

Rekenvaardigheden en het oplossen van natuurkundige taken

Het verschil in het verwerven van inzicht tussen elfjarige sterke en zwakke rekenaars

Masterthesis

Universiteit Utrecht

Masteropleiding Pedagogische Wetenschappen

Masterprogramma Orthopedagogiek

Iris van den Bemd, BSc. (3696340)

Astrid M. Zuidgeest, BSc. (3691268)

Begeleider: P. F. de Bordes, MSc

Tweede beoordelaar: Prof. M. Timmermeister, MA

Inleverdatum: 16 juni 2014

Voorwoord

Deze masterthesis is geschreven door Iris van den Bemd en Astrid Zuidgeest. De samenwerking is goed verlopen. Beide auteurs zijn verantwoordelijk voor de gehele thesis. Iris is hierbij vooral verantwoordelijk voor het uitwerken van de eerste onderzoeksvraag en het literatuuronderzoek in de inleiding dat bij deze hypothese hoort. Daarnaast heeft zij voor beantwoording van de eerste onderzoeksvraag de data geanalyseerd en geïnterpreteerd in de discussie en in verband gebracht met bestaand onderzoek. Astrid heeft zich met name gericht op de uitwerking van de tweede onderzoeksvraag, met het bijbehorende literatuuronderzoek, analyses en interpretaties van deze gegevens.

Het opzetten van de twee taken hebben de auteurs samen gedaan. Hiervoor zijn zij regelmatig op de betreffende school in Papendrecht geweest om te oefenen met de materialen. Het proces was een leerzame ervaring, waarin de auteurs tot nieuwe inzichten zijn gekomen.

Iris wil graag haar familie, vrienden en huisgenoten bedanken voor de steun tijdens het werken aan de thesis. Thomas: bedankt voor je steun, je begrip en de opbeurende woorden tijdens het schrijven van de thesis. Astrid wil ook graag haar familie en vrienden bedanken die haar steun hebben gegeven tijdens het harde werken.

De auteurs willen gezamenlijk hun masterscriptiedocent Pieter F. de Bordes hartelijk bedanken voor zijn hulp, tijd en waardevolle feedback op onze thesis. Ook willen zij hun medestudenten bedanken voor de waardevolle feedback die zij hebben gegeven tijdens het schrijven van de thesis. Daarnaast willen zij de basisschool in Papendrecht bedanken voor gastvrijheid en deelname aan het onderzoek. Tot slot bedanken Iris en Astrid elkaar voor de fijne samenwerking en de gezellige momenten tussen het harde werken door!

Samenvatting

De wiskundige vaardigheden van scholieren lijken verband te houden met de inzichtverwerving in natuurkundige taken. Daarnaast zijn zij in staat om opgedane inzichten omtrent natuurkundige principes in een bepaalde context toe te passen in een andere context. In deze pilotstudie is daarom het verband tussen het rekenniveau en inzichtverwerving bij natuurkundige taken onderzocht bij kinderen uit groep 7 van de basisschool ($N = 23$, $M_{leeftijd} = 11;02$ jaar). Er werd verwacht dat sterke rekenaars beter inzicht verwerven in de eerste taak en daarnaast beter in staat zijn de opgedane kennis toe te passen in de tweede taak (*transfer*). Aansluitend op de *Embodiment* theorie en de *dynamic skill theory* hebben kinderen gewerkt met een katrollentaak en een balanstaak. Aan de kinderen werd gevraagd naar de werking van het mechanisme. Om het inzichtniveau te bepalen, zijn de uitspraken van de kinderen gecodeerd aan de hand van inzichtschaal van Fischer (1980). Uit de resultaten blijkt dat sterke rekenaars gemiddeld hogere inzichtscores behalen dan zwakke rekenaars op beide taken. Het verschil is echter niet significant. Daarnaast blijkt dat sterke rekenaars geen betere transfer laten zien dan zwakke rekenaars. Huidig onderzoek toont dus geen verbanden aan tussen de rekenvaardigheid en inzicht in natuurkundige taken van kinderen van de basisschool, hetgeen is niet in overeenstemming met eerder uitgevoerd onderzoek. Wel lijkt de belichaamde ervaring een belangrijke rol te spelen in het opdoen van inzicht. Als dit verband verder duidelijk wordt, kan hierop worden ingespeeld door aan te sluiten bij de instructiebehoeften van kinderen bij natuur en techniek.

Kernwoorden: rekenvaardigheden, inzicht, transfer, techniek.

Abstract

The mathematical abilities of students seem to be linked to gaining insight into tasks relating to physical principles. These students are also able to apply the understanding of physics acquired in one context onto another. For this reason, this pilot study presents an examination of the relationship between arithmetic skill and the ability to gain insight into tasks dealing with physical laws. The subjects were children attending elementary school ($N = 23$, $M_{age} = 11;2$ years). It was expected that children who performed well in arithmetics would gain a relatively strong grasp on the first task and would be better able to apply the newly acquired knowledge to the second task (*transfer*). Building on the *Embodiment* theory and the *dynamic skill theory*, the children were subjected to a pulley task and a balancing task. They were asked to explain the workings of the mechanisms. To determine the level of insight, the utterances of the children were coded in accordance with Fischer's insight scale (1980). On both tasks, children with strong arithmetic skill were found to perform to higher average insight scores than children with weak arithmetic skill. However, the difference was not significant. The transfer also did not differ between the two groups. Therefore, current research does not show a relationship between elementary school children's arithmetic skill and their ability to gain insight into tasks that deal with physical principles. These results are not in agreement with previously conducted research. However, the interaction with materials does seem to play an important role in the process of gaining insight. If this relationship is further illuminated, it may be used to refine instructional practice in order to better meet the educational needs of technically-minded children.

Keywords: math skills, Skill theory, transfer, science education.

Rekenvaardigheden en het Inzicht in Natuurkundige Taken

ABN Amro meldt op 7 mei 2014 op haar website dat de positieve effecten van het economisch herstel in Nederland steeds duidelijker worden. Op korte termijn zullen een aantal sectoren hierdoor een tekort aan technisch geschoold personeel ervaren (UWV WERKbedrijf & Colo, 2011; ROVC, 2011). Een mogelijke oorzaak van dit tekort ligt in het basisonderwijs (Walma-van der Molen, 2007), omdat er minder aandacht besteed wordt aan techniek ten opzichte van rekenen en taal (Van Graft, 2009; Walma-van der Molen, 2007). Het is echter belangrijk dat techniek in het basisonderwijs wordt aangeboden (Eshach & Fried, 2005; Van Oers, 2010; Walma-van der Molen, 2007), omdat kinderen op die manier een zo breed mogelijk ontwikkelingsperspectief aangeboden krijgen (Van Graft, 2009). Talentenkracht is een samenwerkingsorganisatie die probeert te bewerkstelligen dat techniek in 2020 structureel wordt aangeboden in het basisonderwijs (Talentenkracht, 2008). Wanneer techniek wordt aangeboden kunnen kinderen een positievere houding ontwikkelen ten opzichte van techniek (Eshach & Fried, 2005; Walma-van der Molen, 2007). Dit kan eraan bijdragen dat zij eerder voor een techniekprofiel kiezen op de middelbare school en eerder voor een technische vervolgopleiding kiezen (Warps, 2001).

Huidig onderzoek is een pilotstudie voor Talentenkracht en er wordt voornamelijk gekeken naar de inzichtverwerving van kinderen in natuurkundige taken. Volgens de *Embodiment theorie* wordt inzicht gevormd vanuit een continue interactie tussen het lichaam en de omgeving (Anderson, 2003; Rambusch & Ziemke, 2005; Smith & Gasser, 2005; Wilson, 2002). De mogelijkheden die een kind heeft om iets te bereiken tijdens een taak, zijn hierbij afhankelijk van de capaciteiten van het kind en van wat de omgeving het kind aanbiedt (Smith & Gasser, 2005). De *dynamic skill theory* (Fischer, 1980) sluit hierop aan en stelt dat inzicht geen statisch gegeven is. Het gaat er niet om op welk niveau een kind nu *is*, maar op welk niveau het kind *presteert* in een bepaalde situatie (Fischer, 1980). Hierbij moet in beschouwing genomen worden dat er niet altijd sprake is van lineaire progressie in de inzichtverwerving (Yan & Fischer, 2002). Inzicht verloopt niet altijd van een laag naar een hoog niveau. Er kan sprake zijn van een tijdelijke terugval in het inzichtniveau tijdens het verrichten van een taak. Tijdens deze terugval worden nieuwe vaardigheden opgebouwd zodat kinderen uiteindelijk op een hoger inzichtniveau eindigen (Yan & Fischer, 2002).

