

**De invloed van fonologische verwerking en Rapid Automatized Naming op
rekenprestaties van kinderen met dyslexie**

Sophie Hummel

Tilburg University

Klinische Kind- en Jeugdpsychologie 2020-2021

Eerste beoordelaar: Drs. T. (Tamara) Schleepen

Tweede beoordelaar: Drs. I. (Ilona) J. de Zeeuw-Jans

22 juni 2021

Samenvatting

Uit onderzoek blijkt dat kinderen met dyslexie naast leesproblemen ook vaak rekenproblemen ervaren, welke mogelijk afhankelijk zijn van grotendeels dezelfde cognitieve voorspellers (Dirks et al., 2008; Moll et al., 2016; Simmons & Singleton, 2008). Volgens de ‘double deficit hypothesis’ ontstaan lees- en/of spellingsproblemen bij kinderen met dyslexie door verminderde fonologische verwerking en langzame ‘Rapid Automatized Naming’ (RAN), welke mogelijk een rol spelen in hun rekenprestaties (De Smedt, 2018; Floyd et al., 2003; Proctor et al., 2005; Simmons & Singleton, 2008; Vukovic et al., 2010; Wagner & Torgesen, 1987). In huidig onderzoek is onderzocht wat de invloed is van fonologische verwerking en RAN op rekenprestaties van kinderen met dyslexie. De eerste hypothese was dat een betere fonologische verwerking gepaard gaat met betere rekenprestaties. Daarnaast werd verwacht dat een snelle RAN gepaard gaat met betere rekenprestaties. Als laatste werd onderzocht of een betere fonologische verwerking leidt tot betere rekenprestaties naarmate de kinderen met dyslexie een snelle RAN hebben. Aan huidig onderzoek deden 44 dyslectische kinderen (56.8% meisjes) van acht tot en met twaalf jaar oud mee ($M = 10.4$ jaar, $SD = 1.1$). De invloed van fonologische verwerking en RAN op rekenprestaties bij kinderen met dyslexie kon niet worden aangetoond. Mogelijk dat er andere factoren, zoals de verwerkingssnelheid en het werkgeheugen, of de subprocessen van fonologische verwerking en RAN hierin een rol spelen.

Sleutelwoorden: Dyslexie, fonologische verwerking, Rapid Automatized Naming, RAN, rekenprestaties

Abstract

Research shows that children with dyslexia experience math problems, besides their problems in reading, which could depend on largely the same cognitive predictors (Dirks et al., 2008; Moll et al., 2016; Simmons & Singleton, 2008). According to the double deficit hypothesis, reading and/or spelling problems in children with dyslexia arise from impaired phonological processing and slow Rapid Automatized Naming (RAN), which may play a role in math performance (De Smedt, 2018; Floyd et al., 2003; Proctor et al., 2005; Simmons & Singleton, 2008; Vukovic et al., 2010; Wagner & Torgesen, 1987). Current research investigates the influence of phonological processing and RAN on math performance in children with dyslexia. The first hypothesis was that better phonological processing is associated with better math performance. In addition, a fast RAN was expected to be accompanied by better math performance. Finally, it was investigated whether better phonological processing leads to better math performance when children with dyslexia have a fast RAN. This study used 44 dyslectic children (56.8% girls) from eight till twelve years old ($M = 10.4$, $SD = 1.1$). The influence of phonological processing and RAN on math performance in children with dyslexia could not be confirmed. Factors, such as processing speed and working memory, or the sub-processes of phonological processing and RAN could provide an explanation.

Keywords: Dyslexia, phonological processing, Rapid Automatized Naming, RAN, math performance.

De invloed van fonologische verwerking en Rapid Automatized Naming op rekenprestaties van kinderen met dyslexie

Uit onderzoek blijkt dat ongeveer vijf tot zeven procent van de kinderen problemen ervaart met rekenen (Proctor et al., 2005). Kinderen met dyslexie hebben in vergelijking met kinderen zonder dyslexie vijf tot acht keer meer kans op problemen met rekenen (Dirks et al., 2008). Onderzoek toont aan dat er sprake is van een hoge comorbiditeit tussen leesproblemen en rekenproblemen (De Smedt & Boets, 2010; Dirks et al., 2008; RID, 2020). Dyslexie lijkt daarom naast lees- en spellingsproblemen gepaard te gaan met rekenproblemen (Dirks et al., 2008). Dit komt doordat taal en rekenen tijdens de ontwikkeling nauw verwant zijn aan elkaar en waarschijnlijk afhankelijk zijn van grotendeels dezelfde cognitieve voorspellers (Dirks et al., 2008; Moll et al., 2016; Simmons & Singleton, 2008; Singer et al., 2019). Het beheersen van vaardigheden om te kunnen lezen en rekenen is essentieel voor prestaties op het gebied van academisch succes, werk en kwaliteit van leven, waardoor kinderen al op jonge leeftijd getallen leren te manipuleren en verbanden leren te leggen (Lopes-Silva et al., 2014; Proctor et al., 2005; Swanson et al., 2003; Wang et al., 2020). Door inzicht te krijgen in de factoren die een rol spelen bij rekenprestaties bij kinderen met dyslexie kunnen hier interventies op worden ingezet, zodat zij minder problemen met rekenen zullen ervaren (RID, 2020). Er is echter weinig empirisch onderzoek gedaan naar de cognitieve factoren die een rol spelen bij de ontwikkeling van rekenvaardigheden bij kinderen met dyslexie, in vergelijking met het aantal onderzoeken naar de cognitieve factoren onderliggend aan de leesontwikkeling (Hecht et al., 2001; Vukovic et al., 2010; Willcutt et al., 2013). In huidig onderzoek wordt onderzocht wat de invloed is van de cognitieve factoren, die volgens de ‘double deficit hypothesis’ lees- en spellingsproblemen veroorzaken bij kinderen met dyslexie, op de rekenproblemen.

Met dyslexie wordt een neurobiologische aandoening bedoeld die wordt gekenmerkt door aanzienlijke en aanhoudende leesproblemen en/of spellingsproblemen (Child et al.,

2019). Kinderen met dyslexie hebben moeite met nauwkeurig en vloeiend lezen, wat niet verklaard kan worden door tekortkomingen in andere cognitieve vaardigheden, intelligentie, opleiding of sociale achtergrond (Bonifacci & Snowling, 2008; Brandenburg et al., 2017; Da Silva et al., 2020). De stoornis heeft bij kinderen een prevalentie van vijf tot twaalf procent (Child et al., 2019). Daarbij heeft de stoornis invloed op het dagelijks leven (Bonifacci & Snowling, 2008). Ondanks dat er algemene consensus is over dat dyslexie een neurobiologische aandoening is, is er nog steeds discussie over de neurologische en cognitieve basis van de stoornis (Ramus, 2003). Het is algemeen aanvaard dat tekorten in de fonologische verwerking ten grondslag liggen aan dyslexie (Brandenburg et al., 2017; Moll et al., 2016; Ramus, 2003; Vellutino et al., 2004). Fonologische verwerking verwijst naar het gebruik van fonologische informatie bij het verwerken van geschreven en gesproken taal die betrokken is bij het ontwikkelen van lees- en spellingsvaardigheden (Brandenburg et al., 2017; Child et al., 2019; Ramus, 2003; Wagner & Torgesen 1987). Hecht et al. (2001) hebben als een van de weinigen onderzoek gedaan naar de invloed van de verschillende fonologische verwerkingsvaardigheden op algemene rekenprestaties bij kinderen zonder dyslexie van zeven tot twaalf jaar. Hecht et al. (2001) tonen aan dat dezelfde fonologische verwerkingsvaardigheden, waarvan wordt aangenomen dat ze de leesontwikkeling beïnvloeden, lijken bij te dragen aan de ontwikkeling van algemene rekenvaardigheden bij kinderen. Hecht et al. (2001) komen tot de conclusie dat een verminderd fonologisch bewustzijn een factor is die de ontwikkeling van zowel lezen als rekenen beperkt. Het verband tussen fonologische verwerking en rekenvaardigheden wordt ondersteund door studies die het functioneren van de fonologische verwerking als significante voorspeller voor het leren rekenen hebben geïdentificeerd (Child et al., 2019; De Smedt & Boets, 2010; Kuzmina et al., 2019; Simmons & Singleton, 2008; Simmons & Singleton, 2009). Zo is aangetoond dat een zwakke fonologische verwerking impact heeft op verschillende aspecten

