

SAMENVATTING IN HET NEDERLANDS

Het leggen van de fundamenten voor rekenprestaties: werkgeheugen, nonsymbolische en symbolische verwerking van hoeveelheden

Hoofdstuk 1 schetste de bestaande theoretische achtergrond van de fundamenten van reken- en wiskundeprestaties en onopgeloste vraagstukken die de individuele studies in deze dissertatie trachtten aan te pakken. Het bevatte de belangrijkste concepten, definities en theoretische aannamen in het raamwerk van vaardigheden van kinderen voor het verwerken van nonsymbolische en symbolische aantallen en hun werkgeheugencapaciteit.

Hoofdstuk 2 genereerde zowel nieuwe methodologische als cognitief-psychologische en onderwijspsychologische implicaties. In de eerste plaats legde het belangrijke inzichten bloot in de onderliggende mechanismen van benaderend rekenen in vijfjarigen. In de tweede plaats demonstreerde het dat dubbele-taakstudies met actieve storing van het werkgeheugen (WG) haalbaar zijn, zelfs met kinderen zo jong als kleuters. We toonden aan dat WG capaciteit noodzakelijk is voor nonsymbolisch benaderend rekenen. Meer specifiek, de centrale executieve (CE) component van het WG was hiervoor noodzakelijk. De prestaties in nonsymbolische benaderend optellen stortten op een consistent wijze in wanneer de CE-component van hun WG werd gestoord. We namen ook aan dat visuele of spatiële deelcomponenten van het WG een actieve rol zouden spelen. Dat deden we omdat eerder onderzoek suggereerde dat kinderen op deze leeftijd een mentaal model gebruiken voor het een-voor-een representeren van nonsymbolische hoeveelheden in hun werkgeheugen (Rasmussen & Bisanz, 2005). De nonsymbolische taak van Rasmussen en Bisanz (2005) bevatte kleine aantallen (1-9) en vroeg om een exact antwoord. In tegenstelling daarmee bevatte de nonsymbolische taak in onze studie grote aantallen (6 tot 70) en vroeg om een antwoord bij benadering. Onze bevindingen suggereren dat grote nonsymbolische aantallen op deze leeftijd mentaal worden gerepresenteerd als gecompriëerde gehelen, mogelijk via patroonherkenning. We vonden ook een klein effect van storing van de fonologische lus, hetgeen suggereerde dat aandacht in de vorm van aansturing van handelingen, dat wil zeggen aanhoudende aandacht, ook een actieve rol in nonsymbolisch benaderend rekenen kan spelen.

Hoofdstuk 3 onderzocht hoe kleuters verschillende vormen van eencijferige optelopgaven oplossen, dat wil zeggen met aantallen variërend van 1 tot 9. We boden opgaven aan die uitsluitend verschilden op basis van twee dimensies: respons type (benaderend of exact) en stimulus type (nonsymbolisch, dat wil zeggen stippen, of symbolisch, dat wil zeggen Arabische cijfers). We vonden dat: a) nonsymbolische taken gemakkelijker zijn voor vijfjarigen dan symbolische, om het even of hen om een exacte

response (bijvoorbeeld “ $a + b = c$ ”) of een benaderende response (bijvoorbeeld “ $a + b$ ” versus “ c ”, “wat is meer?”) wordt gevraagd; b) verschillende cognitieve mechanismen ten grondslag liggen aan de prestaties in de verschillende opgavevormen.

Zoals verwacht was het visuospatiële kladblok de voornaamste voorspeller van nonsymbolisch optellen. Dit bevestigt de aanname dat kleuters hun gemakkelijk toegankelijke mentale model gebruiken om relatief kleine nonsymbolische aantallen te representeren (Rasmussen & Bisanz, 2005). Symbolische opgavevormen waren echter moeilijker omdat zij 1) ofwel de fonologische opslag en manipulatie van kwantitatieve symbolen vereisten of 2) in vergelijking tot hun nonsymbolische tegenhanger meer beslag leggen op hulpmiddelen van het WG. Bij symbolisch optellen wezen de resultaten uit dat, wanneer een benaderende respons nodig was, de kinderen de informatie in een nonsymbolische code omzetten. Anderzijds, wanneer een exacte respons nodig was, leken zij de numerieke informatie in een symbolische code fonologische op te slaan. Tenslotte vonden we dat accuratere representaties op de symbolische getallenlijn gerelateerd waren aan betere prestaties in de vormen van exacte en niet benaderende optelopgaven.

