

Trillingen, bewegingsleer en energieleer

Het massaveersysteem in vwo 6 – een onderzoek

Al enkele jaren werkt het Calvin College te Goes samen met het lectoraat exemplarisch onderwijs aan de implementatie van het concept binnen het voortgezet onderwijs. Vanaf het cursusjaar 2009-2010 is ook vormgegeven aan de samenwerking met het lectoraat op het gebied van onderzoek. In dit artikel beschrijft docent Johan van Steensel een onderzoek dat hij onder leerlingen heeft gedaan na de uitvoering van een exemplaar in vwo 6. 'Alles kon direct geverifieerd worden in de praktijk. De theorie zweefde niet, maar was reëel.'

Massaveersysteem

Op het Calvin College is in vwo 6 met leerlingen een exemplaar gedaan over het massaveersysteem. De naam van het exemplaar verwijst direct naar het centrale fenomeen ervan. Aan een lange metalen veer van ongeveer anderhalve meter hangt een massa die in trilling wordt gebracht. Dit levert een rustig trillend systeem op, waarbij de massa in ongeveer twee seconden van boven naar beneden beweegt en weer terug. Door de omvang van het systeem heeft het letterlijk een plaats in het lokaal en in de kring en is het goed te bekijken. De beweging lijkt heel eenvoudig en is al meerdere keren, ook in experimenten, door leerlingen bekeken. Echter, bij nauwkeurige waarneming blijken er nog genoeg vragen over te blijven.

In het massaveersysteem komt veel natuurkunde samen: trillingen, bewegingsleer, krachtenleer en energieleer. En laten we ook de wiskunde niet vergeten die daarvoor nodig is. In het verleden bleek dat leerlingen de kennis die zij op deze gebieden hebben opgedaan niet automatisch integreren. Daarvoor is deze kennis te fragmentarisch aangebracht. Het massaveersysteem biedt een uitstekende opening om aan innerlijke samenhang te werken.

In de ouverture van het exemplaar is de trilling verkend in haar verschillende aspecten. Daarna is in de eerste

act ingegaan op het nauwkeurig beschrijven van de trilling. In de tweede act ging het over het begrijpen van de trilling vanuit de krachten die een rol spelen. In act 3 is de trilling aan de hand van de energieleer bevestigd op het probleem hoe zij het volhoudt. Ten slotte is als finale een koppeling met de wiskunde gelegd op een niveau dat het gewone vwo-niveau ruimschoots overstijgt.

Onderzoek

Na de uitvoering bleef ik met de nodige vragen zitten en had ik behoefte mijn exemplaar vanuit een onderzochte praktijksituatie te evalueren en te verbeteren. De hoofdvragen die me bezighielden waren:

1. In hoeverre komen in dit exemplaar de exemplarische principes tot hun recht?
2. In hoeverre komt het in dit exemplaar tot een ontmoeting met de werkelijkheid als schepping van God?
3. Welke signalen van succes of problemen geven leerlingen af na gewerkt te hebben aan/in het exemplaar?

Deze hoofdvragen zijn daarna in deelvragen uitgewerkt.

Na afloop van deze exemplarische lessenserie vroeg ik de leerlingen (dat waren er negentien) een verslag te schrijven van de afgelopen lessen. De opdracht formuleerde ik zo open dat de leerlingen zowel

inhoudelijk over de natuurkunde konden spreken als over de wijze waarop ze de lessen ervaren hebben. De dingen die op papier kwamen, waren dus spontane reacties van leerlingen. De enige richtlijn was dat het verslag ongeveer 600 woorden moest tellen.

Ik heb ervoor gekozen deze verslagen kwalitatief te onderzoeken. De epistels van leerlingen zijn via de methode van open coderen verwerkt. In de kantlijn van het werk van de leerling heb ik met steekwoorden weergegeven waar het de leerling om gaat. Daarna zijn op grond van de open coderingen categorieën aangebracht in de codes om opmerkingen die in dezelfde richting wijzen te clusteren. Bij deze categorieën valt te denken aan: grondig leren, verbanden leggen en betrokkenheid. Bij het aanbrengen van deze categorieën in de codes is de aanleiding van het onderzoek enigszins leidend geweest, maar de sturing hieruit is niet sterk geweest. Ik heb geprobeerd zo veel mogelijk recht te doen aan die zaken waarmee leerlingen zelf zijn gekomen.

