

Masterscriptie  
Universiteit Utrecht  
Masteropleiding Pedagogische Wetenschappen  
Masterprogramma Orthopedagogiek

**Ontwikkeling in Oplossingsstrategieën en Metafoorgebruik bij Kinderen**

Namen:

R. A. Betten (3641139)

M. G. M. van der Donk (3660923)

Begeleider: MSc P. F. de Bordes

Tweede beoordelaar: Prof. Dr. P. P. M. Leseman

Datum: 16 juni 2014

### Voorwoord

Voor u ligt onze masterthesis voor de masteropleiding Orthopedagogiek aan de Universiteit Utrecht. Een opleiding die wij met veel interesse hebben gevolgd. Bij de start van de thesis zijn er goede afspraken gemaakt over de samenwerking en taakverdeling van de verschillende onderdelen van de thesis. In eerste instantie was M. G. R. van der Donk verantwoordelijk voor het maatschappelijk kader en de literatuurstudie voor de eerste onderzoeksvraag over metafoorgebruik. Voor de eerste uitwerking van de onderzoeksvraag over strategiegebruik was R. A. Betten verantwoordelijk. Tijdens het schrijfproces van de thesis is de samenwerking steeds intensiever geworden. Beiden hebben hierdoor aan beiden vraagstellingen gewerkt en alle bevindingen in samenwerking herschreven. Dit geldt ook voor de methodesectie, de conclusie en discussie. De besluitvorming tot de toetsing van de data is in overleg gegaan met de onderzoekers M.W. Böke, K.F. de Bruin, P.F. de Bordes en professor P.P.M Leseman. De toetsen zijn veelal in samenwerking tussen R. A. Betten en M. G. R. van der Donk uitgevoerd en gerapporteerd.

Onze dank gaat uit naar MSc P. F. de Bordes. Allereerst voor zijn enthousiasme en inzet om ons te begeleiden en zijn duidelijke en volledige feedback. Daarnaast ook voor zijn motiverende bijdrage wanneer er problemen waren tijdens het schrijven van de masterthesis. Ook gaat veel dank uit naar Prof. Dr. P. P. M. Leseman voor zijn tijd en hulp met het uitvoeren van de analyse. Verder bedanken wij de onderzoekers M. W. Böke en K. F. de Bruin voor de prettige samenwerking bij het ontwikkelen van het codeboek. De samenwerking tussen de onderzoekers is plezierig verlopen, doordat zij in staat waren elkaar te motiveren en aan te vullen.

*Reian Betten & Manon van der Donk*

### Samenvatting

Het huidige onderzoek heeft zich gericht op de ontwikkeling van technisch inzicht bij kinderen door het gebruik van oplossingsstrategieën en belichaamde metaforen. Uit eerder onderzoek is gebleken dat kinderen in staat waren steeds abstractere oplossingsstrategieën te gebruiken. Ook veranderen kinderen spontaan naar steeds specifiekere taalgebruik als zij meer ervaring met een probleem hadden. Er werd daarom verwacht dat kinderen tijdens een tandwieltaak een ontwikkeling doormaken in strategiegebruik van een sensomotorisch niveau naar een abstract niveau en in metafoorgebruik van statisch-generieke metaforen naar dynamisch-specifieke metaforen. Tussen strategiegebruik en metafoorgebruik werd een positief verband verwacht. Bij deze tandwieltaken moesten kinderen aangeven welke richting het laatste tandwiel van een tandwielbaan opdraaide, gegeven de richting van het eerste tandwiel. Kinderen ( $N = 37$ ,  $M_{leeftijd} = 129,1$  maanden,  $SD = 5,1$  maanden) voerden een computertaak uit, met 30 tandwielbanen. Na drie opgaven werd aan de kinderen gevraagd hoe zij de tandwieltaken hadden opgelost. Gedurende de taak gebruikten kinderen steeds abstractere oplossingsstrategieën. Daarnaast was een niet significante ontwikkeling waarneembaar waarbij kinderen steeds meer dynamisch-specifieke metaforen gebruikten. Er was geen verband waarneembaar tussen strategiegebruik en het gebruik van belichaamde metaforen. Uit deze studie kon geconcludeerd worden dat zowel strategiegebruik als metafoorgebruik betrouwbaar kunnen worden gemeten. Ook is gebleken dat kinderen zonder instructie in staat zijn om tot een efficiëntere oplossingsstrategie te komen. Daarnaast kan geconcludeerd worden dat kinderen steeds meer dynamisch-specifieke metaforen gebruikten zonder instructie.

*Kernwoorden:* technisch inzicht; belichaamde metaforen; strategiegebruik; Wetenschap & Techniek

### Abstract

Current research focused on the development of technical insight by children through the use of solution strategies and embodied metaphors. Previous research showed an increase in the capability of children to using abstract solution strategies. Children also spontaneously used more specific language when they had experience with a problem. Therefore it was expected that, during an experiment concerning gears, the children would face a development in strategy use from a sensorimotor to an abstract level and in metaphor use from static-generic metaphors to dynamic-specific metaphors. A positive correlation was expected between strategy use and use of metaphors. In the tasks the children had to indicate in which direction the last gear of a geartrack turned given the direction of the first one. Children ( $N=37$ ,  $A_{age} = 10,8$ ) carried out a computer assignment that existed out of 30 assignments concerning gears. After three tasks the children were asked how they had solved the problems. Throughout the task children gradually used more abstract strategies. Furthermore there wasn't a significant development in the use of dynamic-specific metaphors. There was no connection between strategy use and the use of embodied metaphors. The conclusion of this study is that both the use of solution strategies and embodied metaphors can be accurately measured. Additionally it shows that without being given instructions children are able to form an efficient solution strategy and the study also indicates that children are using more dynamic-specific metaphors without receiving instructions.

*Keywords:* technical insight; embodied metaphors; strategy use; Science & Technique

In Nederland stijgt het tekort aan technici tot 155.000 in 2016 (Bouma & Schut, 2013). Om dit tekort tegen te gaan is door vertegenwoordigers van werkgevers, werknemers, het kabinet en de lokale overheden het Techniekpact ondertekend (<http://techniekpact.nl>). Een belangrijke afspraak uit dit pact is het promoten van Wetenschap en Techniek in het basisonderwijs, zodat meer kinderen kiezen voor een technische opleiding.

Voor het implementeren van technische educatie in het basisonderwijs is onderzoek nodig dat wordt verricht door het Talentenkracht Consortium. Het Talentenkracht Consortium heeft als doel het verkrijgen van inzicht in getalenteerd wetenschappelijk en technisch denken bij kinderen (<http://talentenkracht.nl>). Onderzoek heeft uitgewezen dat vroegtijdig wetenschap- en techniekonderwijs leidt tot betere prestaties en meer interesse in techniek vergeleken met leerlingen die later starten met dit type onderwijs (Barnett & Belfield, 2006; Eshach & Fried, 2005).

Deze studie richt zich op de vraag hoe kinderen zich ontwikkelen tijdens het actief bezig zijn met technische opdrachten. Dit wordt onderzocht met behulp van een taak met mechanische aandrijving van tandwielen. Mechanica is de tak van natuurkunde die zich bezighoudt met het evenwicht en de beweging van levenloze lichamen, hierbij ligt de nadruk op oorzaak-gevolg verbanden (Van Dale, 2014). Bij de taak krijgen de participanten stilstaande, aaneengeschakelde tandwielen aangeboden. De participanten moeten de draairichting van het laatste tandwiel aangeven, gegeven de draairichting van het eerste tandwiel.

