
*Systeem dynamische modelrepresentaties en animaties: Leiden
ze samen tot een beter begrip?*

Bachelorthese Psychologie

Yanan G. Mulder, S1002619

Augustus 2014

Begeleiders: dr. Y. G. Mulder en dr. A. H. Gijlers

Universiteit Twente, Enschede

Samenvatting

Dit onderzoek richtte zich op het gebruik van systeem dynamische modellen op middelbare scholen. Om deze modellen begrijpelijker te maken voor leerlingen werd gekeken of salience in de vorm van een animatie en het congruentieprincipe gunstig effect zouden hebben. Er zijn drie versies van het model ontwikkeld: een statisch model ($n = 14$), een dynamisch niet-congruent model ($n = 15$) en een dynamisch congruent model ($n = 15$). De mate van aandacht werd gemeten door middel van een hardop denктаak waarbij het model werd bestudeerd. De opgedane kennis werd gemeten door een kennistoets over het modelonderwerp. Er werden geen significante verschillen gevonden tussen de scores van de drie groepen die bewijzen dat een animatie voordeel biedt voor het begrip van een systeem dynamisch model. Het tegendeel bleek: de leerlingen in de statische conditie presteerden significant beter op het dynamische onderdeel van de toets, dan leerlingen in de dynamische condities. Dit wordt misschien verklaard doordat de animatie een afleidend effect heeft gehad, of doordat er misschien een limiet is aan welk niveau van complexiteit de leerlingen van deze leeftijd aankunnen in een systeem dynamisch model.

Summary

This research focused on the use of system dynamic models in secondary education. To make these models more understandable for students, it was thought that salience in the form of an animation and the congruency principle had a beneficial effect. Three versions of the model were designed for the study: a static model ($n = 14$), a dynamic non-congruent model ($n = 15$) and a dynamic congruent model ($n = 15$). The amount of attention was measured with a thinking aloud-task when studying the model. The amount of knowledge gained was measured with a knowledge quiz about the subject of the model. No significant differences were found between the scores of the three groups that prove that an animation offers advantages to understanding a system dynamic model. On the contrary: the students in the static condition scored significantly better on the dynamic parts of the quiz, than students in the dynamic condition. This might be because the animation had a distracting effect, or maybe because there is a limit on the level of complexity the students of this age can cope with in a system dynamic model.

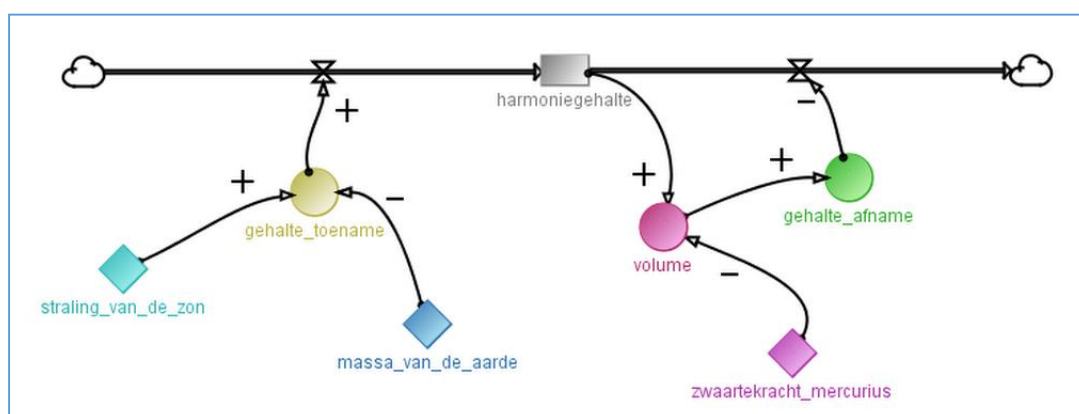
Inhoudsopgave

Samenvatting.....	2
Summary.....	3
Introductie.....	5
Methoden.....	11
Proefpersonen.....	11
Materialen.....	11
Procedure.....	14
Dataverwerking.....	16
Resultaten.....	18
Discussie.....	22
Referenties.....	26
Bijlagen.....	29

Inleiding

Modellen worden gebruikt in het onderwijs, omdat ze een goede ondersteuning bieden voor het weergeven van complexe wetenschappelijke processen en het aanbieden van lesstof (Campbell, Zhang, & Neilson, 2011). White en Frederiksen (1990) stellen iets soortgelijks in hun artikel, waarin zij onderzoek deden naar het gebruik van modelweergaves van elektrische circuits. Modellen zijn volgens hen een efficiënte, krachtige structuur om kennis mee op te doen. Alessi (2000) beschrijft in zijn artikel dat modellen geschikt zijn voor het onderwijs, omdat ze leerlingen kunnen laten werken met processen die door complexiteit of tijdsgebrek onuitvoerbaar zijn in het klaslokaal. Zo wordt het mogelijk gemaakt om voorspellingen te doen en uitleg te geven aan stof die anders niet of lastig behandelbaar is in de klas (de Jong & van Joolingen, 2008). Coll en Laijum (2011) hebben de voordelen die modellen kunnen bieden samengevat in drie doelen, namelijk het simpeler weergeven van lastige concepten, het geven van stimulatie voor het leren en het uitleggen van wetenschappelijke fenomenen.

In dit onderzoek wordt er in het bijzonder gekeken naar systeem dynamische modellen. Een systeem dynamisch model is een grafische weergave van een complex dynamisch proces dat verandert over tijd, een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 1. Volgens Groesser en



Figuur 1. Voorbeeld van een Systeem Dynamisch Model met als onderwerp de Harmonie der Sferen.

Schaffernicht (2012) bestaat een systeem dynamisch model uit een aantal onderdelen,

onder andere 'variabelen' (in Figuur 1 te herkennen als de cirkels en de ruiten), 'causale links' in de vorm van pijlen en 'link polariteit', wat aangeeft of een relatie positief of negatief is. Een van de meest kenmerkende onderdelen van een dergelijk model is de feedbackloop. Die is in Figuur 1 te zien als de keten van het *harmoniegehalte* naar *volume*, van *volume* naar *gehalteafname* en van *gehalteafname* weer naar *harmoniegehalte*. De feedbackloop is bij uitstek het onderdeel dat de verandering over tijd weergeeft, omdat het proces weer effect heeft op zichzelf naarmate de tijd verstrijkt. VanLehn (2013) noemt in zijn literatuuronderzoek een aantal voordelen van dynamische modellen, zo kunnen modellen tot hulp zijn in het uitleggen van slecht begrepen complexe systemen, het geven van voorspellingen over het gedrag van systemen en dat ze zeer complexe concepten op kunnen breken in beter te begrijpen onderdelen. Dit wordt ook beschreven in de literatuurstudie van Alessi (2000), hierin blijkt dat een systeem dynamisch model een goede manier is om kennis op te doen over complexe systemen.

Naast de voordelen die het systeem dynamische model biedt voor het onderwijs, ontstaan er ook problemen. Het artikel van VanLehn (2013) beschrijft dat het model verkeerd wordt ingeschat en de informatie anders wordt geïnterpreteerd omdat het model niet wordt begrepen. Op basis van de literatuur over hiërarchische grafieken (Körner, 2005), die qua uiterlijk vergelijkbaar zijn met systeem dynamische modellen, worden er enkele typische problemen verwacht bij het lezen van het model. Körner noemt *height* en *equality misconceptions*, *false domination* en *false maximality*. Dit zijn allemaal variaties van het verschijnsel wanneer de lezer van het model de fysieke posities van de variabelen (hoe hoog of laag ze staan, hoe dichtbij elkaar ze staan) met elkaar vergelijkt en die letterlijk vertaalt naar hun waardes. Een variabele die toevallig hoger ligt in het model zou dan als belangrijker worden gezien dan een variabele die lager ligt, ondanks dat dit slechts aan de modelstructuur ligt.

De problemen met de leesbaarheid van het model kunnen uitwerking hebben op de begrijpelijkheid van het systeem dynamisch model (VanLehn, 2013). De kwantiteiten van systeem

dynamische modellen veranderen over tijd, maar deze veranderingen zijn moeilijk over te brengen in een statisch weergegeven model. Hierdoor wordt de informatie van het model mogelijk niet goed gelezen en niet begrepen. Moxnes (2004) en Sterman (2008) beschreven ook in hun onderzoek dat lezers van een model moeite hadden met het juist herkennen en interpreteren van de feedbackrelaties in het model.

Zo heeft men problemen met het begrijpen van de relatie tussen *stocks* en *flows* in het model, ook wel de *stock and flow-failure* genoemd. De *stock*-variabele verandert over tijd door de variaties in *flow*-variabelen in het model. De *failure* houdt in dat men het dynamische gedrag van deze variabelen niet voldoende begrijpt en verkeerd interpreteert (Groesser & Schaffernicht, 2012). In het onderzoek van Booth Sweeney en Sterman (2000) werd aan MIT studenten gevraagd om opdrachten uit te voeren over concepten als feedback, vertragingen en *stocks and flows* rond het proces van het leeglopen van een badkuip. Hieruit kwam naar voren dat zelfs hoog opgeleide personen veel moeite hebben met het begrijpen van *stocks and flows*. Cronin & Gonzalez (2007) en Cronin, Gonzalez, & Sterman (2009) beschrijven dat de visuele weergave van een dynamische grafiek een bron van moeilijkheden is in het begrijpen van de relatie tussen *stocks and flows*. Door de weergave van de grafiek wordt de aandacht naar de *flows* getrokken en blijven de *stocks* onderbelicht.

Aan de basis van de *stock and flow-failure* ligt vermoedelijk een probleem van selectieve aandacht. Mensen krijgen te veel sensorische input, wat niet allemaal tegelijk kan worden verwerkt. Men focust de aandacht dan ook op stimuli die voor hen relevant of aantrekkelijk zijn (Corbetta, 1990). Posner (1980) stelt in zijn artikel dat aandacht drie belangrijke functies heeft: om signalen met hoge prioriteit te kunnen verwerken, om oriëntatie mogelijk te maken, en om te kunnen zoeken naar doelen in drukke scenes. Dit limiteert hun vermogen om veranderingen of details op te merken in andere gebieden (Fintrop, Rome, & Christensen, 2010). In het geval van het systeem dynamische model leidt dit er toe dat gebruikers van het model niet naar de juiste informatie in het model kijken en zo belangrijke data missen.

