

De invloed van representaties op het modelleergedrag van leerlingen

Simone Löhner

Instituut voor de Lerarenopleiding, Universiteit van Amsterdam

Elwin Savelsbergh

Instituut voor de Lerarenopleiding, Universiteit van Amsterdam en

Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen,

Universiteit Utrecht

Wouter van Joolingen

Instituut voor de Lerarenopleiding, Universiteit van Amsterdam

Samenvatting

Op veel scholen gebruiken leerlingen de Coach-modelomgeving om computermodellen te maken. Er zijn echter ook andere programma's beschikbaar. Om te bepalen wat voor leerlingen een geschikt modelleerprogramma is zou men moeten weten hoe de eigenschappen van het programma van invloed zijn op het modelleergedrag van leerlingen. In deze studie vergelijken wij daarom het gedrag van leerlingen in twee modelleeromgevingen die op een aantal aspecten van elkaar verschillen. In de ene, tekstgebaseerde, omgeving moet de leerling zelf kwantitatieve formules invoeren in de andere, grafische, omgeving kan de leerling alleen kwalitatief het verband tussen de variabelen aangeven. De representaties blijken verschillend gedrag op te roepen. Leerlingen die met de grafische representatie werken, maken weliswaar betere modellen, maar zij werken vaak weinig systematisch en hebben weinig diepgang in hun redenties. Hoewel de tekstrepresentatie in principe mogelijkheden biedt voor meer diepgang, blijkt uit het onderzoek dat leerlingen in deze omgeving vaak vastlopen en gefrustreerd raken. Voor een zinvolle toepassing van modelleren in het onderwijs lijkt het noodzakelijk aspect van beide modelleeromgevingen te combineren. Daarnaast hebben leerlingen gerichte ondersteuning nodig, zowel bij het bereiken van voldoende diepgang, als bij het in voldoende mate uit de voeten kunnen met de modelrepresentatie

1. Modelleren

Een van de belangrijkste leerdoelen bij exacte vakken is dat leerlingen begrip ontwikkelen van de structuur van een domein en zelf verbanden kunnen leggen (zie bijvoorbeeld: Hestenes, 1987; Jackson et al., 1996). Leerlingen blijken desondanks het leren van exacte vakken vaak te zien als het onthouden van feiten en formules (Hestenes, 1992) zonder naar de achterliggende structuren te kijken. Een van de methodes die gezien wordt als een mogelijkheid om leerlingen meer naar de structuur van een domein te laten kijken is het maken van computermodellen (Hestenes, 1987; Mandinach, 1988; Spector, 2000).

Door zelf een computermodel te maken, kunnen leerlingen hun gedachten en kennis extern representeren (Shrader et al., 2000; Wild, 1996). Dit kan leerlingen helpen om hun eigen manier van denken over een onderwerp beter te begrijpen (Doerr, 1995). Daarnaast kunnen deze computermodellen ook

onderwerp van gesprek en reflectie worden (Penner, 2001). De modellen kunnen vervolgens door de computer worden doorgerekend en op basis van de uitkomsten kunnen leerlingen zelf conclusies trekken. Hierdoor leren ze volgens Kurtz dos Santos en Ogborn (1994) meer over een systeem dan wanneer zij werken met een modelrepresentatie die geen feedback geeft over het systeemgedrag.

Daarnaast maken computermodellen het mogelijk om tegelijkertijd het effect van verschillende oorzaak/gevolg relaties te bekijken (Hogan & Thomas, 2001), wat kan bijdragen aan het inzicht krijgen in complexe fenomenen. Ook kunnen computermodellen leerlingen helpen de samenhang tussen observaties en wetenschappelijke theorieën te zien (Hestenes, 1987) en hen een coherenter beeld van een vakgebied geven (Doerr, 1995; Hestenes, 1987). In het afgelopen decennium zijn diverse omgevingen ontwikkeld voor modelleren door middelbare scholieren. Deze omgevingen maken gebruik van verschillende soorten modelrepresentaties. De modelrepresentatie is de externe verschijningsvorm van het model dat de leerling maakt.

Externe representaties kunnen een sterke invloed hebben op de manier van denken en redeneren van hun gebruikers (zie bijvoorbeeld: Larkin & Simon, 1987). Daarom lijkt het redelijk aan te nemen dat de gebruikte modelrepresentatie invloed zal hebben op het proces en het product van modelleren. Ons doel is uit te zoeken hoe representaties leerlingen beïnvloeden bij het maken van modellen. Daarbij zijn verschillende aspecten van belang.

Een punt dat in de literatuur vaak ter sprake komt is dat de conventies van een representatie meer of minder gemakkelijk te leren kan zijn. Met een eenvoudige representatie als die van Model-It kunnen leerlingen zonder voorafgaande training direct modellen maken (Jackson et al., 1996). Bij gebruik van een meer complexe en krachtige representatie kan het enige tijd kosten voordat de leerlingen vertrouwd zijn met het formalisme van het programma. Zo vond Schecker bij het bij leerlingen in klas vier tot zes dat het ongeveer twee lesuren duurde voordat leerlingen zelf modellen konden maken met STELLA (Schecker, 1993; 1998).

Een ander aspect van modelrepresentaties waar diverse onderzoekers over schrijven is hoe dichtbij of ver weg de representatie is van de eigen ervaring van de leerlingen (o.a. Riley, 1990). Volgens Jackson et al. (1996) staat een kwalitatieve representatie veel dicht bij de manier waarop leerlingen normaal denken en zich uiten dan een kwantitatieve representatie. In een studie van Riley (1990) vond een leraar die hardop denkend een model in STELLA bouwde, het erg moeilijk om de 'echte wereld' te interpreteren in termen van voorraadgrootheden en stroomgrootheden (de metafoor die wordt gebruikt in STELLA). Ook Kurtz dos Santos en Ogborn (1994) beargumenteren dat de in STELLA gebruikte metafoor een sterke invloed heeft op hoe leerlingen over variabelen denken omdat zij gedwongen zijn om 'stromen' te gebruiken om verandering uit te drukken. Volgens hen maakt de vroege en snelle feedback die kwalitatieve modelleeromgevingen geven het modelleren veel makkelijker en toegankelijker voor leerlingen dan wanneer zij gedwongen worden over de mathematische invulling van relaties na te denken. Volgens Jackson et al. (1996) verloren leerlingen die met een kwalitatieve representatie werken slechts minimaal tijd door het programmeren van het model.

Een andere vraag die vaak wordt opgeworpen in onderzoek naar modelleren is of het gebruik van de wiskundige vorm van een relatie een voordeel is

of niet. Ogborn (1998), bijvoorbeeld concludeert dat leerlingen een omgeving als STELLA goed kunnen gebruiken om een model te tekenen, maar dat de modellen in STELLA het nadeel hebben dat ze alleen berekend kunnen worden wanneer alle relaties in de correcte wiskundige vorm zijn ingevuld. Volgens Jackson et al. (1996) laat de kwalitatieve representatie die zij in hun omgeving Model-It gebruiken de leerlingen veel makkelijker relaties construeren. Hogan en Thomas (2001) daarentegen beschouwen het gebruik van wiskundige vergelijkingen juist als een belangrijk voordeel van STELLA. Volgens hen moeten modellen niet alleen gebruikt worden om leerlingen een kwalitatief begrip van systemen en systeemgedrag bij te brengen, maar ook om het belang van kwantitatief denken in de wetenschappen te onderstrepen.

Er zijn dus aanwijzingen voor de invloed van modelrepresentaties op het gedrag van leerlingen. Het grootste deel van het onderzoek naar computerondersteund modelleren is echter gebaseerd op casestudies en de onderbouwing is vooral anekdotisch, waardoor het moeilijk is om algemene conclusies te trekken met betrekking tot deze invloed. Kenmerken van modelrepresentaties zijn tot nu toe niet systematisch gevarieerd. Er is ons maar één directe vergelijkingen tussen verschillende representaties bekend, namelijk van Kurtz dos Santos en Ogborn (1994) die op grond van anekdotisch materiaal de omgevingen IQON en STELLA vergelijken.

Om te kunnen beoordelen hoe modelrepresentaties het proces en het product van modelleren beïnvloeden, beschrijven we eerst een aantal verschillende modelrepresentaties. Vervolgens bespreken we de karakteristieken van deze representaties. Daarna presenteren wij een studie waarin twee verschillende modelrepresentaties worden vergeleken. Hiermee willen wij erachter komen hoe de karakteristieken van de gebruikte representatie de constructie van modellen door de leerlingen beïnvloeden.

2. Verschillende Modelrepresentaties

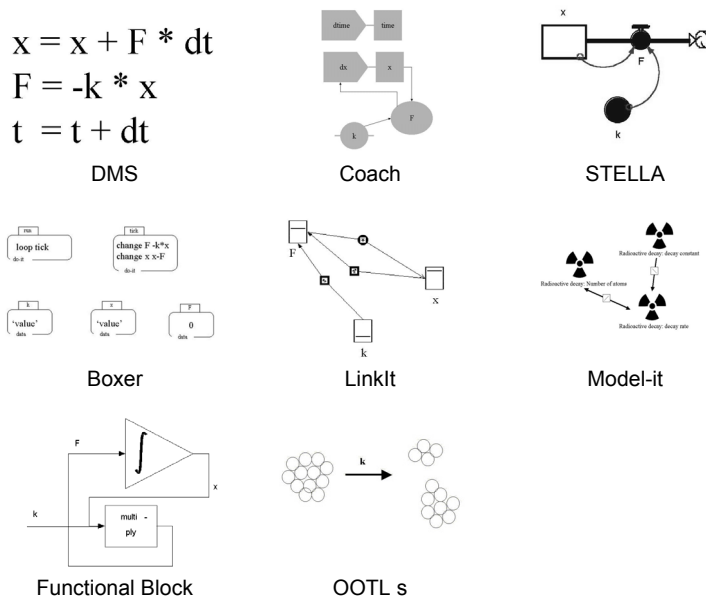
Figuur 1 laat een simpel model van radioactief verval zien in de representaties gebruikt in acht verschillende modelleeromgevingen. In deze modellen is x het aantal aanwezige atomen, F de vervalssnelheid en k de vervalsconstante. Elk van deze representaties wordt hieronder besproken.

