SIMULATIES IN DE NATUURKUNDELES

Open of gesloten opdracht?

SUZETTE
OBBINK *3360512*
PGO 2, blok 2

Dossier: ICT in onderwijs
Expertbegeleider: Monika Louws
Supervisor: Bob Koster

Inhoudsopgave

Abstract 2

1. Inleiding 3

2. Theoretisch kader 3

3. Methode 4

3.1. Context en deelnemers 5

3.2. Dataverzameling 5

3.2.1. Onderzoeksopzet 5

3.2.2. De opdrachten 6

3.3. Data-analyse 7

4. Resultaten...

8

4.1. Observaties bij de gesloten opdracht
.... 9

4.2. Observaties bij de open opdracht
.... 10

5. Conclusie en discussie
.... 10

6. Referenties
.... 12

Bijlage I – gesloten opdracht
.... 13

Bijlage II – open opdracht
.... 18

Bijlage III – eindopdracht en enquête
.... 20

Abstract In dit praktijkonderzoek heb ik onderzocht wat voor opdracht bij een simulatie tot de meeste leerresultaten zou leiden. De variabele in de opdrachten was de mate van *scaffolds* in de vorm van tussenstappen. Twee 4vwo-klassen op een middelbare school in provincie Utrecht heb ik opgesplitst in twee groepen die respectievelijk een open opdracht – zonder tussenstappen – en een gesloten opdracht – met tussenstappen – kregen. Na de opdracht kregen de leerlingen dezelfde eindopdracht. Aan de hand van het cijfer dat ze hiervoor haalden, heb ik de leeropbrengsten bekeken. Er was echter geen significant verschil tussen de eindcijfers bij de open opdracht en de gesloten opdracht. Daarnaast heb ik de uitwerkingen op de opdrachten zelf bekeken om zo tot de conclusie te komen. Hieruit blijkt dat het leerdoel van belang is, welke mate van tussenstappen de meeste leerresultaten geeft. Als er naar een formule toegewerkt wordt, kan er beter een gesloten opdracht ingezet worden. Bij het onderzoeken van een gegeven formule daarentegen kan een leerling beter vrijgelaten worden en levert een open opdracht meer leeropbrengsten op. Deze resultaten vullen eerdere literatuur aan waarin gepleit wordt voor een combinatie van de mate van tussenstappen, zonder dat daar over leerdoelen gesproken wordt.

1. Inleiding

Sinds augustus ben ik aan het werk als natuurkundedocent op een 'laptopschool' – dat houdt in dat iedere leerling een laptop heeft. De aandacht voor ICT op school is dan ook groot. Zelf ben ik nog zoekende hoe ik ICT het beste in mijn les kan verwerken. Uit diverse literatuur blijkt dat simulaties – een programma dat een model van een systeem of proces bevat – een goede vorm zijn om ICT in de natuurkunde les te verwerken (Rutten, Van Joolingen, Van der Veen, 2012). De interactieve simulaties kunnen nieuwe denkbeelden scheppen en sluiten aan bij de leefwereld van leerlingen, waar video's en gamen centraal staan (Wieman, Perkins, 2006). Een ander voordeel van de simulaties ten opzichte van lesboeken dat 'leerlingen systematisch hypothetische situaties kunnen onderzoeken, aan de slag kunnen met versimpelde versies van complexe situaties, de tijdschaal kunnen veranderen, en realistische problemen kunnen oplossen zonder stress' (Van Berkum, De Jong, 1991). Simulaties kunnen daardoor zorgen dat leerlingen nauwer betrokken zijn en de stof begrijpelijker maken. Daarnaast wordt het voor leerlingen gemakkelijker om via simulaties een brug te maken tussen natuurkundige onderwerpen en het dagelijks leven (Wieman, Perkens, 2006).

Echter wordt ook nadrukkelijk gesteld dat alle simulaties, op de simpele na, een opdracht of activiteit nodig hebben om leerlingen te begeleiden en het onderzoekend leren echt effectief te maken (Wieman, Perkins, 2006). Er wordt echter niet uitgeweid wat voor soort opdracht het meest effectief zou zijn en de meeste leeropbrengsten zou geven. Voor mijn eigen praktijk is dat wel fijn om te weten. Als ik leerlingen zelfstandig aan de slag wil laten gaan met een simulatie, zijn ze dan meer gebaat bij een gerichte opdracht of kan ik ze beter vrijlaten door ze zelf dingen te laten uitzoeken met de simulatie? Dat ben ik gaan onderzoeken in dit praktijkonderzoek.

Allereerst beschrijf ik in dit verslag de theoretische achtergrond achter het gebruik van simulaties in de natuurkunde en in het algemeen. Dit zal leiden tot mijn onderzoeksvraag en hypothese. Vervolgens beschrijf ik de methode die ik heb toegepast om de onderzoeksvraag te beantwoorden. Uit de resultaten zal blijken wat er uitgekomen is. De conclusies die daaruit zullen volgen zullen samen met de aanbevelingen voor mijn praktijk beschreven worden in de conclusie en discussie.

2. Theoretisch kader

Het gebruik van simulaties wordt gezien als een vorm van onderzoekend leren. Veel literatuur benoemen de positieve effecten van simulaties in de les. Net als in Wieman en Perkins (2006) wordt het belang van een opdracht of van *scaffolds* – hulpmiddelen als hints, herinneringen, voorbeelden of tussenstappen – benadrukt om een beter leerresultaat te krijgen.

Dit volgt bijvoorbeeld uit het onderzoek van Alfieri, Brooks, en Aldrich (2011) over *discovery-based instruction*. Deze leermethode houdt in dat leerlingen zelfstandig conceptuele kennis aanleert met behulp van de gegeven materialen. Alfieri et al. (2011) hebben een meta-analyse gedaan naar de effecten van onbegeleid onderzoekend leren en expliciete instructies en naar begeleid onderzoekend leren ten opzichte van andere vormen van instructie. Zijn uitkomst was dat helemaal geen begeleiding niet tot betere resultaten leidt, terwijl het geven van scaffolds, of expliciete uitleg dit wel als gevolg heeft. Als dit vertaald wordt naar simulaties, betekent dit dat een vorm van instructie, bijvoorbeeld een opdracht, dus noodzakelijk is. Het is echter nog niet duidelijk in welke mate er scaffolds aangeboden dienen te worden.

