

*Proefschrift Jan van der Meij*

## **Support for Learning with Multiple Representations – Designing simulation-based learning environments**

*Bespreking door:*

Peter Dekkers

Freudenthal Instituut voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, Universiteit Utrecht

Elektronische leeromgevingen (ELO's) en dynamische computersimulaties bieden vele nog onontgonnen mogelijkheden voor het bètaonderwijs. Maar hoe dienen dergelijke omgevingen en programma's te worden vormgegeven opdat ze het leerproces optimaal ondersteunen? Aspecten van die vraag staan in dit in het Engels geschreven proefschrift centraal. Drie gerelateerde studies beslaan elk een hoofdstuk. Daarvoor is een algemene inleiding en overzicht van de literatuur geplaatst, terwijl de discussie en conclusies in het afsluitende hoofdstuk staan.

Op simulaties gebaseerde leeromgevingen bevatten een (reken)model van het kennisdomein dat op een empirisch systeem betrekking heeft. Dat model wordt zelf weer op verschillende manieren gerepresenteerd: in de vorm van animaties, diagrammen, grafieken, tabellen, wijzerplaten, getalvensters, etcetera. Als de computer een combinatie van dergelijke representaties toont is dat een *meervoudige* representatie. Een representatie die zich aanpast aan te manipuleren parameters van het systeem heet *dynamisch*. Als bij verandering van een parameter diverse representaties zich daaraan aanpassen heten die 'gelinkt', en als dergelijke representaties in een enkel beeld zijn samengevoegd zijn ze *geïntegreerd*. Bijvoorbeeld, informatie over een kracht wordt niet in losse delen voorgesteld maar in één keer: als een pijl vanaf het 'aangrijpingspunt' in een animatie, met een getalvenstertje voor de grootte. De meervoudige representatie van een domein kan vele, al dan niet geïntegreerde representaties bevatten, waarbij iedere representatie één of meer grootheden kan representeren, en deels kan overlappen met andere representaties. Bijvoorbeeld, in een tabel kunnen meerdere grootheden tegelijk voorgesteld worden. Anderzijds geven de grootte van de pijl en het getalvenster beide de grootte van de kracht weer. Een dergelijke meervoudige representatie kan in zijn geheel ineens worden aangeboden, of geleidelijk aan worden opgebouwd, waarbij die opbouw al dan niet kan worden ondersteund met passende instructies.

De onderzoeker betoogt dat, om het beoogde te leren met behulp van meervoudige representaties, de leerling:

1. de syntaxis van de representaties moet begrijpen,
2. de relaties tussen de representaties en het gerepresenteerde domein moet begrijpen,

3. representaties onderling moet kunnen relateren, en
4. tussen de representaties moet kunnen vertalen.

Begrip van 'syntaxis' houdt in begrijpen welke operaties mogelijk en passend zijn bij de diverse representaties. 'Relateren' houdt in, verschillende representaties van hetzelfde aspect als zodanig kunnen identificeren. 'Vertalen' betekent inzien wat de consequenties zijn van een verandering in de ene representatie voor een of meer daaraan gelinkte representatie.

De drie deelonderzoeken zijn erop gericht, vast te stellen wat het effect is op leeropbrengsten van:

1. het integreren en/of linken van representaties,
2. het al dan niet geleidelijk opbouwen van de meervoudige representatie
3. het al dan niet daaraan toevoegen van expliciete instructies gericht op het onderling relateren van en vertalen tussen de representaties.

De deelonderzoeken zijn uitgevoerd in het mbo, met een additionele groep uit het vwo in het derde deelonderzoek.

De interventies bestonden uit een serie opdrachten die leerlingen individueel op een computer uitvoerden, waarbij ze geregeld aangaven hoe ze de 'cognitieve belasting' ervoeren. Het scherm bestond steeds uit twee helften: in de linkerhelft werd een systeem gepresenteerd waaraan onderzoek werd verricht, aan de hand van opdrachten in de rechterhelft, waar ook antwoorden werden ingevuld en feedback ontvangen. De gevolgde onderwijsstrategie wordt 'guided inquiry' genoemd. In alle systemen en opdrachten ging het om het concept krachtmoment. Deze grootte vervult bij rotaties de rol die het begrip kracht speelt bij bewegingen in rechte lijn. Het basale systeem daarbij is steeds dat van een steeksleutel waarmee, met de hand, op een moer een krachtmoment wordt uitgeoefend. Waar 'transfer' van kennis aan de orde was werd ook gebruik gemaakt van bijvoorbeeld een hijskraan die een last tilt, of een gewicht aan een balk die uitsteekt uit een muur.