Een oplossing voor dit probleem van aandacht kan mogelijk liggen in het beter geleiden van die aandacht binnen het model. Rouinfar, Larson, Agra, Loschky, Murray, en Rebello (2014) en de Koning, Tabbers, Rikers, en Paas (2007) gaven aan dat het geleiden van aandacht naar relevante informatie leidde tot betere beantwoording van kennisvragen. In het onderzoek van Rouinfar et al. moesten proefpersonen natuurkundige puzzels oplossen. De cues die in de experimentele groep werden gegeven waren rechthoekjes die kort verschenen rondom de informatie die nodig was om het goede antwoord te geven. In het onderzoek van de Koning et al. bestudeerden mensen een animatie van het cardiovasculaire systeem. Voor de experimentele groep werden er cues naar de hartkleppen gegeven door middel van een spotlight-effect. Madsen, Larson, Loschky, en Rebello (2012) gaven in hun onderzoek naar het effect van aandacht aan dat mensen die het goede antwoord gaven op natuurkundige vragen vaker naar de relevante data in een diagram keken. Dit in tegenstelling tot mensen die het foute antwoord gaven, zij keken vaker naar de data die consistent was met het antwoord van een leek. Madsen et al. raden vervolgens het gebruik van visuele cues aan om aandacht naar relevante informatie te leiden en zo probleemoplossing te beïnvloeden.

Om de aandacht naar de juiste informatie te trekken in het systeem dynamisch model, wordt er gekeken naar de rol van salience. Salience is een *bottom-up* manier om aandacht te trekken, door middel van een opvallende stimulus die eruit springt in de waarneming. Dit kan op verschillende manieren worden uitgedrukt, door bijvoorbeeld geluid, kleur of grootte (Itti & Koch, 2001). Lowe (1999) stelt dat studenten meer informatie opnemen op basis van perceptuele salience dan thematische relevantie. Uit vrij recent onderzoek van Huang (2013) kwam naar voren dat salience een goede ondersteuning bood voor het geleiden van aandacht in representaties die qua uiterlijk vergelijkbaar zijn met modellen. Huang gebruikte node-link diagrammen van een personennetwerk, waar bepaalde connecties werden gehighlight. Als belangrijke punten in een model werden gehighlight, konden proefpersonen hun aandacht beter focussen op de relevante paden in het diagram. Een aantal studies hebben aangetoond dat salience het begrip van de informatie in modellen ondersteunt en de aandacht naar de belangrijke onderdelen kan leiden. Lowe (2003) vond

in zijn onderzoek naar weermodellen iets soortgelijks. Mensen waren sneller in het opdoen van informatie uit weerkaarten met hogere perceptuele salience dan modellen met lagere perceptuele salience.

Om salience effectief te gebruiken in het systeem dynamisch model zal het worden toegepast als beweging, in de vorm van een animatie. Een voordeel van animaties is namelijk dat een dynamische weergave de veranderingen in een systeem dynamisch model direct visueel kan weergeven (Lowe, 2003). In het onderzoek van Lowe en Boucheix (2008) stellen zij dat er bewijs is dat het dynamische aspect van animaties een overtuigend effect heeft op hoe het materiaal wordt begrepen door de krachtige perceptuele invloed. Kim, Yoon, Whang, Tversky, & Morrison (2007) stellen ook dat animaties verandering over tijd kunnen weergeven, en dat daarom wordt geacht dat ze erg effectief zijn voor het overbrengen van informatie. Hiernaast benoemen zij dat animatie interessant is, esthetisch aantrekkelijk en daardoor motiverend in de leeromgeving. Het is interessant om het effect van een animatie op het systeem dynamisch model te onderzoeken, omdat een animatie juist zo geschikt is om verandering over tijd weer te geven.

Volgens Tversky, Bauer Morrison, en Bertrancourt (2002) zijn animaties effectiever als zij voldoen aan het congruentieprincipe. Het congruentieprincipe houdt in dat de structuur en inhoud van de externe representatie moeten corresponderen met de gewenste structuur en inhoud van de interne representatie. Zij redeneren dat als echte ruimte effectief is om metaforische ruimte over te brengen, dan is een echte verandering in een model effectief om metaforische verandering over te brengen. Schwartz, & Black (1999) gaven aan dat leerlingen een beter begrip toonden van de werking van tandwielen als zij hun handen congruent met de beweging mee roteerden. Ook konden zij een betere voorspelling maken van het overlopen van een glas water als zij hun handen konden meebewegen. Dit is vergelijkbaar met de bevindingen van Chu en Kita (2008), zij beschreven dat leerlingen een betere mentale rotatie hadden als zij hun handen meedraaiden. Het is interessant om te kijken wat de effecten ervan zijn op modelbegrip en animatieondersteuning. De twee concepten,

salience en het congruentieprincipe, zouden mogelijk van belang kunnen zijn in het gebruik van systeem dynamische modellen, doordat salience de aandacht naar belangrijke concepten kan leiden en het congruentieprincipe de animatie van de verandering over tijd kan ondersteunen.

Het vraagstuk van dit onderzoek is: welk effect heeft een animatie volgens het congruentieprincipe op het begrip van een systeem dynamisch model? Om dit te testen zijn er drie versies van een systeem dynamisch model rond het onderwerp 'harmonie der sferen' ontwikkeld. De controleversie, het statische model, is een weergave van het model zoals Figuur 1. Het dynamische niet-congruente model toont een animatie die de aandacht trekt naar het belangrijkste dynamische onderdeel van het model, op een manier die niet overeen komt met de verandering over tijd. Het dynamische congruente model toont een animatie die wel overeenkomt met de verandering over tijd in het belangrijkste dynamische onderdeel van het model.

Verwacht wordt dat proefpersonen die met één van beide dynamische modellen hebben gewerkt, meer aandacht tonen voor de dynamische aspecten van het model dan mensen die met het statische model hebben gewerkt (Hypothese 1). Ook wordt verwacht dat deze proefpersonen meer kennis vergaren over het onderwerp van het model dan proefpersonen die met het statische model hebben gewerkt (Hypothese 2).

Tevens wordt er verwacht dat proefpersonen die met het dynamisch congruente model hebben gewerkt, meer aandacht tonen voor de dynamische aspecten van het model dan proefpersonen die met een dynamisch niet-congruent model hebben gewerkt (Hypothese 3). Daarnaast wordt verwacht dat deze proefpersonen meer kennis vergaren over het onderwerp van het model dan proefpersonen die met een dynamisch niet-congruent model hebben gewerkt (Hypothese 4).

Tot slot wordt verwacht dat proefpersonen die meer aandacht tonen voor de werking van het model, meer kennis vergaren van het model (Hypothese 5).

Methoden

Proefpersonen

Het onderzoek zal worden uitgevoerd onder leerlingen van het derde jaar VWO. Hiervoor is contact gezocht met enkele scholen in Nederland. Het totaal aan 44 leerlingen (24 meisjes, 20 jongens, met een gemiddelde leeftijd van 14.39 jaar en een standaarddeviatie van 0.69.) is willekeurig verdeeld over het statische model ($n = 14$), het dynamisch niet-congruente model ($n = 15$) en het dynamisch congruente model ($n = 15$).

Materialen

Om het onderzoek te kunnen uitvoeren zijn de volgende materialen gebruikt: een instructie voor de proefpersoon, een hardop denктаak, een kennistoets en drie versies van het systeem dynamisch model.

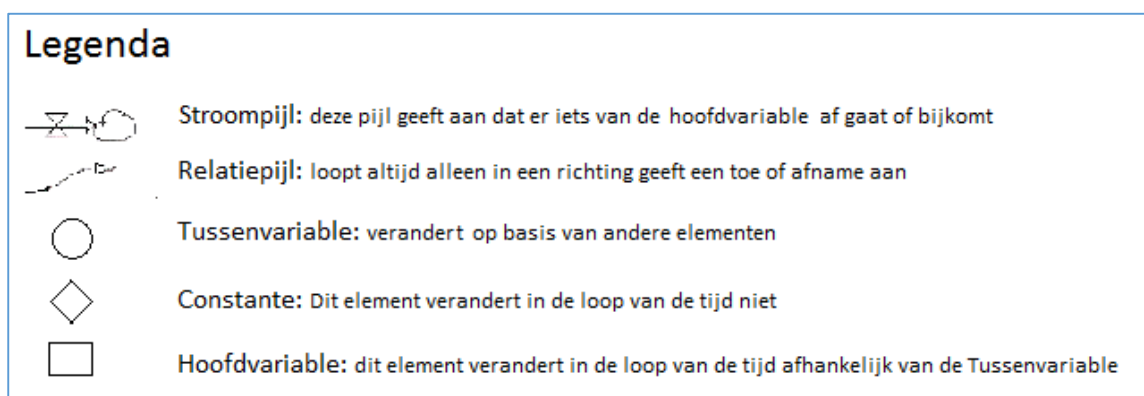
Instructie. De instructiematerialen voor de hardop denктаak komen uit het onderzoek van Eysink en de Jong (2012).

Deze materialen bestaan uit een kort filmpje van anderhalve minuut waarin iemand hardop nadenkt tijdens het maken van een luciferpuzzel. De puzzel is een kort raadsel waar iemand uit een raamwerk van lucifers twee stokjes moet wegnemen om twee vierkanten over te houden. Het filmpje is bedoeld om de proefpersoon een indruk te geven wat er van hem/haar wordt verwacht tijdens het hardop nadenken.

Het tweede onderdeel van de instructie is een tangrampuzzel, waarbij een bepaalde vorm moet worden gemaakt van zwarte puzzelstukjes. Hierbij moet de proefpersoon zelf hardop nadenken, zodat er kan worden geoefend. Er wordt als verdere instructie bij de puzzel vermeld dat de proefpersoon 3 minuten de tijd heeft en dat het niet erg is als de puzzel niet opgelost wordt. Ook wordt de proefpersoon aangespoord om te blijven praten. Na afloop kan de oplossing worden getoond als de puzzel niet voltooid is.

De totale instructie voor het onderzoek, compleet met voorfilmpje en oefentaak, zal ongeveer vijf tot tien minuten in beslag nemen.

Hardop denктаak. De taak zelf houdt in dat de proefpersoon wordt gevraagd om een systeem dynamisch model te bestuderen en hierbij het model hardop aan zichzelf uit te leggen. De proefpersoon krijgt eerst achtergrondinformatie te lezen over het onderwerp van het model. Dit thema wordt ook gebruikt in het onderzoek van van Borkulo (2009) en is gebaseerd op een klassieke theorie van Pythagoras over 'de harmonie der sferen'. De voornaamste reden dat dit onderwerp van het onderzoek van van Borkulo is overgenomen, is dat er geen voorkennis bestaat over de harmonie der sferen. Het is pseudowetenschap en is geen onderdeel van de lesstof op de middelbare school. Hiervoor is een korte begeleidende tekst op A4-formaat opgesteld die kort informatie geeft over het thema van het model. Hierin wordt uitgelegd dat het model gaat over de harmonie der sferen, een theorie van Pythagoras, en dat dit een harmonieuze toon is die wordt voortgebracht door verschillende factoren in ons zonnestelsel. Er wordt verteld dat een wetenschapper onlangs dit proces in kaart heeft kunnen brengen in het te bestuderen model. Ook krijgt de proefpersoon een legenda voor de verschillende onderdelen van het model, zie Figuur 2, zodat de proefpersoon weet waar de verschillende vormen in het model voor staan.



