote hoeveelheid onderzoek naar werkgeheugen, verwerkingssnelheid en getalbegrip, is relatief weinig bekend over de relatie tussen deze variabelen (Berg, 2008; Bull & Johnston, 1997; Clark et al., 2013; Friso- van den Bos et al., 2013; Fry & Hale, 1996; Hecht et al., 2001; Salthouse, 1996). Vaak wordt naar een combinatie van één of twee van deze variabelen gekeken, terwijl de samenhang tussen de drie variabelen nauwelijks onderzocht is. Dit onderzoek onderzocht de volgende vraag: Is er sprake van een mediërend effect van het werkgeheugen op de relatie tussen verwerkingssnelheid en getalbegrip?. Om deze hoofdvraag te beantwoorden werden vijf deelvragen opgesteld.

Op basis van de literatuur (Berg, 2008; Clark et al., 2013; Conway et al., 2002; Hecht et al., 2001; Rindermann & Neubauer, 2004; Tosto et al., 2017) werd verwacht dat: 1) symbolisch getalbegrip en alfanumerieke verwerkingssnelheid een bestaande relatie hadden, 2) (gecombineerde) verwerkingssnelheid een positieve relatie had met werkgeheugen, 3) het werkgeheugen invloed had op het getalbegrip, 4) gecombineerde verwerkingssnelheid een klein direct effect had op getalbegrip en 5) de relatie tussen verwerkingssnelheid en getalbegrip gemedieerd werd door het werkgeheugen.

Uit de resultaten kon geconcludeerd worden dat alleen alfanumerieke verwerkingssnelheid samenhangt met symbolisch getalbegrip. Deze bevinding ondersteunt eerder onderzoek waarin gesteld werd dat de verwerkingssnelheid van alfanumerieke informatie samenhangt met rekenvaardigheden en dat kinderen met rekenproblemen wel moeite hebben met het benoemen van cijfers, maar niet met het benoemen van kleuren, objecten en letters (Landerl, Bevan, & Butterworth, 2004; van der Sluis, de Jong, & van der Leij, 2004; Willburger, Fussenegger, Moll, Wood, & Landerl, 2008). Ten tweede had alleen

alfanumerieke verwerkingssnelheid een significante relatie met het werkgeheugen. Kinderen met een hogere alfanumerieke verwerkingssnelheid haalden een hogere score op werkgeheugen. Ten derde bleek uit alle analyses dat werkgeheugen en getalbegrip een significante relatie hadden. Kinderen met een hogere score op werkgeheugen, haalden een hogere score op getalbegrip. Deze bevinding sluit aan bij de constatering dat het werkgeheugen substantieel bijdraagt aan de ontwikkeling van getalbegrip (Epsy et al., 2004; Kroesbergen et al., 2007). Wanneer gegevens uit de correlatietabel, zie Tabel 1, en de mediatieanalyse gecombineerd werden, lijken de resultaten tevens de veronderstelling te ondersteunen dat zowel een samengestelde werkgeheugenscore als scores van losse werkgeheugonderdelen gerelateerd zijn aan getalbegrip (Peng et al., 2015; Holmes et al., 2008). Ten vierde bleek dat zowel alfanumerieke, non-alfanumerieke, als gecombineerde verwerkingssnelheid geen direct effect hadden op getalbegrip. Deze bevinding kan ondersteund worden door de correlatietabel, waaruit blijkt dat de variabelen niet samenhangen. Tot slot bleek dat alleen alfanumerieke verwerkingssnelheid een indirecte invloed had op getalbegrip. Het indirecte effect was slechts borderline significant ($p = < .10$). Het is mogelijk dat het gevonden resultaat slechts borderline significant is door de kleine groep participanten (Gravetter & Walnau, 2013).

