

# De meerwaarde van het experimenteren met echte materialen bij onderzoekend leren op de basisschool

---

Thema afstudeerspecialisatie: Instructie, Leren & Ontwikkeling



Sandra Ehrenhard: s1020528

Bachelorthese Psychologie

Faculteit der Gedragwetenschappen

Eerste begeleider en beoordelaar: Ard Lazonder

Tweede begeleider en beoordelaar: Pascal Wilhelm

Eindversie these 28 augustus 2012

## Samenvatting

Leerlingen kunnen al op jonge leeftijd eenvoudige experimentjes uitvoeren. Het maakt hierbij over het algemeen geen verschil voor het leren of leerlingen deze proefjes met echte materialen uitvoeren of met een computersimulatie. Uit onderzoek van Klahr, Triona en Williams (2007) bleek bijvoorbeeld dat de tastbaarheid van materialen geen invloed heeft op leerprestaties en het vertrouwen in gevonden resultaten. Bovendien blijken leerlingen geen voorkeur te hebben voor het daadwerkelijk meemaken van een fenomeen ten opzichte van het werken met een simulatie van dat fenomeen (Carlsen & Andre, 1992). Deelnemers begrepen een onderwerp sneller aan de hand van een actieve houding dan door middel van passieve observatie (James, Humphrey & Vilis, 2002). Ook beïnvloeden de waarnemingen van kinderen de geloofwaardigheid van hun eigen verklaringen (Motzkau, 2011). Bij deze onderzoeken ging het echter om het leren van nieuwe onderwerpen: of de resultaten ook gelden wanneer leerlingen misconcepties hebben over een bekend onderwerp is nog niet eerder onderzocht. Deze constatering vormde de aanleiding voor het huidige onderzoek. De onderzoeksvraag luidde als volgt: *‘Welke invloed hebben het gebruik van reële dan wel virtuele materialen en het zelf uitvoeren dan wel laten uitvoeren van een proef op de geloofwaardigheid van de uitkomsten en de kans op conceptual change?’*

Om een antwoord op deze vraag te vinden hebben 60 basisschoolleerlingen uit groep 6 en 7 geëxperimenteerd met verschillende soorten ballen. Daarbij moesten zij onderzoeken hoe drie variabelen (gewicht, omvang en hoogte) de valsnelheid van de bal beïnvloedden. De leerlingen zijn over drie condities verdeeld: (1) echte materialen en zelf de proef uitvoeren; (2) echte materialen en de proefleider voert de proef uit en (3) zelf experimenteren met een computersimulatie.

Uit de resultaten bleek dat er een significant verschil was tussen de scores op de natoets. Leerlingen uit conditie 1 scoorden significant hoger dan leerlingen uit conditie 2 en 3. Ook werden misconcepties over het onderwerp gewicht het meest gecorrigeerd in conditie 1. Op het aspect geloofwaardigheid hebben alle leerlingen een positieve score behaald: zij waren zeker van hun zaak en ervan overtuigd dat hun gegeven antwoorden op de natoets juist waren.

Op basis van de resultaten kan de conclusie worden getrokken dat het zelf werken met echte materialen de meest gunstige uitwerking heeft op het bijschaven van een misconceptie. In vervolgonderzoek zou kunnen worden onderzocht of de geloofwaardigheid van de leerling wel varieert, waarbij gebruik wordt gemaakt van een Likert schaal. Ook zouden misconcepties op andere taken kunnen worden onderzocht.

## Summary

From a young age, students are able to perform simple experiments. Generally, there is no difference in learning performance when performing the experiments with real materials or with a computer simulation. Research by Klahr, Triona and Williams (2007) showed that the tangibility of the materials has no effect on the children's learning performance and their confidence. Furthermore, children do not prefer experiencing a phenomenon over working with a simulation of that phenomenon (Carlsen & Andre, 1992). Research showed that when participants actively participated in experiments, this has a positive effect on the study: participants understood a subject quicker when they had an active attitude than through passive observation (James, Humphrey & Vilis, 2002). Other research showed how perceptions of children influence their own credibility in the statements (Motzkau, 2011). However, these experiments were about learning new subjects. Whether the results apply when students from primary school have misconceptions about known subjects has not been studied yet. This observation formed the basis for the current study. The research question was: *'What is the influence of using real versus virtual materials when participating in (or being shown) an experiment on the credibility of the results and the chance of conceptual change?'*

To find an answer to this question, 60 young Dutch students aged 10-11 experimented with different types of balls. The children had to investigate how the three variables (weight, size and height) influenced the dropping speed of the balls. The students were divided into three conditions: (1) real materials and personally performing the task; (2) real materials and having an experimenter performing the task and (3) personally performing the task by using a computer simulation. Before starting the task, all participants predicted the falling speed of the balls. After completing the task, they reported their actual observations.

Results showed that there was a significant difference between the conditions on a post-test compared with a pre-test. Students from the first condition scored significantly higher than students from conditions 2 and 3. Misconceptions about the weight were corrected most often in condition 1. There were no differences between the conditions for credibility: all seemed confident that their answers on the post-test were correct.

Based on these results, it can be concluded that personally working with actual materials is the most effective way of correcting misconceptions. Future research could find out if students' credibility varies when using a Likert scale. Also, misconceptions on other tasks can be examined.

## **Inhoud**

1. Inleiding	5
1.1 Aanleiding van het onderzoek	5
1.2 Onderzoeksopzet en hypothesen	11
2. Methode	14
2.1 Participanten	14
2.2 Materialen	14
2.2.1. Voortoets	14
2.2.2. Experimenteermateriaal	14
2.3 Procedure	17
2.4 Data-analyse	19
3. Resultaten	21
4. Conclusie en discussie	25
Referenties	29
Bijlage I: Voortoets	33
Bijlage II: Observatieformulier	34

## 1. Inleiding

### 1.1 Aanleiding van het onderzoek

Vaak zijn de overtuigingen van kinderen over de wereld om hen heen niet helemaal juist. Zo geloven zij bijvoorbeeld dat grote objecten sneller zinken dan kleine objecten (Kloos & Somerville, 2001). Al op zeer jonge leeftijd komen kinderen in situaties terecht waarbij zij hun academische vaardigheden moeten inzetten: de vaardigheden die een systematische manier van denken bevorderen en een bepaalde stelling ondersteunen door middel van argumenten. Het beredeneren of onderzoeken welke objecten sneller zinken is hier een voorbeeld van. Vaak zijn deze academische vaardigheden nog niet volledig ontwikkeld. Academische vaardigheden die ver ontwikkeld zijn leiden tot een succesvol dagelijks leven (Zeineddin & Abd El-Khalick, 2010). De academische vaardigheden zijn in te delen in verschillende academische competenties. Met name de academische competenties als inzichten verkrijgen en onderzoek doen dragen bij aan een succesvol dagelijks leven. Dit succes geldt ook voor het opnemen van voorbeeldfuncties zoals ouders. Gedurende de jonge jaren gebruiken schoolgaande kinderen deze vaardigheden, waarbij ze onder andere redeneren op basis van hun zelf ontwikkelde modellen over een onderwerp (Amsel & Brock, 1996). Deze modellen die het leven van jonge kinderen vergemakkelijken op het gebied van beelden die zij hebben over fenomenen worden *naive models* genoemd. Oftewel: de naïeve, ongekunstelde ideeën over objecten en verschijnselen in de natuurlijke wereld.

Er is veel onderzoek gedaan naar *naive models*. Callison (1993) veronderstelt dat *naive models* mentale representaties zijn die een rol kunnen spelen bij het wetenschappelijk redeneren. Volgens Callison stellen mensen reeds in gedachten modellen samen om bepaalde zaken te begrijpen, die nog niet direct geobserveerd kunnen worden. Wanneer deze mentale modellen eenmaal zijn gecreëerd, kunnen ze worden aangepast wanneer bijvoorbeeld een waarneming van een verandering plaatsvindt: het model wordt dan gecorrigeerd. Vosniadou (1994) stelt dat er ook aanpassingen kunnen plaatsvinden door eenvoudige toevoegingen van nieuwe informatie aan een bestaand model. Panagiotaki, Nobes en Banerjee (2006) hebben een soortgelijke kijk op *naive models*: het stapsgewijs toevoegen van informatie aan het bestaande model leidt tot een nieuw model. Volgens hen hebben kinderen geen vooropgezette ideeën over natuurlijke begrippen als de aarde: zij weten nog niet wat dit concept inhoudt en hebben dus onvoldoende wetenschappelijke kennis over het onderwerp. Ook sluit de overtuiging van Amsel en Brock (1996) aan op de voorgaande inzichten. Zij stellen dat kinderen snel geneigd zijn om modellen of theorieën te creëren die niet of nauwelijks

aansluiten op de werkelijkheid wanneer er geen voorkennis of andere overtuiging aanwezig is. Wanneer zij steeds meer waarnemen uit de omgeving, worden deze observaties aangepast in de modellen. Bij kinderen speelt dus de ervarenheid een rol: hoe meer correcte waarnemingen, des te meer modellen die steeds beter aansluiten op de omgeving. Onervarenheid en gebrek aan metacognitieve kennis leidt tot risicovolle beslissingen en slechte wetenschappelijke conclusies.