Sommige leerlingen zijn succesvoller dan anderen in het leren van wetenschap en techniek. Dit kan komen door verschillen in het aanbod van de lesstof en de manier waarop kinderen leren (Chin & Brown, 2000). De manier van aanbieden is een belangrijke factor in het leren begrijpen van abstracte technische concepten, zoals het overbrengen van krachten met tandwielen (Martin & Schwartz, 2005; Metz, 1991; Nemirovsky, Rasmussen, Sweeney, & Wawro, 2011; Osborne & Wittrock, 1983; 1985). Kinderen die fysiek bezig zijn met materialen leren door de interactie met de natuurlijke en fysieke wereld. Op deze manier begrijpen zij de lesstof beter dan wanneer dezelfde lesstof op foto's of in tekstvorm wordt aangeboden zoals in lesboeken (Martin & Schwartz, 2005).

Een theorie die zich richt op interactie tussen de natuurlijke en de fysieke wereld is de *embodiment theorie* (Anderson, 2003; Gallese & Lakoff, 2005; Núñez, 2011). De *embodiment theorie* stelt dat de mate waarin een kind kennis zal

ontwikkelen van abstracte begrippen afhankelijk is van de belichaamde ervaring, ook wel sensomotorische ervaring genoemd (Niebert, Marsch, Treagust, 2012; Smith & Gasser, 2005, Gallese & Lakoff, 2005). Abstracte wetenschappelijke begrippen worden namelijk niet direct begrepen door kinderen (Niebert et al., 2012, Gallese & Lakoff, 2005). Het is dus niet verwonderlijk dat er een groeiende interesse is ontstaan in het toepassen van de belichaamde theorie in het wetenschap- en techniekonderwijs, aangezien het toepassen van embodiment bijdraagt aan de kennisontwikkeling van kinderen (Anderson, 2003; Barsalou, 2008; Calvo & Gomila, 2008; Lakoff & Núñez, 2000; Pfeifer & Scheier, 1999; Varela, Thompson, & Rosch, 1991).

Bij tandwieltaken ontwikkelen mensen een oplossingsstrategie met behulp van belichaamde ervaring (Alibali, Spencer, & Knox, 2011; Dixon & Bangert, 2002, 2004; Stephen, Dixon, & Isenhower, 2009). In het onderzoek van Dixon en Bangert (2002) moesten kinderen van verschillende leeftijden aangeven welke richting het laatste tandwiel van een tandwielbaan draaide, gegeven de richting van het eerste tandwiel. Aangezien de aangeboden tandwielen niet draaiden beeldden veel participanten zich in dat deze wel draaiden (Stephen & Dixon, 2009). Ze maakten hiervoor gebruik van belichaamde kennis over het overbrengen van krachten, waarbij de tanden van de tandwielen elkaar voortduwden en trokken (Stephen & Dixon, 2009). Voor het inbeelden hiervan maken mensen gebruik van embodiment (Niebert et al., 2012).

Onderzoek heeft laten zien dat mensen bij het ontwikkelen van een oplossingsstrategie meestal gebruikmaken van embodiment (Alibali et al., 2011; Dixon & Bangert, 2002). De vaak als eerst gebruikte strategie is sensomotorisch van aard en het gebruik hiervan neemt af naarmate er meer ervaring is met een taak (Dixon & Bangert, 2002). Veel participanten beginnen bij het oplossen van tandwieltaken vaak met de oplossingsstrategie *force tracing* (Stephen & Dixon, 2009). Hierbij wordt de tandwielbaan met een slingerbeweging gevolgd met hun handen, ogen en hoofd (Dixon & Bangert, 2002; Stephen & Dixon, 2009). De draairichting alterneert per tandwiel. Kinderen ontdekten deze strategie relatief snel. Het gebruik van deze oplossingsstrategie zorgde ervoor dat de participanten weinig fouten maakten (Dixon & Bangert, 2002). Deze sensomotorische manier van oplossen hangt nauw samen met directe ervaringen met de omgeving (Dixon & Bangert, 2002; Stephen & Dixon, 2009). Een sensomotorische strategie vormt de basis van hieruit

voortvloeiende oplossingsstrategieën die efficiënter en abstracter van aard zijn (Dixon & Bangert, 2002; Dixon & Kelly, 2007).

De strategie die volgt in de ontwikkeling is *classificatie* (Dixon & Bangert, 2002). Deze strategie is qua oplossingstijd efficiënter dan force tracing. Bij deze strategie geven participanten per tandwiel aan of het tandwiel linksom of rechtsom draait. Er wordt hierbij niet langer om de tandwielen heen bewogen, maar er wordt naar de zijkanten van de tandwielen gekeken (Dixon & Bangert, 2002; Stephen & Dixon, 2009). Er is hier dus sprake van minder fysieke ondersteuning dan bij force tracing.

De op classificatie volgende strategie, *skipping strategie*, is een meer abstracte manier van oplossen (Dixon & Bangert, 2002). Op basis van de kennis die participanten hebben over de draairichting van het eerste tandwiel slaan zij steeds een tandwiel over. Zij weten namelijk dat het eerste en het derde tandwiel dezelfde draairichting hebben. Met deze kennis wordt de draairichting van het laatste tandwiel bepaald. Bij deze strategie maken participanten gebruik van kennis die zij eerder hebben opgedaan zonder veel fysieke ondersteuning nodig te hebben.

De meest abstracte en meest efficiënte strategie is het toepassen van de *pariteitregel* (Dixon & Bangert, 2002). Hierbij wordt het aantal tandwielen in een tandwielbaan geteld. Bij een even aantal tandwielen is de draairichting van het eerste en laatste tandwiel verschillend, bij een oneven aantal draaien deze in dezelfde richting. Bij deze strategie wordt er nog nauwelijks gebruik gemaakt van een sensomotorische oplossingsstrategie. Het gebruiken van een meer abstracte oplossingsstrategie wordt bereikt door het continu reflecteren op het eigen handelen (Dixon & Bangert, 2002; Dixon & Dohn, 2003). Hierbij kan teruggevallen worden op een eerder aangeleerde maar minder efficiënte strategie, zoals force tracing. De basis van de verschillende oplossingsstrategieën is embodiment waarop volgende strategieën voortbouwen. De strategieën worden steeds abstracter van aard. In deze studie zal geanalyseerd worden of er in de verbale uitingen van kinderen een ontwikkeling is waar te nemen in strategiegebruik. Verwacht wordt dat het strategiegebruik zich ontwikkelt van een sensomotorisch strategiegebruik naar een abstract strategiegebruik.

Kinderen kunnen hun oplossingsstrategie verbaal toelichten met behulp van *belichaamde metaforen*. Alle kennis die men heeft van mechanica en wiskunde is namelijk gebaseerd op dit soort metaforen (Williams, 2012). Hiermee worden

beschrijvingen bedoeld gebaseerd op sensomotorische ervaringen. Kortom, kinderen leggen begrippen uit op basis van sensomotorische ervaringen (Antle, Droumeva, & Corness, 2008; Lakoff & Johnson, 1980; Trudeau & Dixon, 2007). Een voorbeeld van een belichaamde metafoor bij bewegende objecten is ‘*duwen*’ of ‘*geduwd*’ worden. Belichaamde metaforen die benoemd kunnen worden bij tandwieltaken zijn ‘*tegen elkaar duwen van tandwielen*’ en ‘*de tandwielen lopen*’.

De belichaamde metaforen kunnen op verschillende manieren verbaal worden geuit. Zo kan bij kinderen onderscheid worden gemaakt tussen informeel en formeel taalgebruik (Snow, Cancini, Gonzalez, & Shriberg, 1989). Bij het uitleggen van mechanica gebruiken kinderen vaak spontaan informeel taalgebruik (Schleppegrell, 2002). Hierbij worden woorden gebruikt die verwijzen naar zichtbare objecten, bijvoorbeeld het woord ‘*dingen*’ (Chin & Brown, 2000; Schleppegrell, 2002). Deze informele vorm van taalgebruik wordt binnen het huidige onderzoek geclassificeerd als *generiek*, omdat deze woorden geen gerichte omschrijving van tandwielen en handelingen geven.