van rekenen bij kinderen met dyslexie, zoals het niet snel kunnen uitrekenen van sommen, moeite met het ophalen van rekenfeiten en het moeilijk kunnen onthouden van rekenfeiten (Simmons & Singleton, 2008). De invloed van fonologische verwerking op rekenen is het sterkst wanneer rekenkundige feiten opgehaald moeten worden uit het geheugen, zoals bij optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en delen (De Smedt, 2018, Vukovic et al., 2010). Aldus kan gesteld worden dat de fonologische verwerking een belangrijke rol speelt bij de ontwikkeling van rekenfeiten en dus een verminderde fonologische verwerking, welke kenmerkend is voor kinderen met dyslexie, een risicofactor kan zijn voor rekenproblemen (De Smedt, 2018; Simmons & Singleton, 2008, 2009; Wagner & Torgesen, 1987). Hierdoor is het mogelijk dat de zwakke fonologische verwerking bij kinderen met dyslexie een negatieve invloed heeft op rekenprestaties.

Echter, slechts één verklarende factor kan de rekenproblemen bij kinderen met dyslexie niet verklaren. Volgens Pennington & Cicchetti (2002) is het onwaarschijnlijk dat de afzonderlijke tekorten in de fonologische verwerking volledig de lees-, spellings- en rekenproblemen bij kinderen met dyslexie kunnen verklaren. Verschillende studies tonen aan dat naast tekorten in fonologische verwerking een tweede kerntekort ten grondslag ligt aan de problemen die gepaard gaan met dyslexie, namelijk de ‘Rapid Automatized Naming’ (RAN) (Da Silva et al., 2020; Pennington & Cicchetti, 2002; Shanahan et al., 2006; Wolf et al., 2002). Vele onderzoeken bieden sterke ondersteuning voor cognitieve modellen met meer verklarende factoren om de problemen die gepaard gaan met dyslexie te verklaren (Willcutt et al., 2013). De ‘double deficit hypothesis’ is een model ontwikkeld door Wolf & Bowers (1999) met twee verklarende cognitieve factoren voor dyslexie. Volgens de ‘double deficit hypothesis’ ontstaat dyslexie door naast een verminderde fonologische verwerking tevens door een langzamere RAN (Wagner & Torgesen, 1987). RAN is hoe efficiënt fonologische informatie, zoals een visueel symbool, kan worden verwerkt en opgehaald uit het lange

termijn geheugen (Brandenburg et al., 2017; Wagner & Torgesen, 1987). RAN wordt bij vele verklarende modellen onder de fonologische verwerking geclassificeerd (Willcutt et al., 2013; Wolf et al., 2002). Doordat RAN tekorten een grote invloed blijken te hebben op het lezen en spellen wordt deze nu als onafhankelijke cognitieve factor gezien (Moll et al., 2016; Shanahan et al., 2006; Wagner & Torgesen, 1987). Onderzoek van Child et al. (2019) toont aan dat fonologisch bewustzijn gerelateerd is aan rekenprestaties, waarbij RAN een rol speelt. Een langzamere RAN in combinatie met een verminderd fonologisch bewustzijn leidt namelijk tot verminderde rekenprestaties (Child et al., 2019). De verminderde rekenprestaties bij kinderen met dyslexie zijn vooral zichtbaar bij het automatiseren van rekenregels, zoals optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en delen (RID, 2020). Zowel Floyd et al. (2003) als Proctor et al. (2005) tonen aan dat brede clusters van cognitieve vaardigheden, waaronder RAN, de meest consistente relaties vertoonden met rekenprestaties bij kinderen tussen de zes en achttien jaar oud, vooral bij optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en delen, waardoor RAN invloed heeft op de rekenprestaties van kinderen. Mogelijk zou een langzamere RAN, in combinatie met een verminderde fonologische verwerking, de problemen kunnen verklaren die kinderen met dyslexie ervaren bij rekenprestaties, met name bij het gebruik van rekenregels, zoals het optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en delen (Child et al., 2019).

Volgens de ‘double deficit hypothesis’ zijn fonologische verwerking en RAN twee afzonderlijke verklarende factoren voor lees- en spellingsproblemen bij dyslexie (Wolf & Bowers, 1999). Vele studies ondersteunen de ‘double deficit hypothesis’ omdat uit onderzoek blijkt dat de fonologische verwerking en RAN relatief onafhankelijke en additieve bronnen van disfunctie zijn bij dyslexie (Compton et al., 2001; Ramus, 2003; Wolf & Bowers, 1999). Dit twee factor model zou mogelijk een verklaring kunnen bieden voor de rekenproblemen die gepaard gaan met dyslexie (Vellutino et al., 2004). In huidig onderzoek zal worden onderzocht wat de invloed is van fonologische verwerking en RAN op rekenprestaties van

kinderen met dyslexie. Een zwakke fonologische verwerking en langzame RAN hebben bij kinderen met dyslexie een negatieve impact op het ophalen van rekenkundige feiten, zoals optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en delen (De Smedt, 2018; Floyd et al., 2003; Proctor et al., 2005; Simmons & Singleton, 2008; Vukovic et al., 2010). Hierdoor wordt verwacht dat een betere fonologische verwerking gepaard gaat met betere rekenprestaties bij kinderen met dyslexie. Daarnaast wordt verwacht dat snelle RAN gepaard gaat met betere rekenprestaties bij kinderen met dyslexie. Als laatste zal in huidig onderzoek worden onderzocht of een betere fonologische verwerking leidt tot betere rekenprestaties naarmate de kinderen met dyslexie een snellere RAN hebben.

Methode

Power analyse

Het power analyse programma G*Power 3 werd gebruikt om de benodigde steekproefgrootte te bepalen. De parameters die hiervoor werden gebruikt, zijn F test, 'Lineair multiple regression: fixed model, R^2 , deviation from zero', medium effectgrootte = 0.15 (Cohen, 1988), $\alpha = 0.05$, Power ($1-\beta$) = 0.95, aantal predictoren = 2. Dit resulteerde in een benodigde totale steekproef van 107 deelnemers. De geworven steekproef bestond uit 44 deelnemers met een bijbehorende power ($1-\beta$ onbetrouwbaarheid) van .56.

Deelnemers en procedure

Het onderzoek is goedgekeurd door de ethische commissie van de Universiteit Maastricht, Faculteit sociale en gedragswetenschappen. Tijdens het onderzoek waren de deelnemers in behandeling voor dyslexie bij het Regionaal Instituut Dyslexie (RID). Dyslexie was vastgesteld door het RID door middel van een intelligentietest en de 3DM dyslexie. In het huidige onderzoek is gebruik gemaakt van enkele subtesten uit een groter project. De deelnemers zijn geworven middels een 'convenience sample'. De ouders van de deelnemers kregen een informatiebrief over het onderzoek en konden vervolgens toestemming geven voor

de deelname van hun kinderen. Het onderzoek duurde per deelnemer 60 tot 70 minuten.