Driver, Guesne en Tiberghien (1985) hebben *naive models* van de natuurlijke wereld onderzocht bij kinderen. Hierbij werd een afgebakend domein van de natuurlijke wereld gekozen, zoals licht, warmte of elektriciteit. Aan de kinderen werden vervolgens gestructureerde vragen gesteld om hun opvattingen over het gekozen domein te achterhalen. Hierbij werd geprobeerd om vragen te vermijden die al iets los zouden laten over de volwassen wetenschappelijke theorie ervan. Dit onderzoek heeft interessante uitkomsten opgeleverd. Zo bleek bijvoorbeeld dat kinderen zich gedragen als ‘kleine wetenschappers’ en hun eigen *naive models* van de natuurlijke wereld ontwikkelen. Dit bleek ook uit het onderzoek van Vosniadou en Brewer (1994). Zij vroegen drie kinderen van verschillende leeftijden wat er gebeurt met de zon wanneer deze in de nacht verdwijnt. De antwoorden hierop waren: “De zon verdwijnt in de ruimte, als het donker wordt verdwijnt de zon in de ruimte (7 jaar),” “De zon gaat onder de aarde bij China, want als wij dag hebben, dan heeft China nacht, en andersom, ze wisselen van plek (10 jaar)” en “Aan de andere kant van de aarde. Want als het nacht wordt, gaat daar de zon op en dan is het daar dag, want de aarde draait rond. De aarde beweegt, de zon beweegt niet (10 jaar).” Op basis van deze verscheidenheid aan antwoorden werd geconcludeerd dat zelfs jonge kinderen wetenschappelijke theorieën ontwikkelen om hun eigen kijk op de wereld voor zichzelf gemakkelijker te maken. Er zijn dus argumenten te noemen voor de psychologische realiteit van mentale modellen. Het lijkt enerzijds dat mentale modellen worden beperkt door voorafgaande overtuigingen. Aan de andere kant kunnen mentale modellen gezien worden als zaken die de interpretatie van nieuwe informatie in het conceptuele systeem beperken.

Piaget (Ginsburg & Opper, 1979; Flavell, 1977) zag het kind als een actieve onderzoeker van de wereld en onderscheidde een aantal fasen in de cognitieve ontwikkeling. De kinderen die deel hebben genomen aan het voorgaande onderzoek kunnen geplaatst worden in één van de verschillende fasen van Piaget, namelijk de concrete operationele fase (ca. 7 – 11 jaar). In deze fase is er een belangrijk omslagpunt in de cognitieve ontwikkeling: kinderen ontwikkelen begrip van conservatie en ruimtelijk denken en creëren *cognitive maps*.

Dit zijn mentale representaties die bijdragen aan het leerproces. De bekwaamheid die kinderen in het concreet operationeel denken nog niet beheersen, is het abstracte denken. Het gemis hiervan is ook waar te nemen in het onderzoek van Vosniadou en Brewer (1994). De kinderen begrijpen dat er een zon en een aarde bestaan en stellen op basis van hun eigen waarnemingen vast dat de zon aan het einde van de dag verdwijnt: het wordt donker. Op deze manier hebben zij hun eigen theorie gevormd over wat er gebeurt wanneer de zon in de nacht verdwijnt, de kinderen kunnen dit echter nog niet dusdanig toepassen dat het aansluit op de bestaande wereld. Wanneer zij aannemen dat het donker wordt, en de zon dus is verdwenen, is het nog lastig om zeker te zijn van hun argumentatie. Zij concluderen dus niet wat er daadwerkelijk gebeurt wanneer de zon ondergaat. De kinderen houden vast aan de concrete situatie: het is donker, dus de zon is verdwenen. Wanneer de ontwikkeling heeft plaatsgevonden van het abstracte, wetenschappelijke en systematische denken, bevindt een kind zich in de hierop volgende fase. Leerlingen in deze fase zouden het verdwijnen van de zon wanneer het nacht wordt kunnen verklaren door bijvoorbeeld te stellen dat overdag de zonnestrallen het land bereiken, maar door een draaiing van de aarde om de zon heen het land in een soort schaduw komt en het dus nacht wordt. Deze fase is de formele operationele fase (11 jaar en ouder). Een aanname in Piaget's *cognitive-developmental theory* is dat kinderen kennis actief structureren en manipuleren wanneer zij de wereld ontdekken (Berk, 2006). Dit is duidelijk terug te zien in *naive models*: het onderzoek van Vosniadou en Brewer wijst uit dat kinderen actief bezig zijn een wetenschappelijke theorie te vormen en deze aanpassen wanneer uit waarnemingen blijkt dat deze niet in overeenstemming is met de werkelijkheid. Kinderen hebben dus al in hun gedachten een model gevormd om de zonsondergang te begrijpen. De zonsondergang valt niet direct te observeren, maar door de eigen gevormde wetenschappelijke theorie is het begrijpen ervan voor kinderen een stuk aannemelijker.

Een andere, recente benadering over *naive models* komt van Kloos (2007). In voorgaande onderzoeken zijn *naive models* van kinderen vaak bestudeerd als op zich zelf staande opvattingen. Kloos onderzocht of kinderen deze afzonderlijke overtuigingen samenvoegen tot grotere eenheden, 'Gestalten' genoemd. Aan de hand van deze Gestalten zou men bijvoorbeeld kunnen afleiden hoe de massa van een object betrekking heeft op zinksnelheid. Het patroon dat in dit onderzoek gebruikt werd, wordt ook wel *logical congruence* genoemd. Het houdt in dat verschillende standpunten die reeds zijn geleerd, op zo'n manier worden samengevoegd dat het op een consistente manier kan worden gebruikt. In het onderzoek zijn twee groepen vergeleken. De ene groep had voorkennis over bepaalde

onderwerpen, de andere groep niet. Uit de resultaten bleek dat voor zowel proefpersonen met voorkennis als proefpersonen zonder voorkennis de voorkeur uitging naar het congruent weergeven van informatie, zelfs na aanbieding van een reeks incongruente informatie. Kinderen proberen dus stukken informatie te koppelen tot een groter geheel: zelfs als het tot fouten leidt. Zo kunnen problemen worden verklaard omtrent het leren van ‘onbestemde’ begrippen als ‘dichtheid’.

De ontwikkeling van conceptuele kennis kan plaatsvinden aan de hand van waarnemingen uit eigen onderzoeken. Wetenschappelijk denken omvat verschillende vaardigheden. Een aantal van deze vaardigheden zijn hypothesen opstellen, experimenteren en conclusies trekken (Klahr & Dunbar, 1988). Bij het bedenken van hypothesen en het evalueren van het bewijs spelen verklaringen een rol: hypothesen kunnen worden opgesteld met behulp van de aanwezige voorkennis of de gevonden resultaten uit een experiment (Lazonder, Wilhelm & Hagemans, 2008). Op deze manier toetsen kinderen hun eigen opgestelde hypothesen aan de hand van waarnemingen in de natuurlijke wereld en passen zij hun denkbeelden eventueel aan.

Deze bestaande kennis kan zodoende echter ook worden aangepast: er is dan sprake van *conceptual change*. Hierbij moet aan een aantal voorwaarden worden voldaan (Hewson & Hewson, 1983; Hewson & Thorley, 1989). Zo moet de persoon een gevoel van ‘onvrede’ ervaren met het huidige, bestaande denkbeeld. Ook moet het nieuwe concept begrijpelijk zijn: wanneer een persoon niet de mogelijkheid krijgt om het nieuwe concept in het huidige denkbeeld op te nemen dan wel aan te passen, zal degene niet in staat zijn tot *conceptual change*. Een volgend criterium is dat het concept aannemelijk, plausibel moet zijn. Het moet in enige mate overeenkomen met de persoonlijke opvattingen van wat bruikbare kennis is: het eigen beeld om de inschatting te maken welke kennis kan worden aangenomen in het huidige denkbeeld. Tot slot is het van belang dat het nieuwe concept vruchtbaar is. Dit houdt in dat de persoon met het nieuwe concept in staat is om meer problemen op te lossen dan hij of zij kon met het oude concept.

Wanneer een persoon overgaat tot *conceptual change* is het nieuwe concept aangepast op basis van de hiervoor genoemde criteria. Of een oud concept daadwerkelijk wordt vervangen door een nieuw concept, kan mede afhangen van de manier waarop informatie wordt gepresenteerd. Carlsen en Andre (1992) onderzochten de mate waarin proefpersonen nieuwe dingen leerden aan de hand van een computersimulatie en een reële setting. Uit het onderzoek bleek dat de manier van overbrengen van het onderwerp niet verschilt als het gaat



om de mate van geloofwaardigheid. De simulatie van het fenomeen waarmee deze wordt vergeleken, lijkt geen voorkeur te hebben boven het daadwerkelijk meemaken van dit fenomeen, als het gaat om het aannemen van nieuwe dingen.

Deze bevinding is ook terug te vinden in andere studies. Uit onderzoek blijkt dat kinderen even goede leerresultaten behalen in een virtuele setting als in een fysieke setting (Klahr, Triona & Williams, 2007). Leerlingen rond de 12 à 13 jaar kregen de opdracht om een auto te ontwerpen die zo ver mogelijk zou rijden. In elke conditie ontwikkelden proefpersonen een optimale auto. De vier condities verschilden onderling in het gebruik van 'echte' en virtuele materialen en het hebben van een vast aantal auto's of een vaste tijd om de auto's te ontwerpen. De resultaten bleken in alle condities hetzelfde te zijn: ook de condities waarbij de fysieke setting met de virtuele setting werd vergeleken. Hieruit blijkt dat leerlingen geen voorkeur lijken te hebben voor de manier van de weergave als het gaat om het leren van nieuwe dingen: het maakt niet uit of de leerling fysiek contact heeft met het object of de informatie bestudeert via een scherm.

Om de optimale auto te ontwikkelen hadden leerlingen verklaringen voor de wijze waarop de auto's werkten gedurende de opdracht. Brewer, Chinn en Samarapungavan (1998) veronderstellen dat een verklaring een bepaald gevoel is, waarbij een conceptueel kader gevormd wordt die de persoon een behaaglijk gevoel geeft. Het conceptuele kader integreert verscheidene aspecten uit de wereld op een ogenschijnlijk logische manier. Piaget omschrijft dit behaaglijke gevoel als 'equilibrium' (Moessinger, 1978). Personen in een toestand van 'equilibrium' kunnen mogelijk eerder overgaan tot *conceptual change*. Wanneer een reeks veronderstellingen op een gegeven moment niet meer lijkt te kloppen, ondervindt men steeds meer tekortkomingen en is er een gevoel van onbehagen. Deze onprettige toestand is het 'disequilibrium', welke een verschuiving van het denken veroorzaakt om op die manier weer een evenwicht te bereiken. Brewer et al. lieten zien dat jonge kinderen bijvoorbeeld causale relaties uitleggen op dezelfde manier als volwassenen, al heeft hun uitleg vaak een andere inhoud dan die van volwassenen. Ook blijkt dat kinderen dezelfde beoordelingscriteria gebruiken als volwassenen als het gaat om het trekken van conclusies uit data. Zo letten zij beiden op consistentie, plausibiliteit en nauwkeurigheid.

