

De Pedagogical Content Knowledge (PCK) van scheikundedocenten-in-opleiding over het gebruik van deeltjesmodellen

J. H. van Driel, O. de Jong en N. Verloop¹

Samenvatting

In deze bijdrage wordt gerapporteerd over een onderzoek naar Pedagogical Content Knowledge (PCK) in de context van de eerste-graads lerarenopleiding scheikunde. Een groep van 12 scheikundedocenten-in-opleiding (dio's) heeft deelgenomen aan een module over het "leren en onderwijzen van deeltjesmodellen" met een gefaseerde opbouw, waarin instituutsactiviteiten op de lerarenopleiding werden gecombineerd met het ontwerpen en uitvoeren van een lessenreeks op school. De verzameling van gegevens omvatte schriftelijke antwoorden op opdrachten, geluidsopnames van groepsbijeenkomsten en reflectieve lesverslagen.

De resultaten van het onderzoek wezen uit dat, voorafgaand aan het uitvoeren van hun lessenreeks, alle dio's specifieke begripsoeijlijkheden konden benoemen met betrekking tot atomen en moleculen. Bovendien bleken zij op de hoogte van enkele mogelijkheden om deeltjesmodellen te gebruiken om dergelijke moeilijkheden te ondervangen. Na het uitvoeren van hun lessenreeks gaven alle dio's blijk van een verdiept begrip van leer-moeijlijkheden op dit terrein. Ongeveer de helft van hen was zich bovendien nadrukkelijk meer bewust geworden van de mogelijkheden en beperkingen van het gebruik van deeltjes-modellen in specifieke onderwijsleersituaties.

1 Inleiding

In het onderzoek naar het onderwijzen is in toenemende mate aandacht voor vakgebonden en vakspecifieke noties. Van Driel en Verloop (1998) hebben deze trend in verband gebracht met de invloed van het constructivisme en het idee van 'situated cognition'. Hierdoor wordt meer dan voorheen erkend dat voor een goed begrip van processen van

leren en onderwijzen specifieke (vak-) inhouden niet slechts als "achtergrondvariabelen" beschouwd kunnen worden, maar een meer centrale rol in de analyse dienen te spelen. In het onderzoek naar de kennisbasis van docenten (Verloop, Van Driel, & Meijer, 2001) is deze trend zichtbaar in de toenemende aandacht voor de zogenoemde Pedagogical Content Knowledge (PCK), een begrip dat door Shulman is geïntroduceerd (Shulman, 1986). PCK heeft betrekking op het toegankelijk maken van vakinhoudelijke kennis ten behoeve van lerenden. Onderzoek naar PCK heeft, met name voor de natuurwetenschappelijke vakken, geleid tot identificatie van strategieën voor het op adequate en flexibele wijze doceren van specifieke onderwerpen (Van Driel, Verloop, & De Vos, 1998). Bovendien heeft dit onderzoek geleid tot inzichten in de ontwikkeling van PCK, op basis waarvan scholingsprogramma's zijn opgezet (Gess-Newsome & Lederman, 1999). Uit dit onderzoek is onder meer gebleken dat beginnende docenten PCK niet uitsluitend kunnen verwerven via korte cursussen en/of door middel van literatuurstudie; ervaringen in de lespraktijk zijn hierbij nodig, bijvoorbeeld om met bepaalde doceerstrategieën te kunnen experimenteren of om inzicht te krijgen in specifieke begripsproblemen van bepaalde (groepen) leerlingen.

In dit artikel wordt verslag gedaan van een onderzoek naar de PCK in het kader van de opleiding tot eerstegraads docent scheikunde. Aangezien PCK per definitie betrekking heeft op een specifiek (vakinhoudelijk) thema of onderwerp, is het onderzoek toegespitst op een bepaald thema dat een centrale rol speelt in het scheikundeonderwijs. Het betreft het gebruik van deeltjesmodellen waarmee leerlingen het verband kunnen leggen tussen de wereld van de verschijnselen (stofeigenschappen, fysische en chemische processen) en de wereld van de *corpuscula*, zoals atomen, moleculen en ionen (De Vos,

1985). In internationaal onderzoek naar het scheikundeonderwijs is veel aandacht voor dit thema, waarbij het accent doorgaans ligt op voorstellingen en conceptuele moeilijkheden van leerlingen (zie bijv. Harrison & Treagust, 2002). Volgens Justi en Gilbert (2002) is echter nog niet veel bekend over de kennis van docenten omtrent dit thema, en over de wijze waarop docenten hun PCK op dit gebied opbouwen.

