

Mathematics education and neuro-sciences

- een zoektocht naar de integratie van cognitief psychologisch onderzoek met neuropsychologisch onderzoek -

F.T. van Nes & L.M. Doorman
Flsme, Universiteit Utrecht

Het Mathematics Education and Neurosciences (MENS)-project is in september 2005 van start gegaan. Dit promotieonderzoek is gericht op het integreren van cognitief psychologisch onderzoek met neuropsychologisch onderzoek met het doel na te gaan hoe jonge kinderen (vier tot zeven jaar) wiskundige problemen oplossen. We zijn hierbij vooral geïnteresseerd in de rollen die ontluikend getalbegrip en ruimtelijk denken spelen in de ontwikkeling van rekenvaardigheden.

In dit artikel schetsen we een beeld van de complexe zoektocht naar een heldere geïntegreerde onderzoeksopzet. Door de twee onderzoeksperspectieven in één onderzoeksopzet te combineren, hopen we de ontwikkeling van rekenvaardigheden beter in kaart te kunnen brengen en uitspraken te doen over de aard van de problemen die zich hierbij kunnen voordoen. Het uiteindelijke doel is alle kinderen meer gericht te ondersteunen in hun wiskundige ontwikkeling.

1 Inleiding

Het MENS-project streeft ernaar te achterhalen hoe jonge kinderen wiskundige problemen oplossen, wat hun strategiegebruik ons kan vertellen over de ontwikkeling van rekenvaardigheden en wat we in de hersenen van deze kinderen kunnen zien als ze met wiskundige problemen in de weer zijn. T. Gebuis, als promovenda verbonden aan het Helmholtz Instituut, en F.T. van Nes, als promovenda verbonden aan het Freudenthal Instituut¹, werken nauw samen in onderzoek met deze unieke combinatie van cognitief psychologisch en neuropsychologisch onderzoek.

Het belang van nieuw onderzoek dat gebruik maakt van deze integratie is onder andere benadrukt tijdens een conferentie in de 'Week van Hersenen & Leren' (Jolles et al., 2005). Uit workshops met veertig wetenschappers en vertegenwoordigers van maatschappelijke organisaties is onder meer naar voren gekomen dat het huidige onderwijs te weinig gebruik maakt van het ontwikkelingspotentieel van jonge kinderen. Daarom werd het 'noodzakelijk geacht onderzoek te doen naar de wiskundige en natuurwetenschappelijke potenties in een ontwikkelingsperspectief, en daarbij zowel het neurale niveau en de hersenen als het gedragsniveau, maar vooral hun samenhang te bestuderen' (Jolles et al., pag. 21). Er werd gepleit voor een nieuwe aanpak voor onderzoek naar processen die ten grondslag liggen aan taal, rekenen en 'abstract denken'; onderzoek dat in een multidisciplinaire setting moet plaatsvinden waar hersen- en cognitiewetenschappers intensief samenwerken met onderwijskundigen en professionals uit de praktijk. Dit moet leiden tot een belangrijke wisselwerking tussen theorieën uit

diverse wetenschapsgebieden en de praktijk, waardoor theoretisch onderzoek direct en met een meer overtuigende basis kan worden toegepast in de praktijk.

Discussies als hiervoor genoemd liggen ten grondslag aan de vraagstellingen van het MENS-project. De zoektocht naar de integratie van cognitief psychologisch onderzoek met neuropsychologisch onderzoek zal richting kunnen geven aan nieuwe aanpakken voor toekomstig wetenschappelijk onderzoek naar het leren van kinderen. Daarnaast hopen we met dit onderzoek bij te dragen aan vernieuwende kennis over de ontwikkeling van rekenvaardigheden bij jonge kinderen van vier tot zeven jaar. De uitkomsten kunnen voor de praktijk van belang zijn om het meer formele denken dat in de eerste klassen van scholen geïntroduceerd wordt, beter aan te laten sluiten op de intuïtieve interesses van kinderen voor wiskunde (bijvoorbeeld vergelijken, verdelen, greep krijgen op de ruimte). Ook zal gekeken worden naar de ontwikkeling van rekenvaardigheden, zodat eventuele problemen in deze ontwikkeling zo vroeg mogelijk aangewezen kunnen worden om tijdig hier iets aan te kunnen doen.

2 Theoretische achtergronden

Jonge ontdekkers

Kinderen zijn van nature geïnteresseerd in de wereld om hen heen. Iedere dag zijn er verwondering en ontdekkingen en ontwikkelt hun kennis zich, waaronder hun wiskundige vaardigheden. Dat kinderen op zeer jonge

leeftijd al blijkt geven van het onderscheiden van aantallen, blijkt uit onderzoek naar jonge baby's. Lipton en Spelke (2003) hebben bijvoorbeeld gekeken naar het vermogen van baby's om aantallen te onderscheiden. Zij gingen na in hoeverre dit gebaseerd is op getalsmatige of ruimtelijke eigenschappen. Uit eerder onderzoek is gebleken dat baby's van zes maanden onderscheid kunnen maken tussen twee visueel aangeboden verzamelingen (Xu & Spelke, 2000). Lipton en Spelke hebben aan deze resultaten bijgedragen door twee verzamelingen auditief aan te bieden. Baby's van zes en negen maanden moesten onderscheid maken tussen twee reeksen van tonen. De baby's van zes maanden reageerden wel op het verschil tussen zestien en acht tonen, maar niet op het verschil tussen twaalf en acht tonen. De baby's van negen maanden reageerden, ter vergelijking, wel op beide reeksen van tonen. Uit dit soort onderzoek is gebleken dat het vermogen om onderscheid te maken tussen aantallen al zeer vroeg aanwezig is, dat het duidelijk verbetert naar mate het kind zich ontwikkelt en dat het al ontstaat voordat er sprake is van taal of symbolisch tellen.

