

Modelleren van dynamische systemen in de scheikunde: Ontwerp en evaluatie van een onderwijsmodule over was- sen van textiel

Gjalt T. Prins, Elwin R. Savelsbergh en Albert Pilot
Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen
Universiteit Utrecht

Samenvatting

In de laatste fase van het VWO dient de leerling niet alleen een aantal (scheikundige) modellen te kennen, maar ook inzicht te hebben verworven in de ontwikkeling en de functie van modellen. Om dit te bereiken is het wenselijk dat de leerlingen actief deelnemen aan het proces van modelontwikkeling. Computermodellen van dynamische systemen lijken hiertoe meer mogelijkheden te bieden dan de atoom- en molecuulmodellen waaraan binnen het vak scheikunde veel aandacht besteed wordt. We hebben daarom onderwijs ontwikkeld waarin leerlingen zelf een model van een chemisch proces ontwerpen, construeren en testen m.b.v. een grafisch modelleerprogramma. In dit artikel beschrijven we de geschiktheid van verschillende chemische processen. Daaruit volgt de keus voor 'het wassen van textiel'. We hebben vervolgens onderzocht of het geplande onderwijs in de schoolpraktijk haalbaar was en in hoeverre de ontwikkeling en de functie van modellen ook expliciet aan de orde kwamen. Het ontwikkelde onderwijs bleek praktisch haalbaar te zijn. Reflectie op de ontwikkeling en de functie van modellen is nog onvoldoende gerealiseerd. Om op dit punt verbetering te bereiken lijkt het van belang dat de leerlingen voldoende inhoudelijk gemotiveerd raken, dat de leerlingen een beter begrip ontwikkelen van het modelleerprogramma en dat de docent de verdieping inhoudelijk stuurt.

1. Inleiding

Zowel in het natuurwetenschappelijk onderzoek als in het onderwijs spelen modellen een belangrijke rol. In het onderzoek zijn modellen een hulpmiddel bij het proces van kennisverwerving, bovendien worden de uiteindelijke resultaten van dat proces vaak gepresenteerd in de vorm van een model. Meestal worden op basis van deze modellen vervolgens weer beslissingen genomen of voorspellingen gedaan: 'Wereldbevolking over 5 jaar naar 8 miljard', 'Schaatsers op de 1500 meter binnenkort onder de 1 minuut 40', 'Volgend jaar grotere haringvangst verantwoord'. Al deze modellen zijn echter mensenwerk, waarbij aannames gemaakt worden, schattingen plaatsvinden en verwaarlozingen worden toegepast. Maatschappelijke controverses over dit soort voorspellingen en beslissingen zijn dan ook veelal terug te voeren op onenigheid over o.a. de toepasbaarheid, geldigheid, zekerheden en onzekerheden van modellen. In het onderwijs daarentegen worden modellen vooral gepresenteerd als vaststaande kennis. Alternatieve modellen komen hoogstens aan bod als historische voorlopers van het uiteindelijke model. De nadruk ligt op het begrijpen en onthouden van de vakinhoudelijke relaties in het model. Dit

aspect is ook het meest duidelijk uitgewerkt in de examenprogramma's voor biologie, en natuur- en scheikunde. In de examenprogramma's ligt veel minder nadruk op inzicht in kenmerken en functies van verschillende modellen, of op het construeren en reviseren van modellen op basis van nieuwe gegevens. Kortom, terwijl in de wetenschap het model een denkgereedschap is dat regelmatig zelf ter discussie staat, is een model in het onderwijs vooral een vaststaand feit. Leerlingen krijgen zodoende een eenzijdig beeld van de rol van modellen bij wetenschappelijke kennisontwikkeling. Het is daarom begrijpelijk dat er regelmatig gepleit wordt voor expliciete aandacht voor het modelkarakter van natuurwetenschappelijke kennis en het proces van modelleren dat tot deze kennis leidt (De Vos & Van der Valk, 2000a, 2000b; Dieks, 1999; Doorman & Gravemeijer, 1999; Drijver, 1998; Gravemeijer, 1999; Hodson, 1992; Kramers-Pals, 1999; Van Driel, 1997, 1999; Vollebregt, Klaassen, Genseberger, & Lijnse, 1999).

Vanuit de literatuur is bekend dat kennis en inzicht in de kenmerken, functies, toepasbaarheid en geldigheid van verschillende soorten modellen moeilijk 'overdraagbaar' is (Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991). Beter is het om leerlingen zelf een specifiek model te laten maken om daarmee een beter begrip van modellen in het algemeen te verwerven (Justi & Gilbert, 2002). Dit roept allereerst de vraag op wat wordt verstaan onder begrip van modellen. Als we deze vraag hebben beantwoord, dan kunnen we verder ingaan op het werken met modellen in het onderwijs. Aangezien modellen in de natuurwetenschappen een groot aantal verschijningsvormen en toepassingen kennen, is het moeilijk een compacte en eenduidige omschrijving te geven. Een puntsgewijze beschrijving in algemene termen van modellen in natuurwetenschappelijk onderzoek is gegeven door Van Driel (1999), mede ontleend aan Bertels en Nauta (1969), en is gevalideerd door De Vos en Van der Valk (2000b).

Algemene kenmerken van modellen in de natuurwetenschappen samengevat

Een model:

1. is altijd een model van *iets*, n.l. van het object van onderzoek.
2. is altijd *hulpmiddel* bij onderzoek aan het betreffende object.
3. vertoont een aantal *overeenkomsten* met het object van onderzoek waardoor het een bron van hypothesen over dat object kan zijn.
4. *verschilt* van het object van onderzoek vanwege het streven naar eenvoud.
5. heeft, vanwege de tegenstrijdigheid van kenmerken 3 en 4, een *compromiskarakter* dat de onderzoeker een zekere vrijheid geeft bij de keuze van een model.
6. is niet *rechtstreeks afgeleid* van het object van onderzoek; creativiteit speelt een rol bij de keuze van een model.
7. kan een *ontwikkeling* doormaken in de loop van een onderzoek.

Kader 1: Algemene kenmerken van modellen in de natuurwetenschappen samengevat (Van Driel, 1999).

In de vele verschillende soorten natuurwetenschappelijke modellen die gebruikt worden zijn sommige punten meer herkenbaar dan andere. Toch zijn bovenstaande aspecten in samenhang kenmerkend voor het gebruik van modellen in de natuurwetenschappelijk *onderzoek*. Om leerlingen een beter begrip van modellen in het algemeen te laten verwerven, is het nodig dat het modelgebruik in het natuurwetenschappelijk *onderwijs* voldoet aan boven-

staande kenmerken. De vraag die wij ons nu stellen is in hoeverre deze kenmerken van modellen terugkomen in het modelgebruik in het huidige natuurwetenschappelijk onderwijs en in het bijzonder het scheikundeonderwijs.

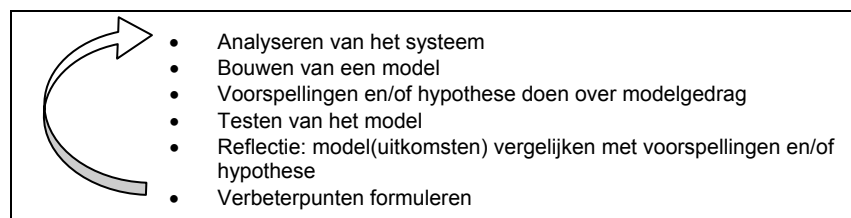
Justi en Gilbert (2002) onderscheiden vijf hoofdniveaus bij het verwerven van kennis en inzicht over modellen: leren van inhoud van modellen, leren gebruiken van modellen, leren modellen te verbeteren, leren modellen te reconstrueren en leren modellen te construeren. In het onderwijs wordt veel aandacht besteed aan het leren van inhoud van modellen en, in enkele gevallen, aan het leren gebruiken van modellen (Gilbert & Boulter, 2000; Harrison & Treagust, 2000). Grosslight, Unger, Jay, en Smith (1991) hebben onderzoek verricht naar de kennis en opvattingen van leerlingen over modellen. Hieruit bleek dat leerlingen modellen beschouwen als getrouwe weergave van de werkelijkheid, zij het op een andere schaal. Daarnaast redeneerden leerlingen zelden vanuit het besef dat modellen in de natuurwetenschap een belangrijke rol spelen bij het opstellen van verklaringen en het toetsen van voorspellingen. Afgezet tegen de genoemde algemene kenmerken blijkt dat het modelgebruik in het onderwijs op een aantal punten niet overeenkomt met het gebruik in het onderzoek. Een model wordt niet gebruikt als hulpmiddel (kenmerk 2) bij verwerven van kennis. Het compromiskarakter van een model blijft onbelicht (kenmerk 4 en 5) en creativiteit bij de keuze van een model komt niet aan bod (kenmerk 6). Bovendien maakt het model geen ontwikkeling door (kenmerk 7). Leerlingen krijgen niet de gelegenheid om al doende vertrouwd te raken met het gebruik van modellen zoals onderzoekers dat doen (De Vos & Van der Valk, 2000b).

