

Het onderwijzen van modellen binnen ANW

J. van Driel
Rijksuniversiteit Leiden
ICLON

Summary

This study investigated the knowledge of experienced science teachers about the nature of models and modelling. The study was carried out in the context of a curriculum innovation project, i.e., the implementation of General Science in pre-university education in The Netherlands. General Science emphasizes, among other things, the role and the nature of models and modelling in science. Teachers of biology, chemistry and physics (n=15), participating in an inservice program preparing for General Science, completed a questionnaire on the nature of models. Five teachers were interviewed about the role of models and modelling in their teaching practice. Results indicated that the teachers more or less subscribed to the same general definition of a model. However, the teachers' knowledge about the nature of models and modelling proved to be limited. A striking variety among teachers was noted. Factors possibly contributing to this variety include teachers' experiences with scientific models, their academic background, and their conceptions of the teaching and learning of science. Implications for the implementation of General Science, and the inservice program preparing for it, are discussed.

1. Inleiding

In het onderwijs in de natuurwetenschappen spelen modellen een belangrijke rol. De modellen die aan de orde komen, kunnen van geheel verschillende aard zijn: wiskundige modellen ter beschrijving van fysische verschijnselen, corpusculaire modellen waarmee chemische omzettingen worden verklaard, anatomische (schaal-)modellen om biologische structuren te verduidelijken enzovoort. In de examenprogramma's natuurkunde, scheikunde en biologie voor havo en vwo staat de inhoud van de betreffende modellen centraal. Hierin wordt echter niet aangegeven dat leerlingen kennis moeten opdoen over het modelbegrip (soorten modellen, kenmerken en functies van modellen) en evenmin dat leerlingen vaardigheden moeten verwerven zoals het construeren en vergelijken van modellen of het reviseren van modellen op basis van nieuwe gegevens.

Lijnse stelde onlangs dat "het in alle beta-vakken in feite steeds gaat om het maken van modellen" en dat deze modellen en het 'leren modelleren' een rode draad zouden kunnen vormen in het onderwijs in de natuurwetenschappen

bij de invoering van de profielen in de Tweede Fase havo/vwo (Lijnse, 1997, p. 87). Het nieuwe vak algemene natuurwetenschappen (ANW) biedt wat dit betreft perspectief. Binnen de verschillende leerstof domeinen in het programma van ANW (Timmermans, 1996) zijn namelijk eindtermen geformuleerd die, in afwijking van de juist genoemde programma's voor de afzonderlijke vakken, de aandacht vestigen op het ontstaan en de ontwikkeling van natuurwetenschappelijke kennis. Een voorbeeld is eindterm 3 in het domein B (*Analyse en reflectie met betrekking tot natuurwetenschap, techniek en de rol van mensen*): "De kandidaat kan [...] met voorbeelden toelichten dat verschillende natuurwetenschappelijke benaderingen elk een deel van de werkelijkheid beschrijven of verklaren, met eigen afbakeningen, begrippen en beeldspraken". De prominente rol van modellen verdient in dit verband de nodige aandacht. Bovendien kan de verklarende functie van modellen bij ANW naar voren komen in verband met eindtermen die gericht zijn op het begrip van complexe verschijnselen, zoals bijvoorbeeld eindterm 25 in het domein E, *Materie*: "De kandidaat kan [...] met voorbeelden aan leken uitleggen dat bij een chemische reactie elementen behouden blijven". Tenslotte wordt de rol van modellen expliciet genoemd in eindterm 22 (domein D, *Biosfeer*): "De kandidaat kan [...] aan de hand van een voorbeeld kritisch bespreken welke rol modellen spelen bij het voorspellen van positieve en negatieve effecten van ingrepen in de biosfeer".

In het experimentele onderwijsmateriaal voor ANW dat is ontwikkeld door SLO en CD β komen inderdaad verschillende aspecten van de rol van modellen in de natuurwetenschappen expliciet naar voren. Bij *Overleven* moeten leerlingen zelf een model opstellen voor mechanismes op celniveau in het menselijk afweersysteem. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het 'ontwerpend leren' (Janssen & Voogt, 1996). Vervolgens wordt van leerlingen onder andere gevraagd om te reflecteren op wat zij geleerd hebben omtrent het modelbegrip ("Wat is een model?", "Waar worden modellen voor gebruikt?", "Wat zijn beperkingen van modellen?"). Bij *Ontwikkeling van ideeën over het heelal* maken leerlingen opnieuw zelf een model; ditmaal ter beschrijving van planetenbanen in het zonnestelsel op basis van hun eigen waarnemingen. Vervolgens worden de eigen modellen van leerlingen vergeleken met historische modellen van het zonnestelsel, hetgeen culmineert in een debat tussen verdedigers van het geocentrische model van Ptolemaeus en het heliocentrische model van Copernicus. In *Zorgen voor de biosfeer*, tenslotte, staat het voorspellen met behulp van modellen centraal. Hierbij maken de leerlingen gebruik van een computerprogramma waarin het broeikaseffect gesimuleerd wordt. Uiteindelijk wordt de rol van dergelijke modellen bij politieke besluitvorming aan de orde gesteld.

Uiteraard zullen docenten op grond van (onder meer) vooropleiding en ervaring in het reguliere vakonderwijs reeds enige kennis hebben opgebouwd over de rol van modellen in de natuurwetenschappen en over manieren om leerlingen in het voortgezet onderwijs hierover kennis te laten verwerven. De expliciete aandacht voor modellen in ANW zal voor docenten in het algemeen echter betekenen dat zij hun kennis op dit gebied moeten uitbouwen. *In het onderzoek dat hier beschreven wordt, gaat het om de praktijkkennis van (ervaren) docenten in de natuurwetenschappen op het gebied van het onderwijzen van modellen in de context van de invoering van ANW.* In de eerste fase van dit onderzoek gaat het om een beschrijving en een typering van de praktijkkennis die docenten hebben ontwikkeld in de context van het reguliere vakonderwijs. In een volgende fase zal ook de ontwikkeling van deze praktijkkennis onder invloed van achtereenvolgens deelname aan een omscholingstraject en doceerervaringen met ANW worden onderzocht. Dit artikel beperkt zich tot de opzet en resultaten van de eerste fase van het onderzoek en een vooruitblik op de volgende fase. Voorafgaand hieraan wordt een kort overzicht gegeven van twee centrale elementen in dit onderzoek, te weten het modelbegrip in (het onderwijs in) de natuurwetenschappen en de praktijkkennis van docenten.