Ook de ruimtelijke ontwikkeling van kinderen komt al heel vroeg op gang. Onderzoek van Huttenlocher e.a. (1994) heeft bijvoorbeeld aangetoond dat peuters van 16 tot 24 maanden in staat zijn om het begrip afstand te gebruiken bij het lokaliseren van voorwerpen in een zandbak. Het schatten van afstanden is op een leeftijd van zestien maanden al goed ontwikkeld en bestaat volgens dit onderzoek onafhankelijk van referentiepunten in de omgeving of van de positie van het kind. Dit is een belangrijke aanwijzing voor de vroege ontwikkeling van ruimtelijk inzicht bij jonge kinderen.

De bovengenoemde studies zijn voorbeelden van onderzoek waarin de rollen worden uitgewerkt die getalbegrip en ruimtelijk denken spelen bij de ontwikkeling van rekenvaardigheden. In het MENS-project zijn we ook geïnteresseerd in die rollen, maar dan vooral gericht op de relatie tussen het ontluikend getalbegrip en ruimtelijk denken tijdens de ontwikkeling.

Getalbegrip

Onder getalbegrip wordt over het algemeen verstaan het gemak en de flexibiliteit waarmee kinderen omgaan met getallen. Ook heeft getalbegrip te maken met besef van hoeveelheden, met betekenis toekennen aan getallen en met het leggen van verbanden tussen de verschillende betekenissen (Treffers e.a., 1999). Voor kinderen begint de ontwikkeling van het getalbegrip al voor ze naar school gaan, dankzij spelletjes, televisie en communicatie met onder andere ouders, broertjes en zusjes (Benigno & Ellis, 2004; Tudge & Doucet, 2004).

Naarmate kinderen beter tellen, ontdekken ze ook hoe ze makkelijker kunnen omgaan met getallen, hoe ze getallen op verschillende manieren kunnen representeren en als referentiepunten kunnen gebruiken. Hiervoor zijn telversjes en rijmpjes een belangrijk hulpmiddel (Treffers

e.a., 1999). Een cruciaal kenmerk van getalbegrip is het vermogen om aantallen met elkaar te vergelijken. Kinderen ontwikkelen geleidelijk aan een gevoel voor de grootte van getallen en voor de opbouw van de telrij waardoor ze steeds meer inzicht krijgen in relaties tussen getallen (Gersten & Chard, 1999; Griffin, 2005).

De ontwikkeling van getalbegrip heeft, naast het leren omgaan met getallen zelf, ook betrekking op het begrijpen van getallen in relatie tot de buitenwereld. Twee belangrijke begrippen bij de ontwikkeling van getalbegrip in deze context zijn ordinaliteit en kardinaliteit. Ordinaliteit heeft te maken met de volgorde van getallen, wat bijvoorbeeld ten grondslag ligt aan het leren meten. Kardinaliteit omvat het inzicht in aantallen dat, zoals in het eerder genoemde literatuuroverzicht is gebleken, al op basaal niveau bij baby's voorkomt. De meeste kinderen hebben zich dit tegen het vijfde levensjaar eigen gemaakt. Ze kunnen dan bijvoorbeeld bij het tellen van een groep voorwerpen aangeven hoeveel het er zijn, omdat ze begrijpen dat het laatste telwoord bij het tellen van aantallen tegelijkertijd voor het aantal staat (Treffers e.a., 1999). Volgens Piaget zijn logische principes belangrijk voor de ontwikkeling van ordinaliteit en kardinaliteit (zie bijvoorbeeld Piaget, 1965). Eén van de bekendste principes is conservatie. Wanneer een kind zes snoepjes in een trommel telt, dan moet het ook begrijpen dat wanneer dezelfde snoepjes in een rijtje worden neergelegd, het aantal snoepjes nog steeds zes is. De ruimtelijke structuur van de te tellen voorwerpen maakt dus niet uit. Pas wanneer het kind zich dit principe heeft eigen gemaakt, zal hij inzicht hebben in wat het aantal betekent (kardinaliteit) en begrijpen dat het bij zes snoepjes om hetzelfde aantal gaat als bij zes knikkers.

Ruimtelijk denken

Ruimtelijk denken bij kinderen heeft vooral betrekking op het greep krijgen op de buitenwereld. De ervaringen die ze opdoen met bewegingen en handelingen helpen hen om zich steeds beter hun eigen positie in de ruimte voor te kunnen stellen. Ze krijgen ook meer inzicht in relatieve plaatsbepalingen en in de groottes van vormen en figuren om hen heen (Baltussen e.a., 1997). Onder de term 'ruimtelijk denken' verstaan we dus het vermogen om zich te oriënteren, om plaats te bepalen en om routes te beschrijven. Verder heeft het te maken met vormen, figuren, verhoudingen en relaties tussen objecten en gaat het om het ordenen, beschrijven en vergelijken van fysieke groottes (zie bijvoorbeeld Van den Heuvel-Panhuizen & Buys, 2004).