Binnen het domein scheikunde is veel onderzoek verricht naar het begrip van modellen van atomen en moleculen. Een methode om leerlingen te laten ervaren dat de modellen door mensen gekozen of ontworpen worden, is hen te confronteren met meerdere modellen van éénzelfde atoom of molecuul. Van Hoeve-Brouwer (1996) beschrijft experimenten waarbij verschillende modellen achtereenvolgens of gelijktijdig worden geïntroduceerd. Vooral bij gelijktijdig aanbieden van verschillende modellen ervaren leerlingen dat een model niet door de natuur gegeven is maar door mensen geconstrueerd is en dat daarbij bepaalde criteria gehanteerd worden. De Vos en Van der Valk (2000b) rapporteren over het laten tekenen van modellen van moleculen door leerlingen. Leerlingen ervaren hierbij dat zij een keuze moeten maken en dat klasgenoten met een hele andere tekening kunnen komen zonder dat er meteen een goed/fout indeling wordt gehanteerd. Al dit soort methoden zijn wellicht nuttig voor het verwerven van een beter begrip van atomen en moleculen, maar bekeken vanuit het perspectief van modelgebruik in natuurwetenschappelijk onderzoek leiden deze activiteiten aan éénzelfde euvel: is er geen vervolg. De tekeningen dienen niet als hulpmiddel bij een onderzoek (kenmerk 2). Er worden geen hypothesen of voorspellingen uit afgeleid (kenmerk 3). Daardoor ontbreken er ook criteria om de kwaliteit van de getekende modellen te beoordelen. Leerlingen zijn zich bovendien niet bewust van de keuzes die gemaakt zijn. Mede hierdoor komt het compromiskarakter van een model niet voldoende uit de verf (kenmerk 5). Het wordt voor leerlingen niet duidelijk dat vooral de toepassing van een model in een bepaalde situatie de waarde ervan bepaalt, en niet een volledig realisme (Dieks, 1999). Bovenstaande analyse maakt duidelijk dat atomen en moleculen geen geschikte context vormen om

leerlingen begrip van modellen te laten verwerven. We hebben daarom gezocht naar een context die voor dit doel meer mogelijkheden bood.

Er bestaat tegenwoordig veel belangstelling voor modelleren met behulp van grafische modelleerprogramma's (Gilbert & Boulter, 1998; Mellar, Bliss, Booahan, Ogborn, & Tompsett, 1994). Met een grafisch modelleerprogramma kunnen uitvoerbare modellen worden gemaakt van dynamische systemen, waarbij grootheden veranderen in de tijd. Bekende voorbeelden van dergelijke systemen in het huidige scheikundecurriculum zijn reactiekinetiek en chemisch evenwicht. Met een computermodel is het mogelijk te voorspellen hoe het systeem, gegeven bepaalde modelregels, zich gedraagt. Door vergelijking met de empirie kan vervolgens de geldigheid van de modelregels onderzocht worden. Tegenwoordig zijn er diverse grafische modelleeromgevingen beschikbaar, die ieder specifieke voor- en nadelen hebben (zie Löhner, Savelsbergh, & Van Joolingen, dit nummer). In dit project is gebruikt gemaakt van 'Powersim', dit programma wordt nader beschreven in Kader 3.

Uit de literatuur is bekend dat leerlingen relatief snel en eenvoudig met een grafische modelleeromgeving overweg kunnen (Schecker, 1993, 1998), met de kanttekening dat representatie van de modellen een belangrijk aandachtspunt is (cf. Löhner et al., dit nummer). Het is dus van belang leerlingen zorgvuldig te begeleiden bij het representeren van eigen gedachten en kennis van het te modelleren systeem in een computermodel. Om dit te realiseren is een onderwijsbenadering nodig waarbij leerlingen zelf stapsgewijs de relevante fasen in een modelleerproces doorlopen. Dit modelleerproces kan worden beschreven in termen van de empirische cyclus, zoals weergegeven in Kader 2. In de praktijk kan een bepaalde fase meer aandacht krijgen dan andere of kan de volgorde van de fasen afwijken. Dat neemt echter niet weg dat alle genoemde fasen op zeker moment in dat proces aan de orde moeten komen.






Kader 2. Fasen in het modelleerproces.

Het lijkt ons relevant te onderzoeken of deze context, het modelleren van een dynamisch systeem m.b.v. grafisch modelleerprogramma, geschikt is om leerlingen begrip van modellen te laten verwerven. De zeven *algemene* modelkenmerken gebruiken we daarbij als referentiekader. In dit artikel wordt het ontwikkelde onderwijs kort beschreven en verantwoord. Vervolgens wordt besproken op welke wijze het onderwijs in de klas heeft gefunctioneerd. Tenslotte wordt geëvalueerd in hoeverre de zeven modelkenmerken voor leerlingen herkenbaar naar voren kwamen.

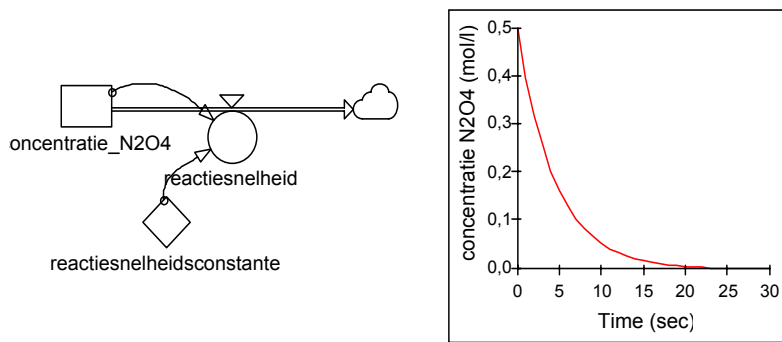
Een grafische modelleromgeving

Het maken van een model in een grafische modelleromgeving begint met het schetsen van een relatiediagram. Dit diagram wordt opgebouwd uit drie soorten grootheden: voorraadgrootheden, rekgrootheden en constanten (Figuur 1).

| Symbol | Functie en omschrijving |
|---|---|
|  | Voorraadgrootheid Een grootheid waarvan de waarde wordt berekend op basis van de oude waarde plus een verandering. |
|  | Rekgrootheid Een grootheid waarvan de waarde wordt berekend uit een vergelijking. |
|  | Constante Een grootheid waarvan de waarde constant blijft. |

Figuur 1: Drie soorten grootheden in Powersim

Tussen de grootheden worden relaties gelegd m.b.v. pijlen. Op het scherm ontstaat zo een grafische representatie van de belangrijke grootheden en de relaties tussen die grootheden. Dit overzicht is gemakkelijk bespreekbaar. De waarde van de rekgrootheid wordt instantaan bepaald uit een formule. De waarde van een voorraadgrootheid verandert doordat er iets bijkomt of afgaat, en wordt dus berekend d.m.v. integratie. De verandering van de voorraadgrootheid wordt gerepresenteerd door een stroompijl (Figuur 2). Als de gebruiker tevreden is over de globale structuur volgt het invullen van waarden en vergelijkingen in een invulvenster voor iedere grootheid afzonderlijk. Als op die manier alle grootheden gespecificeerd zijn, kan het model doorgerekend worden en kunnen de resultaten bijvoorbeeld weergegeven worden in een grafiek.



Figuur 2: Een chemisch reactie in Powersim. De *concentratie_N2O4* neemt af, weergegeven door een stroompijl. De snelheid van de reactie op tijdstip X wordt weergegeven door de rekgrootheid *reactiesnelheid*, die afhangt van de constante *reactiesnelheidsconstante* en de *concentratie_N2O4* op tijdstip X. De stroompijl eindigt in een wolkje. Het wolkje staat voor de omgeving. In dit model is het product van de reactie niet opgenomen.

Kader 3. Een grafische modelleromgeving.