Figuur 2. Legenda voor het Systeem Dynamisch Model.

De hardop denктаak zal worden opgenomen met audioapparatuur om de opnames later terug te luisteren.

Modellen. Voor het onderzoek werden 3 verschillende variaties van het Systeem Dynamische model gebruikt: een statisch model, een niet- congruent model en een congruent model.

Het *statische model* is te zien in Figuur 1. Dit is de versie van het model zonder aanpassing of geanimeerd aspect en fungeert als controlemodel waar de niet-congruente en congruente versie mee zullen worden vergeleken.

Het *niet-congruente model* is een gelijke weergave van het statische model, met als aanpassing een animatie in de variabele 'harmoniegehalte'. In dit model knippert het blokje van het harmoniegehalte van een donkere naar een lichte kleur. Zo wordt naar verwachting wel de aandacht getrokken, maar komt de animatie niet overeen met de daadwerkelijke verandering in het harmoniegehalte.

In het geval in het *congruente model* zit er ook een animatie in de variabele 'harmoniegehalte', maar deze volgt de verandering over tijd die de variabele volgens het model doormaakt. Het harmoniegehalte wordt dus groter en naarmate de animatie vordert wordt deze groei steeds langzamer. Deze groei wordt in het model weergegeven als een soort opblazen van het blokje bijbehorend aan 'harmoniegehalte'. Er is bewust voor deze weergave gekozen, in tegenstelling tot een groei op slechts het horizontale of verticale vlak, omdat geluid over het algemeen ook wordt gezien als iets dat opzwelt en de ruimte vult. Volgens de onderzoeker wordt zo wordt het congruente aspect het beste weergegeven.

De modellen worden aangeboden in de vorm van een filmpje, op een computerscherm. De filmpjes duren tien seconden voor het statische model, twintig seconden voor het niet-congruente model en tien seconden voor het congruente model.

Kennistoets. Ook de materialen voor de kennistoets komen uit het onderzoek van van Borkulo (2009). Echter, de test is van de oorspronkelijke 15 items teruggebracht naar 11 items door

exclusie van vragen die niet relevant waren voor dit onderzoek. Deze vragen waren onder andere gericht op het kunnen implementeren van nieuwe variabelen in het model. Dit soort vragen naar inzicht zijn onnodig voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag. Door verwijdering sloot de test beter aan bij de doelen van het huidige onderzoek.

De vragen waren gericht op de opgedane kennis en op inzicht in het model, zodat de toets een maat kon geven van wat de proefpersoon had geleerd van het model. Vraag 1, 2, 4 en 6 waren meerkeuzevragen waarin ook om een verklaring van het antwoord werd gevraagd, de overige zeven vragen waren open vragen. De scores op item 1, 2, 3, 8 en 9 vormen samen de statische score op de kennistoets, de score 4, 5, 6, 7, 10 en 11 vormen samen de dynamische score op de kennistoets.

1. Omcirkel de juiste bewering.

- A. Hoe kleiner de zwaartekracht van Mercurius, hoe kleiner het volume.
- B. Hoe kleiner de zwaartekracht van Mercurius, hoe groter het volume.
- C. De zwaartekracht van Mercurius heeft geen invloed op het volume.

Figuur 3. Voorbeeld Van Een Statische Toets vraag.

4. Stel, de massa van de Aarde is heel klein. Omcirkel de juiste bewering.

- A. Hoe kleiner de massa van de Aarde, hoe groter het volume.
- B. Hoe kleiner de massa van de Aarde, hoe kleiner het volume.
- C. Het kleiner worden van de massa van de Aarde heeft geen invloed op het volume.

Figuur 4. Voorbeeld Van Een Dynamische Toets vraag.

Figuur 3 kenmerkt zich als een statische vraag doordat het maar over één connectie binnen het model gaat, met een oorzaak-gevolg reactie. Figuur 4 kenmerkt zich als een dynamische vraag omdat wordt gevraagd wat het effect van de Aarde is over meerdere trajecten op een variabele waar de Aarde niet direct mee in verbinding staat.

Procedure

Om het onderzoek te kunnen uitvoeren is er een testprocedure ontwikkeld. Hierin zijn drie fasen te onderscheiden: een instructie en een oefening voor de te maken onderdelen, een hardop denктаak en een kennistoets over het onderwerp 'harmonie der sferen'. Per leerling wordt deze procedure

individueel doorgelopen onder begeleiding van de onderzoeker en zal deze maximaal vijftig minuten duren.

De begin instructie zal maximaal tien minuten in beslag nemen. Allereerst wordt de proefpersoon verteld dat er gekeken zal worden naar de effectiviteit van verschillende soorten modellen en dat alle informatie vertrouwelijk en anoniem behandeld zal worden. Hierna zal de proefpersoon het instructiefilmpje te zien krijgen, waarin wordt getoond hoe iemand hardop denkt tijdens het maken van een puzzel. Na het filmpje wordt uitgelegd wat deze persoon goed deed, hoe het is gedaan en wordt gevraagd of de opdracht duidelijk is. Om verder te oefenen met het hardop denken krijgt de proefpersoon de tangrampuzzel toegereikt. De proefpersoon krijgt drie minuten de tijd om de puzzel op te lossen en hierbij hardop na te denken. Na het voltooien van de puzzel wordt feedback gegeven op hoe de proefpersoon hardop heeft gedacht. Er wordt aangegeven wat goed ging en wat beter kan en zo nodig kan de instructie worden herhaald.

Dan begint de proefpersoon met de daadwerkelijke taak. De proefpersoon krijgt de legenda aangereikt en krijgt één van de drie versies van het model te zien op een beeldscherm. Dan wordt de instructie gegeven om dit model hardop pratend aan zichzelf uit te leggen tot het model wordt begrepen. Hiervoor krijgt de proefpersoon maximaal tien minuten de tijd. Dit maximum is ingezet om uitlopen te voorkomen. De uitleg van de proefpersoon zal worden opgenomen om later te worden gecodeerd. Mocht de proefpersoon langer dan 15 seconden stilvallen dan worden er cues gegeven om hem/haar aan te sporen te blijven praten. Mogelijke cues zijn: 'probeer te blijven praten', of 'waar loop je op vast?'. Als de proefpersoon het model heeft uitgelegd, wordt de benodigde tijd genoteerd en worden het model en de legenda weggenomen.

Na het voltooien van de hardop denктаak gaat het onderzoek verder met de kennistoets over de 'harmonie der sferen'. De proefpersoon krijgt dertig minuten de tijd om deze toets te maken.

Dataverwerking

In dit onderzoek zal de data worden verkregen door de audio opnames te analyseren en de antwoorden op de kennistoets te scoren. Daarbij wordt voor beide onderdelen onderscheid gemaakt tussen een statische en een dynamische score.

De audio-opnames van de hardop denктаak zullen worden gecodeerd aan de hand van een codeerschema: allereerst zal elke afzonderlijke stelling die door de respondent wordt geuit over het model, worden gesegmenteerd op basis van het besproken onderwerp. Als er een nieuw onderwerp wordt aangesneden, wordt er een nieuw segment aangemaakt. Vervolgens wordt er bij elke stelling gecodeerd of het een statische of een dynamische uitspraak betreft, waar respectievelijk een statisch of een dynamisch punt aan zal worden toegekend. Een uitspraak wordt gecodeerd als dynamisch als het gaat over de hoofdvariabele, het effect van of naar de hoofdvariabele of over de feedbackloop. Een uitspraak wordt gecodeerd als statisch als het over een andere variabele gaat. Stellingen die door de respondent worden herhaald en foutieve uitspraken worden niet meegerekend voor de puntentelling. Uiteindelijk krijgt men een statische audioscore en een dynamische audioscore van de hardop denктаak door aan te geven welk percentage van de uitspraken statisch of dynamisch was.

Dit codeerschema is getest door middel van een interbeoordelaarsbetrouwbaarheid. Twee beoordelaars hebben onafhankelijk van elkaar zes dezelfde audiotapes gecodeerd, deze scores zijn vervolgens geanalyseerd. De betrouwbaarheid kwam uiteindelijk uit op een Cohen's kappa van 0.73.

De kennistoets zal worden gescoord volgens het codeerschema van van Borkulo, zij het aangepast aan de hoeveelheid items die voor deze versie zijn gebruikt. Per vraag worden er een aantal criteria gegeven waar het antwoord aan moet voldoen of die het antwoord moet bevatten. Als het antwoord aan alle criteria voldoet wordt de code *full credit* gegeven, het krijgt dan het maximale aantal punten dat voor die vraag kan worden gegeven. Dit verschilt per vraag tussen 2 en 4 punten. Er kan ook *partial credit* worden gegeven als het antwoord maar aan een bepaald aantal criteria

voldoet, en er kunnen meerdere *partial credit*-coderingen bestaan voor een vraag. Bijvoorbeeld: als het antwoord maar aan 8 van de 10 criteria voldoet, worden 2 punten toegekend in plaats van 3, als het antwoord aan 5 van de 10 criteria voldoet, wordt maar 1 punt toegekend. Als er geen antwoord is gegeven, of wanneer het gegeven antwoord geen of te weinig van de criteria bevat, krijgt het de code *no credit*. Er worden dan geen punten toegekend. De ruwe toets score van de proefpersoon kan uiteindelijk tussen 0 en 30 komen te liggen.

Het codeerschema van de kennistoets moest opnieuw worden geverifieerd door middel van een interbeoordelaarsbetrouwbaarheid. De betrouwbaarheid kwam uit op een Cohen's kappa van 0.75. Deze betrouwbaarheid is bepaald door twee beoordelaars onafhankelijk zes toetsen te laten coderen, en deze scores vervolgens te analyseren.

Resultaten

In Tabel 1 zijn de gemiddelde scores en standaarddeviaties van alle onderdelen per modelversie samengevat. Onder *tijden* staan de gegevens van de tijd die nodig was om het model te bestuderen en de tijd die nodig was voor het maken van de kennistoets. Onder *hardop denктаak* staan de gegevens voor het aantal uitspraken die gedaan zijn en de statische en dynamische audioscores, uitgedrukt in percentages van het totale aantal uitspraken. Onder *kennistoets* staan de gegevens voor de statische score op de toets en de dynamische score op de toets.