Uiteindelijk kan de hoofdvraag “Is er sprake van een mediërende invloed van het werkgeheugen op de relatie tussen verwerkingssnelheid en getalbegrip?” alleen beantwoord worden voor numerieke verwerkingssnelheid. Dit is het enige model waarin alle relaties die een voorwaarde vormen voor mediatie bestonden. Aangezien het totale effect (significant) van numerieke verwerkingssnelheid groter is dan het directe effect (niet-significant), kan voorzichtig geconcludeerd worden dat de relatie tussen alfanumerieke verwerkingssnelheid en symbolisch getalbegrip gemedieerd wordt door het werkgeheugen (Field, 2013).

Wanneer gekeken wordt naar kritische kanttekeningen en vervolgonderzoek kunnen een aantal aanbevelingen gedaan worden. Allereerst heeft dit onderzoek alleen gekeken naar symbolisch getalbegrip. Niet-symbolisch getalbegrip is buiten beschouwing gebleven. Wanneer deze variabele in vervolgonderzoek wordt toegevoegd kan met meer zekerheid iets gezegd worden over de relatie tussen niet-symbolisch getalbegrip en non-alfanumerieke verwerkingssnelheid en wellicht ook over gecombineerde verwerkingssnelheid en getalbegrip.

Ten tweede werd verwacht dat verwerkingssnelheid een relatie zou vertonen met werkgeheugen en getalbegrip. Vanuit de correlatietabel, zie Tabel 1, kan echter geconcludeerd worden dat dat in dit onderzoek niet het geval was. Een mogelijke verklaring hiervoor kan gevonden worden in het feit dat de responsregistratie handmatig gebeurde. Hierdoor kunnen meetfouten ontstaan zijn met betrekking tot de geschatte posities van getallen bij het getalbegrip

en de reactietijd bij verwerkingssnelheid. Wanneer in vervolgonderzoek opnieuw naar deze variabelen gekeken wordt, moet gekeken worden hoe de nauwkeurigheid van responsregistratie verhoogd kan worden (bijvoorbeeld door gebruik van meetapparatuur).

Tot slot zouden ook twee kanttekeningen geplaatst kunnen worden bij de analyses en resultaten. Uit de assumpties bleek dat de test die non-alfanumerieke verwerkingssnelheid met een hoge kurtosis had. Aangezien dit betekent dat er weinig variantie bestaat in de gegeven antwoorden en de taak weinig onderscheidend vermogen heeft, zouden relaties met andere onderzochte factoren kleiner uitgevallen kunnen zijn. Ten tweede zou het indirecte effect dat gevonden is bij de relatie tussen alfanumerieke verwerkingssnelheid en getalbegrip niet significant zijn volgens de Sobel-test. Uit onderzoek blijkt echter dat de Sobel-test uitgaat van een normale verdeling, terwijl de indirecte relatie vaak asymmetrisch is (Stone & Sobel, 1990). Hayes (2009) suggereert dan ook om gebruik te maken van bootstrapping. Wanneer alle gerapporteerde bootstrapintervallen geen nul bevat, is het aannemelijk dat het gevonden effect toch significant is (Field, 2013). Voor dit onderzoek zou dat betekenen dat de relatie tussen alfanumerieke verwerkingssnelheid en getalbegrip wel gemedieerd wordt door het werkgeheugen met een significant klein tot middelgroot effect.

Concluderend kan gesteld worden dat dit onderzoek heeft bijgedragen aan de kennis omtrent de relatie tussen verwerkingssnelheid, getalbegrip en werkgeheugen. Gebleken is dat er sprake is van een trend waarbij het werkgeheugen de relatie tussen alfanumerieke verwerkingssnelheid en symbolisch getalbegrip medieert. Aangezien zowel de relatie tussen alfanumerieke verwerkingssnelheid en symbolisch getalbegrip als de relatie tussen werkgeheugen en symbolisch getalbegrip positief is kunnen op beide gebieden interventies ingezet worden. Voor zowel verwerkingssnelheid als werkgeheugen bestaan trainingen, maar de resultaten over effectiviteit zijn inconsistent (bv. Shipstead, Hicks, & Engle, 2012; Takeuchi & Kawashima, 2012). In de klas zou met beide factoren wel rekening gehouden kunnen worden door bijvoorbeeld niet te werken met tijdslimieten, opdrachten op te splitsen in kleinere stappen en deze eenduidiger en overzichtelijker aan te bieden. Daarnaast zou het ook helpen om kinderen met een lagere verwerkingssnelheid of werkgeheugen samen te laten werken met andere kinderen, zodat beide factoren minder belast worden.

