

*Proefschrift Bart Ormel*

## **Het natuurwetenschappelijk modelleren van dynamische systemen. Naar een didactiek voor het voortgezet onderwijs**

*Bespreking door:*

Sylvia van Borkulo

Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education

Universiteit Utrecht

Modelleren staat in een groeiende belangstelling in het onderwijs van de natuurwetenschappen. Bij modelleren wordt een fenomeen in natuurwetenschappelijke en wiskundige termen beschreven, en het model dat hieruit voortkomt, kan gebruikt worden om verschijnselen te verklaren en voorspellen. Dit geeft leerlingen de mogelijkheid om te experimenteren met het model en daarmee inzicht in het bijbehorende fenomeen te krijgen. De belangstelling voor modelleren in het onderwijs wordt voor een deel ook verklaard door de beschikbaarheid van de computer, in het bijzonder waar het gaat om het modelleren van dynamische systemen. Systemen kunnen complex gedrag vertonen en de computer en zijn rekenkracht maken het mogelijk om dit gedrag te onderzoeken en te leren begrijpen. In het voortgezet onderwijs wordt op dit moment echter nog maar weinig aandacht besteed aan modelleren en de didactische kennis erover is beperkt.

Het proefschrift van Bart Ormel verdiept zich in de didactiek van modelleren voor het voortgezet onderwijs en onderzoekt hoe een modelleerles moet worden vormgegeven. Modelleren wordt in dit onderzoek opgevat als 'wetenschappelijk' modelleren, in tegenstelling tot veel andere studies waarin modelleren vereenvoudigd wordt aangeboden en waarin weinig aandacht is voor het natuurwetenschappelijke proces. Dit is een ambitieuze invalshoek die de nodige complexiteit met zich meebrengt.

Niet alleen vanuit het oogpunt van de voorbereiding op een natuurwetenschappelijke opleiding, stelt Ormel, maar ook vanuit het oogpunt van maatschappelijke vorming is het onderwerp modelleren van belang voor leerlingen in het voortgezet onderwijs. Dit is voldoende reden om onderzoek te doen naar natuurwetenschappelijk modelleeronderwijs en daartoe een uitgebreide lessenserie te ontwikkelen. Het onderzoek is geen effectonderzoek, maar een ontwerp-ontwikkelingsonderzoek naar de vraag hoe modelleerervaring kan worden vormgegeven voor leerlingen in het voortgezet onderwijs met behulp van een ICT-modelleertool. Gezien de keuze voor natuurwetenschappelijk modelleren is dit een complexe vraag die lastig te beantwoorden is. Het proefschrift beschrijft een theoretisch kader en twee onderzoeksronden waarin ontwikkeld lesmateriaal is uitgeprobeerd door verschillende docenten en vervolgens is herzien en opnieuw uitgeprobeerd. Deze uitgebreide iteratieve ontwerp-opzet is een sterke kant van dit onderzoek.

De inleiding 'Theoretisch kader en onderzoeksmethode' schetst op een heldere manier de kennis uit verschillende onderzoeken naar curriculumontwikkeling van modelleren. Onderzoeken met verschillende invalshoeken worden bekeken en steeds wordt afgewogen wat relevant is voor het ontwerp dat Ormel in dit onderzoek voor ogen heeft. De activiteiten van een modelleerder worden in vier fasen ingedeeld: de probleemverkenning; de modelspecificatie en implementatie; het modelonderzoek; en de evaluatie. Ormel stelt dat om tot succesvol modelleeronderwijs te komen, er taken ontwikkeld moeten worden waarbij de leerling activiteiten kan uitvoeren in alle fasen. Er wordt een basiscompetentie voor modelleren gedefinieerd, kort samengevat: 'inzicht in het natuurwetenschappelijke modelleerproces en enige vaardigheid in het zelf modelleren van eenvoudige systemen' (p. 275). Het onderwijs dat ontwikkeld wordt, moet zorgen voor een geschikte 'ervaringsbasis' om deze competentie te verwerven. Hiermee richt Ormel zich niet op 'harde', toetsbare criteria, maar volgt hij een kleinschalige 'verkennde' aanpak die informatie moet geven over wat geschikte inhoud is van een modelleerlessenserie.

Op basis van zeven eerdere curriculumonderzoeken, beschreven in het theoretische kader, wordt een drietal algemene uitgangspunten geformuleerd waaraan het onderwijs moet voldoen. Ten eerste, het modelleerproces dat de leerlingen doorlopen moet een valide afspiegeling zijn van het proces in de 'echte' natuurwetenschappen. Ten tweede, het modelleerproces moet voor de leerlingen inhoudelijk te begrijpen zijn. Ten derde, leerlingen moeten zelf deel hebben aan het proces. Dit laatste noemt Ormel 'productieve constructieruimte'. In twee onderzoeksronden is volgens deze uitgangspunten prototypisch onderwijsmateriaal ontwikkeld, getest en geëvalueerd in een iteratief proces.

In de hoofdstukken over de twee onderzoeksronden wordt uitgebreid en overzichtelijk beschreven wat het doel van de les was, wat er in de les is gebeurd en wordt er geanalyseerd wat er in de les tot uitvoer is gebracht. In de eerste onderzoeksrunde wordt lesmateriaal uitgetoetst waarbij leerlingen de temperatuur op aarde modelleren. Dit is een complex onderwerp waarbij in vier cycli het model door de leerlingen steeds verder wordt uitgewerkt. Vier docenten hebben het lesontwerp getest en de uitvoering van twee van de docenten wordt uitgebreid beschreven. De goed gekozen fragmenten geven een levendig beeld van de gebeurtenissen in de klas en van de stijl van de docent. Interessant is het verschil tussen de onderwijsstijl van twee van de docenten: de ene docent zorgde voor veel interactie en liet zich veel sturen door inbreng van de leerlingen, terwijl de ander meer directief was. Elk van deze aanpakken had voor- en nadelen. Bij de directieve docent kwam het modelleerproces beter uit de verf, bij de leerlinggerichte docent hadden de leerlingen meer inbreng en eigen verantwoordelijkheid. Bij geen van beiden verliep het proces echter zoals door Ormel beoogd.