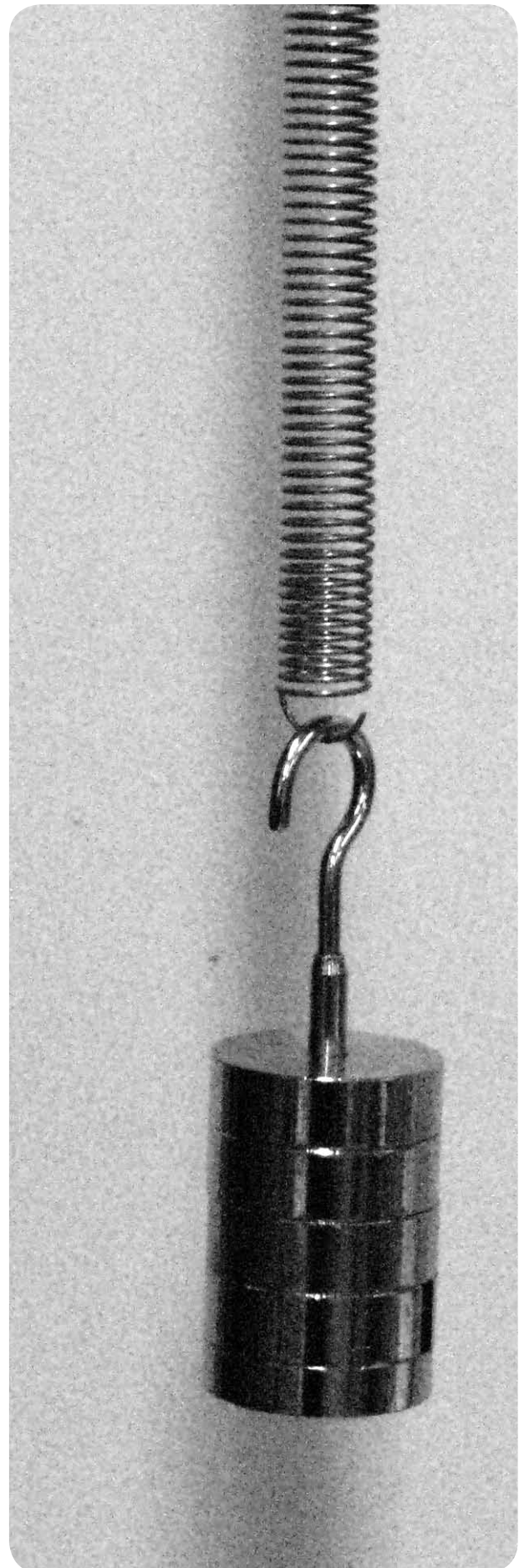
Na de analyse heb ik elke categorie opmerkingen beschreven met verwijzingen naar de letterlijke citaten van leerlingen. Hiermee wordt aan de opmerkingen van leerlingen veel recht gedaan. De keerzijde is echter dat voor de lezer de relatie met de onderzoeksvragen misschien tijdelijk wat minder duidelijk is. Het artikel wordt daarom afgesloten met de conclusies en leerpunten. Gezien de maximale omvang van het artikel wil ik me vooral richten op de eerste twee onderzoeksvragen.

Analyses

Hieronder volgt van een aantal categorieën opmerkingen een verslag van de analyse. Er is een selectie gemaakt van de meest interessante en opvallende zaken. Daarmee is het onderstaande niet volledig, maar geeft het wel een redelijk beeld van de manier waarop de leerlingen het exemplar hebben ervaren.

