

Commentaar: modelleren als authentieke activiteit

Wouter R. van Joolingen
Instituut voor de Lerarenopleiding
Universiteit van Amsterdam

De drie artikelen in dit themanummer over modelleren verschillen enigszins in hun opvattingen over wat modelleren is, waar het voor dient en hoe het kan worden onderzocht. In onderstaand commentaar zal ik enkele opvallende verschillen en overeenkomsten tussen de bijdragen bespreken.

Prins et al. grijpen terug op de kenmerken van Bertels en Nauta (1969) om te beschrijven wat de relatie is van een model met het gemodelleerde object. De genoemde kenmerken gelden inderdaad voor modellen, maar zijn nog weinig specifiek over de vorm van modelleren die meestal in de natuurwetenschappen wordt gebruikt, namelijk die van de *wiskundige modellen*. Uiteraard worden bijvoorbeeld schaalmodellen ook gebruikt, maar die vormen niet de focus van de studies in dit themanummer. Door dit gegeven mee te nemen, zijn we in staat meer te zeggen over de relatie model-object evenals de centrale concepten in modellen.

Het wiskundige karakter van een model (en daarmee bedoel ik niet dat modellen noodzakelijk kwantitatief zijn) legt een bepaalde aard op aan de relatie tussen model en object. Het model maakt gebruik van variabelen, die gekoppeld zijn aan waargenomen grootheden in de natuurwetenschappelijke werkelijkheid. In een model van een beweging is de variabele "positie" gekoppeld aan de gemeten afstand in de werkelijkheid. Wat we ons niet altijd realiseren is dat wij grootheden die we vervolgens in onze modellen als "hulpgrootheden" introduceren ook weer betekenis gaan geven in de fysische werkelijkheid. Op de stippenkaart die Doorman gebruikt bijvoorbeeld is positie de enige direct waarneembare grootheid; snelheid is een 'hulpgrootheid' die kan worden berekend met een formule afkomstig uit het onderliggende model.

Deze observatie maakt duidelijk dat de relatie model-object complexer is dan blijkt uit de opsomming van Prins et al. Het model stuurt onze waarneming en ons denken over de waarneembare werkelijkheid, en stelt ons zelfs in staat die werkelijkheid te verrijken met concepten die wij zelf uitvinden. Juist deze eigenschap van wiskundige modellen in de natuurwetenschappen heeft ons in staat gesteld de wetenschap te brengen tot wat zij nu is. Het in deze vorm denken met modellen stelt ons in staat de natuur te beschrijven in termen als snelheid, kracht, energie, etc., termen die geïntroduceerd zijn als modelbegrip, maar die inmiddels door vrijwel iedereen gezien worden als werkelijk bestaande eigenschappen van objecten.

De natuurwetenschappen op school onderwijzen ons modellen, en in die zin bestaat dit gehele onderwijs dus uit modelleren. Echter, in de regel zijn het slechts de *resultaten* van een modelleerproces die onderwerp van onderwijs zijn, niet het proces zelf. We leren het model van Newton om de wereld te kunnen beschrijven en begrijpen in kinematische en dynamische termen, en het model van de thermodynamica om te kunnen denken in termen van temperatuur en energie. Met de term "modelleren" willen we echter wat zuiniger

zijn door deze alleen te betrekken op die vormen van onderwijs waarin het *proces* van modelleren centraal staat.

Modelleeronderwijs in deze beperkte zin biedt de gelegenheid om leerlingen zelf modellen te laten construeren. Modern modelleergereedschap (Löhner et al. geven daar een mooi overzicht van) stelt leerlingen in staat om met relatief weinig wiskundige kennis modellen te construeren en de gevolgen daarvan door te rekenen. De focus kan dan liggen bij de structuur van het model en bij het toetsen van het model aan de waarnemingen, en minder bij het relatief moeizame doorrekenen van het model.

Essentieel aan modelleren is, mijns inziens, de eigen activiteit en creativiteit van de leerling. Het zoeken naar een geschikt model voor een bepaalde situatie is een proces met een duidelijke divergente component: er zijn meerdere “goede” en minder goede modellen mogelijk. Aan de leerling is het om te onderzoeken welke modellen voldoen en welke niet. Onder andere door modelresultaten – de door het model berekende en dus voorspelde uitkomsten van experimenten – te vergelijken met verwachtingen of verzamelde data.