Mensen zien niet alleen wat ze verwachten te zullen zien. Chinn en Malhotra (2002) voerden een onderzoek uit waarbij zij 10-jarigen lieten kijken naar een zware en een lichte steen, die tegelijkertijd vielen. Kinderen die vermoedden dat de stenen de grond tegelijkertijd

raakten, waren beter in staat om hun overtuigingen over het verloop van de val dusdanig aan te passen dat het waarnemen ervan bewijs vormde voor hun voorspelling.

Soortgelijk onderzoek als dat van Chinn en Malhotra (2002), is het al eerder uitgevoerde onderzoek van Penner en Klahr (1996). In dit onderzoek is de interactie tussen twee soorten kennis onderzocht. Zij vroegen 10-, 12- en 14-jarigen naar onder andere hun opvattingen over zinkende voorwerpen. Uit de resultaten bleek dat de meeste kinderen in eerste instantie geloofden dat alleen gewicht van invloed was op hoe snel een voorwerp zinkt. Oudere kinderen zagen het experimenteren juist als een kans om te zoeken naar andere aspecten die een rol speelden. Zij keken verder dan het gewicht, en richtten hun aandacht op aspecten als de grootte of het materiaal van de voorwerpen. Het experimenteren hielp alle kinderen bij het beter begrijpen van het zinken van de voorwerpen, en de aspecten die een rol speelden.

Veel onderzoeken hebben zich ook reeds gericht op het vertrouwen van personen hun gegeven antwoorden. In het onderzoek van Lundeberg, Fox & Puncchohar (1994) werd nadat studenten vragen hadden beantwoord, hun geloofwaardigheid over hun eigen antwoorden gemeten. Uit de resultaten blijkt dat zowel mannen als vrouwen teveel overtuigd zijn van hun eigen antwoord. Laag opgeleide mannen waren vooral overmoedig wanneer zij een antwoord fout hadden. Ander onderzoek wees uit dat studenten de aannemelijkheid van hun antwoorden op vragen hoog inschatten, ook wanneer zij het mis hadden (Pressley, Ghatala, Woloshyn & Pirie, 1990). Tevens bleek uit ander onderzoek dat er een sterke neiging is tot overschatting in het vertrouwen van de antwoorden, ongeacht de leeftijd en ongeacht de manier waarop de vraag wordt gesteld (Roebbers, 2002). Ook is gebleken hoe waarnemingen van kinderen hun eigen geloofwaardigheid in de verklaringen beïnvloedt (Motzkau, 2011).

Zoals al eerder genoemd hebben Driver et al. (1985) *naive models* van de natuurlijke wereld onderzocht bij kinderen. De bevindingen van Driver et al. worden meegenomen in dit onderzoek. Ook is reeds uit onderzoek gebleken dat bij het leren van nieuwe dingen het geen verschil maakt of het leermateriaal gepresenteerd wordt door middel van een simulatie of met echte materialen (Carlsen & Andre, 1992). De geloofwaardigheid van de materialen wordt dus niet aangetast door de aard van het leermateriaal. De invloed van *perceptual cues* op het leren lijkt evenmin verschil te maken wanneer gekeken wordt naar de manier van overbrengen: de leerlingen ontwierpen auto's die in alle condities vrijwel hetzelfde waren (Klahr, Triona & Williams, 2007). Dezelfde resultaten worden gevonden wanneer aan proefpersonen fysiek contact met de objecten wordt aangeboden en als wanneer zij slechts de

voorwerpen bestuderen. Zowel een fysieke als virtuele setting geeft dezelfde leerresultaten. Uit onderzoek van Zacharia, Loizou & Papaevripidou (2012) blijkt dat er in sommige gevallen wel degelijk een meerwaarde van fysieke materialen is te verwachten: kinderen leren meer van de fysieke experimenten en de visuele experimenten waarbij zij juiste voorkennis hebben, dan de kinderen in de visuele experimenten met de onjuiste voorkennis.

Deze voorgaande onderzoeken hebben zich echter niet gericht op onderwerpen waarover kinderen misconcepties hebben. Ook zijn de voorgaande onderzoeken niet samengenomen, waarbij de rijkheid van de *perceptual cues* en vervolgens de mate van geloofwaardigheid van gegeven antwoorden worden onderzocht. De rijkheid van *perceptual cues* is het grootst bij echte materialen: bij gebruik van een simulatie is de rijkheid van *perceptual cues* het kleinst. Onderzoek waarbij de dimensie echte materialen dan wel virtuele materialen wordt gecombineerd met de dimensie eigen uitvoering dan wel uitvoering door de proefleider, is nog niet eerder uitgevoerd. Wellicht draagt een combinatie van het zelf uitvoeren met echte materialen bij aan het sneller wegwerken van foute voorspellingen. De effectiviteit van deze aspecten in combinatie met het hebben van een misconceptie zou interessante uitkomsten kunnen opleveren voor bijvoorbeeld het huidige onderwijs. De hiervoor genoemde aspecten samen vormen de volgende onderzoeksvraag:

**‘Welke invloed hebben het gebruik van reële dan wel virtuele materialen en het zelf uitvoeren dan wel laten uitvoeren van een proef op de geloofwaardigheid van de uitkomsten en de kans op *conceptual change*?’**

## **1.2 Onderzoeksopzet en hypotheses**

Om deze onderzoeksvraag te beantwoorden, wordt achterhaald in welke mate verschillende factoren bijdragen aan de valsnelheid van een bal. Daarom zijn de volgende drie condities vergeleken. In de eerste conditie konden kinderen zelf proefjes uitvoeren met echte materialen. Kinderen uit de tweede conditie konden dezelfde proefjes opstellen; de uitvoering van deze proefjes werd echter door de proefleider gedaan. Tot slot is er een derde conditie waarin de proefjes door de leerlingen zelf werden uitgevoerd met behulp van een computersimulatie.

De eerste conditie bevat een hoge mate van *perceptual cues*. De proefpersoon komt zelf in contact met de materialen en deze ervaring is onderscheidend ten opzichte van de andere condities. Uit onderzoek blijkt dat er geen significant verschil te vinden is in de

leerresultaten wanneer gekeken wordt naar de *perceptual cues*: de tastbaarheid resulteert niet in verschillen in leerprestatie (Klahr, Triona & Williams, 2007). Ook heeft onderzoek reeds aangetoond dat de manier van informatie overbrengen niet tot weinig verschilt als het gaat om de mate van geloofwaardigheid van de materialen (Carlsen & Andre, 1992). Uit onderzoek is verder gebleken dat wanneer deelnemers actief deelnemen aan experimenten, dit een positieve uitwerking heeft op de studietijd: deelnemers begrepen een onderwerp sneller aan de hand van een actieve houding dan door middel van passieve observatie (James, Humphrey & Vilis, 2002).

De tastbaarheid, waarmee conditie 1 zich onderscheidt van de andere condities, en de actieve betrokkenheid door het zelf uitvoeren van experimenten, zouden kunnen leiden tot een grotere kans op *conceptual change*. De eerste hypothese luidt dan ook: leerlingen die experimenteren met echte materialen hebben een grotere kans op *conceptual change* dan leerlingen die experimenteren met een computersimulatie. Uit recent onderzoek blijkt dat de kinderen meer leren van de fysieke experimenten en de visuele experimenten waarbij de kinderen de juiste voorkennis hebben, dan de kinderen in de visuele experimenten met de onjuiste voorkennis (Zacharia, Loizou & Papaevripidou, 2012). Tachtig leerlingen zijn verdeeld over vier condities. In de eerste conditie bevonden zich leerlingen die juiste voorkennis hadden over het onderwerp evenwicht. In conditie 1 houden leerlingen zich bezig met een simulatie; in conditie 2 kunnen leerlingen gebruik maken van echte materialen. Aan de derde en vierde conditie namen leerlingen deel die onjuiste voorkennis hadden over de evenwichtsbalk. Het onderscheid in deze condities zit tevens in de fysieke of virtuele setting. Alle condities volgden een zelfde aantal leertaken, namelijk een reeks experimenten. Uit de resultaten bleek dat de fysieke experimenten meer bij lijken te dragen aan het begrijpen van concepten. Ook hier wordt echter niet ingegaan op misconcepties, en tevens zou de hoge betrokkenheid door de echte materialen in deze conditie positief kunnen uitwerken. In deze conditie is de leerling actief bezig met de echte materialen en is er een hoge mate van perceptuele ervaring. Tevens speelt de tastbaarheid een rol waardoor een hoge betrokkenheid wordt verkregen.

De tweede hypothese luidt dat leerlingen uit de tweede conditie het minst snel overgaan tot *conceptual change* in vergelijking met de andere condities. In de tweede conditie komen de leerlingen namelijk niet in contact met de materialen en speelt dus de tastbaarheid een rol. Wel wordt er in deze conditie gebruik gemaakt van echte materialen, echter vanwege

het feit dat de proefleider de proefjes uitvoert, wordt verwacht dat de leerlingen in deze conditie het minst snel overgaan tot *conceptual change*.

Volgens de laatste hypothese zal een hoge mate van geloofwaardigheid bijdragen aan sneller overgaan tot *conceptual change* dan een lage mate van geloofwaardigheid. Wanneer leerlingen overtuigd zijn van hun eigen gegeven antwoorden, zullen zij sneller hun oude concept aanpassen en overgaan op een nieuw concept.

