

De invloed van voorkennis op het bestuderen van systeem dynamische modellen

Bachelorthesis

GW: Instructie, Leren en Ontwikkeling

Theresa S. Kersjes

s1190148

Begeleiders:

Dr. A. H. Gijlers

Dr. Y. G. Mulder

Inhoud

1	Samenvatting	3
2	Summary	4
3	Inleiding	5
3.1	Drie methodes om met systeem dynamische modellen te werken	6
3.2	De invloed van Voorkennis	8
3.3	Doel en Hypotheses	9
4	Methode.....	11
4.1	Participanten	11
4.2	Materiaal	11
4.2.1	Hardop denk training.....	11
4.2.2	Model	12
4.2.3	Tekst met achtergrondkennis/voorkennis.....	13
4.2.4	Toets	13
4.3	Procedure	13
4.4	Scoring.....	14
4.4.1	Toets	14
4.4.2	Codeerschema voor de geluidsopnames	15
5	Resultaten	17
6	Discussie.....	20
6.1	Bespreking van de Hypotheses.....	20
6.2	Toepassingsmogelijkheden.....	21
7	Referentielijst	24
8	Bijlage	27
	Bijlage A: Hardop denk training	27
	Bijlage B: Opgave en Notatie.....	28
	Bijlage C: Achtergrondkennis voor controle groep	29
	Bijlage D: Achtergrondkennis en Voorkennis voor de experimentele groep	30
	Bijlage E: Toets	31
	Bijlage F: Codeerschema toets	37
	Bijlage G: Hardop denk codeerschema	50

1 Samenvatting

Systeem dynamische modellen zijn een hulpmiddel om complexe natuurwetenschappelijke processen in een tijdsafhankelijk, wiskundig model weer te geven. Een methode om leerlingen op het werken met systeem dynamische modellen voor te bereiden, is het bestuderen van systeem dynamische modellen. In dit onderzoek staat het bestuderen van een model als instructiemethode centraal. Uit de literatuur blijkt dat voorkennis veel werd onderzocht en als een belangrijke variable werd geïdentificeerd. Voor de methode model bestuderen is voorkennis nog niet onderzocht. Om model bestuderen als instructiemethode te verbeteren wordt in dit onderzoek de invloed van voorkennis op het model bestuderen onderzocht. Verwacht werd dat voorkennis de leerlingen helpt meer dynamische aspecten van het model te herkennen en dat het de leeruitkomsten verbetert. Leerlingen met voorkennis zijn volgens de verwachtingen in staat meer complexe, dynamische kennis opdoen. Het onderzoek werd op een Duitse school uitgevoerd met de klassen 9 en 10 ($n = 50$). De leerlingen werden random verdeeld over een experimentele conditie waarin de leerlingen kennis over het model kregen aangeboden en dus over meer voorkennis beschikten en een controle conditie zonder voorkennis. Iedere leerling nam deel aan een individuele sessie van 50 minuten. Daarin bestudeerden de leerlingen hardop een model en beantwoordden vragen op een toets. Toets en de geluidsopnames werden gescoord, zodat er toetsscores en bestudeerscores uitkwamen.

De resultaten van de toets en van het hardop bestuderen werden vergeleken tussen de condities. Daaruit blijkt dat voorkennis het verwachte effect op de leeruitkomsten had. Zowel de totale toets scores, als de scores op de dynamische aspecten van de toets waren in de experimentele conditie significant hoger. Ook de totale bestudeerscores, dus de scores die de leerlingen voor het hardop denken kregen, waren in de experimentele conditie significant hoger. De verwachting dat de experimentele conditie meer dynamische aspecten kan herkennen, kon niet worden bevestigd. Daarmee hangt samen dat er ook geen significante correlatie tussen de dynamische aspecten van de toets en de dynamische aspecten op de bestudeerscores werden gevonden.

Dit onderzoek heeft aangetoond dat voorkennis een belangrijke rol speelt wat betreft het bestuderen van modellen. Voorkennis lijkt leerlingen te helpen meer correcte samenhang in het model te herkennen en meer en complexere kennis op te doen. Voor vervolgonderzoek zou het interessant zijn om na te gaan hoe de omstandigheden kunnen worden verbeterd, zodat de leerlingen ook meer dynamische aspecten herkennen tijdens het bestuderen.

2 Summary

System dynamic models are a tool to represent scientific, complex processes by modeling them in a time dependent, mathematical system. A method to prepare students for creating and exploring system dynamic models is to let them study models which are formulated in a system dynamic way.

The aim of this study is to improve the method of studying a systematic model. It is expected that prior knowledge about the modelled domain facilitates model reading. In the present study we investigate the role of prior knowledge. We expected that students with prior knowledge at first hand recognize more dynamic aspects of the model, second, achieve better learning outcomes and third that they are able to answer more dynamic questions of the test correctly. The study was conducted at a German school with classes 9 and 10 ($n = 50$). The students were randomly separated in two conditions: an experimental condition in which the students are provided with prior knowledge and a control condition in which there is no prior knowledge provided. Each student attended an individual session which took approximately 50 minutes. The pupils studied a system dynamic model while thinking aloud and subsequently answered questions on a test.

For the analysis the two conditions were compared in consideration of the scores of the test and the scores from studying the model. The analysis shows that prior knowledge had the expected effect on the learning outcomes. Both, the overall test scores and the scores on the dynamic aspects of the test were significantly higher in the experimental condition. The total scores of the think aloud data were significantly higher in the experimental condition. The expectation that the students in the experimental condition are able to recognize more dynamic aspects could not be confirmed. Additionally there was also no significant correlation between the dynamic aspects of the test and the dynamic aspects of the study scores.

This study has shown that prior knowledge plays an important role regarding the study of models as a method to prepare students for creating and exploring system dynamic models. Prior knowledge seems to help identify more correct relations in the model and to acquire a higher amount of knowledge and more complex knowledge. For further research it would be interesting to see how the conditions can be improved so that the pupils recognize more dynamic aspects during studying the model.

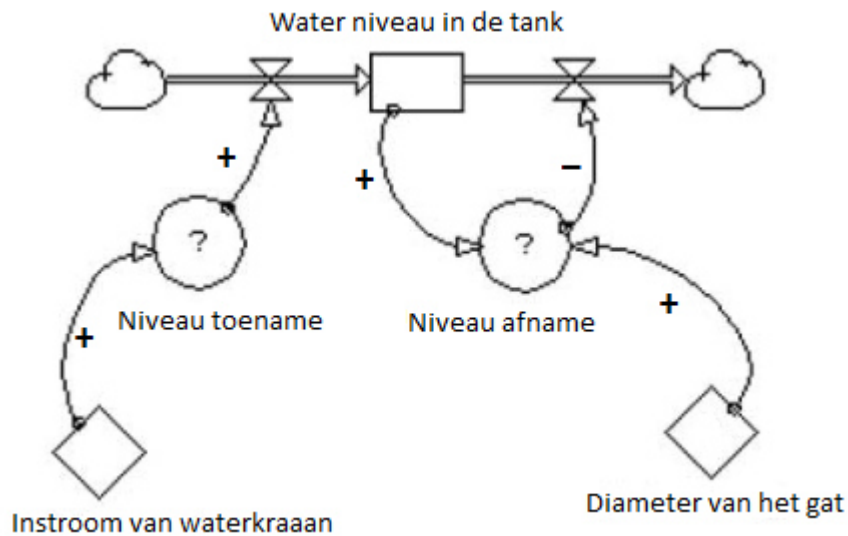
3 Inleiding

Modellen zijn een krachtig hulpmiddel om interne en externe representaties aan te maken (Kenyon, Davis, & Hug, 2010). Modellen werken als externe representaties, doordat ze de wekelijkheid op een geordende, overzichtelijke manier weergeven, zodat leerlingen de informatie beter kunnen verwerken (Gobert & Buckley, 2000). Uit onderzoek blijkt dat modellen dankzij hun werking als externe representatie het leerproces positief beïnvloeden. Hoe beter een externe representatie is, hoe minder overlast ontstaat in het werkgeheugen, waardoor een makkelijker verwerking van de informatie mogelijk is (Zhang & Norman, 1994). Als een model een goede externe representatie is, kan het worden gebruikt om makkelijker interne representaties aan te maken en deze te evalueren (Kenyon et al., 2010; Löhner, van Joolingen, Savelsbergh, & van Hout-Wolters, 2005). De opgedane kennis wordt dus in een mentaal model opgeslagen, waarop kan worden teruggevallen.

Er zijn een aantal verschillende soorten modellen die allemaal verschillende leer- en instructiemethodes vergen. In dit onderzoek staat systeem dynamische modelleren centraal, omdat er, vooral in het onderwijs, brede toepassingsmogelijkheden zijn. Dynamische modellen werden ontwikkeld om complexe, dynamische processen in een computer gebaseerd model te vertalen (Hogan & Thomas, 2001).

De zogenaamde System Dynamics modelleer methode is in 1968 door Forrester ontwikkeld (Van Joolingen, 2010). Daarop wordt in dit onderzoek nader ingegaan. Dynamische modellen die op Forresters modelleer methode gebaseerd zijn, bieden de mogelijkheid de dynamiek van fysieke systemen te simuleren en directe en indirecte samenhang tussen variabelen aan te tonen in een tijdsafhankelijk systeem. Daarbij kan worden geleerd hoe van elkaar afhankelijke concepten zich in een model gedragen over tijd (Jackson, 2012). Met deze modelleermethode als basis zijn een aantal software pakketten ontwikkeld, waarmee men dynamische modellen kan ontwerpen, bijvoorbeeld Co-Lab (Van Joolingen, de Jong, Lazonder, Savelsbergh, & Manlove, 2005) en Vensim PLE® software (Ventana Systems Inc).