Veel onderzoek heeft aangetoond hoe kinderen zich van jongs af aan ontwikkelen in het ruimtelijk denken. Sophian (2000) concludeerde bijvoorbeeld dat vier- en vijfjarige kinderen verhoudingen in figuren al heel goed kunnen waarnemen. De kinderen in haar onderzoek konden aangeven welke van twee kleinere figuurtjes

dezelfde als een grotere was. Bij één van de twee waren niet alle kleinere vormen van het plaatje naar verhouding verkleind. De kinderen konden het plaatje selecteren dat dezelfde verhoudingen had als de grotere. Zo geven jonge kinderen al vroeg blijk van inzicht in proportionaliteit met betrekking tot specifieke vormen van figuren.

Een belangrijke factor bij de ontwikkeling van ruimtelijk denken is het beoefenen van meetkundige activiteiten (Baltussen e.a., 1997). Binnen deze activiteiten leren kinderen eigenschappen van vormen herkennen om bijvoorbeeld te kunnen omschrijven hoe iets eruit ziet. Om te weten hoe iets in elkaar zit, leren kinderen structuren te benoemen en te beschrijven. Zij leren dan om te refereren aan alledaagse structuren (bijvoorbeeld het eigen lichaam), aan meetkundige structuren (bijvoorbeeld vertakkingen) of aan meetkundige patronen (bijvoorbeeld dobbelsteenstructuren). Zo groeit hun vermogen om duidelijk te krijgen en te vertellen wat ze waarnemen (Baltussen e.a., 1997). Al communicerend vergroten kinderen hun woordenschat en verrijken zij hun beschrijvingen waardoor hun voorstellingsvermogen zich steeds verder uitbreidt (Newcombe & Huttenlocher, 2000). Dit meetkundeonderwijs is bedoeld om het ruimtelijke voorstelling- en redeneervermogen van kinderen te ontwikkelen, zodat ze de wereld beter kunnen 'be-grijpen' (Van den Heuvel-Panhuizen & Buys, 2004).

3 Puzzelend naar een multidisciplinaire onderzoeksofzet

Theoretische overwegingen

Bij het begin van het MENS-project zijn veel onderwerpen en vraagstellingen de revue gepasseerd, in een zoektocht naar behapbare en verfijnde onderzoeksvragen over de ontwikkeling van rekenvaardigheden. Welke sociale factoren spelen een rol, welke lesmethodes en leeromgevingen kunnen stimulerend werken in het leren van wiskunde en hoe zit het met kinderen waarbij de ontwikkeling van de rekenvaardigheid achterblijft?

Het zoekproces naar geschikte vraagstellingen heeft uiteindelijk geleid tot een aantal onderwerpen die het project op gang hebben geholpen. We richten ons op het vergelijken van de ontwikkeling van strategieën bij taken die ofwel getalsmatig ofwel ruimtelijk van aard zijn. We nemen aan dat strategiegebruik van kinderen een indicatie is voor hoe een kind een probleem oplost en verwachten dat strategieën die relatief zwakke rekenaars toepassen anders (eenvoudiger) zijn dan die van relatief sterkere rekenaars.

Verder zijn we, in het kader van de integratie van cognitief psychologisch onderzoek en neuropsychologisch onderzoek, zeer geïnteresseerd in hoe de indeling van

kinderen op soorten strategiegebruik en prestaties overeenkomt met neurologische processen die gemeten worden tijdens het uitvoeren van vergelijkbare taken. We kunnen met deze vergelijking de kennis over strategiegebruik en prestaties tegen het licht van neurologische processen houden en op die manier meer te weten komen over de cognitieve en neuropsychologische ontwikkeling van deze kinderen. De veronderstelling is dat, als we die ontwikkeling beter begrijpen, we daarmee alle kinderen beter kunnen ondersteunen in hun wiskundige ontwikkeling.

Methodologische uitdagingen

Vanaf het begin van het onderzoek is gebleken dat het vernieuwende van dit project tegelijkertijd ook de grootste uitdaging is. Hoewel de integratie van de twee perspectieven op theoretisch niveau zeer innovatief is, betekent het in de praktijk ook dat de perspectieven op methodologisch niveau moeten kunnen aansluiten. Dit is makkelijker gezegd dan gedaan.

Een groot verschil op methodologisch gebied is dat de gedragsmatige studie binnen het cognitief psychologische gedeelte van dit onderzoek uitgaat van kwalitatieve methoden met kwantitatieve componenten, terwijl elektro-encefalogram (EEG)-studies binnen neuropsychologisch onderzoek kwantitatief van aard zijn. De strategiestudie gaat met behulp van interviews met relatief weinig kinderen de diepte in, terwijl het EEG-onderzoek niet met individuele verschillen rekening kan houden en groepen van substantiële, stabiele grootte vergt. Dit heeft belangrijke gevolgen voor het aantal kinderen dat we uiteindelijk in het onderzoek zullen betrekken.