2. Modellen in de natuurwetenschappen

Modellen in de natuurwetenschappen kennen een groot aantal verschijningsvormen en toepassingen. Vandaar dat het onmogelijk is om een compacte en eenduidige omschrijving van het modelbegrip te geven. In plaats daarvan bespreek ik een aantal algemene kenmerken waaraan modellen in de natuurwetenschappen herkend kunnen worden (Bertels & Nauta, 1969; De Vos, 1985)¹:

1. Een model is altijd een model *van iets*, namelijk van een object van onderzoek. Het object van onderzoek kan een systeem zijn, maar ook een verschijnsel, een proces, een 'ding', of iets dat niet (meer) bestaat (zoals een dinosaurus) of waarvan het bestaan onzeker is (zoals een zwart gat).
2. Een model is *hulpmiddel* bij onderzoek aan het betreffende object. Het wordt als zodanig gebruikt omdat het object zelf niet toegankelijk is voor rechtstreeks onderzoek.
3. Een model vertoont een aantal *overeenkomsten* met het object van onderzoek. Zodoende kan een uitspraak over een zeker model worden 'vertaald' in een hypothese met betrekking tot dat object. Toetsing van zo'n hypothese (indien mogelijk) leidt tot nieuwe kennis over het object van onderzoek.
4. Een model *verschilt* van het object van onderzoek doordat bij het opstellen van een model reducties worden toegepast (bijvoorbeeld door in het model

bepaalde aspecten van het object van onderzoek bewust te negeren), door een schaal aanpassing of op nog andere wijze. Het streven naar eenvoud speelt een belangrijke rol bij de ontwikkeling van modellen (principe van Ockham).

5. De kenmerken 3 en 4 werken elkaar tegen. Een model heeft daardoor een ingebouwd *compromiskarakter* en de onderzoeker heeft een zekere vrijheid bij de keuze van een model. De onderzoeksvraag speelt een rol bij die keuze.
6. Een model is *niet rechtstreeks* van het object van onderzoek *afgeleid*, zoals een foto of een meetresultaat. Het bevat elementen die het object van onderzoek niet bezit. Creativiteit speelt daarom bij de keuze van een model een rol.
7. In de loop van een onderzoek kan een model een *ontwikkeling* doormaken die een iteratief karakter heeft. Hierbij wordt het object van onderzoek telkens nader bestudeerd.

Natuurwetenschappelijke modellen kunnen verschillende functies vervullen. Zo kan een model worden opgesteld ter *beschrijving* van de structuur van een complex systeem. Een voorbeeld is het heliocentrische model dat de planetenbanen in ons zonnestelsel beschrijft. Door gebruik te maken van een theorie kan een *verklarend* model worden opgesteld. In het voorbeeld kon met behulp van de theorie van Newton (het concept zwaartekracht) een model worden ontwikkeld waarmee de bewegingen van de planeten verklaard kunnen worden. Bovendien biedt de introductie van een theorie mogelijkheden om op basis van een model *voorspellingen* te doen. Zo konden Adams en Le Verrier in 1846 op grond van berekeningen aan de baan van Uranus met behulp van het concept zwaartekracht een acht-planetenmodel opstellen, waarna de voorspelde achtste planeet (Neptunus) vervolgens nog in hetzelfde jaar werd waargenomen.

In alle gevallen vervullen modellen een belangrijke communicatieve functie: door hun persoonlijke modellen met elkaar te vergelijken en te bespreken in relatie tot de op dat moment geaccepteerde canonieke modellen, kunnen wetenschappers vooruitgang boeken (Van Oers, 1988). Gezien de afhankelijkheid van contexten en specifieke onderzoeksdoelen komt het vaak voor dat verschillende canonieke modellen voor hetzelfde verschijnsel of object naast elkaar gebruikt worden. Zo kan het model dat biochemici hanteren voor watermoleculen een geheel andere vorm aannemen als het model van watermoleculen van theoretisch chemici.

Modellen in het natuurwetenschappelijk onderwijs

De belangstelling voor onderzoek naar het leren en onderwijzen van modellen binnen de natuurwetenschappelijke vakken lijkt toe te nemen. In dit verband

kan worden gewezen op een symposium *Modellen in de β -didactiek*, tijdens de Onderwijs Research Dagen '97, en op de activiteiten van de zogenoemde *MISTRE*-groep (Models in Science and Technology; Research in Education; Gilbert & Boulter, 1997). In de meeste gevallen gaat het om onderzoek naar het leren en onderwijzen van bepaalde modellen, zoals corpusculaire modellen (zie bijvoorbeeld De Vos & Verdonk, 1987). Hierbij gaat de meeste aandacht naar de inhoud van de betreffende modellen. Slechts in enkele publicaties staat de aard van de modellen en het modelleren in het natuurwetenschappelijk onderwijs centraal: hoe kan het modelbegrip gedefinieerd worden (Gilbert, 1991), welke soorten modellen komen aan de orde (Van Oers, 1988) en hoe kan het modelbegrip bij leerlingen ontwikkeld worden? (Genseberger, 1989) Vollebregt (1997) besteedt in een onderzoek naar het leren en onderwijzen van corpusculaire modellen ook aandacht aan de aard van deze modellen en het leren modelleren. Grosslight *et al.* (1991) hebben onderzoek verricht naar de kennis en opvattingen van leerlingen over modellen. Hieruit bleek dat leerlingen, van een niveau vergelijkbaar met de bovenbouw van het vwo, doorgaans inzien dat modellen worden ontworpen voor specifieke doeleinden, zoals het representeren van een object ter ondersteuning van communicatie hierover. Ten aanzien van de aard van modellen hanteerden zij overwegend 'naïef-realistische' opvattingen, waarbij een model wordt gezien als een getrouwe weergave van de werkelijkheid, zij het op een andere schaal. De leerlingen in dit onderzoek beseften doorgaans wel dat modellen in de loop van de tijd veranderd kunnen worden (bijvoorbeeld op grond van nieuwe gegevens), maar zij redeneerden zelden vanuit het besef dat modellen in de natuurwetenschappen een belangrijke rol spelen bij het opstellen van verklaringen en het toetsen van voorspellingen. De vraag over welke kennis en vaardigheden docenten dienen te beschikken om hun onderwijs te kunnen inrichten zodanig dat leerlingen leren om modellen te construeren, te vergelijken en te reviseren, is echter nog niet onderzocht.

3. Praktijkkennis van docenten

De toegenomen belangstelling voor de praktijkkennis van docenten wordt in verband gebracht met onvrede over onderzoeksbenaderingen waarin doceren wordt gereduceerd tot een reeks context- en vakgebied onafhankelijke 'effectieve' gedragingen (Doyle, 1990). De term praktijkkennis verwijst naar een geaccumuleerd en geïntegreerd geheel van kennis, opvattingen ('beliefs') en waarden dat ontstaat op basis van persoonlijke en professionele ervaringen. Praktijkkennis wordt doorgaans niet gearticuleerd ('tacit knowledge'), maar speelt wel een belangrijke rol bij het plannen en uitvoeren van het onderwijs (Beijaard & Verloop, 1996). Hoewel praktijkkennis in belangrijke mate bepaald wordt door de praktijkervaringen van docenten, is deze kennis geen

tegenpool van wetenschappelijke of theoretische kennis. In de praktijkkennis van docenten zijn ook wetenschappelijke componenten opgenomen, bijvoorbeeld afkomstig uit hun opleiding.