Formeel taalgebruik kan vergeleken worden met *schooltaal* (Leseman, Mayo, Messer, Scheele, & Vander Heyden, 2009). Schooltaal wordt als volgt omschreven: Schooltaal (‘academic language’) verwijst onder meer naar het gebruik van specifieke, technische, relatief infrequente woorden, naar lexicale verdichting (gebruik van informatierijke uitingen), nominalisatie van werkwoorden, expliciete plaats- en tijdverwijzingen, neven- en onderschikkende zinsstructuren met betrekkelijke voornaamwoorden om complexe betekenissen te kunnen uitdrukken, middelen om de semantische samenhang tussen zinnen te creëren en middelen om de opbouw van een verhaal of betoog te structureren (Leseman et al., 2009, pp 272).

Schooltaal kan gezien worden als een abstracter niveau van taalgebruik dan informeel taalgebruik en wordt binnen het huidige onderzoek geclassificeerd als *specifiek*, omdat de woorden een gerichte omschrijving van tandwielen en handelingen geven. Binnen het huidige onderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen generiek en specifiek taalgebruik. Bij generieke metaforen gaat het om een meer algemene beschrijving zoals ‘*gaan*’ (Alibali & Nathan, 2012), terwijl bij een specifieke metafoor meer typerende eigenschappen worden beschreven zoals ‘*draaien*’. Kinderen zijn in staat hun taalgebruik spontaan te verbeteren wanneer zij bezig zijn met een probleem en hier meer kennis over verwerven (Karmiloff-Smith, 1986). De



verwachting van het huidige onderzoek is dan ook dat het metafoorgebruik specifiekler wordt gedurende tandwieltaken.

Naast het onderscheid tussen generiek en specifiek taalgebruik zal er in het huidige onderzoek ook onderscheid worden gemaakt tussen statisch en dynamisch taalgebruik. Wanneer het gaat om statisch taalgebruik wordt er een situatie aangeduid die niet verandert ten opzichte van het lichaam (Van Dale, 2014). Voorbeelden hiervan zijn: *'een kant'*, *'links'* of *'rechts'*. Bij dynamisch taalgebruik horen woorden die een beweging ten opzichte van het lichaam aanduiden (Van Dale, 2014). Bij dynamisch taalgebruik wordt vaak gebruik gemaakt van krachten die in of met het eigen lichaam worden ervaren (Alibali, & Nathan, 2012). Voorbeelden van dynamische metaforen zijn *'draaien'* en *'lopen'*. Binnen het huidige onderzoek is het ook mogelijk dat er een combinatie van een statische en dynamische metafoer wordt gebruikt. In dit geval wordt een statische situatie gekoppeld aan een beweging, bijvoorbeeld *'een kant op gaan'*. De dynamische-, statische- of een statisch-dynamische metaforen kunnen onderverdeeld worden in generieke en specifieke metaforen. De huidige studie analyseert of kinderen spontaan hun taalgebruik veranderen. De verwachting is dat belichaamde metaforen steeds dynamisch-specifiekler worden tijdens een tandwieltaak. Daarnaast wordt verwacht, ondanks dat er nog geen eerder onderzoek naar is gedaan, dat kinderen meer abstractere oplossingsstrategieën en tegelijkertijd dynamisch specifiekere metaforen gebruiken wanneer zij meer ervaring met tandwieltaken hebben.

## Method

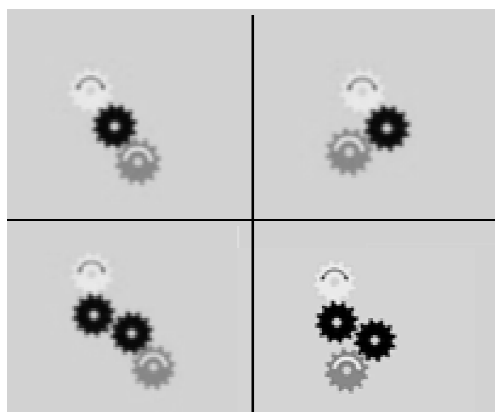
### Participanten

Aan dit explorerende onderzoek deden 37 leerlingen ( $M_{leeftijd} = 129,1$  maanden,  $SD = 5,1$  maanden) uit groep 7 van een basisschool in Veenendaal mee. De onderzoeksgroep bestond uit 24 meisjes ( $M_{leeftijd} = 128,9$  maanden,  $SD = 5,3$  maanden) en 13 jongens ( $M_{leeftijd} = 129,4$  maanden,  $SD = 4,9$  maanden). Er was sprake van een selecte steekproef. Vooraf was aan de ouders van deze leerlingen schriftelijk toestemming gevraagd voor deelname aan het onderzoek. Oorspronkelijk deden 41 leerlingen mee aan het onderzoek. Van vier participanten zijn de gegevens niet meegenomen door onbruikbare opnamen, een gebroken arm of door suggestief doorvragen van de onderzoekers. De testgegevens zijn anoniem verwerkt.

## Materialen

Het onderzoek bestond uit twee achtereenvolgende tandwieltaken. De eerste taak was een exploratietaak. Bij deze taak konden de kinderen met behulp van fysiek oefenmateriaal kennis maken met tandwielen. Dit materiaal bestond uit plastic tandwielen, gekleurde pinnen en tandwielmatten (zie appendix A). De verkennende taak werd niet meegenomen in dit onderzoek.

De tweede taak was een computertaak. Het programma E-Prime Versie 2.0 (Sneider, Eschman, & Zuccolotto, 2002) bood de participanten 30 keer een niet-bewegende tandwielbaan aan die willekeurig bestond uit drie tot acht tandwielen. Alle participanten kregen dezelfde banen in wisselende volgorde aangeboden. Het eerste tandwiel van de baan was blauw, waarin de draairichting met een pijl werd aangegeven (zie Figuur 1). Dit eerste tandwiel draaide altijd met de klok mee. De vraag aan de kinderen was welke richting het laatste, gele, tandwiel opdraaide. Op het toetsenbord was op de 'D'-toets een pijl naar links geplakt en op de 'L'-toets een pijl naar rechts. Door het indrukken van die toetsen konden de kinderen aangeven in welke richting het laatste tandwiel draaide. Na ieder gegeven antwoord werd een afbeelding van een muis getoond. Daarbij werd feedback gegeven ('heel goed!' of 'niet goed!'). Met twee camera's werden de verbale en de non-verbale uitingen van de kinderen gefilmd.



*Figuur 1.* Voorbeeld van vier tandwielbanen tijdens de computertaak met als startpunt het blauwe tandwiel.

## Procedure

De testleiders haalden de deelnemers individueel uit de klas, waarna een korte kennismaking volgde. Voorafgaand kregen alle participanten te horen dat zij twee spelletjes gingen spelen en dat er werd onderzocht welk spel de voorkeur had.

Het eerste spelletje was de exploratietaak. Deze had als doel de tandwielen te introduceren bij de kinderen door hen tandwielbanen te laten maken. Bij het maken van de tandwielbanen moesten zij twee tandwielen met elkaar verbinden door er andere tandwielen tussen te plaatsen. Kinderen kregen vooraf een korte instructie en achteraf werd door de testleider gevraagd of zij de opdracht correct hadden gemaakt. Wanneer dit het geval was kregen de kinderen een complimentje. Als dit niet zo was werd de opdracht nog een keer uitgelegd en werd de baan alsnog succesvol afgemaakt.