Hieronder wordt beschreven hoe een systeem dynamisch model opgebouwd is. Bij het systeem dynamisch modelleren zijn de concepten door pijlen verbonden. Deze geven de richting aan en de manier (positief of negatief) waarop de concepten aan elkaar gerelateerd zijn. Deze pijlen heten relatiepijlen.



Figuur 1 Voorbeeld van een system dynamisch model uit Van Joolingen et al., 2005

De voorraadsgrootheid is de kern van het model. In het voorbeeld (Figuur 1) is de voorraadsgrootheid het water volume in een tank. De voorraadsgrootheid zit op het peilingsniveau. Deze pijl geeft aan hoe de voorraadsgrootheid toe- of afneemt over tijd. Variabelen die zo'n verandering veroorzaken, worden stroomvariabelen genoemd, omdat hier een in- of uitstroom plaatsvindt. In het voorbeeld zijn deze variabelen als een cirkel weergegeven en heten “inflow_rate” en “outflow_rate”. De stroomvariabelen hangen wederzijds af van de hulpvariabelen of constanten, die in Figuur 1 als ruitjes weergegeven zijn. De “inflow_rate” wordt dus door de constante “Flow_from_tap” beïnvloedt en de “outflow_rate” door de constante “Hole-diameter”. Deze constanten bepalen de waardes van de stroomvariabelen (Rubin et al., 2012; van Joolingen, 2010). Met andere woorden, als in het voorbeeld (Figuur 1) veel water uit de tapkraan in de tank loopt, stijgt het instroomniveau. Daardoor stijgt het watervolume, maar omdat de tank een gat heeft, daalt het watervolume ook altijd. Hoe meer water er in de tank zit, hoe sneller en hoe meer water er ook weer uit stroomt. Hoeveel water eruit stroomt, wordt medebepaald door de grootte van het gat. Als er meer water uitstroomt, wordt het uitstroomniveau groter en het waterniveau in de tank snel kleiner. Daardoor wordt ook het water, dat eruit stroomt, minder. Hier is dus sprake van een feedbackloop die voor een evenwicht tussen uitlaat en watervolume zorgt.

3.1 Drie methodes om met systeem dynamische modellen te werken

Dynamisch modelleren wordt veel op natuurwetenschappelijke terrein gebruikt. Het centrale doel is leerlingen wetenschappelijke methodes aan te reiken, waarmee ze kennis kunnen opdoen en de dingen in de wereld kunnen verklaren en voorspellen (Van Joolingen (2010),

De Jong, & Dimitrakopoulou, 2007). Er zijn drie verschillende methodes om dynamische modellen te gebruiken. Deze drie methodes werden ten aanzien van hun toepassingsmogelijkheden met elkaar vergeleken. De drie methodes zijn:

1. Creëren van dynamische modellen
2. Exploreren van dynamische modellen
3. Bestuderen van dynamische modellen

De eerste methode, het creëren van dynamische modellen werd het meest onderzocht. Creëren van modellen betekent dat de leerlingen de mogelijkheid hebben om, met behulp van eerder beschreven software pakketten, modellen over complexe processen aan te maken. Daarbij moeten ze zelf de relaties leggen tussen de concepten en de wiskundige formules omzetten in een model. Met deze methode hebben de leerlingen de mogelijkheid de meeste (Kurtz dos Santos & Ogborn, 1994) en de meest complexe (van Borkulo, 2009; Hashem & Mioduser, 2011) kennis op te doen. Maar deze methode roept ook problemen op, bijvoorbeeld dat leerlingen tijdens het creëren van het systeem dynamische model begeleiding nodig hebben om problemen tijdens het modelleerproces te voorkomen (de Jong & van Joolingen, 1998; VanLehn, 2013). Een probleem dat in deze context kan ontstaan is bijvoorbeeld dat de leerlingen syntactisch correcte modellen ontwerpen, maar moeilijkheden hebben om hun kennis over bepaalde fenomenen daaraan te koppelen. Verder vergt deze methode de meeste voorkennis over de modelleertaal en veel modelleervaardigheden. Ook dit is een bron van moeilijkheden die leerlingen tijdens het modelleren ervaren (VanLehn, 2013). Om dit soort problemen te voorkomen, is veel tijd nodig om de leerlingen voor te bereiden op het leren met modellen. Maar in het onderwijs is er vaak heel weinig tijd ter beschikking, waardoor tijdbesparende methoden attractiever worden.

De tweede methode is model exploratie. Hierbij gaat het vooral om het runnen (afspelen) van dynamische modellen. Ze leren de werking van complexe processen, doordat ze de variabelen beïnvloeden en de consequenties van deze beïnvloeding ervaren door het model te runnen (VanLehn, 2013). Deze methode vergt minder modelleervaardigheden en minder kennis van de achterliggende syntax. Daarom wordt deze methode voor het onderwijs attractief. Het blijkt dat de helft van de tijd kan worden bespaard als men deze methode gebruikt in plaats van de eerste methode, model creëren (VanLehn, 2013).

Het bestuderen van dynamische modellen is de derde en minst onderzochte methode. Bij het bestuderen krijgt de leerling een dynamisch model zonder de mogelijkheid er iets aan

te veranderen of het te runnen. Het doel is om de leerlingen bekend te maken met systeem dynamische modellen en hun stapsgewijs tot het exploreren en creëren van modellen te begeleiden. Er is gebleken dat het belangrijk is om leerlingen langzaam met systeem dynamische modellen bekend te maken (de Jong, 2005). De structuur van een model heeft veel overeenkomsten met een concept map. Een concept map is een samenvatting van kennis in een net met knooppunten, waarbij ieder knooppunt een belangrijk concept is. De concepten zijn verbonden door middel van pijlen of lijnen (Donnell, Dansereau, & Hall, 2002). Naast de gemeenschappelijkheden met een concept map heeft model bestuderen verder het voordeel dat het systeem dynamisch model niet alleen verbindingen tussen concepten aantoonst, maar ook de proporties tussen de concepten. Daardoor worden leerlingen op het wiskundig modelleren voorbereidt. Door verschillende symbolen te gebruiken wordt de kennis op een overzichtelijke manier aangeboden, zodat de betekenis makkelijker te herkennen is. Model bestuderen is een aangename methode om leerlingen met systeem dynamische modellen vertrouwd te maken, omdat er weinig voorbereiding voor nodig is, leerlingen zo snel een indruk kunnen krijgen hoe systeem dynamische modellen werken en leerlingen hun kennis over fenomenen aan het model leren te koppelen door te oefenen. Op basis van de geschiktheid voor het onderwijs en het feit dat er heel weinig onderzoek naar werd gedaan, wordt in dit onderzoek deze derde methode met name het model bestuderen nader onderzocht.

3.2 De invloed van Voorkennis

Het bestuderen van modellen vereist minder voorkennis wat modelleertaal en –vaardigheden betreft. Maar voorkennis met betreffende de modelleertaal en –vaardigheden is niet de enige vorm die bij modelleren een rol speelt. Ook voorkennis over het gemodelleerde onderwerp speelt een rol. Vooral als het over het exploreren van modellen gaat zijn er een aantal onderzoeken die tonen dat voorkennis van invloed is. Het onderzoek van Sins, Savelsbergh, & van Joolingen (2005) toont aan dat voorkennis een bijzondere invloed heeft wat dynamische modellen betreft. In hun eerste onderzoek vonden ze dat leerlingen, die meer gebruik maakten van hun voorkennis, meer konden leren. In een tweede studie onderzochten Sins, Savelsbergh, van Joolingen, & van Hout-Wolters (2009) in hoeverre epistemologische kennis het beredeneren van modellen beïnvloedt. Ze verwachten dat hoe meer epistemologische kennis een leerling heeft, oftewel hoe beter een leerling weet wat modellen betekenen, hoe dieper of beter kunnen ze de informatie verwerken. Daarbij werd de diepte van de verwerking onder andere gemeten door het relateren van de informatie met voorkennis. Ook een onderzoek van Mulder, Lazonder & de Jong (2010) liet zien dat voorkennis een invloed heeft op het

modelleren. Er is gebleken dat voorkennis het begrijpen en integreren van de verschillende onderdelen van een model positief beïnvloedt.

De vooraf genoemde auteurs onderzochten de invloed van voorkennis alleen met betrekking op het exploreren en creëren van een model. Over het bestuderen is er weinig bekend met betrekking tot voorkennis. Doordat de modellen die voor het model bestuderen worden gebruikt, op concept maps lijken, kan ook de literatuur over concept mappen relevante kennis opleveren. Onderzoek uit het domein concept mappen liet zien dat voorkennis het begrijpen van teksten en concept mappen makkelijker maakt. Amadiou, van Gog, Paas, Tricot & Mariné (2009) toonden bijvoorbeeld aan dat leerlingen met hoge voorkennis meer feitenkennis hebben opgedaan en minder gedesoriënteerd waren tijdens het bestuderen van een concept map. Een vergelijkbaar effect werd bij het lezen van teksten gevonden. Uit onderzoek blijkt dat niet alleen voorkennis het lezen van teksten positief beïnvloedt, maar dat zelfs voorkennis uit een domein die als analogie kan worden gebruikt misconcepten verlaagt (Braasch & Goldman, 2010). Zowel wat model exploratie, als wat concept mappen en teksten lezen betreft is voorkennis dus een belangrijk onderdeel van het leerproces.