Praktijkkennis ontwikkelt zich op basis van een wederkerige relatie tussen de docent als persoon en de context waarin hij of zij functioneert (Goodson, 1992). Na een aantal jaren lijkt de praktijkkennis van docenten te stabiliseren, zodat gesproken kan worden van 'functionele paradigma's' (Lantz & Kass, 1987), welke het doceergedrag in de praktijk in belangrijke mate bepalen. Als gevolg hiervan staan docenten minder open voor vernieuwing of verandering, met name wanneer deze van bovenaf worden opgelegd. Volgens Duffee en Aikenhead (1992) spelen in dit verband de volgende factoren een belangrijke rol:

1. *Ervaringen uit het verleden* (zoals opleiding, beroepservaringen en persoonlijke ervaringen) dragen bij aan de vorming van opvattingen, waarden en vuistregels, welke gezamenlijk veel invloed hebben op beslissingen in de dagelijkse lespraktijk.
2. *De huidige doceersituatie* waarin docenten trachten te voldoen aan verwachtingen van leerlingen, collega's, ouders en schoolleiding en bovendien de (examen-)eisen willen bereiken binnen de randvoorwaarden van tijd en beschikbare middelen.
3. *De visie van een docent op een ideale doceersituatie*. Naarmate een voorgestelde verandering beter overeenkomt met deze opvattingen, zal een docent meer bereidheid vertonen om aan de vernieuwing mee te werken.

Onderzoek naar praktijkkennis gaat uit van de gedachte dat de kennis van in de praktijk werkzame docenten een legitieme en belangwekkende informatiebron vormt die een aanvulling kan zijn op aan de wetenschap ontleende kennis op gebieden als onderwijskunde, leerpsychologie en vakdidactiek. Inzicht in de praktijkkennis kan worden ingezet in de programma's van de lerarenopleiding en nascholing (Verloop, 1992).

4. Doel en context van dit onderzoek

Het onderzoek dat hier wordt beschreven heeft een theoretische en een praktische doelstelling. Het theoretische doel betreft het vergroten van inzicht in de praktijkkennis van (ervaren) docenten over het onderwijzen van modellen in het natuurwetenschappelijk onderwijs en in de wijze waarop deze praktijkkennis zich kan ontwikkelen in de context van onderwijsinnovatie.

Het praktische doel betreft het bevorderen van het inzicht dat docenten hebben in het werken met modellen in het natuurwetenschappelijk onderwijs. Dit doel kan gerealiseerd worden door onderzoeksresultaten toe te passen bij onderdelen van het omscholingstraject in verband met de reeds genoemde invoering van ANW. Vanuit didactisch oogpunt gaat het hierbij om vragen

als: Hoe kunnen docenten hun leerlingen ondersteunen bij het verwerven van vaardigheden die nodig zijn om zelfstandig modellen te ontwerpen, te vergelijken, te reviseren, enzovoort?

Het hier beschreven onderzoek vindt dus plaats in de context van de omscholing voor en de implementatie van ANW. Het onderzoek is gestart in januari '97 en zal doorlopen tot en met de eerste jaren waarin ANW wordt ingevoerd. De algemene onderzoeksvragen luiden:

- Waaruit bestaat de praktijkkennis van ervaren docenten over het onderwijzen van modellen in de natuurwetenschappen, en hoe kan deze worden getypeerd?
- Welke wijzigingen treden op in deze praktijkkennis als gevolg van deelname aan de omscholing voor ANW en ervaringen met ANW in de eigen lespraktijk?

De tot nu toe verzamelde informatie is (uiteraard) vooral relevant in verband met de eerstgenoemde onderzoeksvraag. De specifieke deelvragen waarover in het onderstaande wordt gerapporteerd luiden:

1. Welke kennis hebben (ervaren) docenten van modellen in de natuurwetenschappen, in termen van soorten modellen, functies en kenmerken van modellen?
2. Op welke wijze hanteren docenten het modelbegrip momenteel in hun vakonderwijs, en welke kennis en ervaring hebben zij hieromtrent ontwikkeld?

5. Methode

Er zijn gegevens verzameld via een interview en een opdracht, die in het kader van het omscholingsprogramma is uitgevoerd. Hierbij was de omscholingsopdracht met name gericht op de eerste deelvraag (zie hierboven), terwijl het interview vooral op de tweede deelvraag betrekking had.

Omscholingsopdracht

Er is een opdracht ontwikkeld in de vorm van een vragenlijst over modellen en hun functie in de natuurwetenschappen. Inhoudelijk is deze vragenlijst geïnspireerd door het onderzoek van Grosslight et al. (1991). Dat wil zeggen dat dezelfde thema's zijn gehanteerd, te weten: (1) soorten modellen; (2) doel en functie van modellen; (3) kenmerken van modellen; (4) ontwerpen en veranderen van modellen. De vragenlijst bestond uit 7 open vragen (zie bijlage). Bij de eerste vraag werden 7 concrete voorbeelden genoemd, waarvan beargumenteerd moest worden aangegeven of men dit een model vond of niet. De overige 6 vragen gingen in op de zojuist genoemde thema's. In verband met de betrouwbaarheid is ieder thema in meerdere vragen aan de orde gesteld. De keuze voor open vragen houdt verband met de doelstelling van dit onderzoek om de eigen kennis van docenten in kaart te brengen. Daarbij past een

instrument waarmee docenten naar eigen inzicht kunnen antwoorden, zonder dat hun antwoorden op voorhand worden gerubriceerd of in een scoremodel worden ondergebracht.

In de periode januari-juni '97 heeft een experimentele omscholingscursus plaatsgevonden (zie Kapteijn (1997), elders in dit themanummer), waaraan ongeveer 40 ervaren docenten hebben deelgenomen die waren verdeeld in een 'Amsterdamse' en een 'Utrechtse' groep. De vragenlijst is ingevuld door de deelnemers aan de 'Amsterdamse' groep ($n=15$) in het kader van een huiswerkopdracht. De uitwerkingen van de opdracht zijn ingenomen en gekopieerd. Bij het analyseren van de uitwerkingen is een procedure gevolgd waarbij eerst per docent een analyse is gemaakt van diens antwoorden met betrekking tot de genoemde thema's. Vervolgens is per thema nagegaan op welke wijze de antwoorden van verschillende docenten gegroepeerd of gecategoriseerd zouden kunnen worden. Hierbij werd per thema uitgegaan van enkele globale categorieën (bijvoorbeeld: bij functies van modellen 'verklaren' en 'beschrijven'); deze zijn gedurende de analyses uitgewerkt en verfijnd. Tenslotte is getracht om verbanden tussen de gevonden categorieën te identificeren (zie verder de beschrijving in de paragraaf 'Resultaten').