Voorafgaand aan het onderzoek kregen de deelnemers een korte introductie over wat er van hen verwacht werd. Tijdens de afname kregen de deelnemers de instructie zo snel en nauwkeurig mogelijk te antwoorden. Na afloop van het onderzoek kregen de deelnemers een klein cadeautje als vergoeding.

De steekproef die is gebruikt voor dit onderzoek bestond uit 52 kinderen. De steekproef bestond na het verwijderen van missing data uit 44 deelnemers van acht tot en met twaalf jaar oud (56.8% meisjes, $M = 10.4$, $SD = 1.1$).

Meetinstrumenten

Fonologische verwerking

In huidig onderzoek is de fonologische verwerking gemeten aan de hand van meerdere taken zoals het verwijderen van fonemen, lezen, spelling, onderscheid tussen lettergeluiden en identificatie van lettergeluiden. Al deze taken correleerden significant met elkaar en hadden een Cronbachs alfa van $\alpha = .75$. Fonologische verwerking is berekend door het gemiddelde te nemen van de scores van de hieronder genoemde taken.

Foneem deletie taak. Deze test bestaat uit 23 pseudowoorden, waarvan bij vijf woorden de medeklinker moest worden weggelaten en bij tien woorden een medeklinker in het woord moest worden weggelaten. Een voorbeeld item is het woord 'dauk', waarbij het foneem d moest worden weggelaten. Voor elk correct antwoord werd één punt toegekend. De gemiddelde score op deze taak is berekend door het aantal correcte items te delen door het aantal gemaakte items.

Leestaak. Tijdens deze taak moest de deelnemer drie maal 30 seconden zoveel mogelijk woorden hardop lezen. Deze woorden waren hoog frequent (kat), laag frequent (hagel) of pseudowoorden (gukpamen). De woorden waren allemaal zelfstandige

naamwoorden of werkwoorden. De gemiddelde score werd bepaald door het aantal correct gelezen woorden te delen door het totaal aantal woorden.

Spellingstaak. Bij deze taak kreeg de deelnemer auditief een woord gepresenteerd via de koptelefoon. Tegelijkertijd werd een deel van hetzelfde woord visueel op het scherm gepresenteerd. In het getoonde woord werd het spelling relevante deel weggelaten en werden er vier antwoordopties gepresenteerd die dit ontbrekende gedeelte konden vervangen. De deelnemer moest aangeven welk antwoord het ontbrekende gedeelte van het woord was. Een voorbeeld item is het woord ‘dag’, hierbij werd de letter d weggelaten. De taak had drie niveaus die bij iedere deelnemer werd afgenomen. Ieder niveau bestond uit 18 items. Voor elk correct antwoord werd één punt toegekend. De score werd bepaald door het aantal correcte items te delen door het totaal aantal items.

Letter-klank discriminatie taak. De deelnemer moest bij deze taak zo snel mogelijk onderscheiden of de auditief aangeboden klank en de visueel aangeboden letter een congruente of incongruente letter- klankpaar was. De taak bestond uit 90 items. Er waren 45 letter-klankcombinaties, waarvan de klanken twee keer voorkwamen. Elke combinatie was één keer met de juiste letter en één keer met de verkeerde letter. Een voorbeeld item is ‘eu’- /uu/, waarbij de deelnemer moest aangeven of dit een congruent of incongruent paar is. Voor elk correct antwoord werd één punt toegekend. De score is berekend door het aantal correcte items te delen door het totaal aantal items.

Letter-klank identificatie taak. Deze taak testte de snelheid en nauwkeurigheid om te bepalen of een spraakklank en letter samen een bestaand grafeem-foneempaar vormen in het Nederlands. Bij deze taak werd een letter visueel op het scherm en auditief via de koptelefoon gepresenteerd. Daarna werden er vier mogelijke antwoorden op het scherm gepresenteerd. Een voorbeeld item is /d/, waarbij de antwoordmogelijkheden g,d,b en p waren. De deelnemer kon het juiste antwoord kiezen door op de bijbehorende knop te

drukken. Voor elk correct antwoord werd één punt toegekend. De score op deze taak is bepaald door het aantal correcte items te delen door het totaal aantal items.

Rapid Automatized Naming

De 'Rapid Automatized Naming' is gemeten aan de hand van twee taken. De twee taken correleren significant met elkaar en hadden een Cronbachs alfa van $\alpha = .37$. Hierdoor is voor de score van RAN de gemiddelde score van de twee taken berekend.

Benoemtaak. Bij deze taak moest de deelnemer de visueel aangeboden letters, cijfers of objecten zo snel mogelijk uitspreken. In totaal werden er 30 letters, 30 cijfers en 30 objecten getoond. De letters waren medeklinkers, de cijfers waren onder de tien en de plaatjes waren zwart-wittekeningen. Voorbeeld items zijn de letter 'f', het cijfer '4' en het plaatje 'hond'. De score is berekend door de gemiddelde reactietijd van de eerste en tweede aanbieding van de letters, cijfers en plaatjes te berekenen. Vervolgens werd van deze gemiddelde reactietijden een totaal gemiddelde reactietijd berekend.

Basis reactietijd taak. Deze taak werd op de computer afgenomen. Op de computer waren vier vierkanten te zien. In één van de vierkanten verscheen een vis. Vervolgens moesten de deelnemers zo snel mogelijk aangeven in welk vierkant de vis te zien was. De score op deze taak is de gemiddelde reactietijd van alle items.

Rekenprestaties

De rekenprestaties werden gemeten met behulp van de TempoTest Automatiseren (TTA; De Vos, 2010), welke op papier werd afgenomen. De deelnemer moest zoveel mogelijk berekeningen maken binnen twee minuten per werkblad. Voor deze taak waren er vier werkbladen met optellingen, aftrekkingen, vermenigvuldigingen en delingen. Op elk werkblad stonden 50 sommen. De sommen namen toe in moeilijkheidsgraad. Een aantal voorbeeld sommen zijn '6 + 0', '4-2', '4 × 1' en '72: 9'. Voor elk correct antwoord werd één punt toegekend. De score is berekend door het aantal goede antwoorden op te tellen en om te

zetten naar een ruwe score. Deze ruwe score werd omgezet naar een t-score. Dit is een gestandaardiseerde score met een gemiddelde van 50 en een standaarddeviatie van 10.

Vervolgens is het gemiddelde van de t-scores berekend.

Intelligentiescore

De Nederlandse versie van de Wechsler Intelligence Scale for Children III (WISC-III-NL, Kort et al., 2005) is afgenomen om de intelligentie te meten. De test werd individueel afgenomen bij kinderen tussen zes en zestien jaar oud. De WISC-III-NL meet drie soorten intelligentie; de totale intelligentie (TIQ), de verbale intelligentie (VIQ) en de performale intelligentie (PIQ) ($M = 100$, $SD = 15$). Daarnaast gaf het ook een inschatting van de factoren verbaal begrip (VB), perceptuele organisatie (PO) en verwerkingssnelheid (VS) ($M = 100$, $SD = 15$). In huidig onderzoek is gebruik gemaakt van de totale intelligentiescore (TIQ) ($M = 100$, $SD = 15$).

