

Executieve functies en de ontwikkeling van (voorbereidende) rekenvaardigheid

E. H. Kroesbergen, S. H. G. van der Ven, M. E. Kolkman, J. E. H. van Luit
en P. P. M. Leseman

Samenvatting

Uit recent onderzoek blijkt dat executieve functies belangrijke voorspellers zijn voor individuele verschillen in de ontwikkeling van (voorbereidende) rekenvaardigheid van kinderen. Executieve functies vormen een containerbegrip voor verschillende complexe vaardigheden die nodig zijn voor een doelgerichte uitvoering van taken, zoals 1) de inhibitie van dominante reacties, 2) het wisselen (*shifting*) tussen verschillende responssets en 3) *updating* voor de opslag van tijdelijke gegevens en het herzien van deze informatie als nieuwe input dit vereist. In deze bijdrage wordt nader ingegaan op de rol van de drie executieve functies in de ontwikkeling van vroege rekenvaardigheid. Dit wordt toegelicht aan de hand van twee studies onder respectievelijk 93 kleuters en 26 leerlingen uit groep 3. De resultaten van dit onderzoek laten zien dat de *updating* factor de belangrijkste voorspeller is van rekenvaardigheid in groep 1 tot 3. De conclusies worden besproken in het licht van de validiteit van het gemaakte onderscheid tussen de onderscheiden executieve functies.

1 Theoretische en methodologische uitgangspunten

1.1 De ontwikkeling van rekenvaardigheid

Reeds lang voordat het formele rekenonderwijs begint, doen kinderen kennis op die de basis vormt voor de latere rekenontwikkeling. Volgens sommigen komen kinderen zelfs al ter wereld met een aangeboren gevoel voor aantallen (*number sense*, Dehaene, 2001). Gedurende de kindertijd krijgen kinderen steeds meer kennis en begrip van aantallen, wat zich uit in de ontwikkeling van een 'mentale getallenlijn'. De representatie van getallen op een dergelijke getallenlijn brengt met zich mee dat kinderen kennis heb-

ben van wat nabijgelegen getallen zijn (6 is vlakbij 7) en aantallen kunnen vergelijken (6 is minder dan 7). Dit betreft in termen van het *triple code*-model van Dehaene (1992) de analoge *magnitude*-code. Dehaene maakt onderscheid tussen drie codes waarin aantallen gerepresenteerd worden. Naast de analoge code, is er ook de auditief verbale code: het kennen van het woord dat bij elk aantal hoort (|||| is vier) en daaraan gerelateerd ook het kennen van de telrij. Als derde is er de visuele code: bij ons het Arabische numerieke systeem.

Hoewel de ontwikkeling begint met de analoge code, blijft deze in ontwikkeling ook als de tweede en derde code zich reeds ontwikkelen. Met andere woorden, de mentale getallenlijn van kinderen wordt gedurende de kindertijd steeds nauwkeuriger, als zij beginnen te tellen en de bijbehorende symbolen leren. Siegler en Booth (2004) onderzochten bijvoorbeeld hoe goed kleuters en kinderen in groep 3 en 4 getallen konden weergeven op een lege getallenlijn tot 100. Zij ontdekten dat kleuters en kinderen in groep 3 kleine getallen accurater konden schatten dan grote getallen: zij onderschatten de verschillen tussen de grotere getallen op de getallenlijn. De schattingen van deze kinderen pasten daarvoor beter bij een logaritmische dan bij een lineaire functie. Kinderen in groep 4 waren beter in staat om de correcte posities van getallen te schatten en hun schattingen pasten wel bij een lineaire functie. De schattingsresultaten correleerden in alledrie de leerjaren met (voorbereidende) rekenprestaties.

Voor een goede rekenontwikkeling, is naast deze mentale representatie, ook het leren tellen van belang (Gelman & Gallistel, 1978; Van de Rijt & Van Luit, 1998). In de peutertijd beginnen kinderen met het leren van de telrij en het tellen van voorwerpen. Van de Rijt en Van Luit onderscheiden daarbij 1) het gebruik van telwoorden, 2) gestructureerd tellen, 3) resultaatief tellen en 4) het

toepassen van algemene kennis van getallen. Tezamen met vergelijken, hoeveelheden koppelen, één-één-correspondentie en ordenen, vormen deze volgens hen de belangrijkste componenten van de voorbereidende rekenvaardigheden waar kinderen in de eerste jaren van de basisschool voornamelijk mee bezig zijn. De verschillende componenten – mentale getallenlijn, tellen en voorbereidende rekenvaardigheden – vormen het ‘getalbegrip’. Kinderen leren getallen lezen en schrijven en vanaf groep 3 (in Nederland) krijgen kinderen instructie in de elementaire bewerkingen, te beginnen met optellen en aftrekken, waarna andere bewerkingen volgen. Het doel is dat kinderen bij gemakkelijke sommen uiteindelijk gebruik weten te maken van *retrieval*, oftewel het direct ophalen van het antwoord uit het lange termijn geheugen. Voor die tijd leren kinderen om bij het uitrekenen van sommen handig gebruik te maken van verschillende oplossingsstrategieën. Wanneer de uitkomst van een som de 10 overschrijft kan er bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van de aanvullen-tot-10-strategie, bijvoorbeeld $7 + 8 = 7 + 3 + 5 = 10 + 5 = 15$. Het getal 8 wordt in dit geval dus opgesplitst in 3 en 5, om zo een “sprong” naar de 10 te kunnen maken. In sommige gevallen is echter een andere strategie gemakkelijker. Het blijkt dat de zogenaamde dubbelen, waarbij er twee keer hetzelfde getal wordt opgeteld, zoals $6 + 6$, relatief snel gememoriseerd worden (Wheeler, 1939). Wanneer een dubbele als $7 + 7 = 14$ gememoriseerd is, kan deze kennis bovendien gebruikt worden bij bijna-dubbelen: $7 + 8 = 14 + 1 = 15$. Deze strategie blijkt bij dergelijke opgaven iets sneller uitgevoerd te kunnen worden dan de aanvullen-tot-10 strategie (Torbeys, Verschaffel, & Ghesquière, 2005).

Niet bij alle kinderen verloopt het leren rekenen probleemloos. Ongeveer vijf tot tien procent van de kinderen ondervindt problemen bij het verwerven van rekenvaardigheid (Geary, Hoard, Nugent, & Byrd-Craven, 2008). Deze problemen worden vaak duidelijk als kinderen formeel rekenonderwijs gaan volgen, maar de oorzaak ervan moet waarschijnlijk al eerder worden gezocht. Het is van belang om in een vroeg stadium problemen te signaleren en waar mogelijk te re-

mediëren. Het blijkt dat kinderen die minder goed kunnen tellen in de voorschoolse periode, later gemiddeld meer problemen met rekenen hebben (Aunio, 2006; Jordan, Kaplan, Locuniak, & Ramineni, 2007).

Naast voorspellers in de vorm van problemen in de vroege of voorbereidende rekenvaardigheid, kan er ook gekeken worden naar de cognitieve factoren die mogelijk aan deze problemen ten grondslag liggen. In recente literatuur worden vaak het werkgeheugen of de executieve functies als onderliggende factor genoemd (Bull, Espy, & Wiebe, 2008; Mazzocco, 2008; Passolunghi, Mammarella, & Altoè, 2008). In deze bijdrage wordt nader ingegaan op de relatie tussen deze onderliggende cognitieve factoren en de ontwikkeling van rekenvaardigheid.