2. Methode van Onderzoek

Context

Dit onderzoek vond plaats in het kader van het ICT-Ontwikkelproject 'Computerondersteund Modelleren in de Natuurwetenschappen'. In dit tweejarige project is onderwijs ontwikkeld voor natuurkunde, scheikunde en biologie met als doelgroep leerlingen 5 VWO in de profielen N&G en N&T. Iedere module beslaat zes lessen. De leerlingen starten met de module natuurkunde, daarna scheikunde en tenslotte biologie. Dit artikel beschrijft het onderzoek aan de scheikundemodule. Tijdens de gehele duur van het project is nauw samengewerkt met betrokken vakdocenten op de twee deelnemende scholen. In de ontwerpfase hebben de docenten geadviseerd over geschikte onderwerpen/thema's en als klankbord gefungeerd voor geproduceerd onderwijsmateriaal. Daarnaast hebben de docenten drie scholingsmiddagen doorlopen, waarin het ontwikkelde onderwijs voor zowel natuurkunde, scheikunde en biologie in detail is doorgenomen. Ook is één scholingsmiddag besteed aan technische vaardigheden voor bediening van de modelleeromgeving. Door de nauwe samenwerking waren de docenten voorbereid op de doelstellingen van het onderwijs en de opvattingen die in het ontwerp verwerkt waren.

Doelen en onderzoeksvragen

Het hier beschreven onderzoek had zowel een theoretische als praktische doelstelling. Het theoretische doel was het verwerven van inzicht in de geschiktheid van deze onderwijsmethode om leerlingen begrip van modellen te laten verwerven. Het praktische doel was ontwikkeling van een goed functionerende prototypische onderwijsmodule. De algemene onderzoeksvragen hierbij luiden:

- Op welke wijze functioneert het onderwijsontwerp in de praktijk?
- In hoeverre komen de verschillende kenmerken van modellen bij leerlingen aan de orde?

Aanpak

Het onderzoek is uitgevoerd in twee ronden. Het eerste jaar stond in het teken van het zoeken naar geschikte onderwerpen/thema's, ontwikkeling van een eerste versie van het onderwijsmateriaal en uitvoering in de praktijk. Doordat het bedoelde onderwijs sterk zou afwijken van de gangbare praktijk moest in het ontwerpproces rekening gehouden worden met veel onzekerheden. Daarom is in de eerste ronde gekozen voor een evaluatie in de breedte, waarin met name de keuze van het onderwerp en het globale functioneren van het ontwerp centraal stonden. Het functioneren van het onderwijsontwerp werd beoordeeld aan de hand van de volgende criteria:

- Affiniteit van leerlingen met het onderwerp
- Motivatie van de leerlingen voor de werkwijze en modelleeraanpak
- Vaardigheden van leerlingen voor representeren van eigen gedachten en ideeën in een computermodel.
- Relevant en betekenisvol gebruik van modellen en modeluitkomsten door leerlingen

Daarnaast is aandacht besteed aan identificatie van knelpunten in het ontwerp. Basis voor de evaluatie vormden de ervaringen van leerlingen, aangevuld met observaties in de klas. Omdat de technische bediening van het pro-

gramma behandeld was in de voorafgaande natuurkundemodule, werd aan dit aspect niet expliciet aandacht besteed.

In het tweede jaar werd een aangepast onderwijsontwerp meer uitgebreid geëvalueerd. In deze evaluatie stond het verwerven van begrip van modellen door leerlingen centraal. De evaluatie is uitgevoerd door de geobserveerde leerlingenactiviteiten in de klas te toetsen aan vooraf geëxpliciteerde verwachtingen over uitwerking in de praktijk per modelkenmerk. Tevens is op basis van de reacties van leerlingen is een eerste beeld ontstaan van de bereikte leerresultaten. Voor deze evaluatie zijn de volgende middelen gebruikt:

- korte interviews met groepjes leerlingen gedurende de lessenserie
- vragenlijsten ingevuld door leerlingen na afloop van een lessenserie
- geluidsopnamen van groepjes leerlingen aan het werk
- analyse van leerling-antwoorden
- lesobservatie van alle lessen in een lessenserie

3. Uitwerking van de vraagstelling en ontwerp in de eerste ontwikkelronde

In de eerste ontwikkelronde stonden de keuze van het onderwerp, ontwikkeling van de eerste versie van het onderwijs en uitvoering daarvan in de praktijk centraal. Hieronder gaan we verder in op deze punten.

Keuze van onderwerp

Het ontwikkelproces is gestart met een inventarisatie van dynamische processen en/of verschijnselen in het huidige scheikunde curriculum. Naast "traditionele" onderwerpen zijn ook de mogelijkheden van een aantal thema's verkend die niet standaard in het curriculum zitten. Voorbeelden hiervan zijn Zwembadchemie en wassen van textiel. Op basis van deze eerste analyse zijn twee onderwerpen in detail uitgewerkt.

Het eerste uitgewerkte onderwerp betrof de industriële ammoniaksynthese. De kern van deze synthese is de evenwichtsreactie: $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$. Deze industriële toepassing is een voorbeeld van een continue proces waarbij de ammoniakopbrengst geoptimaliseerd wordt door een geschikte keuze van druk en temperatuur.

Het tweede uitgewerkte onderwerp is wassen van textiel in de wasmachine. Bij het reinigen van textiel spelen vele chemische processen een rol, zoals het oplossen van wateroplosbaar vuil, het verwijderen van vetvlekken met behulp van zeep en de afbraak van eiwitvlekken door enzymen. Het wassen van textiel vormt geen traditioneel aandachtgebied in het scheikunde curriculum, hoewel er op verschillende plaatsen wel deelaspecten aan de orde komen. Ook in dit geval is sprake van een optimalisatieopdracht: het verwijderen van zoveel mogelijk vuil door een geschikte keuze van bijv. temperatuur, wasduur en waterhoeveelheid. Zowel bij ammoniaksynthese als wassen van textiel dienen leerlingen hun eigen ideeën en gedachten over het systeem te conceptualiseren in de vorm van een dynamisch computermodel.

Om tot een gefundeerde keuze voor één van beide onderwerpen te komen zijn we voor beide onderwerpen nagegaan hoe de modelkenmerken van Van Driel (1999) tot uitdrukking zouden kunnen komen. Deze verwachtingen zijn weergegeven in Tabel 1. Naast deze kenmerken verschillen beide onderwerpen nog op enkele andere aspecten, die ook onderaan Tabel 1 zijn toegevoegd (vgl., Savelsbergh & Prins, 2002).

Tabel 1. Modelkenmerken en verwachte uitwerkingen daarvan voor ammoniaksynthese en wassen van textiel.

| Kenmerk van modellen | Ammoniaksynthese | Wassen van textiel |
|---|---|--|
| 1. is een model van <i>iets</i> | Systeem bevindt zich niet in directe leefwereld van leerlingen | Systeem bevindt zich in dagelijkse ervaringswereld van leerlingen |
| 2. is altijd <i>hulpmiddel</i> bij onderzoek | Model gebruikt voor kwantitatieve exploratie en als aanleiding voor theoretische verdieping | Model gebruikt voor kwalitatieve exploratie en als aanleiding voor theoretische verdieping |
| 3. vertoont een aantal <i>overeenkomsten</i> met het object van onderzoek waardoor het een bron van hypothesen over dat object kan zijn | Aangezien het object van het model zich niet op leefwereldniveau van leerlingen bevindt, is het onzeker of het model een bron van hypothesen over het object kan zijn | Aangezien het object van het model zich in dagelijkse ervaringswereld, is de kans groot dat het model een bron van hypothesen over het object is |
| 4. <i>verschilt</i> van het object van onderzoek vanwege het streven naar eenvoud | Waarschijnlijk is het voor leerlingen lastig om onderscheid te maken in de invloed van diverse factoren en condities | Waarschijnlijk zijn leerlingen in staat factoren en condities te benoemen die verwaarloosd kunnen worden |
| 5. heeft een <i>compromiskarakter</i> dat de onderzoeker een zekere vrijheid geeft bij de keuze van een model | Er zijn slechts een beperkt aantal manieren waarop een evenwichtsreactie conceptueel vormgegeven kan in een dynamisch computermodel Beperkt aan keuzemogelijkheden bij constructie van model | Er zijn meerdere manieren mogelijk waarop de processen conceptueel vormgegeven kunnen worden Relatief veel keuzemogelijkheden bij constructie van model |
| 6. is niet <i>rechtstreeks afgeleid</i> van het object van onderzoek; creativiteit speelt een rol bij de keuze van een model | De leerling heeft in het begin weinig keuze: eerst dient een reactie correct in het model geïmplementeerd te worden | De leerling heeft een zekere vrijheid bij het bepalen welk proces als 'eerste' gemodelleerd wordt |
| 7. kan een <i>ontwikkeling</i> doormaken in de loop van een onderzoek | De centrale reactie dient eerst correct in het model geïmplementeerd te zijn, voordat de leerling het model kan uitbreiden | Het startmodel kan erg simpel en ontoereikend zijn. Testen, verwerpen, aanpassen en uitbreiden zijn mogelijk |
| Overige kenmerken | | |
| <i>Curriculum</i> | Traditioneel | Niet traditioneel, de aspecten komen aan de orde |
| <i>Attitude docent</i> | Relevant | Vraagtekens bij relevantie |
| <i>Focus begeleiding van docent</i> | Vakinhoudelijk expert, meedenken en coachen | Meedenken en coachen |

Op basis van deze vergelijking is gekozen voor het onderwerp wassen van textiel, omdat dit onderwerp duidelijk meer mogelijkheden biedt de diverse kenmerken van modellen aan bod te laten komen.