Als het om de methode model bestuderen zelf gaat is er weinig specifiek onderzoek naar voorkennis gedaan. Eén validatieonderzoek uit Van Borkulo's proefschrift (2011) werkt alleen met bestuderen. Het onderzoek gaat over het ontwikkelen van een toets die de leeruitkomsten van het computer gebaseerde modelleren meet. In dit onderzoek kregen drie verschillende groepen leerlingen een model en 21 vragen over het model. De leerlingen verschilden wat hun niveaus van voorkennis betreft t.a.v. domein-specifieke en domein onafhankelijke voorkennis. Er blijkt een trend ten gunste van leerlingen die domein-specifieke voorkennis hadden, omdat ze beter presteerden op de eindtoets. Dit effect toont ook dat het voor het bestuderen van modellen interessant is om verder onderzoek naar de invloed van voorkennis te doen. Het door Van Borkulo beschreven onderzoek (2011) was een validatiestudie en het richtte zich verder niet op de invloed van voorkennis. Daardoor kan er geen conclusie worden getrokken in hoeverre domein-specifieke kennis het beredeneren en bestuderen precies beïnvloedt. Hier lijkt dus een gat in de literatuur te zijn en het is belangrijk hier verder onderzoek naar te doen.

3.3 Doel en Hypotheses

Hoewel de gevonden literatuur het belang van voorkennis suggereert, ontbreekt onderzoek naar de invloed van voorkennis op het bestuderen van modellen. Om dit gat in de

wetenschappelijke literatuur te sluiten, luidt de onderzoeksvraag van dit onderzoek: In hoeverre beïnvloedt voorkennis de kennis die leerlingen opdoen tijdens het bestuderen van een dynamisch model.

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden werden meerdere hypothesen opgesteld, die uit de literatuur afgeleid zijn. Zoals eerder beschreven heeft literatuur aangetoond dat voorkennis het leereffect positief beïnvloedt (Amadiou, et al., 2009; Mulder, Lazonder, & de Jong, 2010). Daarom gaat de eerste hypothese over de samenhang tussen voorkennis en de leereffect. Verwacht wordt dat leerlingen die voorkennis krijgen beter op de eindtoets scoren.

De tweede hypothese heeft betrekking op het onderzoek van Van Borkulo (2012). Het onderzoek gaat over de complexiteit van kennis die wordt opgedaan van leerlingen met en zonder voorkennis. Verwacht wordt dat leerlingen die voorkennis hebben meer complexe kennis kunnen opdoen dan leerlingen die helemaal geen voorkennis hebben.

Zoals eerder beschreven toonden Sins et al. (2009) aan dat er verschillende niveaus zijn waarop een leerling een model begrijpt en dat deze gerelateerd zijn aan de diepte waarmee leerlingen informatie uit een model verwerken. Doordat diepe verwerking kan worden gezien als het relateren van de opgedane kennis aan voorkennis wordt in de tweede hypothese aangenomen dat zonder voorkennis minder diepe verwerking mogelijk is. Diepe verwerking wordt in dit onderzoek geoperationaliseerd door het noemen van dynamische kenmerken. De derde hypothese is: hoe meer voorkennis een leerling heeft, hoe meer dynamische kenmerken van het model hij/zij herkent.

De leerlingen gaan eerst hardop het model bestuderen en daarna vullen ze de kennistoets in. Zowel de toetsscores als de scores van de geluidsopnames van het hardop bestuderen worden op verschillen tussen de condities onderzocht ten aanzien van de dynamische aspecten. Omdat het logisch lijkt dat leerlingen, die tijdens het bestuderen meer dynamische kenmerken hebben ontdekt, meer dynamische vragen op de toets juist kunnen beantwoorden, is de vierde hypothese: Er is een positieve correlatie tussen de dynamische scores van het bestuderen en de dynamische scores op de toets.

4 Methode

4.1 *Participanten*

Dit onderzoek werd uitgevoerd met 50 leerlingen van een Duitse school in Noordrijn-Westfalen. Hoewel in Nederland het modelleren op school al lang onderdeel van het curriculum is, wordt ervoor gekozen het onderzoek in Duitsland uit te voeren. Aan de ene kant kan op die manier beter worden gegarandeerd dat er geen voorkennis over de modelleertaal bestaat, omdat modelleren geen onderdeel is van het curriculum. Aan de andere kant is het makkelijker om in Duitsland ook oudere leerlingen te vinden die geen voorkennis hebben. In Nederland is een onderzoek waar de leerlingen geen voorkennis hebben alleen tot 3 VWO mogelijk, omdat dynamisch modelleren vanaf 4 VWO niveau onderdeel van het leerplan is. Op Duitse scholen kan de hele bovenbouw theoretisch gezien meedoen, omdat dynamisch modelleren in Duitsland op school nog relatief onbekend is.

De leerlingen in dit onderzoek zaten in klas 9 en 10. Deze klassen werden gekozen om een leeftijdsgroep te creëren die equivalent is aan de leeftijd waarin Nederlandse leerlingen met dynamische modellen beginnen te werken. Ze waren tussen 14 en 16 jaar oud ($M = 15.1$, $SD = 0.6$). De 9^e klas bestond voor 60% uit jongens en 40% uit meisjes en de 10^e klas had 52% meisjes en 48% jongens. Ze werden random over de twee groepen verdeeld. In de experimentele conditie zaten 26 mensen die voorkennis kregen, 14 meisjes en 12 jongens, terwijl er in de controle groep 24 mensen waren die geen voorkennis kregen, waarvan negen meisjes en 15 jongens.

Voordat het onderzoek begon kregen alle ouders een brief. De brief bevatte een passief informed-consent formulier. In klas 9 hebben drie ouders hun kinderen verboden om deel te nemen aan het onderzoek. In klas 10 waren alle ouders het met de deelname eens, maar twee leerlingen wilden zelf niet meedoen, omdat ze geen lessen wilden missen.

4.2 *Materiaal*

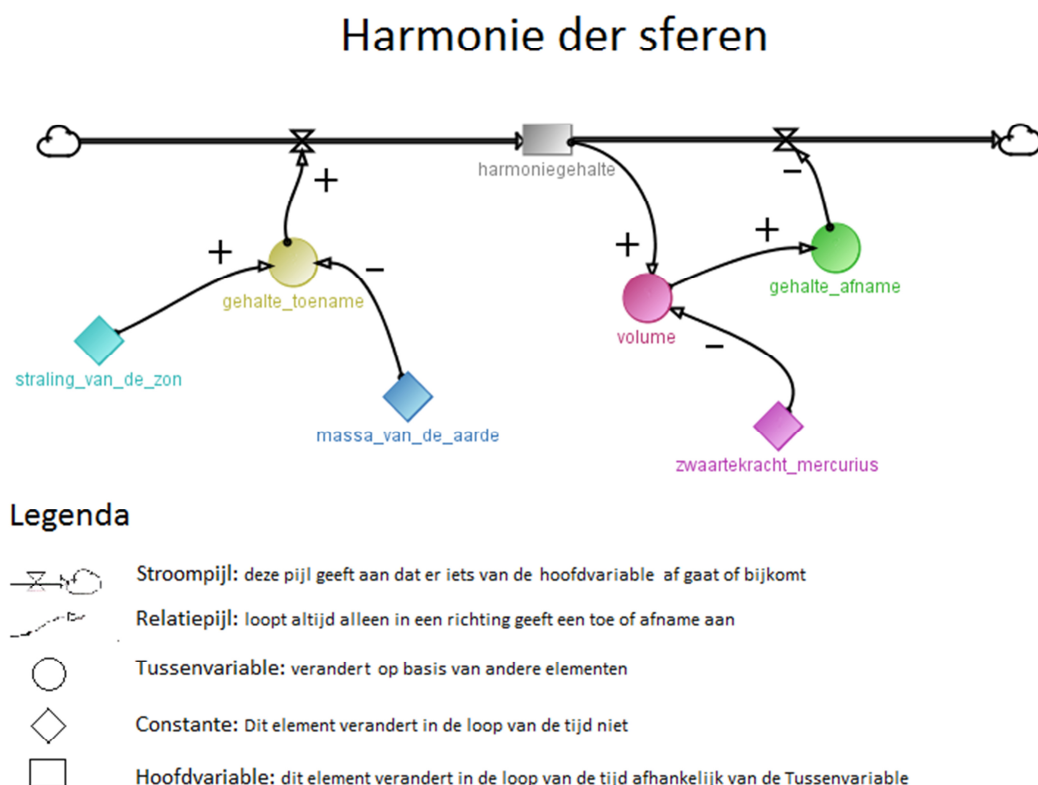
4.2.1 *Hardop denk training*

Om de leerlingen het hardop denken te laten oefenen, kregen ze ten eerste een hardop denk training. De gebruikte hardop denk training werd al eerder in onderzoek gebruikt (Eysink & de Jong, 2012). De training bestond uit een hardop denk voorbeeld en een oefening. Het voorbeeld was een video, waarin de leerlingen zagen hoe iemand een figuur uit lucifers op een bepaald manier hardop denkend verandert. Om de aandacht van de leerlingen op de

belangrijke punten te richten, werd daarna samengevat wat de leerling goed deed en wat er nog kon worden verbeterd. De leerling moest daarna zelf het hardop denken oefenen door een tangram taak puzzel op te lossen. De puzzel bestond uit zeven delen. Voordat de leerlingen konden beginnen, werden ze geïnformeerd dat het niet de bedoeling is de puzzel op te lossen, maar alleen om het hardop denken te oefenen en dat het normaal was dat de oplossing niet binnen de gegeven tijd werd gevonden.

