

Master Orthopedagogiek

Mechanistisch redeneren in relatie tot strategiegebruik en schoolprestaties.

Prestaties van negen- en tienjarige kinderen op een tandwieltaak, strategiegebruik en
schoolprestaties op Rekenen-Wiskunde.

Studenten:

C. Dekker (3504255)

C.E. van Putten (3474062)

Masterthesis Orthopedagogiek

Onderzoeksproject: Talentenkracht: Hoe leren kinderen?

Thesisdocent: Drs. P.F. de Bordes

Tweede beoordelaar: Prof. P. Leseman

Inleverdatum: 21 juni 2013

Cursusjaar: 2012-2013

Universiteit Utrecht

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

Voorwoord

Voor u ligt de masterscriptie die wij, Rianne Dekker en Céline van Putten, ter afronding van de opleiding Orthopedagogiek aan de Universiteit van Utrecht, geschreven hebben. Wij willen allereerst onze thesisbegeleider Drs. P.F. de Bordes bedanken voor zijn begeleiding en waardevolle feedback tijdens het schrijfproces. Gedurende het proces hebben wij menige gesprekken gevoerd waarin hij ons veelvuldig van nuttige feedback en inzichten heeft voorzien. Ook willen wij de tweede corrector Prof. P. Leseman bedanken voor zijn aanvullingen op de opzet en eindversie van de thesis.

Daarnaast willen wij onze ouders, andere familieleden en vrienden bedanken voor hun steun en het geven van motivatie wanneer dat nodig was. Tenslotte bedanken we ook elkaar voor de steun die we aan elkaar hebben gehad en de gezelligheid tijdens de uren die we samen in de bibliotheek hebben gewerkt aan de thesis. We hebben elkaar gedurende het jaar steeds opnieuw weten te motiveren voor het schrijven van dit onderzoek.

De abstract, samenvatting, de introductie van het onderzoek en het methodedeel hebben wij samen geschreven. Vervolgens heeft ieder afzonderlijk een onderzoeksvraag in de inleiding, de resultaten en de discussie beschreven (Celine onderzoeksvraag 1 over mechanistisch redeneren in relatie tot schoolprestaties en Rianne onderzoeksvraag 2 over mechanistisch redeneren in relatie tot strategiegebruik). Verder heeft Rianne de statistische analyses uitgevoerd, die ieder van ons vervolgens voor de eigen onderzoeksvraag heeft geïnterpreteerd. Celine heeft een aandeel gehad in het uitzoeken hoe enkele statistische analyses uitgevoerd moesten worden. Waar nodig hebben wij elkaar aangevuld.

Utrecht, juni 2013

Rianne Dekker & Celine van Putten

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

Abstract

In the Netherlands, the shortage of skilled technicians is slowly increasing. To halter this increase, it is important that schools detect and stimulate science giftedness. Current research takes into account the interaction between child and environment in developing science giftedness. It was expected that there is a correlation between mechanistic reasoning and mathematic scores, because there is a proven correlation between mathematics and physics performance. In addition, it was expected that eye movements give a clear picture of the strategy applied and that these strategies show a hierarchical performance. According to the interaction-dominance point of view, individual differences in performance must be visible on all scales of behavior. 37 children at the mean age of ten years old participated by performing a gear system task. The Cito test score that measures mathematics has been analysed to determine science giftedness. There is a significant relationship between math performance and mechanistic reasoning for girls. There appeared to be a weak reliability between eye movements and strategies. In conclusion it can be said that the Cito Score is a strong indication for science giftedness among girls at age ten and eleven. This means that mathematics education and mechanistic reasoning support each other in education. Mathematics and mechanistic reasoning can be integrated in education for the preparation of science subjects that are discussed in high school. There appeared to be a weak reliability between eye movements and strategies.

Keywords. Science education; mechanistic reasoning; bèta giftedness; strategy use.

Samenvatting

In Nederland blijkt het aanbod van met name hooggeschoolde technici achter te blijven bij de vraag. Vroegtijdig signaleren en stimuleren van bètatalenten is daarom van groot belang. Huidig onderzoek ging ervan uit dat bètatalent zich kan ontwikkelen vanuit de interactie tussen kind en omgeving. Er werd verwacht dat er een samenhang bestaat tussen mechanistisch redeneren en rekenprestaties, omdat er een aangetoonde samenhang is tussen wiskunde- en natuurkundeprestaties. Daarnaast werd verwacht dat oogbewegingen een duidelijk beeld geven van de toegepaste strategie en dat deze strategieën een hiërarchie in prestaties laten zien. Dit werd verwacht, omdat volgens de interactie-dominante visie, individuele verschillen in prestaties aantoonbaar moeten zijn op alle schalen van gedrag. De onderzoeksgroep bestond uit 37 participanten die tandwieltaken uitvoerden, waarbij oogbewegingen werden vastgelegd voor het

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

bepalen van strategiegebruik en prestaties werden vastgelegd voor het bepalen van mechanistisch redeneren. Daarnaast zijn Citoscores van de participanten op Rekenen-Wiskunde geanalyseerd om bètatalent in kaart te brengen. De rekenprestaties en mechanistisch redeneren laten een significante samenhang zien voor meisjes. De betrouwbaarheid tussen oogbewegingen en strategieën bleek zwak te zijn. Concluderend kan gezegd worden dat de Citoscore Rekenen-Wiskunde een goede indicatie is voor bètatalent bij meisjes van tien en elf jaar. Dit betekent dat rekenonderwijs en mechanistisch redeneren elkaar ondersteunen in het onderwijs. Rekenen en mechanistisch redeneren kunnen geïntegreerd worden, om kinderen voor te bereiden op bètavakken die in het voortgezet onderwijs aan bod komen. De oogbewegingen geven in huidig onderzoek geen duidelijk beeld van de toegepaste strategie. Hierdoor kan geen uitspraak gedaan worden over de hiërarchie in prestatie.

Kernwoorden. Wetenschap en Techniek Onderwijs; bètavaardigheden; mechanistisch redeneren; strategiegebruik.

Inleiding

In Nederland is er een toenemende vraag naar technisch personeel, van lassers tot programmeurs (Bauer & Kunze, 2004; Berkhout & van Leeuwen, 2000; Platform Bèta-techniek in Nederland, 2010). Het aanbod van met name hooggeschoolde technici blijft in toenemende mate achter bij de vraag. De technische sector signaleert dit probleem (ResearchNed, 2010; Damsma, Eidhof, Frank, & Nieuwesteeg, 2012; Platform Bèta Techniek & Groene Kennis, 2012), vanwege de grote rol die technici spelen bij het ontwikkelen en toepassen van nieuwe technologische ontwikkelingen (Plasterk & Van der Hoeven, 2007). Een onderliggende factor van de toenemende vraag naar hooggeschoold technisch personeel is dat de animo om een bètatechnische opleiding te volgen al jaren terugloopt (Blauvelt & Eisenberg, 2006). Volgend op internationale afspraken in Europa (Europese Commissie, 2002; 2004) heeft de Nederlandse overheid getracht meer leerlingen te interesseren voor bètastudies in het hoger onderwijs (Ministerie van Onderwijs, Cultuur, & Wetenschap, 2004). Echter, internationale vergelijkingen laten zien dat in Nederland nog altijd minder leerlingen kiezen voor bètavakken, zoals wiskunde B en natuurkunde dan leerlingen in andere Europese landen (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2007). Het structureel tekort aan technisch geschoold personeel dreigt de mondiale concurrentiepositie van Nederland te ondergraven (Ministerie van

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen, Economische Zaken & Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 2003). Dit kan de positie van Nederland als kennisland in gevaar brengen. Een gerichte aanpak om de concurrentiepositie te behouden lijkt noodzakelijk.

Toch is er geen reden om te veronderstellen dat er in Nederland minder kinderen met bètatalent aanwezig zijn dan in andere moderne landen. Talent voor wetenschap en techniek is namelijk geen statische eigenschap van het kind. Het is een talent dat zich, aansluitend bij het begrip *Affordance*, kan ontwikkelen vanuit de interactie tussen kind en omgeving. Dit houdt in dat de actiemogelijkheden van een kind en de mogelijkheden die een kind heeft om iets te bereiken afhankelijk zijn van de capaciteiten van het kind en van wat de omgeving biedt (Scarantino, 2003; Smith & Gasser, 2005). Wanneer kinderen in een stimulerende omgeving geplaatst worden, zijn zij zelf in staat om tot verschillende inzichten te komen en strategieën te ontdekken en deze vervolgens toe te passen. Zelf ontdekkingen doen bevordert de motivatie en taakgerichtheid van leerlingen hetgeen van positieve invloed is op de leerprestaties (Harty & Beal, 1984; Smith, Desimone, Zeidner, Dunn, Bhatt & Rummyantseva, 2007; Taraban, Box, Myers, Pollard & Bowen, 2007). Hierdoor ontstaat er beter begrip en diepere kennis (Manlove, Lazonder, & De Jong, 2006; Taraban et al., 2007). De zelf ontdekte strategie kan tevens in andere contexten toegepast worden, dit in tegenstelling tot wanneer een strategie aangeboden wordt (Boncoddio, Dixon, & Kelley, 2010; Dixon & Dohn, 2003; Dixon, Holden, Mirman, & Stephen, 2012). Daarnaast kunnen kinderen, wanneer zelf ontdekkend leren gestimuleerd wordt, op het gebied van logisch redeneren en probleemoplossend vermogen veel meer dan verondersteld wordt. Dit komt omdat zij van nature leergierig, creatief en nieuwsgierig zijn; ze stellen vragen, proberen dingen uit en bedenken verklaringen voor wat ze zien en beleven (Robinson, 2009; Steenbeek & Uittenbogaard, 2009). Het onderwijs moet de ontwikkeling van deze eigenschappen stimuleren, in plaats van enkel de nadruk te leggen op goed te presteren in de klas (Harlen, 2010; Robinson, 2011).

Uit diverse onderzoeken blijkt dat eerdere schoolprestaties op de basisschool een belangrijke voorspeller zijn van toekomstige schoolprestaties (De Boer, Hendriks, Kuypers, & Van der Werf, 2011; Hustinx, Kuyper, Van der Werf, & Dijkstra, 2009; Korpershoek, Kuyper, Van der Werf, & Bosker, 2011). Ook specifiek voor bètacapaciteiten wordt in de brugklas een matig positieve

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

relatie gevonden tussen reken- en wiskundeprestaties en het gemiddelde eindexamencijfer voor wiskunde B, natuurkunde en scheikunde (Korpershoek et al., 2011). Dit is een belangrijke bevestiging dat bètacapaciteiten op de basisschool signaleren en stimuleren belangrijk zijn voor de instroom naar de sector Wetenschap en Techniek. Een invloedrijke rol in het activeren en stimuleren van bètakennis- en vaardigheden is weggelegd voor het basisonderwijs door meer nadruk te leggen op Wetenschap en Techniek, waarbij kinderen op speelse wijze uitgedaagd worden (Barnett & Belfield, 2006; Blauvelt & Eisenberg, 2006; Kuijpers & Van der Molen, 2007; Rohaan, Taconis, & Jochems, 2008). Door een exploratieve leeromgeving op scholen te creëren, worden kinderen geïnspireerd om creativiteit te ontwikkelen (Schulz, Gopnik, & Glymour, 2007; Robinson, 2009). Hierbij geeft Robinson (2009) nadrukkelijk aan dat de creativiteit die op jonge leeftijd aanwezig is, gestimuleerd moet worden, wil men die creativiteit behouden op latere leeftijd. Het is tevens de taak van leerkrachten om kinderen een leeromgeving te bieden met uitdaging, ruimte en ondersteuning om zo de natuurlijke nieuwsgierigheid van kinderen voor het zelfstandig ontdekken van creatieve ideeën en oplossingen verder tot ontwikkeling te laten komen (Harty & Beal, 1984; Rohaan et al., 2008; Steenbeek & Uittenbogaard, 2009). Het lijkt een goede weg te zijn om zelf ontdekkend leren meer aandacht te geven in de onderwijsdidactiek (Schulz et al., 2007).