1.2 De rol van executieve functies

In huidig onderzoek en literatuur wordt het werkgeheugenmodel van Baddeley (1996, 2000) veelvuldig als uitgangspunt genomen. In dit model wordt onderscheid gemaakt tussen het centraal executief systeem en een drietal slaafsysteemen: de fonologische lus, het visueel-ruimtelijke schetsblok en de later aan het model toegevoegde episodische buffer voor de integratie van verschillende soorten informatie. Het centrale executieve systeem fungeert als een controlesysteem dat binnenkomende informatie en de slaafsysteemen coördineert. Dit centrale systeem zou uit verschillende executieve functies bestaan (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, & Howerter, 2000), zoals de inhibitie van dominante reacties, het wisselen tussen verschillende responssets (*shifting*) en het opslaan en bijwerken van informatie in het werkgeheugen, ook wel *updating* genoemd (Miyake e.a., 2000; Welsh, 2002). Verschillende onderzoekers hebben de genoemde drie executieve functies gevonden (Espy, e.a., 2004; Hughes, 1998). Hierbij wordt veelal gebruik gemaakt van factoranalytische methoden. Dit wordt gedaan om tegemoet te komen aan het probleem van de onzuivere meting (*impurity problem*), dat betrekking heeft op het feit dat executieve functies niet direct te meten zijn, maar altijd gemeten worden in een cognitieve context waarin bijvoorbeeld aandacht, reactiesnelheid, maar ook domeinspecifieke vaar-

digheden als bijvoorbeeld lezen, een rol kunnen spelen. Het is daardoor onvermijdelijk dat andere cognitieve processen de uitkomsten beïnvloeden (Miyake e.a., 2000). Factoranalyse minimaliseert dit probleem. Hoewel de genoemde driedeling in verschillende factoranalytische studies is bevestigd, is er de laatste tijd ook een aantal studies verricht dat deze indeling niet of slechts gedeeltelijk ondersteunt (St Clair-Thompson & Gathercole, 2006; Van der Sluis, De Jong, & Van der Leij, 2007; Wiebe, Espy, & Charak, 2008). Een mogelijke verklaring kan liggen in diezelfde factoranalyse. Zoals Van der Maas e.a. (2006) hebben aangetoond, is het statistisch vinden van factoren geen definitief bewijs dat er neurobiologische systemen bestaan die aan de gevonden factoren ten grondslag liggen. Bovendien verklaren de gevonden factoroplossingen de empirische data altijd maar ten dele: er blijft veel onverklaarde variantie. Een laatste punt van kritiek betreft de meetinstrumenten voor executieve functies, die in elk onderzoek weer anders gekozen zijn en bovendien, zeker voor jonge kinderen, vaak nog onvoldoende betrouwbaar en valide zijn.

Hoewel het concept executieve functies niet eenduidig is, is wel aangetoond dat dergelijke executieve functies of executieve controle processen samenhangen met rekenen (zie paragraaf 2). Inhibitie is belangrijk in alle taken waarbij het kind irrelevant prikkels moet negeren. Kinderen met lagere inhibitiecontrole hebben bijvoorbeeld moeite om een eerste reactie te onderdrukken. Als de telrij goed geautomatiseerd is, zal bijvoorbeeld bij een opgave als $3 + 4$ automatisch 5 opgeroepen worden. Deze automatische respons moet echter onderdrukt worden, omdat het kind een optelsom moet gaan maken in plaats van de telrij verder op te zeggen (3, 4, ...5). Doordat het kind meer fouten maakt, zal het ook langer duren voordat rekenfeiten geautomatiseerd worden (Siegler, 1996). *Shifting*, het vermogen om te wisselen tussen taken of strategieën, wordt vooral belangrijk als kinderen meer complexe taken moeten gaan uitvoeren, bijvoorbeeld wisselen tussen optellen en aftrekken, of het combineren van *retrieval* en een minder geavanceerde strategie (bij een opgave als 6×4 wordt $5 \times 4 = 20$ uit het geheugen opgehaald, om er vervolgens nog 4 bij

op te tellen). *Updating* is belangrijk bij het verwerken en bewerken van informatie in het werkgeheugen, bijvoorbeeld bij het vasthouden van tussenoplossingen ($8 + 7: 8 + 2 = 10$, 7 splitsen in 2 en 5, $10 + 5 = 15$). Een zwak updatingvermogen kan er daardoor ook voor zorgen dat het kind noodgedwongen op de vingers blijft tellen. Het kind is daardoor trager en maakt meer fouten. Dit leidt dan weer tot een vertraagde automatisering (Siegler, 1996). Executieve functies blijken een rol te spelen, zowel bij het ophalen van gememoreerde feiten als bij het uitvoeren van strategieën (Imbo & Vandierendonck, 2008). Problemen met executief functioneren kunnen daardoor leiden tot (ernstige) rekenproblemen. Door het zoeken naar mogelijke oorzaken van rekenproblemen in de executieve functies, wordt niet alleen een verklaring geboden voor deze problemen, maar ook een richting geboden aan mogelijke interventies.

2 Overzicht van eerder onderzoek

Inderdaad is er in een groot aantal studies een verband tussen executieve functies en rekenen gevonden. Hoewel de meerderheid van de studies zich richt op rekenprestaties bij oudere leerlingen, is ook enig onderzoek gedaan naar de relatie tussen executieve functies en voorbereidende rekenvaardigheden. Blair en Razza (2007) vonden in een groep 3- tot 5-jarigen een verband tussen inhibitie- en *shifting*taken en voorbereidende rekenvaardigheid. Espy e.a. (2004) vonden ook verbanden tussen *updating* en inhibitie en voorbereidend rekenen, maar *shifting* bleek geen significante voorspeller bij kinderen van 2 tot 5 jaar. Verschillende studies uit onze eigen groep (Kroesbergen, Kolkman, & Bolier, 2009; Kroesbergen, Van de Rijt, & Van Luit, 2007; Kroesbergen, Van Luit, Van Lieshout, Van Loosbroek, & Van de Rijt, 2009) hebben significante correlaties tussen inhibitie, *shifting* en *updating* met getalbegrip aangetoond bij kinderen in groep 2. Deze relaties moeten echter uitvoeriger, en met name specifiek, onderzocht worden. Belangrijk is daarbij te kijken naar de onderliggende aspecten van rekenen, zoals de mentale getallenlijn. Aangezien verschillende cognitieve processen

betrokken zijn bij de ontwikkeling van getalbegrip, lijkt het aannemelijk dat ook executieve functies hierin een rol spelen. In een onderzoek van Geary e.a. (2008) komt naar voren dat er een duidelijke relatie is tussen updating en lineaire representaties van een mentale getallenlijn. Dit onderzoek is echter gedaan bij 7-jarigen, terwijl de ontwikkeling van deze representaties al op jongere leeftijd plaatsvindt.

Meer onderzoek is gedaan naar de relatie tussen executieve functies en rekenvaardigheid op latere leeftijd. In sommige van deze studies is gezocht naar verbanden in een dwarsdoorsnede van de populatie. Bull, Epsy en Wiebe (2008) vonden een verband tussen rekenvaardigheid en alle drie de executieve functies. Met name *updating* blijkt een belangrijke voorspeller voor rekenprestaties (Passolunghi e.a., 2008; Rasmussen & Bisanz, 2005; Swanson, 2006). Andere studies vonden een relatie tussen meer specifieke rekenvaardigheden, zoals optellen of gebruik van *retrieval*, en *updating* (Adams & Hitch, 1997; Barouillet & Lépine, 2005, Wu e.a., 2008). Ook studies die een vergelijking maakten tussen rekenzwakke en gemiddeld presterende kinderen vonden relaties met executief functioneren. Rekenzwakke kinderen blijken lager te scoren op inhibitie (Sikora, Haley, Edwards, & Butler, 2002), *shifting* (McLean & Hitch, 1999) en *updating* (Swanson & Beebe-Frankenberger, 2004). Echter, voor elke executieve functie zijn er ook studies die geen verschil vinden tussen zwakke en normale rekenaars: inhibitie (Rasmussen & Bisanz, 2005), *shifting* (Van der Sluis e.a., 2007) en *updating* (Van der Sluis, Van der Leij, & De Jong, 2005).