Ontwerp van eerste versie onderwijsmodule Wassen van Textiel

In de eerste versie van de onderwijsmodule starten leerlingen met een inventarisatie van eisen die gesteld kunnen worden aan een goed wasprogramma. Leerlingen voeren deze opdracht uit aan de hand van een kleine casus: stel dat je favoriete T-shirt of spijkerbroek wordt gewassen. Hoe verwacht jij dat je kledingstuk uit de wasmachine komt? Wat kan er allemaal misgaan? Al redenerend komen de leerlingen tot een aantal eisen. Dit vormt aanleiding om de chemie tijdens het wasproces te 'ontdekken' en uit te zoeken welke factoren en condities een rol spelen. Het model is hierbij een middel om de invloed van de verschillende factoren en condities te bestuderen. De didactische structuur van het onderwijs is gebaseerd op de modelleerfasen zoals beschreven in Figuur 3. Deze fasering is vertaald in een serie leeractiviteiten. In Tabel 2 volgt een beschrijving van de eerste versie op hoofdlijnen.

Tabel 2. Het eerste ontwerp.

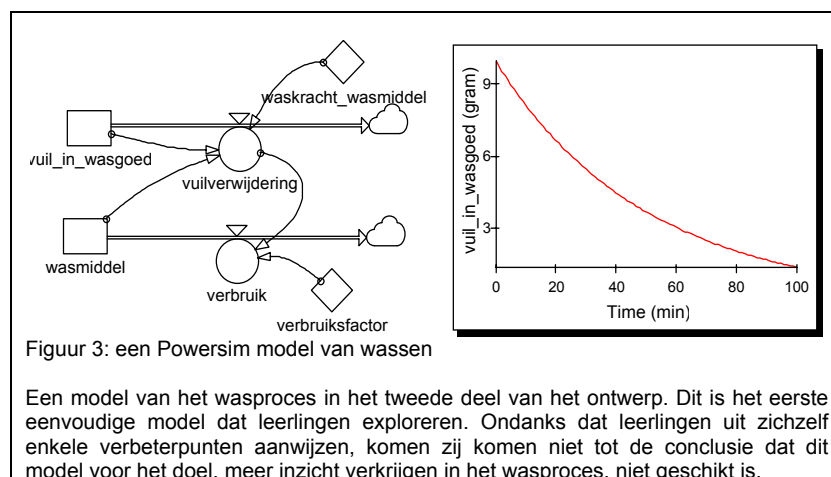
| Deel in onderwijsmodule | Leerlingenactiviteiten |
|-----------------------------------|---|
| Inleiding | Leerlingen oriënteren zich op wasmiddelen en wasmachines aan de hand van casus. Hieruit volgt een motief om wasproces te bestuderen m.b.v. een computermodel. |
| Introductie eerste model | Leerlingen exploreren een eenvoudig model van het wasproces. Evaluatie van het model leidt leerlingen tot de conclusie dat een beter model nodig is om het wasproces goed te beschrijven. |
| Wassen? Korte analyse | Activering van relevante chemiekennis omtrent het wasproces. |
| Bouwen van nieuwe modellen | Leerlingen bouwen zelf een nieuw model van het wasproces. Begonnen wordt met de verwijdering van wateroplosbaar vuil. Vervolgens wordt het model uitgebreid met resp. vetvlekken en eiwitvlekken. Iedere cyclus bevat onderstaande activiteiten: <ul style="list-style-type: none"> • oriëntatie op het soort vlek of vuil • oriëntatie op de actieve component uit het wasmiddel • benoemen van factoren en condities die van invloed zijn op verwijdering van de vlek of vuil • stap voor stap (door vragen) begeleide grafische representatie van het proces in een computermodel • opstellen van een hypothese over modelgedrag • testen van modelgedrag en vergelijken met hypothese • conclusie trekken over de kwaliteit van het model. Tenslotte volgt een optimalisatie van het wasresultaat door de goede waarden te kiezen voor (soms tegenstrijdige) procesconditie(s). Leerlingen ontwerpen zo al doende een wasprogramma m.b.v. het zelf gebouwde model. |
| Reflectie | Leerlingen kijken terug op hun gebouwde model en benoemen de verbeteringen t.o.v. het eerste, eenvoudige model van het wasproces. Daarnaast reflecteren leerlingen op de kwaliteit van het verbeterde model en benoemen ook hier verbeterpunten. |

Resultaten van eerste uitvoering

Alle lessen vonden plaats in het computerlokaal. In totaal namen circa 35 leerlingen, verdeeld over twee klassen, deel aan het onderwijs. Alle leerlingen hadden ook de natuurkundemodule gevolgd. De leerlingen werkten in tweetallen. Per duo was één computer beschikbaar waarop de grafische modelleeromgeving geïnstalleerd was. Daarnaast had iedere leerling een werkboekje *Waskracht!* en een handleiding Powersim tot beschikking. De docent startte plenair met een introductie van het onderwerp Wassen van textiel en lichte kort toe waarom een computermodel nuttig is om dit proces te bestuderen. Vervolgens gingen de leerlingen zelfstandig aan de slag, waarbij de docent de rol van coach vervulde.

Uit de observaties bleek dat leerlingen voldoende affiniteit met het onderwerp hadden. Bij de eerste oriëntatie waren leerlingen in staat om enkele relevante eisen aan een goed wasprogramma te benoemen, zoals kleurvastheid, niet krimpen en schoon, en deze te koppelen aan factoren en condities, zoals temperatuur van het water en hoeveelheid wasmiddel. Leerlingen konden voldoende eigen ervaring inbrengen in de discussies over het wasproces. De meeste benodigde chemische concepten en begrippen waren in eerdere lessen aan de orde gekomen. Het doel van het maken van een computermodel, namelijk meer inzicht te verkrijgen in het wasproces, bleef voor leerlingen echter onduidelijk. Dit kwam vooral naar voren aan het eind van deel 2 van het ontwerp 'Introductie eerste model' (Kader 4). Exploratie van het eenvoudige model leidde bij de leerlingen niet tot de conclusie dat een beter model nodig was.

In de lessen werkten de leerlingen geconcentreerd en gemotiveerd. De technische bediening van de modelleeromgeving leverde, zoals verwacht, geen problemen op. Het viel echter wel op dat er een groot verschil was tussen exploratie van een bestaand model en constructie van een nieuw model. De meeste leerlingen hadden geen moeite om bestaande modellen te explo-



Kader 4. Leerlingen komen niet tot de conclusie dat dit eenvoudige model van het wasproces niet geschikt is om meer inzicht te verkrijgen in het wasproces.

renen. De grafische representatie leverde geen problemen op en leerlingen waren in staat betekenis te verlenen aan modeluitkomsten. Constructie van nieuwe modellen daarentegen stuitte op veel moeilijkheden. Veel leerlingen waren niet in staat om eigen gedachten en ideeën te conceptualiseren in de modeltaal. Eenmaal door deze constructiefase heen, waren leerlingen vervolgens wel weer in staat om het model op een relevante en betekenisvolle manier te gebruiken. Uit de evaluatie achteraf bleek dat de meeste leerlingen het maken van modellen erg leuk vonden.

De belangrijkste knelpunten ten aanzien van het functioneren van het onderwijsontwerp waren:

- Het doel van het bouwen van een model was niet duidelijk voor leerlingen.
- Constructie van nieuwe modellen verliep moeizaam.
- Leerlingen reflecteerden niet op de kwaliteit van een model.
- Leerlingen vonden het lastig om modeluitkomsten te toetsen aan eigen geëxpliciteerde verwachtingen en hypothesen.