Het redeneren over oorzaken en gevolgen kan belangrijk zijn voor het zelf ontdekkend leren op school. Het vermogen tot redeneren en daarmee het begrijpen van mechanismen is al zichtbaar op jonge leeftijd en dit vermogen neemt toe in de kindertijd (Gopnik et al., 2001; Nazzi & Gopnik, 2003). In het voortgezet onderwijs wordt verwacht dat kinderen op een hoger niveau causale relaties leggen en mechanistische verklaringen kunnen toekennen. Dit is voor veel kinderen lastig (Abrams & Southerland, 2001; Chin & Brown, 2000; Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004; Talanquer, 2010). Hieruit blijkt de behoefte aan instructie voor of ondersteuning van mechanistisch redeneren in het basisonderwijs. In het kader van de ontwikkeling van het vermogen tot redeneren, wordt in menig onderzoek mechanistisch redeneren belicht (Lehrer & Schauble, 1997; Louca, Elby, Hammer, & Kagey, 2004; Southerland, Abrams, Cummins, & Anzelmo, 2001), hetgeen inhoudt dat kinderen in staat moeten zijn om causale verbanden in een mechanisch systeem te begrijpen, waarbij ze de causale keten van begin tot het eind moeten kunnen doorgronden (Machamer, Darden, & Carver, 2000). Mechanistisch redeneren is

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

gerelateerd aan het vermogen om bewegingen en causaliteit te voorspellen. Dit is een belangrijk aspect in natuur- en techniekonderwijs, om verklaringen voor het functioneren van systemen te bedenken (Bolger, Kobiela, Weinberg, & Lehrer, 2012; Machamer et al., 2000; National Research Council, 2011; Nersessian, 2008; Russ, Scherr, Hammer, & Mikeska, 2008).

Bij het verklaren van systemen is het van belang dat causaliteit doorzien wordt, bijvoorbeeld in de werking van machines. Kinderen blijken causaliteit goed toe te kennen aan objecten en acties (Gopnik et al., 2001; Nazzi & Gopnik, 2003). Met eenvoudige taken, waarbij kinderen systemen en mechanismen kunnen analyseren door zichtbare interactie tussen subsystemen, kan mechanistisch redeneren in kaart gebracht worden. Onderzoek naar het redeneren van kinderen over systemen, bijvoorbeeld over tandwielbanen, geeft aan dat kinderen tussen drie en elf jaar oud zich hierbij beroepen op oorzaak-gevolg relaties om de transmissie van de beweging en richting van de beweging uit te leggen (Lehrer & Schauble, 1998; Metz, 1991; 1995). Daarom wordt in huidig onderzoek het begrip van mechanismen bij kinderen gemeten met tandwieltaken, waarbij interactie tussen tandwielen duidelijk zichtbaar is (Lehrer & Schauble, 1998; Metz, 1995). Met een tandwieltaak kan het begrip van mechanistische aandrijving gemeten worden, maar tegelijkertijd ook begrip van relatief ingewikkelde wetenschappelijke en wiskundige principes, zoals verbindingen en verhoudingen (Lehrer & Schauble, 1997). In de tandwieltaak gaat het om causale verbanden, waarbij door het aandraaien van het eerste tandwiel de gehele baan in beweging komt en er van het begin tot het einde van de tandwielbaan, zonder onderbreking voortdurend continuïteit zichtbaar is (Boncoddio et al., 2010; Dixon & Bangert, 2002; 2004; Dixon & Dohn, 2003; Stephen, Dixon, & Isenhower, 2009; Machamer et al., 2000). Tevens is het vermogen te redeneren over de causale processen van belang. In deze processen grijpen de tandwielen in elkaar en duwen elkaar in de tegenstelde richting in de keten, wat resulteert in een afwisselende bewegingsrichting (Machamer et al., 2000).

Naast begrip van mechanistische aandrijving, is begrip van wiskundige relaties belangrijk bij het oplossen van de tandwieltaak (Dixon & Bangert, 2004). Hierdoor kunnen wiskundig en wetenschappelijk denken aan elkaar verbonden worden. Het begrip van wiskundige relaties omvat het observeren en symboliseren van patronen en regelmatigheden. Voor het begrijpen van regelmatigheden in tandwielbanen zijn begrip van mechanismen en wiskundige relaties

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

noodzakelijk. De zoektocht naar regelmatigheden of patronen wordt geassocieerd met wiskundige eigenschappen die abstract van aard zijn (Lehrer & Schauble, 1997). Wanneer een kind de wiskundige representatie ontdekt tijdens het oplossen van problemen, is dit sterk bewijs voor de aanname dat een kind de relationele, onderliggende structuur van het probleem begrijpt (Dixon & Bangert, 2004). Bij het ontdekken van de onderliggende structuur zijn kinderen inventief en flexibel in handelingen en gedachten, waardoor al eerder geleerde ideeën en schema's toegepast kunnen worden bij het bedenken van nieuwe plannen en verwachtingen (Fischer & Bidell, 2006). Hierdoor worden de structuren van nieuwe problemen sneller en gemakkelijker begrepen en opgelost (Dixon & Bangert, 2004). Aangezien begrip van mechanistische aandrijving en begrip van wiskundige relaties centraal staan in Wetenschap en Techniek en in rekenen, geven zij beiden een indicatie van bètacapaciteiten bij kinderen, zodat bètatalent bepaald kan worden. Het gaat dan over talenten op het gebied van Rekenen-Wiskunde, natuurwetenschappen en techniek, zoals logisch denken, redeneren, probleem oplossen en ruimtelijk inzicht (Van Oers, 2010). Uit onderzoek blijkt er een samenhang te bestaan tussen wiskundig inzicht en natuurkundeprestaties van middelbare scholieren (Boujaoude & Jurdak, 2010; Kemmers, Moerlands, Vedder, & Buijs, 2008; Rutter, 1994; Van Galen & Oosterwaal, 2010). De natuurkundeprestaties kunnen gedeeltelijk uit wiskundeprestaties voorspeld worden (Ireson, 1996).

Onderzoek van Jordan, Kaplan, Nabors, Ola'h en Locuniak (2006) laat zien dat bij kinderen tussen vier en zeven jaar meisjes hoger scoren in rekenvaardigheid. Na deze periode verandert dit en scoren jongens blijvend hoger dan meisjes. Jongens presteren vanaf deze leeftijd beter op wiskundig gebied (Cito, 2011; Brunner, Kraus & Kunter, 2008). De oorzaak van deze omkering is nog niet duidelijk (Leahey & Guo, 2001). Jordan, Hanich, en Kaplan (2003) geven als mogelijke oorzaak dat jongens door de omgeving meer gestimuleerd worden in wiskundige taken dan meisjes. Het verschil in rekenprestaties tussen jongens en meisjes is in de periode 1995 tot 2003 kleiner geworden, maar nog steeds aanwezig (Meelissen & Luyten, 2008). Dit blijkt echter het gevolg te zijn van een kleine achteruitgang in de prestaties van jongens (Mullis, Martin, Gonzalez, & Chrostowski, 2004). Een internationaal vergelijkend onderzoek, het Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS) project, laat zien dat meisjes hogere prestaties hebben behaald op bètavakken (Martin, Mullis, & Foy, 2008). Het TIMSS project

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

meet sinds 1995 elke vier jaar in het basis- en voortgezet onderwijs de kennis van leerlingen in de exacte vakken (Martin et al., 2008). In dit onderzoek zijn in 2007 in 43 landen ongeveer 200.000 leerlingen in groep zes getoetst op hun kennis van rekenen-wiskunde, biologie, natuur- en scheikunde en fysische aardrijkskunde. Uit het onderzoek blijkt dat Nederland één van de acht landen is waar zich significante verschillen tussen jongens en meisjes voordoen in de prestaties op methodegebonden toetsen voor natuurkunde onderwijs. Op negen- en tienjarige leeftijd zouden jongens beter zijn in natuur- en techniekonderwijs dan meisjes, terwijl internationaal gezien meisjes gemiddeld beter zijn dan jongens (Martin et al., 2008; Meelissen & Drent, 2008).

Een verklaring voor de verschillen in bètaprestaties tussen jongens en meisjes is dat jongens en meisjes andere strategieën gebruiken om rekenkundige problemen op te lossen (Carr, Steiner, Kyser, & Biddlecombe, 2008). Onderzoek naar sekseverschillen in rekenprestaties laat een verschil in concreet oplossingsgedrag zien. Van der Heijden (1993) rapporteerde bijvoorbeeld dat meisjes opgaven minder handig aanpakten en meer op hun vingers telden dan jongens. Vermeer, Boekaerts en Seegers (2000) keken naar verschillen in contextopgaven en kale opgaven. Jongens zouden het beter doen op toetsen waarbij een beroep wordt gedaan op het oplossen van contextopgaven, terwijl meisjes beter zijn in het maken van sommen zonder context (Eccles et al., 1985). In een Amerikaanse studie (Fennema, Carpenter, Jacob, Frank, & Levi, 1998) werd gevonden dat voor de leeftijd van zes tot negen jaar meisjes meer concrete strategieën gebruikten, zoals tellen, en jongens meer abstracte strategieën, zoals hoofdrekenen. Op negenjarige leeftijd gebruikten meisjes meer standaard algoritmes dan jongens en waren jongens succesvoller in het flexibel hanteren van strategieën voor het oplossen van problemen dan meisjes. Hieruit blijkt dat jongens meer zelf ontdekkend zijn en meisjes meer vasthouden aan een aangeboden strategie.