Er zijn verschillende verklaringen voor deze tegenstrijdige resultaten. Ten eerste is veelal gebruik gemaakt van surveyonderzoek, waarbij slechts één meting werd uitgevoerd. Longitudinale en (quasi-)experimentele designs zijn wenselijk om meer zekerheid over de oorzakelijke verbanden te geven en bovendien maakt dit het mogelijk om de ontwikkeling van executieve functies in relatie tot rekenvaardigheid na te gaan. Ten tweede, de meeste gepubliceerde onderzoeken zijn gericht op een algemene operationalisering van rekenvaardigheid. Hierbij is veelal ge-

bruik gemaakt van relatief eenvoudige rekenopgaven, vaak met een tijdslimiet. Dit type opgaven vereist wellicht andere vaardigheden dan de vaardigheden die nodig zijn om daadwerkelijk rekenvaardigheden te verwerven. De rol van executieve functies wordt daarmee wellicht ondergewaardeerd. Ten derde is er een grote variatie in executieve taken. Een kritische beschouwing van de taken in de voornoemde studies laat zien dat in diverse studies executieve taken worden gebruikt die ook een beroep doen op rekenvaardigheden. Een voorbeeld is de studie van Bull en Scerif (2001), waarin een relatie met rekenen is gevonden van een inhibitie taak waarin getallen werden gebruikt, maar niet van een vergelijkbare inhibitietask met letters.

Concluderend kan gesteld worden dat, hoewel er de laatste tijd veel onderzoek naar de relatie tussen executieve functies en rekenen uitgevoerd is, dit de rol van executieve functies nog niet helder heeft gemaakt. Om de rol van executieve functies in de ontwikkeling van rekenvaardigheid te verduidelijken, hebben wij twee studies uitgevoerd. Beide studies richten zich – in tegenstelling tot eerder onderzoek – op een specifiek element van rekenvaardigheden. In de eerste studie zijn de executieve functies onderzocht in relatie tot getalbegrip, in het bijzonder de representatie van de mentale getallenlijn, om zo meer kennis te krijgen over dit specifieke, voorwaardelijke, aspect van rekenvaardigheid. In de tweede studie is de relatie tot de dubbelen (zoals $7 + 7$) onderzocht. We hebben voor deze specifieke vaardigheid gekozen omdat we op zoek waren naar een afgebakende vaardigheid binnen het aanvankelijk rekenen die zich in een korte periode ontwikkelt. In deze tweede studie is bovendien veel aandacht besteed aan een goede selectie van executieve taken. Tezamen geven de studies daarom inzicht in de rol van executieve functies in zowel het voorbereidend als het aanvankelijk rekenen. Voorts is in beide studies een quasi-experimenteel design gehanteerd, om meer zicht te krijgen op de oorzakelijke rol van executieve functies in de ontwikkeling van rekenvaardigheid. In de eerste studie heeft daartoe een interventie plaatsgevonden. In de tweede studie is de “natuurlijke” vooruitgang in rekenvaardigheid gedurende een

aantal weken gevolgd, om de rol van executieve functies in de ontwikkeling te meten. Dit doet meer recht aan het ontwikkelingsaspect van rekenen, wat in eerder onderzoek vaak niet betrokken is.

3 Studie 1: Executieve functies in voorbereidende rekenvaardigheid

In dit onderzoek is nagegaan wat de rol van executieve functies is in voorbereidend rekenen. Omdat uit eerder onderzoek blijkt dat executieve functies grote samenhang vertonen met rekenvaardigheid, was de verwachting dat deze functies ook een rol spelen bij een specifieke voorwaarde voor het rekenen, de representatie van aantallen op een mentale getallenlijn, hier verder getalbegrip genoemd. Om dit te toetsen is onderzocht of kleuters met verschillende niveaus van executief functioneren inderdaad ook verschillend presteren op getalbegrip taken. Vervolgens is ook de voorspellende waarde van het executief functioneren op de vooruitgang nagegaan, tijdens een training gericht op het verbeteren van getalbegrip. Als executieve functies belangrijk zijn bij de ontwikkeling van getalbegrip, zouden kinderen met betere executieve functies meer vooruit moeten gaan tijdens een training gericht op getalbegrip.

3.1 Methode

Aan dit onderzoek hebben 93 kinderen uit groep 1 ($N = 46$) en groep 2 ($N = 47$) van zes verschillende reguliere basisscholen in Nederland meegedaan. De steekproef bestond uit 44 meisjes en 49 jongens met een gemiddelde leeftijd van 5,4 jaar ($SD = 0,7$). In totaal zijn drie taken afgenomen om de executieve functies te meten en drie taken op het gebied van getalbegrip. De helft van de kinderen is random geselecteerd om deel te nemen aan de training.

Om het niveau van executief functioneren in kaart te brengen, is een drietal taken afgenomen. Om *inhibitie* te meten, is gebruik gemaakt van de Day/Night Stroop (Gerstadt, Hong, & Diamond, 1994). Het kind kreeg een aantal kaarten te zien met de afbeelding van een zon of een maan, en moest bij kaartjes met een zon *nacht* en bij kaartjes met een

maan *dag* zeggen. Net als bij de Stroop-taak voor volwassenen moeten kinderen bij de Day/Night Stroop hun automatische respons inhiberen om tot een goed antwoord te komen.

Om *updating* te meten, is gebruik gemaakt van Listening recall uit de Automated Working Memory Assessment Battery (Alloway, 2007). Bij deze taak werden één of meerdere zinnen voorgelezen aan de kinderen. De kinderen moesten elke keer aangeven of de zin juist of onjuist was en zij moesten het eerste woord van elke zin herhalen. In deze taak wordt zowel een beroep gedaan op het onthouden van informatie als het bewerken van informatie en wordt daarom beschouwd als een goede maat voor het meten van updaten.

Om *shifting* te meten, is gebruik gemaakt van de Dimensional Change Card Sorting-taak (Zelazo, 2006). Hierbij kregen de kinderen kaartjes te zien met een blauwe boot of een rood konijn erop afgebeeld. In de eerste fase van de taak moesten de kinderen de kaartjes sorteren op kleur en in de tweede fase op vorm. In de derde fase moesten de kinderen het sorteren op kleur en op vorm afwisselen afhankelijk van een zwarte rand die op een aantal kaartjes getoond werd. De scores op dit laatste onderdeel werden gebruikt voor de analyses. De prestaties van kinderen op deze taak worden verklaard door hun vermogen om flexibel om te gaan met verschillende regels en kan daarom goed gebruikt worden als maat voor *shifting*.

De taken op het gebied van getalbegrip zijn overgenomen uit de studie van Laski en Siegler (2007). De eerste twee taken betroffen *getallenlijnen*; een getallenlijn van 0 tot 10 (groep 1) en een getallenlijn van 0 tot 100 (groep 2). De kinderen kregen respectievelijk 5 en 22 getallenlijnen van 0 tot 10 en 0 tot 100 te zien. De kinderen moesten een gegeven getal op de juiste plek op de getallenlijn aangeven. Voor ieder kind is gekeken in hoeverre de geschatte waarden een lineair verband lieten zien met de werkelijke waarden (uitgedrukt in r^2). Deze maat geeft dus aan in hoeverre er op individueel niveau al sprake is van een lineaire representatie (zie ook Geary e.a., 2008).

De tweede taak was een *vergelijkingstaak*. De kinderen kregen 20 maal twee kaartjes te

zien met een getal erop (tussen 0 en 100). De kinderen moesten aangeven welk getal het grootst was van de twee (sets 1-10) respectievelijk het getal dat het kleinst was (sets 11-20). Scores zijn uitgedrukt in het aantal goed beantwoorde items van beide onderdelen.