Conclusies uit de eerste uitvoering

Uit de eerste ronde bleek dat het gekozen onderwerp voor leerlingen voldoende aanknopingspunten biedt om ervaringskennis en reeds bekende chemiekennis te gebruiken. Er was dus geen aanleiding de keuze van het onderwerp ter discussie te stellen. Ondanks de goede inhoudelijke aansluiting was het doel van het maken van een computermodel voor leerlingen onduidelijk. Blijkbaar was de context, de continue ontwikkeling van betere wasprogramma's en wasmachines, niet logisch samenhangend met de centrale opdracht, namelijk meer inzicht verkrijgen in het wasproces m.b.v. een computermodel. Daarnaast is geconstateerd dat een duidelijk motief om te gaan modelleren aandacht verdient. Verder bleek dat de overgangen tussen de verschillende fasen in het modelleerproces (Figuur 2), vaak gekoppeld aan een overgang naar een ander abstractieniveau, te snel gingen, niet logisch waren of (te) impliciet bleven. Het geheel van leerlingenactiviteiten en -handelingen diende beter vormgegeven te worden. Tenslotte viel op dat leerlingen weinig kritisch waren t.a.v. hun gebouwde modellen. De belangrijkste verbeterpunten, in samenhang, waren:

1. Een context bieden van logisch samenhangende onderdelen waarin de noodzaak van modelgebruik voor leerlingen begrijpelijk is.
2. Uitgaande van zo'n context meer aandacht besteden aan het oproepen van een 'modelleerbehoefte' bij leerlingen.
3. Leerlingen kritisch naar modeluitkomsten laten kijken, door:
 - de kwaliteit van modellen laten beoordelen aan de hand van resultaten van uitgevoerde 'wasexperimenten'.
 - leerlingen expliciet laten reflecteren op gevolgde werkwijze en gemaakte keuzen in dat proces.
4. Leerlingen beter begeleiden bij constructie van nieuwe modellen, zonder dat dit ten koste gaat van mogelijkheden voor eigen inbreng van leerlingen.

4. Uitwerking van de vraagstelling en ontwerp in de tweede ontwikkelronde

In het tweede jaar lag de nadruk op het verbeteren van het onderwijsontwerp en op een uitgebreide evaluatie van de uitvoering in de klas. Eerst wordt het tweede ontwerp op hoofdlijnen beschreven. Vervolgens wordt de uitvoering in de klas beschreven.

Ontwerp van de tweede versie onderwijsmodule

Het eerste verbeterpunt uit de eerste ronde betrof ontwikkeling van een context die een motief moest bieden voor het gebruik van computermodellen. Er is gekozen voor een inkadering in een technologische praktijksituatie, namelijk ontwikkeling van een wasprogramma (verbeterpunt 1). De module start met

Tabel 3. Het tweede ontwerp.

| Deel in onderwijsmodule | Leerlingenactiviteiten |
|---------------------------------------|---|
| Wassen van textiel | Informatie over de progressie die in de afgelopen jaren is geboekt op het gebied van wasmiddelen en wasmachines. Leerlingen krijgen notie van de constante noodzaak tot verdere verbetering, onder druk van bijv. milieuwetgeving en wensen van de consument. |
| Ontwerpen van een wasprogramma | Introductie in een (technologische) praktijk van ontwikkeling van een wasprogramma. De centrale opdracht van de lesmodule is: ontwerp zelf een wasprogramma m.b.v. een computermodel (<i>verbeterpunten 1 en 2</i>). Leerlingen krijgen vervolgens de resultaten van een serie wasexperimenten en verwerken deze tot grafieken. Hierna exploreren leerlingen eenvoudig model van het wasproces en vergelijken de modeluitkomsten met de resultaten van de wasexperimenten. Doelen van deze fase zijn: <ul style="list-style-type: none"> • Koppeling tussen resultaten van experiment en model benadrukken. • Kritisch interpreteren van modelresultaten (<i>verbeterpunt 3</i>). |
| Wassen? Een korte analyse | Activering van relevante chemiekennis omtrent het wasproces. In deze fase wordt tevens een spanningsveld gecreëerd tussen een aantal tegenstrijdige procescondities tijdens wassen. |
| Bouwen van nieuwe modellen | Leerlingen construeren zelf drie aparte modellen van de verwijdering van achtereenvolgens wateroplosbaar vuil, vetvlekken en eiwitvlekken. Beoordeling van de kwaliteit van de modellen vindt plaats aan de hand van resultaten van wasexperimenten met betreffende soort vuil (<i>verbeterpunt 3</i>). Leerlingen krijgen veel begeleiding bij constructie van het eerste model en kijken achteraf expliciet terug op de gevolgde werkwijze. Vervolgens neemt de begeleiding langzaam af: alleen essentiële informatie en nieuwe kenniselementen worden behandeld. Leerlingen krijgen zodoende steeds meer mogelijkheden een model te maken volgens eigen ideeën (<i>verbeterpunt 4</i>). Afronding van dit deel vindt plaats door koppelen van de drie deelmodellen tot één model van de verwijdering van de drie soorten vuil. Met dit model kan een wasprogramma worden ontworpen. |
| Reflectie | Leerlingen reflecteren op hun gebouwde model en de centrale vraagstelling. Vervolgens staan leerlingen stil bij de kwaliteit van het eindmodel en benoemen verbeterpunten. |

een beschrijving hoe wasexperimenten in de praktijk worden uitgevoerd en welke mogelijke voordelen het gebruik van een model zou kunnen hebben in dit proces (verbeterpunt 2). Aan het eind van dit gedeelte volgt de centrale opdracht van de onderwijsmodule:

Stel je bent ontwikkelaar en krijgt de opdracht een nieuw wasprogramma te ontwikkelen. Er zit haast achter, want de concurrent zit ook niet stil. Je hebt dus geen tijd voor uitgebreide nieuwe experimenten, alleen beschikking over de resultaten van een serie wasexperimenten. Ontwikkel zelf m.b.v. een model een wasprogramma op basis van de resultaten van de wasexperimenten.

Deze context heeft zijn weerslag in de in de rest van de module. Uiteraard dient het te ontwikkelen wasprogramma wederom te voldoen aan een aantal eisen, zoals een schoon resultaat en milieuvriendelijk. Het model heeft nu een andere functie dan in het eerste ontwerp. In dit ontwerp fungeert het model als (onmisbaar) middel om te komen tot een ontwerp van een wasprogramma. In Tabel 3 volgt een beschrijving van het tweede ontwerp op hoofdlijnen.

Resultaten van de tweede uitvoering

Aan deze ronde namen circa 40 leerlingen deel. De leerlingen werkten ook dit keer samen in tweetallen. De docenten hadden dezelfde rol als tijdens de eerste ronde. De verdere omstandigheden en condities waren vergelijkbaar. In deze ronde stonden de volgende vragen centraal:

1. Hebben de verbeterpunten geleid tot een beter functionerend tweede ontwerp?
2. In hoeverre komen de verschillende kenmerken van modellen bij leerlingen aan de orde?

De eerste vraag hebben we beantwoord op basis van gegevens en indrukken verkregen uit interviews met leerlingen en docenten, schriftelijke enquêtes ingevuld door leerlingen, geluidsopnamen van leerlingen aan het werk, schriftelijke leerlingenantwoorden en lesobservaties. Voor beantwoording van de tweede vraag hebben we de geobserveerde leerlingactiviteiten getoetst aan vooraf geëxpliciteerde verwachtingen over uitwerking in de praktijk per modelkenmerk (Tabel 4). We beginnen met het bespreken van het functioneren van het tweede ontwerp aan de hand van de verbeterpunten uit de eerste ronde.

Voor het merendeel van de leerlingen was het doel van de onderwijsmodule, het ontwikkelen van een wasprogramma, duidelijk. Uitspraken van enkele leerlingen hierover:

- *Ja, ik begreep steeds waar ik mee bezig was, het is heel praktijkgericht*
- *Het enige wat ik lastig vond is het kijken wat ik zelf het beste wasresultaat vond en waarom*
- *Verschillende soorten vlekken hebben vaak ook andere behandeling nodig. Het zijn verschillende vlekken, dus je kan als vergelijking ook aparte modellen maken*
- *Je kan de drie aparte modellen combineren in één model. Je hebt dan alle factoren in één keer*

Uit bovenstaande uitspraken blijkt dat leerlingen de elementen uit de context herkennen als een samenhangend geheel, en tevens een mogelijke rol en functie van een model in het ontwikkelproces kunnen beschrijven (verbeterpunten 1 en 2). Desgevraagd gaven leerlingen aan het 'logisch' en 'voorstel-

baar' te vinden dat er bij de ontwikkeling van wasprogramma's modellen worden gebruikt.