DMS

Een aantal omgevingen, zoals DMS, maken gebruik van een tekstuele representatie van modellen. Modellen worden daarin gerepresenteerd als differentiaal- of differentievergelijkingen. Tekstuele representaties worden bijvoorbeeld gebruikt in DMS (Robson & Wong, 1985) en Modellus (Duarte, 1997) In het geval van DMS wordt de tekst van het model geïnterpreteerd als regels in een computerprogramma. In Modellus kunnen vergelijkingen worden ingevoerd en door het programma worden geëvalueerd. Een ander voorbeeld van een op tekst gebaseerde omgeving is NEMO, dat werkt met differentievergelijkingen. Ook binnen de tekstuele representaties zijn er verschillende notaties mogelijk. Deze verschillen hebben meestal te maken met de manier waarop een verandering in de tijd door de representatie wordt weergegeven.

Coach

Coach is een omgeving voor de verzameling en analyse van data die is ontwikkeld aan het AMSTEL Instituut van de Universiteit Amsterdam. Coach



Figuur 1. De acht in dit paper besproken formalismes voor modelrepresentatie. Elk van de bovenstaande voorbeelden is een model van hetzelfde proces van radioactief verval.

bevat een modelleeromgeving, gebaseerd op DMS. Naast de tekstuele representatie van het model biedt Coach ook een grafische representatie waarin het model opgebouwd kan worden uit verschillende blokken – stapvariabelen (de grootheden *dtijd* en *dx* in Figuur 1), gewone variabelen (grootheid *F*) en constanten (grootheid *k*). Relaties tussen variabelen worden aangegeven door middel van pijlen tussen de blokken. De vergelijkingen van het model worden ingevuld in een venster dat geopend wordt door op de variabele te klikken. Het model kan alleen worden uitgevoerd als alle formules zijn ingevuld.

Stella

In STELLA (Steed, 1992) worden variabelen afgebeeld als voorraadgrootheden (de grootheid *x* in Figuur 1), stroomgrootheden (grootheid *F*) en gewone variabelen (grootheid *k*). Nadat de grafische representatie van het model getekend is, moeten de relaties kwantitatief worden ingevuld in een venster dat wordt geopend door op de variabelen te klikken. Het programma geeft op basis van het grafische model aan welke variabelen in de vergelijking horen. Relaties tussen variabelen kunnen ook worden gedefinieerd door het invullen van waarden in een tabel of het tekenen van een grafiek. Een representatie die sterk lijkt op STELLA wordt ook gebruikt door het programma Powersim.

Functional block representaties

Functional block-representaties gebruiken een metafoor van elektronische signaalverwerking. Variabelen worden gerepresenteerd als signalen (lijnen) en operaties als functionele blokken. Deze representaties worden in professione-

le modelleeromgevingen zoals 20-sim (Broenink, 1999) gebruikt. Meestal is een standaard bibliotheek van operatieblokken aanwezig. Dit soort omgevingen wordt, voor zover ons bekend, niet in het middelbaar onderwijs gebruikt.

Boxer

Boxer (DiSessa, Abelson, & Ploger, 1991) is een programmeeromgeving gebaseerd op LOGO. Het is ontwikkeld door de Boxer groep van de Universiteit van Californië in Berkeley. Elementen van de programma's worden gepresenteerd als dozen ('boxes') die genest kunnen worden. De kwantitatieve vergelijkingen worden als tekst ingevoerd. Daarnaast moeten de leerlingen ook andere programmeerhandelingen verrichten zoals het zelf programmeren van iteraties. De nadruk ligt dus sterk op de procedurele kant van het rekenmodel.

Linkt

Linkt, net als zijn voorganger IQON, is ontwikkeld door de 'London Mental Models Group' in het 'Tools For Exploratory Learning' programma (Mellar, Bliss, Boohan, Ogborn, & Tompsett, 1994). In Linkt worden variabelen verbonden door relatiepijlen. Zowel variabelen als relaties kunnen worden geopend en gedefinieerd. Om een relatie te definiëren vult de leerling een tabel met waarden in of kiest één van de 'semi-kwantitatieve' relaties uit een menu (bijvoorbeeld: als A groter wordt, wordt B groter). De opties variëren van directe lineaire relaties met verschillende steilheden en exponentiele relaties tot relaties die verandering weergeven. Verschillende relatiepijlen die naar één variabele leiden kunnen worden gecombineerd door optellen, aftrekken, vermenigvuldigen, delen of middelen. Een niveau-indicator die in de variabelenblokken op en neer beweegt geeft de waarde van de variabele weer. Doordat Linkt zelf standaardwaarden invult in elke relatie kan elk model doorgerekend worden zodra de relatiepijlen getekend zijn. Aangenomen wordt dat het beschrijven van relaties op deze manier de omgeving makkelijker en meer intuïtief in het gebruik maakt; aan de andere kant wordt hierdoor wel de complexiteit van de modellen die gemaakt kunnen worden beperkt.

Model-It

Model-It (Jackson et al., 1996) is ontworpen door de 'Highly Interactive Computing in Education' (hi-ce) groep van de Universiteit van Michigan. Hoewel de uiteindelijke representatie van een model in Model-It lijkt op die van Linkt, is er toch een verschil. Model-It gebruikt net als Linkt variabelen die door pijlen verbonden zijn en die onafhankelijk gedefinieerd kunnen worden. De relaties zijn semi-kwantitatieve beschrijvingen van de gebruikte wiskundige vergelijkingen. Maar in Model-It is er daarnaast ook een andere representatie van de 'echte' objecten (zoals auto's, de atmosfeer of een fabriek). Deze objecten hebben 'factoren', en deze zijn de in het model gebruikte variabelen (bijvoorbeeld het ozon niveau in de atmosfeer, aangeduid als 'atmosfeer: ozonniveau'). Dit zou de leerlingen het idee geven dat ze met iets bezig zijn wat ook in de 'echte wereld' plaatsvindt. De waarden van de factoren kunnen worden veranderd terwijl het model loopt en worden bekeken door middel van meters en grafieken. Ook in Model-It is het niet mogelijk om feedbackloops of in de tijd veranderende systemen te modelleren.

Objectgebaseerde representaties

Objectgebaseerde representaties, zoals OOTLs, zijn specifiek bruikbaar voor verschijnselen waarbij meerdere objecten interacteren, zoals dieren in een ecosysteem of deeltjes in een gas. In een objectgebaseerde representatie wordt het gedrag van de afzonderlijke individuen gemodelleerd. Door interacties van individuele objecten ontstaat uiteindelijk het gedrag van het systeem. Individuele objecten worden weergegeven door middel van grafische afbeeldingen. Interacties tussen objecten worden weergegeven door middel van pijlen.

De ontwikkelaars van OOTLs (Neumann, Feurzeig, Garik, & Collins, 1997) menen dat leerlingen het ingewikkeld vinden om problemen in de formele mathematische representatie weer te geven en dat de symbolische taal van differentiaalvergelijkingen te ver verwijderd is van de mentale modellen die leerlingen hebben van objecten en interacties van objecten. Ook volgens (Penner, 2001) passen objectgeoriënteerde omgevingen goed in de intuïtieve denkwijze van de meeste mensen, omdat de meeste mensen eerder in termen van individuen denken dan in termen van systemen. Hij noemt StarLogo als voorbeeld van een dergelijke manier van modelleren.

3. Karakteristieken van representaties

Zoals blijkt uit bovenstaand overzicht van modelleeromgevingen kunnen representaties sterk van elkaar verschillen. Wij onderscheiden een aantal karakteristieken van representaties die het modelleerproces verschillende mogelijkheden en beperkingen geven.

Tekst of grafisch georiënteerd

Een voor de hand liggende eigenschap van een representatie is of hij wordt uitgedrukt in tekst of in een grafisch diagram. In een tekstuele representatie wordt de leerling gedwongen om expliciet een soort vergelijking op te schrijven. De grafische representatie biedt aanvullend of uitsluitend een diagrammatische vorm, zoals een stroomdiagram of icoontjes om objecten of variabelen in het model aan te duiden. Daarnaast zijn er diverse modelleeromgevingen die een combinatie van een tekstuele en een grafische representaties bevatten, zoals STELLA of Coach, waar een grafisch diagram wordt aangevuld met tekstuele vergelijkingen.

Kwalitatieve of kwantitatieve specificatie

De tweede belangrijke eigenschap van een modelrepresentatie is het type relatie dat gemodelleerd kan worden: kwalitatieve modellen versus kwantitatieve modellen. In een kwantitatief model moet de leerling de relatie in een precieze mathematische vorm invullen. Modellen kunnen alleen worden uitgevoerd wanneer een consistente en correcte mathematische beschrijving is ingevuld. Kwalitatieve representaties kunnen ook worden uitgevoerd wanneer de relaties in kwalitatieve vorm, bijvoorbeeld 'als A groter wordt, wordt B groter', gespecificeerd zijn. Wanneer een kwalitatief model wordt uitgevoerd, worden meestal standaard kwantitatieve relaties ingevuld door het programma.

