

Juni 2015



UNIVERSITEIT
TWENTE,
ENSCHEDÉ

LEREN EXPERIMENTEREN OP DE
BASISSCHOOL



Eerste begeleider: PROF. DR. A.W. (ARD) LAZONDER

Tweede begeleider: DR. T.H.S. (TESSA) EYSINK

Externe begeleider: DRS. S. (SYMEN) VAN DER ZEE (Lectoraat Wetenschap & Techniek, Saxion)

Universiteit Twente

Faculteit: Behavioural, Management and Social sciences (BMS)

Afstudeerrichting: Instructie, Leren en Ontwikkeling (ILO)

Samenvatting

Eén van de doelen van het onderwijs in Wetenschap en Techniek is het opstellen van valide experimenten. Experimenten laten kinderen met eigen ogen zien hoe bepaalde principes of verschijnselen werken. Voor het opstellen hiervan moeten kinderen de ‘control of variables strategy’ (CVS) kunnen toepassen. Deze strategie houdt in dat er per proef één variabele veranderd wordt, terwijl de rest constant gehouden wordt. Uit de literatuur blijkt dat kinderen hier moeite mee hebben. Dit onderzoek onderzocht drie instructievormen om de CVS aan basisschoolleerlingen te leren. De onderzoeksvraag was: leidt de productief falen methode voor het leren van de controle-variabele-strategie tot betere leeruitkomsten (leerresultaten, retentie en transfer) bij basisschoolleerlingen dan directe instructie of ontdekkend leren. Ook werd onderzocht of leerlingen met een bepaald prestatieniveau meer leerden van een bepaalde instructievorm. 84 leerlingen van twee Nederlandse basisscholen werden verdeeld over een productief falen, directe instructie en ontdekkend leren conditie. In een tijdspanne van vier weken werd bij leerlingen een voormeting afgenomen, gevolgd door een trainingsfase, nameting, retentiemeting en transfermeting. De resultaten laten zien dat basisschoolleerlingen goed in staat zijn om de CVS te leren: de scores op de nameting waren significant hoger dan op de voormeting. Productief falen had op de nameting betere leerresultaten dan ontdekkend leren. Er werden echter geen significante verschillen gevonden op de retentie- en transfermeting. Productief falen leverde geen betere leerresultaten, retentie en transfer op dan directe instructie. Verder blijkt het prestatieniveau van een leerling niet samen te hangen met de leeruitkomsten in de verschillende condities. Leerlingen van hetzelfde niveau behalen vergelijkbare prestaties in de verschillende condities. Ten slotte worden verklaringen voor behaalde resultaten en suggesties voor vervolgonderzoek gegeven.

Abstract

One of the goals of Science and Technology education is designing sound experiments. Children can use experiments to discover certain scientific principles or phenomena. In order for these experiments to be valid, children need to apply the ‘control of variables strategy’ (CVS): an experimental procedure which states that only one variable per test should be changed while all other variables need to be held constant. The literature shows the perceived difficulty of children to use the CVS. This study investigated three instructional methods for the acquisition of the CVS in elementary school children. More specifically, the study compared the ‘productive failure’ method with direct instruction and unguided discovery learning in terms of learning outcomes, retention, and degree of transfer. The study also examined whether the children’s achievement level influenced the effectiveness of these instructional methods. Eighty-four children from two Dutch elementary schools were assigned to the productive failure condition, the direct instruction condition or the discovery learning condition. In a time period of four weeks, children participated in a pretest, training phase, posttest, retention test and transfer test. The results indicated that children were able to learn the CVS: their scores on the posttest were significant higher than those on the pretest. Productive failure proved superior to discovery learning in this respect, but did not lead to better retention and transfer. Productive failure yielded comparable learning outcomes, retention and transfer as did direct instruction. Children’s achievement level has no significant influence on the effectiveness of the three instructional methods. Explanations and suggestions for further research are given.

Inhoudsopgave

	Pagina
Inleiding.....	5
Directe instructie en ontdekkend leren.....	8
Effecten van directe instructie en ontdekkend leren.....	9
Productief falen.....	11
Onderzoeksvraag en hypothesen.....	13
 Methode.....	 15
Participanten.....	15
Materialen.....	16
Procedure.....	18
 Resultaten.....	 23
 Conclusie en discussie.....	 27
 Literatuurlijst.....	 34

Inleiding

Vrijwel alle kinderen zijn van nature nieuwsgierig naar de wereld om hen heen (NSTA, 2009). Ze zijn continu bezig met exploreren, uitproberen, manipuleren en de resultaten van hun handelingen te observeren. Een review van Gopnik (2012) laat zien dat (jonge) kinderen hierbij te werk gaan als ‘echte’ wetenschappers. Volgens Gopnik leren wetenschappers de wereld te begrijpen op drie manieren: (1) wetenschappers analyseren statistische patronen in data, (2) zij voeren experimenten uit en (3) zij leren van data en ideeën van andere wetenschappers. Ook kinderen voeren deze processen uit. Het spelen van kinderen kan lijken op het uitvoeren van experimenten. Ze interpreteren de uitkomsten van experimenten en kijken naar verbanden. Tevens leren kinderen door anderen om hen heen te observeren. Natuurlijk hebben de experimenten van kinderen niet exact dezelfde kenmerken als wetenschappelijke experimenten, maar dat is niet verrassend, omdat zelfs volwassenen soms moeite hebben met het opzetten van experimenten (Gopnik, 2012).

Door actief te exploreren en uit te proberen leren kinderen de wereld om hen heen kennen. Kinderen komen het klaslokaal dan ook binnen met hun eigen ideeën over de wereld. Deze voorkennis beïnvloedt de verwerking van nieuwe leerstof. Voorkennis beïnvloedt het leren positief wanneer het een goede basis biedt voor formeel onderwijs, zoals kennis van getallen of taal. Voorkennis kan echter ook belemmerend zijn. Wanneer de ideeën niet overeenkomen met wetenschappelijke feiten, is er sprake van een misconceptie (NRC, 2001). Vooral in de context van natuur en techniek spelen misconcepten een belangrijke rol. In het onderzoek van Yin, Tomita en Shavelson (2008) worden bijvoorbeeld tien veelvoorkomende misconcepties van kinderen besproken ten aanzien van het fenomeen drijven en zinken. Twee daarvan zijn: kleine dingen drijven en grote dingen zinken, en alle voorwerpen met een gat erin zinken. Deze misconcepties belemmeren het leren over drijven en zinken op school. Om juiste concepten van de wereld te verkrijgen, moeten kinderen hun (mis)concepties aanpassen (Carey, 1984; NRC, 2001).

Het uitvoeren van experimenten is een potentieel geschikte methode om natuurwetenschappelijke fenomenen te leren doorgronden. Experimenten laten kinderen namelijk met eigen ogen zien hoe bepaalde principes of verschijnselen werken. Het leren

opstellen van valide experimenten is dan ook een belangrijk doel van onderwijs in Wetenschap en Techniek. Voor het opstellen van valide experimenten moeten kinderen de ‘control of variables strategy’ (CVS) leren toepassen. Dit houdt in dat steeds één variabele gevarieerd wordt, terwijl alle andere factoren constant gehouden worden (Chen & Klahr, 1999). Door het gebruik van de CVS worden experimenten opgesteld waaruit juiste conclusies over de causale relatie tussen twee variabelen kunnen worden getrokken. Kinderen leren door de CVS te begrijpen dat zij gestructureerd moeten experimenteren om betekenisvolle resultaten te krijgen (Kuhn & Dean, 2005).

Er is relatief veel onderzoek verricht naar de toepassing van de CVS door kinderen. Volgens Chen en Klahr (1999) kunnen basisschoolkinderen (7-10 jaar) met genoeg instructie de CVS begrijpen, leren en transfereren naar nieuwe taken. Kinderen die een training kregen over de CVS hadden hogere leer- en transfer resultaten dan kinderen zonder de training of kinderen die alleen hints en vragen kregen. Een voorbeeld van zo’n vraag is waarom een leerling voor een bepaalde opzet van een experiment had gekozen. Ook stelden oudere kinderen meer valide experimenten op. Dus naarmate kinderen ouder worden, zijn zij steeds beter in staat om de strategie te gebruiken op bekende en nieuwe taken. Dit bleek ook uit het onderzoek van Kuhn, Garcia-Mila, Zohar en Andersen (1995). Zij vergeleken de strategieën voor het verkrijgen van kennis over natuurkundige en sociale onderwerpen bij kinderen (8-11 jaar) en volwassenen (22-47 jaar). Beide groepen deden twee keer per week mee aan een 30 tot 45 minuten durende sessie. In die sessies werkten de groepen aan problemen waarbij de invloed van bepaalde variabelen ontdekt moest worden. Een voorbeeld van een vraagstuk was het boot probleem, waarbij de invloed van de grootte van de motor of de kleur van het zeil op de snelheid van de boot ontdekt moest worden. Uit dit onderzoek bleek dat kinderen uit zichzelf maar heel weinig kennis hebben over het variëren van één variabele tegelijk. Vaak werden twee of meer variabelen in hetzelfde experiment vergeleken. Volwassenen hadden meer kennis verkregen over causale relaties, maar gebruikten nog steeds valide en invalide experimenten door elkaar. De resultaten van Croker en Buchanan (2011) sluiten aan bij de bevindingen van Chen en Klahr (1999). Croker en Buchanan (2011) onderzochten een uitgebreide leeftijdsgroep van 3 tot 11 jaar. De kinderen werd gevraagd een hypothese op te stellen over of iets goed of slecht was voor je gebit. Vervolgens werd informatie gegeven dat consistent of inconsistent was met hun hypothese, bijvoorbeeld tandenpoetsen + tandarts + melk leidt tot gezonde tanden, en moesten de kinderen één van drie mogelijke experimenten kiezen om de gegeven informatie te toetsen. De CVS werd het meest toegepast wanneer de

informatie overeenkwam met voorkennis (dus verwacht) en leidde tot gezonde tanden of wanneer de informatie niet overeenkwam met voorkennis (dus onverwacht) en leidde tot ongezonde tanden. De voorkennis bleek dus de strategiekeuze van het kind te beïnvloeden. Ook werd er naar een verklaring voor het gegeven antwoord gevraagd, de verklaring kon gebaseerd zijn op domeinkennis of gebaseerd op empirisch bewijs. Oudere kinderen bleken vaker uitspraken gebaseerd op empirisch bewijs te doen dan jongere kinderen.

De toepassing van de CVS, zo laten bovenstaande studies zien, is niet eenvoudig. Sommige onderzoekers stellen dan ook dat het zelf opstellen van een valide experiment wellicht te moeilijk is voor kinderen. Piekny en Maehler (2013) benadrukken dat het opstellen van een gecontroleerd experiment een complexe vaardigheid is die wellicht ongeschikt is om basale kennis van de CVS bij jonge kinderen te meten. Daarom werden eenvoudigere taken ontwikkeld, waarbij kinderen de CVS niet hoefden toe te passen, maar waarbij kinderen enkel een experiment hoefden te selecteren waaruit een correcte conclusie getrokken kon worden. Kinderen uit vijf leeftijdsgroepen deden mee aan het onderzoek, waarvan er twee groepen op de peuterspeelzaal zaten, twee groepen op de basisschool en één groep op het voortgezet onderwijs. Uit een taak waarin kinderen moesten redeneren over de invloed van de grootte van een holletje op de grootte van een muis, bleek dat basisschoolleerlingen begrepen dat experimenteren iets anders was dan een verwacht resultaat produceren (Piekny & Maehler, 2013). In het onderzoek van Sodian, Zaitchik en Carey (1991) werden kinderen van 6 en 7 jaar twee tegenstrijdige hypothesen gegeven. Vervolgens werd hen gevraagd om tussen twee mogelijke experimenten te kiezen, waarmee de hypothesen getest konden worden. Kinderen vanaf 6 jaar bleken al in staat om het juiste experiment te kiezen.