In de afgelopen tien jaar is onderzoek gedaan naar de oplossingsstrategieën die kinderen toepassen bij het maken van een tandwieltaak (Dixon & Bangert, 2004; Dixon, Holden, Mirman & Stephen, 2012; Stephen & Dixon, 2009). De overgrote meerderheid van de kinderen en volwassenen lost een taak op dezelfde manier en volgens een vaste volgorde op. Kinderen en volwassenen gaan doelgericht te werk en passen meestal één van de volgende vier oplossingsstrategieën toe: *force tracing*, classificatie, *skipping* strategie of pariteitsregel (Dixon

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

& Bangert, 2004). Wanneer gekeken wordt naar het strategiegebruik van kinderen, blijkt dat kinderen in eerste instantie *force tracing* toepassen bij het oplossen van de tandwieltaak. Hierbij komt het kind tot de oplossing door de beweging van het eerste roterende tandwiel en van de volgende onderling verbonden tandwielen te volgen. Het kind 'slalomt' als het ware om de tandwielen heen. Volgend op deze strategie wordt al snel een tweede, meer efficiënte strategie gebruikt, namelijk classificatie. Hierbij wordt elk tandwiel gecategoriseerd als met de klok mee draaiend of tegen de klok in draaiend zonder naar de beweging van de tandwielen te kijken. Als derde wordt een enkele keer de *skipping* strategie toegepast. Hierbij slaat het kind tijdens het oplossen van de taak om en om een tandwiel over, waarbij het tandwiel als dezelfde kant op geclassificeerd wordt. Tenslotte wordt de pariteitsregel toegepast. Hierbij wordt een mathematische representatie van het probleem ontdekt waarbij de pariteit van het aantal tandwielen (oneven of even aantal tandwielen) aangeeft of het laatste tandwiel naar dezelfde kant als het eerste tandwiel draait (Dixon & Bangert, 2004).

Deze genoemde strategieën volgen elkaar logisch op in termen van *affordances* (actiemogelijkheden), waardoor bijna alle kinderen de strategieën volgens een vaste volgorde namelijk *force tracing*, classificatie en pariteitsregel ontdekken (Dixon & Bangert, 2004). Kinderen beginnen met de *affordance force tracing*. De weergave van aan een geschakelde tandwielen maakt het namelijk mogelijk om mentale rotatie toe te passen bij ieder tandwiel, te beginnen met het eerste tandwiel waar de draairichting is weergegeven met een pijl. Vervolgens volgt classificatie van de draairichting van ieder tandwiel als linksom of rechtsom. Classificatie als *affordance* volgt uit *force tracing*; het eerst naar links dan naar rechts kijken zit namelijk al in de 'slalombeweging' bij *force tracing*. Door eerst de beweging te volgen kunnen de kinderen dit relateren aan de verbindingen tussen de tandwielen wat hen vertelt welke richting het volgende tandwiel op gaat, afhankelijk van bewegingsrichting van het voorafgaande tandwiel. Pariteit als *affordance* volgt vervolgens uit classificatie. Bij classificatie ontstaat er namelijk een alternerend patroon van het kijken naar links-rechts-links tot het einde van de baan waarbij het kind ontdekt dat de tandwielen om en om links of rechts gaan. Hieruit voort komt de pariteitsregel, het tellen van de tandwielen als oneven of even. De *skipping* strategie wordt niet door iedereen ontdekt voordat pariteit ontdekt wordt (Dixon, Holden, Mirman, & Stephen, 2012). Wanneer de pariteitsregel ontdekt is, kunnen de kinderen het gehele systeem, de causale keten in essentie

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

omschrijven (Machamer et al., 2000). De minderheid van de kinderen en volwassenen past een andere strategie toe, zoals een gokstrategie. Uit studies van Dixon en Bangert (2002; 2004) blijkt dat prestaties niet goed te koppelen zijn aan de toegepaste strategie. Wanneer kinderen een nieuwe strategie proberen, zouden zij deze nog niet volledig accuraat kunnen toepassen en denkfouten maken, waardoor zij slechter presteren (Dixon & Bangert, 2002). Dit slechter presteren zal naar verwachting echter een kleine invloed hebben op de algehele prestatie. Het blijkt namelijk dat wanneer kinderen problemen ervaren met het adequaat toepassen van een strategie, zij terugvallen op al eerder verworven strategieën die zij wel adequaat kunnen toepassen (Dixon & Dohn, 2003).

In eerder onderzoek is geprobeerd de toegepaste strategie te onttrekken uit de verbalisering van kinderen tijdens het uitvoeren van een taak (Dixon & Bangert, 2002). In huidig onderzoek zal de strategie echter middels een codering onttrokken worden uit de oogbewegingen van de kinderen. Voor kinderen lijkt dit relevanter, omdat kinderen op jonge leeftijd moeite hebben met het onder woorden brengen van de toegepaste strategie. Daarnaast is het voor kinderen moeilijk om zich goed te concentreren wanneer tijdens het oplossen van de taak om een verbalisering gevraagd wordt. Een andere reden waarom de toegepaste strategie onttrokken wordt uit de oogbewegingen is dat volgens een interactie-dominante visie van cognitie (Van Orden, Holden, & Turvey, 2003) de individuele verschillen in prestaties aantoonbaar moeten zijn op alle schalen van gedrag. Zo zouden de oogbewegingen van kinderen individuele verschillen weerspiegelen (Stephen & Mirman, 2010; Stephen, Mirman, Magnuson, & Dixon, 2009). Oogbewegingen kunnen laten zien welke punten meer aandacht vragen tijdens het exploreren. Hiermee wordt met dit onderzoek een helder idee verkregen van de strategieën die kinderen toepassen bij een tandwieltaak. Wanneer een kind visueel exploreert, kan het op verschillende oplossingsstrategieën komen, wat kan leiden tot diverse prestaties op de taak (hoge dan wel lage). Uit onderzoek blijkt dat door analyses van oogbewegingen de veranderingen in dynamische organisatie beoordeeld kunnen worden (Dixon & Kelley, 2006; Stephen, Boncoddo, Magnuson, & Dixon, 2009). Uit onderzoek van Dixon en Kelley (2006) blijkt dat de dynamische structuur van oogbewegingen laat zien dat er een verandering van strategie plaatsvindt. Dit is echter het eerste onderzoek wat kijkt naar het verband tussen oogbewegingen en strategie.

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

Op basis van bovenstaande theorie zijn enkele onderzoeksvragen opgesteld. De eerste onderzoeksvraag is of de schoolprestaties van kinderen op de Citotoets Rekenen-Wiskunde, overeenkomen met de bevindingen vanuit dit onderzoek. Basisscholen baseren namelijk een globaal beeld aangaande bètavaardigheden van leerlingen op het gemeten niveau van de Citoscores op Rekenen-Wiskunde. Deze score geeft inzicht in getallen, verhoudingen, meetkunde en verbanden leggen, waarmee een indicatie gegeven kan worden van het niveau van logisch redeneren bij leerlingen (Cito, 2011). De schoolprestaties van leerlingen op de Citotoets Rekenen-Wiskunde worden vergeleken met de uitkomsten op de tandwieltaken. Daarmee kan de vraag beantwoord worden of de Citoscore een goede voorspeller is van prestaties op bètavakken in het voortgezet- en hoger onderwijs. De onderzoeksvraag hierbij luidt: *‘Bestaat er een verband tussen schoolprestaties met betrekking tot de bètavaardigheid Rekenen-Wiskunde en prestatie op een tandwieltaak bij kinderen van tien en elf jaar.’* Verwacht kan worden dat er een positieve samenhang bestaat tussen deze schoolprestaties en de prestatie op de tandwieltaak. Bij de uitkomsten wordt ook aandacht geschonken aan mogelijke verschillen in prestaties tussen jongens en meisjes.

De tweede onderzoeksvraag die is opgesteld luidt: *‘Bestaat er een relatie tussen strategiegebruik op basis van oogbewegingen en prestatie op de taak.’* Er wordt verwacht dat de oogbewegingen van de participanten een duidelijk beeld geven van de toegepaste strategie (*force tracing*, classificatie, *skipping* strategie of de pariteitsregel). Wanneer kinderen *force tracing* toepassen waarbij alle individuele bewegingen van de tandwielen gevolgd worden, wordt als het ware ‘slalommend’ naar de tandwielen gekeken. Kinderen die gebruik maken van classificatie waarbij alleen gekeken wordt naar het mee of tegen de klok in draaien van de tandwielen, kijken voornamelijk naar de raakpunten van de tandwielen. Bij de *skipping* strategie wordt verwacht dat de kinderen telkens één tandwiel overslaan. Tenslotte wordt verwacht dat wanneer kinderen gebruik maken van de pariteitsregel, waarbij de tandwielen als oneven of even aantal worden weergegeven, kijken naar de tandwielen zelf. Daarnaast wordt verwacht dat hoe hoogwaardiger de toegepaste strategie is, hoe beter de prestatie op de taak. Verwacht wordt dat kinderen met een gokstrategie het slechtst presteren. Bij het toepassen van deze strategie wordt de kans op een goed antwoord 50 procent. Bij het toepassen van *force tracing* wordt verwacht dat dit leidt tot een beneden gemiddelde prestatie doordat bij deze strategie de kans op fouten groter is door de

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

vele stappen die nodig zijn om de taak op te lossen. Verwacht wordt dat kinderen die classificatie en *skipping* strategie toepassen gemiddeld presteren op de taak en dat kinderen die de pariteitsregel toepassen het beste presteren op de taak. Dit komt mede door de vermindering van redeneringen waardoor de kans op een fout antwoord minder groot is.

Methode

Participanten

In totaal zijn vijf scholen uit geheel Nederland benaderd. Voor het verkrijgen van data is een basisschool in Veenendaal benaderd door één van de testleiders. Zowel de ouders als de school zijn voor aanvang van het onderzoek ingelicht over de afname van de testen en het verwerken van de gegevens. Ouders van deelnemers hebben een informed consent getekend waarmee toestemming werd gegeven tot deelname van hun kind aan het onderzoek. Van de 49 gevraagde participanten hebben 45 participanten deelgenomen aan het onderzoek dat plaatsvond in de maand februari, vlak na afname van de Cito-toetsen. Huidig onderzoek is gebaseerd op onderzoeksgegevens van 37 participanten met een gemiddelde leeftijd van tien jaar en acht maanden ($SD = 4.96$) uit groep zeven ($N = 23$ meisjes). Bij de analyses betreffende de oogbewegingen zijn de onderzoeksgegevens van acht van de in totaal 37 participanten niet meegenomen omdat de data, verzameld door het oogbewegingsregistratiesysteem, incompleet waren. Hierdoor was niet duidelijk waarneembaar waar deze participanten gedurende het onderzoek naar gekeken hebben. Omdat de Citoscore van één van de 37 participanten ontbrak, zijn de gegevens van deze participant niet meegenomen in de analyses met betrekking tot de Cito vaardigheid Rekenen-Wiskunde. Wat betreft de Citoscores voor Reken-Wiskunde is de onderzoekspopulatie representatief. De gemiddelde Citoscore van de populatie is 70.81 ($SD = 14.16$). Deze score kwam namelijk overeen met de gemiddelde landelijke Citoscore voor Rekenen-Wiskunde van 64 (Inspectie van het Onderwijs, 2008). De leeftijd in maanden van de jongens was 129.3 ($SD = 4.69$) en van de meisjes 129.2 ($SD = 5.22$). Alle participanten waren van Nederlandse afkomst. Het onderzoek kende verder geen missende waarden.