Primaire modeleenheden

In sommige representaties zijn variabelen de belangrijkste eenheden in het model terwijl anderen meer op de relaties gericht zijn. In een variabelengeoriënteerde representatie worden eerst de variabelen benoemd en daarna pas de relaties. Dit is bijvoorbeeld het geval bij STELLA waar het klikken op een variabele het venster opent waarin de vergelijking die voor de variabele geldt kan worden ingevoerd. In een representatie die meer nadruk legt op de relatie, wordt de relatie (of de operatie) onafhankelijk van de variabele gedefinieerd (bijvoorbeeld de functional block representatie; Broenink, 1999). Bij tekstuele representaties zijn de primaire eenheden de formules, waarin zich zowel de variabelen als de relaties bevinden.

Specificatie van complexe relaties

Complexe relaties zijn relaties waaraan meer dan twee variabelen deelnemen, en er dus meerdere invoervariabelen gebruikt worden om een uitvoervariabele te berekenen. In tekstuele representaties worden beide variabelen dan in één vergelijking ingevoerd. In een kwalitatieve representatie kunnen wel de invloeden van twee variabelen naar een derde worden aangegeven, maar het is dan niet meteen duidelijk hoe deze moeten worden gecombineerd. Sommige representaties vragen de gebruiker expliciet aan te geven hoe de combinatie wordt gemaakt, anderen maken een standaard keuze, zoals optellen, vermenigvuldigen of middelen. Dit laatste maakt de constructie van modellen makkelijker, maar kan ook leiden tot voor de leerling onbegrijpelijk modelgedrag.

Zichtbaarheid van de berekeningswijze

In modelleeromgevingen worden modellen doorgerekend om hun gedrag te laten zien. Bij sommige omgevingen wordt de leerling actief betrokken bij deze simulatie bijvoorbeeld doordat de leerling zelf een instructie moet geven om de tijd te stapsgewijs te laten toenemen met een vergelijking als " $T := T + dT$ " of een integratiemethode zoals Euler of Runge-Kutta te kiezen. In andere omgevingen is de achterliggende simulatie voor de gebruiker verstopt. Dit maakt het in elkaar zetten van een werkend model weliswaar makkelijker, maar een nadeel kan zijn dat het moeilijk is om erachter te komen waarom een model een bepaald onverwacht gedrag laat zien, in het bijzonder wanneer het onderliggende formalisme niet nauwkeurig is. Bovendien zou het kunnen zijn dat leerlingen op een bepaald moment ook willen of moeten begrijpen hoe het programma rekent.

Vorm van de informatie

Verschillende onderdelen van het model en het modelleerproces kunnen in het formalisme van de representatie zijn besloten. Zhang (1997) liet zien dat het oplossen van problemen aanzienlijk eenvoudiger werd wanneer meer probleem-informatie extern en visueel gepresenteerd werd, in de vorm van visuele relaties en opgelegde randvoorwaarden in het formalisme. Hij schreef dit toe aan een vermindering van de cognitieve belasting. Wij verwachten dat die ook zo zal zijn voor modelrepresentaties, waar het probleem eruit bestaat een afdoende beschrijving van het domein in een model te creëren. Een effect kan verwacht worden van randvoorwaarden in het formalisme die onmogelijke relaties verbieden en van visuele representatie van de modelstructuur. Schecker (1993; 1998) geeft aan dat grafische modelomgevingen de

conceptuele structuur van een natuurkundig domein explicieter kunnen maken dan een lijst met formules. Maar ook een modelrepresentatie die de structuur benadrukt staat niet bij voorbaat garant voor transparantie ervan, omdat er bijvoorbeeld gebruik gemaakt kan worden van een metafoer die eerst doorgrond moet worden om de informatie te kunnen begrijpen.

Samenvattend verwachten wij dat de bovenstaande karakteristieken het proces van modelleren zullen beïnvloeden. De keuze van een representatie leidt tegelijkertijd tot keuzes voor het modelleerproces. Leerlingen zullen eerder redeneren over datgene wat in de representatie duidelijk zichtbaar is. Door bepaalde dingen duidelijk zichtbaar te maken, kan de representatie als een ondersteuning voor het modelleren werken. Aan de andere kant zullen dingen die niet zichtbaar zijn, ook minder gauw aanzetten tot nadenken. Op deze manier werkt de representatie als een beperking op het modelleerproces (zie ook Suthers, 1999).

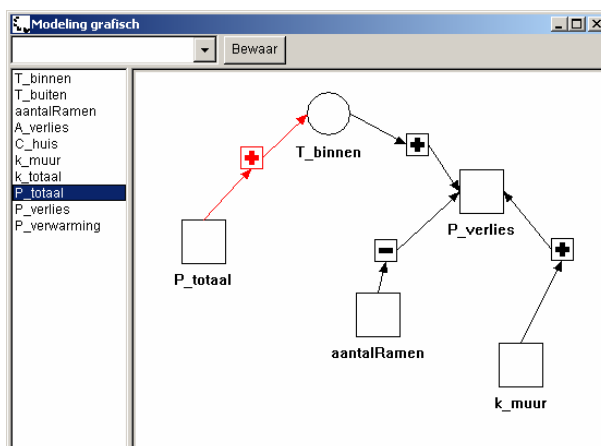
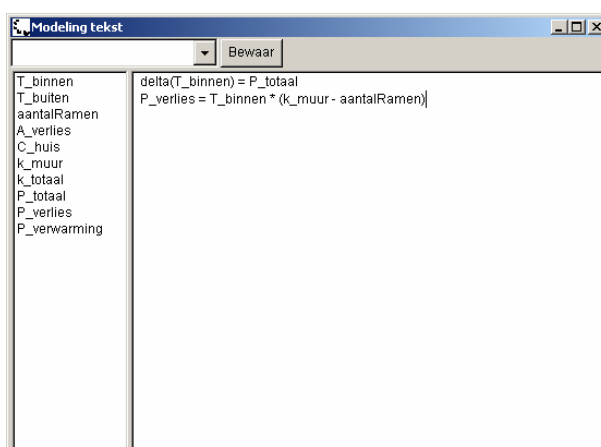
Door deze eigenschappen lijkt de gebruikte representatie het redeneren en daardoor het modelleren te kunnen beïnvloeden. Daarom zijn wij geïnteresseerd welke invloed de representatie heeft op het modelleergedrag van leerlingen. Dit leidt ons naar de volgende onderzoeksvraag: wat is de invloed van de gebruikte modelrepresentatie op de constructie van computermodellen?

4. Tekstuele representatie versus grafische representatie

In de dit artikel presenteren wij een studie waarin we het effect van twee verschillende representaties vergelijken. Deze representaties zijn zo gekozen dat zij zo veel mogelijk verschillen op vijf van de zes eigenschappen die we hebben onderscheiden (zie tabel 1). In de ene representatie moeten de leerlingen in een tekstgebaseerde omgeving de volledige kwantitatieve formules van het model invullen voordat ze het kunnen laten doorrekenen. Alle verantwoordelijkheid voor het opstellen van de correcte modelregels ligt in deze omgeving bij de gebruiker. De modelregels staan in willekeurige volgorde in een lijst. In de andere representatie geven de leerlingen in een grafische omgeving op semi-kwantitatieve wijze het verband aan tussen twee variabelen. In deze omgeving plaatst de leerling eerst de variabelen om vervolgens relaties daartussen aan te geven. Het is niet mogelijk syntactisch incorrecte modellen te tekenen. De precieze wiskundige invulling van die relaties wordt door het systeem verzorgd, zodoende ligt in deze representatie een belangrijk deel van de verantwoordelijkheid bij het systeem. De grafische weergave biedt de mogelijkheid de structuur van het domein te visualiseren. De zichtbaarheid van de berekeningswijze houdt niet direct verband met de representatie, daarom is dit aspect in beide versies gelijk gehouden. We zullen deze representaties in het vervolg aanduiden als 'tekstuele representatie' en 'grafische representatie' (Figuur 2). De grafische representatie is gedeeltelijk gebaseerd op populaire model omgevingen zoals STELLA en Modellt, maar er zijn ook verschillen. Zo wordt er bijvoorbeeld geen gebruik gemaakt van de STELLA-metafoer van voorraadgrootheden en stroomgrootheden en hoeven de leerlingen ook geen formules in te vullen. De door ons gebruikte tekstrepresentatie lijkt op die van DMS.

Tabel 1. Karakteristieken van de tekstuele en de grafische modelrepresentatie.

	Primaire representatie	Kwalitatief of kwantitatief	Primaire model-eenheden	Specificatie complexe relatie	Vorm informatie	Zichtbaarheid berekening
Tekstueel	Tekst	Kwantitatief	Formules	Gebruiker	Lijst	Verborgen
Grafisch	Grafisch	Semi-kwantitatief	Variabelen	Systeem	Structuur	Verborgen



Figuur 2. Screenshots van de modelomgeving met de tekstuele representatie (boven) en de grafische representatie (onder). In beide omgevingen staat hetzelfde (foutieve) model afgebeeld.