Tijdens de tweede taak, van ongeveer 15 minuten, kregen de kinderen tandwielbanen op het computerscherm te zien. De kinderen kregen eerst een voorbeeld waarbij de testleider vertelde dat er in het onderste tandwiel een pijl stond die de draairichting aangaf. Vervolgens vroeg de testleider aan de kinderen welke kant het gele tandwiel opdraaide. Kinderen kregen uitgelegd dat zij antwoord konden geven door op de knoppen van het toetsenbord met de pijlen erop te drukken. Hierbij liet de testleider eerst het foute en vervolgens het goede antwoord zien. Na deze instructie gingen de kinderen aan de slag met de 30 tandwieltaken. Hierbij moesten zij hun handen op het toetsenbord houden. Na ieder gegeven antwoord kregen de kinderen feedback. Bij een goed antwoord positieve en bij een fout antwoord negatieve feedback. Om de drie taken werd aan de participanten gevraagd hoe zij de tandwieltaken hadden opgelost. Op het beeldscherm verscheen bij deze evaluatiemomenten drie zwarte tandwielen die ter ondersteuning van hun uitleg konden dienen. Gedurende de uitleg mochten de kinderen hun handen wel gebruiken. Er waren 10 van deze evaluatiemomenten tijdens de taak. Alle participanten deden hetzelfde, er was geen sprake van een verdeling in onderzoeksgroepen of van een controlegroep.

### **Meetinstrumenten**

**Strategiegebruik.** De gebruikte oplossingsstrategie van de kinderen werd bepaald door hun verbale uitleg. Om het gebruik van oplossingsstrategieën bij tandwieltaken vast te stellen, is gebruik gemaakt van een codeboek dat is ontwikkeld door MSc De Bordes (2013). Het codeboek was gebaseerd op de *Dynamic Skill Theory* van Fischer (1980) (zie appendix B). De strategieën staan in het codeboek gerangschikt in mate van efficiëntie met betrekking tot nauwkeurigheid en het concreet benoemen bij het oplossen van tandwieltaken (Alibali et al., 2011; Dixon &

Bangert, 2002). De onderscheiden oplossingsstrategieën zijn: gokken/geen strategie, force tracing, classificatie, skipping strategie en pariteit.

**Metafoorgebruik.** Om tot het coderen van de belichaamde metaforen te komen, werden achtereenvolgens drie stappen doorlopen door de auteurs in samenwerking met de onderzoekers BSc Böke en BSc De Bruin. Allereerst werden aan de hand van de video-opnamen transcripties gemaakt. Iedere onderzoeker had 25% van de video-opnamen getranscribeerd en alle transcripties werden vervolgens door een tweede onderzoeker gecontroleerd. Naar aanleiding van de controle werden in de transcripties veranderingen doorgevoerd om de betrouwbaarheid te vergroten. Om het gebruik van belichaamde metaforen door de participanten inzichtelijk te maken, werd een codeboek ontwikkeld (zie Appendix C).

Het codeboek is tot stand gekomen in een samenwerking tussen de auteurs en de onderzoekers BSc. De Bruin en BSc. Böke en in overleg met MSc. De Bordes en Prof. Dr. Leseman. Dit codeboek is gebaseerd op de theorie van embodiment (Lakoff & Johnson, 1980) en op de literatuur over statisch, dynamisch, generiek en specifiek taalgebruik (Chin & Brown, 2000; Schleppegrell, 2002). Zo werd op basis van het codeboek eerst een onderscheid gemaakt tussen statische (S) en dynamische (D) metaforen. Het was ook mogelijk dat er een combinatie van een statische en dynamische metafoor werd gebruikt. Hierna werd onderscheid gemaakt tussen generieke (1) en specifieke (2) metaforen. Het codeboek was onderverdeeld in negen categorieën (zie Appendix C). Hiervan waren er acht gebaseerd op de indeling statisch, dynamisch, generiek, specifiek. Deze acht categorieën waren: *dynamisch-generiek* (D1), *statisch-generiek* (S1), *dynamisch-specifiek* (D2), *statisch-specifiek* (S2), *statisch-generiek, dynamisch-generiek* (S1D1), *statisch-specifiek, dynamisch-generiek* (S2D1), *statisch-generiek, dynamisch-specifiek* (S1D2) en *statisch-specifiek, dynamisch-specifiek* (S2D2). De negende categorie was de categorie 'overig'. Deze categorie bestond uit metaforen die niet ingedeeld konden worden in de andere categorieën zoals: *bochtje voor bochtje* of *slangetjes*. Per evaluatiemoment zijn alle geuite metaforen gecodeerd. Wanneer een participant tijdens een evaluatiemoment geen belichaamde metafoor gebruikte, werd dit evaluatiemoment gecodeerd als een ontbrekende waarde. Per evaluatiemoment werd berekend hoeveel procent van de metaforen, van de totaal aantal gebruikte metaforen, tot één van deze categorieën behoorde. De reden hiervoor was dat er verschil was in mogelijkheden om de handelingen toe te lichten.

### **Dataverwerking en data-analyse**

**Strategiegebruik.** Aan de hand van de video-opnamen en de transcripties werd het strategiegebruik van de participanten gecodeerd. Skipping strategie en de pariteitsregel werden samengevoegd tot één schaal. Op basis van het codeboek werden de strategieën gokken/ geen strategie (strategie 0), force tracing (strategie 1), classificatie (strategie 2), skipping strategie en pariteitsregel (strategie 3) onderscheiden. De variabele strategiegebruik was van ordinaal meetniveau. Iedere onderzoeker had individueel 25% van de data gecodeerd en vervolgens 25% van de data van andere onderzoekers opnieuw gecodeerd. De interbeoordelaarsbetrouwbaarheid van de strategiekeuze werd berekend door middel van Cohen's kappa ( $K = .81$ ). Er was sprake van een uitstekende betrouwbaarheid, want de waarde van de Cohen's kappa was boven de .8 (Landis & Koch, 1977). Door middel van de Friedman test werd geanalyseerd of er sprake was van een significante ontwikkeling.

**Metafoorgebruik.** Eén derde van de metafoorcoderingen werd opnieuw gecodeerd en de interbeoordelaarsbetrouwbaarheid werd berekend door middel van Cohen's Kappa ( $K = .97$ ). Er was hier sprake van een uitstekende betrouwbaarheid (Landis en Koch, 1977).

De percentages per negen metafoorcategorieën per evaluatiemoment werden samengevoegd in de categorieën 'laag', 'midden' en 'hoog'. In de categorie 'laag' zijn alle generieke metaforen geplaatst. De categorie 'midden' bestond uit specifieke metaforen en in de categorie 'hoog' zijn de dynamisch-specifieke metaforen geplaatst. De categorie 'overige' werd behouden. De betrouwbaarheid van deze categorieën is gemeten door na te gaan of de coderingen per categorie intern correleerden. Hiervoor werd de Cronbach's *alpha* berekend, waarbij een *alpha* hoger dan .60 in het huidige onderzoek als acceptabel werd gezien (Nunnally, 1978). De samenvoegingen en betrouwbaarheid zijn in Tabel 1 te zien.