Een voorbeeld van neuropsychologisch onderzoek, waarin de aard van de kwalitatieve methodologie duidelijk naar voren komt, is onderzoek naar het zogenaamde *spatial-numerical association of response codes* (SNARC) effect (zie bijvoorbeeld Hubbard et al., 2005). Het SNARC effect houdt in dat proefpersonen sneller op hoge getallen met hun rechterhand en op lage getallen met hun linkerhand reageren dan met de tegenovergestelde hand. Een proefpersoon krijgt in dit soort onderzoek op een computerscherm herhaaldelijk getallen te zien waarop hij zo snel mogelijk moet aangeven of het om een even of oneven getal gaat. Dit effect wordt gezien als een voorbeeld van hoe representaties van ruimte en getallen in de hersenen met elkaar verbonden zijn.

Uit bovenstaand voorbeeld wordt duidelijk dat proefpersonen maar één opdracht hebben, namelijk aangeven of het getal even of oneven is, door op de corresponderende knop te drukken. Als we dit soort onderzoek naar het MENS-project vertalen, dan lijkt de opzet van neuropsychologisch onderzoek van minimale betekenis te zullen zijn voor het cognitief psychologische perspectief. De reacties van de kinderen zullen voor het neuropsycholo-

gische gedeelte bijvoorbeeld beperkt blijven tot het indrukken van twee knoppen op de computer terwijl kinderen in de strategiestudie juist aangespoord zullen worden om op een eigen manier een probleem op te lossen en om te laten zien hoe het probleem aangepakt is. Het is binnen het cognitief psychologische gedeelte van het onderzoek juist de bedoeling om kinderen vrijuit te laten handelen, omdat verondersteld wordt dat we pas dan kunnen weten wat voor het kind een intuïtieve aanpak is en hoe hij zich daarin ontwikkelt.

naar reactietijden en de relevante hersensignalen worden gekeken. De EEG-techniek is gebaseerd op het meten van elektrische signalen die informatie doorsturen in de hersenen. Deze signalen kunnen opgevangen worden door elektrodes die op een soort badmuts bevestigd zijn en op het gezicht geplakt worden (fig. 1).

De kinderen in deze studie zullen een soortgelijke badmuts dragen terwijl ze ondertussen een computertaak uitvoeren die zoveel mogelijk te vergelijken is met een taak uit de strategiestudie.



figuur 1: De EEG-opstelling om hersensignalen te meten

Een bijkomende factor is dat de EEG-techniek zeer gevoelig is voor ruis van hersensignalen die niet direct met de te onderzoeken hersenprocessen te maken hebben. Het is cruciaal dat kinderen de aandacht kunnen en willen vasthouden en dat de taken simpel en minimalistisch zijn, zodat effecten aan één enkele oorzaak kunnen worden toegeschreven. Omdat kinderen in dit soort onderzoek niet gevraagd kunnen worden hoe ze een probleem oplossen, test een neuropsychologische taak één proces om er zeker van te zijn dat ook maar één hersenfunctie gemeten wordt.

Het hierboven beschreven spanningsveld heeft grote invloed op de ontwikkeling van de invulling van het onderzoek. In de rest van dit artikel beschrijven we hoe de eerste opzet van het onderzoek hierdoor gevormd is en continu aangepast wordt.

Het overbruggen van de verschillen tussen de twee perspectieven

De integratie van cognitief psychologische kennis met neuropsychologische kennis komt, zoals hierboven staat beschreven, in de praktijk neer op de combinatie van een strategiestudie en een EEG-studie. De strategiestudie is bedoeld om op een interactieve manier achter de variatie aan handelingen te komen die jonge kinderen op verschillende taken toepassen. Deze taken hebben met getalbegrip of met ruimtelijk denken te maken. In de strategiestudie wordt het kind bij iedere vraag aangespoord om zoveel mogelijk hardop te denken en steeds uit te leggen hoe hij gehandeld heeft. Dit maakt het mogelijk om naar de relaties tussen handelingen, taken en de prestaties op de taken te kijken.

In de EEG-studie die op de strategiestudie volgt zal verder

In het gezamenlijke gedeelte van het onderzoek richten we ons in eerste instantie alleen op vijfjarige kinderen omdat kinderen van deze leeftijd waarschijnlijk makkelijker met de EEG-studie mee zullen doen dan vierjarigen. Dezelfde vijfjarigen zullen zowel deelnemen aan de strategie- als aan de EEG-studie. Verder zal, naast het gezamenlijke gedeelte, de ontwikkeling van vier- tot zesjarigen in een aparte strategiestudie worden bestudeerd.

De bedoeling is om uiteindelijk de resultaten van de strategiestudie met die van de EEG-studie te vergelijken, zodat we meer inzicht krijgen in de ontwikkeling van rekenvaardigheden bij jonge kinderen. Om deze ontwikkeling te blijven volgen, zal het onderzoek over één en over twee jaar herhaald worden. Dan hopen we meer te kunnen zeggen over de mate van constantheid van de ontwikkeling en over hoe problemen in de ontwikkeling van rekenvaardigheden vroeg geïdentificeerd en eventueel ondervangen kunnen worden.