Samengevat leveren deze onderzoeken een genuanceerd beeld van de vaardigheden van kinderen in het gebruik van de CVS. Kinderen van 10-11 jaar zijn nog niet in staat om valide experimenten zonder ondersteuning op stellen (e.g., Kuhn et al., 1995; Croker & Buchanan, 2011; Chen & Klahr, 1999). Het zien van causale verbanden en het herkennen van goede experimenten blijken kinderen al vanaf 6 jaar te kunnen (Gopnik, 2012; Sodian et al., 1991). Ook blijkt de voorkennis van een kind de strategiekeuze te beïnvloeden (Croker & Buchanan, 2011). Vanaf jonge leeftijd kunnen kinderen dus valide experimenten herkennen, maar nog niet goed toepassen. Uit het onderzoek van Chen en Klahr (1999) bleek dat meer kinderen van 10-11 jaar de CVS leerden wanneer zij een vorm van ondersteuning ontvingen. Wanneer leerlingen een training kregen over wat de CVS inhoudt en wanneer zij het kunnen gebruiken,

leerde een groter aantal leerlingen de CVS te gebruiken in vergelijking met kinderen die alleen werden ondersteund met hints en vragen of kinderen die helemaal niet werden ondersteund. Met instructie zijn basisschoolleerlingen dus beter in staat om de CVS te leren gebruiken dan zonder instructie (Chen & Klahr, 1999; Klahr & Nigam, 2004; Strand-Cary & Klahr, 2008). Omdat de CVS een fundamentele vaardigheid is voor wetenschappelijk redeneren, is het belangrijk om te weten wat effectieve manieren zijn om de CVS te leren en of instructiemethode hierop invloed heeft. Dit is hetgeen wat onderzocht wordt in deze Masterthese.

Directe instructie en ontdekkend leren

Er zijn diverse studies verricht naar de effectiviteit van instructiemethoden om de CVS te leren. De twee methoden die het meest uitvoerig zijn onderzocht, zijn directe instructie en ontdekkend leren (Klahr & Nigam, 2004; Chen & Klahr, 1999). Bij directe instructie worden de te leren concepten en procedures volledig en stapsgewijs uitgelegd, meestal door de leraar. Ontdekkend leren daarentegen omvat leersituaties waarin leerlingen de concepten en procedures zélf moeten ontdekken (Kirschner, Sweller & Clark, 2006).

Ontdekkend leren is gebaseerd op het constructivisme, waarin de actieve betrokkenheid van kinderen bij het leren wordt benadrukt (Piaget, 1970). Kinderen zijn volgens constructivisten in staat om eigen voorbeelden te genereren en te exploreren. Piaget (1970, p.715) stelt:

“Each time one prematurely teaches a child something he could have discovered for himself, that child is kept from inventing it and consequently from understanding it completely”

Pleitbezorgers van ontdekkend leren stellen dan ook dat kinderen meer geneigd zijn om kennis toe te passen en uit te breiden die ze zelf ontdekt hebben, dan wanneer deze kennis volgens instructie is verkregen (Bredderman, 1983; Jacoby, 1978; McDaniel & Schlager, 1990; Schauble, 1996; Stohr-Hunt, 1996). Een probleem bij directe instructie is dat kinderen vaak onvoldoende voorkennis hebben om de gehele uitleg en de te leren strategie te begrijpen (Kapur & Bielaczyc, 2012; Schwartz & Martin, 2004). Bovendien is de wijze waarop de leerkracht de concepten, representaties en strategieën structureert soms onduidelijk voor het kind, waardoor de leerstof niet effectief wordt geleerd (Chi, Glaser & Farr, 1988; Schwartz & Bransford, 1998).

Voorstanders van directe instructie zijn het oneens met deze argumenten. Ze geven aan dat het meeste wat leerlingen van wetenschap weten direct aan leerlingen is geleerd, in plaats van dat leerlingen het zelf ontdekt hebben (Klahr & Nigam, 2004). Ontdekkend leren is een minder effectieve onderwijsaanpak dan directe instructie, omdat leerlingen vaker foute en inconsistente oplossingen en theorieën bedenken, ze vaker fouten maken met de verwerking en ze op een verkeerde manier oefenen met de leerstof (Mayer, 2004). Kirschner et al. (2006) geven aan dat ontdekkend leren teveel vraagt van het werkgeheugen van kinderen. Doordat de leerstof volledig zelf ontdekt moet worden, is er vaak sprake van overbelasting van het werkgeheugen. Dit komt omdat het werkgeheugen voor het zoeken naar informatie wordt gebruikt in plaats van voor het verplaatsen van informatie naar het lange termijn geheugen. Omdat er verhoudingsgewijs weinig wordt opgeslagen in het lange termijn geheugen, wordt er weinig geleerd. Directe instructie, bijvoorbeeld een gestructureerde presentatie, ontlast het werkgeheugen en zorgt ervoor dat het leren effectiever plaatsvindt.

Effecten van directe instructie en ontdekkend leren

Om een gedetailleerd beeld van de effectiviteit van onderwijsaanpakken te krijgen, maken Bjork en Bjork (2009) onderscheid tussen presteren en leren. Presteren is wat men kan observeren en meten tijdens instructie of training. Leren is een meer permanente verandering in kennis, gemeten door bijvoorbeeld een toets. Analoog hieraan maken Lazonder en Harmsen (2014) onderscheid tussen leeractiviteiten, prestaties en leeruitkomsten. De leeractiviteiten hebben betrekking op wat de leerlingen doen tijdens de taak, bijvoorbeeld hoe goed zij in staat zijn om de CVS te gebruiken. Met prestatie wordt bedoeld wat de lerende tijdens de taak weet te bereiken, wat vaak wordt gemeten aan de hand van de producten die worden gemaakt. De leeruitkomsten verwijzen naar de kennis die tijdens de taak is opgedaan en worden meestal gemeten met een posttest of retentietest.

In de afgelopen decennia zijn talloze studies verricht naar de effecten van directe instructie en ontdekkend leren op leeruitkomsten. In de studie van Klahr en Carver (1988) bleek een korte periode van directe instructie bijvoorbeeld effectiever voor de prestaties van leerlingen dan 100 uur ontdekkend leren in hoe een vastgelopen computer weer werkend gekregen kon worden bij basisschool leerlingen van 8-11 jaar. Lee, Anderson, Anderson en Betts (2011) onderzochten het verschil tussen directe instructie en ontdekkend leren in het oplossen van algebra problemen. De kinderen in de directe instructie conditie maakten minder fouten in het

leren van de strategie, maar wat opviel was dat er geen verschil bleek te zijn tussen de directe instructie en ontdekkend leren conditie in de uitvoering van de berekeningen. De instructie bleek de belangrijkste leerkenmerken te benadrukken, maar zodra de kinderen de strategie onder de knie hadden, was de instructie overbodig. In dit onderzoek leidde ontdekkend leren dus tot even goede leeruitkomsten als directe instructie. Uit diverse meta-analyses blijkt dat directe instructie tot betere leeruitkomsten leidt dan zuiver ontdekkend leren (Alfieri et al., 2011; Furtak, Seidel, Iverson, & Briggs, 2012; Minner, Levy, & Century, 2010). In de meta-analyse van Alfieri et al. (2011) werd directe instructie met ontdekkend leren vergeleken in 108 studies. Hieruit bleek dat directe instructie hogere leeruitkomsten haalde dan zuiver ontdekkend leren, $d=-0.38$ (95% CI [-.50,-.25]). In deze meta-analyses is echter alleen gekeken naar de effectiviteit van beide instructiemethoden voor het verwerven van domeinkennis. Er is niet gekeken naar de effecten op de onderzoeksvaardigheden van leerlingen, zoals de CVS.

De studies die specifiek gaan over het aanleren van de CVS lijken de resultaten van de meta-analyses te bevestigen. Directe instructie leidt vaak tot betere resultaten, zowel voor prestatie als leeruitkomsten (e.g. Dean & Kuhn, 2006; Klahr & Nigam, 2004; Strand-Cary & Klahr, 2008). Uit het onderzoek van Chen en Klahr (1999) bleek bijvoorbeeld dat directe instructie in een training effectiever was om kinderen de CVS te leren in vergelijking met zuiver ontdekkend leren. Het gebruik van directe instructie verhoogde al significant het vermogen van kinderen om simpele, valide experimenten te ontwikkelen. Voor de kinderen in de directe instructie conditie werd het percentage correct gebruik van de CVS van 40% naar 80% verhoogd, gemeten op een assessment direct na de taak. De kinderen in de ontdekkend leren conditie vertoonden geen verbetering. Lorch et al. (2010) demonstreerden dat niet alleen directe instructie, maar ook het experimenteren met het leermateriaal aanzienlijk bijdroeg aan leren. De mogelijkheid om met de CVS te experimenteren was van doorslaggevend belang voor het concreet maken de kennis. Dit komt volgens Zohar en Davidson (2008) omdat abstracte kennis door het experiment te ervaren concreet wordt. Verder bleek uit het onderzoek van Lorch et al. (2010) dat laag-presterende leerlingen minder van instructie profiteerden dan hoog-presterende leerlingen. Bij hoog-presterende leerlingen wordt soms een groter gedeelte van instructietijd besteed aan wetenschapsvakken. Bij laag-presterende leerlingen wordt die instructietijd vaak besteed aan het verbeteren van lees- en rekenvaardigheden. Leerlingen die hoog presteren zijn daarom wellicht beter uitgerust om de CVS te leren dan leerlingen die laag presteren. Echter zijn de resultaten op het gebied van

prestatieniveau en leeruitkomsten niet eenduidig. In het onderzoek van Cuevas, Lee, Hart en Deaktor (2005) bleken het juist de laag presterende leerlingen te zijn die het meest van instructie leerden. Leerlingen voerden via onderzoekend leren allerlei wetenschapstaken uit. De grootste vorderingen werden gemaakt door de laag presterende leerlingen. Ook in de studie van Lee, Buxton, Lewis en LeRoy (2005) waren het juist de laag presterende leerlingen die het meest van instructie leerden. Leerlingen ontvingen klassikale instructie en workshops van docenten over wetenschappelijke onderwerpen, zoals de watercyclus en het weer. Laag presterende leerlingen maakten ook in dit onderzoek een grotere vooruitgang in leerresultaten dan hoog presterende leerlingen.