De hoofdreden voor het gebruik van meervoudige representaties is de veronderstelling dat die leiden (p. 5) tot de verwerving van diepere kennis over het domein doordat leerlingen worden aangemoedigd te redeneren met en te reflecteren op de overeenkomsten en verschillen tussen de samenstellende representaties. Het vertalen tussen representaties zou hierin het belangrijkste proces zijn, leidend tot een meer abstracte en uitgebreide kennis van het domein. Voor het onderzoek is een quasi-experimenteel pre-posttestdesign gebruikt, met drie types interventie in het eerste deelonderzoek, en twee types in de overige twee. De pre- en posttesten werden op de computer gedaan en bestonden uit multiple-choice- en open vragen van vier types. 'Domein-vragen' zijn analoog aan de vragen in de leeromgeving, 'transfer-vragen' toetsen overdracht van kennis naar nieuwe situaties, in 'relateer-vragen' is onderling relateren, en in 'vertaal-vragen' is vertaling tussen represen-

taties nodig. In het eerste deelonderzoek werden de laatste twee categorieën samengevoegd. Alle antwoorden werden als goed of fout gecodeerd.

De technische mogelijkheden waarmee het leerproces kan worden ondersteund in de gebruikte leeromgeving worden uitgebreid toegelicht. De aard van de ondersteuning sluit aan bij analyses in recente onderzoeksliteratuur, maar lijkt daarvan af te wijken op een belangrijk punt in de zin dat leerlingen hier individueel te werk gingen en geen gebruik maakten van elkaar of de docent in het leerproces. Wat de docent betreft was dit volgens de onderzoeker nodig om de resultaten zuiver te houden, diens rol ziet hij normaliter wel als relevant. In deelstudies 2 en 3 werd nu echter door de leeromgeving zelf feedback gegeven op leerlingantwoorden, ook in het geval van open vragen. Helaas wordt niet toegelicht of geïllustreerd hoe: in alle illustraties zijn de antwoorden correct.

In de eerste deelstudie ziet de onderzoeker zijn verwachting bevestigd, dat integreren en linken van representaties het leren bevordert, vooral bij meer complexe situaties, omdat het situaties overzichtelijker maakt. Het punt waarop dit weer wordt tegenwerkt omdat de meervoudige representatie al te complex wordt, wordt kennelijk niet bereikt. Het verschil is alleen significant ( $p < 0,05$ ) bij domein-vragen, en linken zonder integreren maakt geen verschil. Leerlingen ervoeren de gelinkte en geïntegreerde simulatie als gemakkelijker.

In de tweede deelstudie bleek tegen de verwachtingen in dat het voor geen enkel type vraag iets uitmaakte of de meervoudige representatie van het domein in een keer of gefaseerd werd aangeboden. Leerlingen ervoeren ook geen verschil in moeilijkheidsgraad. De onderzoeker is teleurgesteld dat uit de logfiles van de activiteiten blijkt dat leerlingen niet zelf aan het onderzoeken sloegen, alleen de opdrachten afwerkten.

In de derde deelstudie werd een mogelijke verklaring onderzocht voor het onverwachte resultaat. Daartoe werd het gefaseerd aanbieden voorzien van instructie gericht op expliciet relateren van en vertalen tussen deelrepresentaties. Dit leverde alleen bij domein-vragen een significant ( $p < 0,05$ ) betere postscore als de meervoudige representatie gefaseerd werd aangeboden. De cognitieve belasting werd bij gefaseerd aanbod globaal als groter ervaren.