2 Theoretische achtergronden

2.1 Pedagogical Content Knowledge

Het idee achter het begrip Pedagogical Content Knowledge is dat om bepaalde vakinhouden adequaat te kunnen onderwijzen, docenten niet kunnen volstaan met vakinhoudelijke kennis enerzijds en algemene pedagogische inzichten anderzijds. Shulman heeft PCK omschreven als “... that special amalgam of content and pedagogy that is uniquely the province of teachers, their own special form of professional understanding” (Shulman, 1987, p. 8). In deze omschrijving komt naar voren dat PCK door Shulman als een specifieke vorm van praktijkkennis wordt gezien, die door docenten wordt opgebouwd en ingezet bij het onderwijzen van vakspecifieke zaken. Ook volgt uit deze omschrijving dat docenten in hun PCK vakinhoudelijke en meer algemene noties omtrent onderwijzen integreren: een ‘amalgam’ is een “mixture of different things” (Summers, 2003, p. 43).

In het afgelopen decennium zijn talrijke onderzoeken naar PCK in de literatuur verschenen. Een overzicht is onder meer te vinden in Gess-Newsome en Lederman (1999). Verschillende onderzoekers hebben, voortbordurend op Shulmans werk, het begrip PCK op uiteenlopende manieren ingevuld. Sommigen, zoals Cochran, DeRuiter en King (1993), hebben PCK verbreed tot een concept dat alle kenniselementen omvat, inclusief vakinhoudelijke kennis, die relevant zijn voor het lesgeven in de praktijk. Magnusson, Krajcik en Borko (1999) zien PCK als een zelfstandig en uniek kennisdomein. Deze auteurs conceptualiseren PCK breder dan Shulman, onder meer door kennis over curricula en over beoordeling op te nemen als

aspecten van PCK. Zij stellen vervolgens dat effectieve docenten kennis moeten ontwikkelen over al deze aspecten van PCK, met betrekking tot alle (vakinhoudelijke) onderwerpen die zij onderwijzen (Magnusson et al., 1999, p. 115).

Als de uitwerkingen die verschillende onderzoekers hebben gegeven aan het concept PCK worden vergeleken (Van Driel, Verloop, & De Vos, 1998), blijkt dat PCK in alle gevallen betrekking heeft op het leren en onderwijzen van een specifiek onderwerp en dat PCK (ten minste) de volgende elementen omvat:

- 1 kennis van manieren waarop leerlingen dit onderwerp leren, zoals kennis van specifieke leerproblemen met betrekking tot dit onderwerp;
- 2 kennis van specifieke doceerstrategieën, zoals kennis van het gebruik van bepaalde representaties van vakinhouden en daarop betrekking hebbende doceeractiviteiten.

Deze twee elementen hangen uiteraard samen: naarmate docenten meer specifieke doceerstrategieën kennen met betrekking tot een zeker onderwerp, en hoe beter ze de opvattingen en leerproblemen van hun leerlingen op dit gebied begrijpen, des te effectiever en flexibeler zullen ze dat onderwerp kunnen onderwijzen.

Onderzoek naar de ontwikkeling van PCK van docenten van de natuurwetenschappelijke vakken in het voortgezet onderwijs (in het vervolg kortweg aangeduid als “bèta-docenten”), heeft onder meer opgeleverd dat het beschikken over coherente vakinhoudelijke kennis als een voorwaarde fungeert waaraan voldaan moet zijn, voordat PCK gevormd kan worden (Sanders, Borko, & Lockard, 1993; Smith & Neale, 1989). Echter, op grond van een onderzoek onder wiskundedocenten-in-opleiding concludeerde Kinach (2002) dat de vorming van PCK niet kan worden opgevat als een proces waarbij bestaande vakinhoudelijke kennis direct wordt omgezet in PCK. De andere belangrijke bron voor de vorming van PCK is, niet verrassend, praktijkervaring als docent. Dit verklaart dat beginnende bèta-docenten doorgaans nog maar weinig PCK hebben verworven (Lederman, Gess-Newsome, & Latz, 1994).