Tabel 1
Behaalde Scores Voor de Drie Modellen.

	Statisch ($n = 14$)		Dynamisch niet-congruent ($n = 15$)		Dynamisch congruent ($n = 15$)	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
<i>Tijden</i>						
Bestudeertijd	3.53	1.00	4.05	1.79	4.04	1.53
Tijd toets	20.14	5.27	18.75	4.81	18.63	4.83
<i>Hardop denктаak</i>						
Uitspraken	14.71	5.51	12.67	5.47	13.87	6.22
Statische %	35.48	15.62	39.48	11.72	44.04	13.51
Dynamische %	29.07	8.94	29.55	18.55	25.08	12.74
<i>Kennistoets</i>						
Statische Toets	4.14	2.11	3.73	2.09	4.07	1.67
Dynamische Toets	3.50	2.31	1.93	1.16	2.53	2.00

Omdat de bestudeertijd niet normaal verdeeld is, zie Tabel 2, zal deze worden geanalyseerd met behulp van een non-parametrische test. Hiervoor wordt de Kruskal-Wallis toets gebruikt. Voor de overige variabelen zal een parametrische test worden gehanteerd, omdat deze wel normaal verdeeld zijn.

Tabel 2
Significantiewaardes Voor de Shapiro-Wilk Test.

	Statisch	Dynamisch niet-congruent	Dynamisch congruent
<i>Tijden</i>			
Bestudeertijd	.520	.000*	.508
Tijd toets	.629	.277	.336
<i>Hardop denктаak</i>			
Uitspraken	.449	1.000	.384
Statische percentages	.276	.480	.065
Dynamische percentages	.997	.447	.999
<i>Kennistoets</i>			
Statische toets	.830	.336	.148
Dynamische toets	.694	.278	.265

** Deze waardes zijn niet normaal verdeeld.*

Om na te gaan of er verschillen bestaan tussen de drie condities in de bestudeertijd die de proefpersonen nodig hadden, is er een Kruskal-Wallis test uitgevoerd. Hieruit viel af te lezen dat de bestudeertijden niet significant van elkaar verschillen, met $\chi^2(2) = 1.39$, $p = .500$. De vergelijking tussen de benodigde tijden voor de kennistoets werd uitgevoerd met een Analysis of Variance (ANOVA). Ook hier werd geen significant verschil gevonden tussen de toets tijden, $F(2,41) = 0.41$, $p = .667$. Dit betekent dat er geen aantoonbare verschillen bestaan tussen de drie condities in de bestudeertijd en de toets tijd van de proefpersonen.

De scores van de proefpersonen van de hardop denктаak werden vergeleken om te onderzoeken of er verschillen bestonden tussen de drie condities. Verschillen in aantal uitspraken werden vergeleken door middel van een ANOVA, hieruit kwam naar voren dat er geen significant verschil bestaat tussen de hoeveelheid uitspraken die per modelversie door de proefpersonen worden gemaakt, $F(2,41) = 0.47$, $p = .631$. Er werd ook onderzocht of er verschillen bestonden tussen de drie condities voor de statische percentagescores en dynamische percentagescores van de proefpersonen. Dit is onderzocht met behulp van een Multivariate Analysis of Variance (MANOVA), waarin de percentagescores van het statische en het dynamische deel van de hardop denктаak werden bekeken. Hieruit kwam naar voren dat er geen significant verschil bestaat tussen toets

scores gebaseerd op modelversie, Roy's Largest Root = .09, $F(2,41) = 1.79$, $p = .180$. Dit betekent dat er geen verschillen bestaan tussen de drie condities wat betreft de percentagescores van de proefpersonen van de hardop denктаak.

De scores van de proefpersonen op de kennistoets werden onderzocht om na te gaan of er verschillen bestonden tussen de drie condities. Dit is onderzocht met behulp van een MANOVA, waarin de scores op het statische en dynamische deel van de toets score werden bekeken. Hieruit kwam naar voren dat er geen significant verschil bestaat tussen toets scores gebaseerd op modelversie, Roy's Largest Root = 0.13, $F(2,41) = 2.61$, $p = .086$. Omdat hier wel een trend is gevonden, wordt er verder gekeken naar hoe de condities verschillen op de maten met behulp van Univariate ANOVA's. Het onderdeel van de statische toets score was niet significant, $F(2,41) = 0.18$. $p = .835$. Het effect is het meest terug te vinden op het onderdeel van de dynamische toets score, $F(2,41) = 2.56$, $p = .089$. Post hoc vergelijkingen met behulp van de Tukey HSD test gaven aan dat de gemiddelde score van de proefpersonen van het statische model ($M = 3.5$, $SD = 2.31$) niet significant verschilde van het niet-congruente model ($M = 1.93$, $SD = 1.16$), maar dat er wel een trend was gevonden ($p = .075$). Er was ook geen significant verschil tussen het statische model en het congruente model ($M = 2.53$, $S = 1.16$), en geen significant verschil tussen het niet-congruente model en het congruente model.

In het onderzoek is er ook gekeken naar de verbanden tussen de verschillende gemeten onderdelen. Om te onderzoeken of er een verband bestaat tussen audioscores en toets scores, wordt er gekeken naar de correlaties tussen de scores op deze onderdelen. Deze correlaties zijn uitgezet in Tabel 3.

Tabel 3
Correlaties Tussen Alle Gemeten Waarden.

	Bestudeer tijd	Tijd toets	Uitspraken	Statische %	Dynamische %	Statische toets	Dynamische toets
Bestudeer tijd	-	.23	.70*	-.18	-.08	.00 ^{ns}	.03 ^{ns}
Tijd toets		-	.03 ^{ns}	-.10	.40*	.44*	.30*
Uitspraken			-	-.18	-.04	.09 ^{ns}	.25 ^{ns}
Statische %				-	-.02	.03 ^{ns}	.03 ^{ns}
Dynamische %					-	.23	.18 ^{ns}
Statische toets						-	.37*
Dynamische toets							-

* *Significante waardes op $\alpha = .05$.*

Een opvallende waarde is de significante sterk positieve correlatie tussen de bestudeertijd en het aantal uitspraken. Dit geeft aan dat er een redelijk sterk verband is tussen de gebruikte tijd voor het bestuderen van het model en het aantal gedane uitspraken. De tijd die nodig was voor de toets correleert significant matig positief met de dynamische percentages van het aantal uitspraken. De benodigde tijd voor de toets correleert ook significant matig positief met de statische toets score en de dynamische toets score. Er is dus een zwak verband tussen de benodigde tijd voor de toets en de beide scores op de toets. Tot slot is er een significant matig positieve correlatie te zien tussen de statische toets score en de dynamische toets score. De scores op deze twee toets onderdelen staan dus met elkaar in verband.

Er werden geen correlaties gevonden tussen bestudeertijd en de statische en dynamische percentagescores en tussen bestudeertijd en de scores op de toetsen. Dit betekent dat de tijd die de proefpersonen gebruiken om het model te bestuderen waarschijnlijk niet van invloed is op de inhoud van de hardop denkscores en de scores op de kennistoets.

Discussie

Er werd onderzocht welk effect een animatie volgens het congruentieprincipe heeft op het begrip van een systeem dynamisch model. Aan de hand van die vraagstelling werden de volgende verwachtingen opgesteld: Dat een dynamisch model zou zorgen voor meer aandacht voor de dynamische aspecten van het model dan een statisch model (Hypothese 1); Dat proefpersonen meer kennis vergaren over het onderwerp van het model door het dynamische model dan door het statische model (Hypothese 2); Dat een congruente animatie zou zorgen voor meer aandacht voor de dynamische aspecten van het model dan een model met een dynamisch niet-congruente animatie (Hypothese 3); Dat een model met een congruente animatie zou zorgen voor meer opgedane kennis over het onderwerp van het model dan een model met een niet-congruente animatie (Hypothese 4); Dat proefpersonen die meer aandacht toonden voor de dynamische aspecten van het bestudeerde model, meer kennis zouden vergaren van dat model (Hypothese 5).

In dit onderzoek is geen bevestiging gevonden voor de verwachting dat een animatie in een systeem dynamisch model kan leiden tot meer aandacht voor de dynamische aspecten van het model in vergelijking met het statische model. Er werden geen significante verschillen gevonden tussen de drie condities in de scores van de proefpersonen van de hardop denктаak. Zowel de animatie als daarmee het congruentie principe hadden geen effect, hypothese 1 en 3 kunnen daarom worden verworpen.

Er werd een trend in de resultaten aangetroffen die duidde op een verschil in de dynamische kennistoets scores van de proefpersonen in de drie condities, maar dit verschil gaf juist het tegenovergestelde aan van wat de hypothese verwachtte. Het statische model, de controleversie, had de beste uitkomst. Tussen het niet-congruente model en het congruente model was geen verschil te zien. Hypothese 2 en 4 kunnen daardoor ook worden verworpen.

Er zijn meerdere onderzoeken die geen bewijs hebben gevonden dat animatie voordelen heeft boven een statische manier van informatie aanbieden (Boucheix & Schneider, 2009; Morrison &

Tversky, 2001; Tversky, Bauer Morrison, & Betrancourt, 2002). Echter, het was interessant om te kijken wat het effect van animatie op het begrip van een systeem dynamisch model zou zijn, juist vanwege het potentieel dat een animatie heeft in het overbrengen van verandering over tijd (Lowe, 2003; Lowe, 2008). Aan de hand van de literatuurstudie die gedaan is voor dit onderzoek werd juist verwacht dat een animatie die de aandacht geleidt naar de belangrijkste informatie, een positieve invloed kon hebben op de leerprestaties (Madsen, Larson, Loschky & Rebello, 2012; Lowe, 1999; Rouinfar, Larson, Agra, Loschky, Murray, & Rebello, 2014). Er zijn andere onderzoeken uitgevoerd waar wel een significant effect werd gevonden, met als conclusie dat dynamische weergaves betere leerprestaties tot gevolg hebben. In het artikel van Höffler en Leutner (2007) werd een meta-analyse gedaan van 26 studies, waar 76 paarsgewijze vergelijkingen werden gemaakt tussen statische en dynamische visualisaties. Hieruit kwam naar voren dat de dynamische visualisaties in het algemeen een licht voordeel hebben boven statische visualisaties. In het onderzoek van Lewalter (2003) werden een statische computerweergave, een dynamische computerweergave en een tekstweergave (als controleversie) getoond van een astrofysisch verschijnsel. De statische én dynamische versie waren effectiever voor opgedane feitelijke kennis, de dynamische versie scoorde beter dan de tekstversie voor probleem oplossen en begrip. Ryoo en Linn (2012) onderzochten of een dynamische visualisatie, vergeleken met een statische illustratie, 12 en 13-jarigen kon ondersteunen in het ontwikkelen van begrip over energie fotosynthese via een inquiry unit online. De groep met de dynamische visualisatie deed het significant beter dan de statische groep. Hierbij moet wel worden vermeld dat deze studies voornamelijk gericht waren op animatie als ondersteuning bij een tekst, een leertaak of een inquiry taak. Zij waren dan ook wel een goede motivatie om te onderzoeken of hetzelfde effect behaald zou kunnen worden met een systeem dynamisch model, maar zij waren geen garantie voor de effectiviteit.