Hoofdstuk 4 exploreerde kernvragen met betrekking tot de factoriële structuur van benaderingsvaardigheden en hun verbanden met WG en rekenprestaties in de kleuterleeftijd, c.q. voorafgaand aan de aanvang van formeel onderwijs. We bepaalden de benaderingsvaardigheden (optellen en vergelijken), WG capaciteit en rekenprestaties in een grote steekproef van kleuters ($N = 444$). Het design van de studie stelde ons in staat technieken voor *structural equation modelling* (SEM) te gebruiken om de onderlinge relaties van deze vaardigheden en hun unieke voorspellende rol vast te stellen. Het best passende model van de metingen bevestigde dat nonsymbolische en symbolische benaderingen bestaan uit twee gerelateerde maar met name verschillende bekwaamheden; beide correleerden met rekenprestaties van de kleuters boven WG capaciteit. Toen eenmaal de structurele paden in het model waren ingevoerd, werd de unieke voorspellende rol, die iedere vaardigheid speelt, aangetoond. WG capaciteit speelde een overkoepelende rol; deze voorspelde zowel de prestaties in nonsymbolisch en symbolisch benaderen als de rekenprestaties. Nonsymbolische benaderen had een indirect effect op de rekenprestaties; die rol werd volledig gemedieerd door symbolische benaderen. Anderzijds voorspelde symbolisch benaderen de rekenprestaties bovenop WG capaciteit en nonsymbolische benaderen. Ons definitieve model verklaarde een zeer hoog percentage (87,9%) van de individuele verschillen tussen kleuters in het leren tellen en exact optellen. Deze resultaten van deze studie brengen een integratief inzicht naar voren over hoe nonsymbolische, symbolische benadering en

WG de fundamenteen leggen die rekenprestaties voor het begin van het formele onderwijs bevorderen.

Hoofdstuk 5 introduceerde nieuwe inzichten in de start van de ontwikkeling en het traject van het symbolisch benaderen. Met deze studie richtten we ons op de verrassende afwezigheid van een ratio effect in het symbolische benaderend optellen van kleuters in Hoofdstuk 4. Het scheen dat deze taak te moeilijk was voor onze vijfjarigen. Gilmore, McCarthy en Spelke (2007) hadden echter eerder gedemonstreerd dat symbolisch benaderend rekenen begint op vijfjarige leeftijd, voorafgaand aan de start van het formele onderwijs. Gilmore et al. (2007) resultaten suggereren dat kleuters symbolisch benaderend kunnen rekenen, zelfs met grote getallen, omdat symbolische representaties gekoppeld worden aan eerder bestaande nonsymbolische representaties. Het verschil tussen de twee studies kan een gevolg zijn geweest van taakkenmerken, onze taak boorde bijvoorbeeld misschien niet de gewenste bekwaamheid aan. Als dit het geval was geweest dan zou het ratio-effect ook niet in groep 3 evident zijn geweest. In Experiment 1 vonden we echter dat het verwachte ratio-effect significant was in het symbolische benaderend optellen in onze steekproef bij groep 3. Dus bleek in onze steekproef symbolisch benaderend rekenen te beginnen in groep 3 en niet eerder. Wij zagen tevens dat nonsymbolisch en symbolisch benaderend rekenen verschillende ontwikkelingstrajecten vertoonden. Dit is een nieuwe bevinding die aangeeft dat symbolische rekenkundige representaties niet noodzakelijk alleen gekoppeld worden aan hun nonsymbolische representaties.

Toch kon het verschil tussen onze bevindingen en die van Gilmore et al. (2007) het gevolg zijn van taakverschillen. Belangrijker was echter dat een cruciaal verschil tussen de twee studies bestond uit het feit dat wij Nederlands sprekende, terwijl Gilmore et al. (2007) Engels sprekende kinderen testten. In het Nederlands is het benoemen van tweecijferige getallen – die overall aanwezig waren in de trials van onze symbolische benaderend taak, speciaal in de gemakkelijke ratio – cognitief veeleisender. Zij bevatten de “inversie eigenschap”, waarin de geschreven en gesproken vorm van het getal niet consistent zijn. Dus wordt in het Nederlands het getal 48 “achtenveertig” genoemd, terwijl het in het Engels eenvoudig veertig-acht (forty-eight) is. Om onze assumpties te toetsen, gaven we in Experiment 2 onze taken aan een Engels sprekende steekproef. Omdat het formele onderwijs in het Verenigd Koninkrijk (VK) eerder start dan in Nederland (NL), testten we een jongere steekproef in het VK. De NL en VK steekproeven verschilden niet in hun exacte optel- en telvaardigheden of in hun SES achtergrond. Zoals verwacht, vonden we dat de VK steekproef significant beter dan de NL steekproef presteerde in symbolisch,