4. Herhaling

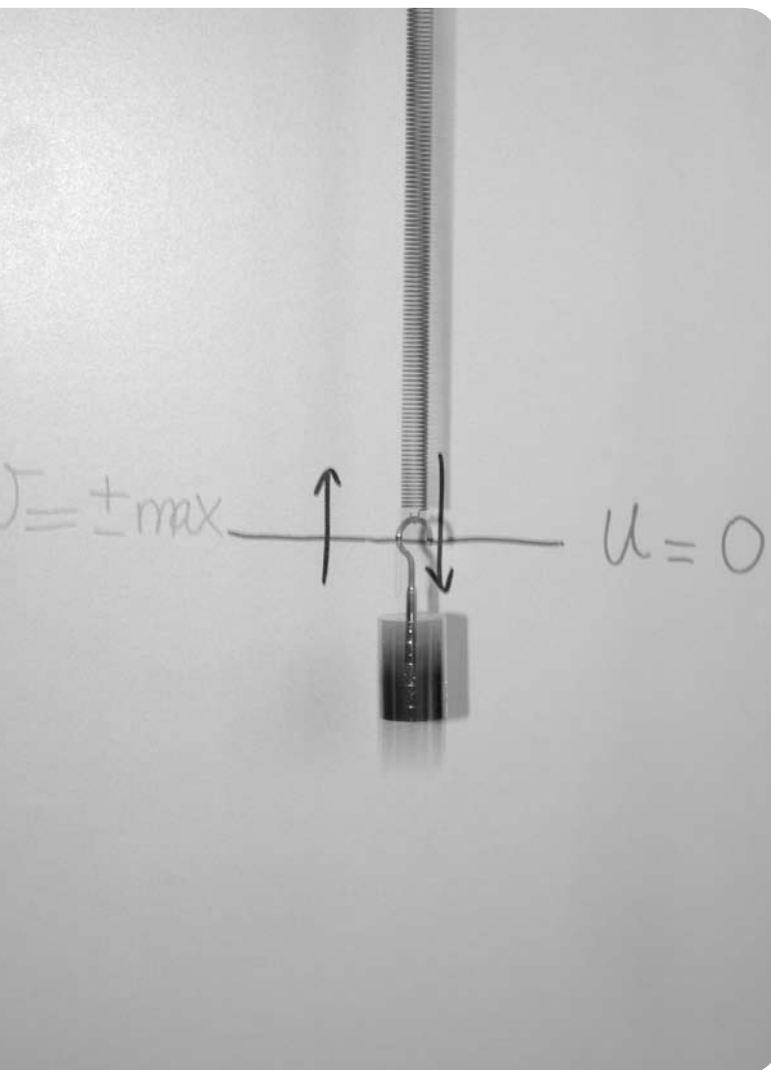
Bijna de helft van de leerlingen ervaart de ouverture van het exemplar voor een deel als herhaling. Geen van de leerlingen vindt dit negatief. Bij meer dan de helft van de leerlingen die hierover schrijven, klinken woorden van waardering: 'Een deel van de behandelde stof is herhaling, dat geeft niet, want herhaling is goed; het zorgt ervoor dat de stof beter blijft zitten.' En: 'Ik vond het zelf wel fijn dat we eerst de "oude" stof van voorgaande jaren samen ophaalden en daar verder en dieper op gingen met allemaal nieuwe formules enzovoort.' Deze en andere formuleringen maken



duidelijk dat er voldoende zorg besteed is om aan te sluiten bij de voorkennis van de leerling. Wanneer we bij exemplarisch onderwijs uitgaan van een genese van kennis, moet daarin ook zeker de reeds aanwezige kennis van de leerling meegenomen worden. Vooral voor leerlingen die in vwo 6 zitten, is het erg flauw om te beginnen vanaf een nulpunt aan kennis. Toch moet de reeds aanwezige kennis wel geactiveerd worden. Door de voorkennis nadrukkelijk aan de hand van het fenomeen op de halen, krijgt deze voor leerlingen functie en betekenis in de context en wordt het niet ervaren als eenvoudig overdoen van het verleden.

5. De opstelling – het fenomeen in het midden

De gebruikte opstelling wordt door ruim de helft van de leerlingen benoemd. 'Tijdens elke les werkten we met een opstelling. Een lange veer, vastgemaakt aan het dak, met daaraan gewichten bevestigd. Dit systeem bewoog voor een wit bord.' Anderen benoemen expliciet de centrale plaats van de opstelling in de hele serie: 'Na deze lessen met het massaveersysteem als middelpunt van de les ...'



Veel opmerkingen gaan over datgene wat met de opstelling gedaan en bereikt is. De analyse van die opmerkingen komt hieronder aan de orde. Het feit dat bijna alle leerlingen enige beschrijving van de opstelling geven, maakt in elk geval duidelijk dat de centrale plaats herkend wordt.