## **2. Methode**

### **2.1 Participanten**

Aan het onderzoek hebben 60 Nederlandse basisschoolleerlingen meegewerkt: 33 jongens en 27 meisjes. De gemiddelde leeftijd van deze leerlingen was 10.25 jaar ( $SD = 0.82$ ) en zij zijn gerekruteerd op twee verschillende basisscholen uit Almelo. Van de 60 leerlingen zaten 37 leerlingen in groep 6, 23 leerlingen zaten in groep 7. De leerlingen zijn binnen hun klassen aselekt verdeeld over drie condities: zij werden één voor één willekeurig uit de klas gehaald. De eerste leerling is in conditie 1 geplaatst; de daaropvolgende leerling in conditie 2, et cetera. De leerlingen uit de eerste groep 6 waren het eerst aan de beurt. De leerlingen uit groep 7 kwamen hierna en tot slot heeft de andere groep 6 mee gedaan aan het experiment. Leerlingen uit conditie 1 ( $n = 20$ ) voerden de experimenten zelf uit met echte materialen, in conditie 2 ( $n = 20$ ) voerde de proefleider de experimenten uit met echte materialen en in conditie 3 ( $n = 20$ ) experimenteerden de leerlingen zelf met de computersimulatie.

### **2.2 Materialen**

#### **2.2.1. Voortoets**

Voordat de leerling in één van de drie condities werd geplaatst, is een voortoets afgenomen om de opvattingen van de leerlingen over vallende objecten te meten. De voortoets bestond uit drie gesloten vragen: elke vraag ging over één onderwerp die invloed zou kunnen hebben op de snelheid van de vallende objecten. Deze onderwerpen waren het gewicht van het voorwerp, de omvang van het voorwerp, en de valhoogte. De leerlingen moesten aangeven of de betreffende factor een invloed heeft en konden daarbij kiezen uit de opties ‘ja’ of ‘nee’. Wanneer de leerling dacht dat een onderwerp geen invloed had, kon verder worden gegaan met de volgende vraag. Wanneer de leerling dacht dat de factor wel invloed had, diende deze specifieke invloed gekozen te worden door aan te geven welk van de twee voorwerpen het eerst de grond zou raken. Een voorbeeld is de vraag over gewicht: hier kon worden aangegeven dat de zware bal of de lichte bal het eerst beneden zou zijn. Het foute antwoord moest dan worden doorgestreept. De voortoets is te vinden in Bijlage I.

#### **2.2.2. Experimenteermateriaal**

Gedurende het onderzoek hebben de leerlingen geëxperimenteerd met verschillende ballen. Hierbij was het aan hen om te achterhalen hoe drie factoren de valsnelheid beïnvloedden.

Deze drie factoren zijn gewicht, omvang en hoogte. In Tabel 1 staat wat de invloed van deze factoren is.

Tabel 1

*Invloeden van factoren in de leertaak*

<i>Factor</i>	<i>Mogelijke waarden</i>	<i>Van invloed?</i>	<i>Effect?</i>
Gewicht van het voorwerp	Zwaar – Licht	Nee	Geen
Omvang van het voorwerp	Groot – Klein	Ja	Hoe kleiner het voorwerp, des te sneller zal het de grond raken (i.v.m. een lage luchtweerstand)
Valhoogte	Hoog – Laag	Ja	Hoe lager het voorwerp wordt losgelaten, des te sneller zal het de grond raken

De leerlingen uit conditie 1 en 2 konden experimenteren met de echte materialen. De leerlingen hadden de beschikking over drie pingpongballen, drie tennisballen en twee voetballen. De aantallen van de ballen zijn bewust gekozen: zo kon de leerling bijvoorbeeld experimenteren met twee lichte pingpongballen van verschillende hoogte. Ook zijn er genoeg ballen aanwezig om de factor gewicht en omvang te onderzoeken. Deze objecten verschillen van nature in omvang en zijn waar nodig verzwaard met loodjes en siliconenkit om het juiste gewicht te bereiken. De exacte gewichten van de ballen zijn te vinden in Tabel 2. Gedurende het experiment kon een valhoogte van 1 of 2 meter worden gekozen, welke werd aangegeven door twee meetlinten. Om de hoogte van 2 meter te bereiken kon een trap worden gebruikt. Tijdens het experimenteren gebruikte de proefleider een observatieformulier om de voorspellingen en waarnemingen van de leerling te noteren. Het observatieformulier is opgenomen in Bijlage I.

Tabel 2

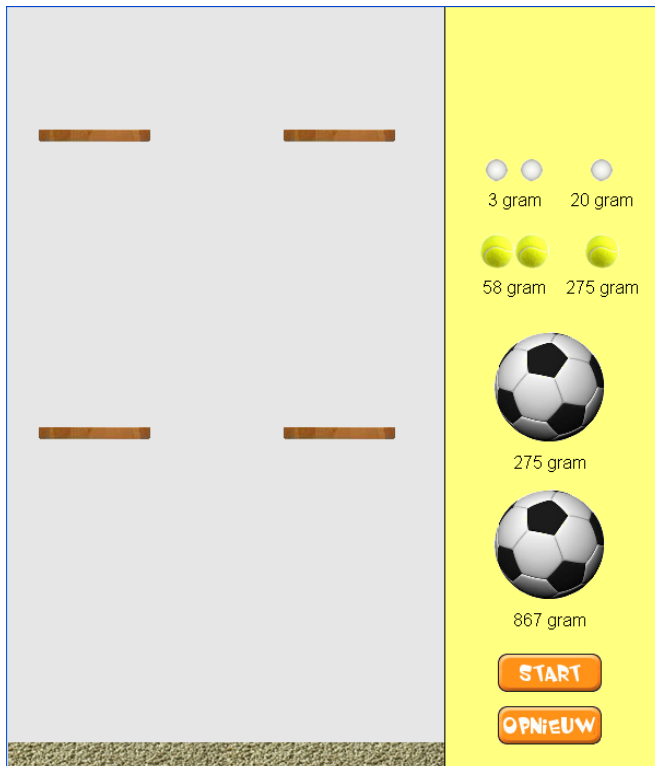
*Voorwerpen met bijbehorende gewichten*

<i>Voorwerpen met voorschriften</i>	
<i>Voorwerp</i>	<i>Soorten op basis van gewicht</i>
Pingpongbal	Licht: 3 gram (2 stuks) Zwaar: 20 gram
Tennisbal	Licht: 58 gram (2 stuks)

Voetbal	Zwaar: 275 gram
	Licht: 275 gram
	Zwaar: 867 gram

---

De leerlingen uit conditie 3 werkten met een computersimulatie van dezelfde voorwerpen (zie Figuur 1). De simulatie bood de leerlingen de mogelijkheid om te experimenteren met acht verschillende ballen met dezelfde omvang, hetzelfde gewicht en twee dezelfde hoogtes als in de condities 1 en 2. De leerlingen konden de invloed van een factor onderzoeken door telkens twee ballen in het scherm naar de door hun gekozen plaats te slepen. Bij het kiezen van de ballen werd erop gelet dat de twee ballen onderling slechts op één factor verschilden: het gewicht, de omvang óf de hoogte. Dit was ook het geval in de andere twee condities. Door op de ‘start’ knop te drukken werd het experiment in gang gezet: de twee ballen vielen van de trappen naar beneden en de leerling nam waar welke van de ballen het eerst de grond raakte. Voordat de leerlingen op de ‘start’ knop hadden gedrukt, deden zij hun voorspelling over de bal die het eerst de grond zou raken. De proefleider noteerde deze voorspelling voor elk experiment. De leerlingen vertelden hun waarneming na afloop van elk experiment aan de proefleider: de proefleider noteerde de antwoorden op het observatieformulier.



Figuur 1  
*Interface van de computersimulatie*



### 2.3. Procedure

Bij alle leerlingen is eerst de voortoets afgenomen. Na afloop van deze test verduidelijkte de proefleider wat het doel was van het experiment. De proefleider vertelde dat er een aantal proeven uitgevoerd gingen worden waarbij de leerlingen iets zouden gaan leren over de valsnelheid van de ballen. De leerlingen werd verteld dat zij in staat zouden worden gesteld om te experimenteren en daarbij op verschillende aspecten letten: hoogte, gewicht en omvang. De proefleider vertelde de leerling dat hij/zij na afloop van het experiment meer zou weten over vallende ballen. Vervolgens doorliep de proefleider alle beschikbare materialen: er werd uitleg gegeven over de verschillende groottes ballen van de ballen (verschil in omvang), lichte en zware ballen met hetzelfde uiterlijk (verschil in gewicht), en het gebruik van verschillende hoogtes (verschil in valhoogte). Aangegeven werd dat er van elke soort bal een lichte en een zware bal was en dat de zware tennisbal even veel woog als de lichte voetbal. Voorafgaand aan het plaatsen van de leerlingen in één van de drie condities is op basis van de voortoets vastgesteld of de leerlingen misconcepties hadden omtrent ten minste één van de drie factoren die gemeten werd. Wanneer dit het geval was, werd de leerling aselekt in één van de drie condities geplaatst. De procedure die de kinderen in conditie 3 doormaakten kwam overeen met de procedure in conditie 1: de kinderen werden in staat gesteld zelf te experimenteren, echter werden in conditie 1 echte materialen gebruikt en in conditie 3 waren de materialen visueel. In conditie 2 zijn ook dezelfde echte materialen gebruikt, echter mochten de leerlingen hier niet zelf mee experimenteren. In conditie 2 experimenteerde de proefleider met de echte materialen en gaf de leerling aan wat de proefleider moest uitvoeren; in conditie 3 experimenteerden de leerlingen zelf met de visuele materialen. De materialen in alle condities waren overeenkomstig in omvang, gewicht en valhoogte. De leerling bedacht zelf welke proeven werden uitgevoerd. Op deze manier was de leerling actief bezig en nam het geen passieve houding aan. Zo had de leerling geen passieve *hands-on* houding, maar een actieve *mind-on* houding (Mayer, 2004).

