

Symbolen en Modellen

K. Gravemeijer
Freudenthal Instituut, CD- β
Universiteit Utrecht

Binnen de natuurwetenschappen speelt de vraag, wat nu precies de status is van natuurwetenschappelijke modellen. Deze discussie is op dit moment zelfs zo actueel, dat ze zo nu en dan de krant haalt. Zo kwam onlangs de wetenschapsfilosoof Bas van Fraassen in de wetenschapsbijlage van het NRC-Handelsblad (van 21-6-1999) aan het woord. Uit het interview blijkt dat veel natuurwetenschappers ervan uitgaan dat de modellen die ze gebruiken in feite werkelijkheid zijn. Zo gaan ze ervan uit dat elektronen echt bestaan. Volgens van Fraassen hoeft dat helemaal niet: "Van een theoretisch model mag je eisen dat het uit de voeten kan met de waarneembare verschijnselen. Dat betekent (...) dat je de mogelijkheid open moet laten dat niet-waarneembare zaken als elektronen, quarks en zwarte gaten slechts theoretische constructies zijn die ons helpen om tot een coherent beeld te komen".

Onder invloed van het constructivisme speelt dit zelfde thema binnen de didactiek van de natuurwetenschappen. Katalysator hier is het constructivistische uitgangspunt dat een ieder zijn of haar werkelijkheid construeert. Onder invloed van het idee dat de leerlingen hun kennis zelf construeert, wordt gezocht naar onderwijsaanpakken waarmee de gangbare methode van overdragen van kennis kan worden vervangen door een methode waarbij de leerlingen kunnen worden begeleid bij het construeren van kennis. Het probleem daarbij is dat enerzijds recht moet worden gedaan aan de eigen belangstelling en de eigen constructies van de leerlingen, terwijl het anderzijds wel de bedoeling is dat de leerlingen uitkomen bij vooraf geformuleerde onderwijsdoelen. De oplossing voor dit probleem wordt gezocht in onderwijs waarin het leren van modellen wordt vervangen door het ontwikkelen van modellen d.m.v. de activiteit van het modelleren.

Eenzelfde ontwikkeling zien we op het gebied van het reken-wiskunde-onderwijs. Eén van de thema's wordt hier gevormd door de zogenoemde leerparadox. Deze leerparadox komt in het kort hierop neer: de symbolen die de leerlingen toegang moeten verschaffen tot een nieuw kennisgebied ontlenen hun betekenis aan dit kennisgebied zelf; De leerlingen moeten zich dit kennisgebied dus al eigen hebben gemaakt vòòr ze de symbolen kunnen begrijpen die ze nodig hebben om zich dit kennisgebied eigen te maken. Als voorbeeld kunnen we denken aan een grafiek waarmee je een verdeling van meetwaarden van een experiment kunt laten zien. De leerlingen kunnen de grafiek echter pas echt goed begrijpen wanneer zij een verzameling van losse meetuitkomsten kunnen opvatten als een verdeling van waarden over een variabele. De leerlingen moeten al een notie hebben van een verdeling als een object dat je kunt bestuderen, vòòr ze de grafiek die de verdeling laat zien kunnen begrijpen. De oplossing voor dit probleem wordt gezocht in een verschuiving van het leren van symbolen naar het ontwikkelen van symbolen binnen de activiteit van het symboliseren. De veronderstelling is hier dat de

leerlingen symbolen en betekenissen in wisselwerking met elkaar ontwikkelen.

Hoewel ik hiervoor bij de natuurwetenschappen over modellen sprak en bij de wiskunde over symbolen wil ik hier geen principiële onderscheid maken tussen symbolen en modellen. Wanneer je het begrip symbool ruim opvat, vallen modellen er ook onder en binnen de ontwikkeling van de wiskunde zie je vaak dat een model geleidelijk aan het karakter van een symbool krijgt.

Dieks opent deze special met een bijdrage waarin hij een fundamentele analyse geeft van de rol en betekenis van modellen binnen de natuurwetenschappen. Daarin laat hij zien dat modellen op twee manieren tot stand kunnen komen: enerzijds als beschrijvers van de realiteit en anderzijds als concrete voorbeelden (modellen) van een formele theorie. Hij gaat verder in op de hierboven gememoreerde discussie en zet verschillende opvattingen over de relatie tussen model en werkelijkheid helder naast elkaar.

Het artikel van Dieks biedt zo een wetenschapstheoretisch kader voor het artikel van Vollebregt e.a. waarin ontwikkelingsonderzoek rond het deeltjesmodel als model van materie centraal staat. Eén van de gangbare problemen met het deeltjesmodel is volgens de onderzoekers dat leerlingen macroscopische eigenschappen toekennen aan de deeltjes van het deeltjesmodel, terwijl het model nu juist geïdealiseerde deeltjes veronderstelt. De oorzaak van deze problemen moet volgens de auteurs worden gezocht in te weinig expliciete aandacht voor de vraag waarom de deeltjes in het deeltjesmodel bepaalde kenmerken hebben. In het gerapporteerde ontwikkelingsonderzoek wordt geprobeerd hieraan tegemoet te komen door de leerlingen het deeltjesmodel zelf te laten ontwikkelen binnen probleemstellend onderwijs.