Omdat modelleren gezien kan worden als een taak die is afgeleid van de manier waarop wetenschappers te werk gaan, wilden wij de omstandigheden daarvan zoveel mogelijk nabootsen. Daarom wilden wij de leerlingen ook de gelegenheid geven om zelf data te verzamelen op basis waarvan zij het model konden maken. Hiervoor is gebruik gemaakt van een simulatieomgeving waarin de leerlingen konden experimenteren en de resultaten van de simulatie konden vergelijken met de output van hun eigen model.

5. Verwachtingen

Wij verwachten dat bij elk van de twee representaties een ander modelleergedrag optimaal is om tot een goed werkend model te komen. Wij verwachten ook dat de representaties dat gedrag in zekere mate zullen oproepen. Deze verwachting is geoperationaliseerd in een aantal verwachtingen over het gedrag van de leerlingen in de modelomgeving.

O'Hara en Payne (1998) en Schär, Schierz, Stoll, en Krueger (1997) hebben laten zien dat een eenvoudig bedienbare interface weliswaar tot meer, maar niet noodzakelijkerwijs tot efficiënter gedrag leidt. In de tekstuele representatie moet elke relatie in een mathematisch correcte vorm worden gespecificeerd voordat zij aan het model kan worden toegevoerd. Daardoor kost het toevoegen van een relatie de leerlingen meer moeite dan in de grafische representatie, waar een relatie makkelijk getekend en later weer verwijderd kan worden. Daarom verwachten wij dat de leerlingen die met de grafische versie werken meer veranderingen aan het model zullen doorvoeren maar deze veranderingen zullen niet per se de kwaliteit van hun model ten goede komen.

Omdat de leerlingen in de tekstuele representatie meer data nodig hebben om tot de grotere precisie van relaties te kunnen komen die zij nodig hebben, verwachten wij dat zij meer zullen experimenteren met de simulatie die ook in de omgeving is ingebouwd. Daarnaast verwachten wij dat het langer zal duren voordat de leerlingen in de tekstuele representatie voor het eerst hun eigen model laten doorrekenen. De leerlingen in de grafische representatie zullen waarschijnlijk vaker het eigen model laten doorrekenen, omdat zij makkelijker veranderingen aan het model kunnen aanbrengen en na één of meerdere veranderingen het effect daarvan willen bekijken.

Wij verwachten ook dat de leerlingen die met de grafische representatie werken betere modellen maken omdat zij makkelijker in staat zijn om verschillende relaties in hun model uit te proberen en daardoor de kans op het opstellen van een goede relatie te vergroten. Maar wij verwachten wel dat de leerlingen in de tekstuele representatie de relaties die ze hebben gevonden preciezer zullen begrijpen omdat zij meer moeite moeten doen om achter het gezochte verband te komen. Daardoor zullen zij gedwongen zijn beter na te denken over hun bevindingen.

Voor beide representaties verwachten wij dat een systematische werkwijze bij het zoeken en toevoegen van relaties tot een beter resultaat zal leiden. Onder een systematische werkwijze verstaan wij hierbij dat de leerlingen stap voor stap een model opbouwen dat zij tussentijds laten doorrekenen en vergelijken met de systeemsimulatie en niet zomaar lukraak vergelijkingen en verbanden invullen.

6. Methode

Deelnemers

Tweeënveertig VWO scholieren (vijfde klas) van drie scholen in Amsterdam namen deel aan dit experiment als verplicht onderdeel van hun reguliere natuurkundeprogramma (profielen N&G en N&T). De leerlingen ontvingen bovendien fl. 30,- (± € 14) voor hun deelname. De leerlingen werkten samen in tweetallen/drietallen. De eenheden van onderzoek zijn daarom de 20 samenwerkende twee- en drietallen. Voor de leesbaarheid zal in het vervolg alleen sprake zijn van leerlingparen, waaronder dus ook de twee drietallen begrepen worden.

Procedure

De studie werd uitgevoerd in een random-groep voortoets design met twee experimentele condities: de 'tekstuele' conditie waarin gebruik werd gemaakt van de tekstuele representatie en de 'grafische' conditie waarin gebruik werd gemaakt van de grafische representatie.

Het experiment duurde in totaal drie uur. De leerlingen werden eerst op wetenschappelijke redeneervaardigheden getoetst. Dit duurde zo'n 20 minuten. De leerlingen werden vervolgens willekeurig toegewezen aan een van de twee modelleeromgevingen. Om kennis te maken met de modelleeromgeving werkten de leerlingen ongeveer 45 minuten individueel met een instructiemodel over 'zakgeld'. Na een korte pauze werden de leerlingen willekeurig ingedeeld in paren/drietallen voor de uiteindelijke modelleertaak (in iedere conditie negen paren en één drietal). Doordat het experiment in drie verschillende sessies voor de drie verschillende scholen is uitgevoerd, bestonden alle paren uit klasgenoten. De paren werkten ongeveer een uur samen aan één computer aan deze taak over de temperatuur in een huis. Voor deze taak kregen de leerlingen alleen een minimale instructie om ze zo vrij mogelijk te laten werken. In dit experiment is voor samenwerking gekozen om de verbalisatie van het denken en het geven van verklaringen en onderbouwingen te stimuleren.

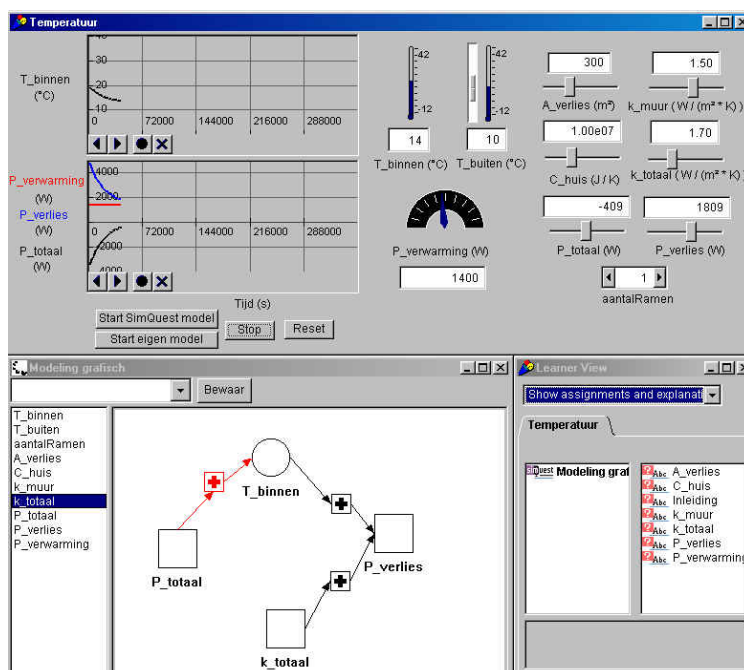
Materiaal

De deelnemers maakten gebruik van de tekstuele of de grafische versie van de modelleeromgeving om hun modellen te bouwen.

De modelleerinstrumenten voor beide representaties zijn geïmplementeerd in SimQuest, een auteursstelsel voor simulaties, ingebed in een omgeving die ontdekkend leren ondersteunt (van Joolingen & de Jong, 2003; van Joolingen, King, & de Jong, 1997).

Naast de modelleeromgeving bevat de SimQuest omgeving ook een ingebouwde simulatie van het domein dat gemodelleerd moet worden. Het domein van de simulatie was 'de temperatuur in een huis'. Met deze simulatie kunnen de leerlingen experimenteren. Zo kunnen zij bijvoorbeeld het aantal ramen van het huis, de buitentemperatuur of het door de verwarming afgegeven vermogen variëren en de invloed daarvan op de binnentemperatuur bekijken. De data kunnen ze gebruiken om ideeën te krijgen voor hun eigen model. Als ze hun model doorrekenen kunnen ze de uitvoer vervolgens weer vergelijken met de SimQuest-simulatie. Feitelijk zijn er in de omgeving dus twee modellen: het ingebouwde systeemmodel en het eigen model van de leerlingen (leerlingmodel). Als de leerlingen het systeemmodel laten doorrekenen noemen wat dat de 'systeemsimulatie' en als ze hun eigen model laten door-

rekenen noemen we dat de 'leerlingsimulatie'. De uitkomsten van de systeem-simulatie worden in een grafiek weergegeven. In dezelfde grafiek kunnen ook de uitkomsten van de leerlingsimulatie worden geprojecteerd. De taak van de leerlingen was om een model te maken waarvan de resultaten overeenstemmen met die van de systeemsimulatie. Voor de leerlingen moet het werken met systeemsimulatie het doen van werkelijke experimenten nabootsen. In Figuur 3 is de gebruikte computeromgeving te zien. Bovenaan staat het simulatievenster, waarin de resultaten van de systeem- en leerlingsimulaties bekeken kunnen worden. Met de verschillende schuifknoppen kunnen de leerlingen ook de waarden van de variabelen veranderen. Eronder is het modelleervenster te zien. Hierin kunnen de leerlingen hun eigen model bouwen met de variabelen die in het lijstje helemaal links te zien zijn. In het venster rechtsonder kunnen zij de uitleg bij een aantal van deze variabelen aanklikken.



Figuur 3. Schermafbeelding van de leeromgeving met de simulatie van de temperatuur in een huis. Boven het simulatievenster waarin de leerlingen experimenten kunnen uitvoeren en onder het modelvenster, in deze afbeelding de grafische versie.