Referenties

- Alloway, T. P. (2007). *Automated Working Memory Assessment*. London, Verenigd Koninkrijk: Pearson Assessment
- Alloway, T. P., Rajendran, G., Archibald, L. M. D. (2009). Working Memory in Children With Developmental Disorders. *Journal of Learning Disabilities*, 42(4), 372-382. Doi: 10.1177/0022219409335214
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. New York, NY: Oxford University Press
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory?. *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. D. (2007). *Working Memory, Thought, and Action*. New York, NY: Oxford
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of learning and motivation*, 8, 47-89. Doi: 10.1016/S0079-7421(08)60452-1
- Baddeley, A. D., Allen, R. J., & Hitch, G. J. (2010). Investigating the episodic buffer. *Psychologica Belgica*, 50(3&4), 223-243. Doi: 10.5334/pb-50-3-4-223
- Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51, 1173-1182.
- Berg, D. H. (2008). Working memory and arithmetic calculation in children: The contributory roles of processing speed, short-term memory, and reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, 99, 288-308. Doi: 10.1016/j.jecp.2007.12.002
- Bull, R., Johnston, R. S. (1997). Children's Arithmetical Difficulties: Contributions from Processing Speed, Item Identification, and Short-Term Memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 65, 1-24.
- Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(1), 3-18. Doi: 10.1111/j.1469-7610.2004.00374.x
- Carroll, J. B. (1993). *Human Cognitive Abilities. A survey of factor-analytic studies*. Cambridge, Verenigd Koninkrijk: Cambridge University Press
- Clark, C. A. C., Nelson, J. M., Garza, J., Sheffield, T. D., Wiebe, S. A., & Espy, K. A. (2014). Gaining control: changing relations between executive control and processing speed and their relevance for mathematics achievement over course of the preschool period. *Frontiers in Psychology*, 5, 1-15. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00107
- Clark, C. A., Sheffield, T. D., Wiebe, S. A., & Espy, K. A. (2013). Longitudinal associations

- between executive control and developing mathematical competence in preschool boys and girls. *Child Development*, 84(2), 662-677. Doi: 10.1111/j.1467-8624.2012.01854.x
- Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Theriault, D. J., Minkoff, S. R. B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 30(2), 163-183. Doi: 10.1016/S0160-2896(01)00096-4
- Dehaene, S. (2001). Précis of the number sense. *Mind & language*, 16(1), 16-36.
- Dehn, M. J. (2011). *Working Memory and Academic Learning. Assessment and Intervention*. New Jersey, N: John Wiley & Sons
- Denckla, M. B., & Rudel, R. G. (1976). Rapid 'automatized' naming (RAN): Dyslexia differentiated from other learning disabilities. *Neuropsychologia*, 14(4), 471-479.
- Epsy, K. A., McDiarmid, M. M., Cwik, M. F., Stalets, M. M., Hamby, A., & Senn, T. E. (2004). The contribution of executive functions to emergent mathematic skills in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 26(1), 465-486. Doi: 10.1207/s15326942dn2601_6
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics (4th Ed.)* London, Engeland: Sage Publications.
- Friso-van den Bos, I. (2013). Het verband tussen executieve functies en getalbegrip bij basisschoolkinderen: Een meta-analyse. *Orthopedagogiek: Onderzoek en Praktijk*, 52(6), 295-308.
- Friso-van den Bos, I., Ven, van der, S. H. G., Kroesbergen, E. H., & Luit, van, J. E. H. (2013). Working memory and mathematics in primary school children: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 10, 29-44. doi: 10.1016/j.edurev.2013.05.003
- Fry, A. F., & Hale, S. (1996). Processing Speed, Working Memory, and Fluid Intelligence: Evidence for a Developmental Cascade. *Psychological Science*, 7(4), 237-241.
- Georgiou, G. K., Parrila, R., & Liao, C-H. (2008). Rapid naming speed and reading across languages that vary in orthographic consistency. *Reading and Writing*, 21(9), 885-903. Doi: 10.1007/s11145-007-9096-4
- Gersten, R., Jordan, N. C., & Flojo, J. R. (2005). Early Identification and Interventions for Students With Mathematics Difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, 38(4), 293-304.
- Gravetter, F. J., & Wallnau, L. B. (2013). *Statistics for the behavioural sciences. International Edition*. Independence, KY: Cengage Learning.