Om de inzichtontwikkeling van kinderen in kaart te brengen, kan gebruik worden gemaakt van de inzichtschaal van Fischer (1980). Deze schaal is hiërarchisch opgebouwd (Meindertsma, Van Dijk, Steenbeek, & Van Geert, 2012; Van Oers, 2010). Dat betekent dat nieuwe inzichten voortbouwen op eerder verworven inzichten (Fischer & Bidell, 2006;

Meindertma et al., 2012). De inzichtschaal van Fischer (1980) is opgedeeld in tien niveaus en tijdens het verrichten van een taak kan een kind zich door deze niveaus heen verplaatsen (zie ook Bijlage A). Deze niveaus zijn over drie stadia verdeeld. De eerste vier niveaus behoren tot het sensomotorische stadium en deze ontwikkelt zich in de leeftijd van vier maanden tot twee jaar (Mascolo & Fischer, 1999). Kinderen zijn dan in staat om simpele, opzichzelfstaande handelingen uit te voeren van een taak (Fischer, 1980). Het representatieve stadium bevat de niveaus vier tot zeven en ontwikkelt zich in de leeftijd van twee tot tien jaar (Mascolo & Fischer, 1999). In dit stadium laat een kind zien of dat hij een kenmerk of meerdere kenmerken van een taak begrijpt (Fischer, 1980). Volgens Fischer en Mascolo (1999) wordt op tien- of elfjarige leeftijd het abstracte stadium bereikt. Kinderen kunnen dan abstract denken en handelen tijdens een taak. Zij kunnen bijvoorbeeld het onderliggende principe uitleggen en eventueel de verworven inzichten toepassen in een andere context.

Binnen elk stadium worden vier verschillende niveaus doorlopen. Op het eerste niveau begrijpen kinderen slechts één kenmerk van de taak (*single*). Op het tweede en tevens hogere inzichtniveau worden twee eigenschappen van een taak met elkaar in verband gebracht (*mapping*). Als meerdere eigenschappen van een kenmerk gekoppeld worden aan andere eigenschappen van een kenmerk is het derde niveau bereikt (*system*). Het laatste niveau van elk stadium is tevens het beginniveau van het volgende stadium. Hierin worden verschillende systemen aan elkaar gekoppeld. Meerdere eigenschappen van een taak worden gecombineerd tot een nieuw inzicht (Fischer, 1980). Het hoogst haalbare niveau is het vierde niveau *principles* van het abstracte stadium (Fischer & Bidell, 2006).

Om tot hogere inzichtniveaus te komen op het gebied van natuurkundige taken, lijkt wiskunde een belangrijke rol te spelen. Er zijn namelijk verbanden gevonden tussen de wiskundige vaardigheden en de technische/natuurkundige vaardigheden van een leerling (Nilsen, Angell, & Grønmo, 2013; Uhden, Karam, Pietrocola, & Pospiech, 2012). De rol van wiskunde in natuurkunde uit zich volgens Uhden en collega's (2012) op verschillende manieren. Zo dient het als een werktuig (pragmatisch perspectief) en stimuleert het logisch deductief redeneren (structurele functie). Daarnaast doet het dienst als taal (communicatieve functie), omdat wiskundige taal zoals formules en vergelijkingen gebruikt wordt om de eigenschappen en relaties van natuurkundige objecten en fenomenen te beschrijven (Harlen, 2010). Rekenvaardigheden kunnen als gevolg van deze verbanden nieuwe inzichten in het begrip van natuurkunde opleveren (Uhden et al., 2012).

Verschillende onderzoeken tonen aan dat de resultaten van wiskunde en natuurkunde met elkaar in verband staan vanaf de middelbare schooltijd (Hudson & McIntire, 1977; Meltzer, 2002; Sadler & Tai, 2001). Zo blijkt dat studenten met hogere niveaus van rekenvaardigheden, natuurkundige stof eerder begrepen en hogere cijfers haalden dan studenten met minder hoge rekenvaardigheidsniveaus. Dit was onafhankelijk van hun voorkennis over de natuurkundige problemen (Meltzer, 2002). Studenten die op de middelbare school een goede wiskundige voorbereiding hadden genoten, presteerden op gelijk of zelfs hoger niveau bij een inleidend natuurkunde vak op de universiteit ten opzichte van studenten die op school zowel wiskunde als natuurkunde hadden gevolgd (Sadler & Tai, 2001). In de Nederlandse situatie is te zien dat middelbare scholieren die een Natuur-profiel volgen, significant hogere wiskundescores behalen dan leerlingen met een Maatschappij-profiel (Korpershoek, Kuyper, Van der Werf, & Bosker, 2011).

Bovenstaande onderzoeken impliceren dat een goede beheersing van wiskunde bijdraagt aan het succesvol aanleren van natuurkundige principes (Harlen, 2010; Korpershoek et al., 2011; Meltzer, 2002; Sadler & Tai, 2001). Er is echter nog weinig bekend over het verband tussen rekenvaardigheid op de basisschool en natuurkundige vaardigheden (Korpershoek et al., 2011). In het huidige onderzoek zal daarom onderzocht worden of er een verband bestaat tussen rekenvaardigheden en inzicht in natuurkundige en technische taken bij kinderen van tien jaar. De hoofdvraag van het onderzoek luidt *“In hoeverre verschillen sterke en zwakke rekenaars van elf jaar oud in het verwerven van inzicht in natuurkundige taken?”* De eerste onderzoeksvraag hierbij is: *“In hoeverre zijn er verschillen tussen sterke en zwakke rekenaars in inzichtverwerving bij de eerste natuurkundige taak?”* Op basis van bovenstaand literatuuronderzoek wordt verwacht dat sterke rekenaars tijdens het maken van een eerste natuurkundige taak hoger scoren op de inzichtschaal van Fischer (1980) dan zwakke rekenaars.

Om de hoofdvraag en deelvragen te beantwoorden, wordt gebruik gemaakt van een katrollentaak en een balanstaak. Hiermee kan een inschatting gemaakt worden in hoeverre kinderen inzicht hebben in het natuurkundige onderliggende principe, namelijk de formule $kracht = afstand \times massa$. Bij een katrol houdt dit in dat er minder kracht geleverd hoeft te worden om een object op te tillen zodra het touw langer is, bijvoorbeeld wanneer er meerdere of grotere katrollen gebruikt worden. Bij de balanstaak houdt dit in dat een gewichtje dat aan het uiteinde van de arm hangt, ervoor zal zorgen dat de arm verder zal kantelen dan wanneer een gewichtje dichter bij het midden hangt. Middels analyses van de verbale uitingen van kinderen op de twee taken kan een inschatting gemaakt worden van het inzicht dat kinderen

hebben in het natuurkundige principe. Daarnaast kan gekeken worden in hoeverre er een verschil is in het toepassen van eerder opgedane kennis uit de eerste taak in een tweede taak met behulp van de inzichtschaal van Fischer (1980; zie Bijlage A).

Het toepassen van eerder opgedane kennis uit een taak in een daaropvolgende taak heet een *transfer*. Als volwassenen geen instructie krijgen over een taak komen zij zelf tot bepaalde inzichten en zij vormen zelf een representatie over het onderliggende principe. Een tweede vergelijkbare taak kan dan sneller en succesvoller worden volbracht (Dixon & Dohn, 2003). Dit geldt ook voor basisschoolkinderen (Dean & Kuhn, 2006). Door het ontdekkende leren vormen kinderen een theorie over de relationele structuur van een taak en door het maken van fouten stellen zij hun theorie bij (Dixon & Kelley, 2007). Kinderen die meer fouten maken tijdens het oplossen van een taak, geven meer uitvoerige verklaringen over het onderliggende principe en dit leidt tot nieuwe inzichten en oplossingsstrategieën (Hmelo-Silver, Duncan, & Chinn, 2007; Kapur, 2010). Een oplossingsstrategie is een procedure of set van procedures die worden gebruikt om een hoger doel of een taak te volbrengen (Lemaire & Reder, 1999). Deze oplossingsstrategie is gebaseerd op de abstracte relatie die onderliggend is aan de twee vergelijkbare taken (Dean & Kuhn, 2006). Jonge kinderen kunnen een eigen oplossingsstrategie sneller en consequenter toepassen in een vergelijkbare taak met andere contextuele factoren (Boncoddo, Dixon, & Kelley, 2010).

Op basis van het literatuuronderzoek wordt verwacht dat het mogelijk is dat kennis wordt ingezet in een tweede vergelijkbare taak, als een abstract idee kan worden gevormd vanuit de belichaamde ervaring over het onderliggende principe. Door ervaringen vanuit de eerste taak zouden kinderen op de tweede taak, volgens de dynamic skill theory, tot een hoger inzicht kunnen komen op de inzichtschaal van Fischer (1980). De volgende onderzoeksvraag wordt onderzocht: *“Is er een verschil tussen sterke en zwakke rekenaars in de mate waarin zij opgedane kennis van een eerste natuurkundige taak kunnen toepassen in een tweede natuurkundige taak?”* Verwacht wordt dat sterke rekenaars meer kennis vanuit de eerste taak toepassen in een tweede natuurkundige taak dan zwakke rekenaars.

Methode

Participanten

De ouders van 26 kinderen uit groep 7 van een basisschool in Papendrecht zijn gevraagd voor toestemming voor deelname van hun kind aan het onderzoek. De uiteindelijke steekproef bestond uit 23 kinderen ($M_{leeftijd} = 11;02$ jaar; $SD = 0;4$ jaar), waarvan 13 meisjes ($M_{leeftijd} = 11;0$ jaar; $SD = 0;3$ jaar) en 10 jongens ($M_{leeftijd} = 11;4$ jaar; $SD = 0;4$ jaar). In het onderzoek werd onderscheid gemaakt tussen sterke en zwakke rekenaars, deze werden

evenredig verdeeld over de condities A en B. Sterke rekenaars waren kinderen die op de vier laatst gemaakte Cito Rekentoetsen een A-score behaalden ($N = 10$, 4 meisjes). Om gelijke verdeling over de onderzoeksgroepen te bevorderen waren zwakke rekenaars in het huidige onderzoek kinderen met een B-score of lager ($N = 13$, 9 meisjes). Er is gestreefd naar een zo gelijk mogelijke verdeling van meisjes en jongens over de onderzoeksgroepen (zie Tabel 1).