Het lijkt nauwelijks verrassend dat kinderen minder leren van onbegeleid of minimaal begeleid ontdekkend leren wanneer het vergeleken wordt met de intensieve begeleiding van directe instructie (Chen & Klahr, 1999). Maar is ontdekkend leren altijd ondoeltreffend? Basisschoolleerlingen in het onderzoek van Lazonder en Egberink (2014) kregen directe instructie om de CVS te leren, zij gebruikten de strategie vaker dan leerlingen uit de ontdekkend leren conditie. Maar op de nameting bleek dat de ontdekkend leren conditie de grootste leerwinst had geboekt. Dit suggereert dat directe instructie de kinderen in staat stelde om de CVS te gebruiken zonder de strategie daadwerkelijk te begrijpen of de opgedane kennis te transfereren. Leerlingen uit de ontdekkend leren conditie hadden meer moeite met de CVS tijdens het experiment, maar hun leeractiviteiten hebben wellicht tot een beter begrip van de strategie geleid. Directe instructie en ontdekkend leren lijken dus complementair te zijn: wat de ene instructiemethode effectief kan ondersteunen is juist de makke van de andere methode. Hierdoor rijst de vraag of er instructiemethoden zijn die zowel de leeractiviteiten als de prestatie en leeruitkomsten verbeteren. Volgens Kapur en Rummel (2012) kan dit door middel van ‘productief falen’.

Productief falen

Volgens Kapur (2008) geven leerkrachten over het algemeen veel structuur en ondersteuning bij het aanbieden van nieuwe leerstof, zoals feedback, vragen en uitleg. Hoewel deze aanpak intuïtief logisch klinkt, is het volgens Kapur niet noodzakelijk de beste manier. Wanneer en hoe structuur gegeven moet worden is een fundamentele vraag in het onderwijs (Tobias & Duffy, 2010). Als leerlingen eerst gaan experimenteren met de stof en weinig begeleiding ontvangen, worstelen ze met de leerstof. Productief falen is het creëren van een situatie waarin leerlingen eerst moeten worstelen, doorzetten en soms zelfs falen op taken die

ongestructureerd zijn en boven hun capaciteiten liggen, om er uiteindelijk wel veel van te leren (Kapur, Dickson & Yhing, 2009). Kapur en Bielaczyc (2012) onderscheiden hierbij een generatie en exploratie fase, gevolgd door een consolidatie fase. De generatie en exploratie fase biedt leerlingen de mogelijkheid om ideeën te verkrijgen en beperkingen te achterhalen over bepaalde onderwerpen. De consolidatiefase is bedoeld om de door de leerling gegenereerde kennis te organiseren en integreren. De gedachte hierachter is dat doordat leerlingen de leerstof en de onderliggende probleemstructuur zelf ontdekken en doorgronden, zij op een later tijdstip beter zullen presteren op vergelijkbare taken en transfertaken.

Uit het onderzoek van Kapur (2008) bleek dat de leerlingen in de productief falen conditie een groot aantal obstakels tegenkwamen en diepgaand overleg voerden. Dit resulteerde veelal in falen, maar toch presteerden de leerlingen in de productief falen conditie uiteindelijk beter dan leerlingen in de directe instructie conditie. Dit bleek voor gestructureerde en ongestructureerde taken te gelden. In een relatief recente studie vergeleken Kapur en Bielaczyc (2012) twee condities. In de ene groep werden leerlingen volgens een directe instructie aanpak onderwezen in het oplossen van wiskundige problemen, in de andere groep moesten leerlingen in groepjes zelf de problemen proberen op te lossen. De leerlingen in de directe instructie conditie wisten met hulp en begeleiding van de leerkracht de problemen op te lossen. De leerlingen in de productief falen conditie wisten de problemen niet correct op te lossen. Maar in het proces van het zoeken naar oplossingen en antwoorden hadden ze belangrijke kennis opgedaan over de aard van de problemen en de oplossingsmogelijkheden. Toen beide groepen later werden getest op hun kennis van de leerstof en hun vermogen om wiskundige problemen op te lossen, presteerden de leerlingen in de productief falen conditie significant beter dan de leerlingen in de directe instructie conditie. De conclusie van Kapur (2009, 2010) en Kapur en Bielaczyc (2012) is dat productief falen doeltreffend is voor leeruitkomsten. Ook VanLehn et al. (2003) suggereren dat het productiever is om structuur voor een leertaak uit te stellen tot het moment dat de leerling een impasse, een soort van falen, heeft bereikt en niet meer in staat is om verder te gaan. De leerling zou dan meer open staan voor de instructie in een consolidatiefase.

Op basis van deze bevindingen raden Kapur et al. (2008, 2009, 2010, 2012) aan om onderwijs te ontwerpen volgens de richtlijnen van productief falen. Deze richtlijnen zijn; (1) laat leerlingen werken aan uitdagende taken, maar laat leerlingen niet frustreren, (2) bied leerlingen de gelegenheid om ideeën uit te leggen, te delen en te onderzoeken, zodat zij

kunnen experimenteren met de door hun opgestelde kennis en (3) geef leerlingen de mogelijkheid om oplossingen met elkaar te vergelijken en te bespreken. Ondanks de positieve bevindingen over productief falen, is er ook reden voor twijfel over de doelmatigheid van de aanpak. In een onderzoek van Matlen en Klahr (2012) werd gekeken naar de effecten van verschillende mate van ondersteuning aan leerlingen (8-10 jaar) voor het leren van de CVS. Leerlingen werden ingedeeld in één van de vier condities, waarin zij veel of weinig instructie kregen tijdens het werken met de CVS. De condities bestonden uit twee fases, waarin leerlingen ofwel veel en veel (HH), veel en weinig (HL), weinig en veel (LH) en weinig en weinig instructie (LL) kregen. De conditie waarin veel instructie (HH) werd gegeven was vergelijkbaar met directe instructie. Deze conditie had meer kennis van de CVS verworven dan de conditie zonder instructie (LL). Wat ook uit dit onderzoek bleek was dat er geen effecten gevonden werden voor de volgorde weinig instructie gevolgd door veel instructie (LH). Deze conditie zou vergelijkbaar kunnen zijn met de methode van productief falen, waarin leerlingen ook eerst zelf experimenteren, waarna zij instructie krijgen.

Onderzoeksvraag en hypotheses

De conclusie van Kapur en anderen (2008, 2009, 2012) lijkt haaks te staan op de conclusie van Matlen en Klahr (2012). Hiervoor zijn drie verklaringen mogelijk. De eerste is dat in het onderzoek van Matlen en Klahr geen sprake was van productief falen; het onderwijs was niet ingericht volgens de door Kapur en Bielaczyc (2012) opgestelde richtlijnen. De tweede verklaring is dat productief falen wel effectief is, maar niet voor de jonge(re) leerlingen uit het onderzoek van Matlen en Klahr (2012). Een gerelateerde mogelijkheid is dat jonge leerlingen in heterogene klassen zitten, met alle niveaus door elkaar. Wellicht is productief falen alleen geschikt voor hoog presterende leerlingen, zoals de wiskunde studenten in de onderzoeken van Kapur (2008, 2009). Een derde mogelijke verklaring is dat productief falen niet voor alle leerstof even geschikt is, omdat leerlingen moeten kunnen falen met de materialen. De hellingbaan uit het onderzoek van Matlen en Klahr behoort misschien tot de minder geschikte onderwerpen, omdat er altijd een experiment mogelijk is. De leerling zal niet snel falen met het van een helling laten rollen van een bal. Deze verklaringen onderstrepen het belang om meer duidelijkheid te krijgen over de effectiviteit van productief falen en het leren van de CVS op de basisschool. Deze Masterthese wil hieraan bijdragen door een antwoord te geven op de volgende onderzoeksvraag:

“Leidt de productief falen methode voor het leren van de controle-variabele-strategie tot betere leeruitkomsten (leerresultaten, retentie en transfer) bij basisschoolleerlingen dan directe instructie of ontdekkend leren?”

Om deze vraag te beantwoorden, zijn de leerresultaten, retentie en mate van transfer vergeleken van leerlingen uit drie condities: een productief falen conditie, een directe instructie conditie en een ontdekkend leren conditie. Dit onderzoek richt zich dus specifiek op de leeruitkomsten van leerlingen en niet op prestatie en leeractiviteiten. Alle condities kregen een voormeting, gevolgd door een experimenteer- of instructiefase, afhankelijk van de conditie. Vervolgens werden de leerlingen getest op leerresultaten, retentie en transfer.

Verwacht werd dat de leerlingen in de drie condities verschillende resultaten zullen behalen. Het onderwijs in de productief falen conditie was ingericht volgens de door Kapur en Bielaczyc (2012) opgestelde richtlijnen. Kapur (2008, 2009, 2010) demonstreerde dat productief falen betere leerresultaten oplevert dan directe instructie. Tijdens de exploratie en generatiefase krijgen kinderen de kans om zelf te experimenteren, in de consolidatiefase wordt vervolgens de benodigde uitleg gegeven. Dit leidde in de studies van Kapur tot een beter begrip van de leerstof. Van de leerlingen in de productief falen conditie werd daarom verwacht dat zij hogere leerresultaten, retentie en transfer hadden dan de leerlingen in de directe instructie conditie. Tevens werd dit resultaat verwacht voor de leerlingen in de ontdekkend leren conditie. Uit het onderzoek van Klahr en Nigam (2004) bleek dat meer leerlingen met directe instructie de CVS leerden dan met ontdekkend leren. Omdat met productief falen hogere scores werden verwacht dan met directe instructie, werd ook verwacht dat productief falen hoger zou scoren dan ontdekkend leren. Ten slotte is een belangrijke kwestie de vraag of prestatieniveau van invloed is op de leeruitkomsten. Lorch et al. (2010) compliceerde de eenduidigheid van behaalde leeruitkomsten in een instructiemethode door te laten zien dat er differentiële effecten bestonden tussen leerlingen. Het prestatieniveau lijkt de leeruitkomsten van een leerling te beïnvloeden. Aangezien er nog weinig eenduidige resultaten zijn behaald over de relatie tussen prestatieniveau en leeruitkomsten (Cuevas, Lee, Hart & Deaktor, 2005; Lee, Buxton, Lewis & LeRoy, 2005), werd er geen specifieke hypothese opgesteld voor welk niveau leerling het meest van een bepaalde instructievorm zou leren.

Methode

Participanten

In totaal hebben 84 leerlingen (39 meisjes en 45 jongens) meegedaan aan dit onderzoek. De kinderen kwamen van twee basisscholen in Oost-Nederland. Van het totaal aantal kinderen zaten 43 kinderen in groep 7 en 41 kinderen in groep 8. Uit de totale steekproef ($n=84$) zijn drie leerlingen verwijderd door afwezigheid op de trainings- en assessmentdag. In de directe instructie conditie zaten daardoor 26 leerlingen (12 meisjes en 14 jongens), in de ontdekkend leren conditie zaten 28 leerlingen (11 meisjes en 17 jongens) en in de productief falen conditie zaten 27 leerlingen (13 meisjes en 14 jongens). De leeftijden liepen uiteen van 10 tot 12 jaar, de gemiddelde leeftijd van elke conditie was 11 jaar. Een grote meerderheid van de leerlingen had een Nederlandse nationaliteit, maar er waren ook een aantal andere nationaliteiten (bijvoorbeeld Turkse en Marokkaanse kinderen).