Data analyses

Om de invloed van fonologische verwerking en RAN op rekenprestaties bij kinderen met dyslexie te onderzoeken zijn alle statistische analyses uitgevoerd met IBM Statistical Package for the Social Sciences Statistics (SPSS) versie 25. Om de relatie tussen de totale score van de rekenprestaties en de taken die fonologische verwerking en RAN meten werd een correlatie analyse uitgevoerd, welke te vinden is in de beschrijvende gegevens. Hierbij werd een $\alpha \leq .05$ als significant bevonden. Er werd door middel van een multiële regressie analyses onderzocht wat de invloed van fonologische verwerking en RAN op de rekenprestaties is van kinderen met dyslexie. Alvorens de multiële regressieanalyses werden uitgevoerd is er gecontroleerd voor de assumpties. De onafhankelijke variabelen waren fonologische verwerking en RAN. De afhankelijke variabele is de TempoTest Automatiseren. Daarbij is er een interactievariabele van de fonologische verwerking met RAN gemaakt om te onderzoeken of een betere fonologische verwerking tot betere rekenprestaties zou leiden

naarmate er sprake was van een snellere RAN. De intelligentiescore en het geslacht zijn meegenomen als covariaten. Er werd een significantieniveau van $\alpha = .05$ aangehouden tijdens de analyse.

Resultaten

Assumptions checks

Om de bijdrage van de fonologische verwerking en RAN aan rekenprestaties te onderzoeken, is er voor elke hypothese een multiële regressie uitgevoerd. Voordat de multiële regressie werd uitgevoerd, is er voor de assumpties onafhankelijkheid, homogeniteit, normaliteit, lineariteit, 'Fixed X' en non-collineariteit gecheckt (zie Appendix A) (Lomax & Hahs-Vaughn, 2012). Er werd aan één assumptie niet voldaan, namelijk de assumptie van non-collineariteit (zie Appendix A), waardoor er sprake is van beperkte generaliseerbaarheid van huidig onderzoek.

Beschrijvende gegevens

Tabel 1

Gemiddelden, standaarddeviaties en correlaties

	M	SD	2	3	4	5	6
1. Rekenprestaties	38.6	7.5	.21	.06	.47*	-.18	<.001
2. Fonologische verwerking	40.9	7.6	-	.05	.21	.31	-.01
3. RAN	44.0	6.0		-	.08	.10	-.23
4. Intelligentiescore	101.6	11.7			-	-.37*	-.29
5. Leeftijd	10.4	1.1				-	.12
6. Geslacht	-	-					-

Noot.

* = correlatie is significant met <.01 (2-zijdig)

Geslacht: 1 = man, 2 = vrouw

Uit de beschrijvende gegevens in Tabel 1 kwam naar voren dat er een significante positieve relatie was tussen intelligentiescore en rekenprestaties, wat betekende dat een hogere intelligentiescore gepaard ging met hogere rekenprestaties. Daarnaast was er een significante negatieve relatie tussen intelligentiescore en leeftijd, wat betekende dat een hogere intelligentiescore gepaard ging met een jongere leeftijd. Tevens is er een significante positieve relatie gevonden tussen leeftijd en fonologische verwerking. Hieruit bleek dat hoe

ouder de deelnemer was, hoe sneller de fonologische verwerking was. Om deze reden zijn de variabele intelligentiescore en leeftijd als covariaat meegenomen in de multiële regressie analyses. Fonologische verwerking en RAN bleken geen significante relatie te hebben met rekenprestaties.

Toetsende statistiek

De eerste hypothese stelde dat betere fonologische verwerking gepaard ging met betere rekenprestaties. Voor hypothese 1 is er een multiële regressieanalyse uitgevoerd met als afhankelijke variabele rekenprestaties, als onafhankelijke variabelen fonologische verwerking, en intelligentiescore en leeftijd als covariaat. De multiële regressie analyse gaf een significant model ($F(3,37) = 3.892, p = .016$). Uit de analyse bleek dat 24% van de variantie van rekenprestaties verklaard kon worden door de onafhankelijke variabelen samen. Uit het model bleek dat alleen de intelligentiescore een significante verklarende variabele was ($\beta = .292, t(40) = 2.78, p = .009$). Leeftijd was geen significante voorspeller voor rekenprestaties ($\beta = .173, t(40) = .15, p = .881$). De invloed van fonologische verwerking was tevens niet significant, $\beta = .112, t(40) = .71, p = .481$, wat betekende dat fonologische verwerking geen bijdrage leverde aan rekenprestaties. Hieruit volgde dat hypothese 1 werd verworpen.

De tweede hypothese stelde dat een snellere RAN gepaard ging met betere rekenprestaties. Voor deze hypothese is een multiële regressieanalyse uitgevoerd met als afhankelijke variabele rekenprestaties, als onafhankelijke variabelen RAN, en intelligentiescore en leeftijd als covariaat. De multiële regressie analyse gaf een significant model ($F(3,36) = 3.783, p = .019$). Uit de analyse bleek dat 24% van de variantie van rekenprestaties verklaard kon worden door de afhankelijke variabelen samen. Hieruit bleek dat alleen de intelligentiescore een significante verklarende variabele was ($\beta = .312, t(39) = 3.156, p = .003$). Leeftijd was geen significante voorspeller ($\beta = .155, t(39) = .141, p = .888$).

De invloed van RAN was niet significant, $\beta = -.002$, $t(39) = -.013$, $p = .989$, waardoor RAN geen bijdrage leverde aan rekenprestaties. Hierdoor werd ook hypothese 2 verworpen.

De laatste hypothese stelde dat een betere fonologische verwerking leidde tot betere rekenprestaties bij kinderen met dyslexie met een snelle RAN. Deze hypothese is getoetst middels een multiële regressieanalyse. De analyse had als afhankelijke variabele rekenprestaties, als onafhankelijke variabelen fonologische verwerking, RAN en de interactievariabele van fonologische verwerking en RAN en intelligentiescore en leeftijd als covariaat. De multiële regressie analyse gaf een niet significant model ($F(5,34) = 2.33$, $p = .064$). Uit de analyse bleek dat 25,5% van de variantie van rekenprestaties verklaard kon worden door de onafhankelijke variabelen samen. De intelligentiescore was de enige significante verklarende variabele ($\beta = .276$, $t(39) = 2.497$, $p = .018$). Leeftijd was geen significante voorspeller ($\beta = .019$, $t(39) = .016$, $p = .988$). Het effect van RAN was niet significant, $\beta = .796$, $t(39) = .661$, $p = .513$, waardoor RAN geen bijdrage leverde aan rekenprestaties. Daarnaast leverde fonologische verwerking geen significante bijdrage aan de rekenprestaties, $\beta = 1.044$, $t(39) = .722$, $p = .475$. Daarbij bleek de interactie tussen de fonologische verwerking en RAN niet significant, $\beta = -.021$, $t(39) = -.669$, $p = .508$. Hiermee werd hypothese 3 verworpen.

Exploratieve analyses

Uit bovenstaande resultaten bleek dat intelligentiescore significant correleerde met rekenprestaties en de enige significante voorspeller was voor rekenprestaties in de drie regressiemodellen. Om meer te weten te komen over de invloed van intelligentie op fonologische verwerking, RAN en rekenprestaties werden er exploratieve analyses uitgevoerd. Hiervoor werden dummy variabelen aangemaakt voor de intelligentiescore (0 = intelligentiescore <90 of >110, 1 = intelligentiescore 90 - 110 en 0 = intelligentiescore <110 en 1 = intelligentiescore >110). Vervolgens zijn interactievariabelen gemaakt met de

dummy's en fonologische verwerking, RAN en de interactievariabele fonologische verwerking met RAN. Dit om te kijken of een betere fonologische verwerking leidde tot betere rekenprestaties bij kinderen met een hoge versus lage intelligentiescore. Daarnaast werd er gekeken of een snellere RAN leidde tot betere rekenprestaties bij kinderen met een hoge versus lage intelligentiescore. De laatste exploratieve analyse betreft de verwachting dat een betere fonologische verwerking leidde tot betere rekenprestaties bij kinderen met een hoge versus lage intelligentiescore met een snellere RAN.