Tabel 1

Beschrijvende Kenmerken van Aantal Sterke en Zwakke Rekenaars per Conditie

	Jongens		Meisjes		Totaal	
	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%
Sterke Rekenaars						
Conditie A	3	50	2	50	5	50
Conditie B	3	50	2	50	5	50
Zwakke Rekenaars						
Conditie A	2	50	4	30.8	6	46.2
Conditie B	2	50	5	69.2	7	53.8
Totaal	10	100	13	100	23	100

Notitie. Conditie A = katrollen-balans. Conditie B = balans-katrollen.

Materialen

Het onderzoek bestond uit twee achtereenvolgende taken, namelijk de katrollentaak en de balanstaak. In conditie A kregen participanten eerst de katrollentaak aangeboden en in conditie B werd eerst de balanstaak uitgevoerd. Twee camera's stonden zodanig opgesteld dat alle interacties tussen het kind en de materialen zichtbaar waren. Zowel de verbale als de non-verbale responsen werden opgenomen.

Katrollentaak. De katrollentaak bestond uit een ronde houten balk die ter hoogte van 165 centimeter was opgehangen aan twee touwen. Op deze manier kregen de kinderen de kans om in aanraking te komen met de katrollen. Door de constructies niet te hoog op te hangen werd ook de veiligheid gewaarborgd. Aan de balk hingen zeven katrolconstructies op een vaste volgorde. De katrolconstructies varieerden in het aantal van één tot vier katrollen (zie Bijlage B). Aan de uiteinden van de touwen die in de katrolconstructies werden gehangen, waren lusjes en haakjes gemaakt waaraan een musketon aan een elf kilo zware

emmer met zand was bevestigd. Om te voorkomen dat de balk te veel bewoog als een kind de emmer optilde, waren de uiteinden van de balk met touwen vastgemaakt aan de muur.

Balanstaak. De balanstaak bestond uit een ijzeren kruis met aan elke zijde een horizontale arm met daaraan vier haakjes. Aan de haakjes konden gewichtjes worden opgehangen. In totaal zijn twaalf items door de onderzoekers opgesteld, variërend in het aantal gewichtjes en in moeilijkheidsgraad (zie Bijlage C). De testleider hing aan de rechterkant gewichtjes en het kind hing het geheel in balans met het aantal losse gewichtjes dat de testleider aanbood.

Procedure

Het onderzoek vond plaats op vijf ochtenden in de hal van de benaderde school. De kinderen werden om de beurt uit de klas gehaald, waarna een korte kennismaking volgde. Per kind werd 30 minuten de tijd genomen voor de katrollentaak en de balanstaak. De kinderen kregen voorafgaand aan het onderzoek te horen dat zij twee spelletjes gingen spelen en dat werd gekeken welk spel hun voorkeur had. Beide taken werden in dezelfde hal afgenomen. Bij beide condities was de tweede taak afgedekt met lakens, zodat het kind deze taak niet van tevoren kon zien. De testleider nam de taken af bij het kind; de observator zorgde ervoor dat de camera's tijdig aan en op de juiste plaats stonden. De rol van observator en onderzoeker werd per kind afgewisseld. Voorafgaand aan beide taken werd aan het kind gevraagd of de materialen bekend voorkwamen en of het kind wist wat je met de materialen kon doen.

De katroltaak bevatte 7 items en de balanstaak 12 items. Per item werd aan het kind gevraagd hoe de constructie volgens hen werkt. Deze (non-)verbale responsen vormden per item het meetmoment. Als kinderen algemene begrippen noemden zoals 'moeilijk, makkelijk, leuk, simpel, lastig' enzovoorts, werd dit geconcretiseerd door middel van doorvragen: "*Wat bedoel je met ...? Kun je dat verder uitleggen?*"

Katrollentaak. Ieder kind kreeg de volgende instructie: "*Er hangen hier zeven constructies met katrollen. Jij gaat ze alle zeven uitproberen en daarna mag je ons vertellen op welke manier het optillen van de emmer het minste moeite kostte. Steeds nadat jij de emmer hebt opgetild gaan wij wat vragen aan je stellen.*"

Per item kreeg ieder kind ongeveer 90 seconden om uit te leggen hoe het mechanisme werkte. Deze tijdslimiet was niet bekend bij het kind. De observator gaf een seintje aan de testleider zodra de limiet werd overschreden, waarna doorgegaan werd met het volgende item. Vanaf 30 centimeter van de balk vandaan pakte het kind het touw van de katrolconstructie op één punt vast en liep hij naar achteren. Op deze manier kon voor het kind eerder inzichtelijk worden dat er meer touw nodig is zodra er meerdere katrollen in de constructie zitten en

zouden constructies beter met elkaar vergeleken kunnen worden. Voor enkele kinderen was het bij sommige van de constructies moeilijk om de emmer op te tillen, omdat het te zwaar was. In deze gevallen hoefde het kind de emmer niet verder op te tillen en werd doorgegaan met vragen hoe het mechanisme werkt. Na afloop van de taak werd aan het kind gevraagd welke constructie het minste moeite kostte en waarom. Deze informatie is niet meegenomen in de analyse.

Balanstaak. Ieder kind kreeg de volgende instructie: *“Dit is een balanstaak en je kunt hier gewichtjes aan de haakjes hangen. Wij gaan zo meteen een paar opdrachtjes doen, dan hangen wij gewichtjes aan de haakjes. Jij krijgt van ons een aantal gewichtjes en dan mag jij proberen om met die gewichtjes het geheel in balans te brengen, zodat hij recht blijft staan.”*

Per item is 90 seconden aangehouden voor het in balans brengen van het geheel en het uitleggen van het mechanisme. Als het kind het geheel niet in balans kreeg binnen de 90 seconden, zei de testleider: *“Deze was wel erg lastig hè, laten we doorgaan met het volgende. Op het einde kunnen wij deze misschien nog samen doen.”*, waarna verder gegaan werd met het volgende item. In deze gevallen werd geen score ingevuld op de inzichtschaal van Fischer (1980). Items die opnieuw zijn gedaan aan het eind van de balanstaak, zijn niet meegenomen in de analyse en dienden slechts voor de competentiebeleving van het kind.

Meetinstrumenten

Citotoets Rekenen-Wiskunde. Middels de Citotoets Rekenen-Wiskunde kan inzicht verkregen worden in hoeverre een leerling logisch kan redeneren op het gebied van getallen, verhoudingen, meetkunde en verbanden leggen (Cito, 2011). De betrouwbaarheid van de Citotoets Rekenen-Wiskunde wordt door de COTAN als goed beoordeeld (Evers, Lucassen, Sijtsma, & Meijer, 2010). De scores op de laatste vier afnames, namelijk eind groep 5, midden groep 6, eind groep 6 en midden groep 7 (E5, M6, E6 en M7), werden geraadpleegd om te bepalen of een leerling een sterke of zwakke rekenaar was.

Inzichtschaal van Fischer (1980). Om vast te stellen op welk inzichtniveau een kind redeneerde, werd gebruik gemaakt van de inzichtschaal van Fischer (1980) op basis van de dynamic skill theory. De verbale responsen van de participanten werden gescoord middels een door de onderzoekers opgesteld codeerboek (zie Bijlage A), gebaseerd op de inzichtschaal van Fischer (1980) en het Codeerboek Inzichten Longitudinale Project Talentkracht (Van der Steen, Steenbeek, & Van Geert, 2010). Het codeerboek is opgesteld op basis van uitspraken van proefpersonen, kinderen en volwassenen, waarmee de taken meerdere malen zijn geoefend. Van de 10 inzichtniveaus werden de niveaus 1 tot en met 8 gebruikt in huidig onderzoek (zie Tabel 2). Niveau 8, *abstracte mappings*, blijkt vooral gebruikt te worden door

kinderen tussen gemiddeld 14 en 16 jaar (Fischer & Bidell, 2006; Mascolo & Fischer, 1999), maar omdat kinderen soms toch uitspraken van een hoger niveau kunnen doen is niveau 8 meegenomen in het codeerschema.

Data-analyse

Huidig onderzoek was van kwalitatieve en exploratieve aard. Er werden geen variabelen gemanipuleerd en er werd geen gebruik gemaakt van een controlegroep (Robson, 2002). De eerste deelvraag werd beantwoord met behulp van de Mann-Whitney U test. Onderzocht werd of sterke rekenaars tijdens de eerste natuurkundige taak hoger scoorden op de inzichtschaal van Fischer (1980) dan zwakke rekenaars. Aan de voorwaarden, onafhankelijkheid van de participanten, een ten minste ordinaal meetniveau van de afhankelijke variabele en een gelijk verdeelde en verspreide verdeling van de data van beide groepen, werd voldaan.

De tweede deelvraag werd beantwoord met behulp van Wilcoxon Signed-ranktoets. Hiermee werd onderzocht of sterke rekenaars meer opgedane kennis uit de eerste taak toepasten in de tweede taak dan zwakke rekenaars. Aan de voorwaarden, onafhankelijkheid van participanten, minimaal ordinaal meetniveau van de afhankelijke variabele en symmetrie van de verdeling van verschillcores, werd voldaan.