Tabel 1

*Samengevoegde Schalen en de Betrouwbaarheid*

Categorie	Cronbach's <i>alpha</i>	Nieuwe categorie	Cronbach's <i>alpha</i>
Statisch- generiek (S1)	.51		
Dynamisch-generiek (D1)	.54	Laag	.75
Statisch-generiek, dynamisch- generiek (S1D1)	.80		
Statisch-specifiek (S2)	.82		
Ddynamisch-specifiek (D2)	.80	Midden	.74
Statisch-specifiek, dynamisch-generiek (S2D1)	.92		
Statisch-generiek, dynamisch-specifiek (S1D2)	.70		
Statisch-specifiek, dynamisch-specifiek (S2D2)	.43	Hoog	.65

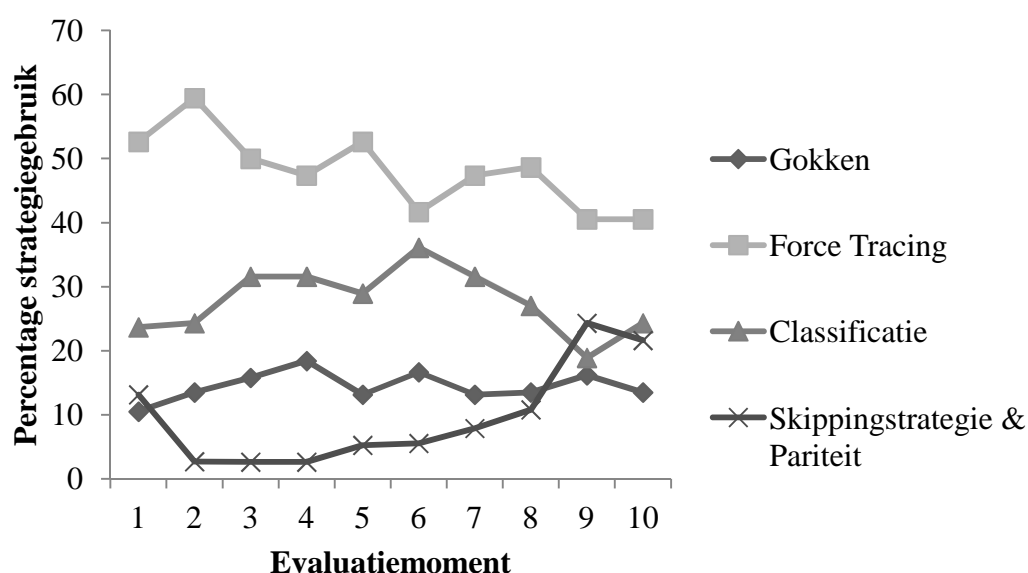
Bij de continue variabele, de percentages metafoorgebruik, was er geen sprake van een normale verdeling, waardoor deze ongeschikt waren voor analyse. Voor het metafoorgebruik werd daarom een ordinale indeling gemaakt waarbij per evaluatiemoment een code werd gegeven voor de hoogst gebruikte metaforen categorie 'laag', 'midden', 'hoog' en 'overigen'. Op het ordinale meetniveau werd de ontwikkeling geanalyseerd met de Non-parametrische Friedmantest. De samenhang tussen strategiegebruik en metafoorgebruik werd geanalyseerd met behulp van de ordinale schalen. De uitgevoerde test was de Spearman's *Rho*. Alle besproken analyses werden uitgevoerd in het computerprogramma *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS 20.0, IBM Corp., 2011).

## Resultaten

### Strategiegebruik

Op basis van de verbale uitingen is geanalyseerd of kinderen een ontwikkeling doormaken in strategiegebruik tijdens een tandwieltaak. Hiervoor wordt het strategiegebruik per evaluatiemoment met elkaar vergeleken. Uit analyse door middel van de Non-parametrische Friedmantest blijkt dat er een significant verschil is in

strategiegebruik over de 10 evaluatiemomenten,  $X^2(9, N = 37) = 22.79, p < .01$ . Waar kinderen eerst force tracing toepassen gaan ze na verloop van tijd een steeds meer abstracte strategie gebruiken. Er is een Bonferroni Adjustment uitgevoerd, in verband met de kanskapitalisatie, om te bepalen wanneer er gesproken mag worden van een significant verschil tussen twee evaluatiemomenten. Hieruit komt een significant niveau van  $p = .00$ . Er is geen verschil tussen twee evaluatiemomenten die aan dit niveau voldoet. Er kan gesproken worden van een significante ontwikkeling van force tracing naar een meer abstracte oplossingsstrategie tijdens de duur van de hele taak, maar niet van een ontwikkeling tussen twee evaluatiemomenten. In Figuur 2 is het verloop te zien van het percentage strategiegebruik per evaluatiemoment van de participanten. Hierin is te zien dat Force tracing de meest gebruikte strategie blijft. Het percentage participanten dat een gokstrategie gebruikt blijft nagenoeg gelijk.



Figuur 2. Het percentage van gebruikte strategietypen per evaluatiemoment.

### Gebruik belichaamde metaforen

Vervolgens was het gebruik van belichaamde metaforen geanalyseerd. Om een indruk te krijgen van het metafoorgebruik bij de participanten waren in Tabel 2 een aantal beschrijvende statistieken toegevoegd. Hierin wordt per metafoorcoding tijdens de tandwieltaak in procenten het gemiddelde gebruik, standaarddeviaties en de range gedurende de gehele taak weergegeven. Uit de tabel is af te lezen dat kinderen vooral gebruik maken van metaforen uit de categorieën D2, S1D1 en S1D2.

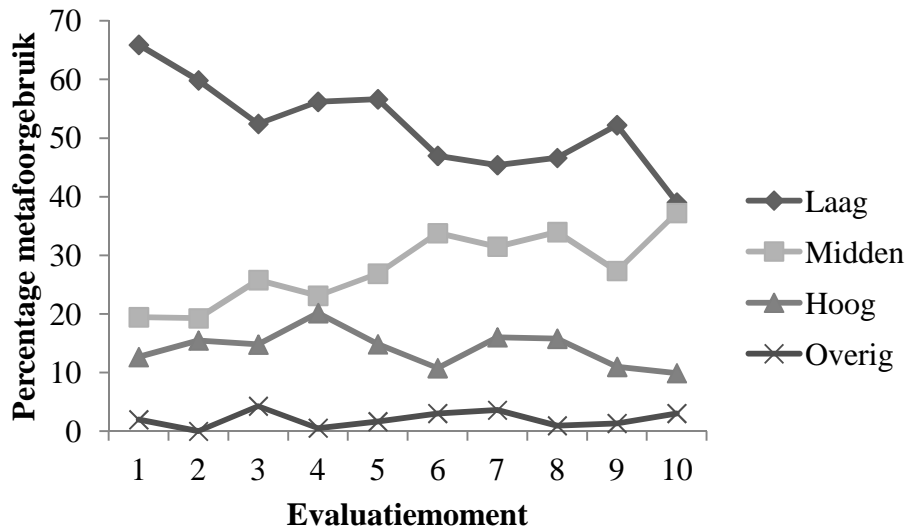
Tijdens de tandwieltaak neemt het gebruik van metaforen uit de categorie ‘laag’ af van gemiddeld 65.9% ( $SD = 4.5\%$ ) naar gemiddeld 39.0% ( $SD = 6.4\%$ ). De hoeveelheid metafoorgebruik behorende bij de categorie ‘midden’ neemt toe van gemiddeld 19.45% ( $SD = 4.60\%$ ) naar gemiddeld 37.23% ( $SD = 6,69\%$ ). Wel maken kinderen tijdens het 10de evaluatiemoment nog steeds het meest gebruik van metaforen behorende tot de categorie ‘laag’. Het gebruik van metaforen uit de categorie ‘hoog’ neemt licht af, van gemiddeld 12.67% ( $SD = 3.31\%$ ) naar gemiddeld 9.92% ( $SD = 2.98\%$ ). De metaforen behorende bij de categorie ‘overig’ nemen licht toe tijdens de tandwieltaak van gemiddeld 1.98% ( $SD = 7.00\%$ ) naar 3.04% ( $SD = 12.21\%$ ). Het verloop van de ontwikkeling is terug te zien in Figuur 3. Op de ordinale indeling is geen significante ontwikkeling waar te nemen blijkt uit de Non-parametrische Friedmantest,  $X^2(3, N = 28) = 10.72, p = .30$ .