maar niet nonsymbolisch, benaderend optellen. Dit verschil was gelokaliseerd bij de trials met de gemakkelijke ratio, die alle een tweecijferig getal bevatten dat in het Nederlands geïnverteerd kon worden. Verder vonden we dat de NL steekproef in tegenstelling tot de VK steekproef, een overbelasting van het WG bij symbolisch benaderend reken vertoonde. Ook bleek, dat ondanks het feit dat nonsymbolische en symbolisch benaderen gecorreleerd waren, alleen het symbolisch en niet het nonsymbolisch rekenen gecorreleerd was met de vaardigheid tweecijferige getallen te benoemen. Tenslotte vonden we dat Engels sprekende kleuters tweecijferige getallen beter en sneller kunnen benoemen dan Nederlands sprekende leerlingen. Alles bij elkaar genomen laten deze resultaten het negatieve effect naar voren komen dat de “taal van getallen” kan hebben op het begin van de ontwikkeling van een kernsysteem van de numerieke cognitie, dat wil zeggen het symbolisch benaderend rekenen. Onze resultaten suggereren dat symbolisch benaderend rekenen inderdaad onderwijs behoeft; onderwijs in getallen is nodig.

Hoofdstuk 6 richtte zich op de tegenstrijdigheden, die binnen de literatuur over nonsymbolische en symbolische verwerking van numerieke gegevens zijn voortgekomen, om daarmee de ontwikkelingspaden en hun unieke voorspellende rollen van deze vaardigheden van kleutergroep naar groep 4 te verhelderen. We testten een grote steekproef op twee bekende nonsymbolische en symbolische vormen van vergelijkingstaken: in de ene taakvorm worden kleine aantallen (1 tot 9) simultaan op het scherm gepresenteerd, in de andere worden grote aantallen (6 tot 70) sequentieel gepresenteerd. Wij vonden dat deze taakvormen verschillende ontwikkelingstrajecten vertoonden. Deze bevinding vormt een waarschuwing tegen het uitwisselbare gebruik van deze taakvormen in de literatuur. Binnen de beide taakvormen vertoonde ook de nonsymbolische en symbolische verwerking van numerieke gegevens verschillende trajecten. Consistent met onze bevindingen in nonsymbolisch en symbolische *rekenen* (Hoofdstuk 5), zagen we dat het verwerken van symbolische *grootte (magnitude)* door de kinderen niet noodzakelijk gekoppeld is aan hun gemakkelijk toegankelijke nonsymbolische representaties. Maar hoe verhoudt de ontwikkeling in de verschillende nonsymbolische en symbolische vergelijkingsvaardigheden zich tot de latere rekenprestaties van de kinderen? *Latent growth modelling* bracht aan het licht dat de prestaties van de kleuters op alle vier de taken (nonsymbolische en symbolisch, simultaan-klein en sequentieel-groot) correleerde met latere rekenprestaties. Echter alleen de ontwikkeling in de symbolische sequentieel-groottaken correleerde met latere rekenprestaties. Regressieanalyses, waarin gecontroleerd was voor de WG capaciteit van de kinderen in het betreffende jaar en hun aanvankelijke

IQ, lieten zien dat zowel nonsymbolische als symbolische verwerking van numerieke informatie een unieke voorspellende rol speelden bij de kleuters en in groep 3. In groep 4 nam de symbolische verwerking het echter geheel over. In het algemeen was symbolische verwerking een betere voorspeller van latere rekenprestaties door alle groepen heen. Ook bleek dat de sequentieel-groottaak een betere voorspeller te zijn dan de simultaan-kleintaakvorm, in het bijzonder na groep 3.

Hoofdstuk 7 bevatte een algemene discussie van onze bevindingen, legde het verband hiervan met voorafgaand en recent onderzoek en gaf een overzicht van de belangrijkste boodschappen van deze dissertatie. Dit hoofdstuk schetste voornamelijk de integratieve relaties van WG, nonsymbolische en symbolische aantalverwerking en de rol die iedere voorspeller speelt in het leggen van de fundamenteen voor de rekenprestaties van kinderen. Ook zijn in dit hoofdstuk de implicaties van ons onderzoek voor onderwijs gepresenteerd evenals suggesties voor verder onderzoek.