Dit komt meer naar voren in De Jongs onderzoek (2006) naar *enquiry learning*, dat vergelijkbaar is met *discovery-based learning.* Hierbij gaan leerlingen situaties uit het dagelijks leven onderzoeken

door daar vragen bij te stellen, hypotheses op te stellen en deze te testen om zo nieuwe conceptuele kennis te verwerven. Computersimulaties zijn een effectief leermiddel hierbij. Volgens De Jong (2006) hebben leerlingen over het algemeen moeite veel aspecten uit het onderzoekend leren, zoals het opstellen van een vraag, het definiëren van hypotheses en het trekken van conclusies uit de resultaten. Daartoe zouden ‘steigers’ of ‘scaffolds’ gebouwd moeten worden om leerlingen op weg te helpen. Dit kan in de vorm van uitleg of achtergrondinformatie, maar de ‘meest effectieve leerresultaten worden behaald met middelen die structuur geven aan het leerproces, zoals een reeks van opdrachten’ (De Jong, 2006). Dit lijkt erop te wijzen dat er een voorkeur gegeven wordt aan een gesloten opdracht, waarbij de leerlingen stapsgewijs (met een reeks opdrachten) door de simulatie geloosd worden, ten opzichte van een open opdracht waarin leerlingen vrij gelaten worden in hun leeractiviteit. Deze definities van de open en gesloten opdracht zal ik voor de rest van dit verslag hanteren.

Zoals hierboven blijkt, wordt het gebruik van scaffolds als noodzakelijk ervaren, maar er wordt nog niet concreet ingegaan op de mate en vorm ervan. Dit gebeurt wel in het onderzoek van Rutten et al. (2012) waarin het soort opdracht meegenomen wordt als variabele. Uit hun meta-analyse, die gebaseerd is op het bestuderen van verschillende experimentele studies, volgt dat er een grote variëteit aan mogelijkheden is om op een effectieve manier instructie te geven. Over het algemeen wordt aanbevolen om een combinatie van structuur en vrijheid aan te bieden (Rutten et al., 2012). Deze conclusie wordt onder andere gebaseerd op het onderzoek van Chang, Chen, Lin en Sung (2008), waarin de effectiviteit van leermiddelen bij simulaties werd onderzocht in het natuurkundeonderwijs. Drie verschillende vormen van scaffolds (in het onderzoek *learning models* genoemd) werden getoetst op leerlingen om te zien of deze een invloed hadden op verschillende abstracte denkniveaus van leerlingen; dit was niet gevonden. Wel bleek dat leerlingen die een hoger abstract denkniveau hebben meer profijt hadden van simulatie leren en dat de leerresultaten beter waren bij het geven van achtergrondinformatie en hulp bij het stellen van hypotheses die daarna vrij getest konden worden met de simulatie, dan bij een opdracht waar de procedure stap-voor-stap uitgelegd was (Chang et al., 2008).

Deze studie is gedaan in Taipei County (Taiwan) bij tweejaars *junior high schoolstudenten*; qua leeftijd is dit is vergelijkbaar met klas 1 en 2 van een Nederlandse middelbare school. Door verschillen in cultuur, curriculum en niveau kunnen de resultaten uit dit onderzoek niet klakkeloos genomen worden voor mijn praktijk. Daarbij ben ik eerder benieuwd naar de resultaten bij oudere leerlingen, die mogelijk meer ervaring hebben met onderzoekend leren. Het blijft voor mij dus relevant om onderzoek te doen wat voor soort opdracht de meeste leerresultaten zal opleveren.

Opvallend is dat De Jong (2006) impliciet uitkwam op een voorkeur voor heel veel tussenstappen aanbieden, terwijl in Chang et al. (2008) juist naar voren komt dat een stap-voor-stap-methode niet effectief werkt. Om hier meer duidelijkheid in te krijgen, kies ik dit als variabele en zal ik de mate van tussenstappen variëren in de opdrachten die ik aanbied. De onderzoeksvraag die hierbij luidt, is: *Welke mate van tussenstappen in een opdracht bij een simulatie geeft de meeste leeropbrengsten?*

3. Methode

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden heb ik gekozen voor een *mixed method*. Aan de ene kant heb ik een kwantitatief onderzoek gebruikt waarbij ik de leeropbrengsten bij open en gesloten opdrachten in de vorm van een cijfer met elkaar heb vergeleken. De open opdracht krijgt weinig tussenstappen en laat leerlingen vrij; de gesloten opdracht geeft alle tussenstappen om tot het

antwoord op de hoofdvraag te komen. Om het leereffect te vergroten zou het goed zijn als de tussenstappen geleidelijk aan zouden verdwijnen, zodat het leerproces langzaam overgenomen kan worden. Echter zou het verschil met een opdracht zonder sturing ook al verschil moeten laten zien (De Jong, 2006). Daarom zal het voor mijn resultaten niet uitmaken dat ik de tussenstappen al direct in de opdracht geef.

Aan de andere kant heb ik ook een korte enquête gehouden om inzicht te krijgen in het oordeel van leerlingen over de opdracht en de simulatie. De twee methodes versterken elkaar, omdat het kwantitatieve onderzoek mij concrete informatie zal verschaffen over de leeropbrengsten en de enquête geeft subjectieve informatie over de mening van de leerlingen.

3.1. Context en deelnemers

Ik heb het onderzoek uitgevoerd in december 2017 op een middelgrote middelbare school in de provincie Utrecht. Omdat ik lesgeef aan twee vwo-klassen, heb ik gekozen om op dit niveau het onderzoek uit te voeren: het geeft directe relevantie voor mijn eigen praktijk. Daarnaast zijn de simulaties vaak verdiepend en zal ik ze eerder inzetten in de bovenbouwklassen. Daarom heb ik het onderzoek afgenomen in 4vwo; deze leerlingen zijn 15-16 jaar oud. Om een betrouwbaarder resultaat te krijgen, heb ik het onderzoek afgenomen in twee clusterklassen – de ene geef ik zelf les; de andere krijgt les van een docent met drie jaar ervaring. Om enige invloed hiervan te vermijden en de betrouwbaarheid te waarborgen, heb ik iedere klas gesplitst in twee groepen. Groep 1 kreeg de open opdracht; groep 2 kreeg de gesloten opdracht. Hierbij heb ik rekening gehouden dat de groepen ongeveer hetzelfde gemiddelde zouden hebben voor natuurkunde.

3.2. Dataverzameling

Voor dit onderzoek heb ik de verschillen in leeropbrengst vergeleken tussen de twee groepen die bij een simulatie respectievelijk een open en een gesloten opdracht kregen. De variabele in de opdracht was de mate van tussenstappen. De open opdracht bevatte geen tussenstappen, de gesloten opdracht wel.