Tabel 2

*Beschrijvende Statistieken (Aantallen, Gemiddelden, Standaarddeviaties en Range in Procenten) Per Metafoorcodering Tijdens de Tandwieltaak*

Beschrijvende statistieken	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	Range in %
<i>Metafoorcodering</i>				
S1	37	7.61	7.32	.00 – 32.50
S2	37	3.27	8.37	.00 – 44.71
D1	37	7.39	6.49	.00 – 29.50
D2	37	15.56	15.41	.00 – 55.20
S1D1	37	35.58	17.50	1.43 – 74.05
S2D1	37	9.13	18.19	.00 – 67.78
S1D2	37	13.08	11.79	.00 – 51.00
S2D2	37	1.09	2.58	.00 – 11.56
Overig	37	2.08	4.49	.00 – 20.00





Figuur 3. Het gemiddelde percentage metafoorgebruik per categorie, per evaluatiemoment.

### Relatie metafoor- en strategiegebruik

Als laatste is geanalyseerd of er een verband is tussen strategiegebruik en metafoorgebruik. Uit analyse door middel van de Spearman's *rho* blijkt dat er enkel bij evaluatiemoment vijf sprake is van een correlatie tussen strategie- en metafoorgebruik bij de participanten,  $r_s = -.36$ ,  $p = .01$ . Bij de overige evaluatiemomenten is er geen sprake van een significante correlatie tussen metafoor- en strategiegebruik.

### Discussie

Deze studie richt zich op de vraag hoe kinderen zich ontwikkelen tijdens het actief bezig zijn met technische opdrachten, zodat het onderwijs hierop afgestemd kan worden. Het gaat om een ontwikkeling in metafoor -en strategiegebruik. De eerste verwachting was dat kinderen veranderen van oplossingsstrategie tijdens het oplossen van tandwieltaken. Er is een significante ontwikkeling waar te nemen van een sensomotorische naar een meer abstracte oplossingsstrategie. Naarmate kinderen meer ervaring hebben met tandwieltaken, zullen zij minder sensomotorische en meer abstracte strategieën gebruiken. Dit kunnen zij zonder instructie. Kinderen ontwikkelden door op een sensomotorische ervaring, dit is bewijs voor de embodiment theorie. Dit komt overeen met de conclusie uit eerdere onderzoeken dat participanten zich in strategiegebruik ontwikkelen wanneer zij meer ervaring hebben

met tandwieltaken (Alibali et al., 2011; Alibali & Nathan, 2012; Dixon & Bangert, 2002; Stephen et al., 2009).

De tweede hypothese die in deze studie centraal staat is dat kinderen tijdens de tandwieltaak een ontwikkeling doormaken van generiek-statische metaforen naar meer specifiek-dynamische metaforen. Uit deze studie blijkt dat kinderen zonder instructie in staat zijn steeds specifiekere metaforen te gebruiken naarmate zij meer ervaring hebben met tandwieltaken. Dit komt overeen met eerder uitgevoerde onderzoeken (Chin & Brown, 2000; Schleppengrell, 2001). Kinderen ontwikkelden zich wel significant over de tien evaluatiemomenten, maar niet tussen de evaluatiemomenten. Kinderen gebruiken tijdens het tiende evaluatiemoment ook nog altijd meer generieke dan specifieke metaforen. Metaforen behorende tot de categorie 'hoog' worden weinig gebruikt door kinderen. Als laatste blijkt dat er geen sprake is van een verband is tussen metafoorgebruik en strategiegebruik, aangezien er maar tijdens één van de 10 evaluatiemomenten een lichte samenhang is waar te nemen.

Een verklaring voor het feit dat er weinig kinderen zijn die de skipping strategie en pariteit toepassen kan de tijdsduur van het onderzoek zijn (Smith & Gasser, 2005). Wanneer kinderen meer opgaven met tandwielreeksen krijgen is het mogelijk dat er wel een significante ontwikkeling plaatsvindt. Het gebruik van een gokstrategie blijft over alle evaluatiemomenten ongeveer gelijk. Dit was te verwachten aangezien kinderen die gokken niet tot een efficiënte oplossingsstrategie komen (Dixon & Bangert, 2002).

Een verklaring voor het niet significant ontwikkelen in metafoorgebruik kan wellicht worden gevonden in de woordenschat van de kinderen. Specifieker taalgebruik vraagt om een grotere woordenschat dan generiek taalgebruik (Ciarella, Kristen, Poulin-Dubois, & Sodian, 2013; Schleppengrell, 2001). De woordenschat van mensen is het hele leven in ontwikkeling (Ciarella et al., 2013). Het kan zijn dat de deelnemende participanten over een beperkte specifieke woordenschat beschikken en hierdoor niet in staat zijn om specifiekere metaforen te gebruiken.

Bij dit onderzoek zijn een aantal kanttekeningen te plaatsen. Aangezien het een explorerend karakter heeft is er, om praktische redenen, gekozen voor een kleine steekproef. Dit had tot gevolg dat uitschieters niet konden worden verwijderd. Bij verwijdering ontstonden namelijk nieuwe uitschieters. Door de kleine steekproefomvang hebben individuele verschillen meer invloed op de uitkomsten en moeten de resultaten dus met voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. Ook het feit dat

er geen evenredige verdeling tussen jongens en meisjes is zorgt ervoor dat er behoedzaam moet worden omgegaan met de generaliserende waarde van de resultaten.

Een tweede kanttekening is dat er een verschil in de lengte van de evaluatiemomenten zat bij participanten. Bij de ene participant werd meer doorgevraagd dan bij een andere. Zo werden soms essentiële woorden in de vraagstelling gebruikt die de participant nog niet gebruikt had. Het is mogelijk dat de onderzoeker de participant hierdoor woorden in de mond heeft gelegd. Daarnaast was er geen overeenstemming over in hoeverre er moest worden doorgevraagd. Dit had tot gevolg dat de ene participant meer mogelijkheden kreeg om zijn oplossingsstrategie toe te lichten dan een andere. Ook is er geen nulmeting voor het onderzoek gedaan. Er kan daarom niet gezegd worden of er kinderen waren die al gebruik maakten van dynamisch-specifieke metaforen. Een laatste kanttekening is dat voor de dataverzameling van zowel de oplossingsstrategie als van het metafoorgebruik dezelfde verbale uitingen zijn gebruikt. Hierdoor kan er aan de onafhankelijkheid van de data getwijfeld worden.

De kracht van deze studie is dat de verwerking van de data secuur is gedaan. De verzameling van de kwalitatieve data met betrekking tot metafoorgebruik is nauwgezet uitgevoerd, aangezien er gebruik is gemaakt van video-opnamen (Chin & Brown, 2000). De betrouwbaarheid van de metafoorcoderingen is hoog. Zowel bij de gemaakte transcripties als bij het coderen van de metaforen is er een gedegen controle uitgevoerd. Bij het opgestelde codeboek (zie appendix C) is er sprake van een hoge betrouwbaarheid. Daarnaast is een derde van de strategiecoderingen gecontroleerd. Ook bij deze codering was er sprake van een hoge betrouwbaarheid.

Zoals eerder genoemd in de discussie kunnen de verbale vaardigheden van kinderen een rol spelen in de data. Voor vervolgstudies is het interessant te onderzoeken in hoeverre de verbale uitingen bijdragen aan de ontwikkeling van metafoorgebruik en de keuze voor de oplossingsstrategie. Zo kunnen er duidelijke conclusies getrokken worden over de waarde van de uitleg die kinderen geven. Dit kan gedaan worden door het huidige onderzoek te herhalen met een grotere steekproef. De participanten worden verdeeld over twee onderzoeksgroepen. Eén groep mag alle 10 de evaluatiemomenten uitleg geven. De tweede onderzoeksgroep mag dit alleen tijdens het eerste en het 10<sup>de</sup> evaluatiemoment doen. Op deze manier

kan onderzocht worden of verbale uitleg inderdaad bijdraagt aan de ontwikkeling van metafoorgebruik en oplossingsstrategie.