6. Van opstelling naar theorie

Een van de relaties die gelegd worden, is die van de opstelling naar de ontwikkelde theorie. Er wordt door leerlingen een sterke relatie ervaren: 'Er was een grote wisselwerking tussen theorie en praktijk. De docent liet iets zien in de praktijk, waarna wij zelf moesten bedenken hoe dat theoretisch nou eigenlijk zat.' Deze theorie wordt als het ware uit de opstelling zelf afgeleid: 'Aan de hand van de experimenten met het massaveersysteem werd dan de theorie behandeld. Ik vond dat er veel theorie uit de proef met het massaveersysteem te halen was.' Om het nog explicieter door een leerling te laten verwoorden: 'Het makkelijke van deze manier van werken is dat je alles zo voor je ziet en zodoende ook de toepassing van de formules snapt. Je kunt zo aan de opstelling aflezen waarom een formule zus en zo in elkaar steekt.'

7. Denken

Leerlingen geven aan dat denken in het exemplaar een rol speelt en van deze leerlingen reflecteren er twee heel grondig op de wijze waarin dit denken anders is dan tijdens de gewone lessen. 'Het mooie aan de lessen vond ik dat je dieper ging nadenken over het onderwerp. Zo werd de vraag gesteld waarom zo'n systeem trilt zoals het trilt. Je krijgt hierdoor een heel andere manier van denken. Je neemt niet meer aan dat iets beweegt omdat dat nu eenmaal zo is. Nee, je gaat op zoek waarom.' Een andere leerling brengt het als volgt onder woorden: 'De docent liet iets zien in de praktijk, waarna wij zelf moesten bedenken hoe dat theoretisch nou eigenlijk zat. Meestal gebeurde dat klassikaal en kwamen we door middel van bijdragen uit de klas tot de uiteindelijke theorie.' En: 'Verder vond ik dat de klas ook een effectief aandeel had in de les, door mee te mogen denken.'

8. Denken en betrokkenheid

Het denken speelt ook een rol in de betrokkenheid van de leerlingen. Een leerling formuleert het als volgt: 'Het was ook wel leuk dat we zelf moesten meedenken. Dit maakt de lessen minder saai en zo blijf je er tenminste met je gedachten bij.' Deze betrokkenheid wordt door leerlingen positief geïdentificeerd en zorgt voor een beter leerrendement: 'Doordat je er zelf erg bij betrokken bent geraakt, onthoud je de stof beter.' Deze betrokkenheid door denken moet wel voortdurend

gevoed worden: 'Als de docent maar voldoende vraagt en ons laat denken, blijven we gewoon actief meedoen.' Zo'n uitspraak laat zien dat waar je het voor elkaar krijgt leerlingen te laten denken, je de betrokkenheid erbij krijgt. Dezelfde leerling ziet scherp: 'Het is dus goed uitkijken dat iedereen actief blijft opletten en niet passief wordt.'

9. Vragen stellen

Bij exemplarisch onderwijs is het stellen van de juiste vragen een kunst apart. De wijze waarop je de vraag stelt, is bepalend voor de manier waarop je het fenomeen tegemoet treedt, de zogenaamde Sogfrage. Dat er vanuit vragen gewerkt is, is door leerlingen opgemerkt: 'De eerste lessen hebben we gewoon eens goed bekeken wat voor beweging zo'n veersysteem nou maakt en hebben we ons afgevraagd waarom dat zo is.' Zoals deze leerling het verwoordt, komen de vragen vanzelf boven naar aanleiding van de opstelling. Het is dus niet nodig als docent zelf veel vragen te stellen wanneer het fenomeen in zichzelf voldoende rijk is. Wel is het nodig vragen te stellen om de waarneming te verdiepen.

Toch voorkom je niet dat je als docent vragenderwijs de aandacht richt op zaken die niet direct in het oog springen: 'De docent deed iets specifiek met de meetopstelling, stelde ons een vraag over deze handeling en wij moesten er dan diep over nadenken.' Het antwoord op de vragen wordt gegeven door het fenomeen: 'Daarna zijn er wat vragen gesteld, die we probeerden te beantwoorden door het te bekijken in de praktijk.'

10. Verbanden leggen

Het leggen van verbanden is iets waar veel leerlingen op enige manier op terugkomen. Uit de reactie van leerlingen te lezen, ontstaan er in de loop van het exemplaar tussen verschillende zaken relaties. Enkele leerlingen laten het bij algemeenheden, maar er zijn er ook die illustreren wat voor hen een verband is en wat het voor hun leren betekent: 'Ik denk dat de manier van behandelen die we nu hebben gebruikt

vooral beter is voor de mensen die de stof opnemen door verbanden te zoeken. Dat is ook mijn manier van leren.' Of met de woorden van een andere leerling: 'De methode om één onderwerp van verschillende kanten te bekijken zorgt er bij mij wel voor dat de samenhang en het grotere geheel wat beter in beeld blijven – het gaat meer vanzelf, kost iets minder moeite.'