Materiaal

Exploratietaak

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

Voorafgaand aan het onderzoek, hebben de participanten eerst een exploratietaak uitgevoerd. Hierbij moesten de participanten drie tandwielbanen maken op matten waarop tandwielen bevestigd konden worden met behulp van gele pinnen (zie bijlage 1). Twee tandwielen waren op iedere mat bevestigd met blauwe pinnen. De taak hierbij was om deze twee tandwielen aan elkaar te verbinden door er tandwielen tussen te plaatsen. Zodoende konden participanten bekend raken met de werking van tandwielen. Participanten konden onderverdeeld worden in conditie één waarbij de banen recht waren en conditie twee waarbij het kronkelbanen betrof (Bijlage 1). Achttien participanten zijn ingedeeld in conditie één (48.7%). Aangezien de bevindingen van de exploratiefase buiten het bereik van het huidige onderzoek vallen zal hier niet verder op ingegaan worden.

Computertaak

De computertaak bestond uit 30 trials die in willekeurige volgorde getoond werden middels het programma E-Prime Versie 2.0 (Schneider, Eschman, & Zuccolotto, 2002). Elke trial toonde op het computerscherm een tandwielbaan (zie bijlage 2). De tandwielbanen bestonden uit drie, vier, vijf, zes, zeven of acht tandwielen en werden statisch (dus niet bewegend) weergegeven. Het onderste tandwiel, het prime tandwiel, draaide altijd met de klok mee. Dit werd aangegeven met een gele pijl. Het prime tandwiel was paars, het target tandwiel geel en de overige tandwielen waren zwart. De participanten moesten beoordelen naar welke richting het bovenste tandwiel, het target tandwiel, draaide. Dit konden de participanten aangeven door op de toets met de pijl naar links of de toets met de pijl naar rechts te drukken (respectievelijk de 'D' toets en de 'L' toets op een computertoetsenbord). Na elke trial werd een feedbackscherm getoond met een muis met het geluid 'goed' dan wel 'niet goed' afhankelijk van het gegeven antwoord. Na iedere drie trials verscheen een illustratie van de tandwieltaak met een vraagteken op het beeldscherm, waarbij de participanten gevraagd werd om aan te geven hoe de taak was opgelost.

Procedure

De testen zijn in een rustige ruimte vlak na elkaar afgenomen en de afname heeft volgens een gestandaardiseerd protocol plaatsgevonden. In de testsituatie waren altijd twee van de in totaal zes testleiders aanwezig. Voor aanvang van het onderzoek werden participanten één voor één door een testleider uit het klaslokaal gehaald. Bij binnenkomst in de testruimte stelden de

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

testleiders zich aan de participant voor en werd een kort gesprekje gehouden met de participant, zodat deze zich op zijn of haar gemak zou voelen. Eerst werd de exploratietaak afgenomen. Vervolgens werd gestart met de computertaak. In een korte instructie werd aangegeven dat de participant een computerspel ging spelen. Vervolgens werd de demonstratie en kalibratieprocedure doorlopen. In de demonstratiefase werd een instructie gegeven aan de hand van een voorbeeldtrial. Er werd hierbij aangegeven dat het paarse tandwiel altijd met de klok mee draaide. Vervolgens werd de vraag gesteld welke kant het gele tandwiel opging. Tenslotte werd aangegeven hoe de participant op het toetsenbord het antwoord kon aangeven en werd het feedbackschermbord uitgelegd. De kalibratieprocedure werd gebruikt om een correspondentie tussen de metingen op het oog en de kijkposities op het scherm tot stand te brengen (Lentz, Mak, & Pander Maat, 2006). Deze procedure moest de participant een rood balletje volgen waardoor onderzocht kon worden of de oogbewegingen adequaat geregistreerd werden. Vervolgens werd gestart met het oplossen van de 30 trials. Het testonderzoek nam gemiddeld vijftien tot twintig minuten per participant in beslag. Na afname van de tandwieltaken hebben de testleiders nog even nagepraat met de participanten en hen tevens bedankt voor hun deelname aan het onderzoek.

Meetinstrumenten

De *Tobii Eye Tracker* werd gebruikt om de oogbewegingen te meten (Tobii T120 Eye Tracker, Tobii Technology, Danderyd, Zweden). Deze *Eye Tracker* heeft de positie van de ogen op het beeldscherm van de participant 60 keer per seconde gemeten. Het instrument registreerde de oogbewegingen van de participanten in termen van x-y coördinaten op het computerscherm. Met behulp van het programma *MATLAB* (MathWorks, 2013) zijn animaties van de oogbewegingen gemaakt door de x-y coördinaten te interpoleren op de weergave van iedere trial van ieder kind met een snelheid van zes f/s (frames per seconde). Vervolgens zijn deze animaties geclassificeerd in termen van strategiegebruik (zie hiervoor de sectie scoring en datareductie). Met het programma *E-prime 2* zijn de reacties van ieder kind op iedere trial vastgelegd. Het kind kon bij iedere trial een foute response of een goede response geven. Gezien het feit dat er 30 trials waren, betekent dit dat de range van scores tussen de 0 en 30 lag. In de data analyse is er gewerkt met het totaal aantal goede trials per kind.

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

Testen

Cito Rekenen en Wiskunde M7

Er is voor gekozen de bètacapaciteiten van leerlingen te bepalen aan de hand van scores op de Citotoets Rekenen-Wiskunde. Deze toets meet de rekenprestaties van de leerlingen en is onderdeel van de Citotoets Basisonderwijs groep zeven. Gezien de sterke associatie tussen prestaties op Rekenen-Wiskunde en Natuur/Scheikunde (Boujaoude & Jurdak, 2010; Rutter, 1994) kan de Citotoets Rekenen-Wiskunde gezien worden als indicatie voor bètacapaciteiten. De schoolprestaties van de participanten zijn gemeten door middel van testafnames vanuit het Leerling Volgstelsel (LVS) (Gillijns, 1991). De wiskunde vaardigheden van leerlingen worden jaarlijks twee keer gemeten om zo het niveau en de voortgang vast te stellen en dit te vergelijken met het niveau van een landelijk genormeerde groep. In het kader van huidig onderzoek werd specifiek gekeken naar de ruwe toetsscores van participanten op de Citotoets Rekenen-Wiskunde, om zo de bètacapaciteiten van de participanten te bepalen. De betrouwbaarheid van de Cito vaardigheid Rekenen-Wiskunde wordt door de Cotan als goed beoordeeld (Evers, Lucassen, Sijtsma, & Meijer, 2010).

Scoring en datareductie

Tijdens het onderzoek zijn oogbewegingen van de participanten geregistreerd waarvan animaties zijn gemaakt. Vervolgens zijn deze animaties geëncodiseerd in termen van strategiegebruik aan de hand van een codeboek (zie bijlage 3). Dit codeboek is vervaardigd door drie onderzoekers aan de hand van het bekijken van enkele animaties. Het codeboek bestaat uit de vijf strategieniveaus, zoals besproken in de inleiding. Bij *force tracing* maken de participanten een slingerbeweging (dichtbij het centrum van de tandwielen, om de tandwielen heen of tussen het centrum en de buitenste rand van het tandwiel) en kijken de participanten vaak tussen de tandwielen. Bij classificatie kijken de participanten over het algemeen naar de zijkanten van ieder tandwiel, binnen of buiten de tandwiel. Hierbij wordt vaak eerst naar de linkerkant, dan bij het volgende tandwiel naar de rechterkant, dan weer naar de linkerkant, en zo verder gekeken. Wanneer de *skipping* strategie wordt toegepast slaan de participanten telkens een tandwiel over om naar te kijken. Bij de pariteitsregel kijken de participanten vaak naar het midden van ieder tandwiel. Er is sprake van een gokstrategie of andere strategie wanneer er bijvoorbeeld een snelle reactie is zonder dat er veel gekeken is of als er alleen naar het eerste en het laatste tandwiel

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

gekeken wordt. De drie onderzoekers hebben gezamenlijk geoefend om het coderen eigen te maken en de onderlinge consistentie door vergelijking te verhogen. Op basis hiervan zijn achtereenvolgens enkele aanscherpingen aan het codeersysteem gedaan (aangegeven in cursief in bijlage 3). Het codeersysteem is verfijnd door extra kenmerken die tijdens het vergelijken van de coderingen aan het licht kwamen, aan de ruwe versie van het codeboek toe te voegen. De toegekende strategiekeuzes zijn omgezet in strategiecodes, waarbij *force tracing* de code één, classificatie code twee, *skipping* strategie code drie, pariteitsregel code vier en een gokstrategie of een andere strategie code vijf kreeg.

Data analyse

Alle statistische analyses zijn uitgevoerd met SPSS 20.0 voor Windows (IBM SPSS Statistics, 2011). Voor de eerste hoofdvraag zijn bètavaardigheden geanalyseerd met behulp van de toetsscore op de Cito Rekenen-Wiskunde uit het Leerling Volgstelsel. De vaardigheid Rekenen-Wiskunde vormde de variabele bètavaardigheid. Om de samenhang tussen de variabelen bètavaardigheden en de prestatie op taak te analyseren zijn correlaties berekend met behulp van de Spearman's rangcorrelatiecoëfficiënt (r). Door middel van een Spearman's rangcorrelatie is geanalyseerd of de variabele schoolprestaties correleert met de variabele prestaties op de computertaak. Er werd tweezijdig getoetst en er werd een betrouwbaarheid van 0.05 gehanteerd. Hierbij was de prestatie op de taak de afhankelijke variabele en schoolprestaties de onafhankelijke variabele. De data voldeed aan de assumpties. Er werd eveneens onderzocht of de samenhang voor jongens significant verschilde van de samenhang voor meisjes. Er werd niet gecontroleerd voor leeftijd, omdat er weinig spreiding was wat betreft leeftijd in de onderzoeksgroep.

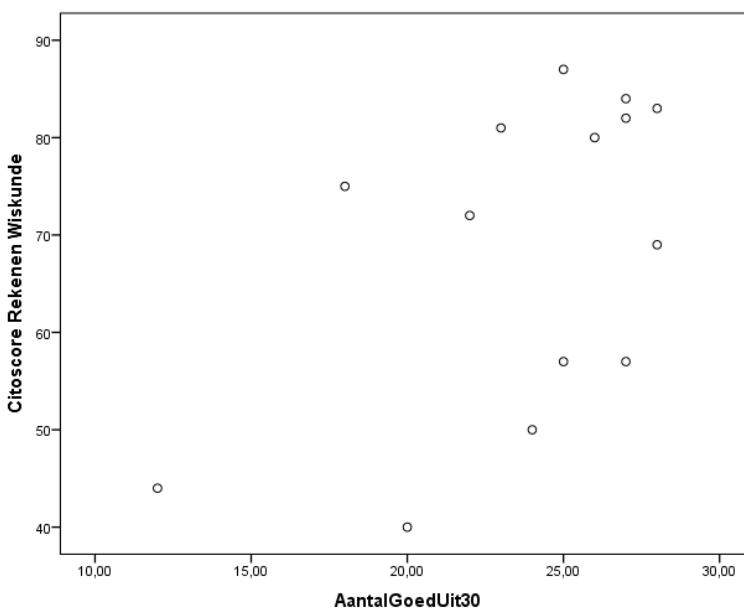
Om de tweede onderzoeksvraag te beantwoorden zijn tevens enkele analyses uitgevoerd. Voor het beantwoorden van de eerste hypothese zijn de computeranimaties van de oogbewegingen per trial gecodeerd met behulp van het opgestelde codeboek. Een derde onderzoeker heeft elf procent van de trials opnieuw gecodeerd. De interbeoordelaarsbetrouwbaarheid van de coderingen van de oogbewegingen is getoetst door deze te vergelijken met de hercodering van de strategietoekenning. De overeenstemming is geanalyseerd door het berekenen van Cohen's Kappa. Gebaseerd op de richtlijnen van Landis en Koch (1977), wijst een Kappa waarde van

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

0.40 tot 0.59 op een matige betrouwbaarheid, een waarde van 0.60 tot 0.79 is goed en een waarde groter dan 0.80 wijst op een uitstekende betrouwbaarheid (Landis & Koch, 1977).