Per participant is voor beide taken de hoogst behaalde score op de inzichtschaal van Fischer (1980) genoteerd in de variabelen 'Hoogste Score Balanstaak' en 'Hoogste Score Katrollentaak'. Daarnaast zijn per participant de meest voorkomende inzichtcores per taak ingevoerd in de variabelen 'Modus Balanstaak' en 'Modus Katrollentaak'. Er waren 5 missing items bij de balanstaak, deze zijn niet meegenomen in de analyse. In Tabel 2 en 3 zijn respectievelijk de gemiddelden van de hoogst behaalde scores en van de modi weergegeven per taak en per groep. Om de interbeoordelaarbetrouwbaarheid te bepalen werd 52,2% van de filmopnames opnieuw gecodeerd. Cohen's Kappa is .55, volgens Landis en Koch (1977) is dit een matige score ($K = .55, p = .001, N = 222$).

Resultaten

Inzicht in eerste natuurkundige taak

Hoogst behaalde inzichtniveau. Voor beide taken is de hoogst behaalde inzichtscore per kind geanalyseerd. Uit de Mann-Whitney U blijkt voor conditie A dat sterke rekenaars (gemiddelde rangordescore = 6.80, $n = 5$) bij de katrollentaak niet significant hoger scores op de inzichtschaal (Fischer, 1980) dan zwakke rekenaars (gemiddelde rangordescore = 5.33 $n = 6, U = 11.00, p = .54$). Ook voor conditie B is geen significant verschil gevonden tussen de inzichtcores op de balanstaak van sterke rekenaars (gemiddelde rangordescore = 7.10, $n = 5$)

en zwakke rekenaars (gemiddelde rangordescor = 6.07, $n = 7$, $U = 14.50$, $p = .64$).

Onafhankelijk van de taakvolgorde is te zien dat sterke rekenaars (gemiddelde rangordescor = 13.85, $n = 10$) niet significant hoger scoren op de katrollentaak dan zwakke rekenaars (gemiddelde rangordescor = 10.58, $n = 13$, $U = 46.00$, $p = .26$). Op de balanstaak scoren sterke rekenaars (gemiddelde rangordescor = 14.10, $n = 10$) onafhankelijk van de taakvolgorde eveneens niet significant hoger dan zwakke rekenaars (gemiddelde rangordescor = 10.38, $n = 13$, $U = 44.00$, $p = .21$).

Meest behaalde inzichtniveaus (modus). Als een Mann-Whitney U wordt uitgevoerd met de vaakst behaalde inzichtscore per taak (modus), is eveneens te zien dat sterke rekenaars in conditie A (gemiddelde rangordescor = 5.70, $n = 5$) geen significant hogere inzichtscores behalen dan zwakke rekenaars (gemiddelde rangordescor = 6.25, $n = 6$, $U = 13.50$, $p = .79$). Ook voor conditie B geldt dat er geen significant verschil is gevonden tussen scores van sterke rekenaars (gemiddelde rangordescor = 7.80, $n = 5$) en zwakke rekenaars (gemiddelde rangordescor = 5.57, $n = 7$, $U = 11.00$, $p = .34$). Onafhankelijk van taakvolgorde zijn eveneens geen significante verschillen gevonden tussen de modi op de katrollentaak van sterke rekenaars (gemiddelde rangordescor = 12.50, $n = 10$) en zwakke rekenaars (gemiddelde rangordescor = 11.62, $n = 13$, $U = 60.00$, $p = .78$). Tot slot zijn ook onafhankelijk van de taakvolgorde bij de modi van de balanstaak geen significante verschillen gevonden tussen sterke rekenaars (gemiddelde rangordescor = 14.50, $n = 10$) en zwakke rekenaars (gemiddelde rangordescor = 10.08, $n = 13$, $U = 40.00$, $p = .13$).

De transfer van inzicht

Hoogst behaalde inzichtniveau. Uit de resultaten van de Wilcoxon Signed-ranktoets, zoals weergegeven in Tabel 2, blijkt dat sterke rekenaars in conditie A op de tweede taak, de balanstaak, hoger scoren dan zwakke rekenaars. Dit verschil is echter niet significant ($z = -.38$; $T = .71$). Ook in conditie B scoren sterke rekenaars niet significant hoger op de tweede taak, de katrollentaak ($z = -1.30$; $T = .19$). Daarnaast is onderzocht of zwakke rekenaars significant hoger scoren op de tweede taak. De resultaten tonen aan dat zij hoger scoren op de tweede taak van conditie A, de balanstaak, maar dat dit verschil niet significant is ($z = -.82$; $T = .41$). In de conditie B scoren de zwakke rekenaars ook niet significant hoger op de tweede taak ($z = -.14$; $T = .89$).

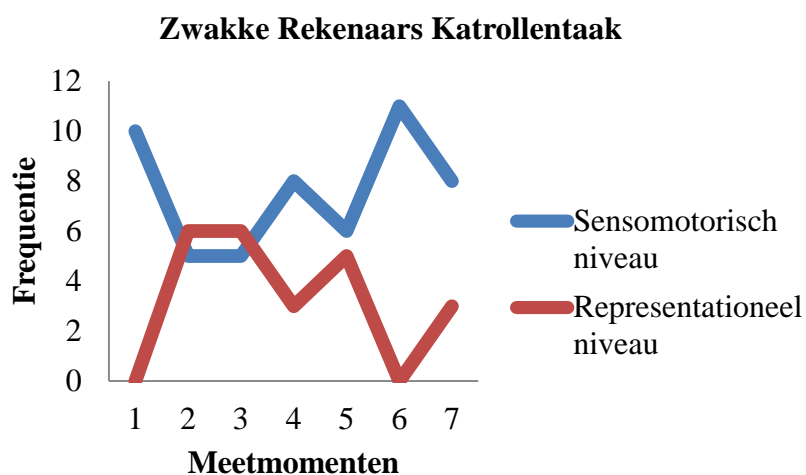
Meest behaalde inzichtniveau (modus). De Wilcoxon Signed-ranktoets is ook uitgevoerd met de vaakst behaalde score per participant op een taak (modus). Sterke rekenaars behalen vaker een hoge score op de balanstaak in de eerste conditie, dit is echter niet significant ($z = -1.09$; $T = .28$; modus SR = 5; modus ZR = 4). In de tweede conditie scoren

sterke rekenaars ook niet significant hoger op de tweede taak ($z = -.38$; $T = .71$). Bij sterke rekenaars is ook geen significant resultaat gevonden voor beide condities. Wel scoren zij op zowel conditie A ($z = -.18$; $T = .85$; modus SR = 5; modus ZR = 4) als op conditie B ($z = -.82$; $T = .41$; modus SR = 5; modus ZR = 4) vaker een hogere inzichtscore op taak twee dan op de eerste taak.

Kwalitatieve analyse

In Tabel 2 en 3 is te zien dat er over het algemeen hogere inzichtniveaus worden behaald bij de balanstaak dan bij de katrollentaak, ongeacht in welke conditie de kinderen zitten. De gemiddelde hoogst behaalde inzichtscore van sterke rekenaars is hoger op de katrollentaak, bij zwakke rekenaars ligt deze score echter hoger op de balanstaak (Tabel 2). Dit geldt ook voor de gemiddelde modus (Tabel 3). Tot slot is het verschil tussen de inzichtscores van sterke en zwakke rekenaars op de katrollentaak groter dan op de balanstaak.

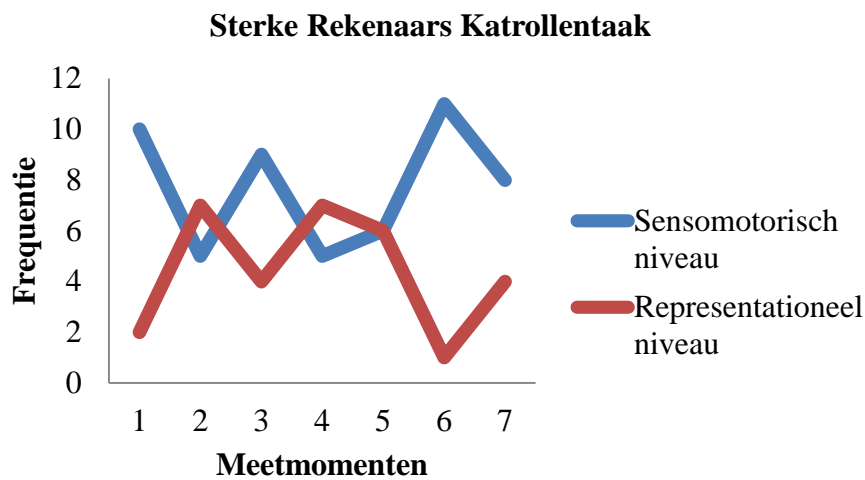
Uit Figuur 1 is af te lezen dat zwakke rekenaars op vrijwel alle meetmomenten van de katrollentaak meer inzichtscores behalen op het sensomotorische niveau, dus inzichtniveaus 1, 2 en 3. De meetmomenten 2 en 3 zijn hier uitzonderingen op; hierbij neemt het sensomotorisch niveau af en het representatieve niveau toe. Op de meetmomenten 1 en 6 zijn geen scores op representatief niveau behaald. Het abstracte niveau wordt door zwakke rekenaars niet behaald op de katrollentaak.