Ten aanzien van het derde verbeterpunt, leerlingen kritischer naar modeluitkomsten laten kijken, vielen een aantal zaken op. Uit de leerlingenantwoorden en observaties in de klas is gebleken dat toetsing van de kwaliteit van modeluitkomsten aan de hand van resultaten van 'wasexperimenten' goed functioneerde. In vergelijking van de eerste uitvoering waren leerlingen beter in staat de kwaliteit van de modeluitkomsten te beoordelen. Bijkomend voordeel was dat docenten relatief snel konden controleren of een model van leerlingen de juiste resultaten genereerde. Een tweede concretisering van het derde verbeterpunt hield in dat leerlingen expliciet moesten reflecteren op de gevolgde werkwijze en gemaakte keuzen in hun werkwijze. Dit vond plaats na constructie van het eerste model. Uit de protocollen werd echter niet duidelijk in hoeverre dit heeft bijgedragen tot een kritischer houding van leerlingen t.a.v. de kwaliteit van de modellen en modeluitkomsten.

Voor wat betreft exploratie van gegeven modellen viel op dat interpretatie van

Kader 5. Leerlingen leggen elkaar de grafische representatie van het model uit. Gedurende het gesprek ontstaat er verwarring over de naamgeving en vergelijking tussen de rekengrootheden *verwijdering* en *verbruik*.

| | |
|--|---|
| <p>Esther: Kijk eens naar het model! Bas: Toch leuk om eerst even snappen Ja?! Vuil wordt steeds minder, ja, dus zit er meer in water. Verwijdering is dat En daar staat wasmiddel Esther: hoe zou het verbruik Bas: wasmiddel wordt ook steeds minder door het verbruik .. Esther: ja .. Bas: en de watertemperatuur is van invloed Esther: Wasmiddel wordt steeds minder, zeg jij? Bas: Wasmiddel is ook een uitstroompijl Achmed: dus het wordt steeds minder. Bas: klopt toch ook door verbruik Esther: maar waarvoor Achmed: wacht even ... Bas: dat wasmiddel dat wordt verbruikt, bijv. 10 milligram of gram, en daardoor is dat verwijdering van vuil en dat er ook steeds minder wasmiddel is. Esther: maar Wat heeft dat te maken met de verwijdering, dat begrijp ik alleen niet! Esther: Wat is dat verbruik? Er staat zeg maar alleen verwijdering in, dat is hetzelfde als deze, maar wat heeft dat verwijdering, dat heeft ook met warmte en zo te maken, maar dat heeft toch niet echt iets met het wasmiddel te maken? Bas: Nee maar, wat is dat verbruik hier, dit? Achmed: Ja, wat houdt het verbruik in? Docent: Je hebt wasmiddel nodig voor verwijdering van vuil.. Bas: dat wordt dus verbruikt, dus wordt steeds minder. Bas: en hoeveel het minder wordt ... dat zegt deze pijl?</p> | <p>The diagram, labeled 'Figuur 4: Het model waar de leerlingen over spreken', illustrates a washing machine model. It features several interconnected components: 'ruil_in_proeflapje' (input), 'wasmiddel' (input), 'water temperatuur' (input), 'beweging_wasmachine' (input), and 'verwijdering' (output). A central circular node is connected to these inputs and outputs. Below this node, there is a circular loop labeled 'verbruik' (consumption) with an arrow pointing to a cloud-like shape representing an output. The diagram uses various symbols like rectangles, circles, and arrows to represent different parts of the model.</p> |
|--|---|

modeluitkomsten door leerlingen geen zichtbare problemen opleverde. Uit de bandopnamen bleek dat leerlingen in staat waren de grafische representatie met elkaar te bespreken en reële betekenis te verlenen aan verschillende grootheden. Er ontstond echter verwarring op het moment dat leerlingen aandacht besteden aan de naamgeving van de grootheden en de waarden en vergelijkingen in het model (Kader 5).

Constructie van nieuwe modellen (verbeterpunt 4) verliep aanmerkelijk beter dan in de eerste uitvoering. Er vielen met name twee zaken op. Ten eerste waren de problemen die leerlingen tegenkwamen makkelijker op te lossen. Ten tweede bleek dat niet alle leerlingen op dezelfde moeilijkheden stuitten, zoals wel het geval was in het eerste ontwerp. Gevolg hiervan was dat leerlingen veel beter in staat waren elkaar inhoudelijk te begeleiden en coachen. Uit een schriftelijke enquête onder leerlingen kwamen als belangrijkste knelpunten naar voren:

- Koppelen en relatie leggen tussen variabelen.
- Achterhalen van alle grootheden en condities.
- Opstellen van correcte vergelijkingen.

Om te beoordelen in hoeverre de verschillende kenmerken van modellen bij leerlingen aan de orde komen, hebben we de geobserveerde leerlingactiviteiten getoetst aan vooraf geëxpliciteerde verwachtingen over uitwerking in de praktijk per modelkenmerk (Tabel 4).

Hieronder worden enkele leerlingactiviteiten beschreven die illustratief zijn voor één of meerdere kenmerken van modellen. Gedurende de gehele onderwijsmodule gebruikten leerlingen eigen ervarings- en chemiekennis van het wasproces. Leerlingen waren in hun werkboekje in staat vele aspecten te benoemen en de invloed te beschrijven. Hieronder een voorbeeld:

Wat zijn de voordelen van:
wassen op een lage temperatuur/hoge temperatuur?
Laag: *behoud kleding, minder energie*
Hoog: *gaat snel*

wassen met weinig water/veel water?
Weinig: *besparing kosten*
Veel: *vuil lost beter op*

een korte wastijd/lange wastijd?
Korte: *behoud kleding, minder energie*
Lange: *beter schoon*

veel beweging/weinig beweging?
Veel: *processen lopen sneller, beter*
Weinig: *behoud kleding*

Leerlingen zijn zich terdege bewust dat het wasproces *object* van het model is. Dit is illustratief voor het eerste kenmerk van modellen, model van *iets*.

Tabel 4. Verwachtingen over uitwerking in praktijk per modelkenmerk.

| Kenmerk van modellen | Verwachting over uitwerking tweede onderwijs-ontwerp |
|---|--|
| 1. is een model van <i>iets</i> | Leerlingen zijn in staat ervaringskennis en chemiekennis actief in te zetten bij het analyseren van het wasproces |
| 2. is altijd <i>hulpmiddel</i> bij onderzoek | Leerlingen gebruiken computermodel om de optimale procescondities van een wasprogramma vast te stellen. Het werken met het computermodel maakt een onderzoekende houding bij leerlingen zichtbaar |
| 3. vertoont een aantal <i>overeenkomsten</i> met het object van onderzoek waardoor het een bron van hypothesen over dat object kan zijn | Leerlingen zijn in staat modeluitkomsten te vergelijken met eigen verwachtingen over gedrag van wasproces onder verschillende condities. Dit roept nieuwe vragen op bij leerlingen |
| 4. <i>verschilt</i> van het object van onderzoek vanwege het streven naar eenvoud | Leerlingen zien in dat het computermodelmodel alleen de belangrijkste factoren en condities van het wasproces kan bevatten |
| 5. heeft een <i>compromiskarakter</i> dat de onderzoeker een zekere vrijheid geeft bij de keuze van een model | Binnen het kader van het ontwerp en uitgaande van de mogelijkheden die de grafische modelleeromgeving biedt, bepalen leerlingen zelf hoe zij het model vorm gaan geven en op welke manier en volgorde zij te werk gaan |
| 6. is niet <i>rechtstreeks afgeleid</i> van het object van onderzoek; creativiteit speelt een rol bij de keuze van een model | Leerlingen nemen eigen ideeën en gedachten over de grootheden en condities, die zij van belang achten, op in het model |
| 7. kan een <i>ontwikkeling</i> doormaken in de loop van een onderzoek | Leerlingen doorlopen verschillende cycli, waarbij de complexiteit van het model steeds toeneemt. Iedere cyclus wordt afgesloten met reflectie. Leerlingen ervaren dat het model steeds completer wordt |

Op het eind van de lesmodule gebruiken leerlingen hun eigen model om de procescondities voor een optimaal wasresultaat te achterhalen. In deze fase werkten de leerlingen zeer enthousiast om tot resultaat te komen. Tevens werden eigen gevonden waarden veelvuldig vergeleken met die van andere teams. Deze observaties zijn volgens ons illustratief voor het tweede kenmerk van modellen, *hulpmiddel* bij onderzoek. Overigens is de heuristiek die leerlingenteams gebruiken om tot een optimaal resultaat te komen niet altijd even duidelijk (Kader 6).