Magnusson e.a. (1999) stellen dat de ont-

wikkeling van PCK een complex proces is, dat onder meer bepaald wordt door de aard van het onderwerp waarop PCK betrekking heeft, de context waarin dit onderwerp wordt onderwezen en de manier waarop een docent reflecteert op doceerervaringen. Deze auteurs concluderen dat in een initieel scholingsprogramma nooit alle aspecten van dit complexe proces afdoende aan de orde kunnen komen en dat de verdere uitbreiding van PCK dan ook doel zou moeten zijn van vervolg (na-)scholingstrajecten. Uit de literatuur blijkt inderdaad dat het effect van initiële scholingsprogramma's op de vorming van PCK doorgaans gering is (zie bijv. Smith & Neale, 1989).

Om de vorming van PCK bij docenten-in-opleiding (dio's) te bevorderen, hebben Van Driel en Verloop (1998) aanbevolen om in initiële scholingsprogramma's aandacht te besteden aan het bestuderen van specifieke vakinhouden vanuit een doceerperspectief. Met name kan het effectief zijn dat dio's zich verdiepen in de concepties van leerlingen over specifieke onderwerpen. Uit onderzoek (Geddis, 1993) is naar voren gekomen dat dio's hierdoor zowel hun eigen vakinhoudelijke kennis kunnen verdiepen als ideeën kunnen genereren over transformaties van vakinhouden en over mogelijk bruikbare strategieën. In een eerdere studie lieten we dio's schriftelijke antwoorden van leerlingen analyseren en kwamen daarbij tot een vergelijkbare bevinding (Van Driel, De Jong, & Verloop, 2002). Daarnaast is het van belang dat scholingsprogramma's dio's in de gelegenheid stellen om PCK in les-situaties toe te passen en om op hun praktijkervaringen te reflecteren (Osborne, 1998). Ook is gewezen op het belang van het creëren van een context die dio's stimuleert om te leren van hun doceerervaringen, zodat zij beter gaan begrijpen hoe ze hun leerlingen kunnen helpen om betekenisvolle vakinhoudelijke kennis te verwerven (Zemba-Saul, Krajcik, & Blumenfeld, 2002, p. 460). Het verbinden van praktijkervaringen met reflecties kan leiden tot nieuwe inzichten omtrent het onderwijzen van bepaalde onderwerpen of inhouden, en vervolgens bijdragen aan vernieuwing van de docerpraktijk (Bryan & Abell, 1999).

2.2 Leren en onderwijzen van deeltjesmodellen

Het centrale vakinhoudelijke thema in deze studie betreft het gebruik van deeltjesmodellen om een verband te kunnen leggen tussen de wereld van de verschijnselen (stofeigenschappen, fysische en chemische processen) en de wereld van de corpuscula, zoals atomen, moleculen en ionen. In het scheikundeonderwijs worden deeltjesmodellen algemeen beschouwd als de grondslag van vrijwel ieder onderwerp binnen dit vakgebied (Harrison & Treagust, 2002). Dergelijke modellen worden doorgaans al vroeg na de aanvang van het scheikundeonderwijs geïntroduceerd en komen vervolgens voortdurend terug, waarbij deze modellen regelmatig worden aangepast of uitgebreid (De Vos, 1985). Voordat we nader ingaan op het gebruik van deeltjesmodellen in het scheikundeonderwijs, geven we eerst een korte omschrijving van het begrip *model* in de natuurwetenschappen.

Een natuurwetenschappelijk model wordt door ons opgevat als een vereenvoudigde representatie van een 'target', in de zin dat sommige aspecten van het target worden benadrukt, terwijl andere (bewust) buiten beschouwing worden gelaten (Ingham & Gilbert, 1991). De term *target* kan betrekking hebben op een systeem, een object, een verschijnsel of een proces. Een model dient in de eerste plaats een instrumenteel doel en wordt gebruikt omdat het target niet rechtstreeks toegankelijk is voor onderzoek, bijvoorbeeld omdat het niet meer bestaat (een dinosaurus), te groot of te ver weg is (een planetenstelsel of een zwart gat). In de huidige studie wordt het target gevormd door moleculen, atomen en ionen, aangeduid met de verzamelterm *corpuscula*. Van belang in dit verband is dat corpusculaire eigenschappen niet één-op-één corresponderen met de eigenschappen van de betreffende stof; zo wordt aan een atoom zwavel geen kleur toegeschreven. De gele kleur van de *stof* zwavel kan echter worden verklaard met behulp van een model waarin de interactie tussen licht en zwavelmoleculen centraal staat. In chemisch onderzoek speelt het ontwikkelen en gebruiken van modellen van deze corpuscula een belangrijke rol bij de ontwikkeling van chemische kennis (Luisi & Thomas, 1990). Deze