In een reactie op dit onderzoek betoogt Van Berkel dat de onderzoekers daarbij geen recht doen aan hun zelfgekozen uitgangspunt dat moet worden aangesloten bij de naïeve kennis van de leerlingen. Hij betoogt dat er eerder sprake is van het uitbreiden van de schoolse kennis van de leerlingen; de naïeve opvatting dat materie bestaat uit kleine deeltjes stof wordt namelijk genegeerd ten faveure van een simulatie van elastisch botsende bolletjes. Hij stelt daarbij "the integration of new information into what they already know" van de onderzoekers tegenover "explaining the known in terms of the unknown". Dit laatste geeft zijns inziens een beter beeld van de natuurkundige aanpak, waarbij wordt geprobeerd bekende verschijnselen te verklaren in termen van een nieuwe theorie (the unknown).

De bijdrage van Doorman en Gravemeijer legt een verbinding tussen de natuurwetenschappen en de wiskunde. Onderwerp van deze bijdrage is een voorstel voor een geïntegreerde benadering van kinematica en integraalrekening. De historische ontwikkeling, met daarbinnen met name het werk van Oresme en Galileï, vormen de inspiratiebron. Uitgangspunt is dat de wisselwerking tussen betekenisontwikkeling en symbool/modelontwikkeling in de geschiedenis model kan staan voor een gelijksoortig dynamisch proces in het onderwijs. De historie wordt daartoe didactisch geïnterpreteerd als een ontwikkeling die start met een *model van bewegingen*, dat zich ontwikkelt tot een *model voor integraal- en differentiaalrekening*. De auteurs betogen dat de op deze modelontwikkeling gebaseerde leergang er enerzijds toe bijdraagt dat de kinematica en de integraal- en differentiaalrekening zijn geworteld in de realiteit van de leerling en er anderzijds voor zorgt dat de leerling de uitbreiding van zijn/haar kennis ervaart als een nieuwe "vak realiteit".

In zijn bijdrage breidt Van Oers de hierboven geschetste constructivistische benadering uit met de cultuurhistorische benadering van Vygotsky. Scherp gesteld, richt het constructivisme zich op individuele constructie, terwijl de cultuurhistorische benadering groepsprocessen centraal stelt. Eén van de basisideeën betreft de notie dat de leerlingen zich kennis eigen maken door te participeren in een culturele praktijk. Van Oers kenschetst modelvorming als een speciale vorm van semiotische activiteit (activiteit met betrekking tot teken-betekenis relaties) waarin aan de vorm van het teken speciale eisen worden gesteld. Dat wil zeggen dat voor hem niet elk symbool een model is. In de eerste plaats moet er sprake zijn van een gestructureerd teken, dat wil zeggen dat het handelingen en handelingsrelaties suggereert. In de tweede plaats moet er sprake zijn van een dubbele referentie: de ene referentie betreft de handelingen die het model suggereert, de andere de werkelijkheid waar het model op van toepassing is. In relatie hiermee wijst hij op het belang van de functionaliteit van de betreffende tekens voor de actor. Hij werkt deze noties uit aan de hand van een voorbeeld van semiotische activiteit bij jonge kinderen.

De special wordt afgesloten met een empirische studie van De Bock e.a. waarin modelleren op twee manieren aan de orde komt. Kernprobleem is het wiskundig modelleren van contextproblemen waarin lineaire en niet-lineaire verbanden een centrale rol spelen. Uit hun onderzoek blijkt dat de leerlingen veel situaties ten onrechte modelleren alsof er wel van lineaire verbanden sprake is. Dit gebeurt met name bij contexten rond oppervlakte en volume. De tweede manier waarop modelleren aan bod komt, is in de pogingen van de onderzoekers om de leerlingen een visueel model te laten gebruiken om dit type contextproblemen aan te pakken. Het merkwaardige is dat deze pogingen – evenals pogingen om de metacognitieve kennis van de leerlingen te activeren – slechts weinig resultaat hebben. De auteurs vermoeden dat deze teleurstellende resultaten te wijten zijn aan de geringe aandacht die in het onderwijs wordt besteed aan visualiseren en modelleren. Bovendien veronderstellen ze dat de leerlingen wel veel ervaring opdoen met redeneren binnen een lineair model, maar niet met de (grenzen aan de) toepasbaarheid van dit model. Dit onderzoek levert daarmee een ondersteuning voor de pleidooien voor meer nadruk op symboliseren en modelleren als activiteit.