Volgens de onderzoeker verdient het dynamisch linken gecombineerd met integreren van representaties de voorkeur ( $p = 0,105$ ) omdat het de beste leerresultaten bleek op te leveren. Hij spreekt zich, ondanks gebrek aan ondersteunende data uit de pre-posttoetsen, uit voor het gefaseerd aanbieden van meervoudige representaties omdat dat beter zou zijn voor zowel leerlingen als ontwerpers. De onderzoeker geeft toe dat dit onderzoek niet verklaart of de aard van instructie of de combinatie van instructie met gefaseerd aanbod, in deelstudie drie tot beter resultaat bij domein-vragen leidde.

Het meest boeiende aspect van dit proefschrift was voor mij, hoe tussen de regels door de ontwikkeling te volgen is van een zich steeds verder bekwamend ontwerper en onderzoeker. Het eindigt dan ook als een 'cliffhanger' waarbij de lezer benieuwd is naar

het vervolg. Het proefschrift zelf, echter, roept ook vragen op. Die hebben vooral betrekking op het onderzoeksdesign en het gekozen onderwijskundig perspectief.

Zo is onduidelijk waarom voor een quasi-experimenteel design is gekozen. De onderzoeker stelt dat leerlingen nog nauwelijks ervaring hebben met ELO's, en er nog weinig bekend is over het verloop van het leerproces. Verklaringen van onderzoeksresultaten blijven dan ook speculatief, en in de derde deelstudie waagt de onderzoeker er zich terecht niet aan. Vervolgens, als nu eenmaal toch die benadering wordt gekozen, waarom worden de resultaten dan wel geaccepteerd als die het integreren en linken ondersteunen, maar niet als het gefaseerde aanbod niet uit blijkt te maken? Hoe is bovendien onderzoekstechnisch te verantwoorden, dat relateer- en vertaalvragen in de tweede en derde deelstudie wel in de posttest, maar niet in de pretest opgenomen zijn? En in welke zin zijn de deelstudies vergelijkbaar, gezien de enorme verschillen zowel in de behandelde stof, de aard van de representaties, de opdrachten waarmee die wordt onderzocht, de wijze van toetsing, en het type leerling dat tot de steekproef behoort? Weliswaar worden deze verschillen allemaal aangeduid, maar consequenties voor de grenzen aan de validiteit en betrouwbaarheid van de conclusies worden er niet uit getrokken.

De centrale veronderstelling dat meervoudige representaties juist zo van belang zijn omdat ze leiden tot meer uitgebreide en abstracte kennis van het domein wordt door de onderzoeksdata niet ondersteund. De onderzoeker erkent dit, maar speculeert dat dit het gevolg is van gebrek bij leerlingen aan bekendheid en ervaring met de leeromgeving en onderwijsbenadering. Ik zou ervoor willen pleiten, als het onderzoek dan toch bijna uitsluitend op kwantitatieve data gebaseerd wordt, die niet selectief in te zetten. Laat dan bijvoorbeeld ook zien dat we van ELO's en meervoudige representaties kennelijk net zo min als van andere op zichzelf staande ingrepen in het onderwijs een oplossing van de fundamentele problematiek in het bètaonderwijs mogen verwachten.

Inhoudelijk gezien is het proefschrift bruikbaar voor ontwerpers van ELO's, maar blijf ik als vakdidacticus, docent, en ontwerper van onderwijs met (te) veel onbeantwoorde vragen en onduidelijkheden achter. De hoofdoorzaak daarvoor is dat dit onderzoek vrijwel exclusief het 'hoe?' van het onderwijsaanbod behandelt, en aan het 'wat?' en 'waarom?' niet toekomt. Mij is uitgelegd dat dit het gevolg is van het instructietechnologisch onderzoeksperspectief van de onderzoeker. Neem ik hiermee dan alleen maar weer de aloude positie in van de vakdidactiek ten opzichte van onderwijskunde? Ik wil beargumenteren dat er meer aan de hand is.