Het lesontwerp bleek te sturend te zijn wat betreft het inhoudelijk verloop van het modelleren. Het was moeilijk voor de docenten om de leerlingen eigen verantwoordelijkheid te geven. En daarmee was het lastig om de 'productieve constructieruimte' te creëren voor de leerlingen. Leerlingen bleken verder erg gericht op kwantitatieve modeluitkomsten. Hier-

door stonden leerlingen op het verkeerde been bij het vierde model, dat een vereenvoudigd, zogenaamd 'toy model' was, dat bedoeld was om het systeem kwalitatief te onderzoeken. Werd er met de eerste drie modellen redelijk doelgericht gewerkt, het vierde model stelde de leerlingen door zijn abstractie voor teveel problemen. Verder bleken leerlingen uit zichzelf weinig kritisch wat betreft de betrouwbaarheid van de modelvoorspellingen.

Desalniettemin was er ook een positieve uitkomst: op basis van de bevindingen uit de eerste ronde is het onderwijsontwerp voldoende bruikbaar gebleken. Wel zijn er punten voor verbetering gevonden, niet wat betreft de vakinhoud, maar wat betreft de moeilijkheid van het modellerenproces. Er wordt meer tijd genomen voor de introductie van stapsgewijs doorrekenen van een model, er komt meer sturing in de vraagstelling bij de latere modellen, het laatste model blijft zo eenvoudig mogelijk, leerlingen krijgen meer ruimte voor eigen ideeën en er komt meer aandacht voor het ontwikkelen van modellerencompetentie. Deze verbeterpunten zijn aangebracht om meer aandacht aan het modellerenproces te geven en meer ruimte voor eigen inbreng van de leerlingen.

In de tweede onderzoeksrunde wordt het vernieuwde lesontwerp uitgevoerd met één van de docenten uit de eerste ronde, namelijk degene met de meeste klasinteractie. Een extra module is speciaal toegevoegd om stapsgewijs rekenen te introduceren en heeft als context radioactief verval. De rest van het materiaal heeft opnieuw de context temperatuur. Het vernieuwde lesontwerp blijkt te leiden tot een verbeterde lesuitvoering wat betreft de omvang van de module, de inbreng van de leerlingen en de bereikte complexiteit van de modellen. Helaas zijn er ook tegenvallers. Het lesontwerp is zodanig open dat de docent op sommige punten zijn eigen weg is gegaan. Het modellerenproces is in de les bijvoorbeeld geen onderwerp van discussie geweest, terwijl dit een cruciaal onderdeel is. Het blijkt van groot belang om in een voorbespreking tussen docent en onderzoeker verschillen van mening op tafel te krijgen. Deze bevinding van de tweede onderzoeksrunde geeft mooi het dilemma weer tussen enerzijds vrijheid voor de docent en zijn onderwijsstijl en anderzijds de beoogde structuur en doel van de les.

Dit promotieonderzoek heeft mij veel geleerd over de didactiek van het complexe en veelzijdige modellerenproces. Het heeft twee concrete onderwijsmodules opgeleverd voor het onderwerp natuurwetenschappelijk modelleren en zet daarmee een waardevolle stap richting het implementeren van wetenschappelijk modelleren in het voortgezet onderwijs. Zoals eerder al besproken, zaten er ook haken en ogen aan het ontwikkelproces. Het oorspronkelijke ontwerp was teveel dichtgetimmerd, het herziene ontwerp bleek te open. De klassencultuur en de rol van de docent bleken in hoge mate bepalend voor de uitvoering van het modellerenproces, voor de doelgerichtheid hiervan en voor het realiseren van een productieve constructieruimte voor de leerlingen. Bij een directieve aanpak kunnen de leerlingen complexere modellen ontwikkelen, maar blijven hun eigen ideeën buiten beeld. Bij een leerlinggerichte aanpak komt de doelgerichtheid in het geding.

Ormel had zich tot doel gesteld de leerlingen een 'geschikte ervaringsbasis' te geven met het lesmateriaal. Dit doel lijkt bereikt, ook al bleek de ervaringsbasis een noodzake-

lijke maar geen voldoende voorwaarde voor het verwerven van de modelleer-basiscompetentie. Er komt dus nog meer bij kijken om leerlingen tot bekwame modelleerders te maken. De vraag is hoe leerlingen tot het gewenste niveau kunnen worden gebracht. Moeten de modules uitgebreid of juist kleiner gemaakt worden?

Het onderzoek heeft een duidelijk belang voor de onderwijspraktijk. Om het materiaal op grote schaal te implementeren zijn wel enige aanpassingen nodig. De docent moet aan de ene kant voldoende vrijheid hebben om zijn eigen onderwijsstijl te volgen, aan de andere kant moet de essentie van de module overeind blijven. Ormel onderkent dit probleem en stelt voor om kleinere modules te ontwikkelen, al geeft hij toe dat het voor veel docenten een 'onzeker didactisch avontuur' zal blijven.

Hopelijk worden veel docenten door dit onderzoek aangemoedigd om toch het 'avontuur' van modelleren aan te gaan. De Nederlandse taal en heldere schrijfwijze maken dit proefschrift speciaal ook voor hen toegankelijk.