modellen worden met name gebruikt om eigenschappen van stoffen en processen te kunnen verklaren en voorspellen op grond van corpusculaire eigenschappen en gedragingen. Dit is onder meer van groot belang bij het ontwerp van nieuwe stoffen en materialen. De betreffende modellen zijn doorgaans van mathematische ofwel materiële aard. Bij modellen van het laatste type worden atomen vaak gerepresenteerd door (kunststof) bollen, waarmee de bouw en de ruimtelijke structuur van moleculen gemodelleerd kan worden. Dit type modellen wordt bijvoorbeeld gebruikt in biochemisch en organisch chemisch onderzoek (Francœur, 1997). Bovendien wordt aan dit type modellen ook veel aandacht besteed in het scheikundeonderwijs.

In lesmethodes voor scheikunde hebben deze modellen veelal betrekking op chemische reacties, welke worden beschreven of verklaard met behulp van (concrete) deeltjesmodellen. In het algemeen wordt hierbij weinig aandacht besteed aan de herkomst en de ontwikkeling van modellen, waardoor het scheikundeonderwijs kan resulteren in “a form of alienation” (Erduran, 2001, p. 589), omdat leerlingen nauwelijks inzicht verwerven in de manier waarop kennisontwikkeling in de scheikunde plaatsvindt. Een ander probleem met het gebruik van dergelijke modellen is dat het voor leerlingen in het voortgezet onderwijs doorgaans buitengewoon problematisch is om verbanden te leggen tussen de wereld van de waarneembare verschijnselen en de abstracte, conceptuele wereld van de corpuscula (Andersson, 1990). Terwijl scheikundigen, inclusief scheikundedocenten, hebben geleerd om modellen te gebruiken bij het “heen-en-weer springen” tussen deze werelden, en dit als experts doorgaans op een routinematige, flexibele en vaak impliciete wijze doen (Johnstone, 1993), gaat dit voor leerlingen meestal gepaard met grote conceptuele problemen en daaruit voortkomende verwarring.

Er is heel wat onderzoek verricht naar preconcepties en leerproblemen met betrekking tot het gebruik van deeltjesmodellen. Harrison en Treagust (1996), bijvoorbeeld, vonden dat leerlingen in de onderbouw van het voortgezet onderwijs atomen en mole-

culen in veel gevallen beschouwden als concrete, discrete “deeltjes” (zie ook Ingham & Gilbert, 1991). Vergelijkbare uitkomsten zijn beschreven door De Vos en Verdonk (1996), die voorbeelden geven van leerlingen die redeneren dat watermoleculen “nat” zijn, of dat zwavelatomen een gele kleur hebben. Dit soort uitkomsten zijn toegeschreven aan het gegeven dat leerlingen nog weinig ervaren zijn in het omgaan met natuurwetenschappelijke modellen, ofwel dat zij hier nog niet toe in staat zijn vanwege een gebrek aan ‘intellectual maturity’ (Harrison & Treagust, 1996, p. 532).

Er is nog maar weinig onderzoek gedaan naar de rol van docenten op dit terrein, over welke PCK zij feitelijk beschikken en hoe deze kennis gevormd wordt (Justi & Gilbert, 2002). Op grond van het bovenstaande kunnen we verwachten dat beginnende scheikundedocenten wellicht deeltjesmodellen gebruiken zoals andere professionele scheikundigen, dat wil zeggen dat zij op een flexibele en vaak impliciete wijze dergelijke modellen gebruiken om verbanden te leggen tussen de wereld van de waarneembare verschijnselen en de corpusculaire wereld. Het is zeer de vraag of zij zich daarbij bewust zijn van de conceptuele problemen die leerlingen kunnen hebben. Gezien het belang van het thema “deeltjesmodellen” in het scheikundeonderwijs, en het gegeven dat hier voor veel leerlingen moeilijkheden liggen, wordt er in het kader van het onderdeel vakdidactiek in de eerstegraads lerarenopleiding scheikunde aandacht besteed aan PCK over het gebruik van deeltjesmodellen.