Er is rekening gehouden met verschillen in voorkennis door leerlingen met behulp van matching te verdelen over de condities. Er werd een lijst opgesteld van leerlingen die een voorkennisscore van 0, 1, 2, 3 en 4 punten hadden behaald. Vervolgens werd ervoor gezorgd dat in alle condities ongeveer evenveel leerlingen met een bepaalde voorkennisscore zaten.

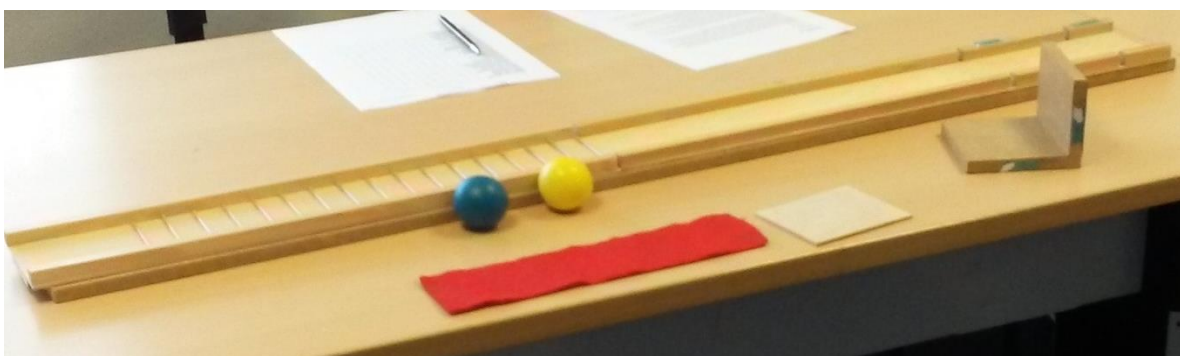
Om wat te kunnen zeggen over het prestatieniveau van kinderen werd gekeken naar de behaalde Citoscores op spelling, begrijpend lezen en rekenen. Leerlingen werden ingedeeld in de categorie bovengemiddeld, gemiddeld of ondergemiddeld. Een kind werd als bovengemiddeld beoordeeld wanneer hij of zij op twee van de drie citoscores een I of I+ scoorden. Een kind werd als ondergemiddeld beoordeeld wanneer hij of zij op één van de drie onderdelen een V haalde. Alle overige Citoscores werden als gemiddeld beoordeeld. Met behulp van de leerkracht werd gekeken of de prestatieniveaus gelijk waren verdeeld over de condities. In totaal waren er 21 bovengemiddelde leerlingen, 46 gemiddelde leerlingen en 14 ondergemiddelde leerlingen, zie Tabel 1.

Tabel 1*Verdeling leerlingen per niveau en conditie*

Niveau leerling	Directe instructie (n=26)	Ontdekkend leren (n=28)	Productief falen (n=27)
Bovengemiddeld	6	6	9
Gemiddeld	16	16	14
Ondergemiddeld	4	6	4

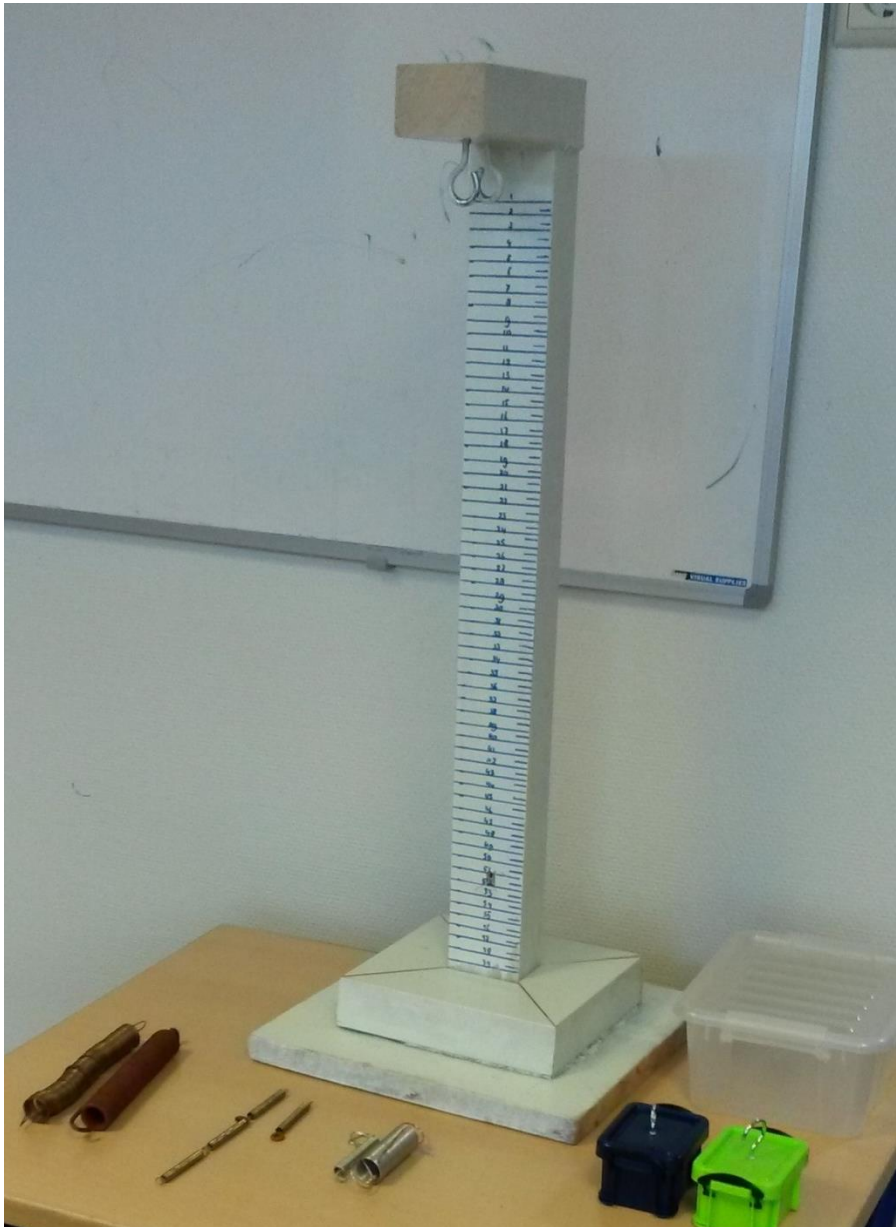
Materialen*Hellingbaan*

De hellingbaan werd gebruikt voor de voormeting, de training, de nameting en retentiemeting. De hellingbaan had vier variabelen die bepaalden hoe ver de bal rolde. Leerlingen kregen de opdracht om het effect van de hellingshoek van de baan, de startpositie van de bal, het oppervlak van de baan en het type bal uit te zoeken. De blauwe bal was zwaarder dan de gele bal. Deze variabelen konden makkelijk gemanipuleerd worden door de leerlingen. De startpositie van de bal kon omhoog of omlaag worden verschoven door de bal tegen te houden met een houten lat, waarbij er twee mogelijke startposities waren (zie Figuur 1). Het oppervlak kon worden veranderd door een stoffen mat op de baan te leggen. De hellingshoek kon gemanipuleerd worden door een houten standaard rechtop of liggend onder de baan te plaatsen. Het veranderen van het type bal spreekt voor zich.

***Figuur 1. Hellingbaan.****Gewichten en veren*

De transfertaak werd uitgevoerd met een vaste opstelling waarbij leerlingen konden experimenteren met gewichten en veren, zie Figuur 2. Kinderen konden door met gewichten

en veren te experimenteren, achterhalen welke invloed verschillende variabelen hadden op de uitrekking van een veer. De verschillende variabelen waren: een licht of zwaar gewicht, veer met grote of kleine diameter, veer met veel of weinig windingen en veer met een dikke of dunne draad. Alle variabelen hadden invloed op de uitrekking van de veer.



Figuur 2. Gewichten en veren.

Scoreformulier baseline assessment, postmeting en transfertest

Op het scoreformulier stonden de persoonlijke gegevens van de leerling, zoals school en naam. Verder werd op het scoreformulier de geteste variabele, de gebruikte opstelling, de tijd

en het behaalde aantal punten per proef aangekruist. In een aparte kolom was ruimte voor eventuele opmerkingen en bijzonderheden.

Procedure

Het onderzoek van beide scholen werd na elkaar uitgevoerd. In week 1 werd een voormeting gehouden, waarin alle beginscores werden vastgesteld. De leerlingen werden vervolgens over de drie condities verdeeld op basis van matching. Aan de leerkracht van de klas werd gevraagd of per conditie ongeveer evenveel leerlingen van alle niveaus zaten, zo niet dan werden er een aantal leerlingen verschoven. In week 2 werd de trainingsfase gehouden, met aansluitend de assessmentfase (na- en transfermeting). Ten slotte werd in week 4 nog een retentiemeting gehouden.

Voormeting

De dag begon klassikaal en werd vervolgens individueel voortgezet. De onderzoeker vertelde in de klas wat de leerlingen vandaag gingen doen en gaf een beschrijving van de materialen waarmee geëxperimenteerd ging worden. Vervolgens werden de leerlingen één voor één opgeroepen om in een aparte ruimte bij de onderzoeker te komen. Daar werd de voormeting gehouden. De hellingbaan lag op een tafel tussen de onderzoeker en de leerling. De onderzoeker vertelde dat er verschillende dingen veranderd kunnen worden aan de hellingbaan. De leerling werd gevraagd of hij of zij de verschillende mogelijkheden kon opnoemen. Wanneer er een variabele werd vergeten, wees de onderzoeker die aan. De onderzoeker vroeg de leerling vervolgens om goede proefjes op te zetten, zodat de leerling zeker wist wat er gebeurt wanneer er één van de dingen veranderd wordt. Er werd verteld dat de leerling dit voor alle veranderbare opties mocht gaan testen. Er werd 1 punt gegeven wanneer de doelvariabele gevarieerd werd en de rest constant gehouden werd. Er werden 0 punten gegeven wanneer meerdere variabelen gevarieerd werden. Een leerling kon dus tussen de 0 en 4 punten halen. Er werd geen limiet gesteld op het aantal proefjes. De leerling werd niet verteld of de experimenten goed waren opgezet en hoeveel punten hij of zij had gehaald. Wanneer de leerling een variabele van de hellingbaan vergat vroeg de onderzoeker of de leerling die ook nog kon testen.

Trainingsfase

De trainingsfase werd een week na de voormeting gehouden. De inhoud van de trainingsfase verschilde per conditie, zie Tabel 2. Elke fase duurde ongeveer 10 minuten, waardoor de trainingsfase in het geheel ongeveer 20 minuten duurde.