Voor de eerste exploratieve hypothese of een betere fonologische verwerking leidde tot betere rekenprestaties bij kinderen met een hoge versus lage intelligentiescore werd er een multiële regressieanalyse uitgevoerd met als afhankelijke variabele rekenprestaties, als onafhankelijke variabelen fonologische verwerking, de dummy's en de interactievariabelen van fonologische verwerking met de dummy's, en leeftijd als covariaat. De multiële regressie analyse gaf een significant model ($F(6,37) = 2.957, p = .018$). Uit de analyse bleek dat 32% van de variantie van rekenprestaties verklaard kon worden door de onafhankelijke variabelen samen. Uit het model bleek dat geen van de verklarende variabelen een significante bijdrage leverden aan rekenprestaties. Hieruit volgde dat de hypothese werd verworpen.

De tweede exploratieve hypothese was dat een snellere RAN leidde tot betere rekenprestaties bij kinderen met een hoge versus lage intelligentiescore. Voor deze hypothese werd een multiële regressieanalyse uitgevoerd met als afhankelijke variabele rekenprestaties, als onafhankelijke variabelen RAN, de dummy's en de interactievariabelen van RAN met de dummy's, en leeftijd als covariaat. De multiële regressie analyse gaf een niet significant model ($F(6, 34) = 2.020, p = .09$). Geen van de verklarende variabelen leverden een significante bijdrage aan de rekenprestaties. Hierdoor werd ook deze hypothese verworpen.

De laatste exploratieve hypothese was dat een betere fonologische verwerking leidde tot hogere rekenprestaties bij kinderen met een hoge versus lage intelligentiescore met een snellere RAN. Deze hypothese is getest middels een multiële regressieanalyse. De analyse had als afhankelijke variabele rekenprestaties, als onafhankelijke variabelen fonologische verwerking, RAN, de interactievariabele van fonologische verwerking en RAN, de dummy's, de interactievariabelen van fonologische verwerking met de dummy's, de interactievariabelen van RAN met de dummy's en de interactievariabelen van fonologische verwerking, RAN en de dummy's. Leeftijd was als covariaat meegenomen in de analyse. De multiële regressie analyse gaf een niet significant model ($F(12, 28) = 1.259, p = .296$). Uit de analyse bleek dat geen van de verklarende variabelen significant bijdroegen aan rekenprestaties. De relatie dat een betere fonologische verwerking leidde tot betere rekenprestaties bij een hoge intelligentiescore met een snellere RAN kon niet worden bevestigd.

Discussie

Lezen en rekenen zijn cruciaal voor latere prestaties op het gebied van werk, academisch succes en kwaliteit van leven (Swanson et al., 2003; Wang et al., 2020). Verschillende onderzoeken toonden aan dat lezen en rekenen volgens de 'double deficit hypothesis' afhankelijk zijn van grotendeels dezelfde onafhankelijke cognitieve vaardigheden, namelijk RAN en fonologische verwerking (Georgiou et al., 2013; Hecht et al., 2001; Wagner & Torgesen, 1987; Wise et al., 2008). Tekorten in fonologische verwerking en/of RAN zouden daarom mogelijk een verklaring kunnen bieden voor rekenproblemen bij kinderen met dyslexie (Hecht et al., 2001; Pennington & Cicchetti, 2002; RID, 2020; Simmons & Singleton, 2009; Wise et al., 2008). In het huidige onderzoek is onderzocht wat de invloed was van fonologische verwerking en RAN op de rekenprestaties van kinderen met dyslexie. De eerste hypothese stelde dat een betere fonologische verwerking gepaard zou gaan met betere rekenprestaties. De tweede hypothese stelde dat een snellere RAN gepaard zou

gaan met betere rekenprestaties. De laatste hypothese stelde dat een betere fonologische verwerking leidde tot betere rekenprestaties naarmate de kinderen met dyslexie een snellere RAN hadden. Alle drie de hypothesen konden niet worden bevestigd.

Tegenstrijdig met onderzoeken van De Smedt (2018), Floyd et al. (2003), Hecht et al. (2001), Proctor et al. (2005), Child et al. (2019) en Simmons & Singleton (2008) bleek in het huidige onderzoek een betere fonologische verwerking en een snellere RAN niet gepaard te gaan met betere rekenprestaties bij kinderen met dyslexie. Onderzoeken van De Jong & Van der Leij (1999) en Passolunghi et al. (2007) konden de relatie tussen fonologische verwerking en rekenprestaties ook niet aantonen. Uit hun onderzoeken bleek dat bij kinderen van zes jaar de fonologische verwerking enkel voorspellend was voor leesprestaties en niet voor rekenprestaties, die werden gemeten aan de hand van het ophalen en toepassen van rekenfeiten. Een mogelijke verklaring voor de niet gevonden relatie tussen fonologische verwerking en rekenprestaties is dat fonologische verwerking eerder verband houdt met de talige kant van rekenprestaties dan met het ophalen en gebruiken van rekenfeiten bij kinderen met dyslexie (De Smedt, 2018; Kuzmina et al., 2019; Wang et al., 2020). Om verhalende rekensommen op te lossen moet het kind eerst het verhaal van een in op spraak gebaseerde code naar rekenfeiten omzetten, waarmee vervolgens wordt gerekend (Georgiou et al., 2013; Hecht et al., 2001; Tonje et al., 2021). Hierdoor is het mogelijk dat fonologische verwerking niet essentieel is voor de rekenvaardigheden gemeten in huidige studie, maar wel voor de leesvaardigheid die gepaard gaat met rekensommen (De Jong & Van der Leij, 1999; De Smedt, 2018; Kuzmina et al., 2019; Passolunghi et al., 2007; Wang et al., 2020).

Een andere verklaring voor het niet vinden van de relatie tussen fonologische verwerking en rekenprestaties ligt mogelijk in het feit dat fonologische verwerking bestaat uit verschillende subvaardigheden, namelijk fonologisch bewustzijn, fonologische verwerking in het werkgeheugen en benoemsnelheid (Wagner & Torgensen, 1987). Uit onderzoek is

gebleken dat enkel fonologisch bewustzijn naar voren komt als voorspeller van rekenprestaties (Hecht et al., 2001). De subvaardigheid fonologische verwerking in het werkgeheugen maakt gebruik van het werkgeheugen, dat fundamenteel is voor processen betrokken bij het rekenen. (Bernabini et al., 2021; Compton et al., 2012; Koponen et al., 2020; Peng et al., 2020). Het werkgeheugen speelt namelijk een rol bij de ontwikkeling van rekenvaardigheden en fonologische verwerking (Bernabini et al., 2021; Compton et al., 2012; Peng et al., 2020). Met het werkgeheugen wordt het tijdelijk kunnen ophalen en kort opslaan van informatie waarmee tegelijkertijd een bewerking mee moet worden gedaan (Compton et al., 2012; Peng et al., 2020). Tijdens het rekenen moesten kinderen in huidig onderzoek middels het werkgeheugen actief rekenfeiten ophalen uit het geheugen, terwijl ze de som moesten oplossen waardoor het werkgeheugen de relatie tussen vaardigheden nodig voor taal en rekenen mogelijk beïnvloedt (Koponen et al., 2017; Peng et al., 2020). In de onderzoeken van Bernabini et al. (2021) en Koponen et al. (2020) verklaarde het werkgeheugen daarbij meer variantie in lees- en rekenprestaties dan fonologische verwerking, waardoor de rol van fonologische verwerking vervaagde naar mate andere sterke voorspellers, zoals het werkgeheugen, werden meegenomen. In huidig onderzoek is niet gebruik gemaakt van de subvaardigheden, zoals fonologisch bewustzijn en fonologische verwerking in het werkgeheugen, maar is fonologische verwerking als gehele vaardigheid meegenomen waardoor de relatie tussen fonologische verwerking en de rekenprestaties bij kinderen met dyslexie mogelijk niet is gevonden.