De meeste leerlingen waren in staat kwalitatieve uitspraken te doen over de invloed van procescondities en deze vervolgens te vergelijken met het gedrag van hun model. Tevens is gebleken dat leerlingen regelmatig hun modeluitkomsten vergelijken met resultaten van wasexperimenten. Het is echter niet duidelijk in hoeverre deze evaluaties nieuwe vragen bij leerlingen oproepen over het model (zie ook modelkenmerk 3). Er zijn eveneens geen aanwijzingen in hoeverre modelkenmerken 4 en 5 bij leerlingen aan de orde zijn gekomen. Leerlingen vonden het moeilijk om zelf gefundeerde keuzes te

| Opdracht: <i>Bepaal m.b.v. je model de optimale procescondities.</i> | | | | | | |
|---|----------------------------------|-----------------------|----------------------|---|----------------------|---------------------------|
| Run | Waterhoe- veelheid (liter) | Tempera- tuur (°C) | Wasduur (minuten) | Residu water- oplosbaar vuil (gram) | Residu vet (gram) | Residu eiwit (gram) |
| 1 | 20 | 45 | 100 | 0.0001 | 0.02 | 0.002 |
| 2 | 30 | 45 | 100 | $2,8 \cdot 10^{-6}$ | 0,07 | 0,02 |
| : | : | : | : | : | : | : |
| : | : | : | : | : | : | : |
| 12 | 20 | 65 | 80 | $2,9 \cdot 10^{-7}$ | 0,01 | 0,07 |

Wat is je conclusie:
Wij vinden dat 20 liter water, 65 °C en 80 minuten de beste oplossing, als je kijkt naar hoeveelheid vuil

Kader 6. Fragment uit werk van een leerlingenteam. Leerlingen bepalen de procescondities voor optimaal wasresultaat. Slotvraag van voorlaatste fase uit de onderwijsmodule: *Bouwen van nieuwe modellen* (Tabel 3).

maken bij het construeren van een model. Hierbij was relatief veel begeleiding nodig.

Ten aanzien van kenmerk 6 valt op te merken dat leerlingen in eerste instantie verschillende grafische representaties produceerden. In deze fase konden leerlingen veel van hun creativiteit en voorstellingsvermogen gebruiken. Echter, tijdens de testfase kwamen vele leerlingen er vervolgens achter dat het model niet werkte of onzinnige resultaten te zien gaf. Leerlingen vonden het vervolgens moeilijk om fouten uit het model te halen om te komen tot een uitvoerbaar model. Dit vereist een kritische houding ten aanzien van het eigen geproduceerde model en een systematische werkwijze om de fout(en) te achterhalen. Tijdens deze fase was er relatief veel begeleiding en sturing nodig van de docent. Het is echter niet duidelijk in hoeverre deze uitvoerbare modellen aansluiten bij de (oorspronkelijke) ideeën en gedachten van leerlingen.

Tenslotte viel op dat leerlingen een eenmaal geproduceerd model over het algemeen goed kunnen evalueren. Bij ieder model benoemden leerlingen verbeterpunten. Dit is illustratief voor kenmerk 7. Leerlingen waren zich ervan bewust dat een model nooit 'af' is en er altijd verbeteringen mogelijk zijn:

Vraag: Kijk nog eens naar de resultaten het laatst gebouwde model.
 Vind je de uitkomsten van je model voldoende betrouwbaar?
Ik weet het niet zeker, ik kan het niet vergelijken met de praktijk

Over welke onderdelen van het wasproces moet je eventueel nog meer weten?

Snelheid van verwarmen van water
Hoeveel liter water erin komt per minuut

Waarschijnlijk zal een wasmachinefabrikant het door jouw ontworpen wasprogramma niet voldoende vertrouwen om gelijk een wasmachi-

ne op de markt brengen met dit programma. Hoe zou je de fabrikant kunnen overtuigen?

Door de wasprogramma's in het echt te laten testen en proberen

Conclusies uit de tweede uitvoering

Het tweede ontwerp heeft aanzienlijk beter gefunctioneerd dan de eerste. Een belangrijke oorzaak hiervoor is de consistentie van de ontworpen context en de praktijksituatie waarbinnen het model een functie vervult. De context en praktijksituatie, op basis waarvan een modelleerbehoefte bij leerlingen dient te ontstaan, worden geïntroduceerd in het begin van het onderwijsontwerp. Dit onderdeel dient daarom zorgvuldig vormgegeven te worden. Op basis van de gegevens kunnen we niet met zekerheid vaststellen in hoeverre de geconstateerde modelleerbehoefte vanuit leerlingen zelf komt. Het is niet uit te sluiten dat de modelleerbehoefte 'geforceerd' tot stand is gekomen door bijvoorbeeld de opzet van het onderwijsontwerp. Zover wij kunnen inschatten zijn er op dit punt nog verbeteringen mogelijk, zoals:

- Een meer gefundeerde introductie in de technologische praktijksituatie. We denken dat de introductie in de huidige onderwijsmodule (te) snel verloopt.
- In het huidige ontwerp wordt het computermodel (te) snel aangedragen als oplossing. Uitgaande van de centrale opdracht lijkt het ons wenselijk de leerlingen eerst zelf te laten nadenken over een mogelijk aanpak.

Tevens is gebleken dat veel leerlingen moeilijkheden ondervinden met het uitvoerbaar maken van hun modellen. Hierbij bleek dat de kwantitatieve invulling van het model, de vergelijkingen en naamgeving aan symbolen in de modeltaal een belangrijk aandachtspunt vormen.

Op grond van de evaluatiegegevens kunnen we concluderen dat kenmerken 1, 2 en 7 bij leerlingen aan de orde zijn gekomen. Minder duidelijkheid is er over kenmerken 3 t/m 6. Deze kenmerken van modellen komen vooral aan de orde bij het construeren van modellen. En juist bij deze fase traden de meeste problemen op. Wel kunnen we concluderen dat de leerlingen in staat waren hun mentale modellen te conceptualiseren in een grafische representatie. Hierbij toonden sommigen zich creatief en vindingrijk (kenmerk 6).

Met name tijdens de tweede uitvoering is gebleken dat goede inhoudelijke begeleiding door de docent belangrijk is voor het verdere verloop van het onderwijsproces. De participerende docenten hebben aangegeven het moeilijk te vinden het modelleerproces van leerlingen te sturen. In diverse evaluatiegesprekken met docenten kwamen onderstaande aandachtspunten naar voren:

- Het is lastig om een zelf gebouwd computermodel van een leerling snel te overzien.
- Er zijn vele verschillende type vragen van leerlingen, variërend van chemisch inhoudelijk tot hulp bij het grafisch representeren van ideeën en gedachten van een leerling. Deze laatste categorie vragen is bijzonder lastig.
- Het is niet voorspelbaar welke moeilijkheden leerlingen tegenkomen.
- Er is veel verschil in de snelheid waarmee leerlingen computermodellen maken. Dat maakt klassikale momenten lastig te organiseren en plannen.

Over leerresultaten zijn op dit moment nog geen definitieve uitspraken te doen. De leerlingen geven in hun antwoorden in de werkboekjes wel blijk van inzicht in de invloed van een aantal tegenstrijdige procescondities. De leerlingen geven zelf aan op procesmatig vlak en qua modelleervaardigheden veel geleerd te hebben. Opmerkelijk was dat vele leerlingen het onderwerp 'niet echt scheikunde' vonden. Afgaande op de antwoorden van leerlingen in het lesmateriaal en in interviews lijkt de onderwijsmodule de volgende leerresultaten te hebben opgeleverd:

- De invloed van verschillende procescondities op het wasresultaat en onderlinge beïnvloeding.
- Maken van modellen op de computer.
- Het kunnen interpreteren van uitkomsten van modellen.

5. Discussie, slotconclusie en vervolg

Uit dit onderzoek blijkt dat 'Wassen van textiel' inderdaad een geschikt onderwerp is, waarbij tenminste vier van de beoogde zeven kenmerken van modellen aan de orde zijn gekomen. Naar onze inschatting zijn er mogelijkheden deze modelleeraanpak verder te verbeteren zodat ook de overige kenmerken beter aan de orde komen. Eerste verbeterpunt is dat leerlingen beter overweg kunnen met de modeltaal en vaardig zijn in het representeren van eigen ideeën en gedachten. Tweede verbeterpunt betreft de inhoudelijke begeleiding door de docent. Het verdient aanbeveling tijdens de voorbereiding van docenten ook aandacht te besteden aan het ontwikkelen van werkwijzen of procedures voor begeleiden van modelleerprocessen van leerlingen.