3.2.1. Onderzoeksopzet

Zoals boven vermeld heb ik het onderzoek uitgevoerd in twee verschillende klassen. Ik heb daartoe per klas één reguliere les overgenomen. De ene klas voerde de opdracht uit tijdens het 4^e uur aan het einde van de ochtend; de andere klas tijdens het 7^e uur in de middag. Door iedere klas in twee groepen te splitsen en zowel de open als de gesloten opdracht te geven, zal dit geen effect geven voor mijn resultaten.

De klas kreeg eerst een filmpje te zien van Mythbusters waarin het onderwerp van de simulatie geïntroduceerd werd.[1] Daarna kreeg de ene helft de open opdracht uitgedeeld en de andere de gesloten opdracht. Ze kregen in eerste instantie 20 minuten om dit te doorlopen, maar omdat veel nog niet klaar waren, heb ik dit tijdens de les verlengd met 5 minuten. De tweede klas kreeg ook deze 5 minuten extra. De tijd hield ik bij met een stopwatch op het bord, zodat voor iedereen duidelijk was wanneer ze moesten stoppen. Tegen het einde van de tijd heb ik met name de leerlingen met de gesloten opdracht gestuurd op doorwerken; bij de open opdracht was het minder duidelijk waar

[1] https://www.youtube.com/watch?v=tF_zv3TCT1U

leerlingen waren. Hier heb ik leerlingen gevraagd of ze al antwoord hadden op de hoofdvraag om ze zo te sturen op de essentie van de opdracht.

Omdat ik graag de leerresultaten in mijn eigen praktijk wilde meten, liet ik zoveel mogelijk dingen hetzelfde als in mijn eigen les. Leerlingen mochten met elkaar overleggen (mits ze dezelfde versie hadden) en leerlingen mochten vragen stellen aan mij. Ik heb ze niet direct het antwoord gegeven, maar hulpvragen gesteld om ze zelf tot het antwoord te laten komen. De vragen die gesteld zijn, heb ik bijgehouden van welke opdracht ze kwamen.

Ongeacht of ze klaar waren met de opdracht, moesten ze daarna beginnen aan de eindopdracht, die gevolgd werd door een korte enquête over de opdracht en de simulatie. Deze eindopdracht moesten ze zonder simulatie maken, omdat dit direct de antwoorden op de rekenvraag zouden kunnen weggeven. De aantekeningen van hun opdracht mochten ze er wel bijhouden – ik wilde immers niet hun geheugen testen. De eerste klas had voldoende tijd over voor de eindopdracht; in de tweede klas hadden ze hier 7 minuten voor in plaats van 10. Hierdoor hebben veel in deze klas de bonusopdracht niet kunnen maken. Tot slot heb ik alle materialen (de uitwerkingen op de opdracht, de eindopdracht en de enquête) ingenomen en kreeg iedere leerling als dank voor hun deelname een stroopwafel.

3.2.2. De opdrachten

De simulatie waarbij ik de opdrachten heb gemaakt, heb ik gehaald van de site van *Physics Education Technology*.[2] De 4-vwo-leerlingen hadden net een hoofdstuk afgerond over krachten en daarvoor was het onderwerp beweging behandeld. Het onderwerp van de simulatie wilde ik daarop laten aansluiten en daarnaast wilde ik leerlingen iets nieuws aanbieden. Zo kwam ik uit op een simulatie over de horizontale worp. Dit was eerder eindexamenstof, maar is dat tegenwoordig niet meer. De simulatie bestond uit een kanon waaruit je verschillende voorwerpen kon laten schieten (van kogels tot piano's en mensen). De baan die het voorwerp aflegde, werd dan zichtbaar gemaakt. Je kan met deze simulaties eindeloos variëren: je kan de massa veranderen, de hoek waaronder een voorwerp weggeschoten wordt, de hoogte van de kanon, de beginsnelheid, je kan de luchtwrijving aan en uit zetten. Daarnaast is het mogelijk de krachten in de vorm van pijlen op het weggeschoten voorwerp te laten zien, als ook de snelheid en versnelling. Tot slot waren er ook meetinstrumenten beschikbaar waarmee de plaats en tijd gemeten kon worden, ook halverwege de worp.

Beide opdrachten hadden dezelfde introductie en hoofdvraag. In het filmpje van Mythbusters werd de probleemstelling laten zien. Als je een kogel tegelijkertijd laat vallen met eenzelfde soort kogel die naar voren geschoten wordt, dan komen ze tegelijkertijd neer op de grond. Dit is een voorbeeld van een horizontale worp en de leerlingen kregen de opdracht om te onderzoeken hoe zo'n worp in elkaar steekt. De onderzoeksvraag bij simulatie luidde daarom: *hoe kan je de horizontale worp beschrijven*? Daartoe werd alvast wat achtergrondinformatie gegeven over de formule die in de y-richting geldt. In beide opdrachten was de eerste deelvraag om deze formule te onderzoeken.

In de gesloten opdracht gebeurde dat stap voor stap: eerst werd gekeken naar een valbeweging zonder beginsnelheid en vervolgens werd de beginsnelheid gevarieerd. Het doel was dat leerlingen inzagen dat de valtijd niet zou veranderen ongeacht de beginsnelheid. Ook werd in een vraag onderzocht of de massa hier invloed op zou hebben; dit is niet het geval. Daarna werden leerlingen stap voor stap geleid naar de formule die geldt in de x-richting. Door de instellingen in de simulatie te veranderen werd inzicht verkregen in het soort beweging in de x-richting; met hun voorkennis

[2] https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_en.html

zouden ze dan tot deze formule moeten kunnen komen. Tot slot eindigde de opdracht met een rekenopdracht waarbij de twee formules toegepast moesten worden.
Al deze tussenstappen misten in de open opdracht. Leerlingen moesten zelf een methode bedenken om de y-formule te onderzoeken en werd meteen daarop gevraagd wat de formule voor de x-richting zou zijn. Daarna kwam dezelfde rekenopgave die in gesloten opdracht als laatste kwam.
De eindopdracht bestond uit drie verschillende soorten vragen. De eerste was een begripsvraag en vroeg om de uitleg waarom de twee kogels uit het filmpje tegelijkertijd op de grond vielen. De tweede vraag ging over de invloed van de massa op de horizontale worp. De derde vraag was een soortgelijke rekenvraag als die uit de opdracht. Bij deelvraag a moest de y-formule gebruikt worden; bij deelvraag b de x-formule. Omdat ik het lastig vond om de benodigde tijd in te schatten, heb ik een bonusvraag toegevoegd. Deze bevatte ook een rekenopdracht zonder deelvragen waarbij allebei de formules toegepast moesten worden.
De enquête die op de eindopdracht volgde stelde vragen over het gemiddelde cijfer dat ze voor natuurkunde stonden, wat hun mening over de simulatie was en in welke mate deze en de opdracht geholpen hadden om de eindopdracht te kunnen maken. Alle drie de opdrachten en de enquête zijn te vinden in bijlage I tot en met III.