*Waarom* moesten deze leerlingen de Momentenstelling leren? Er werd aangenomen, terecht gezien de prescores, dat ze de context van de steeksleutel al goed begrepen zodat die als uitgangspunt kon dienen. Maar wat voor zin heeft het voor hen om die kennis te formaliseren of generaliseren? Voor zover ik kan afleiden uit de beschrijvingen wordt in de leeromgeving aandacht besteed aan hoe dat zou moeten (door middel van formules, grafieken en tabellen), maar niet aan de vraag *waarvoor* dat goed zou kunnen zijn. Bij welke windkracht valt een hijskraan om, hoe lang moeten de 'jaws-of-life' zijn om de kooicon-

structie van een auto open te knippen, en welke versnelling heb je nodig om de Pyreneeën over te fietsen? Bij dat type vragen zou de Momentenstelling van pas kunnen komen, en is het mogelijk dat leerlingen wellicht zelf onderzoek zouden willen doen. Maar wat valt er aan die steeksleutel nou nog te ontdekken? Anders gezegd, van het leerlingen 'expliciet vragen' te relateren en vertalen tussen representaties kan geen actieve, onderzoekende respons verwacht worden tenzij daar een interne motivatie voor wordt opgeroepen. De 'onbeantwoorde vraag' (p. 25) is dus niet alleen of leerlingen in staat zijn representaties te relateren en vertalen, maar ook, waarom ze dat zouden moeten willen. De ontwerper geeft zelf, zij het indirect, aan dat hij leerlingen aan het onderzoeken wil krijgen. Dan kan hij de 'waarom-vraag' niet ongestraft negeren.

*Wat hebben de leerlingen precies geleerd?* Hoewel in alle drie de deelstudies significante pre-postverschillen worden gerapporteerd kom ik er niet achter. In deelstudie 1 vonden leerlingen gemiddeld bij twee op de tien toetsvragen die ze vooraf fout beantwoordden, achteraf het correcte antwoord (p. 51). Bij deelstudie 2 is dat gemiddeld 2,5 (p. 73), en bij deelstudie 3 gemiddeld vier (p. 91) op de tien aanvankelijk foute antwoorden. Wordt hiermee nu aan de leerdoelen voldaan? Welk type vragen worden nog steeds fout beantwoord? Welke kennis of vaardigheden blijven ontbreken? En hoe valt de geleidelijke verbetering te verklaren?

Het negeren van de leeropbrengst vertekent ook de onderzoeksresultaten. Bijvoorbeeld, in de eerste deelstudie deed één groep het significant beter dan de rest, maar bleven ook daar zeven op de tien aanvankelijk foute antwoorden aan het eind incorrect. Het verschil is statistisch significant, maar is het didactisch relevant? Blijft het gehandhaafd als een beter onderwijsrendement wordt behaald?

Belangrijker dan bovenstaande vragen is echter: wat is er in dit proefschrift nu precies gewonnen door de 'waarom-vragen' en 'wat-vragen' te negeren? Gezien de doelen van de onderzoeker zelf was het wijs geweest de 'waarom-vraag' aandacht te geven. De 'wat-vraag' kreeg volgens de onderzoeker wel aandacht in het ontwerp maar niet in de onderzoeksrapportage. Is dan niet relevant wat de relatie zou kunnen zijn tussen dat wat onderwezen wordt en hoe dat het best onderwezen wordt? Ik meen, kortom, dat dit op instructietechnologische uitgangspunten gebaseerde onderzoek zelf de beperkingen van die uitgangspunten laat zien, los van een vakdidactische kritiek op die uitgangspunten.

Er is nog veel moois te verwachten van de toepassingen van ICT in de ontwikkeling van het (bèta)onderwijs. Daarbij is onderzoek naar de wijze van aanbieden ongetwijfeld belangrijk. Het gekozen onderzoeksperspectief plaatst dat los van de inhoud en functionaliteit van de aangeboden kennis, en de mogelijke problemen die leerlingen ondervinden bij het verwerven en verwerken daarvan. Die inperking zou in principe voordelen kunnen hebben, maar bleek hier tot onnodig beperkte resultaten te leiden. De eindconclusie van de onderzoeker is dat meer aandacht nodig is voor de aard van de instructie en hoe de leerling daarop reageert. Ik hoop dat dit impliceert dat hij het met me eens is.