Op basis van ervaringen tijdens het ontwikkelingsproces en de experimentele uitvoering hebben we een aantal algemene richtlijnen en kenmerken geformuleerd voor (toekomstig) scheikundeonderwijs waarin werken met modellen centraal staat:

1. Kies een praktijksituatie waarin een model als (onmisbaar) middel kan worden ingezet. Beperk de praktijksituaties niet alleen tot die in een natuurwetenschappelijke onderzoekscontext. Het type probleem of opdracht bepaalt vervolgens welk soort model gebruikt gaat worden en op welke wijze. Reële praktijk- of beroepssituaties waarin met modellen wordt gewerkt vormen mogelijke uitgangspunten hiervoor (Bulte et al., 2002). Naast het feit dat dit onderwijs (een zekere) 'echtheid' heeft en maatschappelijke relevantie, neemt het model een 'natuurlijke' plaats in. Voorbeelden van dergelijke (chemische) praktijk- of beroepssituaties zijn bijvoorbeeld het formuleren van een advies over voedingsmiddelen en energie en milieuvraagstukken.
2. Naast een goede keuze van een praktijksituatie is het belangrijk een duidelijk motief aan te dragen voor het maken van een model. Dit motief moet duidelijk herkenbaar zijn voor leerlingen. Het oproepen van een modelleerbehoefte bij leerlingen is cruciaal voor het verdere verloop van het onderwijsproces.
3. Zorg voor een duidelijk beoordelingsinstrument aan de hand waarvan leerlingen de kwaliteit van een model kunnen toetsen. In het tweede ontwerp functioneerden de resultaten van wasexperimenten als beoordelingsinstrument.

Daarnaast zijn er enkele inzichten ontstaan in de loop van het ontwikkelproces, die slechts zijdelings te onderbouwen zijn vanuit de hier gepresenteerde evaluatie:

1. Start zo snel als mogelijk is met het bouwen van modellen door leerlingen. Begin hierbij simpel, zodat bij leerlingen al snel een 'succesgevoel' ontstaat.
2. Het is belangrijk dat leerlingen zich realiseren dat niet de feitelijke correctheid maar de bruikbaarheid van het model in een bepaalde situatie de waarde ervan bepaalt. Van leerlingen wordt dus gevraagd dat ze een model als hulpmiddel accepteren in een bepaalde situatie en tegelijk beseffen dat het hulpmiddel op minder relevante punten onzeker of zelfs 'onjuist' kan zijn.
3. Kies een context waarin, wellicht op termijn, reële experimenten in het ontwerp kunnen worden opgenomen.

In de toekomst zal de rol van modellen bij het leren van natuurwetenschap aandacht blijven vragen. Daarmee zal de noodzaak tot verder onderzoek en ontwikkelwerk in deze richting verder toenemen. Dit onderzoek was een eerste poging om meer zicht te krijgen op deze specifieke problematiek. De gekozen innovatieve aanpak, alsmede het 'open' karakter van de gebruikte instrumenten op dit moment, beperken de mogelijkheid tot generalisatie van de resultaten naar andere onderwerpen en onderwijsleerprocessen. We hebben slechts een eerste ruwe schets van een mogelijk onderwijsleerproces ontwikkeld met daarbij identificatie van een aantal aandachtspunten, die deels te maken hebben met modelleren in het algemeen en deels met de grafische modelleeromgeving en bijbehorende modelleertaal. Echter, lang niet alle kritische factoren zijn in kaart gebracht. Verder hebben we onvoldoende zicht op welke wijze het onderwijsleerproces verder verbeterd kan worden en wat de leeropbrengsten zijn. De resultaten geven dus aanleiding voor verdere ontwikkeling en onderzoek. Dit onderzoek zou zich in eerste instantie moeten richten op de vraag volgens welk onderwijsontwerp leerlingen op voor hen betekenisvolle en relevante manier een chemisch model ontwikkelen en evalueren.

Correspondentie over dit artikel aan Gjalt Prins, Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, Postbus 80000, 3508 TA Utrecht. E-mail: g.t.prins@phys.uu.nl. Leerlingenmateriaal, docentenhandleidingen en modellen zijn beschikbaar op website van het Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, <http://www.cdbeta.uu.nl/model>. Dit project werd mede mogelijk gemaakt door een subsidie van het ministerie van OC&W. Wij danken Frans Huijsmans, Koos Kortland, John Meijer, Ad Mooldijk, Joop van Well en René Westra voor hun bijdragen aan dit project.

English summary

Modelling dynamic systems in chemistry: The design and evaluation of a teaching module about laundry cleaning

In the last phase of secondary school students are not only expected to understand some scientific models used in chemistry, but also to have insight in the development and function of models. To reach this kind of fundamental understanding it is desirable that students themselves participate actively in the process of model development. For this purpose computer models of

dynamic systems seem to offer more opportunities than models of atoms and molecules which are widely used in chemistry education. We developed education in which students construct and evaluate models of chemical processes with use of a graphical modeling tool. This article describes the ability of different chemical processes. This comparison resulted in the 'Washing of Textiles' as most promising. We tested the developed education in the classroom and investigated to what extent the development and function of models were brought into practice by students. The developed education appeared practically realizable in the classroom. Further improvement is needed on the reflection on the development and function of models. This can be achieved by providing students a content specific motive to construct a model, a deeper student understanding of the used graphical modeling tool and a teacher able to support the modeling processes of students.

Literatuur

- Bertels, K. & Nauta, D. (1969). Soorten modellen en hun functies in de wetenschap, *Inleiding tot het modelbegrip*. Bussum: De Haan.
- Bulte, A. M. W., Klaassen, K., Westbroek, H. B., Stolk, M. J., Prins, G. T., Genseberger, R., Jong, O. de & Pilot, A. (2002, October 10-13th). *Modules for a new chemistry curriculum, research on a meaningful relation between contexts and concepts*. Paper presented at the 2nd International IPN_YSEG Symposium Context-Based-Curricula, Kiel.
- Dieks, D. (1999). Een goed model? *Tijdschrift voor Didactiek der β -Wetenschappen*, 16, 4-11.
- Doorman, M. & Gravemeijer, K. P. E. (1999). Modelleren als organiserende activiteit in het wiskundeonderwijs. *Tijdschrift voor Didactiek der β -Wetenschappen*, 16, 38-55.
- Drijver, J. W. (1998). Rekenmodellen, wat moet je ermee in de klas? *NVOX*, 23, 75-78.
- Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (1998). Learning Science Through Models and Modeling. In K. G. Tobin (Ed.), *International Handbook of Science Education* (pp. 53-66). London: Kluwer.
- Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (2000). *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.
- Gravemeijer, K. P. E. (1994). *Developing realistic mathematics education*. Utrecht: CD β Press.
- Gravemeijer, K. P. E. (1999). Symbolen en modellen. *Tijdschrift voor Didactiek der β -Wetenschappen*, 16, 1-3.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. & Smith, L. C. (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.
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22, 1011-1026.
- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14, 541-562.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24, 369-387.

- Kramers-Pals, H. (1999). Modellen en modelleren in het natuurwetenschappelijk onderwijs. *NVOX*, 24, 51-54.
- Lijnse, P. L. (1995). 'Developmental research' as a way to an empirically based 'didactical structure' of science. *Science Education*, 79, 189-199.
- Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J. & Tompsett, C. (1994). *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum*. London: Falmer Press.
- Savelsbergh, E. R. & Prins, G. T. (2002). *Teacher development for an interdisciplinary approach to the modelling of dynamic systems*. Paper presented at the Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching, New Orleans.
- Schecker, H. P. (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.
- Van Driel, J. H. (1997). Het onderwijzen van modellen binnen ANW. *Tijdschrift voor Didactiek der β -Wetenschappen*, 14, 177-196.
- Van Driel, J. H. (1999). Modellen en modelleren als rode draad in het natuurwetenschappelijk onderwijs. *NVOX*, 24, 357-359.
- Van Hoeve-Brouwer, G. M. (1996). *Teaching Structures in Chemistry*. Utrecht: CD β Press.
- Vollebregt, M., Klaassen, K., Genseberger, R. & Lijnse, P. L. (1999). Inzichtelijk een deeltjesmodel leren. *Tijdschrift voor Didactiek der β -Wetenschappen*, 16, 12-26.
- Vos, W., de & Valk, T. van der (2000a). Modellen in wetenschap, modellen in onderwijs. *NVOX*, 7, 335-338.
- Vos, W., de & Valk, T. van der (2000b). Naar een gevalideerd modelbegrip. *Tijdschrift voor Didactiek der β -Wetenschappen*, 17, 112-123.