Een andere reden voor de discrepantie van resultaten tussen huidig onderzoek en eerdere bevindingen wat betreft de relatie tussen fonologische verwerking en rekenprestaties, is het verschil in leeftijd van de kinderen gebruikt voor de onderzoeken. Fonologische verwerking had namelijk bij de onderzoeken van De Smedt (2018) en Hecht et al. (2001) meer invloed op rekenen aan het begin van de ontwikkeling van rekenvaardigheden. Bij deze

onderzoeken werd de relatie tussen fonologische verwerking en rekenprestaties onderzocht bij kinderen tussen de zes en acht jaar. In huidig onderzoek waren de kinderen met dyslexie tussen de acht en twaalf jaar. In onderzoek van Koponen et al. (2020) kon net zoals in huidig onderzoek de relatie tussen fonologische verwerking en rekenen niet gevonden worden. Uit hun onderzoek kwam naar voren dat fonologische verwerking in transparante talen, zoals het Nederlands, minder relevant is voor lezen en rekenen op jongere leeftijd (Bernabini et al., 2021; Koponen et al., 2020). Hierdoor is het mogelijk dat de relatie tussen fonologische verwerking en rekenprestaties verschilt per leeftijd en de relatie tussen fonologische verwerking en rekenprestaties niet is gevonden (Frijters et al., 2011; Koponen et al., 2020).

Een mogelijke verklaring voor de niet gevonden relatie van de hypothese dat een snellere RAN leidt tot betere rekenprestaties bij kinderen met dyslexie is dat de invloed van RAN op rekenprestaties verschilt per leeftijd. RAN bleek vooral een belangrijke voorspeller voor rekenprestaties op latere leeftijd (Georgiou et al., 2013; Koponen et al., 2020; Wagner en Torgensen, 1987; Wise et al., 2008). RAN is een index van de kwaliteit van visueel-verbale associaties en hoe snel deze toegankelijk zijn en worden opgehaald. Volgens de studie van Georgiou et al. (2013) werden deze visueel-verbale associaties gedurende de rekenontwikkeling versterkt, waardoor snelle toegang tot deze informatie steeds makkelijker en sneller werd. Hierdoor wordt de relatie tussen RAN en rekenen op oudere leeftijd meer zichtbaar. Bovendien toonde het onderzoek van Georgiou et al. (2013) aan dat RAN niet zo belangrijk is voor rekenen als voor lezen. Uit hun onderzoek kwam naar voren dat de relatie tussen RAN en rekenen zwak is en ongeveer hetzelfde blijft over de tijd, waardoor andere factoren van sterke invloed zijn op rekenprestaties.

Eén van deze andere factoren die de relatie tussen RAN en rekenen mogelijk kon beïnvloeden is de verwerkingssnelheid. Deze factor blijkt cruciaal te zijn voor de ontwikkeling van zowel lezen als rekenen (Kail & Hall, 1994, Koponen et al., 2020). Wolf en

Bowers (1999) gaven namelijk aan dat RAN een systeem is dat onder andere bestaat uit de verwerkingssnelheid. Zij suggereerden dat een trage RAN kon worden toegeschreven aan tekorten in de verwerkingssnelheid, waardoor de verwerkingssnelheid ten grondslag zou liggen aan de relatie tussen RAN en rekenprestaties (Kuzmina et al., 2020). Rekenprestaties konden namelijk het best worden voorspeld door de verwerkingssnelheid (Callens, 2014). Tijdens het rekenen is het nodig verschillende berekeningen te maken binnen een bepaalde tijd (Kail & Hall, 1994; Koponen et al., 2020). Kinderen met dyslexie hebben over het algemeen een lagere verwerkingssnelheid (Swanson et al., 2003). Een deel van de verklarende variantie tussen RAN en rekenprestaties bij kinderen met dyslexie is dus mogelijk te verklaren door een lagere verwerkingssnelheid (Koponen et al., 2020; Wang et al., 2020).

In het huidige onderzoek is een exploratieve analyse uitgevoerd om te onderzoeken wat de invloed van intelligentie invloed op fonologische verwerking, RAN en rekenprestaties is. Intelligentie bleek namelijk bij kinderen met dyslexie, vooral in de vroege stadia van de leesontwikkeling en rekenontwikkeling, invloed te hebben op de fonologische verwerking en RAN (Bonifacci & Snowling, 2008; Peng et al., 2020). Onderzoek van Pennington & Cicchetti (2006) toonden aan dat kinderen met dyslexie en een lagere intelligentiescore langzamer zijn op RAN taken en slechter scoorden op fonologische verwerking taken. Prestaties op RAN taken en fonologische verwerking zijn daarom afhankelijk van de intelligentiescore van kinderen met dyslexie (Da Silva et al., 2020). Hierdoor is onderzocht of een betere fonologische verwerking en snellere RAN leidden tot betere rekenprestaties. Daarnaast is onderzocht of een betere fonologische verwerking leidde tot betere rekenprestaties bij kinderen met een hoge versus lage intelligentie met een snellere RAN. In het huidige onderzoek kwam naar voren dat een hoge intelligentie gepaard gaat met betere rekenprestaties, wat overeenkomt met onderzoek van Peng et al. (2020). Er werd geen relatie tussen intelligentie, fonologische verwerking en RAN gevonden. Een mogelijke verklaring

ligt in het feit dat in het huidige onderzoek gebruik is gemaakt van de totale intelligentiescore en niet van losse indexscores. Uit onderzoek bleek namelijk dat het werkgeheugen en de verwerkingssnelheid invloed hebben op rekenprestaties (Kail & Hall, 1994; Koponen et al., 2020; Peng et al., 2020; Wang et al., 2020; Wolf & Bowers, 1999). Het is mogelijk dat deze indexen, welke vallen onder de totale intelligentiescore, verband houden met de ontwikkeling van RAN en fonologische verwerking en daarmee ook rekenprestaties.

Huidig onderzoek heeft enkele limitaties. Allereerst, doordat er gebruik is gemaakt van een kleine steekproef, is het moeilijk om valide uitspraken te kunnen doen en de resultaten te generaliseren. Tevens heeft huidig onderzoek gebruik gemaakt van de constructen fonologische verwerking en RAN en is er niet gebruik gemaakt van de verschillende subprocessen van fonologische verwerking en RAN. Het construct fonologische verwerking is in de loop van de tijd verandert en er wordt in recente theorieën met betrekking tot rekenen en dyslexie enkel gebruik gemaakt van het subproces fonologische bewustzijn in plaats van fonologische verwerking, welke in huidig onderzoek is gebruikt. Het fonologisch bewustzijn bleek enkel voorspellend te zijn voor rekenprestaties (Hecht et al., 2001). Hierdoor is het mogelijk dat fonologische verwerking in huidig onderzoek een ander construct meet dan in andere onderzoeken. RAN kan ook worden opgedeeld in subprocessen, namelijk RAN pauzetijd en RAN articulatie tijd, wat in het huidige onderzoek niet is gedaan. Uit onderzoek blijkt dat RAN pauzetijd een rol speelt bij rekenprestaties (Georgiou et al., 2013). Tevens lijken RAN taken gebruikt te worden om de verwerkingssnelheid te berekenen, waardoor niet duidelijk is wat er precies met RAN taken wordt gemeten (Swanson et al., 2003). Daarbij was de Cronbach's alpha van de RAN taken in huidig onderzoek niet hoog, waardoor deze taken mogelijk niet hetzelfde construct beogen te meten. Het is dus lastig de resultaten te interpreteren aangezien het nog niet duidelijk was wat er precies werd gemeten met RAN en welke mogelijke subprocessen van invloed zouden zijn.