4 Start van de strategiestudie

Na alle theoretische en methodologische afwegingen is het tijd om de praktijk in te gaan. Het eerste, meer praktische gedeelte van het gezamenlijke project betrof de ontwikkeling en het uitvoeren van de strategiestudie. In dit kader hebben de onderzoekers voor het eerst meegelopen met groep 1, 2, en 3 van twee scholen. Zo hebben ze contact kunnen leggen met diegenen waar het onderzoek eigenlijk over gaat en voor wie de praktische resultaten van het onderzoek uiteindelijk het meest relevant zijn. Deze periode was vooral bedoeld om een lijst aan

taken te construeren en een inventarisatie te maken van soorten handelingen die kinderen van verschillende leeftijden en niveaus van denken op de diverse taken toepassen. In de volgende fase van het project zal deze inventarisatie namelijk als handleiding dienen bij het geven van betekenis aan de prestaties van kinderen en bij het vergelijken van deze prestaties met de gegevens uit de EEG-studie.

In december 2005 en januari 2006 hadden de onderzoekers toegang tot kinderen uit de groepen 1, 2 en 3 van twee scholen in Utrecht waarvan de ouders van redelijk hoog tot hoog opgeleid zijn. Daar heeft een van de onderzoekers vijftien kinderen van vier, vijf en zes jaar per paar voor twee keer een half uur uit de klas gehaald. Voor de onderzoekers was een belangrijk oogmerk van deze sessies om zelf getraind te worden in de omgang met kinderen uit de drie leeftijden met betrekking tot bijvoorbeeld de verschillende categorieën taalgebruik en niveaus van denken. Een bijzonder invloedrijke component van het gedragsmatige onderzoek is immers de rol die de onderzoeker speelt in de interactie met de kinderen. Deze rol moet met zoveel mogelijk inzicht, objectiviteit en consequentie gespeeld worden. De ervaringen die de onderzoeker tijdens deze sessie heeft opgedaan, hebben ertoe bijgedragen dat de interviews gecontroleerder verlopen, dat de soorten reacties van de kinderen makkelijker te volgen zijn en dat de taken effectiever aan de kinderen gepresenteerd worden. Een ingewikkelde en voor het kind betekenisloze taak met mozaïek is bijvoorbeeld vervangen door een taak met kettingen die meer tot de verbeelding van kinderen spreekt.

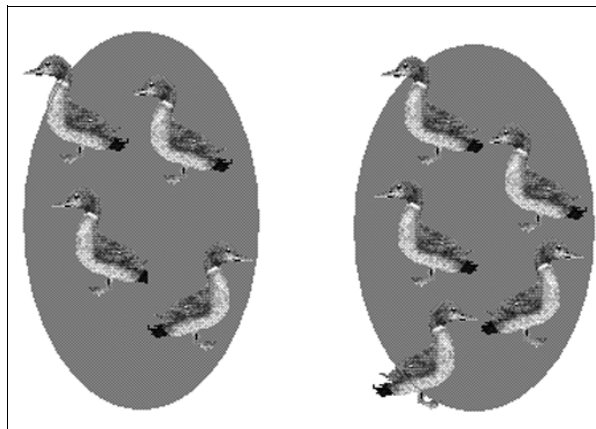
De ontwikkeling van de taken

De strategiestudie komt voort uit een evolutie aan taken die ofwel getalsmatig ofwel meer ruimtelijk van aard zijn. De oorspronkelijke lijst aan taken is voornamelijk geïnspireerd door taken uit de TAL-brochures (Treffers et al., 1999; Van den Heuvel-Panhuizen & Buys, 2004) en van 'Rekenweb' en het 'SamenRekenen'-project. Ook taken uit publicaties van Buys (2003), Bruce en Threlfall (2003) en van Fuson (1982) zijn van invloed geweest.

Het 'SamenRekenen'-project heeft spelactiviteiten ontwikkeld op vijf brede aandachtsgebieden: hoeveelheden, lokaliseren, verhoudingen, construeren, meten en meetkunde (Nelissen, 2001). Deze aandachtsgebieden hebben we als leidraad gebruikt om getalbegrip en ruimtelijke taken te ontwikkelen. De eerste bruikbare lijst bestond uit vijf getalbegrip taken die betrekking hadden op aantallen vergelijken, tellen en verdelen, ordenen, optellen, en grote getallen en uit vijf ruimtelijke taken die betrekking hadden op patroonherkenning, mentale rotatie, verhoudingen, oriëntatie, vormen en figuren.

Een belangrijke voorwaarde die aan een taak wordt gesteld, is dat de opdracht het kind moet aanspreken. Het kind moet de bedoeling van de taak begrijpen en de opdracht interessant genoeg vinden om gemotiveerd mee

te doen (Gravemeijer, 2003). Door de betekenis van taken voor kinderen na te gaan, hebben we meer zekerheid dat niet de motivatie, maar de rekenvaardigheid van het kind gepeild wordt. De taken zijn daarom ingebed in een betekenisvolle en aantrekkelijke context voor de kinderen (bijvoorbeeld het vergelijken van een aantal eendjes in de vijver; fig.2). Dit staat in tegenstelling tot reactietijden taken waarbij kinderen herhaaldelijk zo snel mogelijk moeten aangeven of de ene groep stippen meer is dan een andere groep stippen.



figuur 2: in welke vijver zwemmen meer eendjes?