Wanneer leerlingen werken met een dergelijke simulatie, moet de uitvoer van het model dat zij zelf maken, lijken op die van de simulatie, zodat de leerlingen die twee kunnen vergelijken. Om dat mogelijk te maken, is ervoor gekozen om de leerlingen een lijst aan te bieden met de variabelen die uiteindelijk in het model terecht moesten komen. Enerzijds kan hierdoor het programma automatisch de juiste variabelen in een grafiek zetten en anderzijds kan, voor de grafische versie, de ingebouwde simulator gaan zoeken naar overeenkom-

sten tussen de verbanden in het model van de leerlingen en het systeemmodel en daarmee de juiste kwantitatieve verbanden invullen. Naast de lijst met variabelen kregen de leerlingen ook een korte uitleg van de betekenis ervan.

Maten en Toetsen

De leerlingen werden eerst getoetst op wetenschappelijke redeneervaardigheden met een toets bestaande uit vertaalde vragen uit het gedeelte van de ACT (2001) over wetenschappelijk redeneren. De resultaten van deze toets zijn, samen met de cijfers van de leerlingen voor wis- en natuurkunde gebruikt om achteraf de gelijkheid van de twee experimentele groepen te controleren.

Gedurende de modelleertaak zijn alle acties van de leerlingen in de leeromgeving vastgelegd in een logfile en ook de gesprekken van de leerlingen onderling zijn opgenomen.

Om de kwaliteit van de modellen die de leerlingen hebben gemaakt te beoordelen is gebruik gemaakt van het aantal correcte en het aantal foute relaties dat de leerlingen in elk leerlingmodel gebruikten. Een nieuw leerlingmodel is geteld op ieder moment dat de leerlingen hun model lieten doorrekenen. Een relatie is gedefinieerd als de invloed die één variabele op een andere variabele heeft. Dus de vergelijking $F=k*x$ wordt geteld als twee relaties. Er is een invloed van 'k' op 'F', en een invloed van 'x' op 'F'. Omdat de leerlingen 11 variabelen hadden (een lijst van 10 variabelen plus de mogelijkheid om variabelen tijdsafhankelijk te maken door ze als voorraadgrootte te gebruiken) die ze in het model konden zetten, was het aantal mogelijke relaties 110 (elke variabele kan met elke andere worden verbonden, maar niet met zichzelf). Hiervan waren 11 correct. Voor elke relatie is ook de richting (positief of negatief) aangegeven. Het complete, correcte model bevat dus elf correcte relaties, elk met een correcte richting.

Om te kunnen corrigeren voor gokken en om ook gedeeltelijk juiste relaties mee te kunnen wegen is er vervolgens een modelscore berekend. De modelscore is een gewogen som van positieve bijdragen voor correcte relaties en aftrek voor incorrecte relaties. De weging is zo gekozen dat een perfect model een score 1.0 oplevert, een leeg model een score 0.0 en een willekeurig model ook een score in de buurt van de nul. Per leerlingmodel is een nieuwe modelscore berekend. Om te beoordelen hoe goed de leerlingen gemodelleerd hebben ligt het voor de hand om de hoogste modelscore te gebruiken, maar bij sommige leerlingen bleken grote fluctuaties in de modelscore voor te komen. Daarom is gemiddelde modelscore over alle leerlingmodellen wellicht een betere maat voor de kwaliteit van het modelleerproduct. Omdat de correlatie tussen de gemiddelde modelscore en de hoogste modelscore in zowel de tekstuele als de grafische groep zeer hoog was (0.76 voor tekst en 0.92 voor grafisch), gebruiken wij toch alleen de hoogste modelscore als maat voor de kwaliteit van het product. Maten uit de logfiles die als indicatie voor de kwaliteit van het modelleerproces van elk leerlingpaar zijn gebruikt, zijn onder meer het aantal simulaties dat de leerlingen bekeken, het gemiddeld aantal relaties in een model, het gemiddeld aantal veranderingen tussen twee modellen en welke relaties de leerlingen in hun modellen gebruikten. Vanwege het relatief kleine aantal proefpersonen in dit experiment (10 paren per conditie), zijn verschillen tussen groepen geanalyseerd met non-parametrische Mann-

Whitney U toetsen. Ook correlaties zijn non-parametrisch berekend (Spearman correlatie).

De verbale protocollen van de leerlingen zijn uitgetikt. Deze transcripties zijn gebruikt als ondersteuning bij de conclusies die wij trekken op basis van de kwantitatieve data.

7. Resultaten

De analyse van de voortoets-scores leverde geen significante verschillen in wetenschappelijke redeneervaardigheden op tussen de tekstuele en grafische groep. Ook het gemiddelde cijfer voor wiskunde en natuurkunde was gelijk in beide groepen. Hieruit concluderen we dat beide groepen gelijkwaardig zijn. Wij vonden geen correlatie tussen de gemiddelde score van de tweetallen op de wetenschappelijk redeneren toets en hun hoogste modelscore. Wij presenteren nu de resultaten van de analyse van de logfiles van de leerlingen. Om deze kwantitatieve bevindingen te illustreren en verder te onderbouwen zullen we ook enkele protocolfragmenten van de leerlingen gedurende de modelleertaak weergeven.

Modelleerproces en modelkwaliteit

Analyse van de data die gedurende het modelleren vastgelegd is laat zien dat de tweetallen die met de grafische representatie werken meer verschillende leerlingmodellen laten doorrekenen dan de tweetallen die met de tekstuele representatie werken (zie tabel 2). In hun modellen probeerden de leerlingparen die met de grafische representatie werkten ook meer verschillende relaties uit. Van de 110 mogelijke relaties probeerden de leerlingparen in de grafische conditie gemiddeld 21.6 verschillende relaties, terwijl de leerlingparen in de tekstconditie slechts 15.7 relaties uitprobeerden.

Tabel 2. Proces- en productmaten voor de tekstuele en de grafische modelrepresentatie (standaardafwijking tussen haken). U en p scores zijn verkregen met een non-parametrische Mann-Whitney toets.

	Tekst	Grafisch	U	p
<i>Modelleerproces maten</i>				
Aantal modellen	16.4 (14.4)	25.8 (11.1)	25	0.058
Aantal verschillende relaties in alle leerlingmodellen bij elkaar	15.7 (6.5)	21.6 (4.9)	22	0.034
Gemiddeld aantal relaties per model	4.3 (1.8)	8.7 (1.9)	4	0.001
Gemiddeld aantal veranderingen per model	2.7 (0.9)	2.8 (1.6)	46	0.76
<i>Model product maten</i>				
Hoogste model score	0.38 (0.21)	0.80 (0.19)	7	0.001

De tweetallen die met de grafische representatie werkten maakten ook complexere modellen. Gemiddeld bevatten hun modellen 8.73 relaties, terwijl de modellen van de tweetallen die met de tekstuele representatie werkten gemiddeld slechts 4.30 relaties bevatten. Het aantal veranderingen van relaties

Tabel 3. Spearman correlaties (non-parametrisch) van verschillende model proces maten met de hoogste modelscore in de tekst en de grafische conditie.

	Hoogste model score	
	Tekst	Grafisch
Gemiddeld aantal veranderingen per model	0.49 ($p = 0.15$)	-0.83 ($p = 0.003$)
Aantal verschillende relaties in alle modellen bij elkaar	0.45 ($p = 0.19$)	-0.58 ($p=0.077$)

van de twee groepen tussen twee modellen was niet significant verschillend. De modellen van de tweetallen in de grafische conditie waren niet alleen complexer, ze scoorden ook beter op modelkwaliteit.

In tabel 3 zijn de correlaties te zien tussen een aantal procesmaten en de modelscore. Er zijn geen significante correlaties in de tekstuele conditie, maar in de grafische conditie is er een vrij sterke negatieve correlatie tussen het gemiddeld aantal veranderingen tussen twee modellen en de hoogst behaalde modelscore. In de grafische conditie is er ook een marginaal significante negatieve correlatie tussen het aantal verschillende relaties dat wordt uitgetoond en de modelscore.