Het verdere verloop van het onderzoek hing af van de conditie waarin een leerling was ingedeeld. Leerlingen in conditie 1 voerden zelf de proeven uit met echte materialen. De leerling stelde zelf voor welke combinaties konden worden uitgevoerd, de proefleider controleerde of deze vergelijking valide was: zo niet dan werd het voorstel bijgeschaafd en waar nodig uitleg gegeven over de aanpak. Wanneer dit voorstel niet zou worden bijgeschaafd, werden er te veel aspecten met elkaar vergeleken en zou de leerling geen geldige conclusies kunnen trekken. Het is niet vast te stellen op welk van de aspecten de

leerling zijn waarneming verklaart. De leerling doorliep de experimenten per onderdeel: eerst gewicht, vervolgens omvang en tot slot hoogte. De te kiezen experimenten per factor waren vrij voor de leerling. Voorafgaand aan het uitvoeren van het experiment diende de leerling een voorspelling te doen over het verloop van de val: welke van de twee voorwerpen het eerst de grond raakte. De leerling gaf de voorspelling aan op het formulier, stelde telkens vast wat de verklarende factor was wanneer het ging om de snelheid waarin de twee voorwerpen de grond bereikten en de proefleider noteerde vervolgens wat de leerling waarnam. Hierbij werd steevast één factor aangepast, de overige factoren bleven gelijk. Wanneer de leerling geen proeven meer kon verzinnen en de proefleider het idee had dat de leerling nog niet voldoende kennis had opgedaan, deed de proefleider een suggestie voor een eventueel verder verloop. Dit was het geval in alle condities. De intentie was om zoveel mogelijk combinaties uit te voeren waarbij telkens één factor werd aangepast om op die manier de leerling zoveel mogelijk waarnemingen te laten doen.

In de tweede conditie voerde de proefleider de proef uit met echte materialen. De proefleider liet de leerling een actieve houding aannemen door zelf mee te denken over mogelijke combinaties, zodat de leerling betrokken was bij de experimenten en een eigen inbreng had. Ook in deze conditie deed de leerling de voorstellen voor de experimenten en controleerde de proefleider of deze tot valide resultaten zouden leiden. Waar nodig deed de proefleider suggesties over de gekozen voorwerpen. Het enige verschil met conditie 1 was dat de proefleider de proeven uitvoerde, alle andere activiteiten waren volledig identiek aan die in conditie 1.

In conditie 3 voerden de leerlingen zelf de experimenten uit aan de hand van een computersimulatie. Voordat zij hieraan begonnen, kregen zij uitleg over de werking van de simulatie. Ook hier werd de invloed van de drie factoren onderzocht op de snelheid dat de ballen vielen. Dankzij de ongecompliceerde lay-out van de simulatie was het voor de leerlingen vrij snel duidelijk hoe zij te werk moesten gaan.

Nadat de leerling of proefleider, afhankelijk van de conditie, een experiment had uitgevoerd, werd op een observatieformulier genoteerd wat de leerling daadwerkelijk waarnam. Dit observatieformulier is te vinden in Bijlage II. Met het observatieformulier had de leerling een schematisch overzicht van de onderzoeken. Afhankelijk van de conditie, experimenteerde de leerling of proefleider circa tien minuten met de voorwerpen. Na afloop stelde de proefleider de leerling vragen die vergelijkbaar waren met de vragen uit de

voortoets. Aan de hand van deze vragen werd geconstateerd of de misconceptie was bijgeschaafd.

Ook werd na afloop van de experimenten de leerlingen een vraag gesteld die betrekking had op de geloofwaardigheid. Deze vraag luidde als volgt: “Ben je nu zeker van je gegeven antwoorden?” waarbij de leerlingen met “ja” of “nee” konden antwoorden.

#### **2.4. Data-analyse**

In de voortoets is de kennis van de leerlingen omtrent vallende objecten gemeten. Per vraag kon de leerling 0, 1 of 2 punten scoren: 1 punt wanneer correct was aangegeven of een factor van invloed was op de snelheid en een extra punt wanneer het effect ook correct was aangeduid. Met behulp van ANOVA is geanalyseerd of de leerlingen in de verschillende condities significant verschillen bij de behaalde scores op de voortoets.

De antwoorden uit de voortoets zijn vergeleken met de voorspellingen die zijn gegeven tijdens de proefjes. De voorspellingen op het observatieformulier gaven op die manier een duidelijk beeld of de leerlingen consequent en consistent waren in hun overtuigingen. De voorspellingen zijn op dezelfde manier gescoord als de gegeven antwoorden op de voortoets. Middels ANOVA is geanalyseerd of er een significant verschil zat tussen de score op de voortoets en de voorspellingen.

Om te concluderen dat de leerlingen juiste waarnemingen deden, is het percentage correcte waarnemingen berekend aan de hand van de tweede rij uit het observatieformulier welke te vinden is in Bijlage II. In deze rij stonden de gegeven observaties van de leerlingen: de observaties zijn vergeleken met het antwoord dat de leerling had moeten geven, het juiste antwoord. Op die manier is een percentage juiste waarnemingen per leerling berekend. Ook zijn de gemiddeld aantal proeven per leerlingen voor de verschillende condities bij de verschillende factoren berekend. De leerlingen stopten met het doen dan wel laten uitvoeren van proeven, wanneer zij dachten voldoende te hebben gezien en klaar te zijn voor nog een aantal vragen over hun waarnemingen: de natoets.

Met behulp van ANOVA is achterhaald of het gemiddeld aantal experimenten in de drie condities verschilde. Ook is onderzocht of het percentage correcte waarnemingen verschilde tussen de condities. Na afloop van het experimenteren ondergingen de leerlingen een natoets: een analyse wees uit of er verschillen in score zaten tussen de condities. Uit een Chi-kwadraat toets kwam naar voren of de leerlingen die hun misconcepties wel en niet

hebben verbeterd, evenredig zijn verdeeld over de drie condities. Ook is geanalyseerd in welke van de condities de kans het grootst is om een misconceptie te verbeteren.

### 3. Resultaten

De kinderen zijn in drie verschillende condities geplaatst: 1) echte materialen en zelf de proef uitvoeren; 2) echte materialen en de proefleider voert de proef uit en 3) de computersimulatie. De toetsscores van alle 60 leerlingen staan weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1

*De gemiddelden (en standaarddeviaties) voor de scores in de condities*

	Conditie 1 <sup>a</sup>	Conditie 2 <sup>a</sup>	Conditie 3 <sup>a</sup>
Voortoets <sup>b</sup>	2.45 (1.10)	2.40 (1.39)	2.60 (0.60)
Natoets <sup>b</sup>	5.95 (0.22)	5.00 (0.97)	5.35 (0.88)
Verschilscore <sup>c</sup>	3.50 (1.10)	2.60 (1.50)	2.75 (1.07)

a  $n = 20$

b De maximale score op zowel de voor- als natoets is 6

c De maximale verschilscore is 6

Uit de scores op de voortoets blijkt dat de kinderen enige kennis hadden omtrent vallende objecten. Het blijkt echter dat er ruimte is voor verbetering, gezien het feit dat de maximaal te behalen score 6 is. Gemiddeld maakt een leerling iets minder dan de helft van de vragen uit de voortoets goed: bepaalde onderdelen van de voortoets begrijpt de leerling wel, andere onderdelen met hun invloed op de valsnelheid zijn nog niet helemaal duidelijk. Uit een ANOVA bleek dat de scores niet significant verschillen tussen de condities,  $F(2,59) = 0.186$ ,  $p = 0.831$ . Dit wil zeggen dat de leerlingen uit alle drie de condities gemiddeld genomen evenveel voorkennis hadden.

Om na te gaan of leerlingen consequent en consistent zijn in hun beweringen, zijn de antwoorden op de voortoets vergeleken met de voorspellingen tijdens de proefjes. In Tabel 2 zijn de exacte waarden te vinden voor de verschillende condities. Ook staat hierin het aantal uitgevoerde experimenten vermeld en het percentage correcte waarnemingen.

Tabel 2

*Gemiddeld aantal experimenten en percentage juiste voorspellingen en waarnemingen*

	Conditie 1 <sup>a</sup>	Conditie 2 <sup>a</sup>	Conditie 3 <sup>a</sup>
Omvang			
Aantal experimenten	2.40 (1.39)	2.35 (1.18)	2.65 (1.14)
Consistente voorspellingen (%)	78.97 (37.60)	82.50 (35.68)	83.33 (32.28)
Correcte waarnemingen (%)	79.83 (31.65)	87.75 (26.18)	98.33 (7.45)

Gewicht			
Aantal experimenten	2.35 (0.49)	2.30 (0.47)	1.35 (0.49)
Consistente voorspellingen (%)	100 (0)	100 (0)	93.74 (22.94)
Correcte waarnemingen (%)	100 (0)	100 (0)	95 (22.36)
Hoogte			
Aantal experimenten	1.35 (0.49)	1.25 (0.44)	1.35 (0.49)
Consistente voorspellingen (%)	35.71 (47.60)	0 (0)	50 (57.74)
Correcte waarnemingen (%)	97.50 (11.18)	100 (0)	95 (22.36)

a  $n = 20$

Uit Tabel 2 is af te lezen dat de leerlingen niet altijd even consistent waren in hun voorspellingen, met name bij het onderdeel hoogte. Per onderdeel zijn de leerlingen met een misconceptie geselecteerd en is achterhaald hoeveel experimenten zij hebben uitgevoerd en welk percentage van deze experimenten gepaard ging met een incorrecte predictie. Aangezien het hierbij alleen gaat om leerlingen met een misconceptie, zou dit getal rond de 100% moeten liggen. Uit Tabel 2 blijkt echter dat dit alleen het geval is bij het onderdeel gewicht, waarbij twee van de drie scores exact 100% zijn. Voor het onderdeel omvang komt gemiddeld 82% van de voorspellingen overeen met antwoorden op de voortoets: bij het onderdeel hoogte is dit echter slechts 28.57%. Dit betekent dat de leerlingen vrij consistent zijn in het doen van voorspellingen, behalve op het onderdeel hoogte.