Een andere invalshoek kan zijn dat de onderzoeksgroep wordt ingedeeld op basis van geslacht of etniciteit. Op deze manier kan gekeken worden of er bij de verschillende groepen andere ontwikkelingspaden zijn. Mocht dit het geval zijn, dan kan het onderwijs daarop aangepast worden zodat meer kinderen het basisonderwijs verlaten met een optimale technische kennis. Bij vervolgonderzoek is het raadzaam een nulmeting te doen. Zo kunnen verschillen die voorafgaande aan het onderzoek al aanwezig zijn meegenomen worden in de analyse.

Deze studie heeft een aantal aspecten gevonden die in het onderwijs gebruikt kunnen worden. Zo zijn kinderen in staat om zonder instructie tot een betere oplossingsstrategie te komen, wanneer zij techniekonderwijs krijgen met behulp van fysieke materialen. Ook gebruiken zij zonder instructie steeds dynamisch-specifiekere metaforen in hun uitleg. Het is wel belangrijk dat kinderen hun handelen verbaal toelichten, zodat zij in hun handelen bijgestuurd kunnen worden. De kinderen kunnen dan tussentijds feedback krijgen, zodat zij tot een efficiëntere oplossingsstrategie kunnen komen. In deze studie kwam namelijk naar voren dat sommige kinderen voortbouwden op een onpraktische strategie, wat niet leidde tot het gebruik van een efficiëntere oplossingsstrategie. Indien deze lesmethode wordt ingezet, moet schooltaal gestimuleerd worden. Schooltaal helpt kinderen namelijk om complexe taal te gebruiken en dit draagt bij aan het verder uitbreiden van technische kennis bij kinderen (Leseman et al., 2009). Techniekonderwijs is van groot belang, want hoe meer kinderen geïnteresseerd raken in techniek, hoe groter de kans dat het tekort aan technici in 2016 wordt teruggedrongen.

## Literatuur

- Alibali, M. W., & Nathan, M. J. (2012). Embodiment in mathematics teaching and learning: Evidence from learners' and teachers' gestures. *Journal of the Learning Sciences, 21*, 247-286. doi:10.1080/10508406.2011.611446
- Alibali, M. W., Spencer, R. C., Knox, L., & Kita, S. (2011). Spontaneous gestures influence strategy choices in problem solving. *Psychological Science, 22*, 1138-1144. doi:10.1177/0956797611417722
- Anderson, M. L. (2003). Embodied cognition: A field guide. *Artificial Intelligence, 149*, 91-130. doi:10.1016/S0004-3702(03)00054-7
- Antle, A. N., Droumeva, M., & Corness, G. (2008). Playing with the sound maker: Do embodied metaphors help children learn? *Proceedings of the Seventh International Conference on Interaction Design and Children, 8*, 140-149. doi:10.1145 /1463689.1463754
- Barnett, W. S., & Belfield, C. R. (2006). Early childhood development and social mobility. *The Future of Children, 16*, 73-98. doi:10.1353/foc.2006.0011
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review Psychology., 59*, 617-645. doi:10.1146/annurev.psych.59.103006.093639
- Bouma, R., & Schut, M. (2013, Februari 08). Onrust barend tekort technici. *Nieuwsuur*. Verkregen van <http://nieuwsuur.nl> op 13 december 2013
- Calvo, P., & Gomila, T. (Eds.). (2008). *Handbook of cognitive science: An embodied approach*. Oxford: Elsevier.
- Chiarella, S. S., Kristen, S., Poulin-Dubois, D., & Sodian, B. (2013). Concurrent relations between perspective-taking skills, desire understanding, and internal-state vocabulary. *Journal of Cognition and Development, 14*, 480-498. doi:10.1080/15248372.2012.689390

- Chin, C., & Brown, D. E. (2000). Learning in science: A comparison of deep and surface approaches. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 109-138. doi:10.1002/(SICI)1098-2736(200002)37:2%3C109::AID-TEA3%3E3.3.CO;2-Z
- De Bordes, P. F. (2013). Coderingschema's non-verbaal gedrag. Universiteit van Utrecht.
- Dixon, J. A., & Bangert, A. S. (2002). The prehistory of discovery: Precursors of representational change in solving gear system problems. *Developmental Psychology*, 38, 918. doi:10.1037/0012-1649.38.6.918
- Dixon, J. A., & Bangert, A. S. (2004). On the spontaneous discovery of a mathematical relation during problem solving. *Cognitive Science*, 28, 433-449. doi:10.1016/j.cogsci.2003.12.004
- Dixon, J. A., & Kelley, E. (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
- 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
- Eshach, H., & Fried, M. N. (2005). Should science be taught in early childhood? *Journal of Science Education and Technology*, 14, 315-336. doi:10.1007/s10956-005-7198-9
- Fischer, K. W. (1980). A theory of cognitive development: The control and construction of hierarchies of skills. *Psychological Review*, 87, 477. doi:10.1037//0033-295X.87.6.477

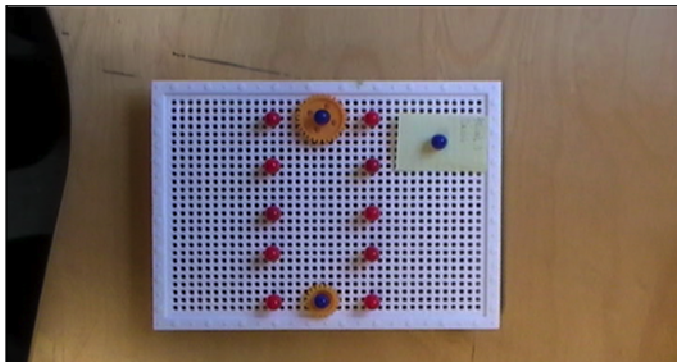
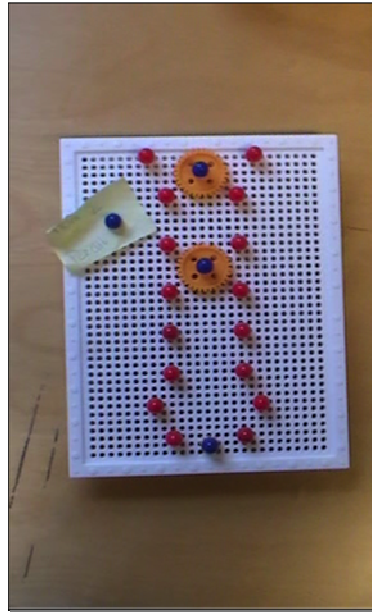
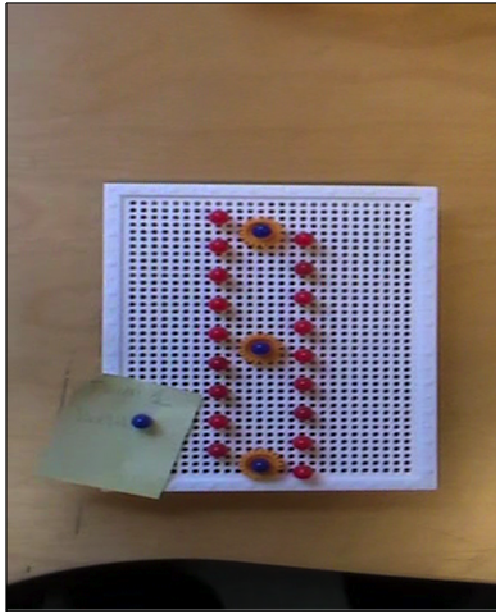
- Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive Neuropsychology*, *21*, 1-26.  
doi:10.1080 /02643290442000310
- Karmiloff-Smith, A. (1986). From meta-processes to conscious access: Evidence from children's metalinguistic and repair data. *Cognition*, *23*, 95-147.  
doi:10.1016/0010-0277(86)90040-5
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors We Live By*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lakoff, G., & Núñez, R. E. (2000). *Where mathematics comes from: How the embodied mind brings mathematics into being*. New York: Basic books.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, *33*, 159-174. doi:10.2307/2529310
- Leseman, P. P. M., Mayo, A. Y., Messer, M. E., Scheele, A. F., & van der Heyden, K. M. (2009). De vroege ontwikkeling van schooltaal: Het DASH-project. *Tijdschrift voor Orthopedagogiek*, *48*, 271-287.
- Martin, T., & Schwartz, D. L. (2005). Physically distributed learning: Adapting and reinterpreting physical environments in the development of fraction concepts. *Cognitive Science*, *29*, 587-625. doi10.1207/s15516709cog0000\_15
- Metz, K. (1991). Development of explanation: Incremental and fundamental change in children's physics knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, *28*, 785-798. doi:10.1002/tea.3660280906
- Nemirovsky, R., Rasmussen, C., Sweeney, G., & Wawro, M. (2012). When the classroom floor becomes the complex plane: Addition and multiplication as ways of bodily navigation. *Journal of the Learning Sciences*, *21*, 287-323.  
doi:10.1080 /10508406.2011.611445