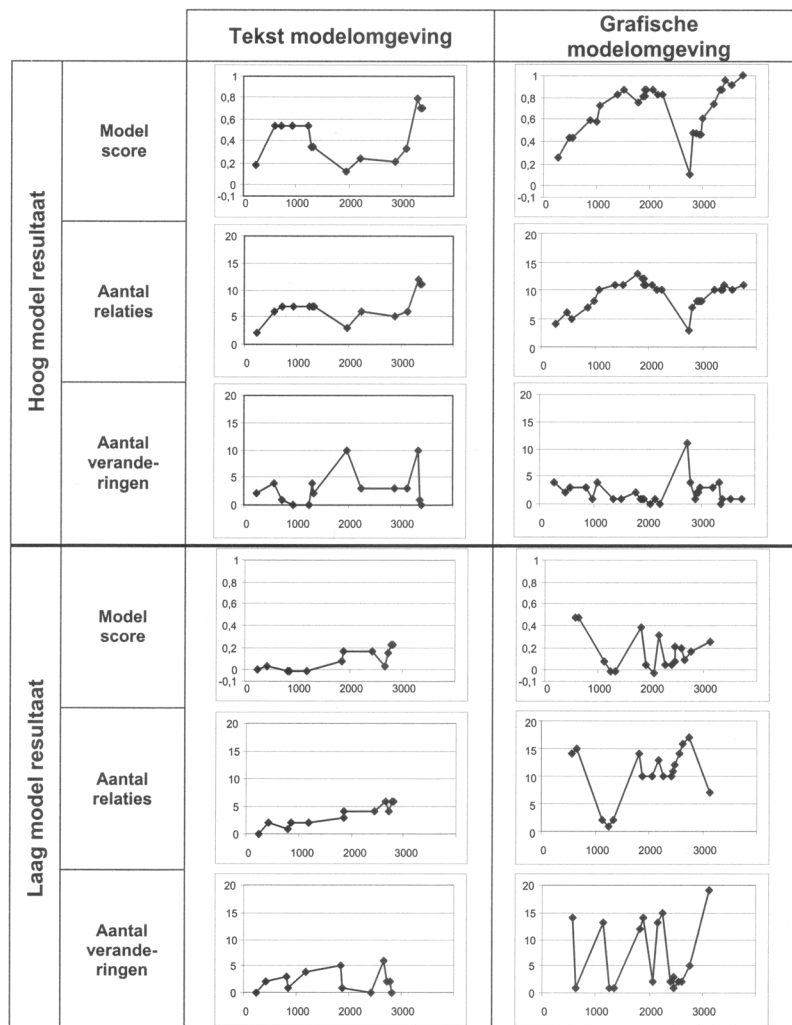
Modelleergedrag

Door de totale groep te splitsen op de mediaan van de modelscore, zijn de deelnemers ingedeeld in hoog- en laagscorende paren (de mediaanscore was 0.58 voor de totale groep). In de grafische conditie zijn op deze manier acht leerlingparen geïdentificeerd als hoogscorend en twee als laagscorend. In de tekstuele groep scoorden twee paren hoog en de overige acht scoorden laag. We zullen nu in meer detail naar het gedrag van vier typische tweetallen kijken (zie figuur 4). Twee van deze paren werkten met de grafische modelomgeving en de andere twee werkten met de tekstuele omgeving.

Bij het hoog scorende leerlingpaar in de grafische conditie (boven rechts) zien we een voortdurende stijging in de modelscore. Over het algemeen verandert dit leerlingpaar maar weinig relaties tussen twee opeenvolgende modellen. Het aantal relaties in de modellen neemt geleidelijk toe. Een keer is het aantal veranderingen zeer groot; hier gooien ze het hele model weg en beginnen ze opnieuw. Het laagscorende leerlingpaar in de grafische conditie verandert steeds veel relaties tussen opeenvolgende modellen. Zij beginnen meteen met 15 relaties in hun eerste model. Hun score verandert niet geleidelijk, maar gaat bijna random op en neer.

Het hoogscorende tekstuele leerlingpaar (boven links) lijkt ook geen systematische aanpak te volgen. Dit blijkt daaruit dat zij relatief veel veranderingen aanbrengen tussen twee opeenvolgende modellen en dat hun score ook niet de geleidelijke toename laat zien die er wel is bij het hoogscorende grafische leerlingpaar. Toch slagen zij erin een redelijke score te behalen. De leerlingen in de laagscorende tekst groep gebruikten maar weinig relaties in hun modellen (maximaal zes). Zij veranderen weinig tussen twee modellen en ze voeren ook weinig verschillende modellen uit, dus zij proberen ook maar een klein aantal mogelijke relaties uit.

Van deze vier leerlingparen lijkt het hoogscorende grafische paar de beste werkwijze te volgen. Er zijn geen vreemde fluctuaties in de modelscore te zien en zij veranderen niet al te veel tussen twee opeenvolgende modellen.



Figuur 4. Modelleergedrag van vier typische leerlingparen. In elke cel boven elkaar de score over tijd, het aantal modelrelaties over tijd en het aantal veranderingen tussen twee modellen.

Gebruik van de simulatie

Hoewel het aantal simulaties dat de tweetallen uitvoerden groter was in de grafische representatie (zie tabel 4) was de totale tijd die de leerlingen besteedden aan zowel de systeem- als de leerlingsimulatie niet significant verschillend tussen de twee representaties. Dus de tweetallen in de grafische omgeving voerden weliswaar meer maar kortere simulaties uit. Het gemiddeld aantal simulaties (zowel systeem als leerling) dat de tweetallen per model uitvoerden was in beide condities laag. De tijd die de leerlingen nodig hadden

Tabel 4. Verschillen tussen leerlingparen die met de tekstuele en de grafische modelrepresentatie werkten in het gebruik van de simulatie (standaardafwijking tussen haakjes). U en p scores zijn verkregen met een non-parametrische Mann-Whitney toets.

	Tekst	Grafisch	U	p
Aantal systeemsimulaties	17.9 (11.7)	28.3 (12.6)	26.5	0.075
Totale tijd besteed aan systeemsimulaties	10.8 (8.0)	9.8 (3.9)	49	0.94
Aantal leerlingsimulaties	21.7 (14.7)	39.0 (19.0)	20	0.023
Totale tijd besteed aan leerlingsimulaties	7.3 (3.5)	10.8 (4.1)	24	0.049
Aantal simulaties (systeem en leerling) per gecompileerd model	3.2 (1.8)	2.7 (0.6)	49	0.97
Tijd tot het eerste leerlingmodel	3.7 (2.1)	6.7(4.3)	23.5	0.045

Tabel 4. Spearman correlaties (non-parametrisch) van verschillende maten voor simulatiegebruik met de hoogste modelscore in de tekst en de grafische conditie.

	Hoogste model score	
	Tekst	Grafisch
Totale tijd besteed aan systeemsimulaties	-0.22 (p = 0.53)	0.38 (p = 0.28)
Totale tijd besteed aan leerlingsimulaties	-0.32 (p = 0.37)	-0.32 (p=0.36)

voordat zij hun eerste leerlingmodel runden was significant korter voor de leerlingen in de tekstconditie. Correlaties tussen maten voor het gebruik van de simulatie en de hoogste modelscore bleken in beide condities niet significant te zijn (zie tabel 5)

Voorbeelden van redeneren van leerlingen

Ook in de protocollen vonden wij aanwijzingen dat de verschillende representaties de leerlingen op andere manieren lieten nadenken. Het volgende protocolfragment geeft een voorbeeld hoe leerlingen in de grafische conditie redeneren terwijl zij met de systeemsimulatie experimenteren.

Leerlingen starten een simulatie van het systeemmodel (het SimQuest model) en spelen met variabelen

- A: OK, even kijken. Je ziet dat P_totaal gaat omhoog, P_verlies gaat naar beneden.
 B: Ja. P_totaal ... P_verlies en T_binnen.
 A: Probeer eens wat je hier kunt veranderen, SimQuest model. Je kunt gewoon ... met die schuifjes.
 A: Nee, die niet, die niet, die niet ... Die. C_huis. A_verlies, A_verlies?
 B: Zeker

- A: K_muur? K_muur?
 B: Die ook
 A: K_muur heeft een verband met k_totaal. K_muur omhoog, k_totaal omhoog.
 B: Als k_totaal omhoog gaat, gaat P_totaal ... waarheen? Omhoog.
 A: En temperatuur? Ik bedoel temperatuur buiten? Temperatuur buiten, OK, ehmmmm temperatuur buiten dat...
 B: Aantal ramen
 A: {schrijft} aantal ramen
 B: Dat heeft invloed op k_totaal.
 A: Wacht even, wat heft het?
 B: Het heeft invloed op k_totaal.
 A: {schrijft} K_totaal, ja
 B: K_totaal heeft invloed op P_totaal
 (Grafische representatie, hoge modelscore, 1121G)

In dit protocolfragment kijken de leerlingen op een puur fenomenologische manier naar wat er in de systeemsimulatie gebeurt wanneer zij de waarde van een inputvariabele veranderen. Ze geven geen causale interpretatie aan deze resultaten; zij kijken alleen maar naar correlaties tussen twee variabelen. Ook springen zij snel van de ene naar de andere relatie. Na afloop van dit fragment voegden de leerlingen de relaties die zij hadden gevonden snel toe aan hun model. In de tekstuele omgeving kon een ander soort gedrag worden geobserveerd. Het volgende protocolfragment laat de redeneerwijze van een leerlingpaar in de tekstuele conditie zien. De leerlingen blijken niet in staat om een relatie die zij hebben ontdekt in hun model te implementeren. (O = de onderzoeker).

- B: Laten we beginnen met P_verwarming, want... als die groter wordt, dan ...
 A: Huh? Maar dat kan niet
 B: {Vraagt aan de onderzoeker} Dus je schrijft bijvoorbeeld... als de verwarming groter wordt, wordt de temperatuur groter ... als die laag is wordt de temperatuur lager
 O: Ja?
 A: Dus hoe schrijf ik dat op?
 O: Wat wil je precies zeggen? Want dit is een tekstomgeving. Je moet precies zijn in wat je wilt zeggen.
 B: Je kan niet zeggen hoe groter P_verwarming ...
 O: Nee, je moet precies kijken wat er gebeurt
 (Tekstrepresentatie, lage modelscore, 1703T)

Deze leerlingen hadden moeite om hun observaties om te zetten in vergelijkingen die zij in hun model konden invoegen. Als zij met de grafische modelomgeving hadden gewerkt, hadden zij gemakkelijk een relatie kunnen tekenen tussen de verwarming en de binnentemperatuur, zonder over de exacte formulering na te hoeven denken. Ook kwamen leerlingen in de tekstuele representatie soms aan met formules die zij zich toevallig herinnerden van hun natuurkundelessen. Een leerling kwam bijvoorbeeld plotseling met de opmerking 'oh, ik weet het weer P is U maal I' (het vermogen is de voltage

maal de stroom). Deze formule bevat wel de P van vermogen, maar hij is afkomstig uit het domein van de elektriciteitsleer in plaats van de warmteleer. De leerlingen die met de tekstuele representatie werkten waren vaak langdurig bezig met de wiskunde achter het model, zoals in het volgende fragment te zien is.