De derde taak was een *categorisatietaak*. Bij deze test is gebruik gemaakt van vijf doosjes die gelabeld waren met *heel klein* (1-20), *klein* (21-40), *gemiddeld* (41-60), *groot* (61-80) en *heel groot* (81-100). De kinderen moesten 22 getallen (ieder getal was afgebeeld op een kaartje) tussen de 0 en 100 categoriseren door de getallen in het juiste doosje te leggen. Voor de score op deze taak is gebruik gemaakt van het aantal goed gecategoriseerde kaartjes.

De training bestond uit vier sessies van 30 minuten. Tijdens deze sessies zijn in totaal drie verschillende taken met de kinderen geoefend (zie Laski & Siegler, 2007). Per training zijn telkens twee van de drie taken gebruikt. De eerste taak betrof de *midpoint categorization task*. Hierbij kregen de kinderen dertig kaartjes te zien met een getal erop. Zij moesten de getallen categoriseren door ze in doosjes te leggen die gelabeld waren van *heel klein* tot *heel groot*. In tegenstelling tot de voor- en nameting (waarbij deze taak ook ongeveer hetzelfde werd uitgevoerd) werd nu uitgebreide uitleg gegeven met betrekking tot het begin- en eindpunt (respectievelijk de getallen 0 en 100) en de middelpunten van de categorieën (10, 30, 50, 70 en 90). Als instructie werd een kleutervriendelijk verhaal over beren verteld waarin de bedoeling van de taak duidelijk werd. De proefleider gaf bij elke oefening feedback op de prestaties van het kind. De tweede taak betrof de *triad task*. Bij deze taak werden telkens drie getallen getoond aan de kinderen. Eén getal was elke keer een middelpunt van een categorie. Een tweede getal was elke keer een ander getal dan het middelpunt, maar wel een getal uit dezelfde categorie. Het derde getal was een getal uit een andere categorie. Gevraagd werd aan de kinderen welk getal het meest bij het middelpunt zou passen. De derde taak betrof de *variable categorization task*. De procedure en de gebruikte materialen waren bij deze taak hetzelfde als bij de *midpoint categorization task* echter werden

nu niet de middelpunten gesorteerd maar willekeurige getallen uit de range van 1-100.

3.2 Resultaten

De kinderen uit groep 1 hadden moeite met het aangeven van getalposities op de getallenlijnen, zij begrepen niet wat de bedoeling van de taak was. De betrouwbaarheid van de resultaten op de getallenlijn is daarom niet groot, en deze zijn dus ook niet geanalyseerd. Daarnaast zijn de resultaten van twee leerlingen, wegens sterk wisselende resultaten op de verschillende taken, niet meegenomen in de analyses. In de analyses is allereerst de samenhang tussen de verschillende taken bekeken (zie Tabel 1). Vervolgens is het verband tussen executieve functies en getalbegrip nagegaan. Hiervoor zijn alleen de gegevens van de voormeting gebruikt (zie Tabel 2). Standaard multipel regressieanalyses zijn toegepast om het effect van de verschillende executieve functies te meten. De invloed van de drie executieve functies is tegelijk in één model getoetst. Voor de categorisatie taak werden geen significante effecten gevonden van executieve functies. Op de mate van lineariteit en de vergelijkingstaken is echter wel een positief effect gevonden van executieve functies. *Updating* heeft een positieve invloed op de mate van lineariteit en het totale model verklaart 33% van de variantie in deze variabele. Zowel *updating* als *shifting* hangen samen met de accuratesse op de vergelijkingstaak. Dit gehele model verklaart 44% van de variantie in vergelijkingstaken.

Vervolgens is getoetst of de kinderen die een training hebben gevolgd, ook daadwerkelijk een vooruitgang in getalbegrip laten zien (zie Tabel 3). Het blijkt dat alleen het effect op categorisatie significant is ($F(1,88) = 4,58; p < 0,05$). Op de andere, niet-getrainde, getalbegrip taken is geen effect van de training gevonden ($p > 0,05$).

Tot slot is nagegaan wat de differentiële effecten waren van de executieve functies op de vooruitgang tijdens de training (Tabel 4). Hierbij is alleen gebruik gemaakt van de data van de kinderen die de training hebben gevolgd. Hier blijkt geen effect te zijn van het executief functioneren op de mate van vooruitgang op de vergelijkingstaken. Op de andere taken, getallenlijnen en categorisatie,

Tabel 1

Correlaties tussen de verschillende taken

	1	2	3	4	5	6	7	8
Executieve functies								
1. Inhibitie								
2. <i>Updating</i>	0,20							
3. <i>Shifting</i>	0,07	0,46**						
Getalbegrip voormeting								
4. Lineariteit	0,11	0,47**	0,44**					
5. Vergelijken	-0,10	0,21	0,18	0,22				
6. Categoriseren	0,17	0,19	0,17	0,01	0,02			
Getalbegrip nameting								
7. Lineariteit	0,08	0,51**	0,37*	0,69**	0,31*	0,25		
8. Vergelijken	0,02	0,44**	0,33*	0,43**	0,37*	0,22	0,30*	
9. Categoriseren	0,07	0,27	0,30*	0,35**	0,09	0,14	0,37*	0,13

* $p < 0,05$ ** $p < 0,01$

Tabel 2

Regressie coëfficiënten voor de voorspellers (EFs) van de getalbegrip taken

	Lineariteit		Vergelijken		Categoriseren	
	B	β	B	β	B	β
Constante	-0,9		-0,51		30,5	
Leeftijd	0,01	0,21	0,08**	0,34	0,02	0,04
Inhibitie	0,00	0,05	0,04	0,06	0,19	0,18
<i>Updating</i>	0,02*	0,40	0,06*	0,23	0,07	0,14
<i>Shifting</i>	0,02	0,19	0,15*	0,25	-0,15	-0,14
R	0,58**		0,66**		0,22	
R ²	0,33		0,44		0,05	
R ² -adjusted	0,25		0,41		0	

* $p < 0,05$ ** $p < 0,01$

zijn positieve effecten gevonden van *updating*. De kinderen met betere *updating*-vaardigheden, gingen gedurende de training meer vooruit. *Updating* verklaart 18% van de variantie in de mate van lineariteit en 18% van de variantie in de categorisatie taak.

3.3 Conclusies studie 1

In studie 1 bleek inhibitie geen significante

predictor van getalbegrip vaardigheden. *Shifting* bleek samen te hangen met de vergelijkingstaak, waarbij kinderen de verbale code moeten omzetten in een hoeveelheidrepresentatie. De verklaring voor deze samenhang moet dan ook gezocht worden in het feit dat *shifting* waarschijnlijk nodig is om tussen verbale en numerieke representaties te kunnen wisselen. *Updating* hing het sterkst

Tabel 3

Gemiddelde scores en effectgroottes voor de scores op de voor- en nameting van de getalbegrip taken

	Controle groep					Trainingsgroep				
	Voormeting		Nameting		<i>d</i>	Voormeting		Nameting		<i>d</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	
Lineariteit	0,46	0,29	0,51	0,32	0,16	0,51	0,21	0,58	0,26	0,29
Vergelijken	7,02	1,89	7,21	2,26	0,09	7,06	2,05	7,49	1,97	0,22
Categoriseren	7,08	3,78	8,33	4,32	0,31	6,73	3,29	10,37	4,57	0,93

Tabel 4

Regressie coëfficiënten voor de voorspellers (EFs) van de groei op de getalbegrip taken in de trainingsgroep