- Hayes, A. F. (2012). PROCESS: A versatile computational tool for observed variable mediation, moderation, and conditional process modelling. *Manuscript submitted for publication*.
- Hecht, S. A., Torgesen, J. K., Wagner, R. K., & Rashotte, C. A. (2001). The Relations between Phonological Processing Abilities and Emerging Individual Differences in Mathematical Computation Skills: A Longitudinal Study from Second to Fifth Grades. *Journal of Experimental Child Psychology, 79*, 192-227. Doi: 10.1006/jecp.2000.2586
- Holmes, J., Adams, J. W., & Hamilton, C. J. (2008). The relationship between visuospatial sketchpad capacity and children's mathematical skills. *European Journal of Cognitive Psychology, 20*(2), 272-289. Doi: 10.1080/09541440701612702
- Howden, H. (1989). Teaching Number Sense. *The Arithmetic Teacher, 36*(6), 6-11.
- Inspectie van het Onderwijs. (2017a). *Peil. onderwijs: Taal en rekenen aan het einde van de basisschool*. Utrecht, Nederland: Inspectie van het Onderwijs
- Inspectie van het Onderwijs. (2017b). *Jaarwerkplan 2018. Doelen en activiteiten. Inspectie van het Onderwijs*. Utrecht, Nederland: Inspectie van het Onderwijs.
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Locuniak, M. N., & Ramineni C. (2007). Predicting First-Grade Math Achievement from Developmental Number Sense Trajectories. *Learning Disabilities Research & Practice, 22*(1), 36046. Doi: 10.1111/j.1540-5826.2007.00229.x
- Kail, R., Salthouse, T. A. (1994). Processing speed as a mental capacity. *Acta Psychologica, 86*, 199-225.
- Kolkman, M. E., Kroesbergen, E. H., & Leseman, P. P. (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
- Kroesbergen, E. H., Rijt, van de, B. A. M., & Luit, van, J. E. H. (2007). Working memory and early mathematics: Possibilities for early identification of mathematics learning disabilities. *Advances in Learning and Behavioral Disabilities, 20*, 1-19
- Kyttälä, M., Aunio, P., Hautamäki, J. (2010). Working memory resources in young children with mathematical difficulties. *Scandinavian Journal of Psychology, 51*(1), 1-15. Doi: 10.1111/j.1467-9450.2009.00736.x
- Kyttälä, M., Aunio, P., Lepola, J., & Hautamäki, J. (2014). The role of the working memory and language skills in the prediction of word problem solving in 4- to 7-year-old children. *Educational Psychology, 34*(6), 674-696. Doi: 10.1080/01443410.2013.814192