3.3. Data-analyse

In eerste instantie zal ik mij richten op de cijfers die leerlingen behaald hebben voor de eindopdracht en hun gemiddelde cijfers voor natuurkunde.
Vooraf heb ik een antwoordmodel gemaakt waarbij ik een puntenverdeling heb gemaakt voor de gegeven antwoorden. Voor vraag 1 t/m 3 konden in totaal 10 punten behaald worden; met de bonusvraag konden nog eens 4 punten extra behaald worden. De bonusvraag telde mee als extra. Dat betekent dat het eindcijfer berekend met de volgende formule:

$$\text{eindcijfer} = \frac{\text{behaalde aantal punten}}{\text{totaal aantal punten}} \cdot 10$$

Het totaal aantal behaalde punten is in dit geval het aantal punten zonder de bonusopdracht, dus 10 punten. Het is daardoor mogelijk om een cijfer boven de tien te halen, maar blijft de bonusvraag wel echt een bonusvraag. Ik heb deze methode vanuit mijn school; daar wordt dit regelmatig toegepast in de PTA-toetsen. Zoals aan de formule te zien is, wordt er geen normering meegegeven aan het eindcijfer. Ik wil graag de ruwe cijfers vergelijken met de gemiddelde cijfers om zo duidelijk een effect van de opdracht te kunnen zien.
Met behulp van Excel 2016 heb ik correlatie tussen de gemiddelde cijfers voor natuurkunde vergeleken met de behaalde cijfers voor de eindopdracht bij leerlingen met zowel de gesloten als de open opdracht. Ook heb ik de eindcijfers van de open opdracht vergeleken met die van

de gesloten opdracht met behulp van de T-toetsfunctie in Excel. De nulhypothese die met deze toets getoetst wordt, is dat een open opdracht evenveel leeropbrengsten geeft als een gesloten opdracht. Daarnaast heb ik per vraag uit de eindopdracht het gemiddelde aantal punten berekend, de standaarddeviatie, de p-waarde en de correlatie met het eindcijfer. Op deze manier kan ik de toets per vraag analyseren en onderzoeken of bepaalde vragen beter gemaakt worden met een bepaalde opdracht.

7

Verder gebruik ik ook kwalitatieve benaderingen in mijn data-analyse. Zo heb ik de antwoorden op de enquêtevragen bekeken om te zien of daar iets opvallends naar voren komt en heb ik de uitwerkingen van de opdrachten bekeken om te zien hoe ver iedere leerlingen gekomen was en of dat ook terug te zien is in het eindcijfer.

4. Resultaten

In tabel 1 staat hoeveel participanten er per opdracht meededen en is hun gemiddelde natuurkundecijfer te zien – deze is voor beide groepen precies gelijk. Daarnaast staat ook het gemiddelde cijfer voor de eindopdracht in deze tabel met de correlatie die volgde uit het eindcijfer en het gemiddelde natuurkunde cijfer. In figuur 1 en 2 zijn per opdracht de gemiddelde natuurkunde cijfers uitgezet tegen de behaalde eindcijfers voor de eindopdracht.

Aantal participanten
Gemiddelde natuurkunde cijfer
Gemiddelde cijfer voor de eindopdracht
Gemiddelde cijfer voor de eindopdracht
Variantie cijfers eindopdracht
Variantie cijfers eindopdracht
Variantie cijfers eindopdracht
Correlatie tussen de cijfers
Correlatie tussen de cijfers
Correlatie tussen de cijfers
Correlatie tussen de cijfers

Open Opdracht 22 6,2 5,3 3,6 0,017

Gesloten Opdracht 27 6,2 5,5 3,9 0,433

T-toets P = 0,883 → geen significant verschil tussen de leeropbrengsten.

Tabel 1, Diverse kwantitatieve gegevens, zoals aantal participanten, hun gemiddelde cijfer voor natuurkunde en de eindopdracht en de correlatie tussen deze cijfers.

Gesloten opdracht

14,0

12,0 **t**

hc 10,0

ardp 8,0

odni6,0

er ef4,0

ji
C2,0

0,0

3,0 4,0 5,0 6,0 7,0 8,0 9,0 10,0 **Gemiddelde cijfer voor natuurkunde**

Figuur 1, Het gemiddelde cijfer uitgezet tegen het eindcijfer voor de eindopdracht waarbij leerlingen voorgaand gewerkt hebben aan de gesloten opdracht.

8

14,0

12,0

C **ijfer eindopdracht**

10,0

8,0

6,0

4,0

2,0

0,0

3,0 4,0 5,0 6,0 7,0 8,0 9,0 10,0

Gemiddelde cijfer voor natuurkunde

Figuur 2, Het gemiddelde cijfer uitgezet tegen het eindcijfer voor de eindopdracht waarbij leerlingen voorgaand gewerkt hebben aan de open opdracht.

Uit tabel 1 blijkt dat de bij de gesloten opdracht de correlatie tussen de behaalde cijfers en de gemiddelde cijfers 0,4 is. Dat zegt dat er een kleine, statische samenhang is tussen de cijfers voor natuurkunde en de cijfers voor de eindopdracht. De leerlingen die gemiddeld goed zijn in natuurkunde voeren de eindopdracht goed uit als ze vooraf een gesloten opdracht hebben uitgevoerd; het omgekeerd geldt ook. Voor het geval van de open opdracht is, is de correlatie nagenoeg nul. Dit betekent dat de twee cijfers niet met elkaar samenhangen. Als je de eindopdracht goed hebt gedaan, zegt dat niets over je gemiddelde cijfer voor natuurkunde en omgekeerd. Dit is interessant, omdat het niveauverschil tussen leerlingen hierbij vervaagd is. Er zou gesteld kunnen worden dat leerlingen door de vrijheid meer gemotiveerd zijn om aan de slag te gaan en daardoor beter kunnen presteren.