	Lineariteit		Vergelijken		Categoriseren	
	<i>B</i>	β	<i>B</i>	β	<i>B</i>	β
Constante	-0,11		0,10		-0,32	
Inhibitie	0,00	0,07	0,06	0,17	-0,09	-0,07
Updating	0,01*	0,48	-0,00	-0,02	0,18*	0,25
Shifting	-0,01	-0,30	-0,09	-0,24	0,29	0,18
<i>R</i>	0,53		0,24		0,36**	
<i>R</i> ²	0,27		0,06		0,13	
<i>R</i> ² -adjusted	0,15		0,02		0,09	

* $p < 0,05$ ** $p < 0,01$

samen met de mate van lineariteit en de categorisatietaak, en was bovendien de beste voorspeller voor de vooruitgang tijdens de training, zowel op de getallenlijn als op de categorisatietaak. Blijkbaar hadden de kinderen met betere *updating*-vaardigheden, meer profijt van de training. Zij waren beter in staat meer informatie tegelijkertijd vast te houden om die vervolgens te gebruiken bij het uitvoeren van de taak. Vastgehouden kennis speelt een belangrijke rol bij de getallenlijnen en de categorisatietaak waar kinderen een getal moeten herkennen, vervolgens moeten vergelijken met een mentale getallenlijn om tenslotte het getal een juiste positie te geven of het kaartje in het juiste bakje te sorteren. Tijdens de training kregen de kinderen feedback op hun prestaties. Kinderen die de feedback beter konden onthouden, waren wellicht

beter in staat deze toe te passen in een nieuwe trainingssessie waardoor zij meer konden profiteren dan kinderen met minder goede *updating*-vaardigheden.

De resultaten van deze studie wijzen erop dat *updating*-vaardigheden een belangrijke voorspeller zijn voor getalbegrip. Dit is in lijn met het onderzoek van Geary e.a. (2008), die bij oudere kinderen ook hebben gevonden dat *updating* samenhangt met een accurate positionering op de getallenlijn. De voorspellende waarde van de resultaten van de huidige studie moeten echter voorzichtig worden geïnterpreteerd, omdat de steekproef klein is en de trainingsperiode kort, waardoor de resultaten niet zonder meer generaliseerbaar zijn naar een grotere populatie en een langduriger ontwikkelingsverloop.

4 Studie 2: Executieve functies en leren optellen

In de tweede studie is de structuur van executieve functies nader onderzocht in relatie tot aanvankelijk rekenen. Hierbij is naar een specifiek onderdeel van het rekenen gekeken, namelijk het optellen van 'dubbelen' over het tiental (van $6 + 6$ tot $9 + 9$). Hiervoor is gekozen omdat de onderzoeksperiode relatief kort is en de dubbelen, zoals eerder genoemd, snel worden geleerd. Dit maximaliseerde de kansen om een significante vooruitgang te vinden in vier weken. Gedurende de vier weken waarin het onderzoek plaatsvond, is er in de klas extra aandacht besteed aan het optellen van dubbelen. Er is gekeken naar verbanden tussen executieve functies en verschillende aspecten van het leren rekenen: het aanvankelijke niveau van de kinderen, de vooruitgang gedurende de testperiode en generalisatie naar andere rekensommen: dezelfde dubbelen gepresenteerd als aftreksom, bijvoorbeeld $12 - 6$. De verwachting was dat de executieve functies een snellere en betere ontwikkeling bevorderen, wat zich uit in een hoger beginniveau, omdat het beginniveau de ontwikkeling in de voorafgaande periode representeert, meer vooruitgang tijdens de training en generalisatie naar een ander domein. Bij dit laatste werd met name een effect van *shifting* verwacht, omdat er van strategie gewisseld moet worden ($12 - 6$ wordt vertaald naar of verbonden aan $6 + 6$). Van kinderen met relatief zwakke inhibitievaardigheden, werd verwacht dat zij meer fouten maakten, omdat zij kennis minder goed geautomatiseerd hebben (zie paragraaf 1) en foute responsen onvoldoende kunnen onderdrukken.

4.1 Methode

Aan het onderzoek namen 26 kinderen uit groep 3 deel (13 jongens en 13 meisjes). De kinderen waren 6,5 tot 7,8 jaar oud ($M = 7,0$, $SD = 0,4$). Allen kwamen uit dezelfde klas in een Nederlandse basisschool in een middelgroot dorp. Aan het begin van de studie waren de kinderen bekend met optel- en aftreksommen, maar in de methode waren rekenopgaven waarbij het antwoord groter is dan 10 nog niet systematisch aan de orde gekomen. Gedurende de studie kregen ze instructie en oefening op dit gebied, volgens de rekenmethode Pluspunt (groep 3, blok 8), een veelgebruikte rekenmethode in Nederland. Bovendien besteedde de leerkracht extra aandacht aan de dubbelen. Twee keer per week, gedurende vier weken, kregen de kinderen een rekentaakje van 3 minuten waarin zij zo veel mogelijk dubbelsommen moesten oplossen. De executieve taken zijn in twee aparte sessies in week 1 en 2 afgenomen.

Per executieve functie (inhibitie, *shifting* en *updating*), werden er twee taken afgenomen. Wanneer de aard van de taak dat toeliet, werden er ook controletaken afgenomen om zo te corrigeren voor niet-executieve aspecten die een rol spelen bij de taak. Helaas zijn er vrijwel geen gegevens van betrouwbaarheid en validiteit van de taken beschikbaar. Dit is het geval omdat het opsplitsen van executieve functies in aparte processen een relatief nieuw onderzoeksgebied is. Om mogelijke problemen met betrouwbaarheid en validiteit te minimaliseren, is ervoor gekozen om meerdere taken per executieve functie af te nemen en een factoranalyse uit te voeren.

Inhibitie

Bij de Selectieve Aandacht taak (Van Luit & Kroesbergen, 1998), moet het kind de ware grootte (groot of klein) van dieren benoemen en daarbij de grootte van het plaatje negeren. In de controletaak zijn alle dieren even groot, maar in de inhibitietaak zijn de meeste grote dieren klein getekend en vice versa. Een interferentiescore werd berekend op basis van tijd en aantal fouten. Ook de Tower of London meet inhibitievaardigheden (Bull, Espy, & Senn, 2004). De taak bestaat uit een configuratie met drie staafjes, waarover respectievelijk drie, twee en één bal geschoven kan worden. De kinderen krijgen de taak om binnen een gestelde tijd in een minimaal aantal zetten een doelconfiguratie te bereiken. De test bestaat uit twintig steeds moeilijkere opgaven en wordt afgebroken na vier opeenvolgende fouten.

Inhibitie

Shifting

Een gecomputeriseerde aanpassing van de Children's Color Trail Test (Llorente, Williams, Satz, & D'Elia, 2003) is afgenomen. Deze taak bestaat uit gekleurde cirkels met

getallen erin: blauwe en groene cirkels met de cijfers 1 tot 15 aanwezig in beide kleuren. De cirkels zijn verspreid over het computerscherm en het kind moet ze verbinden van 1 t/m 15, daarbij de kleuren afwisselend. De taak werd voorafgegaan door een controle-taak waar het kind niet hoefde te wisselen tussen de kleuren. Een score werd bepaald door de tijd van de shiftingtaak te delen door de tijd van de controletaak. Verder is een aangepaste versie van de *Symbol Shifting*-taak (Van der Sluis e.a., 2007) gebruikt. Op een vel papier staan veertig blauwe en gele rechthoekjes met erin een letter en een cijfer. Het kind moet zo snel mogelijk de letter benoemen wanneer de rechthoek blauw is en het cijfer wanneer de rechthoek geel is. Voorafgaand aan deze taak zijn er twee controle-taken: een met uitsluitend letters en een met uitsluitend cijfers. Een eindscore werd bepaald door voor elke fout vijf seconden aan de totale tijd toe te voegen en dit te delen door de gemiddelde controletijd.