Wanneer de score (0, 1 of 2) van de voorspelling tijdens de proef zelf wordt vergeleken met het gekozen antwoord op de voortoets, blijkt er bij het onderdeel omvang geen statistisch bewijs te zijn dat de voorspellingen afwijken van de antwoorden op de voortoets:  $F(1,59) = 0.678$ ,  $p = 0.764$ . Bij het onderdeel gewicht bleek ook hier geen significant verschil te zijn tussen de score op de voortoets en de voorspellingen tijdens het uitvoeren van de proef:  $F(1,59) = 0.66$ ,  $p = 0.798$ . Bij het onderdeel hoogte blijken de antwoorden niet significant af te wijken van de ingevulde antwoorden op de voortoets:  $F(3,59) = 2.020$ ,  $p = 0.122$ . Gezien het feit dat er geen significant verschil blijkt te zijn tussen de gegeven antwoorden, wordt er bij de hierop volgende analyses verder gerekend met de gegeven antwoorden op de voortoets.

In elke conditie kon de leerling een aantal experimenten uitvoeren. Gezien de beschikbaarheid van de materialen, kon de leerling bij het onderdeel omvang 1 tot en met 7 proeven uitvoeren. Bij het onderdeel gewicht kon de leerling minstens 1 en hoogstens 3

proeven doen en voor het onderdeel hoogte kon de leerling maximaal 2 proeven doen. In Tabel 2 zijn de gemiddeld aantal proeven per leerling voor de verschillende condities bij de verschillende onderdelen weergegeven. Middels ANOVA is achterhaald of het gemiddeld aantal experimenten in de drie condities verschilde. Voor het onderdeel gewicht is geen significant verschil gevonden,  $F(2,59) = 2.825$ ,  $p = 0.068$ . In elke conditie zijn vrijwel evenveel proeven uitgevoerd omtrent dit onderdeel. Ook voor het onderdeel hoogte is geen statistisch bewijs gevonden dat er in minstens één van de condities meer proeven zouden zijn uitgevoerd,  $F(2,59) = 0.296$ ,  $p = 0.745$ . Tot slot geldt ook voor het onderdeel omvang dat er geen significant verschil zit tussen de verschillende condities,  $F(2,59) = 0.335$ ,  $p = 0.717$ .

Gedurende de proeven observeerden de kinderen welke van de ballen het eerst de grond raakte. Deze waarnemingen zijn genoteerd en uit een analyse blijkt dat bij het onderdeel omvang 88.64% van de waarnemingen juist was. Voor gewicht geldt een juist waargenomen percentage van 98.33% en voor het onderdeel hoogte is een percentage van 97.5% gevonden. Vervolgens is met een ANOVA achterhaald of het percentage correcte waarnemingen verschilt tussen de condities, zie Tabel 2. Hieruit bleek dat voor geen van de onderdelen een significant verschil is gevonden. Voor het onderdeel omvang geldt  $F(2,59) = 2.966$ ,  $p = 0.060$ . Het onderdeel gewicht blijkt ook niet significant te zijn,  $F(2,59) = 1.000$ ,  $p = 0.374$ . Tevens duidt het onderdeel hoogte op niet-significante verschillen,  $F(2,59) = 0.600$ ,  $p = 0.552$ . Gezien het feit dat alle genoemde onderdelen niet significant zijn, zijn er geen verschillen tussen de condities. Bij de analyse is geen rekening gehouden met misconcepties per onderdeel: het hebben van een misconceptie is in het algemeen samengenomen en betreft het gehele onderwerp vallende objecten. Door de scores af te lezen kan gesteld worden dat er veel juiste waarnemingen waren. Zo blijkt het voor de leerlingen duidelijk om waar te nemen of een grote dan wel kleine bal het eerst de grond raakt. Dit geldt ook voor een bal van grote of kleine hoogte en voor een bal met zwaar en licht gewicht.

Na afloop van het experimenteren zijn de kinderen nogmaals gevraagd naar hun opvattingen over het onderwerp. Hierbij zijn soortgelijke vragen gesteld als tijdens de voortoets. Uit een ANOVA analyse bleek dat de natoetsscores uit Tabel 1 significant verschilde tussen de condities:  $F(2,59) = 7.855$ ,  $p = 0.001$ . Dit wil zeggen dat de score op de natoets in ten minste één van de condities hoger is dan in de andere condities. Uit een Post Hoc analyse met Bonferroni correctie blijkt dat leerlingen uit conditie 1 significant hoger hebben gescoord dan leerlingen uit conditie 2,  $p = 0.001$ , en conditie 3,  $p = 0.049$ . De verschillen tussen conditie 2 en 3 waren niet significant,  $p = 0.463$ .

Tabel 3

*Percentage leerlingen dat misconcepties verbetert of behoudt in de condities*

	Misconceptie verbeterd	Misconceptie gehouden
	Omvang	
Conditie 1	13 (92%)	1 (8%)
Conditie 2	13 (75%)	3 (25%)
Conditie 3	14 (85%)	3 (15%)
	Gewicht	
Conditie 1	19 (100%)	0 (0%)
Conditie 2	12 (63%)	7 (37%)
Conditie 3	14 (74%)	5 (26%)
	Hoogte	
Conditie 1	7 (100%)	0 (0%)
Conditie 2	7 (100%)	0 (0%)
Conditie 3	4 (100%)	0 (0%)

In voorgaande analyses zijn alle zestig leerlingen meegenomen. Nu wordt gekeken naar de *conceptual change* van leerlingen met een misconceptie. Aan de hand van de waarden uit Tabel 3 is per onderdeel gekeken of de leerlingen die hun misconcepties wel en niet hebben verbeterd, evenredig zijn verdeeld over de drie condities. Uit een Chi-kwadraat toets blijkt er bij het onderdeel omvang geen significant verschil te bestaan,  $\chi^2(2, N = 46) = 1.50, p = .473$ . Bij het onderdeel gewicht is wel een significant verschil gevonden,  $\chi^2(2, N = 57) = 8.23, p = .016$ . De waarden in Tabel 3 geven aan dat de kans om een misconceptie over gewicht te verbeteren aanzienlijk groter is in conditie 1 dan in de beide overige condities. Bij het onderdeel hoogte hebben alle leerlingen hun misconceptie gecorrigeerd; dit maakte het berekenen van een Chi-kwadraat onmogelijk. Desondanks geven de data duidelijk aan dat het verbeteren van deze misconceptie onafhankelijk was van de conditie.

De voorgaande analyses zijn gericht op het gebruik van echte materialen en virtuele materialen in combinatie met een eigen uitvoering en een uitvoering door de proefleider. Een ander aspect waar dit onderzoek zich op richt is de mate van geloofwaardigheid. Deze is gemeten aan de hand van één vraag na afloop van de experimenten. Alle leerlingen hebben een positief antwoord gegeven: zij waren zeker van hun zaak en overtuigd dat hun gegeven antwoorden op de natoets juist waren. Hierdoor was het niet nodig om door te vragen naar redenen waarom leerlingen de geloofwaardigheid van hun antwoorden in twijfel trokken. Vanwege de unaniem positieve antwoorden is het niet mogelijk om statistische analyses uit te voeren omdat er geen enkele variantie in de scores is.



#### 4. Conclusie en discussie

Dit onderzoek is uitgevoerd met het doel inzicht te krijgen in het gebruik van echte dan wel virtuele materialen en het zelf uitvoeren dan wel laten uitvoeren van eenvoudige proefjes. De invloed van deze aspecten op de geloofwaardigheid van de uitkomsten en de kans op *conceptual change* werd daarbij onderzocht.

Verwacht werd dat de leerlingen die de proeven zelf uitvoerden met echte materialen de grootste kans op *conceptual change* hadden. In deze conditie hadden de kinderen een hoge mate van perceptuele ervaring, de tastbaarheid speelt hierin een rol. Door het gebruik van de echte materialen was er mogelijk een hoge betrokkenheid, wat sneller zou kunnen leiden tot *conceptual change* dan in de beide andere condities. De resultaten bevestigden deze hypothese: na afloop van het experimenteren scoorden leerlingen uit conditie 1 significant hoger op de natoets dan leerlingen uit conditie 2 en 3. De verschillen tussen conditie 2 en 3 waren niet significant.

De positieve resultaten op de natoets in conditie 1 spreken de resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek tegen. Bij het leren van nieuwe onderwerpen zou het volgens Carlsen en Andre (1992) juist geen verschil maken of zaken gepresenteerd worden door middel van een simulatie of door echte materialen. Aangezien het onderzoek van Carlsen en Andre is uitgevoerd met studenten van een universiteit die werkten met een computersimulatie van elektrische circuits, zijn de leeftijden, onderwerpen en cognitieve ontwikkeling niet te vergelijken met de leerlingen in het huidige onderzoek. Klahr, Triona en Williams (2007) werkten wel met leerlingen van de basisschool: zij vonden dat de invloed van *perceptual cues* op het leren geen significant verschil maakt voor de leerprestatie. Daarbij was zelfs geen verschil te vinden in prestatie wanneer aan de proefpersonen fysiek contact met de objecten wordt geboden en wanneer zij de onderwerpen slechts bestuderen. Een mogelijke verklaring voor de positieve resultaten van het huidige onderzoek zou kunnen zijn dat *perceptual cues* bij een van de drie dimensies specifieke tactiele input opleverde die niet door de andere zintuigen kan worden verkregen. Deze input zou een meerwaarde kunnen inhouden. Dit betreft het gewicht van de voorwerpen, en misconcepties over deze dimensie werden significant vaker gecorrigeerd in conditie 1.