Zowel Löhner als Prins zetten een modelleergereedschap in voor de constructie van een model over een “alledaags” onderwerp. Leerlingen construeren modellen en laten die door de tool doorrekenen. Doorman tracht voor zijn onderwerp leerlingen het proces door te laten maken van de constructie van modellen, door daarbij het begrip snelheid te laten heruitvinden. Hier zien we verschillen in doel en methode. Terwijl bij Prins en Löhner de leerlingen een modelleertool gebruiken om hun eigen ideeën vorm te geven in een uitvoerbaar model, tekent de tool van Doorman een aantal vooraf vastgelegde grafieken op basis van door de leerling ingevoerde data. Doorman benadrukt de heruitvinding van een bestaand model, volgens een van te voren uitgedacht traject, het “hypothetisch leertraject”. Op twee manieren doet Doorman daarmee geen recht aan modelleren als instrument voor het onderwijs. Ten eerste wordt niet de kracht van modelleertools met betrekking tot het implementeren van een empirische cyclus van construeren van een model, genereren van uitkomsten en evaluatie van die uitkomsten benut. Ten tweede is de veronderstelling van het bestaan van een hypothetisch leertraject strijdig met de essentie van modelleren, waar immers studenten zelf onverwachte oplossingen kunnen genereren voor de problemen die ze onderzoeken. Het grootste probleem is daarbij dat Doorman claimt dat de intuïtie van leerlingen te voorspellen is, blijkt uit citaten als: “... het meten van afstanden tussen de opeenvolgende posities een *intuïtieve* ingang vormt voor ...” en “Flits sluit aan bij die *intuïtieve* strategie ...” (mijn cursivering). Zonder de waarde te willen onderschatten van het proberen aan te sluiten bij intuïtieve strategieën, denk ik dat modelleeromgevingen nu juist in staat zijn om de leerlingen hun eigen intuïtie te laten uitdrukken en op die manier verschillende intuïties toe te laten die getest kunnen worden tegen de (tussentijdse) uitkomsten van het modelleerproces.

In de geschiedenis van de natuurwetenschappen is het geen zeldzaamheid dat er op een gegeven moment meerdere modellen van een bepaald verschijnsel in omloop waren waarvan dan later één boven kwam drijven of de equivalentie van verschillende modellen werd aangetoond. Een soortgelijke situatie kan in de klas ontstaan als leerlingen verschillende computermodellen ontwikkeld hebben. De aanwezigheid van verschillende modellen en hun onderlinge verhouding kan onderwerp worden van verdere studie door de leerlingen, begeleid door de docent. Vragen als “welk model is eigenlijk beter”

en “zijn deze modellen wel echt verschillend” kunnen uitdagende opdrachten voor leerlingen bieden, die hen bewustmaken van het modelkarakter van natuurwetenschappelijke kennis.

Een aantal redenen voor het gebruik van modellen in het onderwijs heb ik hierboven al genoemd: bewustwording van het modelkarakter van de natuurwetenschappen, de ontstaansgeschiedenis van feiten en formules herbeleven, kennismaken met een empirische cyclus. Prins noemt – terecht – ook de bewustwording van de rol van modellen in het dagelijks leven. Daarnaast is er een meer psychologisch getinte reden om modelleren toe te passen in het leerproces, die genoemd wordt door Löhner: er wordt verondersteld dat het extern representeren van gedachten een bevorderende invloed heeft op leren. Modelleertools, inclusief die van Doorman, bieden externe representaties die leerlingen helpen hun gedachten uit te drukken. Bij de constructie van zo'n representatie wordt de leerling geconfronteerd met mogelijkheden en onmogelijkheden van de representatie: sommige dingen die in het hoofd logisch leken, laten zich niet dwingen in de gebruikte representatievorm. Anderzijds kan een eenmaal gemaakt model vanuit haar representatie “schreeuwen” om verdere ontwikkeling, bijvoorbeeld omdat duidelijk wordt dat bepaalde parameters ontbreken (“ik heb nog iets nodig om het te laten werken”) of om “esthetische” redenen, zoals symmetrie. De representatie en het daarvoor gebruikte formalisme sturen daarmee sterk de lerende, via het idee van “representational determinism” dat Löhner aanhaalt. Doorman heeft aandacht voor de interpretatie van de grafiek als externe representatie van afgelegde weg en beweging, die niet zonder problemen lijkt. Meer onderzoek naar het gebruik van externe representaties, en het gebruik van meerdere representaties naast elkaar is belangrijk voor dit onderwerp.

ICT biedt hierbij een platform waarmee leerlingen representaties kunnen construeren en evalueren. De toegevoegde waarde is meteen duidelijk bij het gebruik van modelleertools als PowerSim of SimQuest: de consistentie van de modellen en de gevolgen ervan kunnen door de computer worden gecontroleerd en berekend. De computer kan de ene representatie omzetten in de andere (bij Doorman bijvoorbeeld van tabel naar grafiek) en de onderlinge relatie zichtbaar maken. Wel moeten we ons realiseren dat een veelheid van tools en representaties ook weer belemmerend kan werken op het modelleerproces, een gevaar dat dreigt in de studie van Löhner, waarbij de leerlingen een simulatie met meerdere vensters, een modelleertool en achtergrondinformatie moeten beheren.