Tabel 2

Conditie-schema

	Directe instructie	Ontdekkend leren	Productief falen
Fase 1	Ondersteuning, uitleg, observatie	Zelf experimenteren	Zelf experimenteren
	↓	↓	↓
Fase 2	Begeleid zelf experimenteren	Zelf experimenteren	Ondersteuning, uitleg, observatie

De directe instructie conditie

Eén voor één kwamen de leerlingen van de directe instructie conditie bij de onderzoeker in een aparte ruimte. De onderzoeker vroeg of de leerling de hellingbaan nog herinnerde van vorige week en hoe de leerling het de vorige keer vond gaan. Ook vroeg de onderzoeker of de leerling een idee had waar de onderzoeker op lette tijdens de voormeting. De onderzoeker legde uit dat zij naar het experimenteren van leerlingen keek en gaf een paar minuten durende uitleg over hoe leerlingen eerlijke proefjes konden opstellen (CVS). Hierbij werd verteld dat om eerlijk te vergelijken er steeds maar één ding veranderd mag worden tussen twee proefjes. Verder stelde de onderzoeker verschillende experimenten op om de leerling te laten oefenen met het beoordelen van een test. De onderzoeker maakte met de variabelen hellingshoek en matje experimenten met de CVS en met de variabelen kleur bal en startpositie experimenten zonder de CVS. De leerling werd steeds gevraagd of zij met zekerheid kon zeggen dat dit een goede test is. De onderzoeker gaf feedback op de reactie van de leerling. Vervolgens kreeg de leerling de opdracht om zelf te experimenteren met de hellingbaan. De leerling werd gevraagd of hij of zij nu op een goede manier kon onderzoeken wat er gebeurde wanneer de hellingshoek werd veranderd. De onderzoeker gaf steeds instructie over de te veranderen variabele en feedback over het CVS gebruik van de leerling. Alle variabelen werden één voor

één behandeld. Wanneer de leerling dit had doorlopen, werd er overgegaan op de assessmentfase.

De ontdekkend leren conditie

Ook de leerlingen uit de ontdekkend leren conditie kwamen één voor één in een aparte ruimte bij de onderzoeker. De onderzoeker vroeg of de leerling de hellingbaan nog herinnerde en hoe hij of zij het vorige keer vond gaan. Vervolgens vertelde de onderzoeker dat er vandaag verder geëxperimenteerd ging worden met de hellingbaan. De onderzoeker gaf de leerling de opdracht om goede proefjes op te zetten, zodat de leerling zeker weet wat er gebeurt wanneer hij of zij iets aan de hellingbaan veranderd. De leerling kreeg daarbij geen uitleg van de onderzoeker en ontving geen feedback. Na het testen van twee variabelen liet de onderzoeker de leerling heel even stoppen. De onderzoeker hield een kort gesprek met de leerling over hoe het ging en of de leerling het leuk vond. Vervolgens mocht de leerling weer verder met experimenteren. Dit werd gedaan om de condities zo veel mogelijk op elkaar te laten lijken, de directe instructie en productief falen conditie bestonden ook uit twee fases. De tijd die zij bezig mochten zijn met de taak was hetzelfde als die van de directe instructie conditie.

De productief falen conditie

Onderwijs volgens productief falen bevat volgens Kapur en Bielaczyc (2012) vier onafhankelijke kernmechanismes: (1) activatie van voorkennis gerelateerd aan het concept, (2) aandacht voor belangrijke kenmerken van het concept, (3) uitleg en verwerking van deze kenmerken, (4) organisatie en integratie van de kenmerken in het concept. Dit resulteert in een ontwerp met twee fases. In de generatie en exploratiefase kregen leerlingen de kans om verschillende mogelijkheden en beperkingen van de CVS te ontdekken. In de consolidatiefase werd de verkregen kennis vervolgens georganiseerd en geïntegreerd met de gangbare oplossingsmethode. In productief falen onderwijs wordt rekening gehouden met de activiteiten, actieve werkvormen en sociale omgeving. Hier werden de volgende hoofdrichtlijnen uit afgeleid:

1. Creëer probleem-oplossingscontexten waarbij complexe problemen opgelost moeten worden die leerlingen uitdagen, maar niet frustreren.
2. Bied mogelijkheden voor verkenning en verwerking
3. Bied mogelijkheden om de resultaten te vergelijken, tevens met gangbare oplossingsmethodes.

De productief falen conditie bestond uit twee fases. De leerlingen kwamen één voor één bij de onderzoeker. In de eerste fase, de generatie en exploratiefase, werkten leerlingen individueel aan de taak. Deze fase was gelijk aan de ontdekkend leren conditie. Wanneer de leerling klaar was met experimenteren, begon de consolidatiefase. De onderzoeker vroeg aan de leerling of hij of zij wist waar de onderzoeker op lette. De onderzoeker vertelde dat zij naar het experimenteren van leerlingen keek en vroeg of de leerling een idee had hoe er eerlijk geëxperimenteerd kon worden. De onderzoeker vroeg hoe de leerling achter bepaalde dingen was gekomen en vertelde wat de meest gangbare oplossingen waren. Er werd een door de onderzoeker geleide discussie gehouden over de oplossingen die de leerling bedacht had. Leerlingen konden hun resultaten vergelijken met de meest gangbare oplossing en een fictieve leerling. Dit werd gedaan om het onderwijs volgens de richtlijnen van Kapur en Bielaczyc (2012) in te richten, waarbij productief falen altijd in groepsverband wordt gedaan. De onderzoeker liet een aantal experimenten zien en vroeg of dit een goede of slechte test was. De consolidatiefase duurde ongeveer 10 minuten.

Assessmentfase

Gelijk na de trainingsfase werd de nameting afgenomen op precies dezelfde manier als de voormeting. Vervolgens vroeg de onderzoeker de leerling om mee te lopen naar de andere kant van de ruimte waar de gewichten en veren klaar stonden voor de transfertest. De onderzoeker vertelde dat het de bedoeling was om te testen wat de invloed van de verschillende variabelen was op de uitrekking van de veer. De leerling kreeg de opdracht om de verschillende opties op te noemen. Wanneer de leerling iets vergat, hielp de onderzoeker de leerling met het opnoemen. Vervolgens werd aan de leerling gevraagd of hij of zij op een goede manier kon testen wat er gebeurt als er andere veren of gewichten worden gebruikt. Het aantal punten dat een leerling kon verdienen was hetzelfde als bij de hellingbaan, er waren vier variabelen die getest moesten worden. Per goed geteste variabele was 1 punt te verdienen, voor een foute test werden 0 punten gegeven. Ook werd er geen limiet gesteld voor het aantal proefjes wat een leerling mocht doen. Wanneer de leerling alle variabelen getest had, bedankte de onderzoeker de leerling en mocht hij of zij terug naar de klas.

Twee weken later kwam de onderzoeker terug op school en vertelde in de klas dat de leerlingen vandaag nog een keer getest zouden worden. Dit was de retentiemeting. De onderzoeker zat weer in een aparte ruimte en de leerlingen werden één voor één op dezelfde volgorde als vorige keer opgeroepen. De hellingbaan stond op tafel tussen de onderzoeker en

leerling en de leerling werd gevraagd of hij of zij nog herinnerde wat er te veranderen was aan de hellingbaan. Vervolgens werd de leerling gevraagd om op een goede manier te testen wat er gebeurt als de hellingbaan wordt veranderd. De rest van de procedure was gelijk aan die van de nameting. Wanneer de leerling klaar was met de taak ging hij of zij terug naar de klas en werd de volgende opgeroepen. Na het testen van alle leerlingen kwam de onderzoeker terug in de klas en vroeg de leerlingen of zij het leuk hadden gevonden. Er werd verteld dat de onderzoeker de effecten van drie verschillende onderwijsmethoden onderzocht, namelijk directe instructie, ontdekkend leren en productief falen. De onderzoeker legde kort uit wat de onderwijsmethoden ongeveer inhouden en liet de leerlingen per conditie de vingers opsteken. Ten slotte bedankte zij alle leerlingen voor het meedoen.

Resultaten

Uit een Chi-kwadraat toets bleek dat de condities niet significant verschilden in de verdeling van leerlingen van verschillende niveaus, $\chi^2(4, N = 81) = 1.52, p = .823$. Met de voormeting werd onderzocht in hoeverre leerlingen al kennis hadden van de CVS. Verwacht werd dat veel leerlingen de CVS niet uit zichzelf zouden gebruiken en er daarom niet veel hoge voormetingscores zouden zijn. Dit bleek te kloppen, het aantal leerlingen dat op de voormeting al 100% goed scoorde was 7.1% ($n=6$). Leerlingen werden met behulp van matching verdeeld over de condities. Met Univariate Variantie Analyse (ANOVA) werd nogmaals gekeken of er significante verschillen in voorkennis bestonden tussen de drie condities. Dit bleek, zoals verwacht, niet het geval te zijn, $F(2,80) = 0.36, p = .70$, waardoor het niet nodig was om de overige analyses te corrigeren voor voorkennis. Voor de gemiddelde voorkennisscores per conditie, zie Tabel 3. De totale score per conditie is dikgedrukt beschreven.

Tabel 3

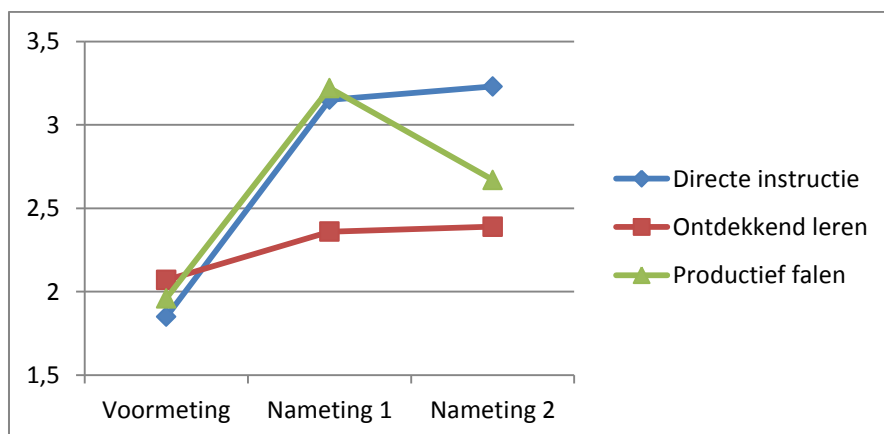
Gemiddelden en standaarddeviaties voor de voor-, na-, retentie- en transfermeting

Meting	Citoscoring	Directe instructie		Ontdekkend leren		Productief falen	
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Voormeting	<i>Bovengemiddeld</i>	1.67	0.82	1.83	0.98	2.11	0.93
	<i>Gemiddeld</i>	1.94	1.00	1.94	0.85	1.71	0.83
	<i>Ondergemiddeld</i>	1.75	0.96	2.67	1.21	2.50	1.73
	Totaal	1.85	0.93	2.07	0.98	1.96	1.02
Nameting	<i>Bovengemiddeld</i>	2.67	1.51	2.67	0.82	3.56	0.53
	<i>Gemiddeld</i>	3.44	0.63	2.19	0.98	3.07	0.92
	<i>Ondergemiddeld</i>	2.75	1.50	2.50	0.84	3.00	1.16
	Totaal	3.15	1.05	2.36	0.91	3.22	0.85
Retentiemeting	<i>Bovengemiddeld</i>	3.00	1.27	3.17	0.75	2.89	1.05
	<i>Gemiddeld</i>	3.31	0.95	2.25	0.78	2.64	1.34
	<i>Ondergemiddeld</i>	3.25	0.96	2.00	1.41	2.25	0.96

	Totaal	3.23	0.99	2.36	0.99	2.67	1.18
Transfermeting	<i>Bovengemiddeld</i>	2.67	1.37	2.50	1.05	2.89	1.17
	<i>Gemiddeld</i>	2.25	1.07	2.31	0.87	2.14	1.10
	<i>Ondergemiddeld</i>	2.50	0.58	2.00	1.10	2.75	1.26
	Totaal	2.38	1.06	2.29	0.94	2.48	1.16
Tijd		6.73	1.73	4.89	1.85	9.33	2.99
trainingsfase							
(minuten)							

In Tabel 3 staan ook de gemiddelde scores op de nameting, retentiemeting, transfermeting en de gemiddelde trainingstijd. De gemiddelde trainingstijd over alle condities was 7 minuten ($SD=2.90$, $max=18$, $min=2$).