De gemiddelden tussen de cijfers van de eindopdrachten van twee groepen liggen erg dicht bij elkaar. Hieruit kan al gesteld worden dat er geen verschil in leeropbrengst is tussen de twee soorten opdrachten. Om dit ook statisch hard te maken, heb ik een T-toets uitgevoerd waarbij ik de nulhypothese testte dat een open opdracht evenveel leeropbrengsten geeft als een gesloten opdracht. Zoals te zien in tabel 1 is de variantie in de cijfers van de eindopdracht tussen beide groepen ongeveer even groot. Uit de T-toets met tweezijdige verdeling en twee steekproeven met gelijke variantie (homoscedastisch) volgde een kans van 0,883 dat de nulhypothese klopte. De nulhypothese kan dus niet verworpen worden: de open opdracht geeft evenveel leeropbrengsten als de gesloten opdracht.

Over het algemeen kan gesteld worden dat het tijdgebrek van invloed geweest zal zijn op de resultaten. Een enkeling heeft alle opdrachten uit de gesloten opdracht kunnen maken; sommigen zijn niet eens toegekomen aan het ontdekken van de x-formule. Ook in de open opdracht zag ik dat weinig leerlingen toegekomen waren aan de rekenvragen en was een aantal nog zoekende naar de x- formule. Andere verklaringen kunnen gevonden worden in de uitwerkingen van de opdrachten zelf.

4.1. Observaties bij de gesloten opdracht

Met het bekijken van de uitwerkingen van de opdrachten zelf, kwamen ook interessante observaties naar voren. Zo kwam niet iedereen met de gesloten opdracht op het juiste antwoord over de formule in de x-richting (zij die er niet uitkwamen hebben, hebben vermoedelijk samengewerkt met de opdracht). Dit resulteerde dat hun cijfer niet hoger werd dan een 5. Het

verbaasde mij dat ze niet op het goede antwoord kwamen, want hun achtergrondkennis was voldoende en wordt er redelijk duidelijk naar toe geloodst (dat zie je aan de meeste anderen die er wel uitkwamen). Een valkuil die ontstaat met een gesloten opdracht is dat leerlingen niet goed de vraag lezen. Door alle tussenstappen krijg je meer tekst. Als een leerling niet goed leest, dan kan het gevolgen hebben voor het eindresultaat. Dit was ook te zien bij de eerste reeks vragen waarbij de y- formule gecontroleerd werd. Als dit doel niet duidelijk werd, kwamen de leerlingen helemaal niet meer uit de opdracht en ook niet uit de eindopdracht. Dit zag ik bij leerlingen die wel goed voor natuurkunde staan; de gesloten opdracht bracht ze eerder verwarring dan dat het wat opleverde.

Leerlingen met een gesloten opdracht kregen een vraag over de invloed van massa op de horizontale worp. Sommigen hadden deze overgeslagen en misten daardoor de punten op de eindtoets. Over het algemeen scoorden iedereen daar wel goed op. De p-waardes voor deze vraag waren hoog bij de gesloten opdracht, namelijk 0,9. Voor de open opdracht stond nergens iets over massa in de vraag. Uit de uitwerkingen blijkt dat geen enkele leerling heeft zich hier daarom mee bezig heeft gehouden in de simulatie; de meesten leken gericht op het beantwoorden van de vragen die ze gekregen hadden. Het gevolg: de vraag over massa is zeer slecht gemaakt, met p-waardes van 0,2 en 0,4.

4.2. Observaties bij de open opdracht

Omdat de leerlingen met de open opdracht eerder de rekenvraag tegen kwamen die vergelijkbaar was met de rekenvraag in de eindopdracht, zou het goed kunnen dat de herkenning daarvan iets heeft geholpen bij de eindopdracht. Van de acht die tot de formule in de x-richting zijn gekomen, kan een groot deel deze ook toepassen in de eindopdracht. Ik ben zelfs tegengekomen dat een leerling die tijdens de opdracht niet uit de formule was gekomen, maar tijdens de eindopdracht wel. Het lijkt erop dat deze leerling verder na kon denken wat ze moest doen. Dit ben ik bij de gesloten opdracht niet tegengekomen. Van de overige die niet tot de formule zijn gekomen, zag ik in de uitwerkingen veel getallenvoorbeelden die ze uit de simulatie haalden. Als het bij getallen bleef en er geen vertaling was gemaakt naar formules, dan kwamen de leerlingen niet uit de eindopdracht. Zoals ook uit de correlatie blijkt, maakt het niet uit wat hun gemiddelde cijfer voor natuurkunde is of ze tot de formule kwamen of niet.

Daarnaast kregen leerlingen in de open opdracht gericht de of y-formule klopte. Leerlingen kunnen dat op hun eigen manier doen en dat lijkt effectief te werken. Dat is te zien aan de eerste begripsvraag uit de eindopdracht: *waarom vallen de kogels tegelijkertijd op de grond?* De p-waarde bij de open opdracht ligt hoger dan bij de gesloten opdracht: 0,6 tegenover 0,4. De gelijke valversnelling wordt vaak genoemd. Bij de gesloten opdracht zijn de antwoorden divers en wordt zelfs een keer iets gezegd over het soort beweging dat in de x-richting geldt.

5. Conclusie en discussie

De aanleiding voor dit onderzoek volgde uit een handelingsverlegenheid. Ik wilde graag onderzoeken wat voor soort opdracht bij een simulatie de meeste leerresultaten zou geven. Mijn onderzoeksvraag luidde: *Welke mate van tussenstappen in een opdracht bij een simulatie geeft de meeste leeropbrengsten?*

In mijn onderzoek heb ik twee 4vwo-klassen opgesplitst in twee groepen die elk een ander opdracht kregen: een gesloten opdracht met heel veel tussenstappen en een open opdracht die leerlingen vrijliet. Daarna kregen ze dezelfde eindopdracht. Aan de hand van de cijfers voor die

opdracht, hun gemiddelde cijfer voor natuurkunde en de antwoorden op de open en gesloten opdracht heb ik de data geanalyseerd. Uit de kwantitatieve resultaten blijkt dat er geen verschil in leeropbrengst is tussen een open en een gesloten opdracht. De gemiddelde cijfers voor de eindopdracht voor beide groepen waren nagenoeg gelijk aan de elkaar. Dit volgde ook uit de T-toets. Hieruit lijkt opgemaakt te kunnen worden dat het niet uitmaakt hoeveel tussenstappen je geeft. Echter blijkt uit de observaties van de uitwerkingen van de open en gesloten opdracht wel degelijk een verschil in leeropbrengst te zitten. Hieruit blijkt dat de leeropbrengst bij een opdracht afhangt van het leerdoel dat je stelt bij de simulatie.