Geen enkele taak in de strategiestudie wordt op traditionele wijze met pen en papier aangeboden. De eendjes in figuur 2 zijn van zachte stukjes rubber gemaakt en liggen op twee vijvers van blauw papier. De kinderen zijn dus vrij om de eendjes te verschuiven en aan te raken tijdens het uitvoeren van de taken. Voor iedere taak is aansprekend materiaal uitgezocht dat bekend is in het dagelijkse leven van vier- tot zesjarigen. Zo wordt aan het kind gevraagd om het Duplohuisje van kabouter Noddy na te bouwen, om snoepjes in een trommel te tellen en te verdelen en om het vierde huisje aan te wijzen dat tussen een rij miniatuurhuisjes staat. De kinderen krijgen bij iedere taak eerst een introductie over waar de taak over gaat zodat ze zich kunnen voorbereiden op de vraag die gesteld gaat worden. Uit de pilotstudie met deze verschillende aanbiedingen is al gebleken dat kinderen zich graag inleven in de context, dat hun aandacht niet verslapt en dat ze plezier beleven aan de verscheidenheid aan taken.

De ontwikkeling van het overzicht van verschillende handelingen

De ontwikkeling van de taken verliep parallel aan het inventariseren van de strategieën die kinderen toepassen om de taken uit te voeren. Het eerste overzicht van handelingen komt uit de literatuur (zie bijvoorbeeld: Bruce & Threlfall, 2004; Buys, 2003; Nunes & Bryant, 1996; Siegler & Araya, 2005). Dit overzicht werd met eigen ervaringen uit de pilotstudie aangevuld, met observaties van hoe kinderen de taken uitvoeren. Elke ervaring heeft

het overzicht vollediger gemaakt. Dit maakte het mogelijk om de strategieën steeds beter te specificeren en te ordenen. Iedere taak is gekoppeld aan een lijst handelingen die variëren van raden tot meer ontwikkelde handelingen als rekenen bij teltaken ('twaalf bij elkaar, want vijf blokjes en zeven blokjes is twaalf blokjes') en structuur aanbrengen bij grote aantallen (de te tellen sterretjes in rijtjes neerleggen). Binnen deze handelingen kunnen ook weer enkele niveaus van denken onderscheiden worden. Een voorbeeld hiervan is de handeling resultatief tellen waarin we in ieder geval drie niveaus herkennen: tellen door de voorwerpen aan te wijzen en stuk voor stuk weg te schuiven, tellen door de voorwerpen alleen aan te wijzen, en perceptief tellen waarbij het kind alleen naar de voorwerpen kijkt. Verder kan ook een onderscheid worden gemaakt tussen hardop tellen en in gedachten tellen.

Een ander voorbeeld van een handeling waarin niveaus kunnen worden onderscheiden, komt voor in de taak waarbij twaalf kleine huisjes in een rij op tafel staan en aan de kinderen gevraagd wordt welk huisje de vierde is. Het gaat hierbij om het bepalen van de positie van een getal in een rij. Kinderen benaderen deze taak op een meetkundige ofwel meer getalsmatige manier. De meetkundige manier houdt in dat kinderen de afstand van het begin van de rij schatten en de afstand vertalen naar hun kennis van getallen en de getallenlijn.

Op een getalsmatige manier zullen kinderen de *counting all*-handeling ofwel de *counting on*-handeling toepassen (zie bijvoorbeeld Bruce & Threlfall, 2004; Nunes & Bryant, 1996). Kinderen die nog niet goed bekend zijn met de getallenlijn van tien zullen bij iedere vraag vanaf het eerste huisje beginnen (*counting all*) en dan doortellen naar het gevraagde getal. Kinderen die meer ervaring hebben met getallen onder de tien zullen eerder geneigd zijn om vanaf een hoger getal te beginnen en door te tellen naar het gevraagde aantal (*counting on*). Een vraag naar het zevende huisje kan er bijvoorbeeld toe leiden dat deze kinderen snel het vierde huisje herkennen en vanaf het vierde doortellen naar het zevende.

We streven naar een zo volledig mogelijk overzicht van de manieren waarop jonge kinderen taken oplossen, maar sluiten niet uit dat we tijdens het onderzoek wijzigingen zullen aanbrengen waardoor het overzicht uitgebreid en aangescherpt kan worden. Het huidige overzicht zal in ieder geval als leidraad dienen om kinderen op strategiegebruik voor een taak te onderscheiden, zodat we een EEG-studie kunnen opzetten om de verschillen verder te onderzoeken.

5 De inrichting van een gecombineerde pilotstudie

Met een lijst van getalbegrip en ruimtelijke taken en het

overzicht aan bijbehorende strategieën kunnen we binnenkort overgaan tot de volgende fase in het onderzoek: het integreren van de cognitieve studie met de neuropsychologische studie in een gecombineerde pilotstudie.

Het doel van de volgende fase in het onderzoek is om de theoretische overlap van de twee perspectieven in de praktijk uit te werken tot een gezamenlijke taak waarin de strategiegegevens met gegevens over reactietijden kunnen worden vergeleken. Puzzelend met de randvoorwaarden van neuropsychologisch en cognitief psychologisch onderzoek zijn we tot een eerste opzet voor een gecombineerde pilotstudie gekomen, met daarin twee variaties op een eenvoudige taak waarbij kinderen de numerieke en fysieke grootte van getallen kleiner dan tien bepalen. De gecombineerde pilotstudie omvat een handelingen- en een reactietijdengedeelte, en zal met vijfjarige kinderen in sessies van een half uur uitgevoerd worden.