Updating

Keep Track is een gecomputeriseerde en aangepaste versie van de taak van Van der Sluis e.a. (2007). Het kind kreeg een serie van tien plaatjes te zien uit vijf categorieën: letters, cijfers, vormen, dieren en voertuigen. Het kind moest elk plaatje benoemen en daarnaast kreeg het van tevoren te horen uit welke categorie(ën) het kind na afloop het laatste plaatje moest noemen. Het aantal categorieën varieerde van één tot drie. Elk correct onthouden plaatje werd genoteerd als een goed antwoord. Tot slot werd de Nederlandse versie van de Digit Span Backwards-taak van de Automated Working Memory Assessment (Alloway, 2007) gebruikt.

Verwerkingssnelheid

Een maat van basale verwerkingssnelheid werd verkregen door het gemiddelde te nemen van de gestandaardiseerde scores op de controlecondities van de drie snelheidstaken: selectieve aandacht, *symbol shifting* en *trail making*. Deze maat werd niet gezien als executief, maar gebruikt als een controlemaat.

Rekentaken.

De opteltaak werd acht keer afgenomen en

bestond uit de vier dubbelsommen ($6 + 6$, $7 + 7$, $8 + 8$, en $9 + 9$), steeds gepresenteerd in een visuele context. De kinderen probeerden zo veel mogelijk sommen op te lossen in drie minuten; bij kinderen die eerder klaar waren, werd de tijd genoteerd. De taak bestond uit vijf pagina's. Elke pagina bevatte drie dubbelsommen en een simpele optelsom onder de 10 om zo enige variatie in de sommen aan te brengen. In elke sessie was de lay-out van de sommen verschillend. De score op deze taak werd gevormd door het aantal correct beantwoorde opgaven per minuut. Naast de opteltaak, werd in de eerste en laatste sessie ook een taak met aftreksommen afgenomen. Deze taak bevatte dezelfde opgaven als de dubbelen, maar nu gepresenteerd als aftreksommen. De kinderen maakten weer zo veel mogelijk sommen in drie minuten. Ook hier waren er vijf pagina's, met elk drie dubbelsommen en een simpele aftreksom onder de 10. De score op deze taak werd gevormd door het aantal correct beantwoorde opgaven per minuut.

4.2 Resultaten

Om het aantal variabelen te reduceren en meer betrouwbare maten te verkrijgen, is een exploratieve factoranalyse met oblimin-rotatie uitgevoerd op de zes executieve taken.¹ De factorstructuur werd gevonden zoals verwacht (zie Tabel 5). De eerste factor is de *updating*-factor: deze verklaarde 35% van de variantie. De tweede factor, *inhibitie*, verklaarde 21% en de derde factor, *shifting*, 16%. De factorscores zijn vervolgens verder geanalyseerd.

De scores van de eerste twee meetmomenten werden samengenomen als maat van beginniveau. Vervolgens werden correlaties berekend tussen deze score en de executieve functies. Hieruit bleek dat *updating* en *shifting* samenhangen met het beginniveau, maar *inhibitie* niet (zie Tabel 6). Als maat van vooruitgang werd het verschil tussen de laatste twee en de eerste twee sessies gebruikt. Ook deze verschillscore werd gecorreleerd met de executieve functies. Alleen *updating* bleek significant samen te hangen met *vooruitgang*.

De scores van de aftreksommen werden gebruikt als maat van generalisatie. Ook hier-

Tabel 5

Factorstructuur van executieve functies met Oblimin-rotatie

Executieve test	Updating	Inhibitie	Shifting
Inhibitie			
<i>Expressive Attention</i>	-0,02	0,86	-0,10
<i>Tower of London</i>	0,35	0,72	0,39
Shifting			
<i>Color Trail Test</i>	0,17	0,20	0,86
<i>Symbol Shifting</i>	0,46	-0,19	0,79
Updating			
<i>Digit Span Back</i>	0,87	0,14	0,11
<i>Keep Track</i>	0,82	0,04	0,36

Noot. De vetgedrukte getallen vertegenwoordigen de verwachte positieve factorladingen.

Tabel 6

Partiële correlatiecoëfficiënten tussen de executieve functies en beginniveau en vooruitgang op de rekentaken, gecorrigeerd voor basale verwerkingssnelheid

	Beginniveau optellen	Vooruitgang optellen	Beginniveau aftrekken	Vooruitgang aftrekken
Inhibitie	0,04	-0,08	0,13	0,02
Shifting	0,44*	0,21	0,30	0,01
Updating	0,37*	0,41*	0,57**	0,38*

* $p < 0,05$

** $p < 0,01$

van werd een vooruitgangmaat genomen: de verschilscore van het laatste en eerste meetmoment. Deze scores werden gecorreleerd met de executieve functies. De resultaten zijn vergelijkbaar met de opteltaken: er werden met name verbanden gevonden met *updating*, in een mindere mate ook met *shifting*, maar niet met *inhibitie* (zie Tabel 6).

Als laatste werd er gekeken naar de foutenpercentages van de kinderen. Omdat er weinig fouten werden gemaakt, is het gemiddelde foutenpercentage over alle sessies berekend, om zo voldoende variatie te verkrijgen. Dit bleek niet samen te hangen met executieve functies. Fouten bleken ook zeer sterk samen te hangen met beginniveau ($r = -0,70$, $p < 0,01$). Wanneer hiervoor werd gecorrigeerd, bleek er een verwachte samenhang met *inhibitie* ($r = -0,35$, $p < 0,05$), maar niet met *shifting* of *updating*.

Evenals in studie 1 is hier het verband tussen *updating* en ontwikkeling in rekenvaardigheid het grootst: kinderen met betere *updating*-vaardigheden, hebben niet alleen gemiddeld een hoger beginniveau, wat de ontwikkeling in de voorafgaande periode representeert, maar gaan ook meer vooruit tijdens het onderzoek. Bovendien is gebleken dat kinderen met betere *updating*-vaardigheden ook beter in staat zijn het geleerde te generaliseren naar verwante taken, in dit geval aftrekopgaven. Ook *shifting* lijkt van belang in het leren rekenen; deze executieve functie hangt samen met het beginniveau, maar het verwachte effect op de generalisatie is niet gevonden. Inhibitie lijkt van minder belang, omdat er geen direct verband werd gevonden met de prestaties op de optel- en aftrekopgaven. Alleen bij de gemaakte fouten, en dan nog alleen wanneer er wordt gecorrigeerd voor beginniveau, wordt er een verband met rekenen gevonden.

4.3 Conclusies studie 2

Er zijn in deze studie duidelijke relaties tussen executieve functies en rekenen gevonden.

5 Discussie

Er kan dus worden geconcludeerd dat de executieve functies samenhangen met rekenen en zelfs de rekenvaardigheid van kinderen gedeeltelijk kunnen voorspellen. De bevinding bij twee specifieke gebieden – getalbegrip en dubbelen – ondersteunen de hypothese dat executieve functies een belangrijke rol spelen in de rekenontwikkeling. De geïdentificeerde executieve functies verklaren voor een deel individuele verschillen tussen kinderen op het gebied van rekenen. Daarmee geven zij niet alleen een verklaring voor verschillen tussen kinderen en voor de rekenproblemen die kinderen kunnen ervaren, maar bieden ook aanknopingspunten voor instructie en mogelijkheden voor interventies. Recente studies (Ten Voorde, 2008; Van der Molen, 2009) hebben aangetoond dat werkgeheugen, in het bijzonder *updating*, te trainen is, en dat een dergelijke training zelfs een positief effect lijkt te hebben op de rekenvaardigheid. Hoewel meer onderzoek op dit terrein noodzakelijk is, opent deze bevinding nieuwe paden op de zoektocht naar effectieve interventies voor zwakke rekenaars.