Zo viel het op dat leerlingen bij de open opdracht snel keken naar de getallenvoorbeelden die volgden uit de simulatie en de rekenopdracht. Door daar een beetje mee te rekenen kwamen ze meestal op het getal dat de simulatie ook gaf. Echt inzicht leken de leerlingen er niet altijd mee behaald te hebben: ze konden dezelfde methode niet toepassen in de eindopdracht met een soortgelijke rekenopdracht. Leerlingen met de gesloten opdracht werden stapje voor stapje naar de formule geleid, met als gevolg dat ze eerst de formules hadden voordat ze begonnen met rekenen. Er hoefde geen vertaalslag meer gemaakt te worden van getallen naar formules en dat bleek effectief. Dus als er naar een formule toegewerkt wordt, kan hiervoor beter een gesloten opdracht worden toegepast. Het viel op dat er nog steeds foutieve interpretaties gemaakt worden bij deze procedure. Het blijft dus van belang om als docent in de gaten te houden of leerlingen op de goede weg zitten. Een andere deelvraag die zowel in de open als de gesloten opdracht zat, was om een gegeven formule te controleren. Dit lijkt hogere leeropbrengsten te hebben als een leerling vrij gelaten wordt in de manier waarop hij/zij dat doet – met een open opdracht dus. Dat is te zien aan de eerste vraag uit de eindopdracht die naar begrip over de gegeven formule vroeg. De p-waarde bij de open opdracht lag hoger dan bij de gesloten opdracht, wat betekent dat deze percentueel beter gemaakt is. De moeilijkheid in de gesloten opdracht leek te zitten in de onduidelijkheid van het doel van de eerste reeks opdrachten. Een mogelijke oorzaak hiervoor is de hoeveelheid tekst die een gesloten opdracht vraagt. In het algemeen is te zien dat leerlingen niet goed lezen. Doordat de gesloten opdracht veel leeswerk vraagt, zou dit de leerresultaten in de weg kunnen staan. Bij leerdoelen waarbij een stap voor stap plan niet noodzakelijk is, is het dus verstandig dit weg te laten. Bij een open opdracht is het van belang goede deelvragen te stellen die de leerling kan onderzoeken. Nu stond er in de open opdracht niets over de invloed van massa. Als gevolg leek niemand met de open opdracht dit onderzocht te hebben. Dit baseer ik op de deelresultaten voor de vraag over de invloed van massa in de eindopdracht. De p-waardes waren zeer laag (0,2 en 0,4) vergeleken met de gesloten opdracht (0,9 en 0,9), waar invloed van massa wel onderzocht werd. Als de massa voorkwam in de deelvragen van de open opdracht vermoed ik dat leerlingen dit zelfstandig hadden kunnen onderzoeken. Het is dus van belang in een open opdracht alle variabelen te vermelden, die je als docent wil dat leerlingen gaan onderzoeken.

Als mijn resultaten vergeleken worden met de resultaten uit de literatuur blijkt dat er overeenkomsten zijn. Uit de metastudie van Rutten et al. (2012) volgde dat een combinatie van vrijheid en structuur belangrijk was. Mijn aanvulling hierop is dat de mate van structuur afhangt van het leerdoel dat je wil bereiken. Een open opdracht is nuttig als leerlingen zelf een formule mogen onderzoeken en een gesloten opdracht is effectief als leerlingen tot een bepaalde formule moeten komen. Het werk van Rutten et al. (2012) was gebaseerd op een onderzoek van Chang et al. (2008) die specifiek inging op de vorm van de opdracht bij een simulatie in de natuurkundeles. Hier kwam uit dat een stap-voor-stap-procedure het minst effectief was. Dit staat in contrast met het onderzoek van De Jong (2006) waar zo'n methode juist wordt aanbevolen. Ook deze tegenstelling lijkt nu

opgelost: mogelijk zijn in deze onderzoeken het leerdoel van de opdrachten niet als variabele meegenomen.

Het is tot slot nog wel belangrijk om mee te nemen dat er zwakke kanten in mijn onderzoek zitten. Zo was de tijd die leerlingen kregen aanzienlijk te kort om de open en gesloten opdracht tot een volledig einde te brengen. Dit zal de leerresultaten in de weg hebben gestaan. Daarnaast is de verworven kennis gekoppeld aan de resultaten van de eindtoets en het gemiddelde cijfer voor natuurkunde. Hierin zat in principe geen voorkennis van de horizontale worp, maar het zou goed kunnen dat leerlingen dat op een andere manier wel hadden. Het had daarom tot betrouwbaardere resultaten geleid als ik eerst een pretest had gedaan, waarin de specifieke voorkennis over dit onderwerp had getoetst. Dit had ik dan kunnen vergelijken met een posttest nadat ze aan de opdracht gewerkt hadden. Dit had de validiteit van het onderzoek ten goede gedaan.

Ondanks de zwakke punten zal ik de resultaten wel meenemen naar mijn praktijk. Als ik leerlingen met een simulatie aan de slag zal zetten, zal ik eerst goed kijken naar het leerdoel dat ik wil bereiken en aan de hand daarvan een open dan wel gesloten opdracht ontwerpen.

6. Referenties

- 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. - Berkum, J. A. van, Jong, T. de (1991). Instructional environments for simulations. *Education & Computing, 6,* 305–358. - Chang, K. E., Chen, Y. L., Lin, H. Y., & Sung, Y. T. (2008). Effects of learning support in simulation-based physics learning. *Computers & Education, 51(4),* 1486–1498. - Jong, T. de (2006). Technological Advances in Inquiry Learning. *Science, 312,* 532-533. - Rutten, N., Joolingen, W.R. van, Veen, J.T. van der (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers and Education, 58,* 136-153. - Wieman, C. E., & Perkins, K. K. (2006). A powerful tool for teaching science. *Nature Physics, 2(5)*, 290–292.

Bijlage I *Introductie*

In het filmpje van de mythbusters zag je een voorbeeld van een horizontale worp. Zoals je kon zien is daar wat bijzonders mee aan de hand. Als je een kogel tegelijkertijd laat vallen met eenzelfde soort kogel die naar voren geschoten wordt, komen deze tegelijkertijd neer op de grond.

Via deze link kom je bij een simulatie over de horizontale worp.
https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_en.html

Voor dit onderzoek ga je met behulp van deze simulatie uitzoeken hoe de horizontale worp precies in elkaar zit om er zo achter te komen waarom deze kogels tegelijkertijd terechtkomen.

Onderzoeksvraag voor bij simulatie

Hoe kan je de horizontale worp beschrijven?