Figuur 1. Weergave behaalde inzichtniveaus per meetmoment op de katrollentaak van zwakke rekenaars, ongeacht conditie.

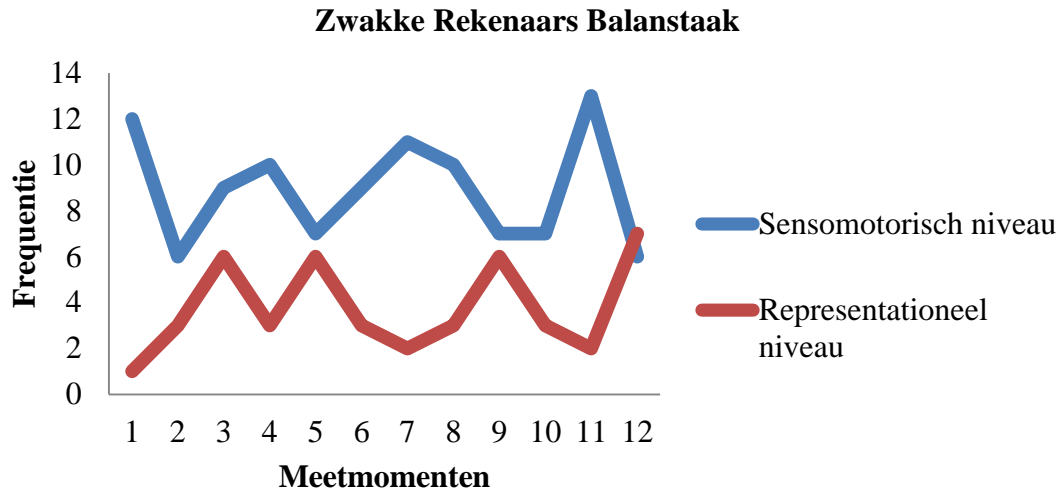
In Figuur 2 is zichtbaar dat de vorm van de grafiek van sterke rekenaars overeenkomt met Figuur 1. Er is een fluctuatie te zien tussen de twee niveaus over de meetmomenten heen, dit is vrijwel op alle meetmomenten zichtbaar in de grafiek. Als het sensomotorische niveau

toeneemt, neemt het representationele niveau af. Op de katrollentaak komt het abstracte niveau, inzichtniveaus 7 en 8, bij sterke rekenaars niet voor.



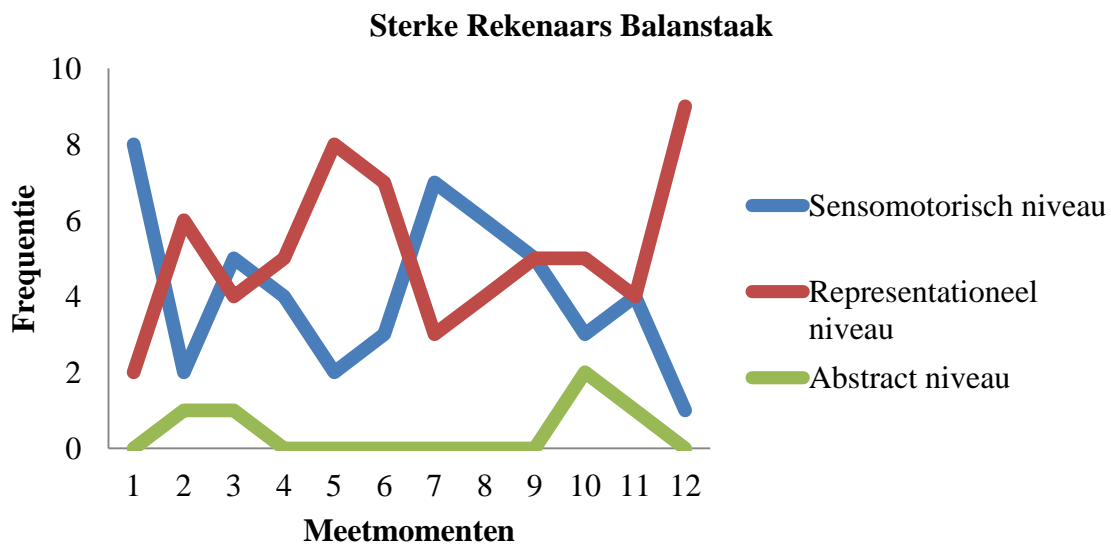
Figuur 2. Weergave behaalde inzichtniveaus per meetmoment op de katrollentaak van sterke rekenaars, ongeacht conditie.

Zwakke rekenaars behalen op de balanstaak meer inzichtscores in het sensomotorische niveau dan in het representationele niveau (Figuur 3). Inzichtscores in het abstracte niveau komen niet voor. Na meetmoment 5 vindt er een daling plaats van scores in het representationele niveau, waarbij het sensomotorische niveau toeneemt. Bij meetmoment 9 is er een piek in inzichtscores op het representationele niveau en neemt het aantal scores in het sensomotorische niveau af. Ondanks de toename van het representationele niveau, blijft het sensomotorische niveau het meest gebruikte niveau. Op meetmoment 10 en 11 neemt het sensomotorische niveau weer toe en neemt het representationele niveau af. Tot slot is te zien dat bij meetmoment 12 meer scores in het representationele niveau liggen dan bij meetmoment 1 en dat op beide momenten het sensomotorische niveau afneemt.



Figuur 3. Weergave behaalde inzichtniveaus per meetmoment op de balanstaak van zwakke rekenaars, ongeacht conditie.

Uit Figuur 4 blijkt dat sterke rekenaars de meeste inzichtscores op het representationele niveau behalen op de meetmomenten 2, 5, 10 en 12 en dat het sensomotorische niveau afneemt. Op de meetmomenten 3 en 7 van de balanstaak neemt het sensomotorische niveau toe, zodra het representationele niveau weer afneemt. Sterke rekenaars behalen meer scores in het representationele niveau dan in het sensomotorische niveau zodra inzichtscores in het abstracte niveau worden behaald. Zodra het abstracte niveau afneemt, neemt het representationele niveau weer toe (meetmoment 3 en 12).



Figuur 4. Weergave behaalde inzichtniveaus per meetmoment op de balanstaak van sterke rekenaars, ongeacht conditie.

Tabel 2

Hoogste en Gemiddelde Inzichtscores van Sterke en Zwakke Rekenaars op de Balanstaak en de Katrollentaak per Conditie en de Totale Groep

Variabele	Sterke Rekenaars			Zwakke Rekenaars			Totaal		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>
Katrollentaak									
Conditie A	5.00	.71	5	4.43	.98	6	4.67	.89	11
Conditie B	4.60	.55	5	4.17	1.47	7	4.73	1.27	12
Gemiddeld	4.57	.60	10	2.99	.57	13	3.14	.60	23
Balanstaak									
Conditie A	5.20	1.30	5	4.86	1.22	6	5.00	1.21	11
Conditie B	5.40	1.52	5	4.17	.75	7	4.73	1.27	12
Gemiddeld	3.73	.70	10	3.03	.48	13	3.34	.67	23

Notitie. Gemiddeld = gemiddelde inzichtscore. Conditie A = katrollen-balans. Conditie B = balans-katrollen.

Tabel 3

Modus en Gemiddelde Inzichtscores van Sterke en Zwakke Rekenaars op de Balanstaak en de Katrollentaak per Conditie en de Totale Groep

Variabele	Sterke Rekenaars			Zwakke Rekenaars			Totaal		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>
Katrollentaak									
Conditie A	3.00	1.23	5	3.33	1.75	6	3.18	1.47	11
Conditie B	3.80	.84	5	3.43	.79	7	3.58	.79	12
Gemiddeld	3.40	1.08	10	3.38	1.26	13	3.39	1.16	23
Balanstaak									
Conditie A	4.00	1.22	5	3.17	.75	6	3.55	1.04	11
Conditie B	3.60	.55	5	3.14	.69	7	3.33	.65	12
Gemiddeld	3.80	.92	10	3.17	.72	13	3.45	.86	23

Notitie. Gemiddeld = gemiddelde inzichtscores. Conditie A = Katrollen-balans. Conditie B = balans-katrollen.

Discussie

Onderzocht is in hoeverre sterke en zwakke rekenaars uit groep 7 van de basisschool verschillen in het verwerven van inzicht in natuurkundige taken. Hiervoor zijn twee natuurkundige taken met hetzelfde onderliggende principe afgenomen, namelijk een balanstaak en een katrollentaak. De uitspraken van de participanten over de werking van de mechanismes zijn gecodeerd middels een codeerschema, gebaseerd op de inzichtschaal van Fischer (1980).

Er zijn geen verschillen gevonden tussen de inzichtscores van sterke en zwakke rekenaars bij de eerste natuurkundige taak die zij moesten uitvoeren. Dit betekent in huidig onderzoek dat sterke rekenaars geen hogere inzichtniveaus behaalden op de inzichtschaal van Fischer (1980) dan zwakke rekenaars. De verwachting was echter dat sterke rekenaars significant hogere inzichtscores zouden behalen dan zwakke rekenaars. Uit de literatuur blijkt namelijk dat goede wiskundige vaardigheden kunnen leiden tot betere prestaties op natuurkunde (Nilsen et al., 2013; Uhden et al., 2012). Onderzoek heeft zich echter vooral gericht op middelbare scholieren en studenten die ervaring hadden met wiskunde (Hudson & McIntire, 1977; Meltzer, 2002; Sadler & Tai, 2001). Het is mogelijk dat leerlingen van de basisschool nog niet voldoende training en ervaring hebben gehad op het gebied van rekenen en wiskunde om bijvoorbeeld vaardigheden in abstract denken te stimuleren.