4.2.2 Model

Het model dat in dit onderzoek werd gebruikt is ontwikkeld in het kader van Van Borkulo's (2009) proefschrift. Het model gaat over een fantasie domein, de harmonie der sferen. Door het gebruik van een fantasiedomein werd gecontroleerd of de leerlingen daadwerkelijk geen voorkennis hebben. Met behulp van het programma SCYdynamics (Mulder, Bollen, & de Jong, 2014) werd het model vertaald naar een systeem dynamische model, zoals leerlingen het al in ander onderzoek gebruikten (Mulder & Janssen, 2013). Om de leerlingen een korte inleiding te geven, werd er een legenda bijgevoegd (zie figuur 2). Het model toont zowel enkelvoudige beïnvloedingen als een feedbackloop.



Figuur 2 *Harmonie der sferen model*

4.2.3 Tekst met achtergrondkennis/voorkennis

Naast het model kregen de leerlingen een tekst met een stukje achtergrondkennis over het fantasieonderwerp. De achtergrondkennis was dezelfde als die wat Van Borkulo (2009) in haar onderzoek gebruikte. De tekst introduceert het fantasieonderwerp “Harmonie der Sferen” maar geeft geen informatie over het model zelf. Deze tekst kregen beide condities.

De experimentele conditie kreeg aanvullend nog een tekst met achtergrondinformatie die directe betrekking had op het model. Uit een onderzoek bleek dat voorkennis het best zo kon worden aangeboden, zodat de kernconcepten worden verklaard en de informatie voor en tijdens de taak ter beschikking is (Lazonder, Hagemans, & de Jong, 2010). Daardoor kregen de leerlingen een overzicht over de belangrijke onderdelen. De tekst was dus zo geformuleerd dat er informatie werd gegeven over alle concepten en de verbindingen daartussen. Ook de feedbackloop werd in de tekst uitgelegd. Maar er werd geen informatie over de richting van de pijlen gegeven. Daardoor kregen ze hulp, maar was er ook nog samenhang die de leerlingen zelf moesten herkennen.

4.2.4 Toets

De oorspronkelijke toets is van Van Borkulo (2009). Deze toets bevatte 21 vragen over het model van de harmonie der sferen (zie figuur 2). Deze oorspronkelijke vorm van de test werd veranderd. De vragen werden geherstructureerd qua volgorde en in de twee categorieën “dynamisch” en “statisch” onderverdeeld. Het criterium dat bij dynamische (complexe) vragen werd gebruikt was dat de hoofdvariabele “harmoniegehalte” betrokken werd. Op basis van dit criterium moesten vragen, die er niet bij pasten of geen directe betrekking op het model hadden, worden verwijderd. De uiteindelijke test bevatte elf vragen over het model, waarvan vijf over de statische kenmerken van het model en zes over de dynamische kenmerken. De test is dankzij de nieuwe indeling iets korter, wat de afname makkelijker maakt.

4.3 Procedure

Elke leerling nam aan één individuele sessie van ca. 50 minuten deel. Ten eerste was er een introductie voor de hele klas, waarin de leerlingen het onderzoek en de onderzoeksleider leerden kennen. Er werd aangegeven dat de deelname vrijwillig is en dat niet hun vaardigheden worden onderzocht maar in hoeverre het model geschikt is voor leerlingen. Doel daarvan was om geen druk uit te oefenen en voor de leerlingen een aangename sfeer te creëren.

Voordat de individuele sessie met de hardop denk training begon, hadden ze nog een keer de mogelijkheid vragen te stellen. Nadat alle vragen waren beantwoord, doorliepen de leerlingen de hardop denk training. Ze keken eerst anderhalve minuut naar de video en hadden daarna drie minuten de tijd om de puzzel op te lossen. Nadat ze met het puzzel klaar waren, kregen ze korte feedback over wat de leerling goed deed tijdens het hardop denken en wat er nog kon worden verbeterd.

Als zeker was dat ze geen vragen meer hadden na de training, kregen ze het model, een uitleg over de gebruikte notatie en één van de beide teksten (afhankelijk van de conditie waarin ze zaten). De leerlingen hadden onbeperkte tijd om de tekst en de informatie door te lezen. Ze werden gevraagd de onderzoeksleider te informeren als ze klaar waren. Pas daarna mochten ze het model hardop denkend bestuderen. Hun taak was hardop denkend de concepten en onderlinge relaties goed te bestuderen en proberen te begrijpen. Daarvoor hadden ze tien minuten de tijd. Ze mochten eerder stoppen in het geval dat ze binnen tien minuten het gevoel hadden klaar te zijn.

Vervolgens hadden ze 30 minuten de tijd om de elf vragen te beantwoorden. Ook hier bestond de mogelijkheid de test eerder in te leveren, als ze minder tijd nodig hadden om de vragen te beantwoorden.

4.4 Scoring

4.4.1 Toets

De scoring van de toets was, net als de toets zelf, gebaseerd op het werk van van Van Borkulo (2011). Het onderliggende hoofdelement, dat in ieder item van de test een rol speelde, was de relatie tussen de concepten. Relaties konden op drie verschillende niveaus worden begrepen. Ten eerste dat er een relatie was tussen twee concepten, ten tweede dat er een causale richting was (X beïnvloedt Y) en ten slotte de manier van beïnvloeding (positief of negatief) (Van Borkulo, 2009). Deze drie niveaus waren in ieder antwoordmodel terug te vinden, zodat er voor het benoemen van de verschillende niveaus punten gedifferentieerd konden worden.

De leerling kreeg voor elk volledig en correct antwoord een aantal punten. Hoeveel punten een vraag opleverde, hing af van de moeilijkheidsgraad van de vraag. Het maximale aantal punten per vraag varieerde tussen twee en vier punten. Als de leerling een antwoord gaf dat correct, maar niet volledig was, konden er deelpunten worden gegeven. Zo kregen leerlingen, die een relatie tussen twee concepten en de causale richting noemden minder punten, dan leerlingen die alle drie niveaus dus de eerste twee en bovendien ook de manier van beïnvloeding (positief of negatief) noemden. Als een deel van het antwoord verkeerd was,

kreeg de leerling nul punten. Er waren verschillende type fouten: algemene fouten, fouten met betrekking tot de definitie en relationele en evaluatieve fouten.

Om de interbeoordelaarsbetrouwbaarheid te berekenen werden tien toetsen door twee onafhankelijke beoordelaars gescoord. Met behulp van de gevonden overeenstemmingen werd Cohen's Kappa berekend met 0.92. Uit onderzoek bleek dat een Kappa tussen 0.81 en 1.0 bijna perfect was (Landis & Koch, 1977).

4.4.2 Codeerschema voor de geluidsopnames

Om de geluidsopnames te scoren, werd een codeerschema ontwikkeld (zie bijlage 5). Het werd geordend aan de opbouw van de toets. Het codeerschema mat de frequentie van modelgerelateerde, zojuist genoemde, relaties. Deze werden onderverdeeld in statische (simpele) en dynamische (complexe) uitspraken. Het verschil tussen de twee categorieën was dat de eerste enkelvoudige relaties beschreef (bv. tussen straling van de zon en gehaltetoeename), terwijl de tweede categorie "dynamisch" bredere samenhang bevatte, zoals indirecte relaties (bv. zwaartekracht van de mercurius en harmoniegehalte) en de feedbackloop.

Beide categorieën hadden subcategorieën. Simpele relaties konden op drie verschillende niveaus worden begrepen. Ten eerste dat er een relatie was tussen twee concepten, ten tweede dat er een causale richting was (X beïnvloedt Y) en ten slotte de manier van beïnvloeding (positief of negatief) (Van Borkulo, 2009). De dynamische kenmerken werden in twee subcategorieën onderverdeeld. Het eerste niveau ging over indirecte relaties of over de overkoepelende relatie tussen meerdere concepten (bijvoorbeeld straling van de zon en harmoniegehalte). Het tweede niveau ging over de overkoepelende relatie tussen meerdere variabelen en de hoofdvariabele, bijvoorbeeld als een leerling begreep dat de straling van de zon ook het volume beïnvloedde of als de leerling de feedbackloop herkende (zie Tabel 1).

Tabel 1 *Codeerschema met voorbeelden*

Categorie	Uitspraak
Simpele relatie Niveau 1	De zon is met de gehaltetoeename verbonden.
Simpele relatie Niveau 2	De straling van de zon beïnvloedt de gehaltetoeename.
Simpele relatie Niveau 3	Hoe groter de straling van de zon, hoe groter de gehaltetoeename.
Complexe relatie Niveau 1	De straling van de zon beïnvloedt het harmoniegehalte positief.
Complexe relatie Niveau 2	De straling van de zon beïnvloedt het volume positief.

De geluidsopnames werden gescoord door alleen correct genoemde relaties tussen twee of meerdere concepten van het model te beoordelen. Ieder gescoorde uitspraak begon met een concreet concept en eindigde wanneer de leerling de verbinding van het eerdergenoemde concept had beschreven. Voor ieder concreet en correct uitspraak kreeg de leerling een punt. De complexiteit van de juist beschreven relatie bepaalde in welke categorie de uitspraak werd ingedeeld (zie Tabel 1). De frequentiescores uit de categorie statisch (simpele relatie) werden opgeteld en dat vormde de statische score. Hetzelfde gold voor de frequentiescores uit de beide dynamische subcategorieën. De som van deze twee vormde de dynamische score van het bestudeerde model.

Om de interbeoordeelaarsbetrouwbaarheid van het codeerschema te bepalen werd met Cohen's Kappa berekend. Tien geluidsopnames werden twee keer onafhankelijk gescoord. Er werd een Kappa van 0.71 gevonden. Volgens Landis & Koch (1977) kan een Kappa tussen 0.61 en 0.80 als aanzienlijk worden beschouwd.