Concluderend draagt huidig onderzoek bij aan onderzoek naar de cognitieve factoren die ten grondslag zouden kunnen liggen aan rekenproblemen van kinderen met dyslexie. Huidig onderzoek onderzocht de relatie tussen fonologische verwerking, RAN en rekenprestaties. De invloed van fonologische verwerking en RAN op rekenprestaties bij kinderen met dyslexie kon niet worden aangetoond. Mogelijk dat er andere factoren, zoals de verwerkingssnelheid en het werkgeheugen, of de subprocessen van fonologische verwerking en RAN hierin een rol spelen. Daarom is verder onderzoek nodig naar de mate waarin de verwerkingssnelheid en het werkgeheugen een rol spelen in de relatie tussen fonologische verwerking, RAN en rekenprestaties. Tevens kan het van belang zijn te onderzoeken in welke mate de subprocessen van fonologische verwerking en RAN een rol spelen in rekenprestaties, aangezien de subprocessen fonologisch bewustzijn en RAN pauzetijd tot nu toe enkel belangrijke voorspellers bleken te zijn voor rekenprestaties van kinderen met dyslexie. Daarnaast zou het raadzaam zijn huidig onderzoek nogmaals uit te voeren met een grotere steekproef om zo valide uitspraken te kunnen doen en resultaten te kunnen generaliseren, zodat dit gebruikt kan worden om interventies te bedenken en in te zetten voor de rekenproblemen die worden ervaren bij de kinderen met dyslexie.

Referenties

- Bernabini, L., Bonifacci, P., & de, J. P. F. (2021). The relationship of reading abilities with the underlying cognitive skills of math: a dimensional approach. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.577488>
- Brandenburg, J., Kleszczewski, J., Schuchardt, K., Fischbach, A., Büttner Gerhard, & Hasselhorn, M. (2017). Phonological processing in children with specific reading disorder versus typical learners: factor structure and measurement invariance in a transparent orthography. *Journal of Educational Psychology*, 109(5), 709–726.
- Bonifacci, P., & Snowling, M. (2008). Speed of processing and reading disability: A cross-linguistic investigation of dyslexia and borderline intellectual functioning. *Cognition*, 107, 999–1017.
- Callens, M., Tops, W., Stevens Michaël, & Brysbaert, M. (2014). An exploratory factor analysis of the cognitive functioning of first-year bachelor students with dyslexia. *Annals of Dyslexia: An Interdisciplinary Journal of the International Dyslexia Association*, 64(1), 91–119. <https://doi.org/10.1007/s11881-013-0088-6>
- Child, A. E., Cirino, P. T., Fletcher, J. M., Willcutt, E. G., & Fuchs, L. S. (2019). A cognitive dimensional approach to understanding shared and unique contributions to reading, math, and attention skills. *Journal of Learning Disabilities*, 52(1), 15–30. <https://doi-org.tilburguniversity.idm.oclc.org/10.1177/0022219418775115>
- Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Compton, D. L., De Fries, J. C., Olson, R. K. (2001). Are RAN- and phonological awareness-deficits additive in children with reading disabilities? *Dyslexia*, 7, 125-149.

- Compton, D., Fuchs, L., Fuchs, D., Lambert, W., & Hamlett, C. (2012). The cognitive and academic profiles of reading and mathematics learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities, 45*(1), 79–95.
- Da Silva, P. B., Engel, de A. P. M. J., Laurence, P. G., Simi, L. G. V., Tomás, R. C., & Macedo, E. C. (2020). Rapid automatized naming and explicit phonological processing in children with developmental dyslexia: a study with portuguese-speaking children in brazil. *Frontiers in Psychology, 11*, 928–928.
<https://doi-org.tilburguniversity.idm.oclc.org/10.3389/fpsyg.2020.0092>
- De Jong, P. F. & van der Leij, A. (1999) Specific contributions of phonological abilities to early reading acquisition: Results from a Dutch latent variable longitudinal study. *Journal of Educational Psychology, 91*(3), 450–476.
- De Smedt, B. & Boets, B. (2010). Phonological processing and arithmetic fact retrieval: Evidence from developmental dyslexia, *Neuropsychologia, 48*(14), 3973– 3981.
- De Smedt, B. (2018). Language and arithmetic: The potential role of phonological processing, in: A. Henik & W. Fias (Eds) *Heterogeneity of function in numerical cognition* (New York, Academic Press), 51– 74.
- De Vos, T. (2010). Tempo test automatiseren. Amsterdam: Boom Test Publishers.
- Dirks, E., Spyer, G., van Lieshout, E. C. D. M., & de Sonnevile, L. (2008). Prevalence of combined reading and arithmetic disabilities. *Journal of Learning Disabilities, 41*(5), 460–473.
- Floyd, R.G., Evans, J.J., & McGrew, K.S. (2003). Relations between measures of Cattell-Horn-Carroll (CHC) abilities and mathematics achievement across the school-age years. *Psychology in the Schools, 60*, 155–171.

Frijters, J., Lovett, M., Steinbach, K., Wolf, M., Sevcik, R., & Morris, R. (2011).

Neurocognitive predictors of reading outcomes for children with reading disabilities.

Journal of Learning Disabilities, 44(2), 150–166.

Georgiou, G. K., Tziraki, N., Manolitsis, G., & Fella, A. (2013). Is rapid automatized naming related to reading and mathematics for the same reason(s)? a follow-up study from kindergarten to grade 1. *Journal of Experimental Child Psychology*, 115(3), 481–96.

<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.01.004>

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.

Kail, R., & Hall, L. K. (1994). Processing speed, naming speed, and reading. *Developmental Psychology*, 30, 949–954.

Koponen, T., Eklund, K., Heikkilä Riikka, Salminen, J., Fuchs, L., Fuchs, D., & Aro, M.

(2020). Cognitive correlates of the covariance in reading and arithmetic fluency: importance of serial retrieval fluency. *Child Development*, 91(4), 1063–1080.

<https://doi.org/10.1111/cdev.13287>

Kort, W., Schittekatte, M., Dekker, P.H., Verhaeghe, P., Compaan, E.L., Bosmans, M. &

Vermeir, G. (2005). *WISC-IIIINL Wechsler Intelligence Scale for Children. David Wechsler. Derde Editie NL. Handleiding en Verantwoording*. Amsterdam: Harcourt Test Publishers. Amsterdam: NIP Dienstencentrum.

Kuzmina, Y., Ivanova, A., & Kaiky, D. (2019). The effect of phonological processing on mathematics performance in elementary school varies for boys and girls: fixed-effects longitudinal analysis. *British Educational Research Journal*, 45(3), 640–661.

<https://doi-org.tilburguniversity.idm.oclc.org/10.1002/berj.3518>

- Lomax, R. G., & Hahs-Vaughn, D. L. (2012). Multiple Regression. An introduction to statistical concepts, 3rd ed. (pp. 657-708). New York, NY: Routledge/Taylor & Francis Group.
- Lopes-Silva, J. B., Moura, R., Júlio-Costa A, Haase, V. G., & Wood, G. (2014). Phonemic awareness as a pathway to number transcoding. *Frontiers in Psychology*, 5, 13–13. <https://doi-org.tilburguniversity.idm.oclc.org/10.3389/fpsyg.2014.00013>
- Moll, K., Göbel, S. M., Gooch, D., Landerl, K., & Snowling, M. J. (2016). Cognitive risk factors for specific learning disorder: processing speed, temporal processing, and working memory. *Journal of Learning Disabilities*, 49(3), 272–81. <https://doi-org.tilburguniversity.idm.oclc.org/10.1177/0022219414547221>
- Passolunghi, M. C., Vercelloni, B. & Schadee, H. (2007) The precursors of mathematics learning: Working memory, phonological ability and numerical competence, *Cognitive Development*, 22 (2), 165-184.
- Peng, P., Lin, X., Ünal, Z. E., Lee, K., Namkung, J., Chow, J., et al. (2020). Examining the mutual relations between language and mathematics: a meta- analysis. *Psychol. Bull.* 146, 595–634.
- Pennington, B. F., & Cicchetti, D. (2002). *The development of psychopathology: nature and nurture*. Guilford Press.
- Proctor, B. E., Floyd, R. G., & Shaver, R. B. (2005). Cattell-horn-carroll broad cognitive ability profiles of low math achievers. *Psychology in the Schools*, 42(1), 1–12. <https://doi-org.tilburguniversity.idm.oclc.org/10.1002/pits.20030>
- Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology*, 13(2), 212–8.
- RID (2020, 27 januari). Rekenproblemen bij kinderen met dyslexie. Geraadpleegd van <https://www.rid.nl/blog/rekenproblemen-bij-kinderen-met-dyslexie/> (31 okt 2020).