Interview

Het semi-gestructureerde interview bestond uit 3 clusters van vragen. Deze opzet is gebaseerd op de hiervoor genoemde factoren van Duffee en Aikenhead (1992). Het eerste cluster betrof ervaringen uit het verleden en de context van de geïnterviewde docent. Specifiek ging het om vragen naar opleiding, ervaring, betrokkenheid bij onderwijsontwikkeling, deelname aan nascholing en om vragen naar kenmerken van de school en de vaksectie, met name in verband met innovaties. Het tweede cluster had betrekking op de huidige doecerpraktijk binnen het reguliere vakonderwijs. Getracht is om een beeld te verkrijgen van de wijze waarop de geïnterviewde het vakonderwijs normaal gesproken vormgeeft, en van de kennis en de opvattingen die hieraan ten grondslag liggen. Specifiek is ingegaan op de manier waarop de docent het wetenschappelijke karakter van zijn of haar vakgebied aan de orde stelt, en welke rol modellen hierbij spelen. Het derde cluster betrof vragen over ANW. Behalve algemene vragen naar de visie van de geïnterviewde op ANW, is hier gevraagd naar verwachtingen en opvattingen ten aanzien van het domein B, *Analyse en reflectie...*, en meer specifiek naar manieren waarop leerlingen zouden kunnen leren werken met modellen.

De interviewopzet is voorgelegd aan twee onderwijsonderzoekers en twee ervaren docenten (scheikunde en biologie) en is op grond van hun commentaar aangepast. Er zijn 5 docenten geïnterviewd. Drie van hen waren deelnemers aan het experimentele omscholingsprogramma binnen de 'Amsterdamse'

groep, die zich zelf na een oproep voor het interview hadden aangemeld. Zij hadden dus eerder de vragenlijst ingevuld. De andere twee hadden zich bij een schriftelijke rondvraag onder enkele scholen in de regio Leiden aangemeld als geïnteresseerd in ANW en in het onderwerp van het onderzoek. De docenten waren werkzaam op vijf verschillende scholen. Enkele kenmerken van de docenten zijn samengevat in tabel 1. Het interview duurde 60 tot 85 minuten en is op audioband geregistreerd. Van de opnames zijn uitgebreide verslagen gemaakt; de passages waarin modellen ter sprake kwamen, zijn letterlijk uitgeschreven. Bij de analyses zijn uitspraken van docenten geïnterpreteerd in een drietal rubrieken: (1) kennis van modellen; (2) doceerstrategieën ten aanzien van modellen in de huidige reguliere lespraktijk en (3) kennis en opvattingen omtrent leerlingdenkbeelden over modellen.

Tabel 1: Kenmerken van de geïnterviewde docenten (n=5)

<i>Code</i>	<i>Geslacht</i>	<i>Academische achtergrond</i>	<i>Doceerervaring</i>	<i>Gewerkt op ... scholen</i>
D1*#	Man	Biologie	20 jaar	> 3
D2*	Man	Biologie	24 jaar	1
D3*	Vrouw	Scheikunde	2 jaar	2
D4#	Man	Biologie	23 jaar	1
D5	Man	Scheikunde en biologie	10 jaar	> 5

*: D1, D2 en D3 hadden voorafgaand aan het interview de vragenlijst ingevuld.

#: D1 en D4 meldden expliciet hun belangstelling voor modellen in de natuurwetenschappen voorafgaand aan het interview.

6. Resultaten

Kennis van modellen in de natuurwetenschappen

Uit hun antwoorden op de vragenlijst blijkt dat de docenten in grote lijnen dezelfde algemene omschrijving van het modelbegrip in de natuurwetenschappen hanteren. Deze kan worden geformuleerd als:

‘Een model is een vereenvoudigde en/of schematische weergave van de werkelijkheid’.

Een nadere analyse van de antwoorden laat echter zeer grote verschillen zien in de concepties die docenten ten aanzien van het modelbegrip hanteren. Voor

wat betreft de *soorten modellen* is vooral vraag 1 van belang. Van de 7 voorbeelden die hierin genoemd zijn is geen enkele unaniem geïdentificeerd (zie tabel 2)². Interessanter dan deze classificering, zijn de toelichtingen die 13 van de 15 docenten bij hun keuzes hebben genoteerd. Hieruit blijkt dat de docenten uiteenlopende criteria hanteren bij het benoemen van iets als een model.

Zodoende zijn er verschillen tussen docenten in het aantal voorbeelden dat zij als model wensen te beschouwen. Anders gezegd: er zijn verschillen in de mate van *tolerantie* ten aanzien van de vraag wat een model is. Eén docent, de meest tolerante, beschouwt alle voorbeelden als model en beargumenteert dit voornamelijk met een verwijzing naar het weergeven of representeren van een aspect van de werkelijkheid. Het andere uiterste op deze 'schaal' wordt gevormd door een docent die slechts één van de voorbeelden (de waterkringloop) als model wenst te beschouwen en de overige afwijst, voornamelijk omdat hiermee geen verklaring kan worden gegeven.

Tabel 2: Model of geen model? ($n=15$)

Voorbeeld	Model	Geen model
Auto van lego	12	3
Plattegrond van Amsterdam	12	3
Foto van een huis	3	12
Waterkringloop	14	1
$V = I \cdot R$ (wet van Ohm)	10	5
Iedere soort kent een mannelijke en vrouwelijke vorm	5	10
H ₂ O (een watermolecuul)	12	2 *

*: één keer niet beantwoord.

De antwoorden van de docenten lopen eveneens sterk uiteen voor wat betreft de *functies* van modellen (vraag 1 en 4; zie bijlage). De meeste docenten benadrukken één of twee specifieke functies. De meest genoemde functies zijn het verklaren (waarbij inbegrepen begrijpen, uitleggen, etc.) en het geven van een voorstelling (weergeven, beschrijven). Minder vaak genoemd worden modelfuncties als voorspellen en relateren (verbanden zichtbaar maken, overzicht geven). Een drietal docenten vermeldt ook de voorbeeldfunctie van modellen, die echter niet goed past bij het modelbegrip in de natuurwetenschappen.

schappen. Slechts één docent gaat expliciet in op de communicatieve functie van modellen in het proces van wetenschapsonwikkeling. Er lijkt sprake van een samenhang tussen één van de genoemde functies en de tolerantie ten aanzien van modellen: docenten die de verklarende functie van modellen benadrukken, hebben een overwegend lage tolerantie.