In de beschreven studies hebben wij aangetoond dat met name *updating* sterk samenhangt met rekenen, en de beste voorspeller hiervan lijkt te zijn. Het gaat hierbij om de gecontroleerde verwerking van informatie in het werkgeheugen. Dit betreft volgens Baddeley (1996) de belangrijkste rol van het werkgeheugen. Het bevordert de kortetermijnopslag en verwerking van informatie. Daarom zou juist dit deel van het werkgeheugen in toekomstig onderzoek beter bestudeerd moeten worden. Deze factor lijkt niet alleen het meest belangrijk in rekenen, maar is ook relatief gemakkelijk te meten, althans het lijkt erop dat deze het gemakkelijkst te extraheren is uit verschillende taken (Van der Ven, Kroesbergen, Leseman, & Boom, 2008). Een diepere analyse in toekomstig onderzoek is evenwel noodzakelijk om te verklaren welke onderliggende processen/functies een rol spelen.

Er blijft namelijk nog veel onverklaarde variantie over. Vanzelfsprekend spelen diverse processen een rol in de ontwikkeling van rekenvaardigheid, maar de verwachting is dat

als de executieve controleprocessen beter gedefinieerd kunnen worden, dit een betere verklaring kan bieden voor rekenontwikkeling. Eerder genoemde kwesties als het *impurity*-probleem en de rol van getallen in diverse executieve taken, maken het meten van executieve functies, onafhankelijk van rekenen of andere cognitieve taken die als afhankelijke variabelen fungeren, erg lastig. De validiteit van de taken staat daarmee nog steeds ter discussie.

Recent wordt het concept van de *central executive* steeds vaker aan de kaak gesteld. Volgens Vandierendonck, Szmalec, Deschuyteneer en Depoorter (2007) bestaat er niet zoiets als een centraal executief systeem, of een beperkt aantal executieve functies. Net als het begrip *central executive*, lijken deze executieve functies nauwelijks een verbetering in te houden ten opzichte van voorwetenschappelijke begrippen als vrije wil of bewuste keuze. Het is onduidelijk wat het executieve systeem precies is en de functies die eraan worden toegeschreven zijn zeer divers en complex (Berch, 2008). De moeilijkheden met het repliceren van de factorstructuur van executieve functies, die we hiervoor al uitvoerig hebben beschreven, wijzen daar misschien ook op. Zitten we op het verkeerde spoor door te zoeken naar een beperkt aantal algemene, haast abstracte executieve functies, die als hogere orde cognitieve vaardigheden op uiteenlopende domeinen van cognitieve activiteit werkzaam zouden moeten zijn? Gaat het niet veeleer om eenvoudige, concrete, lagere orde controleprocessen die – neurobiologisch gedistribueerd – op een locale manier de uitvoering van specifieke taken reguleren? Volgens Vandierendonck e.a. (2007) gaat het bij elke cognitieve taak in de kern om de voortdurende vergelijking – *control monitoring* of conflictdetectie genoemd – van verschillende representaties die tijdelijk zijn opgeslagen in het werkgeheugen, namelijk van de doelsituatie (dat wat bereikt moet worden), van de beperkingen die de taaksituatie oplegt (bijvoorbeeld in welke modaliteit de respons moet worden gegeven en uit welke verzameling van responsen gekozen moet worden) en van de actuele situatie (bijvoorbeeld een bepaalde stimulus). De relatie tussen stimulus en respons wordt

door deze representaties als het ware automatisch gemoduleerd: zo worden bepaalde routes geactiveerd door de representaties van taakdoel en taakbeperkingen, en andere onderdrukt. Effecten als responsinhibitie en *shifting*, gerekend tot de centrale executieve functies, kunnen, aldus Vandierendonck en collega's, even goed verklaard worden uit automatische processen in associatieve netwerken met geactiveerde en gedeactiveerde relaties tussen de componenten van de taakuitvoering. Het is een interessante, maar vooral nog speculatieve gedachte dat onze bevinding dat vooral *updating* (het presenteren van de voortgang van de taakuitvoering ten opzichte van de doelrepresentatie) van belang lijkt voor rekenvaardigheid, in principe goed past bij dit model. Onze taken om *updating* te meten (listening recall in studie 1, backwards digit recall in studie 2) zouden dan wijzen op (individuele verschillen in) de capaciteit om (complexe) taakrepresentaties voldoende lang en accuraat in het geheugen vast te houden, opdat basale automatische controle- en responsselectieprocessen hun werk kunnen doen. De eerder gesuggereerde trainbaarheid van *updating* wijst er dan misschien vooral op dat het proces van presenteren van de taak (encoderen) didactisch ondersteund kan worden.

Het belang van onze beide studies voor het rekenonderwijs is dat ze inzicht bieden in de relatie tussen cognitieve variabelen van kinderen en hun mogelijkheden het rekenen te begrijpen en ermee om te gaan. Bij rekenvaardigheid is het voor een effectieve taakuitvoering belangrijk dat representaties van de taak in verschillende codes met elkaar worden verbonden, van een doorgaans verbale input naar een kernoplossing op het niveau van de getallenlijn en weer terug naar een verbale output. Op al deze niveaus zouden de basale mechanismen van responsactivatie, responsselectie en *conflict monitoring* hun rol spelen, waarbij naast mogelijke individuele verschillen in de efficiëntie van deze basale processen, de kwaliteit van de representaties en de capaciteit van het geheugen in de verschillende codes de resultaten van de taakuitvoering beïnvloeden. Aanknopingspunten voor reken(ortho)didactiek zijn dan primair te vinden in het expliciet ondersteunen van

leerlingen in het encoderen van de taak en in het verbinden van representaties in de verschillende codes. Hierbij kan gedacht worden aan het opdelen in kleine stapjes voor kinderen die moeite hebben met *updating*, of het verbaal of visueel ondersteunen van de *shift* tussen verbale en numerieke representaties in opgaven.

Noot

- 1 In deze studie is gebruik gemaakt van factoranalyse, hoewel de steekproefgrootte relatief klein is. Dit is mogelijk omdat 1) het alleen gebruikt wordt om het aantal variabelen te reduceren, niet om iets over de populatie te zeggen, en 2) factoranalyse bij een steekproef vanaf $N = 20$ mogelijk is, mits de *communalities* relatief hoog zijn, wat hier het geval is (Preacher & MacCallum, 2002).

Literatuur

- Adams, J. W., & Hitch, G. J. (1997). Working memory and children's mental addition. *Journal of Experimental Child Psychology*, 67, 21-38.
- Alloway, T. P. (2007). *Automated Working Memory Assessment*. London: Pearson Assessment.
- Aunio, P. (2006). *Number sense in young children*. Helsinki, Finland: University of Helsinki.
- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 5-28.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423.
- Barouillet, P., & Lépine, R. (2005). Working memory and children's use of retrieval to solve addition problems. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91, 183-204.
- Berch, D. B. (2008). Working memory and mathematical cognitive development: Limitations of limited-capacity resource models. *Developmental Neuropsychology*, 33, 427-446.
- Blair, C., & Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, 78, 647-663.
- Bull, R., Espy, K. A., & Senn, T. E. (2004). A com-