Uit QQ plots bleken de scores van de voormeting, de nameting en retentiemeting normaal verdeeld te zijn. Hierdoor was het mogelijk om de toename in kennis van de CVS te analyseren met een mixed-design ANOVA met ‘meetmoment’ als within-subject factor en conditie en Citoscore als between-subject factoren. Een verschil werd als significant beschouwd wanneer zij een p-waarde had van kleiner dan .05. Bij een significant resultaat zijn post hoc analyses uitgevoerd (t-testen met Bonferroni correctie, $\alpha = .025$) om te bepalen welke condities significant van elkaar verschilden.



Figuur 3. Plot van scores per conditie over de drie meetmomenten.

De eerste mixed design ANOVA werd uitgevoerd tussen de voormeting en nameting. Uit de test van het ‘within subjects effect’ bleek dat er een significant verschil was tussen de voormeting en nameting, $F(1,72)=29.53$, $p<.001$. Dit wil zeggen dat de scores op de nameting

significant verschilden van de scores op de voormeting. In Figuur 3 is te zien dat de scores op de nameting hoger lagen dan de scores op de voormeting. De test van ‘between subjects effects’ was niet significant voor conditie, $F(2,72)=1.47$, $p=.24$, en Citoscore, $F(2,72)=0.21$, $p=.81$. Dit wil zeggen dat er geen structureel verschil bestond tussen de condities en tussen de Citoscores. Wel was er een significant interactie effect tussen de conditie en het meetmoment, $F(2,72)=3.21$, $p=.046$. Hieruit blijkt dat de toename in scores niet voor elke conditie even groot was. In Tabel 3 is te zien dat de gemiddelde scores voor de productief falen en directe instructie conditie het hoogst lagen, respectievelijk 3.22 ($SD=.85$) en 3.15 ($SD=1.05$) punten. De Citoscore interacteerte niet significant met het meetmoment, $F(2,72)=1.36$, $p=.26$, en de meetmoment \times conditie \times Citoscore interactie was evenmin significant, $F(4,72)=0.49$, $p=.74$.

Uit de post hoc analyse van het significante interactie effect bleek dat de directe instructie en productief falen conditie niet significant van elkaar verschilden, $t(51)=0.15$, $p=.88$. De ontdekkend leren en productief falen conditie verschilden wel significant van elkaar, $t(52)=2.90$, $p=.01$.

De retentiemeting werd twee weken na de nameting gehouden om te bepalen hoeveel de leerlingen hadden onthouden van de trainingsfase. Ook hier werd met een mixed- design ANOVA gekeken of er een significant verschil bestond tussen de condities wanneer werd gekeken naar de retentie van de CVS. Uit de test van ‘within subjects effect’ bleek dat de scores op beide meetmomenten niet significant van elkaar verschilden, $F(1,72)=0.66$, $p=.42$. De scores op de retentiemeting waren dus niet significant lager dan die op de nameting, wat betekent dat de retentie tamelijk groot was. Uit de test van het ‘between subjects effect’ bleek dat er een significant effect was voor conditie, $F(2,72)=3.16$, $p=.05$. Er was dus wel een structureel verschil tussen de condities; dit viel te verwachten omdat de condities een verschillende score op de nameting hadden. De condities hadden een verschillend vertrekpunt. Tussen het meetmoment en de conditie is wel een trend gevonden, $F(2,72)=2.97$, $p=.058$, wat betekent dat de retentie niet voor elke conditie even groot was. In Figuur 3 is zichtbaar dat de directe instructie en ontdekkend leren conditie redelijk op hetzelfde niveau bleven, maar dat de scores in de productief falen conditie een lichte daling vertoonden. Het ‘between subjects effect’ van Citoscore was niet significant, $F(2,72)=0.83$, $p=.44$. Dat wil zeggen dat er geen structureel verschil is in de niveaus van leerlingen. Tussen het meetmoment en de Citoscore bestond geen interactie, $F(2,72)=0.35$, $p=.71$. De verandering in scores is gemiddeld even groot voor de drie verschillende niveaus van leerlingen. Ten slotte was er geen interactie

tussen het meetmoment, conditie en Citoscore, $F(4,72)=0.81$, $p=.52$.

Uit post hoc analyse bleek dat de leerlingen van de directe instructie conditie een niet significant verschil vertoonden in vergelijking met de leerlingen van de productief falen conditie, $t(51)=1.96$, $p=.06$. Tussen de leerlingen van de productief falen en ontdekkend leren conditie zat ook geen significant verschil, $t(52)=0.13$, $p=.90$.

In de assessmentfase is tevens gekeken of leerlingen de CVS konden toepassen op het testen van de uitrekking van een veer. Dit was de transfermeting. Om te analyseren of de drie condities ook verschilden in transferscores is met een ANOVA gekeken of er een statistisch verschil bestond tussen de drie condities. De gemiddelde score over alle condities op de test was 2.38 punten ($SD=1.04$). De gemiddelde scores verschilden weinig per conditie, zie Tabel 3. De kleine verschillen in gemiddelden bleken niet significant te zijn, $F(2,81)=0.51$, $p=.60$. Dit wil zeggen dat de conditie geen significant effect heeft gehad op de transfer van de CVS: alle drie de condities scoorden vergelijkbaar op de transfertest. Ook de Citoscore had geen significant effect op de transferscores, $F(2,81)=1.26$, $p=.29$. Daarnaast is gekeken of de transferscores per conditie interactie vertoonden met de Citoscores. Er bestond geen significante interactie tussen de conditie en Citoscore van een leerling, $F(4,81)=0.43$, $p=.79$.

Een extra analyse werd gedaan om te kijken of er wel significante verschillen bleken te zijn wanneer alleen leerlingen werden meegenomen die op de nameting al een hoge score hadden gehaald (hoger dan 2 punten). Dit werd gedaan omdat leerlingen een vaardigheid niet kunnen toepassen in een nieuwe situatie als zij die vaardigheid onvoldoende beheersen. De directe instructie conditie haalde gemiddeld 2.43 punten ($SD=1.08$), de ontdekkend leren conditie haalde gemiddeld 2.54 punten ($SD=.88$) en de productief falen conditie haalde gemiddeld 2.50 punten ($SD=1.15$). Maar ook hier waren de verschillen in conditie niet significant, $F(2,54)=0.10$, $p=.91$. De leerwinst op transferscores in een conditie is voor iemand met een laag prestatieniveau niet heel anders dan voor iemand met een hoog prestatieniveau (Tabel 3). Uit de data is dus geen bewijs te vinden dat leerlingen met verschillende prestatieniveaus van bepaalde condities het meest profiteren.

Conclusie en discussie

De vaardigheid om goede experimenten op te stellen is essentieel in wetenschappelijk redeneren. Voor het opstellen van valide experimenten moeten kinderen de ‘control of variables strategy’ (CVS) toepassen. Kinderen leren door de CVS te begrijpen dat zij gestructureerd moeten experimenteren om betekenisvolle resultaten te krijgen. Deze Masterthese poogde een antwoord te geven op de vraag of de productief falen methode voor het leren van de CVS tot betere leeruitkomsten (leerresultaten, retentie en transfer) leidt bij basisschoolleerlingen dan directe instructie of ontdekkend leren. Bovendien is onderzocht of de eventuele effecten van de productief falen methode afhankelijk zijn van het prestatieniveau van de leerlingen.

Verwacht werd dat de leerresultaten hoger zouden zijn voor de leerlingen in de productief falen conditie dan voor leerlingen in de directe instructie of ontdekkend leren conditie. Dit werd verwacht omdat leerlingen zelf experimenteren, en daarmee zelf hun kennis construeren. Aanvullend krijgen leerlingen de benodigde instructie, maar meer just-in-time dan bij directe instructie. Uit studies van Kapur en collega’s (o.a. 2008, 2009) bleek deze aanpak betere leerresultaten op te leveren dan directe instructie. Ook werd verwacht dat de leerlingen in de productief falen conditie hogere leerresultaten zouden hebben dan de leerlingen in de ontdekkend leren conditie. Klahr en Nigam (2004) lieten al eens zien dat meer leerlingen de CVS leerden met directe instructie dan met ontdekkend leren. Als directe instructie hogere leerresultaten opleverde dan ontdekkend leren, dan zou verwacht kunnen worden dat productief falen ook hogere leerresultaten op zou leveren dan ontdekkend leren. Tevens werd verwacht dat het prestatieniveau van een leerling de leeruitkomsten zou beïnvloeden. Maar aangezien er nog weinig eenduidige resultaten zijn behaald over de relatie tussen prestatieniveau en leeruitkomsten (Lorch et al., 2010; Cuevas et al., 2005; Lee et al., 2005) werd er geen specifieke hypothese opgesteld voor welk niveau leerling het meest zou leren van een bepaalde instructievorm. De scores van de nameting waren significant hoger dan de scores van de voormeting. Dat wil zeggen dat alle typen trainingen effect hebben gehad. Uit een nadere analyse bleek dat de leerlingen met productief falen hogere leerresultaten haalden dan de leerlingen met ontdekkend leren. Echter verschilde de productief falen methode niet significant van de directe instructie methode. Deze resultaten komen gedeeltelijk overeen met de eerder opgestelde hypothese, waar verwacht werd dat de leerlingen met productief falen

beter zouden scoren dan de leerlingen met ontdekkend leren, maar ook beter dan leerlingen met directe instructie. Het prestatieniveau van een leerling bleek geen invloed te hebben op de leeruitkomsten van een instructievorm, de drie verschillende prestatieniveaus profiteerden dus evenveel van de trainingsfases. Dit is niet in overeenstemming met de hypothese, waarbij verwacht werd dat het prestatieniveau van een leerling de leeruitkomsten zou beïnvloeden. Hoog of laag presterende leerlingen behaalden dus geen verschillende leeruitkomsten met productief falen.

Ook op de retentiemeting, twee weken later, werd verwacht dat de leerlingen met productief falen het hoogst zou scoren (Kapur, 2008, 2009). Leerlingen met productief falen werden verwacht de CVS het best te kunnen onthouden. Tevens werd weer verwacht dat het prestatieniveau van een leerling de leeruitkomsten zou beïnvloeden (Lorch et al., 2010; Cuevas et al., 2005; Lee et al., 2005). Uit de resultaten bleek dat de scores van de retentiemeting niet significant lager waren dan de scores van de nameting. Er was dus een hoge retentie. Er werden geen significante verschillen gevonden tussen de productief falen, ontdekkend leren en directe instructie methode. Het eerder gevonden verschil was in de twee weken tijd dus verminderd. Wel bleek er een trend te bestaan tussen het meetmoment en de instructievorm. De leerlingen in de directe instructie en ontdekkend leren methode bleven redelijk op hetzelfde scoreniveau, echter daalden de scores van de productief falen methode. De gevonden resultaten op de retentiemeting zijn in strijd met de opgestelde hypothese. Verwacht werd dat de productief falen methode ook twee weken later nog hogere scores zou behalen, maar dit bleek niet het geval te zijn. Ook bij de retentiemeting bleek dat leerlingen van verschillende prestatieniveaus niet beter presteren in het onthouden van de CVS in een bepaalde instructievorm.