Het bleek uit dit onderzoek dat de dynamische versies geen voordeel leverden voor de scores van de proefpersonen in de verschillende condities. Integendeel, de trend gaf aan dat proefpersonen in de statische conditie hoger scoorden op het dynamische onderdeel van de kennistoets dan

proefpersonen in de twee dynamische condities. Het lijkt erop dat een animatie in het model juist een negatief effect heeft. Lowe (2003) geeft een mogelijke verklaring voor waarom dit kan en benoemt een keerzijde van animatie. In het geval van een zeer complex systeem kan animatie overweldigend zijn doordat dit mogelijk teveel beroep doet op cognitieve verwerkingsprocessen. Kim, Yoon, Whang, Tversky en Morrison (2007) gaven ook aan dat een animatie mogelijk de informatieverwerking bemoeilijkt of de aandacht teveel afleidt van andere belangrijke informatie in het model. Een aanbeveling voor vervolgonderzoek is om te kijken naar andere manieren dan animatie om aandacht naar relevante informatie in het model te leiden.

Een andere verklaring voor waarom het onderzoek niet de verwachte resultaten heeft behaald, is te vinden in het niveau het model. De proefpersonen gaven tijdens de audio-opnames regelmatig aan dat ze het model of onderdelen ervan niet begrepen. Daarbij gaven ze soms ook aan niets of weinig te snappen van het onderwerp van het model, de harmonie der sferen. Het zou een mogelijke verklaring zijn waarom de animatie, en daarbij het congruentieprincipe, niet hebben gewerkt. De animatie zou niet krachtig genoeg kunnen zijn geweest om de kloof tussen het niveau van de leerling en het niveau van het model te overbruggen. De modelweergave en het onderwerp van het model, 'de harmonie der sferen' komen uit het onderzoek van van Borkulo (2009). Dat onderzoek was oorspronkelijk gericht op jongeren in de leeftijd van 15 tot 25, waarbij de jongste groep (15 tot 19) een wetenschappelijk traject binnen het onderwijs volgde. Niet alleen zijn de proefpersonen van van Borkulo's onderzoek ouder, de groep die het dichtst bij de leeftijd van de proefpersonen van het huidige onderzoek komt, heeft meer ervaring met wetenschappelijk onderwijs. Het kan zijn dat het model voor deze doelgroep te complex was voor de doelgroep in het huidige onderzoek. White en Frederiksen (1990) deden al onderzoek naar *model elaboration* en *model order*, twee vormen van modelprogressie waarin het model steeds uitgebreider of complexer wordt. Vooral *model order progression*, waarin van kwalitatief naar kwantitatief redeneren wordt opgebouwd, is effectief (Mulder, Lazonder, & de Jong, 2010). Als uitwerking hiervan kan er worden

gekeken of het cognitieve niveau van leerlingen beperkingen geeft in welke mate van complexiteit begrepen kan worden.

Tot slot kan er worden geconcludeerd dat de laatste hypothese, of meer aandacht voor de dynamische aspecten van het model meer vergaarde kennis tot gevolg had, niet kan worden bewezen. Een hogere score voor dynamische percentages heeft geen invloed op de dynamische score op de kennistoets. Dit is in tegenspraak met wat in de literatuur is gevonden. Er is meerdere malen aangetoond dat het geleiden van aandacht naar relevante informatie zou leiden tot betere beantwoording van kennisvragen (Madsen, Larson, Loschky, & Rebello, 2012; Rouinfar, Larson, Agra, Loshky, Murray, & Rebello, 2014; de Koning, Tabbers, Rikers, & Paas, 2014).

Dit onderzoek richtte zich op de vraag welk effect een animatie volgens het congruentieprincipe heeft op het begrip van een systeem dynamisch model. Ondanks dat een animatie volgens de literatuur veel potentie bood, wijst dit onderzoek uit dat een animatie in het model juist het tegenovergestelde effect heeft, namelijk dat de aandacht wordt afgeleid en men minder goed presteert. Hierdoor kon ook niet de werking van het congruentieprincipe worden aangetoond.

Referentielijst

- Alessi, S. (2000). Building versus using simulations. In J. M. Spector, T. M. Anderson (Eds.) *Integrated and holistic perspectives on learning, instruction and technology* (pp. 175 – 196) Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Booth Sweeney, L., & Sterman, J. D. (2000). Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review*, 16, 249-286. Doi: 10.1002/sdr.198
- Boucheix, J., & Schneider, E. (2009). Static and animated presentations in learning dynamic mechanical systems. *Learning and Instruction*, 19, 112-127. Doi: 10.1016/j.learninstruc.2008.03.004
- Campbell, T., Zhang, D. H., & Neilson, D. (2011). Model based inquiry in the high school physics classroom: An exploratory study of implementation and outcomes. *Journal of Science Education and Technology*, 20, 258-269. Doi: 10.1007/s10956-010-9251-6
- Chu, M., & Kita, S. (2008). Spontaneous gestures during mental rotation tasks: Insights into the microdevelopment of the motor strategy. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137, 706-723. Doi: 10.1037/a0013157
- Coll, R. K., & Laijum, D. (2011). Modeling and the future of science learning. In M.S. Khine & I. M. Saleh (Eds.) *Models and modeling cognitive tools for scientific enquiry*, Dordrecht: Springer
- Corbetta, M. (1998) Frontoparietal cortical networks for directing attention and the eye to visual locations: Identical, independent, or overlapping neural systems? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95, 831-838. Doi: 10.1073/pnas.95.3.831
- Cronin, M., Gonzalez, C., & Sterman, J., (2009). Why don't well-educated adults understand accumulation? A challenge to researchers, educators and citizens. *Organizational Behaviour and Human Decision Processes*, 108, 116-130. New York: Lawrence Erlbaum Associates. Doi: 10.1016/j.obhdp.2008.03.003
- De Jong, T., & van Joolingen, W. R. (2008). Model-facilitated learning. In. M. Spector, M. D. Merrill, J. Merriënboer, M. P. Driscoll (Eds.) *Handbook of research on educational communications and technology* (pp. 457 – 468)
- De Koning, B., Tabbers, H.K., Rikers, R.M.J.P., & Paas, F. (2007). Attention cueing as a means to enhance learning from an animation. *Applied Cognitive Psychology*, 21, 731-746. Doi: 10.1002/acp.1346
- Eysink, T. H. S., & de Jong, T. (2012). Does instructional approach matter? How elaboration plays a crucial role in multimedia learning. *Journal of the Learning Sciences*, 21, 583–625. Doi: 10.1080/10508406.2011.611776
- Fintrop, S., Rome, E., & Christensen, H. I. (2010). Computational visual attention systems and their cognitive foundations: A survey. *ACM Transactions on Applied Perception*, 7, 1-46. Doi: 10.1145/1658349.1658355
- Groesser, S. N., & Schaffernicht, M. (2012). Mental models of dynamic systems: taking stock and looking ahead. *System Dynamics Review*, 28, 46-68. Doi: 10.1002/sdr.476

- Höffler, T.N., & Leutner, D. (2007). Instructional animation vs. Static pictures: A meta analysis. *Learning and instruction*, 17, 722-738. Doi: 10.1016/j.learninstruc.2007.09.013
- Huang, W. (2013). Establishing aesthetics based on human graph reading behavior: two eye tracking studies. *Personal and Ubiquitous Computing*, 17, 93-105. Doi: 10.1007/s00779-011-0473-2
- Itti, L., & Koch, C. (2001). Computational modelling of visual attention. *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 194-203. Doi: 10.1038/35058500
- Kim, S., Yoon, M., Whang, S.M., Tversky, B., & Morrison, J.B. (2007). The effect of animation on comprehension and interest. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23, 260-270. Doi: 10.1111/j.1365-2729.2006.00219.x
- Körner, C. (2004). Sequential Processing in Comprehension of Hierarchical Graphs. *Applied Cognitive Psychology*, 18, 467-480. Doi: 10.1002/acp.997
- Körner, C. (2005). Concepts and misconceptions in comprehension of hierarchical graphs. *Learning and Instruction*, 15, 281-296. Doi: 10.1016/j.learninstruc.2005.07.003
- Lewalter, D. (2003). Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals. *Learning and Instruction*, 13, 177-189. Doi: 10.1016/S0959-47520200019-1
- Lowe, R. K. (1999). Extracting information from an animation during complex visual learning. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 225-244. Doi: 10.1007/BF03172967
- Lowe, R.K. (2003). Animation and learning: selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction*, 13, 157-176. Doi: 10.1016/S0959-47520200018-X
- Lowe, R.K., & Boucheix, J. (2008). Learning from animated diagrams: How are mental models built? In G. Stapleton, J. Howse, J. Lee (Ed.), *Diagrams*, pp. 266–281 Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Doi: 10.1007/978-3-540-87730-1_25
- Madsen, A. M., Larson, A. M., Loschky, L. C., & Rebello, N. S. (2012). Differences in visual attention between those who correctly and incorrectly answer physics problems. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 8, artikelnr. 010122. Doi: 10.1103/PhysRevSTPER.8.010122
- Moxnes, E. (2004). Misperceptions of basic dynamics: the case of renewable resource management. *System Dynamics Review*, 20, 139-162. Doi: 10.1002/sdr.289
- Mulder, Y. G., Lazonder, A. W., & de Jong, T. (2010). Finding out how they find it out: An empirical analysis of inquiry learners' need for support. *International Journal of Science Education*, 32, 2033-2053 Doi: 10.1080/09500690903289993.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25. Doi: 10.1080/00335558008248231
- Rouinfar, A., Larson, A., Agra, E., Loschky, L.C., Murray, J., & Rebello, N.S. (2014) Influence of visual cueing on students' eye movements while solving physics problems. *Eye Tracking Research and Applications Symposium (ETRA), USA*, 8, 191-194. Doi: 10.1145/2578153.2578181
- Ryoo, K., & Linn, M. C. (2012) Can dynamic visualizations improve middle school students' understanding of energy in photosynthesis? *Journal of research in science and teaching*, 49, 218-243. Doi: 10.1002/tea.21003