Het onderzoek waarover hier wordt gerapporteerd, heeft dan ook een tweeledige doelstelling: enerzijds is beoogd om een beter inzicht te verkrijgen in de PCK van docenten-in-opleiding (dio's) over het gebruik van deeltjesmodellen op verschillende momenten in de opleiding. Tegelijkertijd is het de bedoeling om via dit onderzoek bij te dragen aan het ontwerpen van scholingstrajecten voor dio's op dit terrein.

2.3 Vraagstelling

De algemene onderzoeksvraag luidde: Welke PCK hebben scheikundedocenten-in-opleiding over het gebruik van deeltjesmodellen

voorafgaand aan, en na deelname aan een specifieke module in de eerstegraads lerarenopleiding scheikunde? Deze vraag is als volgt uitgewerkt:

- 1 Welke kennis hebben scheikunde-dio's aanvankelijk over leerproblemen met betrekking tot het gebruik van deeltjesmodellen?
- 2 Welke kennis hebben scheikunde-dio's aanvankelijk over docerstrategieën met betrekking tot het gebruik van deeltjesmodellen?
- 3 Welke kennis over leerproblemen en docerstrategieën met betrekking tot het gebruik van deeltjesmodellen hebben scheikunde-dio's na deelname aan een specifieke module over dit onderwerp in het kader van hun lerarenopleiding, waarbij zij zelf een lessenreeks ontwerpen en verzorgen over het gebruik van deeltjesmodellen?

3 Methode

3.1 Context

Het onderzoek vond plaats in het kader van de éénjarige universitaire lerarenopleiding voor het vak scheikunde in het schooljaar 1999/2000. Kenmerk van de opleiding is de wisselwerking tussen instituutactiviteiten op de lerarenopleiding en praktijkactiviteiten in het voortgezet onderwijs. De instituutactiviteiten namen gemiddeld twee dagdelen per week in beslag en betroffen bijeenkomsten of workshops gericht op vakdidactische of onderwijskundige thema's. De praktijkactiviteiten omvatten het verzorgen van circa 5 tot 10 vaklessen op een school voor voortgezet onderwijs.

3.2 Module

Er is een experimentele module ontworpen binnen het programma voor scheikunde-didactiek over het thema "deeltjesmodellen". De module was geprogrammeerd in de tweede helft van het opleidingsprogramma en was bedoeld als introductie op dit thema, met als voornaamste doelstellingen het vergroten van de PCK van de dio's over mogelijke moeilijkheden van leerlingen op dit gebied, en het uitbreiden van hun repertoire van bruikbare docerstrategieën.

Het moduleontwerp was gebaseerd op het idee dat het belangrijk is dat dio's betekenis leren geven aan hun praktijkervaringen (Lampert & Loewenberg, 1998). Vanuit die gedachte is ervoor gekozen om aan te sluiten bij reeds opgedane ervaringen (als leerling en als docent) en deze te verbinden met gangbare schoolboeken, om van daaruit een lessenreeks voor te bereiden, deze uit te voeren en hierop te reflecteren. De gekozen aanpak vergt vooral een goede planning van de relatie tussen instituutactiviteiten en het verzorgen van lessen als docent. In die zin is sprake van een "interactief model" van professionele ontwikkeling (Sprinthal, Reiman, & Thies-Sprinthal, 1996). De module kende een opbouw in vier fasen.

Gedurende Fase 1 (*Oriëntatie*) werden de dio's aangesproken op reeds aanwezige vakinhoudelijke kennis en PCK omtrent deeltjesmodellen en modelleren. Hiertoe werden eerst enkele opdrachten schriftelijk beantwoord, waarna tijdens een instituutbijeenkomst een groepsdiscussie over deze opdrachten plaatsvond. In verband met dit artikel is met name de volgende opdracht van belang: Welke leerproblemen betreffende modellen en modelleren herinner je je uit de tijd dat je zelf leerling en student was, of vanuit je voorgaande lessen op school?