Tot slot wil ik ingaan op het *onderzoek* naar modelleren, zowel op onderzoeksvragen als methoden. Uit het bovenstaande komen verschillende interessante onderzoeksvragen naar voren:

- *Hoe verloopt het modelleerproces?* De empirische cyclus als model voor modelleren is bekend, maar het is een ideaalmodel voor experts. Inzicht in de modelleerprocessen van beginnende modelleerders, en inzicht in welke processen bijdragen aan succesvol modelleren is nodig om in staat te zijn vanuit de modelleertool en de leeromgeving leerlingen te ondersteunen bij het modelleren.
- *Welke invloeden heeft representatie op het modelleerproces?* De ideeën van representational determinism moeten dieper worden uitgezocht om in staat te zijn leerlingen flexibel om te laten gaan met representaties.
- *Hoe verandert bij leerlingen de opvatting over natuurwetenschappelijke kennis?* De claim dat leerlingen het modelkarakter van natuurweten-

schappelijke kennis beter begrijpen moet uiteraard onderzocht worden. Een afgeleide vraag is of leerlingen zich ook beter bewust worden van het modelkarakter van voorspellingen van bijvoorbeeld het weer of de economie.

- *Wat is de specifieke invloed van diverse ICT-tools?* Kunnen tools voor bijvoorbeeld data-analyse, vergelijking van model en geobserveerde data, conversie van representatie etc. bijdragen aan het modellerenproces, en op welke wijze doen zij dat dan?
- *Hoe ontwikkelen natuurwetenschappelijke begrippen zich tijdens het modelleren?* Wat verandert er in het begrip “snelheid” door het te laten construeren in een model, of door het als construct te gebruiken in een groter geheel?

Tot dusver is de oogst aan antwoorden op deze vragen beperkt. In veel onderzoek wordt een klein aantal cases beschreven van modellerende leerlingen. Protocolfragmenten moeten overtuigen van het proces dat heeft plaatsgevonden. Daarop zijn de studies in dit nummer geen uitzondering. Alleen Löhner rapporteert ook kwantitatieve data. De aard van modelleren, in het bijzonder de vele wegen die een leerling kan inslaan, brengt echter met zich mee dat we ons niet alleen moeten richten op enkele successen of mislukkingen, maar ook op breder onderzoek met veel leerlingen: goede en zwakke, ervaren en minder ervaren. Immers uit het succes van een enkeling kunnen we niet de validiteit van een modelleermethode afleiden. Ook een te snelle focus op de ontwikkeling van onderwijs is wellicht niet opportuun. Doordat bij een dergelijke ontwikkeling meteen resultaat gewenst is (niemand wil een ontwikkelingsonderzoek afsluiten met: “het werkte niet”) leidt dergelijk onderzoek mogelijk tot een “engineering approach”. Dat wil zeggen dat de nadruk komt te liggen op het zoeken naar maatregelen die leiden tot resultaat, in plaats van het begrijpen van de onderliggende leerprocessen. In combinatie met een vooraf bedacht hypothetisch leertraject ontstaat dan bovendien het gevaar van een eenzijdige interpretatie van de resultaten: waargenomen leerling gedrag wordt uitgelegd in termen van de vooraf bedachte leerprocessen. Dergelijk onderzoek kan heel goed hypothesevormend werken, maar validatie op grotere groepen leerlingen blijft noodzakelijk.

Samenvattend blijkt dat modelleren gereedschap biedt voor authentiek onderwijs waarin leerlingen zelf als onderzoekers te werk gaan. Onderwerpen als een kledingwas of een huisverwarming lijken misschien eenvoudig, ze geven wel aanleiding tot serieuze wetenschappelijke activiteit. Belangrijk is vooral dat de leerlingen kennis maken met de werkwijze van onderzoekers, inclusief de problemen en missers van de onderzoekspraktijk. Dit vormt een uitstekend aanknopingspunt voor een rijke leerervaring, en het verdient daarom zeker inspanning de onderzoekslijn van modelleren uit te bouwen.

Correspondentie over dit artikel aan Wouter van Joolingen, Instituut voor de Lerarenopleiding, Universiteit van Amsterdam, Wibautstraat 2-4, 1091 GM Amsterdam. E-mail: wouter@ilo.uva.nl