- Segal, A., Tversky, B., & Black, J. (in press). Conceptually congruent actions can promote thought. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*. Doi: 10.1016/j.jarmac.2014.06.004
- Schwartz, D. L., & Black, T. (1999). Inferences through imagined actions: Knowing by simulated doing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 25, 116-136. Doi: 10.1037/0278-7393.25.1.116
- Shah, P., Mayer, R.E., & Hegarty, M. (1999). Graphs as Aids to Knowledge Construction: Signaling Techniques for Guiding the Process of Graph Comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 19, 690-702. Doi: 10.1037/0022-0663.91.4.690
- Sterman, J. D. (2008). Risk communication on climate: mental models and mass balance. *Science*, 322, 532-533. Doi: 10.1126/science.1162574
- Tversky, B., Bauer Morrison, M., & Betrancourt, M. (2002). Animation, can it facilitate? *Journal of Human-computer studies*, 57, 247-262. Doi: 10.1006/ijhc.2002.1017
- Van Borkulo, S. P. (2009). *The assessment of learning outcomes of computer modelling in secondary science education*. Unpublished doctoral dissertation. University of Twente, Enschede.
- VanLehn, K. (2013). Model construction as a learning activity: a design space and review. *Interactive learning environments*, 21, 371-413. Doi: 10.1080/10494820.2013.803125
- White, B. Y., & Frederiksen, J. R. (1990). Causal model progressions as a foundation for intelligent learning environments. *Artificial Intelligence*, 42, 99-157. Doi: 10.1016/0004-3702(90)90095-h
- Wright, P., Milroy, R., & Lickorish, A. (1999). Static and animated graphics in learning from interactive texts. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 203-224. Doi: 10.1007/BF03172966

Bijlagen

Codeerschema audiotapes

Segmentatie	
<u>Stiltes.</u>	Periodes waarin niets gezegd wordt.

<u>Onderwerp</u>	Er zal worden gesegmenteerd op onderwerp. Als een respondent in zijn/haar uitleg begint over een ander onderdeel van het model, of een ander soort proces, zal dit als een nieuw segment worden gerekend. Als een respondent deze twee onderwerpen met elkaar in verband brengt in zijn/haar uitleg, wordt dit wel als één segment beschouwd. (dit kan o.a. worden aangeduid met de verbindingswoorden <i>want...</i> of <i>als...</i> , <i>dan...</i> of <i>dus...</i>

Alleen de uitleg-gerelateerde uitspraken zullen verder worden gecodeerd.

Coderen Segmenten	
<u>Dynamisch</u>	Een uitspraak krijgt een dynamische codering als deze (deels) over het harmoniegehalte gaat.
	- 1 punt: Als er een éénstaps-uitleg wordt gegeven van het effect op of het effect van het harmoniegehalte. <i>Bijv. 'Gehalte afname zorgt ervoor dat het harmoniegehalte afneemt.'</i> - 1 punt: Als er een twee of meerstaps-uitleg wordt gegeven van het effect op of het effect van het harmoniegehalte. <i>Bijv. 'Gehalte toename zorgt ervoor dat het harmoniegehalte toeneemt, en dat zorgt ervoor dat het volume toeneemt.'</i> <i>Of: 'De massa van de aarde zorgt ervoor dat het harmoniegehalte minder snel groeit.'</i> - 1 punt Als de feedbackloop van het harmoniegehalte wordt genoemd. <i>Bijv. Harmoniegehalte zorgt dat het volume toeneemt, wat weer zorgt dat de gehalte afname toeneemt, waardoor het harmoniegehalte weer afneemt. Het harmoniegehalte heeft invloed op zichzelf.</i>
<u>Statisch</u>	Een uitspraak krijgt een statische codering als deze over de overige variabelen gaat.
	- 1 punt: Als er een variabele of onderdeel correct wordt geïdentificeerd. <i>Bijv. Straling van de zon is een constante.</i> - 1 punt: Als er een éénstaps-uitleg wordt gegeven van het effect op of het effect van een andere variabele dan het harmoniegehalte. <i>Bijv. De massa van de aarde heeft een negatieve invloed op het gehalte toename.</i> - 1 punt: Als er een twee of meerstaps-uitleg wordt gegeven van het effect op of het effect van een andere variabele dan het harmoniegehalte. <i>Bijv. De zwaartekracht van Mercurius zorgt voor een minder sterke groei van de gehalte afname.</i>
<u>Off-task</u>	Een uitspraak wordt als off-task gecodeerd als er invloeden, effecten of variabelen worden genoemd die niet in het model voorkomen.

	- 0 punten: Aan het geïsoleerd noemen van een onderdeel van het model worden geen punten toegekend. - 0 punten: Aan het uiten van meningen of stellen van vragen over het model worden geen punten toegekend. - 0 punten: Als er objecten of constructen worden verzonnen om het model uit te leggen; bijvoorbeeld tornado's, kometen of andere planeten.
--	---

Codeerregels:

- Beweringen worden alleen goedgekeurd als ze in een kloppende zin staan. Het enkel noemen van begrippen en/of woorden uit het model wordt niet als een correcte bewering gezien.
- Als een respondent alleen vermeldt dat er een pijl loopt van de ene naar de andere variabele, worden hier geen punten aan toegekend. Er moet worden vermeld wat het effect is van de connectie, voordat het kan worden goedgekeurd.
- Als een bewering later in de opname herhaald wordt, worden hier geen dubbele punten aan toegekend.
- Als een begrip in één uitspraak wordt genoemd, en dit onderdeel daaropvolgend als een nieuw onderwerp wordt besproken, mag dit begrip in het nieuwe segment worden aangeduid met 'het', 'die' of 'deze', daarmee verwijzend naar het begrip in het vorige segment. Dit geldt alleen als de uitspraken elkaar direct opvolgen, en om de codering te vergemakkelijken, moet in het segment achter het verwijzingswoord even kort worden aangegeven om welk begrip het gaat.
- Een wat bredere interpretatie van de begrippen wordt getolereerd. Bijvoorbeeld: zonlicht kan ook tot straling van de zon worden gerekend. Zolang maar duidelijk is welk begrip wordt genoemd.
- Als er een uitleg wordt gegeven waarin één van de begrippen verkeerd wordt genoemd, mag het wel goed worden gekeurd als het uitgelegde proces klopt.
- Er mogen meerdere coderingen aan een uitspraak worden gegeven. Bijvoorbeeld als de gehaltetoeename correct wordt geïdentificeerd als een tussenvariabele en de werking ervan meteen wordt doorgetrokken naar het harmoniegehalte, dan kunnen daar zowel een dynamisch punt als een statisch punt aan worden toegekend.

Scores

Als alle beweringen gecodeerd zijn, worden voor zowel de statische als de dynamische uitspraken geteld.

Codeerschema kennistoets

Opmerkingen:

- (1,2,3) betekent 1 AND 2 AND 3;
- (1, 2 of 3) betekent 1 OR 2 OR 3

Onderdeel 3: Harmonie der sferen

Harmonie der sferen vraag 1
Omcirkel de juiste bewering. A. Hoe kleiner de zwaartekracht van Mercurius, hoe kleiner het volume. B. Hoe kleiner de zwaartekracht van Mercurius, hoe groter het volume. C. De zwaartekracht van Mercurius heeft geen invloed op het volume. Verklaar je antwoord. Goede antwoord: A. AN Antwoordelementen: goed 1. B 2. zwaartekracht van Mercurius & volume: $\exists$ relatie 3. zwaartekracht van Mercurius & volume: richting 4. zwaartekracht van Mercurius & volume: teken - 5. harmoniegehalte heeft ook invloed op het volume fout 1. A 2. C 3. geen toelichting 4. geen modelredenering (zie tekst; zie model) 5. misconceptie 'een negatieve relatie gaat er altijd af' (je haalt de zwaartekracht van het volume af; als zwaartekracht groter, dan neemt volume meer af dan wanneer zwaartekracht klein) 6. foute redenering (negatieve relatie van zwaartekracht naar harmoniegehalte) 7. niet-specifieke uitleg
Full credit code 2: Antwoord met de volgende punten: • 1, 2, 3, 4. Partial credit code 1: Antwoord met de volgende punten: • 1, 2 uit (2, 3, 4). No credit code 0: Andere antwoorden.

Harmonie der sferen vraag 2
Omcirkel de juiste bewering. A. Hoe kleiner de massa van Aarde, hoe sneller het harmoniegehalte toeneemt. B. Hoe kleiner de massa van Aarde, hoe langzamer het harmoniegehalte toeneemt. C. Hoe kleiner de massa van de Aarde, hoe groter het harmoniegehalte. Over de snelheid kan ik niets zeggen.

D. De massa van Aarde heeft geen invloed op de toename van het harmoniegehalte.

Verklaar je antwoord.

Goede antwoord: A. AN

Antwoordelementen:

goed

1. A
2. massa Aarde & gehalte-toename: $\exists$ relatie
3. massa Aarde & gehalte-toename: richting
4. massa Aarde & gehalte-toename: teken -
5. gehalte-toename & harmoniegehalte: $\exists$ relatie
6. gehalte-toename & harmoniegehalte: richting
7. gehalte-toename & harmoniegehalte: teken +
8. **shortcut conceptie**, van massa Aarde naar harmoniegehalte (zonder tussenstappen)
9. uitleg over de snelheid (toename geeft de hoeveelheid verandering per tijdseenheid aan)
10. noemt de snelheid (snellere toename)

fout

1. B
2. C
3. D
4. geen toelichting
5. geen modelredenering (zie tekst; zie model; herhalen van beweringen uit de tekst, al dan niet fout; model geeft geen cijfers alleen relaties)
6. **misconcept**: een negatieve relatie gaat er altijd af (onvolledige beschrijving van de negatieve invloed van massa Aarde; er is minder afname van de gehalte-toename als de massa van de aarde kleiner is; hoe lichter, hoe minder invloed op harmoniegehalte)
7. er staat nergens iets over snelheid (voor de snelheid heb je meer gegevens nodig; de straling van de zon; over hoeveel tijd dit model gaat)
8. redenering met volume, fout of irrelevant (zwaartekracht Mercurius heeft een negatieve invloed op volume, dus heeft de aarde dit ook; als de massa van Aarde klein is, is de zwaartekracht ook klein en dus is het volume groter, en dus wordt het harmoniegehalte groter, en dus is de snelheid groter; kleiner volume = minder afname)
9. massa blijft gelijk
10. **niet-specifieke uitleg**

Full credit

code 4: Antwoord met de volgende punten:

- 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7;
- AND
- 9 OR 10.

Partial credit

code 3: Antwoord met de volgende punten:

- 1, min. 4 uit (2, 3, 4, 5, 6, 7);

Partial credit

code 2: Antwoord met één van de volgende punten:

- 1, 8;
- OR

- 1 AND (9 OR 10).