5 Resultaten

Hoewel de onafhankelijke variabele in dit onderzoek voorkennis is, werd vooraf geen toets afgenomen. Door het kiezen van een fantasieonderwerp kon worden gegarandeerd dat er van tevoren geen verschillen met betrekking tot voorkennis tussen de leerlingen bestonden.

De Shapiro-Wilk test toont dat de data geen normale verdeling laat zien bij de testresultaten, $D(50) = 0.91$, $p < 0,001$ en bij de bestudeerscores, $D(50) = 0.91$, $p < 0,001$. Ook de time-on-task van de test, $D(50) = 0,79$, $p < 0,001$ en de tijd die de leerlingen voor het bestuderen nodig hadden, $D(50) = 0,90$, $p < 0,001$ waren niet normaal verdeeld. Daarom is er gekozen het verschil tussen de twee condities te toetsen met een niet-parametrische toets gekozen, de Wilcoxon. Alle analyses werden op basis van een significantieniveau $\alpha = 0.05$ uitgevoerd.

Omdat de leerlingen in deze studie uit twee verschillende schoolklassen kwamen, wordt onderzocht in hoeverre er verschillen tussen de klassen waren.

Tabel 2 *Verschillen tussen klas 9 en 10*

	Klas 9		Klas 10	
	M	SD	M	SD
Toetsscores totaal	4,78	3,90	6,17	4,39
Tijd test	27,44	3,79	26,13	4,19
bestudeerscores totaal	6,07	5,37	4,57	3,12
Tijd bestuderen	8,36	2,31	6,07	1,66

Het verschil tussen klas 10 ($Mdn = 5$) en klas 9 ($Mdn = 4$) wat de scores op de toets betreft was niet significant $W_s = 626$, $z = -1.21$, $p = 0.225$. Uit onderzoek naar de tijd die de leerlingen uit de twee klassen nodig hadden om de test in te vullen, blijken ook geen significante verschillen tussen de groepen: $W_s = 519$, $z = -1.35$, $p = 0.179$.

Het verschil tussen de bestudeerscores in klas 10 ($Mdn = 4$) en klas 9 ($Mdn = 5$) was niet significant, $W_s = 552$, $z = 0.67$, $p = 0.506$. Het verschil tussen de 9^e klas ($Mdn = 8,36$) en klas 10 ($Mdn = 6,07$) betreffende de tijd, die de leerlingen nodig hadden om het model te bestuderen, is significant, $W_s = 393.5$, $z = -3.81$ $p < 0.001$.

Tabel 3 biedt een overzicht van de gemiddelden en de standaardafwijkingen van de verschillende variabelen opgesplitst naar condities.

Tabel 3 *Vergelijking tussen de condities van de variabelen van de toets en het bestuderen van het model*

	Experimentele conditie, voorkennis		Controle groep, zonder voorkennis	
	M	SD	M	SD
Totaalscores toets	6,85	4,20	3,88	3,57
Dynamisch toets	0,53	0,50	0,29	0,39
Tijd toets	26,23	3,88	27,05	4,10
Bestuderen totaal	6,62	4,67	4,04	3,98
Dynamisch model	0,65	1,20	0,54	0,78
Tijd model	7,11	2,33	7,52	2,35

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, moeten vervolgens de hypothesen worden getoetst. De eerste hypothese heeft betrekking op het verschil tussen de condities betreffende de testscores. De toets toont aan dat de experimentele groep ($Mdn = 6$) significant hoger scoort op de toets dan de controle groep ($Mdn = 3$), $W_s = 480$, $z = -2.58$, $p = 0.005$, $r = -0.36$. De gevonden effectgrootte toont een medium effect. Het verwachte effect dat voorkennis de leerlingen helpt, kennis over een model op te doen, kon dus niet worden gevonden.

De tweede hypothese heeft betrekking op het verschil tussen de condities wat betreft het soort kennis. Zoals verwacht, scoort de experimentele groep significant hoger ($Mdn = 0.52$) dan de controle groep ($Mdn = 0.13$) op de dynamische aspecten van de toets, $W_s = 517$, $z = -1.88$, $p = 0.03$, $r = -0.27$. De effectgrootte toont een klein tot medium effect. Op basis van deze bevinding kan dus worden geconcludeerd dat voorkennis positieve invloed heeft op complexe kennis

De experimentele groep ($Mdn = 6,5$) scoort significant hoger dan de controle groep ($Mdn = 3$) op de totale bestudeerscores, $W_s = 658$, $z = -2.13$, $p = 0.017$, $r = 0.3$. De derde hypothese heeft betrekking op het verschil tussen de condities ten aanzien van de dynamische aspecten die ze tijdens het hardop denkend noemden. Het toetsen ervan toont aan dat de leerlingen uit de experimentele groep ($Mdn = 0.65$) niet meer dynamische kenmerken herkenden dan de leerlingen uit de controle groep ($Mdn = 0.54$) $W_s = 658$, $z = 0.14$, $p = 0.909$, $r = -0.02$. Het verwachte effect van voorkennis op het herkennen van dynamische aspecten in het model kan dus niet worden bevestigd.

Vervolgens werden alle correlaties met Pearson's correlatiecoëfficiënt berekend. Tabel 4 toont de resultaten.

Tabel 4 *Correlatiescores*

	Tijd model	Tijd test	Test dynamisch	Model dynamisch	Test totaal	Model totaal
Tijd model	-					
Tijd test	0.360	-				
Test dynamisch	0.420	-0.050	-			
Model dynamisch	0.151	0.159	-0.037	-		
Test totaal	-0.110	-0.104	0.870*	0.007	-	
Model totaal	0.015	0.144	-0.303	0.487*	0.390*	-

*= $p < 0,05$

De vierde hypothese heeft betrekking op de samenhang tussen de dynamische aspecten op de toets en de dynamische bestudeerscores. Deze relatie blijkt niet significant te zijn, $r = -0.037$, $p = 0.796$. Het verwachte samenhang tussen de dynamische scores op de toets en de dynamische bestudeerscores kon dus niet worden gevonden.

Uit de verdere correlaties blijkt dat er een significante correlatie is tussen de totaalscores van de test en de totaalscores van het model (zie Tabel 4). De dynamische aspecten van de toets en het bestuderen correleren significant met de totale scores van de toets en het bestuderen, omdat de dynamisch aspecten onderdeel de totale scores zijn.

Alle andere resultaten waren niet significant. De time-on-task hangt niet samen met de variantie van de scores op de toets en de variantie van de bestudereerscores.

6 Discussie

6.1 *Bespreking van de Hypotheses*

Doel van dit onderzoek was de invloed van voorkennis op het bestuderen van een systeem dynamisch model te onderzoeken en zo het gat in de literatuur aan te vullen. Het effect van voorkennis werd ten aanzien van meerdere aspecten onderzocht. Ten eerste kan uit dit onderzoek worden geconcludeerd dat voorkennis helpt bij het begrijpen van een model en dat leerlingen daardoor meer kennis opdoen. De eerste hypothese dat leerlingen die voorkennis hebben gekregen hogere scores op de eindtoets hadden dan leerlingen zonder voorkennis werd bevestigd. Maar ze konden niet alleen meer kennis opdoen, ook wat het soort kennis betreft, heeft de voorkennis een positief effect. Voorkennis helpt leerlingen meer kennis over complexe, dynamische aspecten van een model op te doen. Leerlingen met voorkennis konden vragen over de overkoepelende relaties tussen meerdere concepten en die over de hoofdvariabele zelfs beter beantwoorden, zoals bij de tweede hypothese werd verwacht.

Verder werd gevonden dat leerlingen met voorkennis in het geheel meer correcte relaties beschreven tijdens het hardop denkend bestuderen dan leerlingen die geen voorkennis hadden. De door Van Borkulo (2011) gevonden trend, dat voorkennis positieve invloed heeft op de leeruitkomsten van leerlingen, werd in dit onderzoek significant aangetoond. Terwijl van Borkulo's (2011) validatiestudie niet erop gefocusserd was de effect van voorkennis te onderzoeken, kon dit onderzoek voorkennis als een variable identificeren die door de positieve effect op de leeruitkomsten een belangrijke rol speelt als het om het bestuderen van modellen gaat. Doordat dit onderzoek ook hardop denk data gebruikte, kan zelfs aannemelijk worden gemaakt dat niet alleen de leeruitkomsten, maar ook het lezen van een model positief wordt beïnvloedt door voorkennis. Deze bevindingen komen verder overeen met wat in de literatuur over modelleren, oftewel concept mappen, werd aangetoond. Het effect dat voorkennis helpt meer feitenkennis op te doen tijdens het concept mappen (Amadiou et al., 2009) en meer van een model te leren (Sins et al., 2005) kon ook voor het model bestuderen terug worden gevonden. Dat de leerlingen meer dynamische kennis konden opdoen, komt overeen met de resultaten van Mulder et al. (2010), die stellen dat voorkennis het begrijpen en integreren van informatie positief beïnvloedt.

Twee verwachte effecten van voorkennis konden niet worden teruggevonden in dit onderzoek. In tegenstelling tot de totale bestudeerscores, waar wel een significant verschil tussen de condities werd gevonden, konden leerlingen met voorkennis niet meer dynamische

aspecten herkennen tijdens het bestuderen van het model dan leerlingen zonder voorkennis. De samenhang tussen voorkennis en de dynamische aspecten van het bestuderen, die bij de derde hypothese werd verwacht, werd niet bevestigd. Doordat de derde hypothese niet kon worden bevestigd viel het te verwachten dat hypothese vier ook niet significant zou blijken. Als de dynamische aspecten op de toets wel significant verschilden en tijdens het bestuderen niet significant verschilden in de condities is aannemelijk dat er ook geen correlatie tussen de twee scores tot stand komt. Net zoals bij de derde hypothese werd ook bij hypothese vier geen significant resultaat gevonden wat de dynamische aspecten betreft, maar wel voor de correlatie tussen de totale bestudeerscores en de totale scores op de eindtoets.