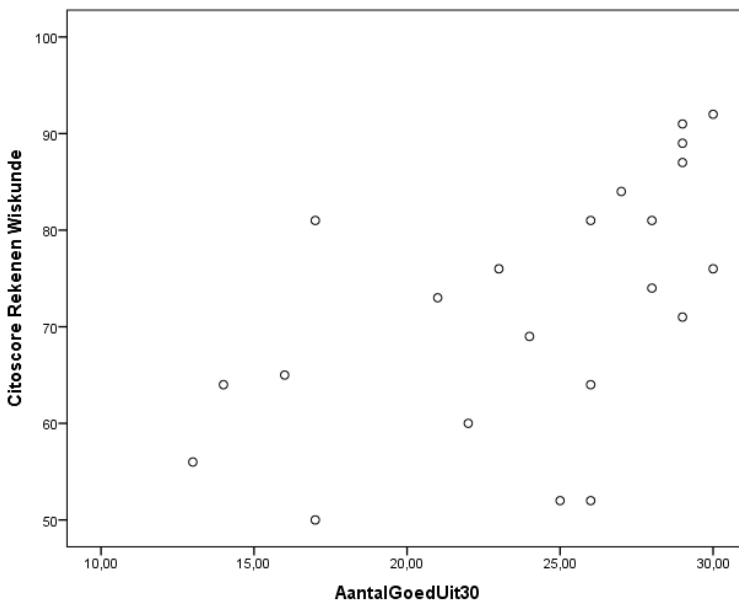
Resultaten

Er is sprake van een significant, positief verband tussen de toetscore op Cito Rekenen-Wiskunde en de prestatie op de taak ($r_s = 0.588$), $p < 0.001$, $n = 36$, tweezijdig). Dit bevestigt de eerste hypothese. De totale variatie in prestaties op de taak kan voor 28.7 procent van de gegevens verklaard worden door behaalde Cito scores van Rekene-wiskunde. Dit betekent dat de Cito score die een kind behaalt heeft een redelijke indicatie geeft voor de prestatie op de taak. De participanten hebben een gemiddelde Citotoetscore van 70.81 ($SD = 14.16$) behaald, waarbij het gemiddelde van de vrouwelijke participanten 72.18 ($SD = 13.04$) en van de mannelijke participanten 68.64 ($SD = 16.02$) is. Voor de vrouwelijke participanten is een significant, positief verband tussen toetscore op Cito Rekenen-Wiskunde en prestatie op de taak gevonden ($r_s = 0.645$, $p = 0.001$, $n = 22$, tweezijdig). Het verband tussen de Citotoetscore Rekenen-Wiskunde en prestatie op de taak is voor de mannelijke participanten niet significant ($r_s = 0.468$, $p = 0.091$, $n = 14$, tweezijdig). Er is voor jongens en meisjes een verschil in samenhang tussen de Citotoetscore Rekenen-Wiskunde en prestatie op de taak.



Figuur 1. Spreidingsdiagram van de relatie tussen Cito scores en resultaten op de taak voor jongens.

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES



Figuur 2. Spreidingsdiagram van de relatie tussen Cito scores en resultaten op de taak voor meisjes.

Elf procent van de coderingen van de oogbewegingen is opnieuw gecodeerd door een derde onderzoeker. Dit resulteerde in een interbeoordelaarsbetrouwbaarheid van 0.089 (kappa). De hypothese dat de oogbewegingen van de participanten de toegepaste strategie laten zien, wordt op basis van deze resultaten verworpen. De tweede hypothese is door het verwerpen van de eerste hypothese niet onderzocht.

Discussie

Ten eerste stond de relatie tussen schoolprestaties voor Rekenen-Wiskunde en mechanistische redeneren centraal. Vanwege de sterke samenhang tussen wiskunde en natuurkundeprestaties (Boujaoude & Jurdak, 2010; Ireson, 1996; Kemmers et al., 2008; Rutter, 1994; Van Galen, 2010), werd verwacht dat er een significante samenhang bestaat tussen schoolprestaties op de Citotoets Rekenen-Wiskunde en de prestaties op de tandwieltaak. In dit onderzoek is gevonden dat er een verband is tussen mechanistisch redeneren en bètatalent. Dit is een bewijs voor het feit dat de Citoscore voor Rekenen-Wiskunde een goede indicatie is voor bètatalent bij kinderen van tien en elf jaar. Dit betekent dat rekenonderwijs en mechanistisch redeneren elkaar ondersteunen in het onderwijs. Wanneer rekenen en mechanistisch redeneren geïntegreerd worden, kan dit kinderen voorbereiden op bètavakken die in het voortgezet onderwijs aan bod komen.

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

Tevens is gekeken in hoeverre er een verschil bestaat tussen de prestaties van jongens en meisjes, omdat jongens landelijk hogere rekenprestaties hebben dan meisjes (Meelissen & Drent, 2008). In de onderzoekspopulatie bleek dat de mannelijke participanten lager presteren op Rekenen-Wiskunde dan vrouwelijke participanten. Uit de aanvullende analyses, waarbij de jongens en meisjes afzonderlijk zijn bekeken, kwam naar voren dat de schoolprestaties Rekenen-Wiskunde alleen bij meisjes een significante samenhang laten zien met de prestatie op de tandwieltaak. In huidig onderzoek werd geen significante samenhang gevonden voor jongens. Voor een deel van deze jongens geldt namelijk dat zij bij prestaties op tandwielbanen hoger presteren dan verwacht zou worden op basis van de Citoscore Rekenen-Wiskunde. Dit kan mogelijk worden toegeschreven aan het feit dat ouders hun kinderen stimuleren op een seksspecifieke manier (Mondschein et al., 2000). Een voorbeeld hiervan is dat meisjes vaker een pop krijgen die ze aankleden en verzorgen, wat de fijne motoriek stimuleert. Bij jongens wordt de grove motoriek gestimuleerd, door te spelen met technisch speelgoed zoals lego of K'Nex, een puzzel te maken, een landkaart te lezen, een modelvliegtuigje te bouwen of een tekening te maken. Dit zijn allemaal voorbeelden van activiteiten waarbij jongens al vanaf jonge leeftijd een beroep doen op visueel-perceptuele en visueel-motorische vaardigheden (Carroll, 1993; Lyon, Gunzelmann, & Gluck, 2008), waardoor jongens bij eenvoudige technische opdrachten een voordeel hebben van het feit dat ze eenvoudige technische vaardigheden beheersen.

Jordan, Hanich en Kaplan (2003) geven in dit kader aan dat jongens door de omgeving meer gestimuleerd worden dan meisjes in wiskundige taken. Volgens Entwisle en Baker (1983) wordt dit verklaard door socialisatieprocessen op jonge leeftijd, waarbij ouders meer technische vaardigheden of rekenvaardigheden verwachten van jongens dan van meisjes. Ouders, maar ook leerkrachten hanteren namelijk sekse specifieke attitudes met betrekking tot Wetenschap en Techniek (Hsiao-Ching, 2000; Tenenbaum & Leaper, 2003). Beiden gaan ervan uit dat meisjes minder interesse hebben voor natuurkunde en techniek en ook meer moeite hebben met natuurkunde en techniek onderwijs. Dergelijke vooroordelen kunnen leiden tot *stereotype threat*, wat inhoudt dat wanneer meisjes een taak uitvoeren die te maken heeft met wetenschap en techniek, zij zich bewust zijn van stereotypering, waardoor zij onzekerheid laten zien en slechter presteren (Smith & Hung, 2008). Dit beïnvloedt het zelfvertrouwen van leerlingen (Herbert & Stipek, 2005). Daarnaast kunnen seksspecifieke attitudes van de leerkracht leiden tot

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

verschillen in onderwijzend gedrag en daarmee tot verschillen in ontwikkelingsmogelijkheden (Mansour, 2009). Het is daarom belangrijk dat ouders en leerkrachten zich bewust worden van deze sekse specifieke attitudes en de gevolgen hiervan. Wanneer ouders en leerkrachten dezelfde verwachtingen hebben bij jongens en meisjes, zou dit van positieve invloed kunnen zijn op de motivatie voor en prestatie op het gebied van wetenschap en techniek, wat de keuze voor een technische vervolgopleiding kan vergroten.

Het antwoord op de eerste onderzoeksvraag maakt duidelijk dat de Citoscore Rekenen-Wiskunde, met name voor meisjes, een betrouwbaar beeld geeft van de bètavaardigheden waar zij over beschikken, gezien de aangetoonde correlatie met de prestaties op de tandwieltaken. Bij een deel van de jongens valt op dat zij op de tandwieltaken boven verwachting presteren, hetgeen verklaard kan worden door de bij hen al vroeg ontwikkelde visueel-perceptuele en visueel motorische vaardigheden (Carroll, 1993; Lyon et al., 2008). Jongens zijn in staat om problemen op te lossen door gebruik te maken van zelf ontdekte strategieën, waarmee zij een grote mate van flexibiliteit laten zien in het toepassen van strategieën om een probleem op te lossen. Meisjes houden in het oplossen van een taak meer vast aan aangeleerde strategieën (modellering), zoals tellen en standaard algoritmen.

De tweede onderzoeksvraag ging in op de relatie tussen oogbewegingen en de prestaties van kinderen betreffende mechanistisch redeneren. Hierbij is onderzocht of de oogbewegingen van de participanten tijdens het oplossen van de taken de strategie lieten zien waarmee de taak was opgelost. Verwacht werd dat de oogbewegingen van de participant een duidelijk beeld gaven van de toegepaste strategie (*force tracing*, classificatie, *skipping* strategie of de pariteitsregel). Uit de resultaten van huidig onderzoek blijkt dat de betrouwbaarheid tussen de oogbewegingen en de toegepaste strategie zwak is. Hieruit valt op te maken dat de oogbewegingen van de participanten niet laten zien welke strategie er wordt toegepast. Dit betekent dat het coderingssysteem niet betrouwbaar is en dat met dit coderingssysteem het verband tussen de oogbewegingen van de participanten en de toegepaste strategie niet betrouwbaar weergegeven kan worden. Mogelijk komt dit omdat er in huidig onderzoek gebruik gemaakt is van maar tien frames per seconden. In vervolg onderzoek kan bij het coderen beter gebruik gemaakt worden van twintig frames per seconde.