In de assessmentfase werd gekeken of leerlingen de CVS ook konden toepassen op een ander domein. Verwacht werd dat de leerlingen met productief falen significant hoger zouden scoren op de mate van transfer dan de leerlingen met directe instructie of ontdekkend leren, doordat zij in de trainingsfase een beter begrip van de CVS hadden gekregen. Alle methodes scoorden vergelijkbaar op de transfertest. Ook deze resultaten zijn in strijd met de opgestelde hypothese. De mate van transfer werd dus niet beïnvloed door een bepaalde instructievorm. Ten slotte bleek dat de transfer in een bepaalde methode voor iemand met een laag prestatieniveau niet heel anders is dan voor iemand met een hoog prestatieniveau. Kortom is

uit de data is geen bewijs te vinden dat leerlingen met verschillende prestatieniveaus van een bepaalde instructievorm het meest leren.

Het doel van dit onderzoek was om meer informatie te verschaffen over welke instructiemethode het meest geschikt is om de CVS aan basisschoolleerlingen te leren. Het werd verwacht dat de resultaten uit het onderzoek van Kapur (2008, 2009, 2010) te generaliseren waren naar het leren van de CVS, omdat basisschoolleerlingen in staat blijken te zijn om de CVS te leren (Matlen & Klahr, 2012). Uit dit onderzoek blijkt dat basisschoolleerlingen inderdaad goed in staat zijn om de CVS te leren. De scores op de nameting zijn immers significant hoger dan op de voormeting. Echter kwamen de leerresultaten van productief falen niet overeen met dit onderzoek. Mogelijke verklaringen hiervoor worden in de discussie genoemd. Een ander vernieuwend aspect tussen dit onderzoek en dat van Kapur (2008, 2009, 2010) is de leeftijdsgroep van de respondenten. Kapur heeft zich veelal gericht op middelbare scholieren (14-15 jaar), terwijl dit onderzoek zich richt op basisschoolleerlingen (10-12 jaar). Verwacht werd dat het leeftijdsverschil de leeruitkomsten van productief falen niet zou beïnvloeden, omdat de procedure en materialen zijn aangepast voor jongere kinderen. De leerlingen met productief falen hadden op de nameting betere leerresultaten dan de leerlingen met ontdekkend leren, maar dat leidde niet tot betere retentie of transfer. Er is niet met zekerheid te zeggen of de behaalde resultaten beïnvloed zijn door de jongere leeftijd.

Net als in het onderzoek van Matlen en Klahr (2012) blijkt dat productief falen niet de beste methode is om de CVS aan basisschoolleerlingen te leren. Vanaf een grote afstand kan gezegd worden dat het erop lijkt dat de volgorde van instructie, experimenteren – instructie of instructie – experimenteren, niet uitmaakt voor de effectiviteit van de instructiemethode. Ook uit het onderzoek van Kester, Kirschner en Van Merriënboer (2006) bleek dat het just-in-time aanbieden van informatie niet nodig was. Maar om hier betrouwbare uitspraken over te doen zou het onderzoek herhaalt moeten worden met exact dezelfde instructies. Het aanbieden van declaratieve informatie, bijvoorbeeld feiten en mogelijke oplossingen, was in het onderzoek van Kester, Kirschner en Van Merriënboer (2006) verwacht het meest efficiënt te zijn voorafgaande aan de taak. Het aanbieden van procedurele informatie, hoe iets werkt, zou het beste werken tijdens de taak. Hier werd geen bewijs voor gevonden, de volgorde waarin instructie of een procedure wordt aangeboden leek geen invloed te hebben op de effectiviteit. Een mogelijke verklaring waarom het aanbieden van informatie just-in-time niet noodzakelijk

is in dit onderzoek, is het soort materialen dat gebruikt werd. Ten eerste was declaratieve informatie wellicht minder nodig doordat er relatief makkelijke materialen werden gebruikt. Kinderen wisten vaak al hoe zij de materialen konden gebruiken en wat voor uitkomsten zij zouden krijgen. Ten tweede hebben kinderen bepaalde voorkennis over een domein (Croker & Buchanan, 2011). Pas bij onjuiste of verrassende resultaten zullen kinderen gaan nadenken waarom zij die resultaten krijgen. Dit soort resultaten werden niet altijd door de leerling verkregen, waardoor de leerling ook geen impliciete feedback kreeg om de procedure te overdenken.

Er zijn echter een aantal redenen waardoor er aan de zekerheid van de resultaten tussen directe instructie en productief falen getwijfeld kan worden. Zoals in de inleiding al werd genoemd, zijn kinderen meer succesvol in het toepassen van een vaardigheid wanneer zij actief betrokken worden bij het ontdekken van die vaardigheid (Jacoby, 1978; McDaniel & Schlager, 1990). De directe instructie conditie was in dit onderzoek redelijk actief in vergelijking met klassikale directe instructie, omdat de onderzoeker één op één met een leerling bezig was. De leerlingen mochten zelf een aantal experimenten uitvoeren met aanwijzingen van de onderzoeker. Wanneer directe instructie klassikaal wordt aangeboden, zijn leerlingen vaak passiever dan nu het geval was en kunnen de leerprestaties lager zijn. Dit bleek ook uit het onderzoek van Lazonder en Egberink (2014) waarin directe instructie tot relatief lage leerresultaten van de CVS leidde in vergelijking met taak structurering en een controle groep. Kinderen uit de directe instructie groep gebruikte de CVS wel, maar hadden geen goed begrip gekregen wanneer zij de strategie konden toepassen. Individuele uitleg zou geschikter zijn om de CVS te leren (Lazonder & Egberink, 2014). Een tweede reden is dat kinderen soms niet de benodigde voorkennis hebben om de gehele uitleg en de te leren vaardigheid te begrijpen tijdens directe instructie (Kapur & Bielaczysz, 2012; Schwartz & Martin, 2004). De materialen die in deze studie werden gebruikt, zijn relatief eenvoudig te begrijpen zonder veel voorkennis (de hellingbaan en uitrekking van een veer). In dit geval is het dus mogelijk dat leerlingen de benodigde voorkennis al hadden, omdat het redelijk voorspelbare materialen waren. Leerlingen weten vaak al wat er gebeurt als de hellingbaan hoger wordt gezet of als er een zwaarder gewicht wordt gebruikt. Daardoor is het leren van de CVS via een hellingbaan geschikter voor directe instructie, dan wanneer materialen gebruikt zouden worden waarbij de voorkennis ontbreekt. Wanneer de voorkennis ontbreekt, worstelen leerlingen meer met de leerstof en is productief falen wellicht geschikter. Ten derde is het een mogelijkheid dat de gebruikte materialen niet geschikt zijn voor de productief falen methode.

De behaalde resultaten van Kapur en collega's (2008, 2012) zijn meestal verkregen door het laten oplossen van moeilijke wiskunde sommen. De leerling laten vastlopen, falen, was met de hellingbaan en gewichten en veren vaak niet aan de orde. De materialen waren makkelijk te begrijpen, waardoor kinderen eigenlijk altijd een proefje konden uitvoeren. De kans op het opmerken van een fout was niet zo groot. Leerlingen kregen door te experimenteren met de materialen vaak geen verrassende of onjuiste resultaten, hierdoor kregen zij geen directe feedback op het CVS gebruik. In de onderzoeken van Kapur (2008, 2009) kregen de leerlingen wel directe feedback door de materialen, want dan werd de oplossing van de som niet gevonden. De CVS leren door de strategie zelf te ontdekken is daarom lastiger dan het oplossen van wiskunde sommen. Ten vierde is het experimenteren in de generatiefase een essentieel onderdeel voor productief falen. Leerlingen begonnen in week 1 met een voormeting, waarbij zij zelf proefjes mochten opstellen met de hellingbaan. In week 2 werd verder gegaan met de trainingsfase. Een groot deel van de leerlingen wist in week 2 nog goed hoe de hellingbaan werkte en wat er uit de experimenteerfase kwam. Daardoor hadden de leerlingen in de directe instructie conditie ook een soort experimenteerfase voor de instructie, maar dan met een week ertussen. Ook Lorch et al (2010) noemden dit effect, uit hun onderzoek bleek tevens dat de voormeting een effect had op de leerresultaten. Echter is dit niet te voorkomen, omdat er wel een voormeting gedaan moet worden om de leerwinst te onderzoeken. Het effect had wellicht verminderd kunnen worden door een langere 'wash out' periode. Ten slotte is een verklaring dat de productief falen methode in dit onderzoek teveel verschilde van de productief falen methode in de studies van Kapur en collega's (2008, 2009). Niet alle kenmerken van productief falen komen overeen in dit onderzoek. Er was bijvoorbeeld gekozen om individueel met een leerling te werken in plaats van in groepjes. Dit werd gedaan omdat anders in de directe instructie en ontdekkend leren methode ook met groepjes gewerkt moest worden. Dit zou de vergelijking tussen de methodes minder betrouwbaar maken. Ook zou het moeilijker worden om de resultaten, die verkregen zijn tijdens het werken in groepjes, te vergelijken met ander onderzoek. Wel is er een fictieve leerling in de consolidatiefase van productief falen gebruikt. Misschien zorgt het werken in groepjes voor andere gesprekken dan wanneer het experimenteren van een fictieve leerling beoordeeld moet worden. Bijvoorbeeld het expliciet maken van kennis of het opvullen van ontbrekende kennis bij medeleerlingen. Dus wanneer faalt productief falen mogelijk? Wellicht zijn het gebruiken van groepjes, ingewikkelde leerstof en het ontbreken van voorkennis elementen die noodzakelijk zijn voor het slagen van productief falen.