- Shanahan, M. A., Pennington, B. F., Yerys, B. E., Scott, A., Boada, R., Willcutt, E. G., & De Fries, J. C. (2006). Processing speed deficits in attention deficit/hyperactivity disorder and reading disability. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 34, 585–602.
- Simmons, F.R., & Singleton, C. (2008). Do weak phonological representations impact on arithmetic development? A review of research into arithmetic and dyslexia. *Dyslexia*, 14, 77–94.
- Simmons, F. R., & Singleton, C. (2009). The mathematical strengths and weaknesses of children with dyslexia. *Journal of Research in Special Educational Needs*, 9, 154–163.
- Singer, V., Strasser, K., & Cuadro, A. (2019). Direct and indirect paths from linguistic skills to arithmetic school performance. *Journal of Educational Psychology*, 111(3), 434–445. <https://doi-org.tilburguniversity.idm.oclc.org/10.1037/edu0000290>
- Swanson, H. L., Trainin, G., Necoechea, D. M., & Hammill, D. D. (2003). Rapid naming, phonological awareness, and reading: a meta-analysis of the correlation evidence. *Review of Educational Research*, 73(4), 407–440.
- Tonje, A., Arne Lervåg, & Monica Melby-Lervåg. (2021). Comorbidity between math and reading problems: is phonological processing a mutual factor? *Frontiers in Human Neuroscience*, (2021). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.577304>
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J., & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology & Psychiatry*, 45(1), 2-40. <https://doi-org.tilburguniveristy.idm.oclc.org/10.1046/j.0021-9630.2003.00305.x>
- Vukovic, R. K., Lesaux, N. K., & Siegel, L. S. (2010). The mathematics skills of children with reading difficulties. *Learning and Individual Differences*, 20(6), 639–643. <https://doi-org.tilburguniversity.idm.oclc.org/10.1016/j.lindif.2010.08.004>
- Wagner, R. K., & Torgesen, J. K. (1987). The nature of phonological processing and its

- causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, 101, 192–212.
<http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.101.2.192>
- Wang, Y., Ye, X., & Deng, C. (2020). Exploring mechanisms of rapid automatized naming to arithmetic skills in chinese primary schoolers. *Psychology in the Schools*, 57(4), 556–571. <https://doi.org/10.1002/pits.22349>
- Willcutt, E. G., Petrill, S. A., Wu, S., Boada, R., Defries, J. C., Olson, R. K., & Pennington, B. F. (2013). Comorbidity between reading disability and math disability: concurrent psychopathology, functional impairment, and neuropsychological functioning. *Journal of Learning Disabilities*, 46(6), 500–16.
<https://doi-org.tilburguniversity.idm.oclc.org/10.1177/0022219413477476>
- Wise, J. C., Pae, H. K., Wolfe, C. B., Sevcik, R. A., Morris, R. D., Lovett, M., & Wolf, M. (2008). Phonological awareness and rapid naming skills of children with reading disabilities and children with reading disabilities who are at risk for mathematics difficulties. *Learning Disabilities Research & Practice*, 23(3), 125–136.
<https://doi.org/10.1111/j.1540-5826.2008.00270.x>
- Wolf, M., & Bowers, P. G. (1999). The ‘double deficit hypothesis’ for the developmental dyslexias. *Journal of Educational Psychology*, 91, 1–24.
- Wolf, M., O'Rourke, A. G., Gidney, C., Lovett, M., Cirino, P., & Morris, R. (2002). The second deficit: an investigation of the independence of phonological and naming-speed deficits in developmental dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 15(1-2), 43–72.
<https://doi-org.tilburguniversity.idm.oclc.org/10.1023/A:1013816320290>

Appendix A

Assumpties checks

Voor het uitvoeren van de multipele regressie is er gecontroleerd voor de volgende assumpties: onafhankelijkheid, homogeniteit, normaliteit, lineariteit, 'Fixed X' en non-collineariteit (Lomax & Hahs-Vaughn, 2012).

Voor de eerste assumptie "onafhankelijkheid" van metingen is gekeken naar de Durbin-Watson test waarde. De data voldoet aan de assumptie van onafhankelijkheid ($DW = 1.461$), aangezien deze een waarde moest hebben tussen nul en vier (Lomax & Hahs-Vaughn, 2012).

De spreidingsdiagrammen van residuen laten een random verdeling zien van residuen die vrij constant blijven. Dit laat zien dat er sprake is van een gelijke constante variantie van de onafhankelijke variabelen (fonologische verwerking en RAN), aldus homogeniteit.

De assumptie van normaliteit houdt in dat de waarden van de afhankelijke variabele (rekenprestaties) normaal verdeeld zijn. Deze assumptie is getest door te kijken naar de ongestandaardiseerde residuen. De Shapiro Wilk test voor normaliteit ($SW = .97$, $df = 44$, $p < .356$) suggereert dat er sprake is van normaliteit. Daarnaast suggereren histogrammen, Q-Q plots, 'Skewness' (.191) en 'Kurtosis' (-.510) dat er voldaan is aan deze assumptie, aangezien deze laatste twee een waarde tussen -2 en 2 moeten hebben (Lomax & Hahs-Vaughn, 2012). Hierdoor wordt er van een normale verdeling uitgegaan.

Beoordeling van de partiële spreidingsdiagrammen van de twee onafhankelijke variabelen (fonologische verwerking en RAN) en de afhankelijke variabele (rekenprestaties) indiceren dat er wordt voldaan aan de assumptie van lineariteit. Dit houdt in dat er een lineaire relatie is tussen de scores op de afhankelijke variabele (rekenprestaties) en de scores van de onafhankelijke variabelen (fonologische verwerking en RAN).

Er is tevens voldaan aan de assumptie van ‘Fixed X’, omdat men in replicatieonderzoek dezelfde reeks van waarden van de onafhankelijke variabelen (fonologische verwerking en RAN) zult krijgen.

Tot slot is er voor de assumptie non-collineariteit gecontroleerd. Non-collineariteit houdt in dat er geen sterke lineaire relatie is tussen twee of meer van de predictoren, oftewel de onafhankelijke variabelen (fonologische verwerking en RAN). Om aan deze assumptie te voldoen moet de tolerantiewaarde groter zijn dan .10 en de grootste waarde van de ‘Variance Inflation Factor’ (VIF) kleiner zijn dan 10 (Lomax & Hahs-Vaughn, 2012). Hier is niet aan voldaan, aangezien de waarde van tolerantie .023 is en de grootste waarde van de VIF 98.686 is. Vanwege de kleine steekproef is het lastig om aan de assumptie voor non-collineariteit te voldoen waardoor dit gevolgen heeft voor de generaliseerbaarheid van huidig onderzoek.