Partial credit

code 1: Antwoord met het volgende punt:

- 1.

No credit

code 0: andere antwoorden.

Harmonie der sferen vraag 3

Leg uit welke rol de variabele 'gehalte-afname' speelt in het model.

Goede antwoord: A. AN

Antwoordelementen:

goed

1. uitstroomvariabele
2. gehalte-afname & harmoniegehalte: $\exists$ relatie
3. gehalte-afname & harmoniegehalte: richting
4. gehalte-afname & harmoniegehalte: teken -
5. is onderdeel van een terugkoppeling (noemt het of legt de stappen uit)

fout

1. foute redenering of relatie
2. **niet-specifieke uitleg**

Full credit

code 3: Antwoord met de volgende punten:

- 1, 2, 3, 4, 5.

Partial credit

code 2: Antwoord met de volgende punten:

- 1, 5;
- OR
- 2, 3, 4, 5.

Partial credit

code 1: Antwoord met de volgende punten:

- 1;
- OR
- 2, 3, 4;
- OR
- 5.

No credit

code 0: andere antwoorden.

Harmonie der sferen vraag 4

Stel, de massa van de Aarde is heel klein. Omcirkel de juiste bewering.

- A. Hoe kleiner de massa van de Aarde, hoe groter het volume.
- B. Hoe kleiner de massa van de Aarde, hoe kleiner het volume.
- C. Het kleiner worden van de massa van de Aarde heeft geen invloed op het volume.

Verklaar je antwoord.

Goede antwoord: AS

Antwoordelementen:

goed

1. A
2. massa Aarde & gehalte-toename: $\exists$ relatie
3. massa Aarde & gehalte-toename: richting
4. massa Aarde & gehalte-toename: teken -
5. gehalte-toename & harmoniegehalte: $\exists$ relatie
6. gehalte-toename & harmoniegehalte: richting
7. gehalte-toename & harmoniegehalte: teken +
8. harmoniegehalte & volume: $\exists$ relatie
9. harmoniegehalte & volume: richting
10. harmoniegehalte & volume: teken +
11. **shortcut-conceptie**: negatieve relatie van massa Aarde naar volume/harmoniegehalte (zonder tussenstappen)
12. noemt expliciet 'niet direct'

fout

1. B
2. C
3. geen toelichting
4. **geen modelredenering** (zie tekst; zie model; herhalen van beweringen uit de tekst, al dan niet fout)
5. **misconceptie** 'een negatieve relatie gaat er altijd af'
6. **eenstaps-denken**: geen indirecte relaties zien (staat niet in contact)
7. verwarring met volume (lager volume = groter harmoniegehalte)
8. **fout of onduidelijkheid in shortcut** (*negatieve* relatie van spaken naar harmoniegehalte; na verloop van tijd zal het harmoniegehalte dalen; *negatieve* relatie van aantal spaken naar *afname*;))
9. **niet-specifieke uitleg**

Full credit

code 3: Antwoord met de volgende punten:

- 1-10.

Partial credit

code 2: Antwoord met onderstaande punten:

- 1, min. 6 uit (2-10).

Partial credit

code 1: Antwoord met onderstaande punten.

- 1, 11.

No credit

code 0: Andere antwoorden.

Harmonie der sferen vraag 5

Verklaar hoe het kan dat het harmoniegehalte afneemt, terwijl de straling van de zon en de massa van Aarde gelijk blijven. Beschrijf een situatie waarin dit het geval is.

Goede antwoord: Het volume wordt beïnvloed door toename en afname. Als het volume afneemt dan is de afname groter dan de toename. De afname wordt groter als de zwaartekracht van Mercurius kleiner wordt: hoe kleiner de zwaartekracht, hoe groter het volume, hoe groter de afname. AS

Antwoordelementen:

goed

1. afname groter dan toename
2. zwaartekracht Mercurius neemt af (is heel klein)
3. zwaartekracht Mercurius & volume: $\exists$ relatie
4. zwaartekracht Mercurius & volume: richting
5. zwaartekracht Mercurius & volume: teken -
6. volume neemt toe
7. volume & afname: $\exists$ relatie
8. volume & afname: richting
9. volume & afname: teken +
10. afname neemt toe
11. **shortcut-conceptie**: correcte relatie van zwaartekracht naar afname of harmoniegehalte (zonder tussenstappen)

fout

1. **foute situatie of redenering** (zwaartekracht wordt groter)
2. **misconcept**: een negatieve relatie gaat er altijd af
3. **fout of onduidelijkheid in shortcut**: relatie van zwaartekracht naar afname of harmoniegehalte (zonder tussenstappen en zonder teken)
4. **niet-specifieke uitleg** (zwaartekracht/massa Aarde verandert)

Full credit

code 3: Antwoord met de volgende punten:

- 1 AND (2 OR 6);
- OR
- 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9.

Partial credit

code 2: Antwoord met de volgende punten:

- 2 AND 11;
- OR
- 6, 7, 8, 9.

Partial credit

code 1: Antwoord met de volgende punten:

- 2 OR 6
- OR
- 3 uit (3, 4, 5, 7, 8, 9).

No credit

code 0: Andere antwoorden.

Harmonie der sferen vraag 6

Stel, de zwaartekracht van Mercurius is heel klein. Omcirkel de juiste bewering.

- A. Hoe kleiner de zwaartekracht van Mercurius, hoe groter het gehalte toename.
- B. Hoe kleiner de zwaartekracht van Mercurius, hoe kleiner het gehalte toename.
- C. Het kleiner worden van de zwaartekracht van Mercurius heeft geen invloed op het gehalte toename.

Verklaar je antwoord.

Goede antwoord: C.

Antwoordelementen:

Goed

- 1. C.
- 2. Er is geen relatie
- 3. Ook niet indirect

Fout

- 1. A
- 2. B
- 3. **Foute relatie**
- 4. **Niet-specifieke uitleg**

Full credit

Code 2: Antwoord met de volgende punten:

- 1, 2, 3.

Partial credit

Code 1: Antwoord met de volgende punten:

- 1, 2.

No credit

Code 0: Andere antwoorden.

Harmonie der sferen vraag 7

Stel, je vergelijkt de situatie waarin de massa van de Aarde 2500 Et is met een waarin de massa van de Aarde 8500 Et is. In welke van de twee situaties is het volume het grootst? Verklaar je antwoord.

Goede antwoord: Als massa Aarde 2500, dan is de toename het grootst en dus het

harmoniegehalte het grootst en daarmee het volume. In de beide situaties zijn de overige variabelen hetzelfde. AS

Antwoordelementen:

goed

1. 2500 Et
2. massa Aarde & gehalte-toename: $\exists$ relatie
3. massa Aarde & gehalte-toename: richting
4. massa Aarde & gehalte-toename: teken -
5. gehalte-toename & harmoniegehalte: $\exists$ relatie
6. gehalte-toename & harmoniegehalte: richting
7. gehalte-toename & harmoniegehalte: teken +
8. harmoniegehalte & volume: $\exists$ relatie
9. harmoniegehalte & volume: richting
10. harmoniegehalte & volume: teken +
11. **shortcut conceptie**: negatieve relatie van massa Aarde naar volume of harmoniegehalte (zonder tussenstappen)
12. de overige variabelen zijn hetzelfde

fout

1. 8500 Et
2. geen modelredenering (zie model/grafiek; zie opgave 4; 1 Et = 1 triljoen kg; is het meest logisch)
3. **misconceptie** 'een negatieve relatie gaat er altijd af'
4. **eenstaps-denken**: geen indirecte relaties zien (even groot: massa Aarde heeft geen invloed op het volume)
5. **verwarring** van **zwaartekracht** en **volume** (massa Aarde $\rightarrow$ zwaartekracht, zwaartekracht $\rightarrow$ volume; $\forall$ object: grote massa $\rightarrow$ groot volume)
6. **fout in shortcut-redenering**, of onvolledig, niet precies (aarde een indirecte negatieve invloed dus hoe groter de waarde hoe (negatiever))
7. **niet-specifieke uitleg**

Full credit

code 3: Antwoord met de volgende punten:

- 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10.

Partial credit

code 2: Antwoord met de volgende punten:

- 1, min. 6 uit (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10).

Partial credit

code 1: Antwoord met de volgende punten:

- 1, 11.

No credit

code 0: Andere antwoorden.

Klopt het dat de toename van het harmoniegehalte invloed heeft op de massa van Aarde? Verklaar je antwoord.
Goede antwoord: Nee, de relatie is omgekeerd. EN Antwoordelementen: goed - nee - er is geen relatie (er staat geen pijl; niet (in)direct; de aarde is onafhankelijk) - de relatie is andersom (hoe groter massa Aarde, hoe groter harmoniegehalte) fout - geen modelredenering (zie model; andere helft model; staat daar los van) - beschrijft een relatie van een irrelevante variabele (harmoniegehalte of toename heeft alleen invloed op <i>volume</i>; kan ook van de <i>straling van de zon</i> afhangen; door <i>het verschil van het harmoniegehalte</i> verliest de aarde massa) - Ja; foute omgekeerde redenering (als harmoniegehalte toeneemt, neemt de massa af) niet-specifieke uitleg
Full credit code 2: Antwoord met de volgende punten: 1, 2; OR 1, 3. Partial credit code 1: Antwoord met de volgende punten: 1. No credit code 0: Andere antwoorden.

Harmonie der sferen vraag 9
Klopt het dat de straling van de zon invloed heeft op de toename van het harmoniegehalte? Verklaar je antwoord.
Goede antwoord: Ja, directe relatie. Hoe groter de zonstraling, hoe groter de toename. EN Antwoordelementen: goed - ja - straling van de zon & gehalte-toename: $\exists$ relatie - straling van de zon & gehalte-toename: richting - straling van de zon & gehalte-toename: teken + shortcut conceptie: positieve relatie van straling van de zon naar harmoniegehalte fout - nee - geen modelredenering (zie model) foute relatie (hoe dichterbij een planeet bij de zon, hoe harder het volume, dus harmoniegehalte; er loopt een pijl van de zon naar het harmonie-gehalte) niet-specifieke uitleg

Full credit
code 3: Antwoord met de volgende punten:

- 1, 2, 3, 4.

Partial credit
code 2: Antwoord met de volgende punten:

- 1, min. 2 uit (2, 3, 4).

Partial credit
code 1: Antwoord met de volgende punten:

- 1, 5.

No credit
code 0: Andere antwoorden.

Harmonie der sferen vraag 10

Klopt het dat het harmoniegehalte invloed heeft op de zwaartekracht van Mercurius? Verklaar je antwoord.