11. Innerlijke samenhang

Toch heeft het woord verband het risico een containerbegrip te worden. In het tweede citaat over verbanden hierboven wordt de innerlijke samenhang in het exemplaar bedoeld. Wanneer we verband zo



nemen, komen we bij meer leerlingen positieve uitlatingen tegen: 'Vooral positief aan deze lessenserie vind ik dat je leert dat alles met elkaar te maken heeft, dus de krachten hebben te maken met de energie en met bijvoorbeeld de versnelling van een voorwerp.'

12. Vakoverstijgend

Andere leerlingen zien samenhang over de vakgrenzen van natuurkunde heen. Hierbij gaat het soms expliciet uitgesproken en soms impliciet vooral om wiskunde. Het volgende citaat maakt het in één keer duidelijk: 'Wat wel opvallend en grappig was: soms was er een duidelijke overlap met wiskunde te zien. Neem nou het verhaal over de eenheidskring (bij wiskunde B al uitgelegd): ook bij dit onderwerp is deze van toepassing, omdat de trilling van het massaveersysteem niet meer dan een sinusformule is.'



Leuk, die samenhang.' Opvallend is dat deze leerling een relatie legt met iets buiten het exempel. Kennelijk heeft het exempel voor hem een venster geopend naar een andere ruimte.

Enkele keren benoemen leerlingen het expliciet dat ze het ontdekken van verbanden en samenhang waarderen. 'Doordat je steeds dieper in de stof gaat en alles achter elkaar doet, zie je veel beter de verbanden tussen verschillende theorieën.' In de beleving van deze leerlingen draagt het feit dat het exempel een doorgaande ononderbroken lijn heeft dus bij aan de ervaren samenhang.

13. Inzicht

Enkele leerlingen verwoorden expliciet hoe inzicht bij hen is ontstaan. 'Door het modelleren krijgen we meer inzicht in de formules, omdat we deze

moeten aanpassen en zelf toevoegen.' Een moment van zelfstandige verwerking wordt ervaren als een verdieping van het inzicht. Een andere leerling geeft aan: 'Zo zijn we tot een heleboel nieuwe inzichten gekomen door er met elkaar over na te denken.' Hier wordt een relatie gelegd tussen het ontstaan van nieuwe inzichten en het er met elkaar over nadenken. Ten slotte wordt er een relatie gelegd tussen inzicht en de opstelling: 'De meetopstelling hielp bij het begrijpen van de theorie.' Deze leerling legt uit dat alles wat bedacht werd direct geverifieerd kon worden in de praktijk. De theorie zweefde niet, maar was reëel.

14. Veel aan weinig

Leerlingen geven aan dat het hun is opgevallen dat er zoveel uit het massaveersysteem te halen is: 'Aan de hand van de experimenten met het massaveersysteem werd dan de theorie behandeld. Ik vond dat er veel theorie uit de proef met het massaveersysteem te halen was.' Een van de leerlingen geeft een natuurkundig theoretische beschouwing van het massaveersysteem van bijna twee kanten. Hij maakt bijna geen opmerkingen van algemeen evaluatieve aard, behalve deze: 'De eerste les dat we het massaveersysteem behandelden had ik gedacht dat we er snel klaar mee zouden zijn. Ik had echt niet verwacht dat er zoveel achter zou zitten, maar ik heb er wel veel van geleerd.'

15. Grondig leren

Ruim een kwart van de leerlingen geeft aan dat er in deze lessen op een grondige manier geleerd is. De uitlatingen van leerlingen illustreren dat het enerzijds veel van leerlingen vroeg, maar dat het zich wel vertaald heeft in heel basaal door de natuurkunde heen kruipen: 'Op zich vond ik deze manier van lesgeven wel goed. Doordat je steeds dieper in de stof gaat en alles achter elkaar doet, zie je veel beter de verbanden tussen verschillende theorieën.' Of zoals een ander het verwoordt: 'Het was geen oppervlakkig gedoe. Dit systeem werd door ons allemaal echt uitgediept.' Grondig leren wordt geassocieerd met het stevig gebruiken van je hersenen: 'Wij moesten er dan diep over nadenken.' Ook uit andere formuleringen valt op te maken dat deze wijze van werken veel van leerlingen vraagt, eigenlijk optimale inspanning.