- parison of performance on the Towers of London and Hanoi in young children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45, 743-754.
- Bull, R., Espy, K. A., & Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental Neuropsychology*, 33, 205-228.
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive functions as a predictor of children's mathematical ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology*, 19, 273-293.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44, 1-42.
- Dehaene, S. (2001). Précis of the number sense. *Mind and Language*, 16, 16-36.
- Espy, K. A., McDiarmid, M. M., Cwik, M. F., Staltes, M. M., Hamby, A., & Senn, T. (2004). The contribution of executive functions to emergent mathematic skills in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 26, 465-486.
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Nugent, L., & Byrd-Craven, J. (2008). Development of number line representations in children with mathematical learning disability. *Developmental Neuropsychology*, 33, 277-299.
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Gerstadt, C. L., Hong, Y. J., & Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: Performance of children 3 1/2-7 years old on a stroop-like day-night test. *Cognition*, 53, 129-153.
- Hughes, C. (1998). Executive function in preschoolers: Links with theory of mind and verbal ability. *British Journal of Developmental Psychology*, 16, 233-253.
- Imbo, I., & Vandierendonck, A. (2008). Practice effects on strategy selection and strategy efficiency in simple mental arithmetic. *Psychological Research*, 72, 529-541.
- 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, 36-46.
- Kroesbergen, E. H., Kolkman, M. E., & Bolier, W. (2009). Early learning-related skills in relation to preparatory mathematics. In J. B. Mottely & A. R. Randall (Eds.), *Early education: Learning, assessment and development* (pp 113-139). New York: Nova Science Publishers.
- Kroesbergen, E. H., Luit, J. E. H. van, Lieshout, E. C. D. M. van, Loosbroek, E. van, & Rijt, B. A. M. van de. (2009). Young children at risk for math disabilities: Counting skills and executive functions. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 27, 226-236.
- Kroesbergen, E. H., Rijt, B. A. M. van de, & Luit, J. E. H. van. (2007). Working memory and early mathematics: Possibilities for early identification of mathematics learning disabilities. *Advances in Learning and Behavioral Disabilities*, 20, 1-19.
- Laski, A. 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, 1723-1743.
- Llorente, A. M., Williams, J., Satz, P., & D'Elia, L. F. (2003). *Children's Color Trail Test*. Lutz, FL: Psychological Assessment Resources.
- Luit, J. E. H. van & Kroesbergen, E. H. (1998). *Cognitive Assessment System (Dutch adaptation)*. Utrecht, Nederland: Universiteit Utrecht.
- Maas, H. L. J. van der, Dolan, C. V., Grasman, R. P. P., Wicherts, J. M., Huizenga, H. M., & Raijmakers, M. E. J. (2006). A dynamic model of general intelligence: the positive manifold of intelligence by mutualism. *Psychological Review*, 113, 842-861.
- Mazzocco, M. M. M. (2008). Introduction: Mathematics ability, performance, and achievement. *Developmental Neuropsychology*, 33, 197-204.
- McLean, J. F., & Hitch, G. J. (1999). Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74, 240-260.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- Molen, M. van der. (2009). Working memory in children with mild intellectual disabilities: Abilities and training potential. Dissertatie. Universiteit Utrecht, Utrecht, Nederland.

- Passolunghi, M. C., Mammarella, I. C., & Altoè, G. (2008). Cognitive abilities as precursors of the early acquisition of mathematical skills during first through second grades. *Developmental Neuropsychology*, *33*, 229-250.
- Preacher, K. J., & MacCallum, R. C. (2002). Exploratory factor analysis in behavior genetics research: Factor recovery with small sample sizes. *Behavior Genetics*, *32*, 153-161.
- Rasmussen, C., & Bisanz, J. (2005). Representation and working memory in early arithmetic. *Journal of Experimental Child Psychology*, *91*, 137-157.
- Rijdt, B. A. M. van de, & Luit, J. E. H. van. (1998). Effectiveness of the additional early mathematics program for teaching children early mathematics. *Instructional Science*, *26*, 337-358.
- Siegler, R. S. (1996). *Emerging minds, the process of change in children's thinking*. New York: Oxford University Press.
- Siegler, R. S., & Booth, J. L. (2004). Development of numerical estimation in young children. *Child Development*, *75*, 428-444.
- Sikora, D. M., Haley, P., Edwards, J., & Butler, R. W. (2002). Tower of London test performance in children with poor arithmetical skills. *Developmental Neuropsychology*, *21*, 243-254.
- Sluis, S. van der, Jong, P. F. de, & Leij, A. van der. (2007). Executive functioning in children, and its relations with reasoning, reading, and arithmetic. *Intelligence*, *427-449*.
- Sluis, S. van der, Leij, A. van der, & Jong, P. F. de. (2005). Working memory in Dutch children with reading and arithmetic related learning deficits. *Journal of Learning Disabilities*, *38*, 207-221.
- 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*, 745-759.
- Swanson, H. L. (2006). Cognitive processes that underlie mathematical precociousness in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *93*, 239-264.
- Swanson, H. L., & Beebe-Frankenberger, M. (2004). The relationship between working memory and mathematical problem solving in children at risk and not at risk for serious math difficulties. *Journal of Educational Psychology*, *3*, 471-491.
- Torbeyns, J., Verschaffel, L., & Ghesquière, P. (2005). Simple addition strategies in a first-grade class with multiple strategy instruction. *Cognition and Instruction*, *23*, 1-21.
- Vandierendonck, A., Szmalec, A., Deschuyteneer, M., & Depoorter, A. (2007). Towards a multicomponential view of executive control. The case of response selection. In N. Osaka, R. H. Logie & M. D'Esposito (Eds.), *The cognitive neuroscience of working memory* (pp. 247-259). Oxford: Oxford University Press.
- Ven, S. H. G. van der, Kroesbergen, E. H., Lese-man, P. P. M., & Boom, J. (2008, juli). *Executive functions and math learning*. Paper gepresenteerd op de Jean Piaget Society 18th Advanced course: Cognitive development: Mechanisms and constraints, Geneve, Zwitserland.
- Voorde, R. ten. (2008). *De invloed van een interventie op de rekenvaardigheid van rekenzwakke kleuters: Tellen versus werkgeheugen*. Masterthesis. Universiteit Utrecht, Utrecht, Nederland.
- Welsh, M. C. (2002). Development and clinical variations in executive functions. In D.L. Molfese & V.J. Molfese (Eds.), *Developmental variations in learning. Applications to social, executive function, language, and reading skills* (pp. 139-185). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Wheeler, L. R. (1939). A comparative study of the difficulty of the 100 addition combinations. *The Journal of Genetic Psychology*, *54*, 295-312.
- Wiebe, S. A., Espy, K. A., & Charak, D. (2008). Using confirmatory factor analysis to understand executive control in preschool children: I. Latent structure. *Developmental Psychology*, *44*, 575-587.
- Wu, S. S., Meyer, M. L., Maeda, U., Salimpoor, V., Tomiyama, S., Geary, D. C., et al. (2008). Standardized assessment of strategy use and working memory in early mental arithmetic performance. *Developmental Neuropsychology*, *33*, 365-393.
- Zelazo, P. D. (2006). The dimensional change card sort (dccs): A method of assessing executive function in children. *Nature Protocols*, *1*, 297-301.

Manuscript aanvaard: 28 juli 2009

Auteurs

Evelyn Kroesbergen is universitair docent orthopedagogiek aan de Universiteit Utrecht. **Sanne van der Ven** en **Meijke Kolkman** werken als aio en **Hans van Luit** en **Paul Leseman** als respectievelijk hoogleraar Dyscalculie en hoogleraar Orthopedagogiek bij deze universiteit.

Correspondentieadres: Dr. E. H. Kroesbergen, Universiteit Utrecht, Langeveld Instituut, Postbus 80140, 3508 TC Utrecht. E-mail: e.h.kroesbergen@uu.nl.

Abstract

Executive functions and the development of (preparatory) Math skills

Recent studies have given empirical evidence that executive functions are important predictors of individual differences in the development of (preparatory) math skills. Executive functions are an umbrella term for different complex skills necessary for the adequate execution of goal-directed activities, such as inhibition of dominant automatic responses, shifting between different response sets and updating for temporary storage and processing of information. The role of the three executive functions in the development of early mathematics is discussed. Two studies of our research group are described, which show that updating is the most important predictor in early mathematical development. The conclusions are discussed in terms of the validity of the often made distinction between different executive functions.