Het feit dat Klahr et al. (2007) zich niet richtte op misconcepties zou ook een rol kunnen spelen. Uit eerder onderzoek dat wél ingaat op misconcepties (eveneens over gewicht) komen dezelfde resultaten naar voren als in het huidige onderzoek (Zacharia, Loizou & Papaevripidou, 2012). Uit dit onderzoek bleek dat leerlingen meer leren van de fysieke en

virtuele experimenten waarbij zij de juiste voorkennis hebben, dan wanneer zij zich bezighouden met de virtuele experimenten met onjuiste voorkennis. Uit het onderzoek blijkt fysiek contact namelijk een vereiste te zijn voor het begrijpen van bepaalde concepten wanneer leerlingen onjuiste voorkennis omtrent het concept hebben. Dit komt overeen met de bevindingen van het huidige onderzoek.

Een andere verklaring voor het verschil tussen het huidige onderzoek en eerdere onderzoeken zou kunnen zijn dat in conditie 1 gemiddeld genomen de meeste proeven zijn uitgevoerd. Er blijkt weliswaar geen significant verschil te zijn voor het aantal uitgevoerde proeven in de verschillende condities, maar gemiddeld genomen zijn er in de conditie 1 de meeste proeven uitgevoerd waardoor de leerlingen mogelijk meer betrokken waren bij de materialen: leerlingen in deze conditie hadden mogelijk meer behoefte aan experimenteren in vergelijking met de andere condities. Dit zou geleid kunnen hebben tot een significant hogere score op de natoets. In conditie 2 mochten de leerlingen slechts waarnemingen doen, waardoor de motivatie mogelijk sneller weg was: kennelijk leidt het observeren van proeven tot minder goede resultaten dan de proeven zelf uitvoeren. Verwacht werd dat een misconceptie van een leerling omtrent een bepaald onderwerp het gemakkelijkst bijgeschaafd zou worden in conditie 1. In deze conditie hadden de leerlingen namelijk contact met de echte materialen. De resultaten bevestigen deze hypothese voor een deel, het gold namelijk niet voor het onderdeel omvang. Voor het onderdeel gewicht is wel een significant verschil gevonden. Voor het onderdeel hoogte hebben alle leerlingen hun misconceptie gecorrigeerd, waardoor het niet uitmaakte in welke conditie de leerling zich bevond. Al met al blijkt uit de data dat het verbeteren van de misconceptie de beste uitwerking heeft in conditie 1: tevens worden in conditie 1 meer misconcepties verbeterd voor het onderdeel gewicht. Het verbeteren van de misconcepties op dit onderdeel in deze conditie zou wellicht ook het verschil in natoetsscores kunnen verklaren.

Een soortgelijke verklaring betreft de motivatie van de leerlingen. Tijdens de proeven bleek dat leerlingen het erg ‘gaaf’ vonden om achter de computer bezig te zijn: het was in hun ogen een echt spelletje. Dit duidt wellicht op een voordeel ten opzichte van de andere condities: leerlingen zetten zich mogelijk beter in tijdens de computersimulatie dan tijdens conditie 1 of 2. Het is dan de vraag in hoeverre dit de resultaten heeft beïnvloed: mogelijk brachten de leerlingen uit conditie 3 hun klasgenoten op de hoogte van het ‘leuke computerspel’ en waren leerlingen in conditie 1 en 2 teleurgesteld wanneer bleek dat zij in een andere conditie waren geplaatst. Daarnaast kwam het in conditie 2 herhaaldelijk

voor dat de leerlingen zeer graag zelf actief wilden zijn en de ballen zelf graag wilden laten vallen. Conditie 2 was de enige conditie waarin het niet de bedoeling was dat de leerlingen zelf met de materialen mochten werken. Dit heeft misschien geleid tot een teleurstelling bij sommige kinderen, waardoor zij wellicht minder hun best hebben gedaan. In vervolgonderzoek zou de invloed van de interventie op de motivatie nader kunnen worden onderzocht.

Ook is gebleken dat kinderen in alle condities niet altijd even consistent en consequent zijn in het doen van voorspellingen ten opzichte van hun preconcepties. De vragen op de voortoets waren op een globale manier gesteld: wanneer kinderen kunnen beginnen met experimenteren, hebben zij mogelijk een specifiek beeld van de situatie en op die manier een gedetailleerdere vraag waardoor zij wellicht betere antwoorden geven. Voor het onderdeel hoogte geven leerlingen totaal andere voorspellingen dan hun antwoorden op de voortoets, slechts 28.57% komt overeen. Bij het onderdeel omvang kwam ruim 80% van de voorspellingen van de leerlingen overeen met de gegeven antwoorden op de voortoets. Voor het onderdeel gewicht zijn de voorspellingen vrijwel identiek aan de gegeven antwoorden op de voortoets. Hieruit blijkt dus dat de scores op de voortoets kunnen worden aangehouden: de predicties zijn vrijwel hetzelfde.

De derde hypothese luidde dat in elke conditie evenveel experimenten zouden worden uitgevoerd. Aangezien in het huidige onderzoek is gebleken dat de invloed van *perceptual cues* op het leren een significant verschil lijkt te maken wanneer gekeken wordt naar de manier van overbrengen, zou er mogelijk een verschil in aantal experimenten kunnen zitten tussen de condities. Uit de resultaten bleek dat er geen verschil zat tussen de condities: in elke conditie zijn vrijwel evenveel proeven uitgevoerd omtrent de onderdelen.

Gebleken is dat een enkele leerling niet begreep dat het niet mogelijk was om bijvoorbeeld een lichte pingpongbal van kleine hoogte te vergelijken met een zware voetbal van grote hoogte. Wanneer deze twee met elkaar werden vergeleken, werden er te veel aspecten bij betrokken. Aangezien de proefleider in de gaten hield wat de leerlingen van plan waren was het geen grote ramp, echter valt wellicht te stellen dat het een te moeilijk onderwerp was voor deze leeftijdsgroep. Een suggestie zou kunnen zijn om leerlingen uit groep 8 te nemen.

Na afloop van de experimenten zijn de leerlingen gevraagd naar hun mate van geloofwaardigheid van de bevindingen: verwacht werd dat leerlingen met een hoge mate van geloofwaardigheid de grootste kans op *conceptual change* hadden. Aan de hand van een vraag

hebben de leerlingen aangegeven of zij zeker waren van hun gegeven antwoorden op de natoets of niet. Vanwege de unanieme positieve antwoorden was er geen reden om door te vragen naar achterliggende gedachten van leerlingen die eventuele antwoorden in twijfel trokken. In vervolgonderzoek zou het misschien beter zijn om de geloofwaardigheid met een Likert schaal (1 = heel erg zeker; 2 = vrij zeker; 3 = matig; 4 = niet zo zeker; 5 = helemaal niet zeker) te meten en daarbij, waar nodig, door te vragen. Dit wordt dan specifiek gemeten: de waardering van de leerling is nauwkeuriger (Dockerell, Lewis & Lindsay, 2000). Op deze manier zijn de leerlingen vrij om antwoorden te kiezen die het dichtst bij hun keuze liggen en kunnen zij deze keuze eventueel toelichten.

Al met al kan geconcludeerd worden dat het eigenhandig experimenteren met echte materialen leidt tot de grootste kans op *conceptual change*. Leerlingen die zelf experimenten uitvoeren scoren significant hoger op de natoets en de kans om een misconceptie over gewicht te verbeteren is aanzienlijk groter in conditie 1 dan in beide andere condities. Leerlingen uit conditie 1 zullen sneller hun misconceptie bijschaven voor het onderdeel gewicht. Ook gaan de leerlingen uit conditie 1 het snelst over tot *conceptual change*.

De resultaten van dit onderzoek kunnen interessant zijn voor de onderwijspraktijk. Uit de uitkomsten van het onderzoek blijkt dat wanneer kinderen zelf actief experimenteren, dit een positieve bijdrage heeft voor het bijschaven van misconcepties. Aangezien leerlingen al op jonge leeftijd in aanmerking komen met het uitvoeren van experimenten, zou het niet gek zijn om het experimenteren met echte materialen zoveel mogelijk in de lesmethode op te nemen. Wel moet hierbij worden vermeld dat het experimenteren met echte materialen niet altijd haalbaar is. Sommige materialen zijn hiervoor te groot, te zwaar of te hoog. Of deze toepassing zal leiden tot betere resultaten, zal moeten blijken uit vervolgonderzoek. Een andere suggestie voor vervolgonderzoek is het onderzoeken of voor misconcepties op andere taken dezelfde bevindingen gelden. Ook zouden andere vormen objecten gebruikt kunnen worden: mogelijkerwijs denkt een leerling nu dat de waarnemingen alleen gelden voor ballen. Zo gaf één van de leerlingen tijdens de experimenten aan dat zij al geleerd had dat ronde voorwerpen zich anders gedragen in water dan vierkante voorwerpen.

## Referenties

- Amsel, E., & Brock, S. (1996). Developmental changes in children's evaluation of evidence. *Cognitive Development, 11*(4), 523 – 550.
- Berk, L. E. (2006). Child Development. *Pearson International Edition*. 268 – 278.
- Brewer, F.W., Chinn, C.A., & Samarapungavan, A. (1998). Explanation in Scientists and Children. *Minds and Machines, 8*(1). 119 – 136. doi: 10.1023/A:1008242619231.
- Carlsen, D. D., & Andre, T. (1992). Use of a microcomputer simulation and conceptual change to overcome students' preconceptions about electric circuits. *Journal of Computer Based Instruction, 19*(4), 105 – 109.
- Callison, P.L. (1993). The effect of teaching strategies using models on preservice elementary teachers' conceptions about earth-sun-moon relationships. *Kansas State University, 307 – 319*.
- Chinn, C.A., & Malhotra, B.A. (2002). Children's Responses to Anomalous Scientific Data: How is Conceptual Change Impeded? *Journal of Educational Psychology, 94*(2). 327 – 343.
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985). Children's ideas in science. *Open University Press, Milton Keynes*.
- Dockerell, J., Lewis, A., & Lindsay, G. (2000). Researching Children's Perspectives: A Psychological Dimension. *Researching Children's Perspectives*. 36 – 58.
- Ginsburg, H., Opper, S. (1979). Piaget's theory of intellectual development. *New Jersey: Prentice Hall*.