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

Een zwak aspect van huidig onderzoek is de zwakke betrouwbaarheid van de relatie tussen oogbewegingen en strategiekeuze. Echter, de strategieën *force tracing* en *skipping* waren goed waarneembaar. Dit biedt mogelijkheden voor vervolgonderzoek. De data zou zich kunnen lenen voor computer gestuurde codering. Een computergestuurde analyse zou de betrouwbaarheid van de coderingen sterk verhogen. Middels een computer kan gekeken worden of het kijken naar ieder tandwiel in een baan een vereiste is voor het geven van een goed antwoord. Een andere mogelijke optie is het analyseren van de gegevens geclassificeerd als gokstrategie of andere strategie. Een gedeelte van de gegevens behorend bij deze strategie kon in huidig onderzoek niet als een specifieke strategie gecodeerd worden. Echter, mogelijk zijn er door de participanten andere strategieën toegepast dan de strategieën die nu bekend zijn. De trials waarop het goede antwoord is gegeven zouden apart genomen kunnen worden en hierbij kan bekeken worden of kinderen bij deze trials naar de goede kant per tandwiel hebben gekeken (bijvoorbeeld bij een linksdraaiend tandwiel ergens in de baan daadwerkelijk aan de linkerkant van het tandwiel kijken). Zodoende kunnen er dan protocollen uitgewerkt worden die een computerprogramma kan gebruiken om de gebruikte strategieën te detecteren. Analyse van deze gegevens zou hiermee leiden tot een verbreding van de kennis over strategietoepassing van kinderen in de leeftijd van negen tot elf jaar.

Aanbevelingen voor toekomstig onderzoek zijn een evenwichtige steekproef te hanteren, waarbij het aantal mannelijke participanten in de steekproef ongeveer gelijk is aan het aantal vrouwelijke participanten. Voor de generaliseerbaarheid van de studie zou het aan te bevelen zijn de onderzoeksgroep uit een groter aantal participanten te laten bestaan. Daarnaast kan toekomstig onderzoek voor het bepalen van bètacapaciteiten van kinderen naast het analyseren van de Citotoets Rekenen-Wiskunde ook gebruik maken van een toets voor de andere typische bètavakken (biologie, natuurkunde en techniek). Ten tijde van dit onderzoek beschikt het merendeel van de basisscholen in Nederland echter niet over dergelijke toetsen.

In Nederland blijkt het aanbod van met name hooggeschoolde technici achter te blijven bij de vraag (ResearchNed, 2010; Damsma et al., 2012; Platform Bèta Techniek & Groene Kennis, 2012). Vroegtijdig signaleren van bètatalenten, gecombineerd met een gerichte aanpak op school, is daarom van groot belang. Dit onderzoek heeft geprobeerd bij te dragen aan het vergroten van kennis betreffende het bepalen van bètavaardigheden door de Citoscore Rekenen-

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

Wiskunde te vergelijken met prestaties op tandwielbanen. Het onderzoek toont aan dat er een verband bestaat tussen rekenprestaties en prestaties op tandwielbanen. Een mogelijke implicatie is dat de integratie van rekenonderwijs en mechanistisch redeneren een aanvulling kan zijn op de huidige onderwijsdidactiek, ten einde kinderen voor te bereiden op de bètavakken die in het voortgezet onderwijs aan bod komen. Een andere implicatie voor wetenschap en techniek onderwijs is dat kinderen in staat zijn tot mechanistisch redeneren als zij de mogelijkheid krijgen om zelfstandig te werken aan een techniektaak. Leerkrachten zouden daarom in het onderwijs de nadruk kunnen leggen op mechanistisch redeneren van leerlingen, zodat leerlingen deze vaardigheid kunnen oefenen en ontwikkelen. Het verduidelijken van de rol van mechanistisch redeneren en andere kernelementen van bètavaardigheden is belangrijk voor het verbeteren van educatie in Wetenschap en Techniek.

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

Literatuur

- Abrams, E., Southerland, S. A., & Cummins, C. C. (2001). The how's and why's of biological change: How students overlook for the cause of phenomena in their search for meaning. *International Journal of Science Education*, 23, 1271-1281.
- Barnett, W. S. & Belfield, C. R. (2006). Early childhood development and social mobility. *The Futur of Children*, 16, 73-98.
- Bauer, T. K. and Kunze, A. (2004). The demand for high-skilled workers and immigration policy. *Brussels Economic Review - Cahiers Economiques de Bruxelles* 47, 1-19.
- Berkhout, E. E., & van Leeuwen, M. (2000). *Wie kiezen er voor techniek? Instroom en doorstroom in hoger natuur en techniek onderwijs en uitstroom naar de arbeidsmarkt. AXIS rapport no. 00-11*. Amsterdam: Stichting voor economisch onderzoek.
- Blauvelt, G. & Eisenberg, M. (2006). Computer-Aided design of mechanical automata: Engineering education for children. In *Proceedings of International Conference on Education and Technology (ICET 2006)* (pp. 61-66). Canada: Calgary, Alberta.
- Boer, H. de, Hendriks, A. A. J., Kuyper, H., & Van der Werf, M. P. C. (2011). *VOCL'99: De middellangetermijn. Schoolloopbanen van leerlingen tot en met het eindexamen*. Groningen: GION.
- Bolger, M. S., Kobiela, M., Weinberg, P. J., & Lehrer, R. (2012). Children's mechanistic reasoning. *Cognition and Instruction*, 30, 170-206.
- Boncoddio, R., Dixon, J. A., & Kelley, E. (2010). The emergence of a novel representation from action: Evidence from preschoolers. *Developmental Science*, 13, 370-377.

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

- Boujaoude, S. B., & Jurdak, M. E. (2010). Integrating physics and math through microcomputer-based laboratories (MBL): Effects on discourse type, quality, and mathematization. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6, 1019-1047.
- Brunner, M., Krauss, S., & Kunter, M. (2008). Gender differences in mathematics: Does the story need to be rewritten?. *Intelligence: A Multidisciplinary Journal*, 36, 403-421.
- Carr, M., Steiner, H. H., Kyser, B., & Biddlecomb, B. (2008). A comparison of predictors of early emerging gender differences in mathematics competency. *Learning and Individual Differences*, 18, 61-75.
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. New York: Cambridge University.
- Chin, C. & Brown, D. E. (2000) Learning deeply in science: An analysis and reintegration of deep approaches in two case studies of grade 8 students. *Research in Science Education*, 30, 173-197.
- Cito (2011). *Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling*. Arnhem.
- Damsma, J., Eidhof, B., Frank, B. & Nieuwesteeg, B. (2012). *Ruim baan voor de toekomst*. WENb/WWb.
- Dixon, J. A., & Bangert, A. S. (2002). The prehistory of discovery: Precursors of representational change in solving gear-systems problems. *Developmental Psychology*, 38, 918-933.
- Dixon, J. A. & Bangert, A. S. (2004). On the spontaneous discovery of a mathematical relation during problem solving. *Cognitive Science*, 28, 433-449.

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

- Dixon, J. A. & Dohn, M. C. (2003). Redescription disembeds relations: Evidence from relational transfer and use in problem solving. *Memory & Cognition*, 31, 1082-1093.
- Dixon, J. A., Holden, J. G., Mirman, D., & Stephen, D. G. (2012). Development of cognition from multifractality of perception-action. *Topics in Cognitive Science*, 4, 51-62.
- Dixon, J. A., & Kelley, E. (2006). The probabilistic epigenesis of knowledge. In R. Kail (Ed.), *Advances in Child Development and Behavior*, (Vol. 34, pp. 323-361). New York: Academic Press.
- Eccles, J., Adler, T. F., Futterman, R., Goff, S. B., Kaczala, C. M., Meece, J. L., & Midgley, C. (1985). Self-perceptions, task perceptions, socializing influences, and the decision to enroll in mathematics. In S. F. Chipman, L. Brush and D. M. Wilson (eds) *Women and Mathematics: Balancing the Equation* (Hillsdale: Lawrence Erlbaum), 95-122.
- Entwisle, D. R. & Baker, D. P. (1983). Gender and young children's expectations for performance in arithmetic. *Developmental Psychology* 19, 200-209.
- European Commission (2002). *European benchmarks in education and training: Follow up to the Lisbon European Council*. Brussels: European Commission.
- European Commission (2004). *Progress towards the common objectives in education and training: Indicators and benchmarks*. Brussels: European Commission.
- Evers, A., Lucassen, W., Sijtsma, K., & Meijer, R. R. (2010). *COTAN beoordelingssysteem voor de kwaliteit van test*. Amsterdam: NIP/COTAN.
- Fennema, F., Carpenter, T. P., Jacobs, V. R., Franke, M. L., & Levi, L. W. (1998). A longitudinal study of gender differences in young children's mathematical thinking. *Educational researcher*, 27, 6-11.
- Fischer, K. W. & Bidell, T. R. (2006). Dynamic Development of Action and Thought. In

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

- W. Damon & R. M. Lerner (Eds.), *Theoretical models of human development. Handbook of child psychology. 6th ed., Vol. 1* (p. 313-399).
- Galen, F. H. J. van & Oosterwaal, L. (2010). Onderzoekend leren in de reken-wiskundeles. *Panama-Post - Reken-wiskundeonderwijs: onderzoek, ontwikkeling, praktijk*, 29, 3-12.
- Gillijns, P. (1991). *Leerlingvolgsysteem*. Tilburg: Zwijsen.
- Gopnik, A., Sobel, D. M., Schulz, L. E., & Glymour, C. (2001). Causal learning mechanisms in very young children: Two-, three-, and four-year-olds infer causal relations from patterns of variation and covariation. *Developmental Psychology*, 37, 620 – 629.
- Harlen, W. (Ed.) (2010). *Principles and big ideas of science education*. Hatfield: Association for Science Education.
- Harty, H. & Beall, D. (1984). Toward the development of a children's science curiosity measure. *Journal of Research in Science Teaching*, 21, 425-436.
- Heijden, M. K. van der (1993). *Consistentie van aanpakgedrag. Een procesdiagnostisch onderzoek naar acht aspecten van hoofdrekenen*. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Herbert, J. & Stipek, D. (2005). The emergence of gender differences in children's perceptions of their academic competence. *Applied Developmental Psychology*, 26, 276-295.
- Hmelo-Silver, C. E. & Pfeffer, M. G. (2004). Comparing expert and novice understanding of a complex system from the perspective of structures, behaviors and functions. *Cognitive Science*, 28, 127-138.
- Hsiao-Ching, S. (2000). The interplay of a biology teacher's beliefs, teaching-practices and gender-based student-teacher classroom education. *Educational Research*, 42, 100-111.

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

Hustinx, P. W. J., Kuyper, H., Werf, M. P. C. van der, & Dijkstra, P. (2009). Achievement motivation revisited: New longitudinal data to demonstrate its predictive power.

Educational Psychology, 29, 561-582.

IBM Corp. Released 2011. *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0*. Armonk, NY: IBM Corp.