Uit de resultaten blijkt ook dat er geen sprake is van een transfer bij zowel sterke als zwakke rekenaars. Sterke en zwakke rekenaars passen kennis uit de eerste taak niet toe in andere natuurkundige taak met hetzelfde onderliggende principe. Er werd echter verwacht dat sterke rekenaars meer transfer zouden laten zien dan zwakke rekenaars, omdat rekenvaardigheden nieuwe inzichten in het begrip van natuurkunde kunnen opleveren (Uhden et al., 2012). Mogelijk is in het huidige onderzoek geen verband gevonden doordat de uitvoering en het uiterlijk van de taken verschillend waren, waardoor het onderliggende principe minder zichtbaar was. Dixon en Dohn (2003) hebben aangetoond dat de transfer van inzicht bij volwassenen kan plaatsvinden ondanks dat de taken er anders uitzien. Bij kinderen is dit mogelijk nog niet altijd van toepassing. Wanneer de materialen en de uitvoering van de taken meer overlap hebben, zou er sprake kunnen zijn van een transfer (Klahr & Chen, 2011).

Uit de kwalitatieve analyse blijkt dat zwakke rekenaars voornamelijk inzichtscores in het sensomotorische niveau behalen. Zij zijn dan in staat om opzichzelfstaande handelingen uit te voeren van een taak (Fischer, 1980). Zwakke rekenaars vormden tijdens de testafname nog geen abstracties over de taken, maar zij kunnen wel één of meerdere kenmerken van een taak begrijpen (representatieve stadium; Fischer, 1980). Sterke rekenaars lieten tijdens de

testafname meer een afwisseling zien tussen het sensomotorische en representatieve niveau. Zodra een van deze niveaus toenam, nam het andere af. Zij kwamen wel tot abstracte niveaus tijdens de testafname in het begin van de balanstak en aan het eind. Zodra het abstractieniveau afneemt, wordt meer beredeneerd in het representatieve niveau.

Dat sterke rekenaars geen hoger inzichtniveau behalen op de eerste taak en dat er geen transfer heeft plaatsgevonden bij sterke en zwakke rekenaars, wordt mogelijk verklaard doordat er te weinig tijd was om voldoende belichaamde ervaringen op te doen. Inzicht wordt namelijk gevormd door continue interactie tussen het lichaam en de omgeving (Anderson, 2003; Rambusch & Ziemke, 2005; Smith & Gasser, 2005; Wilson, 2002). Het is mogelijk dat de kinderen niet genoeg tijd hadden om een tijdelijke terugval van het inzichtniveau te herstellen tijdens het onderzoek (Yan & Fischer, 2002). Dit kan verklaren waarom de kinderen niet tot hogere inzichten zijn gekomen op de schaal van Fischer (1980).

Deze pilotstudie kent een aantal zwakke punten. Er is gebruik gemaakt van een kleine steekproef. De statistische power is daardoor kleiner, waardoor de kans kleiner is om een bestaand verschil waar te nemen (Field, 2009). Met de kwalitatieve analyse is zoveel mogelijk geprobeerd om een volledig mogelijk beeld te verkrijgen. Daarnaast is ervoor gekozen om per meetmoment het hoogst behaalde inzichtniveau en de meest behaalde inzichtniveau in de statistische analyse mee te nemen. Ondanks dat zoveel mogelijk geprobeerd is om datareductie tegen te gaan, blijft dit een zwak punt omdat niet alle behaalde inzichtscores meegenomen zijn in het onderzoek en er hierdoor geen volledig beeld van de resultaten is. Een ander zwak punt is de verdeling van de participanten in de onderzoeksgroepen. Alleen de kinderen met A-scores op de Cito Rekentoetsen zijn in huidig onderzoek als sterke rekenaars beschouwd. Kinderen met B-scores zijn in werkelijkheid echter geen zwakke rekenaars; zij scoren nog steeds boven het landelijk gemiddelde. Desondanks is voor deze verdeling gekozen om ervoor te zorgen dat de groepen ongeveer even groot zouden zijn.

Volgens Landis en Koch (1977) is de betrouwbaarheid van het door de onderzoekers opgestelde codeerschema, gebaseerd op de theorie van Fischer (1980), matig. Dit zou kunnen betekenen dat aan de (non-)verbale uitingen van kinderen verkeerde inzichtscores toegekend kunnen zijn en dat de resultaten anders zijn uitgevallen. Er zou een specifiek onderscheid tussen de niveaus en uitspraken moeten worden gemaakt in het codeerschema per taak, om de betrouwbaarheid van het codeerschema te verhogen. Dit kan gedaan worden door meer te oefenen met personen in de testfase, zodat meer afspraken gemaakt kunnen worden over veel voorkomende uitspraken. Het codeerschema zou hierdoor specifiek uitgewerkt kunnen worden om een hogere betrouwbaarheid te kunnen behalen.

Een ander zwak punt van het onderzoek is dat er geen rekening is gehouden met de verbale vaardigheden van kinderen. Zwakke verbale vaardigheden zouden van invloed kunnen zijn op de inzichtscores. Tot slot bleek tijdens het analyseren van de filmopnames dat niet altijd goed genoeg is doorgevraagd door de onderzoekers. Hierdoor hebben mogelijk niet alle kinderen de gelegenheid gehad om al hun gedachten te verwoorden. Een sterk punt van huidig onderzoek is dat de Cito score per kind gebaseerd is op de laatst afgenomen vier meetmomenten van de Citotoets Rekenen, zodat er een goed beeld was van de rekenvaardigheden van ieder kind.

Huidig onderzoek in combinatie met literatuuronderzoek indiceert dat er mogelijk een verband bestaat tussen rekenscores en inzichtverwerving in natuurkundige taken. In huidig onderzoek is dit verband echter niet aangetoond, mogelijk als gevolg van de genoemde zwakke punten. Indien blijkt dat de belichaamde ervaring leidt tot meer inzichtverwerving en tot een transfer van kennis kan hiermee rekening gehouden worden bij de implementatie van natuur en techniek in het basisonderwijs. Tijdens practicumlessen zouden kinderen actiever en zelfstandiger aan de slag moeten gaan met de materialen. Via deze werkwijze kunnen kinderen tot een abstracter begrip komen van natuurkundige principes en dit toepassen op andere taken met andere contexten (Alfieri, Brooks, Aldrich, & Tenenbaum, 2011).

In vervolgonderzoek moet rekening gehouden worden met de taalvaardigheid van kinderen. Dit kan van invloed zijn op de verwoording van inzicht en daarmee ook op het inzichtniveau op de schaal van Fischer (1980). Daarnaast heeft ieder kind een voorkeur voor een bepaalde leerstijl. Vervolgonderzoek zou kunnen onderzoeken of dit van invloed is op de inzichtverwerving om hiermee rekening te houden bij soortgelijke taakafnames. Tot slot zou in vervolgonderzoek meer tijd per kind beschikbaar moeten zijn. De kinderen kunnen dan bijvoorbeeld zelf katrolconstructies in elkaar zetten. Daarnaast is er meer tijd om inzicht in het natuurkundige principe te verwerven vanuit de belichaamde ervaring. Bovendien kunnen dan tijdelijke terugvallen van het inzichtniveau worden hersteld en kunnen kinderen een hogere score op de schaal van Fischer (1980) behalen.

Concluderend, in huidig onderzoek is naar voren gekomen dat sterke rekenaars niet meer inzicht verwerven dan zwakke rekenaars tijdens het maken van een natuurkundige taak en dat er geen sprake is van een transfer bij zowel zwakke als sterke rekenaars. Bij de implementatie van natuur en techniek moet het principe van de belichaamde ervaring in beschouwing genomen worden, want belichaamde ervaring werkt. Inzichten kunnen abstracte inzichten worden, wat de basis voor kennis vormt (Rambusch & Ziemke, 2005; Smith & Gasser, 2005). Meer inzicht verwerven? Ga zelf aan de slag!