In het strategiegedeelte krijgen de kinderen telkens twee getallen op kaartjes aangeboden. Aan het kind wordt gevraagd om aan te geven welke van de twee getallen steeds het meeste (of minste) is en om zoveel mogelijk hardop na te denken en de redenering uit te leggen. Hierbij bestuderen we de *counting all*- en *counting on*-strategieën die we bij een vergelijkbare taak, die eerder in dit artikel is beschreven, onderzocht hebben.

In het reactietijdengedeelte reageren kinderen zo snel mogelijk op een serie van telkens twee getallen die op het computerscherm verschijnen. Een van de getallen is altijd fysiek groter dan de ander. Het kind wordt gevraagd om op de knop te drukken die correspondeert met de kant waarvan het cijfer fysiek groter is. De numerieke waarde van het cijfer moet daarbij genegeerd worden. Zo ontstaan er drie condities: een neutrale conditie waarbij de cijfers hetzelfde zijn, een congruente conditie waarbij het fysiek grotere cijfer ook numeriek meer is, en een incongruente conditie waarbij het fysiek grotere cijfer numeriek minder is. Hoewel de numerieke waarden van de cijfers genegeerd kunnen worden, blijken de representaties dusdanig geautomatiseerd te zijn dat we ze toch nog verwerken. Hierdoor reageren we trager op de incongruente conditie en sneller op de congruente conditie (zie Rubinstein et al., 2002).

Bij kinderen is het interessant om te zien hoe ze reageren als de koppeling tussen het cijfersymbool en het aantal nog niet geautomatiseerd is. De bedoeling van deze taak is dus om inzicht te krijgen in de koppeling van kennis van aantallen met kennis van cijfersymbolen binnen de ontwikkeling van getalbegrip.

Hoewel deze neuropsychologische taak en de bovengenoemde strategietaak van elkaar verschillen, verwachten we dat we de gegevens kunnen combineren zodat we de aanpak van de kinderen bij beide type taken beter begrijpen. Verder willen we uit deze eerste gecombineerde pilotstudie kunnen opmaken wat de mogelijkheden en beperkingen zijn voor een taak die zowel in de strategiestudie als in de EEG-studie opgenomen wordt.

Uiteindelijk willen we de prestaties op getalbegriptaken en op ruimtelijke taken, het soort strategiegebruik, en de neuropsychologische effecten met elkaar en in de tijd vergelijken om de verbanden binnen de ontwikkeling van rekenvaardigheden in kaart te brengen.

Om effectieve conclusies uit de studies te kunnen trekken, is een belangrijke factor in het onderzoek dat we eveneens een beeld moeten hebben van de algemene denkvermogens van de kinderen. Wanneer de gecombineerde pilotstudie in een later stadium van het onderzoek tot een voltallig gecombineerd onderzoek wordt uitgewerkt, zullen we dan ook bij ieder kind de 'Utrechtse Getalbegrip Toets' afnemen (Van Luit, Van de Rijt & Pennings, 2004) en van ieder kind de taalvaardigheid, het ruimtelijk inzicht, de aandacht en het werkgeheugen nagaan. Deze algemene cognitieve vaardigheden zullen gepeild worden door middel van cognitieve taken die nog nader moeten worden bepaald.

6 Tot besluit

Terugblikkend stellen we dat de eerste maanden van het MENS-project in het teken hebben gestaan van de zoektocht naar een gecombineerde studie waarin cognitief psychologisch en neuropsychologisch onderzoek over de ontwikkeling van rekenvaardigheden bij jonge kinderen geïntegreerd kan worden. In dit kader hebben we in dit artikel een beschrijving willen geven van deze zoektocht en van hoe de gecombineerde studie uiteindelijk toch tot stand lijkt te komen.

De volgende stap is om de eerste gecombineerde pilotstudie uit te voeren. Een significante uitslag van deze studie zal deuren openen naar een EEG-studie waarin we kunnen gaan kijken naar neurologische variabiliteit tussen kinderen die verschillende strategieën hanteren en op verschillende niveaus presteren. Mocht uit de resultaten blijken dat de kinderen niet voldoende onderscheiden kunnen worden op verschillende soorten strategiegebruik en op reactietijden, dan moeten we de strategie-indeling en de computertaak herbeoordelen om te kijken hoe de resultaten van de twee onderzoeksperspectieven op een andere manier geïntegreerd kunnen worden.

Wanneer we positieve resultaten uit deze eerste gecombineerde taak krijgen, gaan we meer taken ontwikkelen om de onderzoeksvragen binnen het project te beantwoorden. Ook deze taken zullen aan de randvoorwaarden van de twee soorten onderzoek moeten voldoen. Door meer getalbegrip en ruimtelijke taken te ontwikkelen die zowel in het cognitief psychologische als het neuropsychologische onderzoek uitgevoerd kunnen worden, hopen we een steeds breder gebied binnen de ontwikkeling van rekenvaardigheden in kaart te brengen. Verder willen we de studie met deze taken over één en twee jaar met dezelfde kinderen herhalen om inzicht te krijgen in

het verloop van de ontwikkeling en in de aard van eventuele stagnaties in die ontwikkeling.

Op deze manier hopen we gestaag de overbrugging tussen cognitief psychologisch onderzoek en neuropsychologisch onderzoek naar hoe jonge kinderen wiskundige problemen oplossen, te concretiseren.