Dit is moeilijk te verklaren gezien het feit dat de leerlingen met voorkennis wel beter presteerden op de dynamische vragen van de toets. Mogelijke verklaringen voor het feit dat de leerlingen op de toets dynamische aspecten herkenden, die ze tijdens het bestuderen niet noemden is dat de leerlingen op de dynamische aspecten in het geheel heel laag scoorden. Een reden daarvoor kan zijn dat de instructies niet helder genoeg waren. De leerlingen kregen de opdracht om de relaties en concepten goed te bestuderen en om te proberen de samenhang te begrijpen. Door deze vage formulering wisten ze misschien niet goed genoeg welke relaties belangrijk waren en dat het goed zou zijn om niet alleen stapsgewijs de pijlen te volgen, maar ook de grotere samenhang te bekijken. Tijdens de toets moesten ze specifieke vragen over dynamisch aspecten beantwoorden, waardoor hun aandacht ook op de grotere samenhang werd gericht. Het verschil van steun tijdens de test en het bestuderen kan een mogelijke verklaring zijn waarom de leerlingen zo weinig dynamische aspecten noemden tijdens het bestuderen.

Door te onderzoeken op welke manier voorkennis het bestuderen van modellen beïnvloedt werd het gat in de literatuur gesloten. De gevonden resultaten passen goed bij wat onderzoek betreffende de andere modelleermethodes liet verwachten. Het werd succesvol aangetoond, dat voorkennis bij het bestuderen van modellen een belangrijke rol speelt. Voor het onderwijs kan model bestuderen een goede methode zijn om leerlingen met systeem dynamische modellen bekend te maken.

6.2 Toepassingsmogelijkheden

Dit onderzoek heeft aangetoond, dat het voor leerlingen beter is, als ze voorkennis hebben voordat ze beginnen met de methode model bestuderen te werken. Voor het onderwijs is het belangrijk, dat leerlingen, die een complexe natuurwetenschappelijke process zullen leren, van tevoren al domein-specifieke voorkennis krijgen. Daardoor zijn leerlingen beter in

staat om dynamische, complexe kennis uit een model op te doen. Verder is het waarschijnlijk dat leerlingen met voorkennis minder problemen tijdens het bestuderen ervaren, en sneller begrijpen hoe het model werkt. De manier waarop de voorkennis in dit onderzoek werd aangeboden leek succesvol. Daarom is het aanemelijk dat de voorkennis het best zo wordt gepresenteerd dat de leerlingen een overzicht krijgen over het gehele proces en dan met behulp van het model gedetailleerder naar de verschillende onderdelen kijken.

Het onderzoek op verschillen tussen de klassen liet een trend blijken ten gunste van de 10^e klas met ten aanzien van de leeruitkomsten. Op de toets scoorden de leerlingen uit klas 10 hoger. In tegenstelling tot de scores op de toets bereikten de leerlingen uit klas 10 lagere bestudeerscores. Een gebrek aan begrip van het model kan niet ten grondslag liggen aan het verschil, omdat de toets aantoont dat de leerlingen uit klas 10 het model beter en complexer hebben begrepen dan de leerlingen uit klas 9. Omdat de bestudeerscores de frequentie van correct genoemde relaties meten is een mogelijke verklaring dat de oudere leerlingen de relaties alleen een keer hebben genoemd, omdat ze de samenhang tussen de concepten makkelijker begrepen. Dit komt overeen met het gevonden significant verschil wat de tijd betreft. Leerlingen uit klas 10 hadden minder tijd nodig om het model te bestuderen. Verder is een interpretatie vanuit dit perspectief ook met andere literatuur mogelijk. Eén mogelijkheid om dit verschil tussen de 9^e en de 10^e klas te verklaren is hun cognitieve ontwikkeling. Het is mogelijk dat de oudere leerlingen uit klas 10 meer cognitieve vaardigheden hebben, zodat ze complexe kennis makkelijker begrijpen. Verder is het mogelijk dat de oudere leerlingen meer wiskundige analogieën ter beschikking hebben, die hun kunnen helpen om het model beter te begrijpen (Braasch & Goldman, 2010). Deze trend maakt het aannemelijk dat oudere leerlingen geschikter zijn voor het werken met modellen en er meer van kunnen profiteren. Van Borkulo vond in haar validatieonderzoek (2011) dat leerlingen die meer generieke kennis hebben, beter doen tijdens het bestuderen van modellen. Hoe ouder leerlingen zijn, hoe meer generieke kennis hebben ze (Rindermann, 2011). Dat kan een hulp zijn om effectiever met modellen te werken. Een suggestie voor het onderwijs is dus, dat leerlingen beter op oudere leeftijd, dus in klas 10 of 11 beginnen met systeem dynamische modellen te werken.

De resultaten lieten zien, dat de leerlingen moeilijkheden hadden met het herkennen van dynamische aspecten tijdens het hardop denkend bestuderen van het model. Om dit soort problemen te voorkomen kan het nuttig zijn de instructies die leerlingen voor het bestuderen kregen duidelijk en in stappen te formuleren. Uit onderzoek blijkt dat hoe stapsgewijzer de leerlingen worden begeleid, hoe beter ze complexe modellen kunnen creëren (Zhang et al., 2014). Daardoor kunnen de leerlingen zich beter op de relevante onderdelen van het model

richten. Het is aannemelijk dat deze bevindingen voor het bestuderen van een model ook van toepassing zijn. Het verbeteren van de instructies in precieze, kleinere stappen zou dus een interessant vervolgonderzoek kunnen zijn

7 Referentielijst

- Amadiieu, F., van Gog, T., Paas, F., Tricot, A., & Mariné, C. (2009). Effects of prior knowledge and concept-map structure on disorientation, cognitive load, and learning. *Learning and Instruction*, 19, 376–386. doi:10.1016/j.learninstruc.2009.02.005
- Braasch, J. L. G., & Goldman, S. R. (2010). The role of prior knowledge in learning from analogies in science texts. In *Discourse Processes* (Vol. 47, pp. 447–479). doi:10.1080/01638530903420960
- De Jong, T. (2005). *The guided discovery principle in multimedia learning. The Cambridge handbook of multimedia learning*. (pp. 215–228). Cambridge: Cambridge University press.
- De Jong, T., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68, 179–201. doi:10.3102/00346543068002179
- Donnell, A. M. O., Dansereau, D. F., & Hall, R. H. (2002). Knowledge maps as scaffolds for cognitive processing. *Educational Psychology Review*, 14, 71–86. doi:10.1023/A:1013132527007
- 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
- Forrester, J. W. (1976). *Principles of systems*. Pegasus Communications. Acton: Pegasus Communications.
- Gobert, J. D., & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22, 891–894. doi:10.1080/095006900416839
- Hashem, K., & Mioduser, D. (2011). The Contribution of Learning by Modeling (LbM) to Students' Understanding of Complexity Concepts. ... , *E-Business, E-Management and E-Learning* ..., 1. Retrieved from <http://muse.tau.ac.il/publications/107.pdf>
- Hogan, K., & Thomas, D. (2001). Cognitive comparisons of students' systems modeling in ecology. *Journal of Science Education and Technology*, 10. doi:10.1023/A:1012243102249
- Jackson, M. (2012). *Model-facilitated learning. Inquiry* (pp. 2316–2317). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates. doi:10.1007/978-1-4419-1428-6_378
- Kenyon, L., Davis, E. A., & Hug, B. (2010). Design approaches to support preservice teachers in scientific modeling. *Journal of Science Teacher Education*, 22, 1–21. doi:10.1007/s10972-010-9225-9

- Kurtz dos Santos, A. C., & Ogborn, J. (1994). Sixth form students' ability to engage in computational modelling. *Journal of Computer Assisted Learning*, 10, 182–200.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159–174. doi:10.2307/2529310
- Lazonder, A. W., Hagemans, M. G., & de Jong, T. (2010). Offering and discovering domain information in simulation-based inquiry learning. *Learning and Instruction*, 20, 511–520. doi:10.1016/j.learninstruc.2009.08.001
- Löhner, S., van Joolingen, W. R., Savelsbergh, E. R., & van Hout-Wolters, B. (2005). Students' reasoning during modeling in an inquiry learning environment. *Computers in Human Behavior*, 21, 441–461. doi:10.1016/j.chb.2004.10.037
- Mulder, Y. G., Bollen, L., & de Jong, T. (2014). *Learning from erroneous models using SCYDynamics*. Paper presented at the International Conference of the System Dynamics Society: Delft, Netherlands.
- 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
- Rindermann, H. (2011). Intelligenzwachstum in kindheit und jugend. *Psychologie in Erziehung Und Unterricht*, 58, 210–224. doi:10.2378/peu2010.art29d
- Rubin, D. M., Richards, C. L., Keene, P. A. C., Paiker, J. E., Gray, A. R. T., Herron, R. F. R., ... Wigdorowitz, B. (2012). System dynamics in medical education: a tool for life. *Advances in Health Sciences Education : Theory and Practice*, 17, 203–210. doi:10.1007/s10459-010-9237-4
- Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., & van Joolingen, W. R. (2005). The difficult process of scientific modelling: An analysis of novices' reasoning during computer based modelling. *International Journal of Science Education*, 27, 1695–1721. doi:10.1080/09500690500206408
- Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., van Joolingen, W. R., & van Hout Wolters, B. H. A. M. (2009). The Relation between students' epistemological understanding of computer models and their cognitive processing on a modelling task. *International Journal of Science Education*, 31, 1205–1229. doi:10.1080/09500690802192181
- Van Joolingen, W. R. (2010). *Modeltekenen*. Enschede: Universiteit Twente. Retrieved from http://doc.utwente.nl/75429/1/oratieboekje__van_Joolingen.pdf
- Van Joolingen, W. R., de Jong, T., & Dimitrakopoulou, A. (2007). Issues in computer supported inquiry learning in science. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23, 111–119. doi:10.1111/j.1365-2729.2006.00216.x
- Van Joolingen, W. R., de Jong, T., Lazonder, A. W., Savelsbergh, E. R., & Manlove, S. (2005). Co-Lab: research and development of an online learning environment for collaborative scientific discovery learning. *Computers in Human Behavior*, 21, 671–688. doi:10.1016/j.chb.2004.10.039