- Landerl, K., Bevan, A., & Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8–9-year-old students. *Cognition*, *93*, 99–125. doi:10.1016/j.cognition.2003.11.004.
- Laski, E. V., & Siegler, R. S. (2007). Is 27 a Big Number? Correlational and Causal Connections among Numerical Categorization, Number Line Estimation, and Numerical Magnitude Comparison. *Child Development*, *78*(5), 1723-1743. Doi: 10.1111/j.1467-8624.2007.01087.x
- Mazzocco, M. M., & Thomspon, R. E. (2005). Kindergarten predictors of math learning disability. *Learning Disabilities Research & Practice*, *20*(3), 142–155. Doi: 10.1111/j.1540-5826.2005.00129.x
- McAuley, T., & White, D. A. (2011). A latent variables examination of processing speed, response inhibition, and working memory during typical development. *Journal of experimental child psychology*, *108*(3), 453-468. Doi: 10.1016/j.jecp.2010.08.009
- Mcintosh, A., Reys, B. J., & Reys, R. E. (1992). A Proposed Framework for Examining Basic Number Sense. *For the Learning of Mathematics*, *12*(3), 2-8.
- Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology*, *49*, 270-291. doi:10.1037/a0028228
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A. Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 49-100. Doi: 10.1006/cogp.1999.0734
- Monsell, S. (1996). Control of mental processes. In V. Bruce (Ed.) *Unsolved Mysteries of the Mind: Tutorial Essays in Cognition* (pp. 93-148). Hove, Verenigd Koninkrijk: Erlbaum (UK) Taylor & Francis
- Morris, N. & Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of Psychology*, *81*(2), 111-121.
- 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*(1), 42-63. doi: 10.1111/j.2044-8279.2011.02039.x
- Peng, P., Namkung, J., Barnes, M., & Sun, C. (2015). A Meta-Analysis of Mathematics and Working Memory: Moderating Effects of Working Memory Domain, Type of Mathematics Skill, and Sample Characteristics. *Journal of Educational Psychology*, *108*(4), 455-473. Doi: 10.1037/edu0000079

- 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*(2), 110-122. doi: 10.1016/j.lindif.2009.10.005
- Rindermann, H., & Neubauer, A. C. (2004). Processing speed, intelligence, creativity, and school performance: Testing of causal hypotheses using structural equation models. *Intelligence, 32*(6), 573-589. doi: 10.1016/j.intell.2004.06.005
- Robinson, C., Menchetti, B., & Torgesen, J. (2002). Toward a two-factor theory of one type of mathematics disabilities. *Learning Disabilities Research & Practice, 17*, 81-89.
- Rudner, M., & Rönnerberg, J. (2008). The role of the episodic buffer in working memory for language processing. *Cognitive Processing, 9*(1), 19-28. Doi: 10.1007/s10339-007-0183-x
- Salthouse, T. A. (1996). The processing speed theory of adult age differences in cognition. *Psychol. Rev. 103*, 403-428. doi: 10.1037/0033-295X.103.3.403
- 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*(3), 418-431. Doi: 10.1016/j.jecp.2012.10.012
- Shipstead, Z., Hicks, K. L., & Engle, R. W. (2012). Cogmed working memory training: Does the evidence support the claims? *Journal of Applied Research in Memory and Cognition, 1*(3), 185-193. Doi: 10.1016/j.jarmac.2012.06.003
- Sluis, van der, S., Jong, de, P. F., & Leij, van der, A. (2004). Inhibition and shifting in children with learning deficits in arithmetic and reading. *Journal of Experimental Child Psychology, 87*, 239-266. doi:10.1016/j.jecp.2003.12.002
- St Clair-Thompson, H. L., & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 59*(4), 745-759. Doi: 10.1080/17470210500162854
- Stone, C. A., & Sobel, M. E. (1990). The robustness of estimates of total indirect effects in covariance structure models estimated by maximum. *Psychometrika, 55*(2), 337-352.
- Takeuchi, H., & Kawashima, R. (2012). Effects of processing speed training on cognitive functions and neural systems. *Reviews in the Neurosciences, 23*(3), 289-301. Doi: 10.1515/revneuro-2012-0035
- Tosto, M. G., Petrill, S. A., Malykh, S., Malki, K., Haworth, C. M. A., Mazzocco, M. M. M., . . . Bogdanova, O. Y. (2017). Number Sense and Mathematics: Which, When and How? *Developmental Psychology, 53*(10), 1924-1939. Doi: 10.1037/dev0000331.supp

- Willburger, E., Fussenegger, B., Moll, K., Wood, G., & Landerl, K. (2008). Naming speed in dyslexia and dyscalculia. *Learning and Individual Differences, 18*, 224-236
- Wolf, M., Bowers, P. G., & Biddle, K. (2000). Naming-Speed Processes, Timing, and Reading: A Conceptual Review. *Journal of Learning Disabilities, 33*(4), 387-407.