Literatuur

- ABN Amro. (2014). In 2014 profiteren alle sectoren van economisch herstel [Persbericht]. Geraadpleegd op <http://www.abnamro.com/nl/newsroom/nieuws/in-2014-profiteren-alle-sectoren-van-economisch-herstel.html?LBCNS=0d0>
- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., & Tenenbaum, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology, 103*, 1-18. doi:10.1037/a0021017
- Anderson, M. L. (2003). Embodied Cognition: A field guide. *Artificial Intelligence, 149*, 91-130. doi:10.1016/S0004-3702(03)00054-7
- Boncoddo, R., Dixon, J. A., & Kelley, E. (2010). The emergence of a novel representation from action: Evidence from preschoolers. *Developmental Science, 13*, 370-377. doi:10.1111/j.1467-7687.2009.00905.x
- Cito (2011). *Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling*. Arnhem.
- Dean, D. D., & Kuhn, D. (2006). Direct instruction vs. discovery: The long view. *Science Education, 91*, 384-397. doi:10.1002/sce.20194
- Dixon, J. A., & Dohn, M. C. (2003). Redescription disembeds relations: Evidence from relational transfer and use in problem solving. *Memory and Cognition, 31*, 1082-1093. doi:10.3758/BF03196129
- Dixon, J. A., & Kelley, E. A. (2007). Theory revision and redescription: Complementary processes in knowledge acquisition. *Current Directions in Psychological Science, 16*, 111-115. doi:10.1111/j.1467-8721.2007.00486.x
- Eshach, H., & Fried, M. N. (2005). Should science be taught in early childhood? *Journal of Science Education and Technology, 14*, 315-36. doi:10.1007/s10956-005-7198-9
- Evers, A., Lucassen, W., Sijtsma, K., & Meijer, R. R. (2010). *COTAN beoordelingssysteem voor de kwaliteit van test*. Amsterdam: NIP/COTAN.
- Field, A. (2009). *Discovering Statistics Using SPSS*. London: Sage.
- Fischer, K. W. (1980). A theory of cognitive development: The control and construction of hierarchies of skills. *Psychological Review, 87*, 477-531. doi:10.1037/0033-295X.87.6.477
- Fischer, K. W., & Bidell, T. R. (2006). Dynamic development of action, thought, and emotion. In W. Damon & R.M. Lerner (Eds.), *Theoretical models of human development. Handbook of child psychology* (pp. 313-399). New York: Wiley.

- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: a response to Kirschner, Sweller and Clark (2006). *Educational psychologist*, *42*, 99–107. doi: 10.1080/00461520701263368
- Harlen, W. (2010). *Principles and big ideas of science education*. Hatfield: Association for Science Education. Verkregen van http://cmaste.ualberta.ca/en/Outreach/~/_/media/cmaste/Documents/Outreach/IANASInterAmericasInquiry/PrinciplesBigIdeasInSciEd.pdf
- Hudson, H. T., & McIntire, W. R. (1977). Correlations between mathematical skills and success in physics. *American Journal of Physics*, *45*, 470-471. doi:10.1119/1.10823
- Kapur, M. (2010). Productive failure in mathematical problem solving. *Instructional science*, *38*, 523-550. doi:10.1007/s11251-009-9093-x
- Klahr, D., & Chen, Z. (2011). Finding one's place in transfer place. *Child Development Perspectives*, *5*, 196-204. doi:10.1111/j.1750-8606.2011.00171.x
- Korpershoek, H., Kuyper, H., Van der Werf, G., & Bosker, R. (2011). Who succeeds in advanced mathematics and science courses? *British Educational Research Journal*, *37*, 357-380. doi:10.1080/01411921003671755
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, *33*, 159-174. doi:10.2307/2529310
- Lemaire, P., & Reder, L. (1999). What affects strategy selection in arithmetic? An example of parity and five effects on product verification. *Memory and Cognition*, *22*, 364–382. doi:10.3758/BF03211420
- Mascolo, M. F., & Fischer, K. W. (1999). The development of representation as the coordinating of component systems of action. In: I. E. Sigel, (Ed.), *Development of mental representation* (pp. 231-256). Londen: Lawrence Erlbaum Associates
- Meindersma, H. B., Van Dijk, M. W. G., Steenbeek, H. W., & Van Geert, P. L. C. (2012). Application of skill theory to compare scientific reasoning of young children in different tasks. *Netherlands Journal of Psychology*, *67*, 9-19.
- Meltzer, D. E. (2002). The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: A possible “hidden variable” in diagnostic pretest scores. *American Journal of Physics*, *70*, 1259-1268. doi:10.1119/1.1514215
- Nilsen, T., Angell, C., & Grønmo, L. S. (2013). Mathematical competencies and the role of mathematics in physics education: A trend analysis of TIMSS Advanced 1995 and 2008. *Acta Didactica Norge*, *7*, 1-21.

- Rambusch, J., & Ziemke, T. (2005). The role of Embodiment in situated learning. In *Proceedings of the 27th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 1803-1808).
- ROVC (2011). *Tekort technici te lijf: Van machinebeheerder naar machine-eigenaar*. Ede: ROVC.
- Sadler, P. M., & Tai, R. H. (2001). Success in introductory college physics: The role of high school preparation. *Science Education*, 85, 111-136. doi:10.1002/1098-237X(200103)85:2%3C111::AID-SCE20%3E3.0.CO;2-O
- Smith, L., & Gasser, M. (2005). The development of embodied cognition: Six lessons from babies. *Artificial Life*, 11, 13–29. doi:10.1162/1064546053278973
- Talentedkracht (2008). *Curious minds: An innovative interface between scientific disciplines and children's development*. Ongepubliceerd manuscript. Verkregen van www.platformbetatechniek.nl
- Uhdén, O., Karam, R., Pietrocola, M., & Pospiech, G. (2012). Modelling mathematical reasoning in physics education. *Science & Education*, 21, 485-506. doi:10.1007/s11191-011-9396-6
- UWV WERKbedrijf, & Colo (2011). *Arbeidsmarktschets Techniek: Vraag en aanbod in technische beroepen*. Verkregen van http://www.werk.nl/pucs/groups/public/documents/document/wdo_008617.pdf
- Van der Steen, S., Steenbeek, H., & Van Geert, P. (2010). *Codeerboek inzichten longitudinale project Talentedkracht*.
- Van Graft, M. (2009). *De concept-contextbenadering in het primair onderwijs: Een conceptueel kader voor natuur en techniek*. Stichting Leerplanontwikkeling. Verkregen van http://www.slo.nl/downloads/2009/Conceptueel_20kader_20Natuur_20en_20Techniek_20deel_20I.pdf/
- Van Oers, P. (2010). *Kinder in (spiegel)beeld. Videoanalyse van bètatalenten van jonge kinderen*. Universiteit Utrecht: Fisme.
- Walma-van der Molen, J. H. (2007). *De ontwikkeling van een attitude-instrument op het gebied van wetenschap en techniek voor leerlingen in het basisonderwijs*. Platform Bèta Techniek.
- Warps, J. H. J. M. (2001). *Kiezen voor bèta in het wetenschappelijk onderwijs: Een onderzoek naar de keuze voor zachte- en harde bètaopleidingen door vwo-wo doorstromers*. Nijmegen: IOWO.

Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin and Review*, 9, 625-636. doi:10.3758/BF03196322

Yan, Z., & Fischer, K. W. (2007). Pattern emergence and pattern transition in microdevelopmental variation: Evidence of complex dynamics of developmental processes. *Journal of Developmental Processes*, 2, 39-62.

Bijlage A

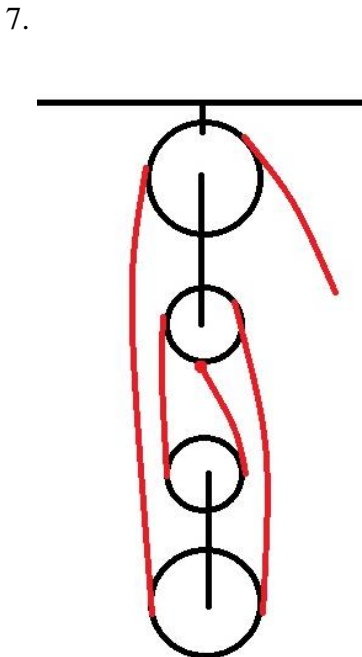
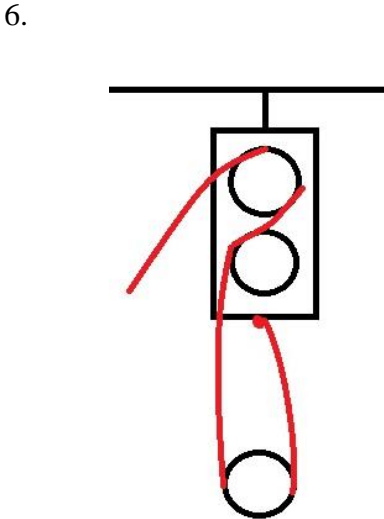
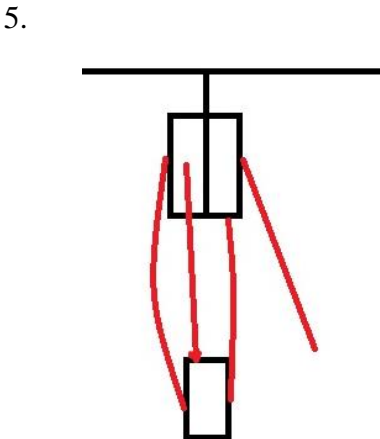
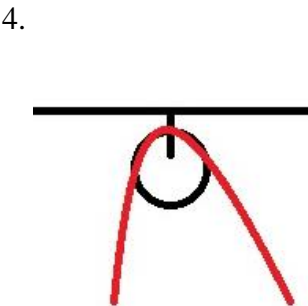
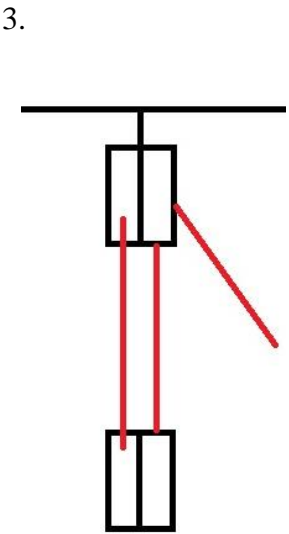
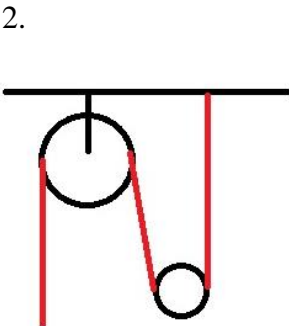
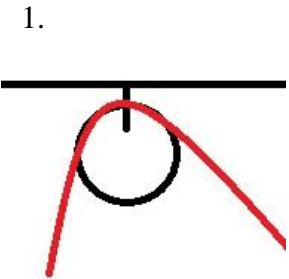
Codeerschema op Basis van de Inzichtschaal van Fischer (1980)