Noot

- 1 T. Gebuis wordt begeleid door E. de Haan van het Helmholtz Instituut en F. van Nes door J. de Lange van het Freudenthal Instituut. Het onderzoek is mogelijk gemaakt dankzij het gebiedsbestuur Aard- en Levenswetenschappen (ALW) met een subsidie van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO), onder nummer 051.04.050

Literatuur

- Baltussen, M., J. Klep & Y. Leenders (1997). *Wiskunde-avonturen met jonge kinderen*. Amersfoort: CPS.
- Benigno, J.P. & S. Ellis (2004). Two is greater than three: effects of older siblings on parental support of preschoolers' counting in middle-income families. *Early Childhood Research Quarterly*, 19, 4-20.
- Bruce, B. & J. Threlfall (2004). One, two, three and counting. Young children's methods and approaches in the cardinal and ordinal aspects of number. *Educational Studies in Mathematics*, 55, 3-26.
- Buys, K. (2003). *Telactiviteiten voor Kleuters*. Baarn: Bekadidact.
- Fuson, K.C. (1982). An analysis of the counting-on solution procedure in addition. In: T.P. Carpenter, J.M. Moser & T.A. Romberg (eds.). *Addition and Subtraction: A Cognitive Perspective*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Gersten, R. & D. Chard (1999). Number Sense: Rethinking Arithmetic Instruction for Students with Mathematical Disabilities. *The Journal of Special Education*, 44, 18-28.
- Gravemeijer, K. (2003). Betekenisvol Rekenen: Op zoek naar de Wiskunde in de Contextopgave. *Willem Bartjens*, 22, 5-8.
- Griffin, S. (2005). Fostering the development of whole-number sense: Teaching mathematics in the primary grades. *How students learn: history, mathematics, and science in the classroom*. In: M. Donovan & J. Bransford (eds.). Washington DC: The National Academics Press, 257-308.
- Heuvel-Panhuizen, M. van den & K. Buys (red.) (2004). *Jonge Kinderen Leren Meten en Meetkunde: Tussendoelen Annex Leerlijnen*. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Hubbard, E.M., M. Piazza, P. Pinel & S. Dehaene (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Reviews: Neuroscience*, 6, 435-448.
- Huttenlocher, J., N. Newcombe & E. Sandberg (1994). The coding of spatial location in young children. *Cognitive Psychology*, 27, 115-147.
- Jolles, J., R. de Groot, J. van Benthem, H. Dekkers, C. de Gloppe, H. Uijlings & A. Wolff-Albers (2005). *Leer het Brein Kennen. Over een 'New Learning Science' op het kruispunt van neurowetenschap, cognitiewetenschap en onderwijswetenschap: resultaat van een invitationale conference georganiseerd door NWO op 5 februari 2004*. Rapport Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek 2005.

- Lipton, J. & E.S. Spelke (2003). Origins of number sense: large-number discrimination in human infants. *Psychological Science*, 14, 396-401.
- Luit, J.E.H. van, B.A.M. van de Rijt & A.H. Pennings (1994). *De Utrechtse Getalbegrip Toets*. Doetinchem: Graviant.
- Nelissen, J. (2001). Samen Rekenen: het stimuleren van rekenwiskundige vaardigheden in samenhang met de ontwikkeling van taal en denken bij jonge (allochtone) kinderen. *Tijdschrift voor nascholing en onderzoek van het reken-wiskundeonderwijs*, 19, 19-24.
- Newcombe, N.S. & J. Huttenlocher (2000). *Making Space: The Development of Spatial Representation and Reasoning*. Cambridge: The MIT Press.
- Nunes, T. & P. Bryant (1996). *Children Doing Mathematics*. Oxford: Blackwell Publishers Ltd.
- Piaget, J. (1965). *The Child's Conception of Number*. New York: W.W. Norton.
- Rubinstein, O., A. Henik, A. Berger, & S. Shahar-Shalev (2002). The development of internal representations of magnitude and their association with Arabic numerals. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81, 74-92.
- Siegler, R. & R. Araya (2005). A computational model of conscious and unconscious strategy discovery. In: R.V. Kail (ed.). *Advances in Child Development and Behavior*, 33, Oxford, UK: Elsevier, 1-42.
- Sophian, C. (2000). Perceptions of proportionality in young children: matching spatial ratios. *Cognition*, 75, 145-170.
- Treffers, A., M. van den Heuvel-Panhuizen & K. Buys (red.) (1999). *Jonge Kinderen Leren Rekenen: Tussendoelen Annex Leerlijnen. Hele Getallen Onderbouw Basisschool*. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Tudge, J.R.H. & F. Doucet (2004). Early mathematical experiences: observing young black and white children's everyday activities. *Early Childhood Research Quarterly*, 19, 21-39.
- Xu, F. & E.S. Spelke (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74: B1-B11.

The Mathematics Education and Neurosciences (MENS)-project started in September 2005. This PhD-project aims to integrate cognitive psychological research with neuropsychological research on how young children (aged four to seven years) solve mathematical problems. We are particularly interested in the roles that number sense and spatial thinking play in the development of mathematical abilities.

In this article, we highlight the complex search for a clear integrated experimental set-up. By combining these two research perspectives into one experimental set-up, we hope to improve our understanding of the development of mathematical abilities and to be able to draw conclusions about possible complications that can arise during this development. As such, we hope to contribute to insights about how children may be guided more effectively in their learning of mathematics.