Het aantal kenmerken van modellen dat docenten bij hun antwoorden betrekken loopt sterk uiteen (vraag 1, 2 en 3). Van de 7 eerder genoemde kenmerken komen er zes expliciet naar voren in de uitwerkingen. Het compromis-karakter (kenmerk 5) wordt door geen enkele docent vermeld. Eén docent noemt wel alle overige 6 kenmerken. Dat een model op een object betrekking heeft (kenmerk 1), wordt door iedereen genoemd. Drie docenten vermelden echter geen enkel ander kenmerk. Sommige docenten vermelden een bepaald kenmerk meerdere keren in antwoorden op verschillende vragen, bijvoorbeeld het verschil tussen model en werkelijkheid (kenmerk 4) of de ontoegankelijkheid van het object (kenmerk 2). Er lijkt geen verband te bestaan tussen de tolerantie en het aantal genoemde kenmerken: docenten die veel kenmerken (5 of 6) vermelden, kunnen zowel een hoge als een lage tolerantie hebben. Dit geldt ook voor docenten die slechts 1 of 2 kenmerken noemen.

Uit de antwoorden op de vragen naar het *ontwerpen en veranderen van modellen* (vraag 5 t/m 7) komt een verschil naar voren in wat aangeduid zou kunnen worden als een epistemologische oriëntatie. In het onderzoek van Grosslight et al (1991) wordt in dit verband gesproken van een 'naïef-realistische' ofwel een 'constructivistische oriëntatie'. De eerstgenoemde oriëntatie is in het huidige onderzoek mogelijk van toepassing op docenten die vinden dat een model altijd zo dicht mogelijk bij de werkelijkheid moet liggen (vraag 5) en die het veranderen van een model (vraag 6) uitsluitend relateren aan de beschikbaarheid van nieuwe gegevens. Het bestaande model wordt dan kennelijk als achterhaald verworpen. Van een constructivistische oriëntatie is wellicht sprake bij docenten die benadrukken dat de keuze voor een bepaald model verbonden is met het doel dat men nastreeft, de invalshoek die men kiest of de context waarin men werkt. Hoewel het niet goed mogelijk is om alle respondenten op grond van hun antwoorden eenduidig in één van beide oriëntaties in te delen, lijkt de constructivistische visie te overheersen. Er zijn geen duidelijke verbanden gevonden tussen de epistemologische oriëntatie en de hierboven besproken thema's.

Kennis en ervaring omtrent het onderwijzen van het modelbegrip

De resultaten op dit gebied, afkomstig uit de interviews, zijn samengevat in tabel 3. Omdat tijdens de interviews niet expliciet is gesproken over de tolerantie van de docenten ten aanzien van het benoemen van iets als een model en evenmin over hun epistemologische oriëntatie, zijn deze aspecten

weggelaten uit de kolom 'Kennis van modellen'. Deze kolom vermeldt die functies en kenmerken van natuurwetenschappelijke modellen die door de docenten tijdens het interview het meest benadrukt werden. De twee volgende kolommen beschrijven achtereenvolgens de doceerstrategieën die de docenten in hun huidige doceerpraktijk zeggen toe te passen en hun kennis en opvattingen over de manieren waarop leerlingen (van het niveau 4-vwo) binnen het reguliere vakonderwijs met modellen omgaan, wat leerlingen hierbij aankunnen danwel moeilijk vinden enzovoort.

Tabel 3: Kennis en opvattingen van de geïnterviewde docenten over het onderwijzen van modellen

Code	Kennis van modellen: a- functies b- kenmerken*	Toegepaste doceerstrategieën	Kennis van leerlingen en hun leerprocessen (4-vwo)
D1	a- beschrijven b- reducties/weglaten (4)	-Presenteren van modellen in uiteenlopende vormen; -Stimuleren van leerlingen om zelf representaties te maken; -Stimuleren van leerlingen om te argumenteren tussen model en realiteit	-Leerlingen zijn in staat om modellen te ontwerpen en om te abstraheren van de realiteit; -Leerlingen herkennen de reducties die in modellen zijn aangebracht
D2	a- beschrijven, structureren b- reducties/weglaten (4)	-Presenteren van modellen in de vorm van schema's om leerinhouden te structureren; -De eigen modellen van leerlingen met hen bespreken	-Leerlingen willen duidelijke antwoorden; -Leerlingen zijn gauw in verwarring; -De eigen modellen van leerlingen zijn vaak verrassend
D3	a- verklaren; communicatie b- ontwikkeling (7)	-Presenteren van analogieën waardoor leerlingen zich een voorstelling kunnen vormen; -Leerlingen aanzetten tot 'actief leren'	-Op het niveau van de basisvorming zien leerlingen modellen niet als hulpmiddel maar als extra leerstof; -Leerlingen kunnen zelf 'kleine stapjes' maken bij het opstellen van modellen
D4	a- verklaren; voorspellen b- ontwerpen (5)	-Leerlingen betrekken bij filosofische discussies; -Gebruik van de geschiedenis van de natuurwetenschappen als inspiratiebron	-Leerlingen van 4-vwo staan minder open voor 'afwijkende' gezichtspunten dan jongere leerlingen; -Leerlingen willen duidelijkheid en kunnen slechts in beperkte mate omgaan met onzekerheden
D5	a- verklaren; communicatie b- ontwikkeling (7)	-Leerlingen aanzetten tot 'actief leren'; -Reguleren van leerprocessen via 'kleine stapjes'	-Sommige stappen bij het opbouwen van een bepaald model blijken problematisch voor leerlingen ("Maar waarom?")

*: nummers tussen haken verwijzen naar de eerder beschreven opsomming van modelkenmerken

Uit de tabel blijkt dat de docenten normaal gesproken het accent leggen op de inhoud van de modellen. Met name D2, D3 en D5 gingen uitvoerig in op hun pogingen om bij leerlingen het begrip te bevorderen van de inhoud van bepaalde modellen. De hierbij gekozen aanpak bleek voornamelijk gebaseerd op hun ervaringen met leerlingen: leerlingen willen duidelijke antwoorden (D2), of zijn niet goed in staat om abstracties te maken (D3), of hebben (voor de docent onduidelijke) problemen met het opstellen van modellen (D5). Hun doceeraanpak bleek te worden gedomineerd door zorgvuldige pogingen om de kennisontwikkeling van leerlingen te sturen in de richting van de inhoud van specifieke modellen. In dit verband spraken zij de voorkeur uit voor het presenteren van schema's als "hapklare brokken" (D2), voor het verduidelijken aan de hand van analogieën (D3), of voor een aanpak gebaseerd op "kleine stapjes" (D5). D2 en D3 bleken overigens enigszins ambivalent in dit verband: aan de ene kant beweerden zij hun leerlingen te stimuleren om zelf schema's of verklaringen op te stellen, maar aan de andere kant waren zij altijd bereid om hun eigen schema's of analogieën aan te bieden in hun streven om leerlingen te voorzien van 'de goede antwoorden'.