- Niebert, K, Marsch, S., & Treagust, D.F.(2012) Understanding Needs Embodiment: Theory-guided reanalysis of the role of metaphors and analogies in understanding science. *Science Education*, 96, 849-877.  
doi:10.1002/sce.21026
- Núñez, R. E. (2011). On the science of embodiment cognition in the 2010s: Research questions, appropriate reductionism, and testable explanations. *Journal of the Learning Science*, 21, 324-336. doi:10.1080/10508406.2011.614325
- Nunnally, Jum C. (1978) (second edition). *Psychometric theory*. New York: McGraw-Hill.
- Osborne, R. J., & Wittrock, M. C. (1983). Learning science: A generative process. *Science Education*, 67, 489-508. doi:10.1002/sce.3730670406
- Osborne, R. J., & Wittrock, M. C. (1985). The generative learning model and its implication for science education. *Studies in Science Education*, 12, 59-87.  
doi:10.1080 /03057268508559923
- Pfeifer, R & Scheier, C. (1999). *Understanding Intelligence*. Cambridge: MIT Press.
- Schleppegrell, M. J. (2002). Linguistic features of the language of schooling. *Linguistics and Education*, 12, 431-459. doi:10.1016/S0898-5898(01)00073-0
- Smith, L., & Gasser, M. (2005). The development of embodied cognition: Six lessons from babies. *Artificial Life*, 11, 13-29. doi:10.1162/1064546053278973
- Snow, C.E., Cancini, H., Gonzalez, P., & Shriberg, E. (1989). Giving formal definitions: An oral language correlate of school literacy. In D. Bloome (Ed.), *Classrooms and literacy* (pp. 233–249). Norwood, NJ: Ablex.
- 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.  
doi:10.7771/1932-6246.1043



- Stephen, D. G., Dixon, J. A., & Isenhower, R. W. (2009). Dynamics of representational change: Entropy, action, and cognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *35*, 1811. doi:10.1037/a0014510
- Trudeau, J. T., & Dixon, J. A. (2007). Embodiment and abstraction: Actions create relational representations. *Psychonomic Bulletin and Review*, *14*, 994-1000. doi:10.3758 /BF03194134
- Van Dale middelgroot woordenboek Engels Nederlands*. (2014). Utrecht: Van Dale Uitgevers.
- Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The embodied mind: Cognitive science and human experience*. Cambridge: MIT Press
- Williams, R. F. (2012). Image schemas in clock-reading: Latent errors and emerging expertise. *Journal of the Learning Sciences*, *21*, 216-246. doi:10.1080 /10508406.2011.553259

**Appendix A**



## Appendix B

Codeerschema op Basis van de Inzichtschaal van Fischer (1980)

Levels	Tiers	OMSchrijving	Voorbeelden
Sensomotorische level	0	-	Onzin: iets wat je niet kunt scoren in termen van inzichtniveau
	1	Sensomotorische actie	Een observeerbare eigenschap van de taak wordt beschreven, zonder verband te leggen met een ander object of eigenschap.
	2	Sensomotorische mapping	OMSchrijving van simpele <i>relaties</i> tussen objecten en taakeigenschappen zonder het noemen van een causaal verband.
	3	Sensomotorisch systeem	Er wordt een causale relatie gelegd tussen onderdelen uit de taak.
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.
	5	Representatieve mapping	Er wordt een oMSchrijving gegeven van een koppeling tussen meerdere <i>niet-observeerbare</i> causale relaties.

				ogen/ ik slinger met mijn ogen langs de tandwielen.”
	6	Representationele systeem	OMSchrijving waaruit blijkt dat het kind alle relevante relaties tussen elementen die een rol spelen binnen de taak (het gehele mechanisme) begrijpt.	Als dit tandwiel die kant opgaat gaat het volgende tandwiel de andere kant op en de volgende die kant op / Als dit tandwiel zo gaat dan gaat deze de tegengestelde kant op/ Als deze naar links gaat gaat de volgende naar rechts
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.	Als dit tandwiel deze kant opgaat, gaat deze (3 <sup>de</sup> /5 <sup>de</sup> /7 <sup>de</sup> ) tandwiel t.o.v. eerste tandwiel) dezelfde kant op/ Deze tandwielen (wijst naar even/oneven) gaan dezelfde kant op.
	8	Abstracte mappings	Er worden twee verschillende elementen geabstraheerd en hiertussen wordt het verband gelegd.	Het eerste en het laatste tandwiel gaan dezelfde kant op als het een oneven aantal tandwielen zijn/ De oneven tandwielen gaan dezelfde kant op/ de even tandwielen gaan dezelfde kant op/ als het aantal tandwielen een even getal is gaan de eerste en laatste tandwielen niet dezelfde kant op

**Appendix C****Codeboek voor categorisering van de metaforen**

S= statisch	1= generiek
D= Dynamisch	2= specifiek

Code	Nummering
S1	1
S2	2
D1	3
D2	4
S1D1	5
S2D1	6
S1D2	7
S2D2	8
OVERIG	9

## Voorbeelden

<b>Overig = 9</b>
tegenovergestelde Bochtje voor bochten Patroon (het gaat eigenlijk) om en om Slangetjes Omstebeurt
<b>Statisch generiek = S1</b>
Zo Die, andere, dezelfde (kant) Daar Andersom Omheen Een rondje Staan
<b>Statisch specifiek = S2</b>
In elkaar Aan elkaar vastzitten Rechts Links
<b>Dynamisch generiek= D1</b>
Gaan, Doorgaan, gelijkgaan, verdergaan, heengaan, meegaan, weggaan, Volgen (aan)komen meeslepen
<b>Dynamisch specifiek = D2</b>
Slalommen, slalomotjes maken Wisselen, verwisselen, afwisselen, omwisselen Verbinden Aanstoten, aansluiten, aanhaken

Raken, Aanraken, aantikken, aanduwen, draaien, aandraaien, doordraaien, ronddraaien, wegdraaien. Vastlopen Rollen, meerrollen tegenduwen
<b>Statisch generiek , dynamisch generiek = S1D1</b>
Zo gaan, zo doen, zo bewegen, zo werken weggaan Heen en weer gaan, daarheen gaan, omheen gaan, Kant afkomen Hetzelfde blijven, hetzelfde gaan Rondje maken Tegenaan komen, tegenaan moeten, tegenaan botsen Tegen elkaar botsen In elkaar schuiven Richting op kunnen Een kant op moeten, een kant op zijn
<b>Statisch specifiek , dynamisch generiek = S2D1</b>
Links gaan
<b>Statisch generiek , dynamisch specifiek = S1D2</b>
Kant (op)draaien Rondje draaien
<b>Statisch specifiek , dynamisch specifiek = S2D2</b>
Rechts (op)draaien
<b>Geen metaforen</b>
Bij het einde komen Elkaar Doen alsof