16. Exemplarisch

Omdat iemand zich op een bepaald moment hardop afvroeg of de toets alleen over het massaveersysteem ging, heb ik aangegeven dat het mijn verwachting was dat leerlingen na het goed doorgronden van het massaveersysteem andere problemen ook aan zouden kunnen. Later zouden we dat in opgaven

wel oefenen. Ik denk dat deze korte constatering de aanleiding is geweest waarom meer dan de helft van de leerlingen hierop terugkomt. Slechts één leerling laat zich hier positief over uit. Een andere leerling stelt het alleen vast, maar acht leerlingen maken hierover opmerkingen die in de richting gaan dat ze niet denken na dit exemplaar ook andere problemen te lijf te kunnen: 'Aan de andere kant moet ik zeggen dat ik dit ene voorbeeld waarschijnlijk niet op alles kan toepassen. Ik verwacht dat ik bij opgaven (bijvoorbeeld op de toets) wel de hele opstelling en uitleg erbij weet te halen (zo van: dat is hetzelfde als het massaveersysteem), maar dat ik het niet helemaal weet toe te passen zoals bij het massaveersysteem.' Deze opmerking is nog redelijk genuanceerd, maar er komen ook opmerkingen voor die simpel stellen dat leerlingen de transfer van kennis en kunde nog niet direct zien zitten.

Conclusies

Wanneer we op grond van de reacties van leerlingen kijken naar de onderzoeksvragen, kunnen we conclusies gaan trekken. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat niet de volledige analyse en verslaglegging daarvan hierboven beschreven is.

Onderzoeksvraag 1 – In hoeverre komen in dit exemplaar de exemplarische principes tot hun recht?

- Naar aanleiding van de reacties van leerlingen denk ik te kunnen stellen dat de gevolgde leerlijn door dit exemplaar de juiste is: eerst waarnemen, dan verklaren en daarna het geheel op een hoger abstractieniveau tillen. De leerlingen geven in verschillende bewoordingen aan intensief betrokken meegenomen te zijn tijdens deze lessen en slechts één leerling geeft aan te zijn afgehaakt (maar die was dan ook letterlijk afwezig geweest door ziekte).
- De neo-socratische aanpak wordt door leerlingen gewaardeerd. Het gezamenlijk vragen stellen aan een fenomeen en zoeken naar antwoorden is de manier geweest waarop tijdens deze lessen is gewerkt. Naar mijn gevoel is het neo-socratische voldoende tot zijn recht gekomen.
- Het massaveersysteem als exemplarisch voor andere situaties is in ieder geval wel in het ontwerp tot zijn recht gekomen, maar minder in de beleving van leerlingen op het moment dat we eraan werkten.

Onderzoeksvraag 2 – In hoeverre komt het in dit exemplaar tot een ontmoeting met de werkelijkheid als schepping van God?

Gezien de reacties van de leerlingen komt het in ieder

geval tot verwondering. Omdat die verwondering meestal gaat over het ontdekken van de samenhang tussen verschillende onderdelen van de mechanica, denk ik aan te kunnen nemen dat het niveau van een ontmoeting met de theoretische weergave ook gehaald is. Voorzichtig denk ik te kunnen stellen dat bij een aanzienlijk aantal leerlingen ook een ontmoeting heeft plaatsgevonden met de wereld van de ideeën, namelijk dat je op verschillende wijzen naar hetzelfde fenomeen kunt kijken en dat ze er alle een ander licht op laten vallen, maar dat daardoor het uiteindelijke begrip van het fenomeen toeneemt. In denk niet dat er een afgeleid gevoel is ontstaan over dat waar de natuurlijke wereld heenwijst, namelijk naar God. Leerlingen maken er in ieder geval niet spontaan melding van. Wel kan gesteld worden dat de ogen van leerlingen opengegaan zijn voor de schoonheid van samenhang en orde in het geschapene. Wanneer we dit weer zien als een afspiegeling van de Schepper, raken we toch dit niveau nog aan. Voor een christen is de ordelijkheid en de betrouwbaarheid van wetten gebed in de notie van de Onveranderlijke.

Johan van Steensel is docent natuurkunde op het Calvin College in Goes.