Theorie

De horizontale worp is een deel van een parabool. Deze wordt gegeven door de formule:

$$y = \frac{1}{2}at^2$$

Hierin is:

- *y* de afgelegde afstand in de y-richting in m;
- *a* de versnelling in m/s^2;
- *t* de tijd in s.

Spelregels

1. De klas wordt opgedeeld in twee groepen. Iedere groep krijgt een eigen versie. 2. Je mag samenwerken, maar alleen met iemand die dezelfde versie heeft (zie bovenaan). 3. Je mag vragen stellen. 4. Je mag gebruik maken van de simulatie, je Binas en een gewone rekenmachine. 5. Je mag geen gebruik maken van andere informatiebronnen, zoals het internet. 6. Je krijgt 20 minuten om met de simulatie en de bijhorende opdracht bezig te zijn. 7. Na de 20 minuten maak je individueel een eindopdracht, die je zonder simulatie moet oplossen; je mag wel je aantekeningen erbij houden. De eindopdracht telt niet mee voor een cijfer. 8. Aan het eind lever je zowel je aantekeningen als de eindopdracht in. 9. Als dank voor je inzet krijg je aan het eind een stroopwafel!

Opdracht bij de simulatie

De onderzoeksvraag is: hoe kan je de horizontale worp beschrijven? Hierbij is de formule voor de y- richting al gegeven. Om de horizontale worp volledig te kunnen beschrijven en ermee te rekenen, moeten we op zoek gaan naar de formule voor de x-richting. Geldt voor de horizontale richting dezelfde formule voor als in de verticale richting?

→ *Eerst gaan we de juistheid van de formule voor de afgelegde afstand in de y-richting controleren. Ga naar de simulatie → Intro → en gebruik de begininstellingen van de simulatie (je schiet een pompoen, zonder luchtweerstand van een hoogte h = 10 m, onder een hoek van 0° en met een beginsnelheid v_{begin} = 15 m/s).*

1. Stel de beginsnelheid in op v_{begin} = 0 m/s en vuur een pompoen af (*klik op de rode knop met een kanon erop*). Meet met behulp van het meetinstrument hoe lang de pompoen erover doet om op de grond terecht te komen.

a. Varieer de beginhoogte. Meet hoe lang de pompoen erover doet om op de grond te komen met v_{begin} = 0,0 m/s.

Hoogte *h* (m)	Afgelegde afstand in de y-richting *y* (m)	Tijd *t* (s)
5		
10		
15		

b. Volgen deze tijden ook uit de formule voor y? Bedenk daartoe eerst waarvoor de *a* staat in de formule en reken dan minimaal twee verschillende hoogte de waardes voor de tijd na.

→ *Stel de hoogte in op 10m. We gaan onderzoeken of de massa en de beginsnelheid een invloed hebben op de afgelegde afstand in y-richting en van de duur van de horizontale worp.*

2. Varieer de beginsnelheid en meet de eindtijd en de horizontale eindafstand met behulp van het meetinstrument. Meet minimaal drie verschillende beginsnelheden, waaronder v_{begin} = 0 m/s.

Beginsnelheid v_{begin} (m/s)

Afgelegde afstand in de y-richting *y* (m)

Afgelegde afstand in de x-richting *x* (m) Tijd *t* (s)

Afgelegde afstand in de x-richting *x* (m) Tijd *t* (s)

0 5 10 15

a. Wat valt je op aan de waardes in de tabel? Streep door wat niet van toepassing is.

i. De afgelegde afstand in de y-richting wordt *groter/kleiner/ blijft gelijk* bij een grotere beginsnelheid. ii. De afgelegde afstand in de x-richting wordt *groter/kleiner/ blijft gelijk* bij een grotere beginsnelheid. iii. De duur van de worp wordt *groter/kleiner/ blijft gelijk* bij een grotere beginsnelheid.

3. Varieer de massa door nog twee andere soorten voorwerpen te lanceren. Houd de beginhoogte en de beginsnelheid gelijk; zorg dat deze allebei groter zijn dan 0.

a. Hangt de massa af van de tijd?

b. Hangt de massa af van de afgelegde afstand in de y-richting?

c. Hangt de massa af van de afgelegde afstand in de x-richting?

15

→ *We zijn er (als het goed is) nu achter dat de formule voor de afgelegde afstand in de y-richting klopt. Voor de afgelegde afstand in de x-richting moet een andere formule gelden. Om deze op te stellen moeten we eerst kijken naar het soort beweging in de x-richting. Dit kunnen we onderzoeken door naar de vectorcomponenten van de snelheid te kijken. Klik deze aan (groene pijlen).*

4. Kijk naar de vectorcomponenten van de snelheid als de beginsnelheid 0 m/s is; stel de beginhoogte in op 15 m. Stel eventueel in dat de worp langzamer wordt afgespeeld (optie: *slow*), zodat je beter kan zien wat er met de pijlen gebeurt.

a. Wat valt op aan de horizontale component?

b. Wat valt op aan de verticale component?

5. Kijk nu naar de vectorcomponenten van de snelheid als de beginsnelheid 15 m/s is. Houd de andere instellingen gelijk.

a. Wat valt je op aan de horizontale component?

b. Is er sprake van een versnelling in de x-richting? (zet evt. de vectorcomponenten van

de versnelling aan (de gele pijl) om het zeker te weten).

6. Bij een horizontale worp is de beweging in de x-richting:

A. Eenparig B. Eenparig versneld C. Geen van beide

7. Welke formule ken je voor de afgelegde afstand bij zo’n soort beweging? (Zoek dit eventueel

op in je Binas.)

8. Kijk naar de waardes in de tabel bij vraag 2 waarin je de beginsnelheid hebt veranderd.

Controleer bij minimaal twee waardes uit de tabel of de formule bij 7 geldt voor de x- richting.

→ *Optioneel: kijk ook naar de vectorcomponenten van de snelheid en de versnelling en de y-*

richting om te onderzoeken wat voor soort beweging dit is.

9. Ga nu rekenen met de formules.

a. Een honkbal wordt met een snelheid van 6,0 m/s vanaf een hoogte van 1,0 m

horizontaal weggeschoten. Bereken hoe lang duurt het voordat de honkbal de grond raakt.

b. Welke horizontale afstand legt de honkbal af?

c. Controleer je antwoorden in de simulatie.

d. Maakt het uit of je luchtwrijving meeneemt?