Levels	Tiers	Omschrijving	Voorbeelden katrollen	Voorbeelden balanstaak
Sensomotorische level	0	-	Onzin: iets wat je niet kunt scoren in termen van inzichtniveau	“Ik weet niet wat het is / Het is handig / iets onverstaanbaars / Heb ik net al verteld / Ik moet naar de WC / Dit is niet leuk / Deze was moeilijk / Waar de juf nu? / Ik wil niet meer / Hoe laat is het?”
	1	Sensomotorische actie	Een observeerbare eigenschap van de taak wordt beschreven, zonder verband te leggen met een ander object of eigenschap.	“Het is grijs / Het is van metaal / Het is een soort (ijzeren) kruis / Er zit een scharnierpunt/draaipunt / Er zitten haakjes aan / Het kan bewegen/draaien / De haakjes kunnen draaien/ Het lijkt op een weegschaal/ De gewichtjes zijn even zwaar/ De haakjes zijn grijs/zilver / Het moet in evenwicht zijn.”
	2	Sensomotorische mapping	Omschrijving van simpele <i>relaties</i> tussen objecten en taakeigenschappen zonder het noemen van een causaal verband.	“Er hangt een touw tussen <i>of</i> aan de katrollen / Deze katrol hangt vast en deze katrol hangt los (<i>in dezelfde constructie</i>) / De katrollen vormen samen een geheel / De katrollen hangen los van elkaar / Het is een wieltje waar een touw over loopt / met een katrol kun je iets zwaars optillen / Aan de ene kant van het touw kun je iets vastbinden en aan de andere kant kun je trekken/ De katrollen hangen boven elkaar/ Vergelijken van opstellingen.”
	3	Sensomotorisch systeem	Er wordt een causale relatie gelegd tussen onderdelen uit de taak.	“De katrol draait als je aan het touw trekt / Als ik aan het touw trek gaat het object omhoog / Je kunt iets zwaars optillen met een katrol / Het optillen gaat makkelijker omdat je omlaag kunt trekken in plaats van omhoog. / Als ik aan het touw trek gaat het wieltje die kant op draaien/ Kijken naar signaalwoorden als: als, dan, want, wanneer ... dan ...”

Representatieve level	4	Enkele representatie	Een omschrijving van een <i>koppeling</i> tussen meerdere causale relaties wordt gegeven, of een omschrijving van <i>niet-observeerbare</i> relaties.	“Als de ene (<i>katrol</i>) die kant op gaat, gaat de andere de andere kant op / Het is nu minder zwaar als ik aan het touw trek. / Als er meer katrollen zijn moet ik langer aan het touw trekken voor het object omhoog gaat./ Het zwaartst of lichter dan.../ Je moet meer kracht zetten en meer lopen.”	“Als aan allebei de kanten een gewichtje hangt, dan gaat hij geen kant op <i>of</i> dan hangt hij in balans/ Als het gewichtje verder van het midden afhangt, dan valt hij naar links/rechts en dan gaat de linker/rechterkant omhoog/ Kind denkt een gewichtje “in” op een bepaalde plek/ Hoe verder deze kant op hoe zwaarder die is.”
	5	Representatieve mapping	Er wordt een omschrijving gegeven van een koppeling tussen meerdere <i>niet-observeerbare</i> causale relaties.	“Het kost nu minder kracht / Het optillen duurt langer met meer katrollen / Het trekken gaat makkelijker met meer katrollen / Hoe meer katrollen, hoe lichter het gewicht / Meerdere katrollen vormen een takel. / Als je twee katrollen combineert is er nog minder kracht nodig om het object op te tillen.”	“Als een gewichtje verder weg hangt van het midden, gaat de arm verder naar beneden / als er meer gewichtjes verder aan deze kant hangen <i>of</i> verder van het middelpunt hangen, dan kantelt die kant/ Als dit gewichtje hierheen verplaatst wordt dan blijft hij recht.”
	6	Representatieve systeem	Omschrijving waaruit blijkt dat het kind alle relevante relaties tussen elementen die een rol spelen binnen de taak (het gehele mechanisme) begrijpt.	“Hoe meer <i>en/of</i> hoe groter de katrollen, hoe minder (spier)kracht het kost om iets zwaars op te tillen/ Het gewicht wordt verdeeld over de touwen/draden.”	“Deze gewichtjes hangen verder van het middelpunt af, waardoor zij zwaarder zijn dan het ene gewichtje wat dichterbij het middelpunt hangt/ De twee gewichtjes aan de linkerkant wegen samen meer dan de rechterkant, en zij hangen verder van het middelpunt, daarom valt hij naar links/ Hij is zwaarder want hij is verder weg van het middelpunt <i>of</i> afstand is groter.”
Abstracte Level	7	Enkele abstracties	Begrip van wetmatigheid van de taak: er is een abstractiestap in het antwoord verwerkt waarmee de werking van het mechanisme in het geheel omschreven kan worden.	“Het kost minder kracht om iets zwaars op te tillen als er meerdere/grotere katrollen zijn, omdat de afstand van het touw dan langer is / De katrollen veranderen de richting van het touw / De katrollen veranderen de richting van de kracht	“De som/uitkomst (gewicht x afstand) van de rechterkant is groter dan de linkerkant, dus valt de arm naar rechts/ Het gewicht vermenigvuldig ik met de afstand per kant en dan kijk ik welke uitkomst het hoogst is. De kant met de hoogste uitkomst valt naar beneden. De kant met de minst hoge uitkomst schiet omhoog/ Kind rekent met getallen/telt/deelt. ”
	8	Abstracte mappings	Er worden twee verschillende elementen geabstraheerd en hiertussen wordt het verband gelegd.		

Bijlage B

Items Katrollentaak



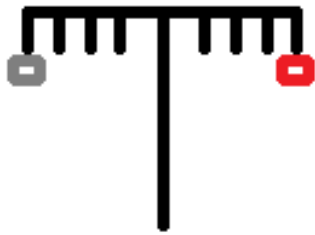


Figuur 5. Katrollentaak op Locatie.

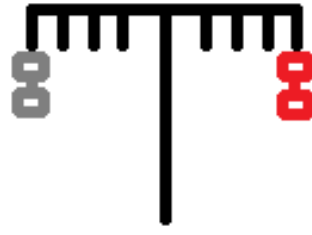
Bijlage C

Items Balanstaak

1.



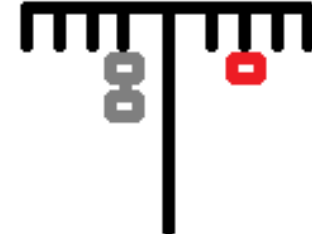
7.



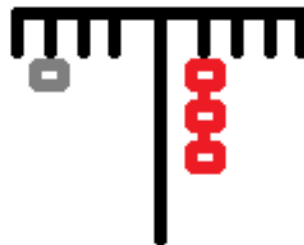
2.



8.



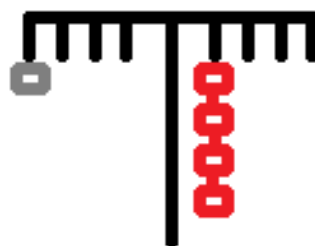
3.



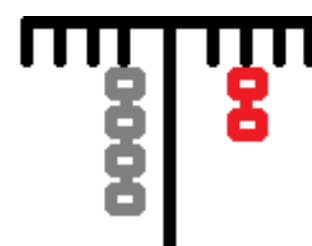
9.



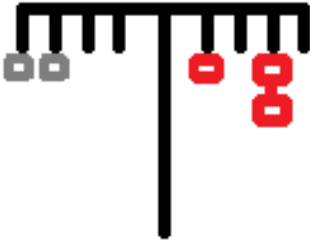
4.



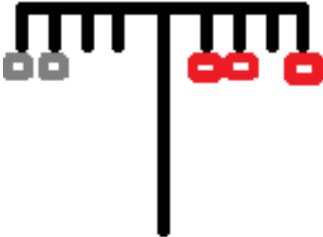
10.



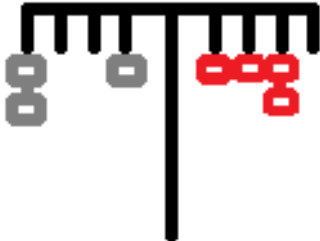
5.



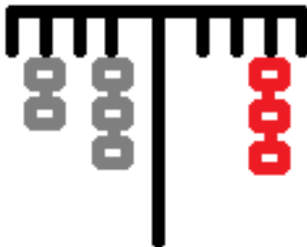
11.



6.



12.



Figuur 6. Balanstaak op Locatie.