Inspectie van het Onderwijs (2008). *Basisvaardigheden rekenen-wiskunde. Een onderzoek naar het niveau van rekenen-wiskunde in het basisonderwijs en naar verschillen tussen scholen met lage, gemiddelde en goede reken-wiskunderesultaten*. Utrecht: Inspectie van het Onderwijs.

Ireson, G. (1996). The effect of studying A-level mathematics on the A-level physics grade achieved. *School Science Review, 280*, 116-118.

Jordan, N. C., Hanich, L. B., & Kaplan, D. (2003). A longitudinal study of mathematical competencies in children with specific mathematics difficulties versus children with comorbid mathematics and reading difficulties. *Child Development, 74*, 834-850.

Jordan, N. C., Kaplan, D., Nabors Ola'h, L., & Locuniak, M. N. (2006). Number sense growth in kindergarten: A longitudinal investigation of children at risk for mathematics difficulties. *Child Development, 77*, 153-177.

Kemmers, P., Moerlands, F., Vedder, J. & Buijs, K. (2008). *Integratie van rekenen-wiskunde en natuur en techniek*. Enschede: SLO.

Korpershoek, H., Kuyper, H., Werf, M. P. C. van der, & Bosker, R. J. (2011). Who succeeds in advanced mathematics and science courses? *British Educational Research Journal, 37*, 357-380.

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

- Kuijpers, J. & Van der Molen, W. (2007). *Wetenschap & Techniek: Een rijke leeromgeving*. Den Haag: Programma VTB & VTB-Pro.
- Landis, J. R., Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159–174.
- Leahey, E. & Guo, G. (2001). Gender differences in mathematical trajectories. *Social Forces*, 80, 713–732.
- Lehrer, R. & Schauble, L. (1997). Reasoning about structure and function: Children's conceptions of gears. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 3-25.
- Lentz, L., Mak, P., & Pander Maat, H. (2006). Oogbewegingsregistratie en gebruikersonderzoek. *Tijdschrift voor Taalbeheersing* 28, 233-244.
- Louca, L., Elby, A., Hammer, D., & Kagey, T. (2004). Epistemological resources: Applying a new epistemological framework to science instruction. *Educational Psychologist*, 39, 57-68.
- Lyon, D. R., Gunzelmann, G., & Gluck, K. A. (2008). A computational model of spatial visualization capacity. *Cognitive Psychology*, 57, 122-152.
- Machamer, P., Darden, L., & Craver, C. F. (2000). Thinking about mechanisms. *Philosophy of Science*, 67, 1-25.
- Manlove, S., Lazonder, A. W., & Jong, T. de (2006). Regulative support for collaborative scientific inquiry learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22, 87-98.
- Mansour, N. (2009). Science teachers' beliefs and practices: Issues, implications and research agenda. *International Journal of Environmental & Science Education*, 4, 25-48.
- Martin, M. O., Mullis, I. V. S., & Foy, P. (2008). *TIMSS 2007 International Science Report*.

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

- Findings from IEA's Trends in International Mathematics and Science Study at the Fourth and Eight Grade.* Boston: Boston College, TIMSS & PIRLS International Study Center.
- MATLAB and Statistics Toolbox Release 2013a, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States.
- Meelissen, M. R. M. & Luyten, H. (2008). The Dutch gender gap in mathematics: Small for achievement, substantial for beliefs and attitudes. *Studies in Educational Evaluation*, 34, 82-93.
- Meelissen, M. R. M. & Drent, M. (2009). Gender differences in computer attitudes: Does the school matter? *Computers in Human Behavior*, 24, 969-985.
- Metz, K. E. (1991). Development of explanation: Incremental and fundamental change in childrens' physics knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 785- 797.
- Metz, K. E. (1995). Reassessment of developmental constraints on children's science instruction. *Review of Educational Research*, 65, 93-127.
- Ministerie van OCW, EZ & SZW (2003). *'Zonder Kenniswerkers geen Kenniseconomie'*. Den Haag: Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap.
- Ministerie van Onderwijs, Cultuur & Wetenschap (2004). *Koers Primair Onderwijs; ruimte voor de school.* Den Haag: MOCW.
- Mondschein, E., Adolph, K. E., & Tamis-LeMonda, C. S. (2000). Gender bias in mothers' expectations about infant crawling. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77, 304-316.
- Mullis, I. V. S., Martin, M. O., Gonzalez, E. J., & Chrostowski, S. J. (2004). TIMSS 2003

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

- international mathematics report: Findings from IEA's trends in international mathematics and science study at the fourth and eighth grades. Chestnut Hill, MA: Boston College.
- Nazzi, T & Gopnik A. (2003). Sorting and acting with objects in early childhood: An exploration of the use of causal cues. *Cognitive Development*, 18, 219-237.
- Nersessian, N. (2008). *Mental modeling in conceptual change*. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of conceptual change* (pp. 391-416). London: Routledge.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (2007). *PISA 2006 Science competencies for tomorrow's world*. Paris: OECD.
- Plasterk, R. H. A., & Hoeven, M. J. A. van der (2007). Voortgang Deltaplan Bèta/Techniek.
- Platform Bèta Techniek (2010). *Zekeringen voor de toekomst*. Den Haag: Platform Bèta Techniek.
- Platform Bèta Techniek & Groene Kennis (2012). *Naar 4 op de 10; meer technologietalent voor Nederland*. Den Haag: Platform Bèta Techniek.
- ResearchNed. (2010). *Technomonitor 2010*. Den Haag: Platform Bèta Techniek.
- Robinson, K. (2009). *The element: How finding your passion changes everything*. United States: Penguin Group.
- Robinson, K. (2011). *Out of our minds: Learning to be creative*. U.S., Mankota: Capstone.
- Rohaan, E. J., Taconis, R., & Jochems, W. M. G. (2008). Reviewing the relations between teachers' knowledge and pupils' attitude in the field of primary technology education. *International Journal of Technology and Design Education*, 22, 271-280.
- Russ, R. S., Scherr, R. E., Hammer, D., & Mikeska, J. (2008). Recognizing mechanistic

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

- reasoning in student scientific inquiry: A framework for discourse analysis developed from philosophy of science. *Science Education*, 92, 499–524.
- Rutter, P. (1994). The effect of studying A-level mathematics on performance in A-level physics. *Physics Education*, 29, 8-13.
- Scarantino, A. (2003). Affordances explained. *Philosophy of Science*, 70, 949–961.
- Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2002). *E-prime user's guide*. Pittsburgh: Psychology Software Tools, Inc.
- Schulz, L. E., Gopnik, A., & Glymour, C. (2007). Preschool children learn about causal structure from conditional interventions. *Developmental Science*, 10, 332-332.
- Smith, L. & Casser, M. (2005). The development of embodied cognition: Six lessons from babies. *Artificial Life*, 11, 13-29.
- Smith, T. M., Desimone, L. M., Zeidner, T. M., Dunn, A. C., Bhatt, M., & Rumyantseva, N. I. (2007). Inquiry-oriented instruction in science: Who teaches that way? *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 29, 169-199.
- Smith, C. S. & Hung, L. (2008) Stereotype threat: Effects on education. *Social Psychology of Education*, 11, 243-257.
- Southerland, S. A., Abrams, E., Cummins, C. L., & Anzelmo, J. (2001). Understanding students' explanations of biological phenomena: Conceptual frameworks or p-prims? *Science Education*, 85, 328-348.
- Steenbeek, H., & Uittenbogaard, W. (2009). Talentenkracht brengt talent voor wetenschap en techniek van jonge kinderen in kaart. In: H. van Keulen & J. Walma van der Molen (Eds.), *Onderzoek naar wetenschap en techniek in het Nederlandse basisonderwijs* (pp. 131-145). Den Haag: Platform Beta Techniek.

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

- Stephen, D. G., Boncodd, R. A., Magnuson, J. S., & Dixon, J. A. (2009). The dynamics of insight: Mathematical discovery as a phase transition. *Memory & Cognition*, 37, 1132-1149.
- Stephen, D. G., & Dixon, J. A. (2009). The self-organization of insight: Entropy and power laws in problem solving. *Journal of Problem Solving*, 2, 72-101.
- Stephen, D. G., Dixon, J. A., & Isenhour, R. W. (2009). Dynamics of representational change: Entropy, action, and cognition. *Journal of Experimental Psychology*, 35, 1811-1832.
- Stephen, D. G., & Mirman, D. (2010). Interactions dominate the dynamics of visual cognition. *Cognition*, 115, 154-165.
- Stephen, D. G., Mirman, D., Magnuson, J. S., & Dixon, J. A. (2009). Lévy-like diffusion in eye movements during spoken-language comprehension. *Physical Review E*, 79, 056114-1-6.
- Talanquer V. (2010). Exploring dominant types of explanations built by general chemistry students. *International Journal of Science Education*. 32, 23-93.
- Taraban, R., Box, C, Meyers, R., Pollard, R., & Bowen, C. W. (2007). Effects of active-learning experiences on achievement, attitudes, and behaviors in high school biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 960-979.
- The National Research Council (2011). *A framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting concepts, and Core Ideas*. The National Academic Press.
- Tenenbaum, H. R. (2009). 'You'd be good at that': Gender patterns in parents-child talk about courses. *Social Development*, 18, 447-463.
- Van Oers, P. (2010). *Kinder in (spiegel)beeld. Videoanalyse van bètatalenten van jonge kinderen*. Universiteit Utrecht: Fisme.