Opvallend genoeg waren deze docenten alle drie van oordeel dat zij in hun huidige doceerpraktijk de mogelijkheden van hun leerlingen onderschatten. In verband met de invoering van ANW spraken zij alle drie de verwachting uit dat leerlingen (van 4-vwo) veel meer mogelijkheden zouden moeten krijgen om hun eigen leerproces te reguleren. Zo veronderstelden zij bijvoorbeeld dat leerlingen in staat zijn om hun eigen schema's te construeren (D2), om via een stapsgewijze opzet zelf modellen op te stellen (D3), of om verschillende modellen voor hetzelfde verschijnsel te vergelijken (D5). Daarbij vond met name D3 het van groot belang om binnen ANW aandacht te gaan schenken aan het ontstaan en de ontwikkeling van natuurwetenschappelijke modellen. Deze verschillen tussen hun huidige doceerpraktijk en hun visie op de implementatie van ANW kwamen naar voren bij de analyse van de antwoorden op het tweede resp. derde cluster vragen van de interviews. Tijdens de interviews zelf is op deze verschillen niet ingegaan.

De twee andere docenten, D1 en D4, bleken op een aantal punten nogal af te wijken van de drie tot dusver besproken docenten. Zo gaven zij aan in hun huidige doceerpraktijk regelmatig aandacht te besteden aan de aard van natuurwetenschappelijke modellen en aan het maken van modellen. Deze docenten hadden overigens hun belangstelling voor modellen genoemd als motivatie voor deelname aan het interview!

Met name D1 bleek zijn leerlingen veelvuldig te stimuleren tot onderzoeksactiviteiten, inclusief het ontwerpen van modellen om bepaalde verschijnselen te beschrijven of te verklaren (bijvoorbeeld het opstellen van een model voor de wijze waarop spieren menselijke bewegingen aansturen). Hoewel ook hij

erkende dat leerlingen doorgaans behoefte hebben aan eenduidige, 'goede' antwoorden, was hij op grond van zijn doceerervaring van oordeel dat leerlingen (van 4-vwo) in het algemeen in staat zijn om zelf modellen te construeren en om de beperkingen en de reducties te herkennen die bij het opstellen van modellen worden toegepast. Hij had nog geen ervaring met activiteiten waarbij leerlingen verschillende modellen voor hetzelfde verschijnsel vergelijken. Hij was er echter van overtuigd dat een docent bij zulke activiteiten (zoals het genoemde debat in het experimentele lesmateriaal over *Zonnestelsel en heelal*) moet vermijden om de rol van expert op zich te nemen, die uiteindelijk beslist welk model 'het beste' is; leerlingen moeten zelf tot zo'n beslissing komen, op basis van hun eigen argumenten.

D4 bleek een grote interesse in de geschiedenis en de filosofie van de natuurwetenschappen te hebben. Hij gaf aan dat hij bij het bespreken van bepaalde onderwerpen regelmatig gebruik maakt van voorbeelden uit de geschiedenis, vooral om het kritisch denken van zijn leerlingen te stimuleren (bijvoorbeeld door leerlingen te laten argumenteren wat er mankeert aan een bepaalde historische opvatting). In het algemeen toonde D4, net als D1, veel interesse voor nieuwe ontwikkelingen en voor input van 'buiten de school', om zodoende de eigen lespraktijk en zichzelf in beweging te houden. In vergelijking met D1 was D4 echter veel minder specifiek over leerprocessen en -moeilijkheden van leerlingen.

7. Discussie, conclusies en vervolg

Het zal duidelijk zijn dat de tot dusver verzamelde gegevens slechts voorlopige conclusies rechtvaardigen. Zowel het geringe aantal betrokken docenten alsook het 'open' karakter van de gebruikte instrumenten beperken op dit moment de mogelijkheid tot generaliseren. Tot nu toe vallen wel enkele zaken op. In de eerste plaats de grote diversiteit in de kennis en opvattingen van (ervaren) docenten voor wat betreft modellen in de natuurwetenschappen (eerste specifieke deelvraag). Voor wat betreft de omscholingsopdracht zou de aange troffen diversiteit kunnen samenhangen met de open vraagstelling. Uit de analyse van hun antwoorden blijkt echter dat de docenten de vragen hebben geïnterpreteerd zoals bedoeld. In de beantwoording komt een sterke spreiding naar voren, onder andere in de voorbeelden die als toelichting zijn vermeld. Bij de interpretatie van de antwoorden is het beeld ontstaan dat aan deze diversiteit verschillende aspecten te onderscheiden zijn, zoals een visie op wat een model is en welke functies modellen kunnen vervullen. De interviews brengen eveneens grote verschillen aan het licht in de manier waarop docenten het modelbegrip in het natuurwetenschappelijk onderwijs hanteren (tweede specifieke deelvraag). D1 en D2, die over nagenoeg evenveel leservaring beschikken in hetzelfde vak, verschillen bijvoorbeeld sterk in de mate waarin

zij in hun vakonderwijs aandacht geven aan de ontwikkeling van modellen en de rol die zij hierbij door leerlingen (willen) laten vervullen. Deze verschillen lijken verband te houden met de visie op leren en onderwijzen die de docent heeft ontwikkeld en met de schoolcontext waarin hij of zij werkt.

Behalve de visie op leren en onderwijzen en de schoolcontext kunnen ook andere factoren van invloed zijn op de gevonden diversiteit. In de eerste plaats is het modelbegrip zelf erg breed, zelfs als men zich beperkt tot het gebruik van modellen in de natuurwetenschappen. De grote variatie in verschijningsvormen en functies van natuurwetenschappelijke modellen kan er toe hebben bijgedragen dat de docenten in dit onderzoek vooral associaties hebben gelegd met die modellen die zij vanuit hun achtergrond en ervaring (met name hun academische opleiding) het beste kennen. Zo kan worden begrepen dat scheikundedocenten, vanwege hun vertrouwdheid met corpusculaire modellen, vooral de verklarende functie van modellen hebben benadrukt, terwijl biologie-docenten het accent leken te leggen op de beschrijvende en structurende functie van modellen. Er is een beschouwing 'op afstand' voor nodig om een bredere visie op natuurwetenschappelijke modellen te ontwikkelen en hierbij de overeenkomsten tussen de verschillende modellen te herkennen. De meeste docenten in dit onderzoek lijken echter onbekend te zijn met een dergelijke benadering, uitgezonderd wellicht degenen met een uitgesproken belangstelling voor de filosofie van de natuurwetenschappen.