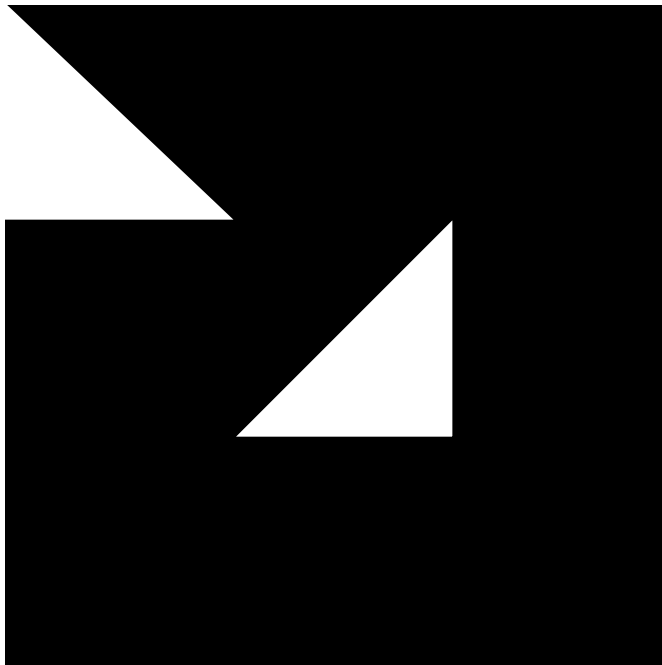
- VanLehn, K. (2013). Model construction as a learning activity: a design space and review. *Interactive Learning Environments*, 21, 371–413. doi:10.1080/10494820.2013.803125
- Zhang, J., & Norman, D. A. (1994). Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive Science*, 18, 87–122. doi:10.1207/s15516709cog1801_3
- Zhang, L., VanLehn, K., Girard, S., Burleson, W., Chavez-Echeagaray, M. E., Gonzalez-Sanchez, J., & Hidalgo-Pontet, Y. (2014). Evaluation of a meta-tutor for constructing models of dynamic systems. *Computers & Education*, 75, 196–217. doi:10.1016/j.compedu.2014.02.015

8 Bijlage

Bijlage A: Hardop denk training

Laut denken üben mit einem Puzzle

Aufgabe: Du bekommst sieben Puzzleteile, aus denen du unten stehende Figur zusammensetzen sollst. Denke dabei laut. Achtung: die Figur entspricht nicht der Größe des Puzzles.



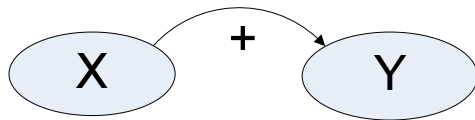
Bijlage B: Opgave en Notatie

Aufgabenstellung:

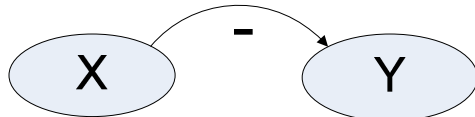
Es folgen einige Erklärungen dazu, wie du das Model richtig liest. Lies sie dir gut durch. Wenn du dazu noch Fragen hast, werden sie dir gerne von der Versuchsleiterin beantwortet. Danach folgt das Model. Versuche es so gut wie möglich zu begreifen und denke dabei laut, so wie wir es eben im Training geübt haben.

Notation

In diesem Model wird folgende Notation benutzt, um einen Einfluss von X (Ursache/Aktion) auf Y (Wirkung/Reaktion) anzugeben:

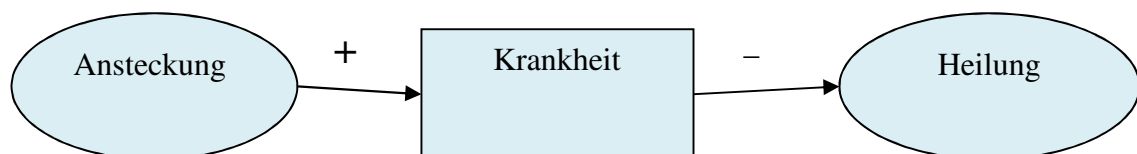


Positive Relation: Je größer X, je größer Y oder je kleiner X, je kleiner Y.



Negative Relation: Je größer X, je kleiner Y oder je kleiner X, je größer Y.

Beispiel von einem einfachen Grippe-Model:



Bijlage C: Achtergrondkennis voor controle groep

Einleitung Harmonie der Sphären

Die Menschheit sucht schon seit dem alten Griechenland nach einer Ordnung im Weltall. Pythagoras und die auf ihn folgenden glaubten herausgefunden zu haben, dass das Weltall ein übersichtliches, begrenztes Ganzes war. Da $1 + 2 + 3 + 4 = 10$, musste laut ihnen 10 eine vollkommene Zahl sein. Daraus schlussfolgerten sie, dass das Weltall aus 10 Himmelskörpern bestehen muss (man kannte bis dahin nur 6 Planeten).

Die damaligen Wissenschaftler gingen davon aus, dass alle zehn Himmelskörper durch ihre Zirkelbewegung einen Ton erzeugten. Die Höhe des Tons sei abhängig von der Nähe zum zentralen Feuer des Weltalls: je näher am Feuer, umso tiefer der Ton. Diese Klänge wurden zusammen die Harmonie der Sphären genannt.

Gewöhnliche Menschen hören diese Musik nicht, da sie von Geburt an von dieser Musik umgeben sind und nicht wissen, wie es wäre, wenn es diese Musik nicht gäbe. Pythagoras glaubte, dass er im Stande sei, die Harmonien zu hören und dass alle Musik, die wir hier auf der Erde machen nur ein Versuch sei, die Musik der Himmelskörper nach zu ahmen.

Kürzlich hat ein Wissenschaftler herausgefunden, wie die neun Planeten unseres Sonnensystems die Musik der Sphären machen. Er hat ein Model erstellt, woraus ein Auszug uns heute zur Verfügung steht.

Bijlage D: Achtergrondkennis en Voorkennis voor de experimentele groep

Einleitung Harmonie der Sphären

Die Menschheit sucht schon seit dem alten Griechenland nach einer Ordnung im Weltall. Pythagoras und die auf ihn folgenden glaubten herausgefunden zu haben, dass das Weltall ein übersichtliches, begrenztes Ganzes war. Da $1 + 2 + 3 + 4 = 10$, musste laut ihnen 10 eine vollkommene Zahl sein. Daraus schlussfolgerten sie, dass das Weltall aus 10 Himmelskörpern bestehen muss (man kannte bis dahin nur 6 Planeten).

Die damaligen Wissenschaftler gingen davon aus, dass alle zehn Himmelskörper durch ihre Zirkelbewegung einen Ton erzeugten. Die Höhe des Tons sei abhängig von der Nähe zum zentralen Feuer des Weltalls: je näher am Feuer, umso tiefer der Ton. Diese Klänge wurden zusammen die Harmonie der Sphären genannt.

Gewöhnliche Menschen hören diese Musik nicht, da sie von Geburt an von dieser Musik umgeben sind und nicht wissen, wie es wäre, wenn es diese Musik nicht gäbe. Pythagoras glaubte, dass er im Stande sei, die Harmonien zu hören und dass alle Musik, die wir hier auf der Erde machen nur ein Versuch sei, die Musik der Himmelskörper nach zu ahmen.

Kürzlich hat ein Wissenschaftler herausgefunden, wie die neun Planeten unseres Sonnensystems die Musik der Sphären machen. Er hat ein Model erstellt, woraus ein Auszug uns heute zur Verfügung steht.

Model:

In diesem Model nennt der Wissenschaftler die komplette Musik der Sphären Harmoniegehalt. Die Variablen Gehaltzu- und abnahme beeinflussen den Harmoniegehalt. Der Wissenschaftler hat entdeckt, dass die Masse der Erde Auswirkungen hat auf die Gehalt Zunahme ebenso die Strahlung des zentralen Feuers, also der Sonne.

Der totale Harmoniegehalt bedingt die Lautstärke, in der man die Musik der Sphären hören kann. Die Lautstärke wiederum stört die Harmonie und hat darum wiederum Auswirkung auf die Gehaltabnahme. So beeinflusst der Harmoniegehalt über die Lautstärke und die Gehaltabnahme sich selbst.

Desweiteren hat der Wissenschaftler herausgefunden, dass die Schwerkraft des Merkurs zusätzlichen Einfluss auf die Lautstärke hat. Diese Effekte zusammen sorgen dafür, dass nach einer Störung im Weltall die Harmonie wieder Balance findet und Pythagoras die Harmonie der Sphären wieder genießen kann.