BONUS

e. Bereken in decimeters nauwkeurig hoe hoog de kanon moet staan om een pompoen

in de roos te schieten (x = 15 m) als deze een beginsnelheid heeft van 15 m/s.

f. Controleer je antwoord met de simulatie.

Bijlage II *Introductie*

In het filmpje van de mythbusters zag je een voorbeeld van een horizontale worp. Zoals je kon zien is daar wat bijzonders mee aan de hand. Als je een kogel tegelijkertijd laat vallen met eenzelfde soort kogel die naar voren geschoten wordt, komen deze tegelijkertijd neer op de grond.

Via deze link kom je bij een simulatie over de horizontale worp.
https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_en.html

Voor dit onderzoek ga je met behulp van deze simulatie uitzoeken hoe de horizontale worp precies in elkaar zit om er zo achter te komen waarom deze kogels tegelijkertijd terechtkomen.

Onderzoeksvraag voor bij simulatie

Hoe kan je de horizontale worp beschrijven?

Theorie

De horizontale worp is een deel van een parabool. Deze wordt gegeven door de formule:

$$y = \frac{1}{2}at^2$$

Hierin is:

- *y* de afgelegde afstand in de y-richting in m;
- *a* de versnelling in m/s^2;
- *t* de tijd in s.

Spelregels

10. De klas wordt opgedeeld in twee groepen. Iedere groep krijgt een eigen versie. 11. Je mag samenwerken, maar alleen met iemand die dezelfde versie heeft (zie bovenaan). 12. Je mag vragen stellen. 13. Je mag gebruik maken van de simulatie, je Binas en een gewone rekenmachine. 14. Je mag geen gebruik maken van andere informatiebronnen, zoals het internet. 15. Je krijgt 20 minuten de tijd om met de simulatie en de bijhorende opdracht bezig te zijn. 16. Na de 20 minuten maak je individueel een eindopdracht, die je zonder simulatie moet

oplossen; je mag wel je aantekeningen erbij houden. De eindopdracht telt niet mee voor een cijfer. 17. Aan het eind lever je zowel je aantekeningen als de eindopdracht in. 18. Als dank voor je inzet krijg je aan het eind een stroopwafel!

Opdracht bij de simulatie

De onderzoeksvraag is: hoe kan je de horizontale worp beschrijven? Hierbij is de formule voor de y- richting al gegeven. Om de horizontale worp volledig te kunnen beschrijven en ermee te rekenen, moeten we op zoek gaan naar de formule voor de x-richting. Geldt voor de horizontale richting dezelfde formule voor als in de verticale richting?

- Onderzoek de gegeven formule en onderzoek welke formule geldt in de x-richting. - Een honkbal wordt met een snelheid van 6,0 m/s vanaf een hoogte van 1,0 m horizontaal

weggeschoten.

○ Bereken hoe lang het duurt voordat een honkbal de grond raakt ○ Bereken welke horizontale afstand de honkbal aflegt. ○ Controleer je antwoord met de simulatie.

BONUS - Bereken op de decimeter nauwkeurig hoe hoog de kanon moet staan om een pompoen in de

roos te schieten (x = 15 m) als deze een beginsnelheid heeft van 15 m/s. Controleer je antwoord met de simulatie.

Ruimte voor aantekeningen

Bijlage III

Spelregels

- Voor je ligt de eindopdracht. Deze bestaat uit drie vragen en een bonusopgave. Je krijgt

10

minuten om deze te maken. - Je maakt hem individueel, dus zonder overleg. - Je mag geen gebruik maken van de simulatie; je mag wel je aantekeningen erbij houden. - Gebruik van een (gewone) rekenmachine en Binas is toegestaan. - Deze opdracht telt niet mee voor een cijfer. - Na de opdracht volgt een enquête. Vul deze alsjeblieft naar eerlijkheid in.

Eindopdracht

1. Leg uit waarom de twee kogels uit het filmpje tegelijkertijd op de grond vallen.

2. Wat is de invloed van de massa van het weggeschoten voorwerp bij een horizontale worp?

Streep het foute antwoord door.

a. Als de massa groter wordt, wordt de afgelegde afstand in de x-richting

groter/kleiner/blijft gelijk.

b. Als de massa groter wordt, wordt de duur van de worp *langer/ korter/ blijft gelijk*.

3. Een kogel van 4,0 kg wordt met een beginsnelheid van 4,0 m/s horizontaal weggegooid. Op

t = 0,0 s is de hoogte boven de grond 1,80 m. De luchtwrijving mag je verwaarlozen.

a. Bereken na hoeveel seconden de kogel de grond raakt. Schrijf je berekening en

formules op.

b. Bereken wat de horizontale afgelegde afstand van de kogel is. Schrijf je berekening

en formules op.

20

BONUS Op de foto zie je een spuitmond van een tuinslang, die horizontaal geklemd is in een statief op een hoogte van 1,2 m. Nadat de kraan opengezet wordt, spuit het water horizontaal uit de spuitmond. Het water komt 2,8 m verder op de grond terecht. De wrijving van het water met de lucht wordt verwaarloosd.

a. Bereken wat de horizontale snelheid van het water is bij het verlaten van de spuitmond.

Schrijf je berekening en formules op.

→ ***Vergeet niet de enquête in te vullen op de volgende pagina's!***

Enquête

1. Wat sta je gemiddeld voor natuurkunde? (Maak een schatting als je het niet precies weet.)

2. Wat vond je van de simulatie?

Niet leerzaam Een beetje leerzaam Neutraal Leerzaam Heel leerzaam

Toelichting bij je keuze:

3. In welke mate heeft de simulatie je geholpen om de eindopdracht te maken?

Het hielp totaal niet. Het hielp niet. Het hielp een beetje. Het hielp. Het hielp heel erg.

Toelichting bij je keuze:

4. In welke mate hielp de opdracht die je bij de simulatie kreeg bij het maken van de eindopdracht?

Het hielp totaal niet. Het hielp niet. Het hielp een beetje. Het hielp. Het hielp heel erg.

Toelichting bij je keuze:

5. Wat vond je van de eindopdracht?

Heel makkelijk Makkelijk Niet makkelijk, niet moeilijk Moeilijk Heel moeilijk

Toelichting bij je keuze:

6. Heb je gebruik gemaakt van andere bronnen dan de simulatie (bv. internetsites)?

o Nee o Ja, namelijk...

7. Heb je verder nog opmerkingen of tips?

Bedankt voor je medewerking aan dit onderzoek. Lever alsjeblieft zowel je opdrachtenvel bij de simulatie als je uitwerkingen op de eindopdracht in. Je verdient een stroopwafel!