In Fase 2 (*Elaboratie*) verdiepte de dio's zich onder meer in de wijze waarop deeltjesmodellen in scheikundeboeken aan de orde worden gesteld. Eén opdracht had betrekking op een drietal paragrafen uit een gangbaar chemieboek voor 3 havo/vwo (Pieren, Scheffers-Sap, Scholte, Vroemen, & Davids, 1995, p. 188-198) over molecuulmodellen en het atoommodel van Dalton. De dio's hadden geen docerervaring met deze paragrafen. Hen werd onder meer gevraagd om aan te geven welke moeilijkheden leerlingen zouden kunnen hebben bij het begrijpen van deze paragrafen, en welke docerstrategieën in dit verband mogelijk geschikt zouden zijn.

In Fase 3 (*Toepassing*) ontwierp iedere dio een reeks van drie tot zes lessen over een onderwerp waarbij deeltjesmodellen een dominante plaats innamen. Het ontwerp sloot aan bij het reguliere lesprogramma en het daarbij gebruikte schoolboek. De gekozen onderwerpen hadden alle betrekking op

de relatie tussen waarneembare verschijnselen en corpusculaire kenmerken (zoals verschillen in kookpunt van enkele koolwaterstoffen in relatie tot de structuur van hun moleculen). De ontworpen lessenreeksen werden in de eigen praktijkschool uitgevoerd.

In Fase 4 (*Reflectie*) schreven alle dio's individueel een reflectief verslag over hun ervaringen met de ontworpen lessenreeks. De opdracht luidde: "Schrijf een verslag over de meest opmerkelijke episoden en gebeurtenissen uit je lessen, inclusief een foutenanalyse van antwoorden van leerlingen op een eindtoets. Bespreek de volgende punten: welke moeilijkheden van leerlingen ben je tegengekomen? Welke moeilijkheden bij het lesgeven heb je zelf ervaren? Wat zou je een volgende keer aan deze lessen willen veranderen?".

Tijdens een slotbijeenkomst presenteerden de dio's hun verslagen aan elkaar en bespraken hun bevindingen.

3.3 Deelnemers en uitvoering

Er namen 12 scheikunde-dio's deel aan de module (negen mannen en drie vrouwen). Zij worden hierna aangeduid als dio 1-12. Acht deelnemers volgden de module aan de Universiteit Utrecht, terwijl de overige vier deelnamen aan de lerarenopleiding van de Universiteit Leiden. Deze 12 deelnemers vormden het volledige cohort scheikunde-dio's van beide universitaire lerarenopleidingen in het cursusjaar 1999/2000. Het geringe aantal deelnemers beperkt uiteraard de mogelijkheid tot generalisaties op basis van dit onderzoek. Een kleinschalig, beschrijvend en kwalitatief onderzoek is naar ons idee echter van belang, juist omdat nog maar betrekkelijk weinig bekend is over de PCK van dio's (zie paragraaf 2). Het arbeidsintensieve karakter van de in dit verband gekozen aanpak beperkt überhaupt het aantal bij het onderzoek te betrekken dio's.

Alle dio's hadden minder dan een jaar voordat zij startten met de lerarenopleiding hun doctoraal diploma in de scheikunde behaald. Zij volgden het praktijkdeel van de opleiding in de vorm van een individuele stage, waarbij zij ter plekke werden begeleid door een schoolpracticumdocent. Deze praktijk-

begeleiders waren niet betrokken bij de module. De module was ongeveer halverwege de opleiding geprogrammeerd als onderdeel van het programma voor vakdidactiek scheikunde. In eerdere modules was geen expliciete aandacht geschonken aan de rol van deeltjesmodellen. We gingen er wel van uit dat de dio's bij de start van de module al enige ervaring in het praktijkdeel van de opleiding hadden opgedaan met dit thema, bijvoorbeeld door observaties van hun schoolpracticumdocent of bij zelf gegeven lessen.