- A: Dus P_{verlies} is...
- B: Minder
- A: Maar wat voor soort relatie is het? Is het niet een ehh hoe heet het, een exponentiële? Niet? Dat is zo'n soort formule; we moeten een exponentiële formule maken toch?
- B: Waarom gaan we niet ...
- A: Ja, dat is waarom ik zei exponentieel dinget. Hij... maar dat klopt niet, hé? Dat je dichter bij een waarde komt, dus de formule... Nee, het is geen exponentieel, het is nul.
- B: Dan moet het blijven
- A: Nee, omdat dan is het een hoe heet het...
- B: Asymmetrische
- A: Dan is het een dal, dal, ja dan is het een asymmetrische. Het is niet x kwadraat. Dan krijg je een dalparabool toch? Dat is het niet.
(Tekstrepresentatie, lage modelscore, 1116T)

Deze leerlingen weten niet precies wat zij in hun model willen uitdrukken, maar zij weten wel dat zij met een exacte vergelijking moeten komen. Vervolgens herinneren zij zich verschillende grafiekvormen uit hun wiskundelessen. In de grafische omgeving daarentegen hebben juist leerlingen die wel een exacte wiskundige vergelijking vinden moeite om deze in het model te zetten, zoals in het volgende fragment te zien is.

- A: En... Even kijken, ik zie dat in ieder geval P_{totaal} en P_{verlies} zijn ... samen ... zijn ze $P_{\text{verwarming}}$
- B: Ja, maar hoe wil je dit... we kunnen alleen twee-verbanden maken toch? Positieve of negatieve invloed?

Tien minuten later

- A: Nee...ja...ik weet het niet. In ieder geval weet ik dat P_{totaal} en P_{verlies} samen $P_{\text{verwarming}}$ zijn

Vier minuten later

- A: Oh en ik zag net nog iets anders. Oh ja, ik denk dat P_{totaal} $P_{\text{verwarming}}$ min P_{verlies} is

Leerlingen voegen voor het eerst relaties toe tussen $P_{\text{verwarming}}$ en P_{totaal} en tussen P_{verlies} en P_{totaal} toe aan hun model. Dan voeren ze een simulatie uit van hun model

- A: Start eigen model... Klopt dit?

- A: Ja, dit is goed nu OK, dat is beter. Hier als ik 500 heb (de waarde van $P_{\text{verwarming}}$) hier 510 (de waarde van P_{verlies}) en hier min tien (de waarde van P_{totaal}). Deze klopt nu.

(Grafische representatie, hoge modelscore, 1723G)

Deze leerlingen hadden ongeveer 15 minuten nodig om een vergelijking die zij hadden gevonden te implementeren in hun grafische model. Waarschijnlijk

zou dit een stuk sneller gegaan zijn wanneer zij met de tekstuele omgeving gewerkt hadden. Leerling A uit dit fragment zegt ook op een gegeven moment dat hij liever met de tekstuele omgeving had gewerkt 'omdat je dan tenminste ziet wat je aan het doen bent'. In dit fragment is ook te zien dat de leerlingen een deelmodel toetsen op een deelresultaat. Zij voegen relaties tussen $P_{\text{verwarming}}$, P_{verlies} en P_{totaal} toe en verwachten ook dat alleen dit deel van het model nu correct zal werken. Dit gedrag is te zien bij leerlingparen die hoge modelscores haalden. Andere groepen verwachten soms dat een model precies hetzelfde zal doen als de simulatie, hoewel zij een model runnen waarin maar enkele variabelen zijn opgenomen. Dit is te zien in het volgende fragment van een paar dat met de tekstuele representatie werkt.

Leerlingen voeren een model uit met daarin alleen de vergelijking: $k_{\text{totaal}} = P_{\text{totaal}} / (A_{\text{verlies}} - T_{\text{buiten}})$

D: En dit is verwarming...Verander de temperatuur even?

A: De temperatuur ehmm

D: Misschien kun ja met dat ehmm, want als de temperatuur verandert moet alles veranderen.

A: Dit stomme programma werkt gewoon niet

D: (*Lacht*) Ooooh, het zou moeten veranderen!

A: Ja!

(Tekstrepresentatie, lage modelscore, 3103T)

Deze leerlingen verwachtten blijkbaar dat hun model hetzelfde gedrag zou vertonen dat ze in de systeemsimulatie gezien hadden, hoewel de variabelen waarvan zij dachten dat die zouden veranderen ('alles') nog niet in hun model geïmplementeerd waren. De leerlingen raakten gefrustreerd omdat het model niet deed wat zij verwachtten dat het zou moeten doen. Negen van de tien paren die met de tekstuele omgeving werkten lieten een dergelijke frustratie tenminste eenmaal gedurende de sessie zien. Bij de grafische representatie was dit in slechts drie van de negen groepen te zien.

8. Conclusie en discussie

Het doel van deze studie was om de invloed van verschillende modelrepresentaties op het modelleerproces en de resultaten ervan te onderzoeken. Leerlingen werkten in tweetallen in een computerleeromgeving waar zij met een met een systeemsimulatie konden experimenteren en op basis daarvan een model van het domein (warmte en energie) moesten opbouwen. De twee gebruikte modelrepresentaties zijn gekozen om de verschillen voldoende duidelijk te maken.

Uit onze resultaten blijkt dat de verschillende representaties inderdaad verschillend gedrag oproepen. De leerlingen die met de grafische representatie werken scoren hoger op onze score voor modelkwaliteit en maken ook complexere modellen. Leerlingen lijken dus makkelijker uit de voeten te kunnen met de grafische representatie. Uit de gespreksprotocollen blijkt echter dat ze vaak toch niet helemaal begrijpen wat ze aan het doen zijn. Leerlingen switchen makkelijk van relatie naar relatie, zonder er dieper over na te denken. Deze bevindingen komen overeen met onze verwachtingen. In de tekstrepresentatie ontstaan problemen vaak omdat leerlingen niet voldoende vertrouwd zijn met het zelf formuleren van vergelijkingen en het ontwerpen

van experimenten. In de tekstrepresentatie is dit een grotere belemmering op het maken van een werkend model.

In de grafische conditie is er een vrij sterke negatieve correlatie tussen het gemiddelde aantal veranderingen tussen twee modellen en de hoogst behaalde modelscore. Een systematischere werkwijze lijkt hier dus zoals verwacht te leiden tot betere modellen. In de tekstconditie is deze correlatie niet aanwezig. Uit de protocollen van de tekstgroep blijkt dat een deel van de leerlingen wel degelijk systematisch redeneert. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat ook de leerlingen die systematisch werken met de systeemsimulatie slecht in staat zijn om hun bevindingen om te zetten in vergelijkingen.

Ook is er in de grafische conditie een sterk negatieve correlatie tussen het aantal verschillende relaties, dat wordt uitprobeerd en de modelscore. Het testen van meer relaties leidt dus niet noodzakelijk tot een betere modelscore. Een oorzaak kan zijn dat leerlingen die heel veel relaties uitproberen niet systematisch bezig zijn en veel relaties maken zonder onderbouwing. Deze leerlingen scoren minder goed op de modelscore. Ook dit klopt met onze verwachting dat een systematischere werkwijze leidt tot een beter modelresultaat. In de tekstconditie komen onze verwachtingen over de systematische werkwijze niet uit. Een oorzaak hiervan is waarschijnlijk het probleem dat de leerlingen hebben met het formuleren van vergelijkingen.

De simulaties van het achterliggende systeemmodel en het eigen model zijn door alle leerlingen maar minimaal gebruikt. Een mogelijke oorzaak hiervan is dat leerlingen niet voldoende vertrouwd zijn met het gebruik van dergelijke experimentele data. Daardoor vinden wij waarschijnlijk ook geen significante correlaties tussen het gebruik van de simulaties en de hoogte van de modelscore. De verwachtingen die wij hadden over het gebruik van de systeemsimulatie komen dan ook niet uit. Wel kunnen de leerlingen in de grafische conditie inderdaad de simulatie van het eigen model veel vaker omdat zij ook inderdaad veel meer verschillende modellen maken.

Door het gebruik van de systeemsimulatie en de voorgegeven lijst met variabelen is de modelleertaak niet erg open. De leerlingen zijn hierdoor op zoek naar 'de goede' oplossing, en lijken de taak ook meer op te vatten als een puzzel waarin je de stukjes op de juiste manier moeten worden verbonden, dan als een betekenisgevingstaak. Deze indruk wordt ook ondersteund door opmerkingen die de leerlingen maken als: 'laten we C_huis er ook maar inzetten, dan zien ze tenminste dat we daar ook aan hebben gedacht'. Wel moeten leerlingen nog steeds zoals ook in meer open modelleertaken hun bevindingen op een systematische manier in een model proberen te representeren.

De leerlingen in onze studie waren beginners op het gebied van modelleren en maakten voor het eerst kennis met het gebruikte formalisme. Het tekstformalisme lijkt weliswaar op de vergelijkingen die zij kennen, maar oefening in het zelf opstellen van deze vergelijkingen hebben de leerlingen vaak niet. De gevonden resultaten zijn daarom niet zonder meer van toepassing voor gevorderde modelleerders. Zij zouden behoefte kunnen hebben aan geavanceerdere functionaliteit dan beginners, die in andere representaties beter tot uitdrukking kan komen.