- Hewson, M.G., & Hewson, P.W. (1983). Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 20 (8), 731 – 743.
- Hewson, P.W., & Thorley, R.N. (1989). The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*, 11(5), 541 – 553.
- James, K. H., Humphrey, G. K., & Vilis, T. (2002). “Active” and “passive” learning of three-dimensional object structure within an immersive virtual reality environment. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*. 34(3), 383 – 390.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12(1), 1 – 48.
- Klahr, D., Triona, L. M., & Williams, C. (2007). Hands on what? The relative effectiveness of physical versus virtual materials in an engineering design project by middle school children. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(1), 183 – 203.
- Kloos, H. (2007). Interlinking physical beliefs: Children's bias towards logical congruence. *Science Direct. Cognition*, 103(2), 227 – 252.
- Kloos, H., & Somerville, S. C. (2001). Providing impetus for conceptual change: the effect of organizing the input. *Cognitive Development*, 16(2), 737 – 759.
- Lazonder, A.W., Wilhelm, P., & Hagemans, M.G. (2008). The influence of domain knowledge on strategy use during simulation-based inquiry learning. *Learning and Instruction*, 18(6), 580 – 592.
- Lundeberg, M. A., Fox, P. W., & Puncchohar, J. (1994). Highly confident but wrong: Gender differences and similarities in confidence judgments. *Journal of Educational Psychology*, 86(1). 114 – 121.

- Mayer, R. E., (2004). Should There Be A Three-Strikes Rule Against Pure Discovery Learning? *American Psychologist*, 59(1), 14 – 19.
- Moessinger, P. (1978). Piaget on equilibration. *Human Development*, 21(4). 255 - 267.
- Motzkau, J. (2011). Visualising children's credibility: the role of the visual in psychological research and child witness practice. *Visual Methods in Psychology: Using and Interpreting Images in Qualitative Research*.
- Panagiotaki, G., Nobes, G., & Banerjee, R. (2006a). Children's representations of the Earth: A methodological comparison. *British Journal of Developmental Psychology*, 24(2), 353 – 371.
- Penner, D.E., & Klahr, D. (1996). The interaction of domain-specific knowledge and domain general discovery strategies: A study with sinking objects. *Child Development*, 67(6), 2709 – 2727.
- Pressley, M., Ghatala, E. S., Woloshyn, V., & Pirie, J. (1990). Sometimes adults miss the main ideas and do not realize it: Confidence in responses to short-answer and multiple choice comprehension questions. *Reading Research Quarterly*, 25(3). 232 – 249.
- Roebbers, C. M. (2002). Confidence judgments in children's and adult's event recall and suggestibility. *Developmental Psychology*, 28(6). 1052 – 1067.
- Samarapungavan, A. (1992). Children's Judgments in Theory Choice Tasks: Scientific Rationality in Childhood. *Cognition*, 45(1), 1 – 32.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45 – 109.
- Vosniadou, S., & Brewer, W.F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18(1), 123 – 183.

Zacharia, Z. C., & Olympiou (2011). Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning. *Learning and Instruction*, 21(3), 317 – 331.

Zacharia, Z. C., Loizou, E., & Papaevripidou, M. (2012). Is physicality an important aspect of learning through science experimentation among kindergarten students? *Early Childhood Research Quarterly*. doi: 10.1016/j.ecresq.2012.02.00

Zeineddin, A., & Abd-El-Khalick, F. (2010). Scientific Reasoning and Epistemological Commitments: Coordination of Theory and Evidence Among College Science Students. *Journal of research in science teaching*, 47(9), 1064 – 1093.

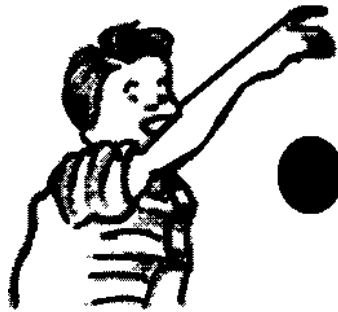


## Bijlage I: Voortoets

### Voorkennis test

Naam:	_____
Leeftijd:	_____
Groep:	_____
Jongen / Meisje:	_____

Stel je eens voor dat je op een trap staat waarbij je twee voorwerpen naar beneden mag laten vallen. Soms zijn die voorwerpen precies tegelijk beneden. En soms ook niet. Hoe zou dat komen? Daar gaan we vandaag proberen achter zien te komen! Daarom mag jij nu eerst een aantal vragen beantwoorden over dit onderwerp.



Omcirkel het goede antwoord!

Vraag 1:

Wanneer je een voorwerp van grote hoogte laat vallen en een voorwerp van kleine hoogte laat vallen, ...

- a) ... maakt het geen verschil welke van de twee voorwerpen het eerst de grond raakt.
- b) ... maakt het wel verschil welke van de twee voorwerpen het eerst de grond raakt, want (streep het foute antwoord door!):

het **hogere / lagere** voorwerp raakt eerder de grond.

Vraag 2:

Wanneer je een licht en een zwaar voorwerp hebt, ...

- a) ... maakt het geen verschil welke van de twee voorwerpen het eerst de grond raakt.
- b) ... maakt het wel verschil welke van de twee voorwerpen het eerst de grond raakt, want (streep het foute antwoord door!):

het **lichtere / zwaardere** voorwerp raakt eerder de grond.

Vraag 3:

Wanneer je een groot en een klein voorwerp hebt, ...

- a) ... maakt het geen verschil welke van de twee voorwerpen het eerst de grond raakt.
- b) ... maakt het wel verschil welke van de twee voorwerpen het eerst de grond raakt, want (streep het foute antwoord door!):

het **grotere / kleinere** voorwerp raakt eerder de grond.

## Bijlage II: Observatieformulier

				Wat verwacht je?	Wat zie je?
				Wat raakt eerder de grond?	Wat raakt eerder de grond?
<i>Omvang</i>					
Lichte pingpongbal	+	Lichte tennisbal	+	Zelfde hoogte =	
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De pingpongbal	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De pingpongbal
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De tennisbal	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De tennisbal
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Tegelijk	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Tegelijk
Lichte tennisbal	+	Lichte voetbal	+	Zelfde hoogte =	
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De tennisbal	<input type="checkbox"/> De tennisbal
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De voetbal	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De voetbal
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Tegelijk	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Tegelijk
Lichte voetbal	+	Lichte pingpongbal	+	Zelfde hoogte =	
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De voetbal	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De voetbal
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De pingpongbal	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De pingpongbal
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Tegelijk	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Tegelijk
Zware pingpongbal	+	Zware tennisbal	+	Zelfde hoogte =	
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De pingpongbal	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De pingpongbal
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De tennisbal	<input type="checkbox"/> De tennisbal
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Tegelijk	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Tegelijk
Zware tennisbal	+	Zware voetbal	+	Zelfde hoogte =	
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De tennisbal	<input type="checkbox"/> De tennisbal
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De voetbal	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De voetbal
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Tegelijk	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Tegelijk
Zware voetbal	+	Zware pingpongbal	+	Zelfde hoogte =	
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De voetbal	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De voetbal
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De pingpongbal	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> De pingpongbal
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Tegelijk	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Tegelijk

				Wat verwacht je?	Wat zie je?
				Wat raakt eerder de grond?	Wat raakt eerder de grond?
<i>Gewicht</i>					
Lichte pingpongbal	+	Zware pingpongbal	+	Zelfde hoogte =	
				<input type="checkbox"/> De lichte pingpongbal	<input type="checkbox"/> De lichte pingpongbal
				<input type="checkbox"/> De zware pingpongbal	<input type="checkbox"/> De zware pingpongbal
				<input type="checkbox"/> Tegelijk	<input type="checkbox"/> Tegelijk
Lichte tennisbal	+	Zware tennisbal	+	Zelfde hoogte =	
				<input type="checkbox"/> De lichte tennisbal	<input type="checkbox"/> De lichte tennisbal
				<input type="checkbox"/> De zware tennisbal	<input type="checkbox"/> De zware tennisbal
				<input type="checkbox"/> Tegelijk	<input type="checkbox"/> Tegelijk
Lichte voetbal	+	Zware voetbal	+	Zelfde hoogte =	
				<input type="checkbox"/> De lichte voetbal	<input type="checkbox"/> De lichte voetbal
				<input type="checkbox"/> De zware voetbal	<input type="checkbox"/> De zware voetbal
				<input type="checkbox"/> Tegelijk	<input type="checkbox"/> Tegelijk
Tennisbal (290 gram)	+	Voetbal (290 gram)	+	Zelfde hoogte =	
				<input type="checkbox"/> De tennisbal	<input type="checkbox"/> De tennisbal
				<input type="checkbox"/> De voetbal	<input type="checkbox"/> De voetbal
				<input type="checkbox"/> Tegelijk	<input type="checkbox"/> Tegelijk

Wat verwacht je? Wat zie je?

Wat raakt eerder de grond? Wat raakt eerder de grond?

*Hoogte*

Lichte pingpongbal + Lichte pingpongbal + Verschillende hoogte =

De laagste pingpongbal  De laagste pingpongbal

De hoogste pingpongbal  De hoogste pingpongbal

Tegelijk  Tegelijk

Lichte tennisbal + Lichte tennisbal + Verschillende hoogte =

De laagste tennisbal  De laagste tennisbal

De hoogste tennisbal  De hoogste tennisbal

Tegelijk  Tegelijk

Wil jij zelf nog andere combinaties zien?