Een advies voor vervolgonderzoek is het herhalen van het onderzoek met dezelfde methodes, maar met andere materialen dan een hellingbaan of gewichten en veren. Misschien is productief falen meer geschikt voor ingewikkeldere materialen, zodat leerlingen een grotere kans hebben om vast te lopen. Basisschoolleerlingen blijken immers wel in staat te zijn om de CVS te leren. Een andere suggestie zou kunnen zijn om meer in te zoomen op vanaf welke leeftijd kinderen de CVS kunnen leren. Misschien leren jongere kinderen de CVS niet door het volledig zelf opzetten van experimenten, maar bijvoorbeeld door het laten kiezen van het goede experiment. Door meer te kijken naar leeftijdsspecifieke kenmerken ontstaat er meer duidelijkheid over vanaf welke leeftijd de CVS het beste geïntroduceerd kan worden. Ten derde is het aan te bevelen om te kijken naar affectieve en motivationele aspecten. Leerlingen wekten de indruk het fijn te vinden om met de productief falen methode te werken. Het eerst zelf aan de slag gaan en daarna instructie krijgen, leek goed te passen bij het denkproces van kinderen. De indruk werd gewekt dat leerlingen het werken met de productief falen methode als fijner ervoeren dan de directe instructie methode. Wellicht voelden kinderen zich minder beperkt, doordat leerlingen zelf handelingen mochten uitvoeren en aan het denken werden gezet. Aanvullend onderzoek kan achterhalen hoe leerlingen het werken met beide methodes ervaren. Ten vierde daalde de retentiescores van de leerlingen met productief falen iets ten opzichte van de nameting. Daarom is het misschien nodig om leerlingen die met productief falen hebben gewerkt nogmaals te ondersteunen in de retentie van de CVS. Een aanvullend onderzoek zou kunnen gaan over het plannen van een oefenmoment één week na de trainingsfase, wellicht levert dat een hogere retentie op. Ten slotte zou het een toegevoegde waarde zijn wanneer huidig onderzoek nogmaals uitgevoerd zou worden, maar dan in een meer natuurlijke omgeving. Een klas bestaat vaak uit ongeveer 30 leerlingen. De leerkracht heeft niet altijd tijd om in een afgezonderde ruimte één op één met een leerling aan de slag te gaan. Daarom zou er ook naar de uitkomsten gekeken kunnen worden wanneer deze in het klaslokaal worden behaald. Wellicht is het leren van de CVS in groepjes binnen een klas meer realistisch dan het één op één trainen van een leerling. De vertaling naar de praktijk zou dan makkelijker gemaakt kunnen worden. Echter blijkt uit het onderzoek van Lazonder en Egberink (2014) dat klassikale methodes minder effectief blijken te zijn.

Uit de conclusie van dit onderzoek zijn een aantal praktische implicaties voor het basisonderwijs af te leiden. Ten eerste blijken leerlingen genoeg vaardigheden te hebben om de CVS te leren. Leerlingen haalden door een training betere leerresultaten en leken de werking van de CVS te snappen. Het bezig zijn met experimenteren in Wetenschap en

Techniek vakken hoeft bijvoorbeeld niet uitgesteld te worden tot de middelbare school. Kinderen gaven de indruk met veel plezier bezig te zijn met het doen van experimenten en leerden, mits voldoende begeleid, er veel van. Ten tweede lijken de resultaten van het onderzoek te suggereren dat de volgorde van experimenteren en instructie niet uitmaakt. De leerkracht heeft dus de keuze om te bepalen wat goed bij zijn les past. Er kan gelijk worden begonnen met een instructiemoment en daarna een experimenteerfase of eerst een experimenteerfase en vervolgens een instructiemoment. Tevens kan de groep in kleinere groepen opgesplitst worden, waarbij de groepen één voor één instructie krijgen. Ten slotte is productief falen een methode die goed past bij het uitvoeren van Wetenschap en Techniek vakken, maar op voorwaarde dat leerlingen kunnen vast lopen met de materialen of verrassende resultaten krijgen. Het is belangrijk dat leerlingen feedback krijgen over of zij op een goede manier bezig zijn. Als zij geen fouten kunnen maken en de materialen altijd werken, is het lastig voor kinderen om te begrijpen dat zij hun denkwijzen moeten aanpassen. Het niet toepassen van de CVS zou dus eigenlijk tot falen moeten leiden. Dit zou bijvoorbeeld kunnen door het opstellen van een controlekaart met antwoorden. Als de leerling direct feedback krijgt op het verkregen resultaat weet de leerling of hij of zij op het juiste spoor zit. Ook scheikundige experimenten, waarbij de stof bijvoorbeeld niet de juiste kleur krijgt, of het programmeren van elektrische schakelingen, de robot loopt niet of de verkeerde kant op, zijn mogelijkheden om verrassende resultaten te verkrijgen bij onjuiste toepassing van de CVS. Het blijkt dus dat productief falen met enige zorg moet worden toegepast, immers kan ook productief falen soms falen.

Literatuurlijst

- Alfieri, L., Brooks, P.J., Aldrich, N.J. & Tenenbaum, H.R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of educational psychology*, 103, 1, 1-18.
- Bjork, E. & Bjork, R. (2009). Making things hard on yourself, but in a good way: Creating desirable difficulties to enhance learning. *Psychology and the real world*, 55-64.
- Bredderman, T. (1983). Effects of activity-based elementary science on student outcomes: A quantitative synthesis. *Review of Educational Research*, 53, 499–518.
- Carey, S. 1984. *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Children's acquisition of the control of variables strategy. *Child Development*, 70, 1098 -1120.
- Chi, M. T. H., Glaser, R., & Farr, M. J. (1988). *The nature of expertise*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cotton, K. & Wikelund, K.R. (2001). *Parent involvement in education*. School Improvement Research Series. Portland.
- Cuevas, P., Lee, O., Hart, J. & Deaktor, R. (2005). Improving science inquiry with elementary students of diverse backgrounds. *Journal of research in science teaching*, 42, 3, 337-357.
- Crocker, S., & Buchanan, H. (2011). Scientific reasoning in a real-world context: The effect of prior belief and outcome on children's hypothesis-testing strategies. *British Journal of Developmental Psychology*, 29(3), 409–424. doi: 10.1348/026151010X496906
- Dean, D., & Kuhn, D. (2006). Direct instruction vs. discovery: The long view. *Science Education*, 91, 84- 397.
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H., & Briggs, D. C. (2012). Experimental and quasi-experimental studies of inquiry-based science teaching a meta-analysis. *Review of Educational Research*, 82, 300-329.
- Gopnik, A. (2012). Scientific thinking in young children: theoretical advances, empirical research and policy implications. *Science*, 337, 6102, 1623-1627.
- Jacoby, J. (1978). On interpreting the effects of repetition: Solving a problem versus remembering a solution. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 17, 649–667.
- Kapur, M. (2008). Productive failure. *Cognition and Instruction*, 26, 379–424.

- Kapur, M., Dickson, L. & Yhing, T.P. (2009). Productive failure in mathematical problem solving. *Instructional Science*, 38, 1717-1722.
- Kapur, M. (2010). A further study of productive failure in mathematical problem solving: Unpacking the design components. *Instructional Science*, 39, 561–579.
doi:10.1007/s11251-010-9144-3.
- Kapur, M. & Bielaczyc, K. (2012). Designing for productive failure. *Journal of learning sciences*, 21, 1, 45-83.
- Kapur, M. & Rummel, N. (2012). Productive failure in learning from generation and invention activities. *Instructional Science*, 40, 645-650.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86.
- Klahr, D., & Carver, S. M. (1988). Cognitive objectives in a LOGO debugging curriculum: Instruction, learning, and transfer. *Cognitive Psychology*, 20, 362–404.
- Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: Effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15, 661–667.
- Kester, L., Kirschner, P.A., & Van Merriënboer, J.J.G. (2006). Just-in-time information presentation: Improving learning a troubleshooting skill. *Contemporary Educational Psychology*, 31, 167- 185.
- Kuhn, D., Garcia-Mila, M., Zohar, A., & Andersen, C. (1995). Strategies of knowledge acquisition. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 60, 1–128.
- Lazonder, A.W. & Kamp, E. (2012). Bit by bit or all at once? Splitting up the inquiry task to promote children’s scientific reasoning. *Learning and instruction*, 22, 6, 458-464.
- Lazonder, A.W. & Egberink, A. (2014). Children’s acquisition and use of the control-of-variables strategy: effects of explicit and implicit instructional guidance. *Instructional Science*, 42, 291-304.
- Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2014). *Meta-analysis of inquiry-based learning: Effects of guidance*. Manuscript submitted for publication.
- Lee, H.S., Anderson, A., Betts, S. & Anderson, J.R. (2011). When does provision of instruction promote learning? Online verkregen van <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED542029.pdf> op 24-1-2015 op 17-6-2015.
- Lee, O., Buxton, C., Lewis, S. & LeRoy, K. (2005). Science inquiry and student diversity: Enhanced abilities and continuing difficulties after an instructional intervention. *Journal of research in science teaching*, 43, 7, 607-636.

- Lorch, R.F., Lorch, E.P., Calderhead, W.J., Dunlap, E.E., Hodell, E.C. & Dunham Freer, B. (2010). Learning the control of variables strategy in higher and lower achieving classrooms: Contributions of explicit instruction and experimentation. *Journal of Educational Psychology*, *102*, 1, 90-101.
- Matlen, B.J. & Klahr, D. (2013). Sequential effects of high and low instructional guidance on children's acquisition of experimentation skills: Is it all in the timing? *Instructional Science*, *41*, 621-634.
- Mayer, R.E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? *American Psychologist*, *59*, 14–19.
- McDaniel, M.A., & Schlager, M.S. (1990). Discovery learning and transfer of problem-solving skills. *Cognition and Instruction*, *7*, 129–159.
- Minner, D.D., Levy, A.J. & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction – what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, *47*, 474-496. Doi: 10.1002/tea.20347
- National Research Council (NRC). 2001. *Knowing what students know*. Washington, DC: National Academies Press.
- NSTA (2009). Parent involvement in science learning. Verkregen van <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED520334.pdf> op 5-1-2015.
- Piaget, J. (1970). *Piaget's theory*. In P. Mussen (Ed.), *Carmichael's manual of child psychology* (Vol. 1, pp. 703–772). New York: John Wiley & Sons.
- Piekny, J. & Maehler, C. (2013). Scientific reasoning in early and middle childhood: The development of domain-general evidence evaluation, experimentation and hypothesis generation skills. *British Journal of Developmental Psychology*, *31*, 153-179.
- Schauble, L. (1996). The development of scientific reasoning in knowledge-rich contexts. *Developmental Psychology*, *32*, 102–119.
- Schwartz, D. L., & Bransford, J. D. (1998). A time for telling. *Cognition and Instruction*, *16*, 475–522.
- Schwartz, D. L., & Martin, T. (2004). Inventing to prepare for future learning: The hidden efficiency of encouraging original student production in statistics instruction. *Cognition and Instruction*, *22*, 129–184.
- Sodian, B., Zaitchik, D. & Carey, S. (1991). Young children's differentiation of hypothetical beliefs from evidence. *Child development*, *62*, 4, 753-766.
- Stohr-Hunt, P.M. (1996). An analysis of frequency of hands-on experience and science achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, *33*, 101–109.

- Strand-Cary, M. & Klahr, D. (2008). Developing elementary science skills: Instructional effectiveness and path independence. *Cognitive development*, 23, 488-511.
- Tobias, S., & Duffy, T. M. (2010). *Constructivist instruction: Success or failure*. New York, NY: Routledge.
- VanLehn, K., Siler, S., Murray, C., Yamauchi, T., & Baggett, W. B. (2003). Why do only some events cause learning during human tutoring? *Cognition and Instruction*, 21(3), 209– 249.
- Yin, Y., Tomita, M.K. & Shavelson, R.J. (2008). Diagnosing and dealing with student misconceptions: floating and sinking. *Science Scope*, 31, 34-39.
- Zohar, A., & David, A. B. (2008). Explicit teaching of meta-strategic knowledge in authentic classroom situations. *Metacognition Learning*, 3, 59–82.