Dit leidt tot een tweede punt. De gevonden diversiteit in kennis en opvattingen van docenten vormt een indicatie dat zij weinig of geen aandacht besteden aan de *aard* van natuurwetenschappelijke modellen en de ontwikkeling ervan, maar zich voornamelijk beperken tot de *inhoud* van de onderwezen modellen. Immers, van docenten die regelmatig met leerlingen ingaan op vragen als 'Wat is een model?', 'Wat kun je ermee?' en 'Hoe komt een model tot stand?', mag een breed ontwikkelde visie op natuurwetenschappelijke modellen verwacht worden. Overigens is een accent op de inhoud van modellen niet verwonderlijk, gezien de reeds gememoreerde opzet van de huidige examenprogramma's voor natuurkunde, scheikunde en biologie en de hierop afgestemde lesmethodes. Dit kan de docenten dan ook niet worden aangerekend. Het betekent echter wel dat er een flinke verschuiving nodig is opdat de aard van modellen en het 'leren modelleren' kunnen uitgroeien tot de door Lijnse bepleite "gemeenschappelijke rode draad" in het onderwijs in de natuurwetenschappen (Lijnse, 1997). Hieronder zal ik schetsen hoe het vak ANW hiertoe zou kunnen bijdragen. Vanuit het perspectief van dit onderzoek leg ik daarbij het accent op het omscholingstraject voor docenten.

In het omscholingsprogramma zal informatie verstrekt moeten worden over functies en kenmerken van modellen teneinde het inzicht van docenten op dit

punt te verruimen. Het in dit artikel beschreven overzicht van kenmerken kan hierbij als uitgangspunt gekozen worden, ook al is deze lijst zelf nog in ontwikkeling. Dit overzicht biedt immers de mogelijkheid om overeenkomsten aan te geven tussen de qua vorm en inhoud uiteenlopende modellen die bij ANW aan de orde komen (zie bijvoorbeeld het experimentele lesmateriaal). Door docenten zulke modellen te laten analyseren vanuit de genoemde kenmerken, kan voor hen zichtbaar worden hoe deze kenmerken in de betreffende modellen gerealiseerd zijn, waar accenten liggen, wat ontbreekt, etc. Aansluitend kunnen docenten deze kenmerken aan de orde stellen bij het bespreken van modellen in hun lespraktijk, teneinde het inzicht van leerlingen in de aard van natuurwetenschappelijke modellen te bevorderen. Op basis hiervan zouden leerlingen samenhang kunnen onderkennen in de, in inhoudelijk opzicht sterk uiteenlopende, leerstofdomeinen van ANW. Het overzicht van kenmerken is gepresenteerd tijdens de experimentele omscholingscursus en werd door de deelnemende docenten in het algemeen gunstig ontvangen met het oog op de zojuist genoemde mogelijkheden.

De bovenstaande aanpak is vooral gericht op modellen 'op meta-niveau'. Als aanvulling hierop zouden de docenten in het kader van het omscholingsprogramma een dossier kunnen aanleggen over een specifiek object (bijvoorbeeld een ecosysteem of het zonnestelsel) en de modellen die hiervoor ontwikkeld zijn. Hierin kunnen zij bijvoorbeeld de historische ontwikkeling van deze modellen documenteren en verschillende modellen voor dit object bespreken. In zo'n dossier passen bovendien ervaringen in de lespraktijk met deze modellen, inclusief denkbeelden en redeneerwijzen van leerlingen hieromtrent.

Wat het 'leren modelleren' betreft, is het van belang dat de meeste docenten vermoedelijk erg weinig ervaring hebben met het door leerlingen laten ontwerpen, vergelijken en reviseren van modellen en met het door leerlingen laten genereren van voorspellingen op basis van een model. Het laten uitvoeren van dergelijke activiteiten door leerlingen kan in algemene zin worden gezien als een streven naar zelfstandig leren en past in dat opzicht zeer goed bij een van de belangrijkste algemene doelen van de Tweede Fase. Het streven naar zelfstandig leren kan worden gezien als het verschuiven van de verantwoordelijkheid voor de sturing van leerprocessen van de docent naar de leerling. In dit verband wordt gepleit voor een geleidelijke aanpak waarbij leerfuncties in toenemende mate door leerlingen zelfstandig worden vervuld (Vermunt, 1994). Voor het 'leren modelleren' gaat het bijvoorbeeld om cognitieve leerfuncties als analyseren en structureren in samenhang met regulatieve leerfuncties zoals diagnostiseren en evalueren (bijvoorbeeld bij het nagaan in hoeverre het model-in-ontwikkeling geschikt is voor het object waarop het betrekking heeft). Om vast te stellen welke (combinatie van)

leerfuncties aan leerlingen kunnen worden overgedragen en in welke mate, zijn tijdens het omscholingstraject oefensituaties gewenst waarbij docenten gebruik kunnen maken van beproefd lesmateriaal dat qua onderwerp past bij één van de ANW-domeinen en waarin het leren modelleren een belangrijke doelstelling vormt. Naast het door SLO en CDβ ontwikkelde experimentele lesmateriaal voor ANW, lijkt het materiaal van Genseberger (1989; hierin worden o.a. historische modellen over de aard van de materie aan leerlingen voorgelegd) en van Vollebregt (1997; over het ontwikkelen van corpusculaire modellen) hiervoor geschikt. Docenten die met zulk materiaal in hun lespraktijk gaan werken, zouden in de loop van het omscholingstraject de gelegenheid moeten krijgen om hun praktijkervaringen met elkaar te bespreken.

Vervolg

In het lopende cursusjaar worden op grote schaal omscholingsprogramma's voor ANW uitgevoerd. De feitelijke invoering van ANW in het voortgezet onderwijs kan vanaf 1998 plaatsvinden. Algemeen wordt echter verwacht dat de meeste scholen ervoor zullen kiezen om pas in 1999 met ANW te starten. In deze context wordt het vervolg van dit onderzoek gepland. In eerste instantie zal meer gerichte informatie worden verzameld over de kennis en opvattingen van docenten over modellen in de natuurwetenschappen en over het onderwijzen hiervan. De bedoeling hiervan is met name om de tot dusver geconstateerde verschillen in kennis en opvattingen te valideren en om een beter inzicht te krijgen in de aard en de structuur van deze verschillen. Hiertoe worden (gesloten) vragenlijsten ontwikkeld, welke zullen worden ingezet op een wat een grotere schaal dan tot dusver, bij deelnemers aan de lopende omscholingsprogramma's.