Versuchspersonennummer: _____

Klasse: _____

Fragen zum Model

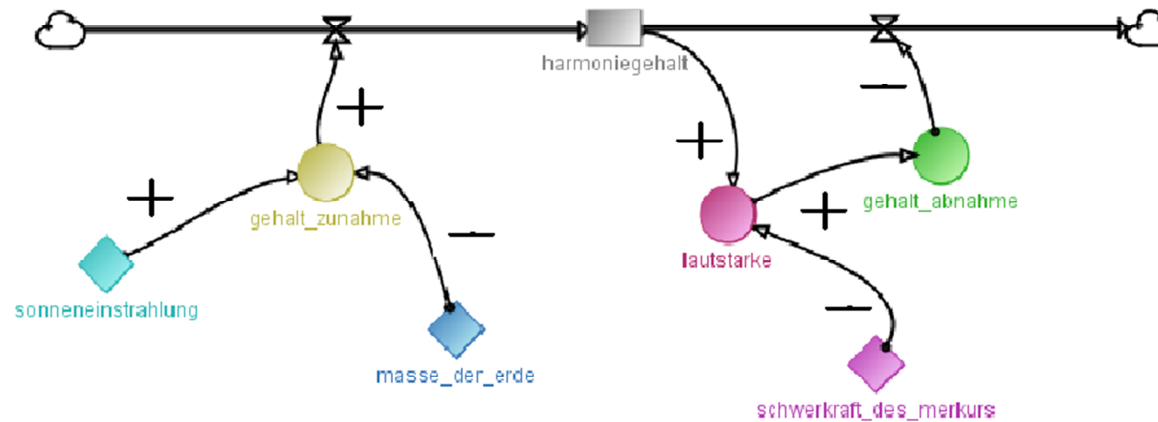
Es folgen 11 Fragen über die *Harmonie der Sphären*.



Universiteit Twente
de ondernemende universiteit

Die folgenden 12 Fragen behandeln das untenstehende Model:

Harmonie der Sphären



Legende

-  Niveaupfeil: dieser Pfeil gibt an, dass das Niveau der Hauptvariable zunimmt oder abnimmt
-  Reaktionspfeil: dieser Pfeil weist immer in eine Richtung und zeigt eine Zu- oder Abnahme an.
-  Variable: verändert ihren Wert in Abhängigkeit von anderen Variablen oder Konstanten
-  Konstante: verändert sich nicht im Lauf der Zeit
-  Hauptvariable: verändert sich im Lauf der Zeit abhängig von den Variablen

Nutze das obenstehende Model, um die Fragen zu beantworten. Begründe bei jeder Frage so genau wie möglich wie du zu deiner Lösung gekommen bist.

1. Umkreise die richtige Antwortmöglichkeit

- A. Je kleiner die Schwerkraft des Merkurs, desto kleiner die Lautstärke.
- B. Je kleiner die Schwerkraft des Merkurs, desto höher ist die Lautstärke.
- C. Die Schwerkraft des Merkurs hat keine Auswirkung auf die Lautstärke.

Begründe deine Antwort.

2. Umkreise die richtige Antwortmöglichkeit.

- A. Je kleiner die Masse der Erde, desto schneller nimmt der Harmoniegehalt zu.
- B. Je kleiner die Masse der Erde, desto langsamer nimmt der Harmoniegehalt zu.
- C. Je kleiner die Masse der Erde, desto größer ist der Harmoniegehalt. Über die Geschwindigkeit lässt sich keine Aussage machen.
- D. Die Masse der Erde hat keinen Einfluss auf die Zunahme des Harmoniegehaltes.

Begründe deine Antwort.

3. Erkläre welche Rolle die Variable “Gehaltabnahme” spielt.

4. Nimm an, dass die Masse der Erde sehr klein ist. Umkreise die richtige Antwortmöglichkeit!

- A. Je kleiner die Masse der Erde, desto lauter die Lautstärke.
- B. Je kleiner die Masse der Erde, desto leiser die Lautstärke.
- C. Das Abnehmen der Masse der Erde hat keinen Einfluss auf die Lautstärke.

5. Erkläre wie es sein kann, dass der Harmoniegehalt abnimmt, während die Strahlung der Sonne und die Masse der Erde gleich bleiben. Beschreibe eine Situation in der das der Fall ist.

6. Nimm an, dass die Schwerkraft der Merkurs sehr klein ist. Umkreise die richtige Antwortmöglichkeit.

- A. Je kleiner die Schwerkraft des Merkurs, desto größer die Gehaltzunahme.
- B. Je kleiner die Schwerkraft des Merkurs, desto kleiner die Gehaltzunahme.
- C. Die Abnahme der Schwerkraft des Merkurs hat keinen Einfluss auf die Gehaltzunahme.

Begründe deine Antwort.

7. Nimm an, du vergleichst eine Situation, in der die Masse der Erde 2500 Et beträgt mit einer Situation in der die Masse der Erde 8500 Et beträgt. In welcher Situation ist die Lautstärke am größten? Begründe deine Antwort.

8. Stimmt es, dass die Zunahme des Harmoniegehalts Einfluss hat auf die Masse der Erde? Begründe deine Antwort.

9. Stimmt es, dass die Strahlung der Sonne Einfluss hat auf die Zunahme des Harmoniegehalts? Begründe deine Antwort.

10. Stimmt es, dass das Hamoniegehalt Einfluss hat auf die Schwerkraft des Merkurs? Begründe deine Antwort.

11. Stimmt es , dass die Musik der Sphären im Verlaufe der Zeit lauter und lauter werden kann, bei gleichbleibender Strahlung der Sonne? Begründe deine Antwort.

Bijlage F: Codeerschema toets

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 zwartekracht van Mercurius is heel klein. Omcirkel de juiste bewering. A. Hoe kleiner de zwartekracht van Mercurius, hoe groter het gehalte toename. B. Hoe kleiner de zwartekracht van Mercurius, hoe kleiner het gehalte toename. C. Het kleiner worden van de zwartekracht van Mercurius heeft geen invloed op het gehalte toename. Verklaar je antwoord.
Goede antwoord: AS Antwoordelementen: Goed 1. C 2. nee 3. er is geen relatie (er staat geen pijl) 4. de relatie is andersom 5. ook niet indirect fout 1. A 2. B 3. ja 4. foute relatie 5. 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, 2,3 OR • 1,2,4. 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.

Harmonie der sferen vraag 8
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 1. nee 2. er is geen relatie (er staat geen pijl; niet (in)direct; de aarde is onafhankelijk) 3. de relatie is andersom (hoe groter massa Aarde, hoe groter harmoniegehalte) fout 1. geen modelredenering (zie model; andere helft model; staat daar los van) 2. 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) 3. Ja; foute omgekeerde redenering (als harmoniegehalte toeneemt, neemt de massa af) 4. 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 1. ja 2. straling van de zon & gehalte-toename: $\exists$ relatie 3. straling van de zon & gehalte-toename: richting 4. straling van de zon & gehalte-toename: teken + 5. shortcut conceptie: positieve relatie van straling van de zon naar harmoniegehalte fout 1. nee 2. geen modelredenering (zie model) 3. 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) 4. 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: Ja, dit is een indirecte relatie. Hoe groter de zwaartekracht van Mercurius, hoe kleiner het volume, hoe kleiner de afname, hoe groter 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 OR 3 No credit code 0: Andere antwoorden.
Opmerkingen: 'Invloed' wordt soms opgevat als 'directe invloed'.

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.

Bijlage G: Hardop denk codeerschema

Onderwerp	Frequentie											
Structuur	7	6	5	4	3	2	8	9	10	11	12	13
Noemen van Constante/(Tussen)Variable/ Hoofdvariable - De leerling laat blijken dat hij begrijpt welke concepten constanten/variablen etc. Zijn - Geen punt als er alleen de legende wordt verklaard <i>Bv. Massa van de aarde is een constante</i>												
Enkelvoudige beïnvloeding - De leerling noemt alleen dat er verbindingen zijn tussen de variabelen MAAR NIET of die positief of negatief zijn - De leerling begrijpt dat de relaties alleen in een richting werken - GEEN streepje als er een verkeerde relatie wordt genoemd bv. gehalte toename beïnvloedt massa van de aarde <i>Bv. massa van de aarde beïnvloedt gehalte toename</i>												
Aard van beïnvloeding - De leerling noemt de verbinding tussen twee concepten correct en volledig - De leerling begrijpt hoe het teken (+ of -) naast de pijl werkt en dat de pijl alleen in een richting wijst - GEEN streepje als de leerling zegt, + betekent het volgende is groter/- betekent het volgende concept is kleiner (Massa van de aarde, - dus is de gehaltetoename kleiner) - WEL een streepje als er een beginpunt wordt gekozen (massa de aarde is klein, dus wordt de gehaltetoename kleiner) OF als de leerling het over proporties heeft (+ gelijk groot, - groter of kleiner) <i>Bv. massa van de aarde heeft een negatieve relatie met gehalte toename of als massa van de aarde afneemt neemt gehalte toename toe</i>												
Dynamische kenmerken												
Dynamische relatie (Niveau 1) - De leerling begrijpt hoe de beïnvloeding over meerdere concepten heen werkt <i>Bv. massa aarde beïnvloedt harmoniegehalte of Zwaartekracht mercurius beïnvloedt harmoniegehalte via volume</i>												
Complexe dynamische relatie (Niveau 2) - De leerling begrijpt dat de concepten aan de linkerkant de variabelen aan de rechterkant beïnvloeden. - Begrijpen de feedback loop <i>Bv. massa van de aarde beïnvloedt volume of straling van de zon beïnvloedt gehalte afname</i>												