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN
SCHOOLPRESTATIES

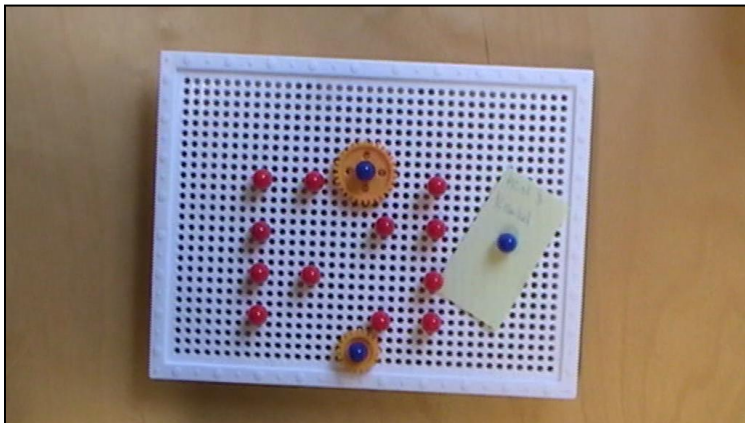
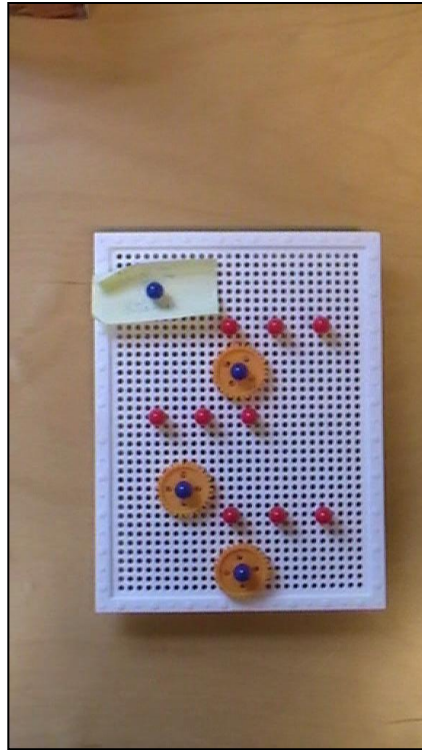
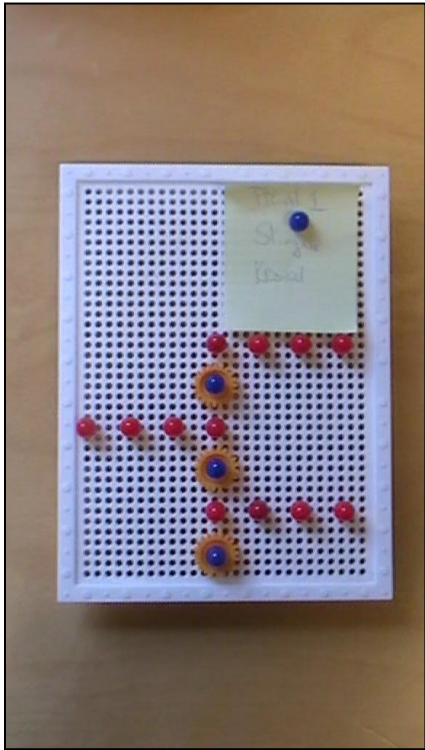
Van Orden, G. C., Holden, J. G., & Turvey, M. T. (2003). Self-organization of cognitive performance. *Journal of Experimental Psychology: General*, *132*, 331–350.

Vermeer, H. J., Boekaerts, M., & Seegers, G. (2000). Motivational and gender differences in sixth-grade students' mathematical problem-solving behavior. *Journal of Educational Psychology*, *92*, 308-315.

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

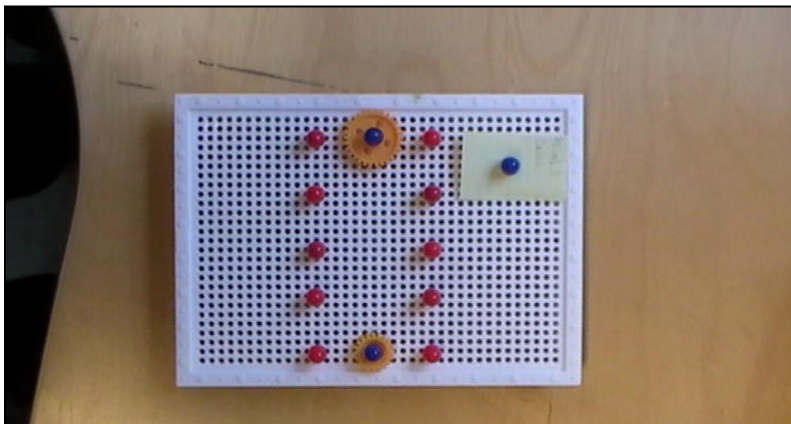
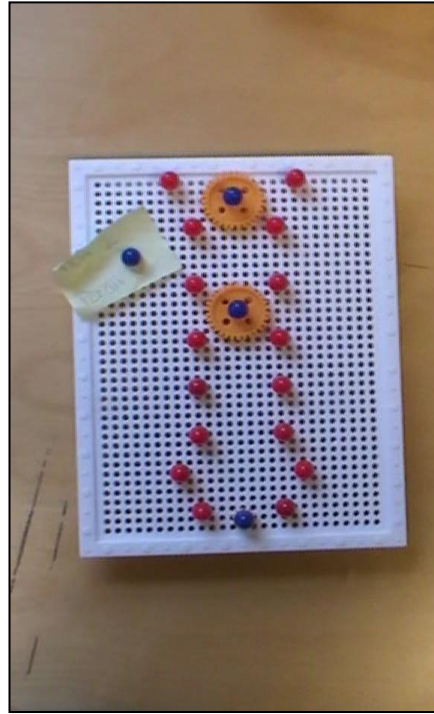
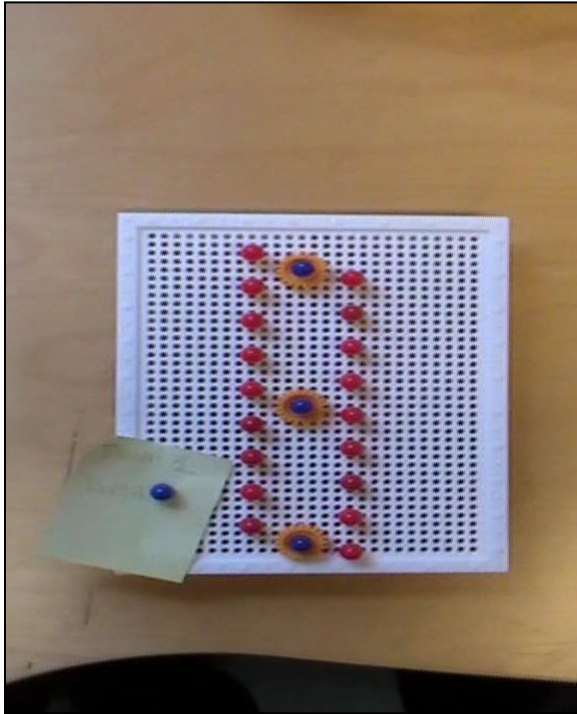
Bijlagen

Bijlage 1a Opzet van trial 1, 2 en 3 van de conditie kronkelbaan.



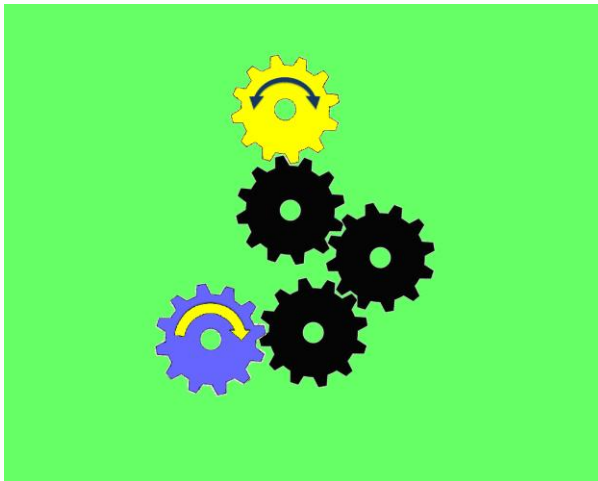
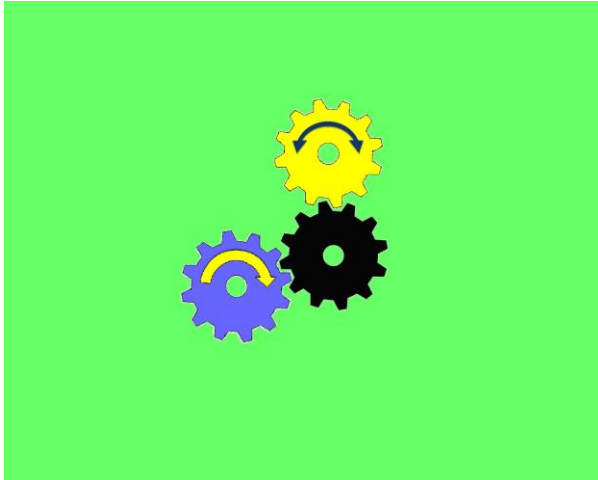
MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN
SCHOOLPRESTATIES

Bijlage 1b Opzet van trial 1, 2 en 3 van de conditie rechte baan.



MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

Bijlage 2 Voorbeelden van twee trials tijdens de computertaak.



MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

Bijlage 3 Codeschema voor codering van oogbewegingen Tandwieltaak.

Toegepaste strategie	
Force tracing	<p>Slingerbeweging (dichtbij het centrum van de tandwielen, om de tandwielen heen of tussen het centrum en de buitenste rand van het tandwiel).</p> <p>Er wordt naar ieder tandwiel gekeken.</p> <p><i>Minimaal 2 fixatiepunten (stipjes) per tandwiel.</i></p> <p>Kijken meestal eerst naar de verkeerde pijl in de target (hier gaan de ogen overheen om bij de juiste pijl te eindigen bij een goed antwoord).</p> <p>Kijken vaak tussen de tandwielen.</p>
Classificatie	<p>Er wordt naar ieder tandwiel gekeken.</p> <p>Minimaal 1 fixatiepunt per tandwiel.</p> <p>Meestal wordt er niet naar het midden, onder of boven het tandwiel gekeken. Dus over het algemeen aan de zijkanten van ieder tandwiel, binnen of buiten de tandwiel. Hierbij kijken ze vaak naar de linkerkant, dan bij het volgende tandwiel naar de rechterkant, dan weer links, etc.</p> <p>(Als ze het goed hebben) Ze kijken direct naar de juiste pijl in de target.</p> <p><i>De oogbewegingen gaan waarschijnlijk niet van het laatste tandwiel naar de eerste en terug.</i></p>

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

	<p>Ze kijken over het algemeen weinig tussen de tandwielen.</p>
Skipping strategie	<p>Ze kijken niet naar alle tandwielen.</p> <p>Bij het kijken naar de baan slaan ze telkens een tandwiel over.</p> <p>Bij een even getal stoppen ze vaak bij het een na laatste tandwiel (omdat ze de laatste niet kunnen overslaan). <i>Hierbij beginnen ze regelmatig weer bij het begin.</i></p> <p>Ze kijken meestal naar de pijl in de target, overeenkomstig met hun antwoord.</p> <p>Ze kijken over het algemeen weinig tussen de tandwielen.</p>
Pariteit	<p>Ze kijken naar ieder tandwiel.</p> <p>Dit gaat beduidend sneller dan force tracing (minder aantal samples).</p> <p>Minimaal een fixatie per tandwiel</p> <p>Ze kijken vaak naar het midden van ieder tandwiel.</p> <p><i>Ze blijven regelmatig even kijken naar het laatste tandwiel, hierbij kijken ze ook wel eens terug naar het eerste tandwiel (maar niet de tandwielen ertussen).</i></p> <p>Ze kijken over het algemeen weinig tussen de tandwielen.</p>

MECHANISTISCH REDENEREN IN RELATIE TOT STRATEGIEGEBRUIK EN SCHOOLPRESTATIES

Gokstrategie / andere strategie Iets wat lijkt op force tracing maar dan alleen aan één kant van de baan (dus ze volgen de tandwielen bijvoorbeeld alleen aan de linkerkant van de baan).

Het overslaan van meer dan 1 tandwiel, dus ze slaan bijvoorbeeld 2 tandwielen over.

Een hele snelle reactie zonder dat er veel gekeken is.

Alleen naar het eerste en het laatste tandwiel kijken.

Iets wat niet onder de eerste 4 strategieën kan vallen.

N.B. De cursieve stukken zijn de veranderingen in het codeboek.