Om in een later stadium van het onderzoek (vanaf '98) bovendien *ontwikkelingen* in praktijkkennis van docenten te kunnen beschrijven, zullen ook instrumenten van een andere aard worden ingezet. Hierbij wordt gedacht aan een combinatie van methoden. In de eerste plaats aan methoden waarbij de docenten hun eigen leerproces documenteren (bijvoorbeeld logboek of portfolio). Het zal hierbij gaan om documenten die door de docent zelf geproduceerd worden, zoals materialen die door hem of haar worden gemaakt in verband met de omscholing (opdrachten, lesmaterialen, e.d.) als ook de persoonlijke reflecties hierop. Wezenlijk is het uitgangspunt dat de docent in staat is om, aan de hand van een specifieke instructie, zelfstandig en op betrouwbare en valide wijze zijn eigen ontwikkeling te documenteren. In aanvulling op en ter versterking van de zodoende verzamelde gegevens, wordt bovendien overwogen om lesobservaties te gaan verrichten, al dan niet gecombineerd met interviews met docenten. Hiervoor zouden lessen geselecteerd worden.

teerd moeten worden waarin het onderwijzen van modellen een belangrijke plaats inneemt. Niet alleen ANW-lessen, maar ook reguliere vaklessen komen hiervoor in aanmerking, zowel voorafgaand aan, als tijdens en na deelname aan het omscholingstraject. Tenslotte zouden registraties van besprekingen van docenten over ANW (bijvoorbeeld in sectieverband) als aanvullend onderzoeksmateriaal verzameld kunnen worden.

Noten

1. De kenmerken die hier genoemd worden, vormen het onderwerp van een lopend onderzoeksproject onder leiding van Wobbe de Vos.
2. Hierbij moet worden opgemerkt dat de vraagstelling open was geformuleerd ("Geef van ieder van deze 7 aan of je vindt dat hier sprake is van een model"). Ook in de vragen 2 en 3 was sprake van 'modellen' zonder een specificatie. In de titel van de vragenlijst werd echter gesproken van modellen in de *natuurwetenschappen*; in de vragen 4 tot en met 7 was deze toespitsing eveneens expliciet aanwezig (zie bijlage).

Literatuur

- Beijaard, D. & N. Verloop (1996). Assessing teachers' practical knowledge. *Studies in Educational Evaluation*, 22, 275-286.
- Bertels, K. & D. Nauta (1969). *Inleiding tot het modelbegrip*, Bussum: W. de Haan.
- Doyle, W. (1990). Themes in teacher education research. In: Houston, W.R. (Ed.), *Handbook of Research on Teacher Education* (pp. 3-24), New York: Macmillan.
- Duffee, L. & G. Aikenhead (1992). Curriculum change, student evaluation, and teacher practical knowledge. *Science Education*, 76, 493-506.
- Genseberger, R.J. (1989). Het ontwikkelen van een model-begrip bij leerlingen van 15-16 jaar. *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 7, 192-208.
- Gilbert, S.W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 73-79.
- Gilbert, J. & C. Boulter (1997). Learning science through models and modelling. In: Fraser, B. & K. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education*, Dordrecht: Kluwer.
- Goodson, I.F. (1992). Studying teachers' lives: An emergent field of inquiry. In: Goodson, I.F. (Ed.), *Studying teachers' lives* (pp. 1-17), London: Routledge.
- Grosslight, L., C. Unger, E. Jay & C.L. Smith (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799-822.
- Janssen, F. & P. Voogt (1996). Ontwerpend leren in het biologie-onderwijs. *NVOX*, 21, 2, 42-47.

- Lantz, O. & H. Kass (1987). Chemistry teachers' functional paradigms. *Science Education*, 71, 117-134.
- Lijnse, P.L. (1997). Vakdidactiek: het vergeten fundament van het studiehuis? *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 14, 72-91.
- Oers, B. van (1988). Modellen en de ontwikkeling van het natuurwetenschappelijk denken van leerlingen. *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 6, 115-143.
- Kapteijn, M. (1997). De experimentele omscholingscursus Algemene Natuurwetenschappen, *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 14, 2, 157-176.
- Timmermans, P. (1996). *Algemene Natuurwetenschappen. Voorlichtingsbrochure havo/vwo actuele stand van zaken invoering tweede fase*, Enschede: SLO.
- Verloop, N. (1992). Praktijkkennis van docenten: een blinde vlek van de onderwijskunde. *Pedagogische Studiën*, 69, 410-423.
- Vermunt, J.D.H.M. (1994). Leerstijlen en leerstrategieën van studenten: recente onderzoeksgegevens. *VELON Tijdschrift*, 15, 3, 8-15.
- Vollebregt, M. (1997). *De introductie van een deeltjesmodel via probleemstellend onderwijs*. Paper gepresenteerd tijdens de Onderwijs Research Dagen '97 te Leuven.
- Vos, W. de (1985). *Corpusculum delicti*, Utrecht: dissertatie Rijks Universiteit Utrecht.
- Vos, W. de & A.H. Verdonk (1987). A new road to reactions, part 4: The substance and its molecules. *Journal of Chemical Education*, 64, 692-694.

Bijlage:**Vragenlijst "Modellen in de natuurwetenschappen"****1. Gegeven:**

- (i) Een auto van Lego
- (ii) Een plattegrond van Amsterdam
- (iii) Een foto van een huis
- (iv) De waterkringloop (zeewater verdampt, vormt wolken waaruit neerslag valt, etc.)
- (v) $V = I.R$ (de wet van Ohm)
- (vi) Bij iedere levende soort is sprake van een mannelijke en een vrouwelijke vorm
- (vii) H_2O (een watermolecuul)

Geef van ieder van deze 7 aan:

- (a) of je vindt dat hier sprake is van een model;
 - (b) waarom je dit wel of niet vindt.
2. Schrijf op waar je aan denkt bij het woord 'model'. Gebruik voorbeelden als toelichting.
 3. Hoe zou je beschrijven wat een model is aan iemand die helemaal niet weet wat een model is?
 4. Waarvoor kun je modellen gebruiken bij de natuurwetenschappelijke vakken (natuurkunde, biologie, scheikunde)? Gebruik opnieuw voorbeelden als toelichting.
 5. Als je een model maakt of ontwerpt bij de natuurwetenschappelijke vakken, moet je dan altijd proberen om zo dicht mogelijk bij de werkelijkheid te blijven? Geef voorbeelden.
 6. Als een wetenschappelijk model eenmaal is ontworpen, wordt het dan later nog veranderd? Zo ja, waarom vinden veranderingen plaats; zo nee, waarom niet?
 7. Denk je dat het mogelijk is dat natuurwetenschappers meerdere modellen gebruiken voor hetzelfde verschijnsel of 'ding'? Waarom wel of niet?