Goede antwoord: Nee, er bestaat geen directe invloed van de zwaartekracht van Mercurius op het harmoniegehalte. Andersom bestaat er wel indirecte invloed, de zwaartekracht van Mercurius heeft invloed op het volume, welke weer invloed heeft op de gehalte afname, welke weer invloed heeft op het harmoniegehalte. ES

Antwoordelementen:

goed

1. nee
2. er is geen relatie (er staat geen pijl)
3. de relatie is andersom
4. ook niet indirect

fout

1. ja
2. **foute relatie**
3. **niet-specifieke uitleg**

Full credit
code 2: Antwoord met de volgende punten:

- 1, 2, 3.

Partial credit
code 1: Antwoord met de volgende punten:

- 1, 2.

No credit
code 0: Andere antwoorden.

Harmonie der sferen vraag 11
Klopt het dat de muziek der sferen na verloop van tijd harder en harder kan worden met een bepaalde grote hoeveelheid straling van de zon? Verklaar je antwoord.
Goede antwoord: Nee, door de feedback loop van volume op afname (en eventueel van spaken) zal er een evenwicht ontstaan. Massa Aarde heeft een compenserende werking. ES Antwoordelementen: goed 1. nee 2. uitleg over de negatieve terugkoppeling (ook summiere uitleg, noemt daarbij een of meer van de variabelen 'afname' of 'volume'; dit hangt er vanaf hoeveel de afname groter wordt door toename van het volume; massa Aarde heeft een beperkende factor) 3. noemt (negatieve) terugkoppeling (maar geeft geen uitleg; hij remt zichzelf; er zijn compenserende variabelen) 4. er ontstaat evenwicht fout 1. ja 2. noemt belangrijke (oneindige) invloed van de zon op het harmoniegehalte of volume (toename blijft groter worden; als de straling maar groot genoeg is; als andere factoren dan de zon niet tegenwerken) 3. foute relatie 4. niet-specifieke uitleg (je weet niet wat gehalte-afname doet; dan moet de zon ook dichtbij een planeet zijn; er zijn teveel variabelen)
Full credit code 2: Antwoord met de volgende punten: • 1, 2. Partial credit code 1: Antwoord met de volgende punten: • 1, 3; - OR • 1, 4. No credit code 0: Andere antwoorden.

Opzet experiment + procedure

Benodigdheden:

- Zak met snoepjes als bedankje voor de leerlingen
- Een tangramset voor de oefening bij de hardop-denктаak.
- Opnameapparatuur voor bij de hardop-denктаak
- Informatie over 'harmonie der sferen' en legenda bijbehorend bij model

- Een statische versie van het model, dynamisch niet-congruente versie van het model en een dynamisch congruente versie van het model, alle drie in dezelfde lay-out.
- Genoeg papieren versies van de test en pennen.
- Extra kladblok voor overige notaties.
- Een aantal (lieftst drie?) 3vwo klassen die bereid zijn mee te werken aan mijn onderzoek.
- Een klein kantoor of lokaal waar ik de instructies en test kan afnemen. (na te vragen bij meewerkende schoolorganisatie)

Vorbereiding:

- *Instructiefilmpje opzetten*
- *Tangramtaak en tangrapuzzel klaarleggen*
- *Informatie model klaarleggen*
- *Bepalen welke modelversie getest gaat worden, deze versie vast parkeren in de startbalk*
- * respondentnummer noteren*
- *respondentnummer vast inspreken op opnameapparatuur*
- *respondentnummer vast noteren op kennistoets*
- *Stopwatch resetten*

Introductie:

- *Leerling vragen te gaan zitten en naam en klas noteren.*
- *Jezelf introduceren*

“Hallo, ik ben Yanan en ik doe mijn bacheloronderzoek binnen de vakgroep Instructietechnologie van de Faculteit Gedragwetenschappen van de Universiteit Twente.

Ik doe onderzoek naar het gebruik van verschillende soorten modellen in het onderwijs. Het gaat hierbij om de theorie van ‘de harmonie der sferen’, die is ontwikkeld door Pythagoras. Er zijn een aantal modellen gemaakt die dit proces weergeven en de vraag van dit onderzoek is welk model het beste resultaat oplevert.

Een belangrijk onderdeel van het onderzoek is hoe leerlingen het model bestuderen en hiervan leren, en dit wordt gemeten met de volgende taak.

Ten eerste krijg je informatie over ‘de harmonie der sferen’, en mag je het model bestuderen. Hierbij wordt er van je verwacht dat je al je gedachten hardop uitspreekt, zodat ik kan nagaan hoe het leerproces zich in jouw hoofd afspeelt. Dit zal worden opgenomen. Na deze fase krijg je een korte test over het onderwerp om je kennis te toetsen. Je kunt het niet goed of fout doen en je krijgt geen schoolcijfer voor deze testjes. Ik vraag alleen dat je goed je best doet zodat dit onderzoek meer inzicht kan geven in het leerproces. Als je vragen hebt, tijdens of na het onderzoek, mag je die natuurlijk stellen. Al je gegevens zullen anoniem worden verwerkt.”

Voorbeeld

“Omdat het toch nog lastig kan zijn om op een goede manier hardop te denken krijg je nu een voorbeeld te horen van iemand die hardop denkt tijdens het oplossen van een raadsel. Zo krijg je een idee van wat er zo van je verwacht wordt.”

- *Laptop naar leerling draaien en instructiefilmpje aanklikken*

Nabespreking voorbeeld

“Deze persoon is dus continu hardop aan het nadenken terwijl hij dit probleem aan het oplossen is. Daarbij zegt hij alles wat in hem opkomt hardop”.

- *Eerst leest hij de opdracht, dus **leest** hij eigenlijk gewoon hardop voor.*
- *Daarna **herhaalt** hij de opdracht voor zichzelf **in zijn eigen woorden**.*
- *Dan denkt hij na over een **mogelijke oplossing**,*
- *maar komt er al meteen achter dat dat niet kan en **geeft dat dus ook aan**.*
- *De persoon vertelt ook **wat hij van de opdracht vindt**. Op gegeven moment zegt hij ‘hm, is best lastig’.*
- *Ook vertelt hij op gegeven moment hoe hij van **plan** is het aan te gaan pakken. Hij zegt ‘ik ga eerst geloof ik maar eens even kijken wat ik zou kunnen doen voordat ik ze weghaal, dat lijkt me eigenlijk wel het handigst’.*
- *En op het eind vertelt hij nog even **wat hij gedaan heeft** om tot de goede oplossing te komen. “*

Oefening

“Omdat hardop denken best moeilijk is, gaan we voordat je met de leeromgeving begint even oefenen, zodat je gewend raakt aan het hardop denken.”

Houd stopwatch bij de hand om benodigde tijd op te meten

“Om het te oefenen is het de bedoeling dat je hardop denkend de volgende tangram puzzel oplost. Ga je gang.”

Geef Tangramtaak en tangrapuzzel

Stopwatch aanklikken

Notities maken voor feedback voor de leerling

Stop de stopwatch na 3 minuten of eerder als de leerling eerder klaar is.

- *Als de leerling eerder klaar is, noteer dan de benodigde tijd.*
- *Als de leerling de puzzel niet op tijd heeft volbracht, laat dan de oplossing zien.*

Nabespreking oefening

Geef aan wat iemand goed deed en waarom dat goed was.

- *Als iemand veel stil was is, zeg dan:*

“Probeer te blijven praten, alles wat er in je op komt is van belang voor het onderzoek.”

- *Als iemand zachtjes praatte, zeg dan:*

“Probeer wat duidelijker te praten, zodat de opname ook goed wordt.”

- *Herhaal, indien nodig, eerdere instructie.*

Eind oefeninstructie

~

Hardop denктаak

“We beginnen nu met de echte taak. Ik vraag je nu om eerst de begeleidende informatie over het harmoniemodel door te lezen.”

Geef informatie over het harmoniemodel en laat de leerling dit rustig doorlezen.

Vraag na een minuut of twee of de leerling alles heeft doorgelezen en neem de informatie weer in

“Ik laat je nu een model zien. Leg dit model rustig en duidelijk aan jezelf uit en probeer hierbij zoveel mogelijk hardop te denken. Er zijn geen goede of foute antwoorden, maar probeer alles wat er in je opkomt hardop uit te spreken.”

Toon het vooraf bepaalde model op de laptop

Zet de opnameapparatuur aan

Als tijdens de hardop denктаak te weinig wordt gesproken, kunnen de volgende cues worden gegeven:

- Blijf alsjeblieft hardop praten.
- Probeer te blijven praten.

Als de leerling aangeeft vast te zitten of het model niet te begrijpen, kunnen de volgende cues worden gegeven:

- Waar zit je vast?
- Wat snap je niet?
- Wat snap je wel?

Als de leerling de onderzoeker om uitleg vraagt over het model, zeg dan:

"Ik mag je geen extra informatie of hints geven. Probeer aan jezelf uit te leggen hoe jij denkt dat het model werkt."

De leerling krijgt maximaal 10 minuten om het model aan zichzelf uit te leggen. Als de leerling eerder aangeeft klaar te zijn, zeg dan:

"Heb je voor je eigen gevoel het hele model goed uit kunnen leggen?"

Als de leerling hier ontkennend op antwoordt, spoor de leerling dan aan om verder te gaan met uitleggen tot hij/zij meent het hele model naar behoren te hebben besproken, of tot de grens van 10 minuten is bereikt.

Stop de opname

neem de modelweergave weg

Eind hardop denктаak

~

Kennistest

"Om te kijken of je wat van dit model geleerd hebt, krijg je nu een korte test over het onderwerp 'de harmonie der sferen'. Je krijgt een half uur om deze test te maken. Succes."

Geef kennistoets

Start de stopwatch

Geef de leerling 30 minuten de tijd om de test te maken.

Als de leerling een van de testvragen niet snapt en hiervoor om verduidelijking vraagt, kan de vraag zo neutraal mogelijk worden uitgelegd, zonder hierbij extra informatie of hints te geven over het antwoord.

stop de stopwatch na 30 minuten of als de leerling eerder aangeeft klaar te zijn

* neem de ingevulde test in*

Afsluiting

"Heel erg bedankt voor je medewerking aan mijn onderzoek. Als beloning mag je een snoepje pakken, maar ik wil je nog wel vragen om het onderzoek nog niet te gaan bespreken met je klasgenoten. Als iedereen weet waar het over gaat kan dat de resultaten beïnvloeden. Heb je verder nog vragen?"

Laat de leerling een snoepje uitkiezen

Beantwoord mogelijk vragen

"Als er verder geen vragen meer zijn, dan mag je nu terug naar je klas en de volgende die aan de beurt is naar mij toe sturen."

alle materialen weer neerzetten in de voorbereidingspositie

instructiefilmpje, tangrapuzzel en modelinformatie klaarleggen voor volgende leerling