Ook de manier waarop de opdracht gesteld wordt is belangrijk voor de betekenisgeving door de leerlingen. In de opzet die wij hebben gebruikt, waarin de leerlingen een lijst kregen waarin de variabelen stonden die in het model

moesten komen, blijken leerlingen veel moeite te hebben met het begrijpen waar deze variabelen voor staan. Zij kregen er weliswaar een korte uitleg bij maar die bleek vaak niet voldoende om ze de variabelen zinvol te laten gebruiken. Dat verhoogt het “puzzelkarakter” van de opdracht, omdat zij dan het gevoel hebben dat zij betekenisloze dingen moeten combineren. Het lijkt daarom zinvoller om de leerlingen zelf variabelen te laten bedenken. Daardoor krijgen de variabelen meer betekenis voor de leerlingen en zijn het niet zo maar puzzelstukken. Dit zou wel het vergelijken van het leerlingmodel met een systeemmodel een stuk moeilijker kunnen maken. Een alternatief zou kunnen zijn wel een vaststaande lijst te presenteren, die echter in een voorafgaand klassengesprek al bediscussieerd is.

Bij het inzetten van modelleeromgevingen in de klas moet worden gekeken naar het doel waarvoor je ze wilt gebruiken. Op het moment dat het voornamelijk gaat om de globale structuur van een domein lijkt het meer voor de hand liggend om een omgeving te gebruiken waarin de leerlingen niet gedwongen zijn om alle vergelijkingen in te vullen, zoals de door ons gebruikte grafische omgeving. In een dergelijke omgeving kunnen ze makkelijk modellen opstellen, maar er is wel een gevaar dat de ze niet voldoende diep nadenken over de relaties die ze in het model gebruiken. Dit zou kunnen worden tegengegaan door de leerlingen expliciet om uitleg te vragen naar wat zij doen. Maar wanneer het gaat om het tot in de details begrijpen van een onderwerp, lijkt de kwalitatieve (semi-kwantitatieve) aanpak te mager. Een combinatievorm van beide representaties waarin eerst een grafisch model getekend kan worden, dat bij voorkeur al wel uitvoerbaar is, en later kan worden ingevuld met de precieze vergelijkingen lijkt ideaal.

Daarnaast is belangrijk dat de taak en de omgeving het voor de leerlingen mogelijk maakt om betekenisvol bezig te zijn. Ook de representatie moet daarop worden afgestemd. Op het moment dat de leerlingen het formalisme van de representatie goed begrijpen zullen zij met die representatie waarschijnlijk goed uit de voeten kunnen. Hoe lang het duurt, zal voor elk representatieformalisme verschillend zijn. Goed begrip van het formalisme van de modelomgeving is bijzonder belangrijk voor zinvol modelleren. Daarom zou modelleren eigenlijk niet zoals hier als eenmalige activiteit van leerlingen alleen achter de computer moeten worden ingezet, maar veel meer onderdeel moeten worden van de behandeling van verschillende onderwerpen uit het curriculum waarbij door de leerlingen meer of minder zelfstandig een model gemaakt wordt. Uit onderzoek naar dergelijke toepassingen van modelleren zou kunnen blijken hoe leerlingen het beste in staat kunnen worden gesteld de bij het modelleren behorende vaardigheden te leren.

In hoeverre modelleren daadwerkelijk de geclaimde voordelen waarmaakt, wordt uit dit experiment niet duidelijk. Daarvoor zouden in vervolgonderzoek vergelijkingen moeten worden gemaakt met leerlingen die niet met een modelleeromgeving werken.

Correspondentie over dit artikel aan Simone Löhner, Instituut voor de Lerarenopleiding, Universiteit van Amsterdam, Wibautstraat 2-4, 1091 GM Amsterdam. E-mail: simone@ilo.uva.nl. Dit project wordt financieel ondersteund door NWO (projectnummer 411.21.115).

English summary

The influence of representations on students modeling behaviour.

In many schools the Coach modelling environment is used for creating computer models. Besides Coach, however, also many other modeling environments are available. To be able to determine the most feasible program for students, it is necessary to understand how the properties of the modeling environment influence students modelling behaviour. In this study we compare the behaviour of students working with modelling environments that differ on several aspects. In the first, text based, environment students are required to fill in quantitative equations; while in the other, graphical, environment the student only qualitatively links variables. The different representations are found to evoke different behaviour. While students working with the graphical representation score higher on our model score, they work non-systematic and their reasoning is quite shallow. The textual representation on the other hand offers the possibility for greater profundity, our study shows that the students often get stuck in this environment and become frustrated. Therefore, for meaningful use of modelling in education it seems necessary to combine aspects of both representations. Also students need support in reaching a certain depth of reasoning as well as in being able to work with the modelling representation.

Literatuur

- ACT, Inc. (2001). *ACT Assessment Homepage*. Opgegehaald 03-01-2001 van <http://www.act.org/aap/index.html>.
- Broenink, J. F. (1999). 20-SIM Software for Hierarchical Bond-Graph/Block Diagram Models. *Simulation Practice and Theory*, 7, 481-492.
- DiSessa, A. A., Abelson, H. & Ploger, D. (1991). An Overview of Boxer. *Journal of Mathematical Behavior*, 10, 3-15.
- Doerr, H. M. (1995). *An Integrated Approach to Mathematical Modeling: A Classroom Study*. Paper gepresenteerd op het jaarcongres van de American Educational Research Association, San Francisco, CA, April 18-22.
- Duarte, V. T. (1997, 26-29 April). *Modellus: Using a Computational Tool to Change the Teaching and Learning of Mathematics and Science*. Paper gepresenteerd op het UNESCO Colloquium 'New Technologies and The Role of the Teacher', Open University, Milton Keynes, UK.
- Hestenes, D. (1987). Towards a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55, 440-454.
- Hestenes, D. (1992). Modeling Games in the Newtonian World. *American Journal of Physics*, 60, 732-748.
- Hogan, K. & Thomas, D. (2001). Cognitive Comparisons of Students' Systems Modeling in Ecology. *Journal of Science Education and Technology*, 10, 319-344.
- Jackson, S. L., Stratford, S. J., Krajcik, J. S. & Soloway, E. (1996). Making Dynamic Modeling Accessible to Pre-College Science Students. *Interactive Learning Environments*, 4, 233-257.
- Joolingen, W. R. van & Jong, T. de (2003). SimQuest, authoring educational simulations. In T. Murray & S. Blessing & S. Ainsworth (Eds.), *Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environments: Toward cost-effective adaptive, interactive, and intelligent educational software*. (pp. 1-31). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer

- Joolingen, W. R. van, King, S. & Jong, T. de (1997). The SimQuest authoring system for simulation-based discovery environments. In B. Du Boulay & R. Mizoguchi (Eds.), *Knowledge and media in learning systems* (pp. 79-87). Amsterdam: IOS.
- 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.
- Larkin, J. H. & Simon, H. A. (1987). Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. *Cognitive Science*, 11, 65-99.
- Mandinach, E. B. (1988). *The Cognitive Effects of Simulation-Modeling Software and Systems Thinking on Learning and Achievement*. Paper presented at the Paper gepresenteerd op het jaarcongres van de American Educational Research Association, New Orleans April 5-9.
- Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J. & Tompsett, C. (Eds.). (1994). *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum*. London: The Falmer Press.
- Neumann, E. K., Feurzeig, W., Garik, P. & Collins, A. (1997). *Object-Object Transformation Language and its Application to Games for Learning Computational Science Modeling*. Paper gepresenteerd op de Sixth European LOGO Conference.
- Ogborn, J. (1998). Cognitive development and qualitative modelling. *Journal of Computer Assisted Learning*, 14, 292-307.
- O'Hara, K. P. & Payne, S. J. (1998). The Effects of Operator Implementation Cost on Planfulness of Problem Solving and Learning. *Cognitive Psychology*, 35, 34-70.
- Penner, D. E. (2001). Cognition, Computers and Synthetic Science: Building Knowledge and Meaning Through Modeling. *Review of Research in Education*, 25, 1-36.
- Riley, D. (1990). Learning about Systems by Making Models. *Computers in Education*, 13, 255-263.
- Robson, K. & Wong, D. (1985). Teaching and Learning with the Dynamical Modelling System. *School Science Review*, 66, 682-695.
- Schär, S. G., Schierz, C., Stoll, F. & Krueger, H. (1997). The Effect of the Interface on Learning Style in a Simulation-Based Situation. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 9, 235-253.
- Schecker, H. (1993). Learning Physics by Making Models. *Physics Education*, 28, 102-106.
- Schecker, H. P. (1998). *Physik - Modellieren, Grafikorientierte Modelbildungssysteme im Physikunterricht*. Stuttgart, Germany: Ernst Klett Verlag GmbH.
- Shrader, G., Lindgren, R. & Sherin, B. (2000, April 24-28). *A pedagogically-oriented analysis of the modeling process*. Paper gepresenteerd op het jaarcongres van de American Educational Research Association, New Orleans, Louisiana.
- Spector, J. M. (2000). System dynamics and interactive learning environments: Lessons learned and implications for the future. *Simulation & Gaming*, 31, 528-535.
- Steed, M. (1992). Stella, A Simulation Construction Kit: Cognitive Process and Educational Implications. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 11, 39-52.

- Suthers, D. D. (1999). *Effects of Alternate Representations of Evidential Relations on Collaborative Learning Discourse*. Paper gepresenteerd op de Computer Support for Collaborative Learning (CSCL) conferentie, Stanford University, Palo Alto, CA, Dec. 12 - 15.
- Wild, M. (1996). Mental Models and Computer Modelling. *Journal of Computer Assisted Learning*, 12, 10-21.
- Zhang, J. (1997). The Nature of External Representations in Problem Solving. *Cognitive Science*, 21, 179-217.