De tweede auteur verzorgde de module in Utrecht zelf, terwijl in Leiden de uitvoering van de module berustte bij de chemiedidacticus van de lerarenopleiding. Deze had hierbij intensief contact met de eerste auteur. In gezamenlijk overleg was van tevoren een scenario opgesteld om te waarborgen dat de module op beide plaatsen zoveel mogelijk overeenkomstig zou worden uitgevoerd. De uitvoering vond plaats in de periode tussen februari en mei 2000 (Utrecht), respectievelijk maart en juni 2000 (Leiden). Tijdens de uitvoering hielden de auteurs en de Leidse vakdidacticus voortdurend contact (telefonisch, via e-mail) om de voortgang te bespreken, en te bewaken dat de module op gelijkwaardige wijze werd uitgevoerd.

3.4 Dataverzameling en analyse

Data werden verzameld op verschillende momenten, welke nauw samenhangen met de fasen in het moduleontwerp. De volgende gegevens werden verzameld:

- de geschreven antwoorden van alle dio's op de (instituuits-)opdrachten die hierboven zijn beschreven;
- de reflectieve verslagen van de 12 dio's over het verzorgen van de lessenreeks (zie Fase 4);
- de geluidsopnames van alle groepsdiscussies naar aanleiding van de opdrachten en van de bespreking van de leservaringen. Deze opnames zijn letterlijk uitgeschreven.

Daarnaast maakten de dio's zelf geluidsopnames van de uitvoering van een of enkele van de door hen ontworpen lessen.

De data zijn geanalyseerd vanuit een interpretatief fenomenologisch perspectief (Smith, 1995). In een dergelijke benadering

ligt het accent op het identificeren van regelmatigheden of patronen in de (geschreven of gesproken) uitingen van de deelnemers, zonder gebruik te maken van een a-priori vastgesteld systeem van codes of categorieën, waarbij de data via een iteratief proces voortdurend met elkaar en met theoretische noties zijn vergeleken (vgl. Denzin, 2000).

De verzamelde data zijn geanalyseerd in relatie tot de drie specifieke onderzoeksvragen. Bij de eerste onderzoeksvraag is onderscheid gemaakt tussen *ervaren* en *verwachte* leerproblemen met betrekking tot het gebruik van deeltjesmodellen. De eerste subvraag is beantwoord op basis van een analyse van de schriftelijke antwoorden op de opdracht die geciteerd is bij Fase 1, in combinatie met de uitgeschreven plenaire groepsdiscussie naar aanleiding van die opdracht. Voor de tweede subvraag is gebruikgemaakt van de individuele antwoorden op de vraag naar verwachte leerproblemen bij de drie paragrafen uit het chemieleerboek (zie Fase 2), ook weer gecombineerd met de plenaire groepsdiscussie die over deze opdracht werd gevoerd. Om de tweede onderzoeksvraag te beantwoorden, zijn de schriftelijke reacties van de dio's op de opdracht uit Fase 2 naar mogelijk bruikbare docceerstrategieën geanalyseerd, tezamen met het transcript van de hierbij horende groepsdiscussie. Bij de derde onderzoeksvraag, ten slotte, lag het accent op het analyseren van de individuele reflectieve verslagen, gecombineerd met de afsluitende bespreking hiervan (zie Fase 4). Omdat we gericht waren op de kennis van de dio's, zijn de opnames van lessen die dio's zelf hadden verzorgd slechts gebruikt om de praktijkcontext van de dio's beter te kunnen begrijpen. Dit was vooral van belang in verband met het kunnen begrijpen van hun reflectieve lesverslagen.

Voor ieder van deze drie specifieke onderzoeksvragen (zie 2.3) werd een meerstaps-procedure toegepast. In eerste instantie zijn de schriftelijke antwoorden op opdrachten en de transcripten van de bijbehorende groepsdiscussies voor iedere afzonderlijke dio geanalyseerd. Hierbij werden individuele bijdragen aan groepsdiscussies gecombineerd met (individuele) schriftelijke data van de betreffende dio. In deze fase werkten de eerste

en de tweede auteur eerst afzonderlijk, waarna zij hun individuele analyses met elkaar bespraken ('investigator triangulation': Janesick, 2000). Deze bespreking was gericht op het verkrijgen van consensus over de interpretatie van de gegevens in termen van de (inhoud van de) PCK van de betrokken dio. Afhankelijk van de specifieke onderzoeksvraag werd PCK opgevat als kennis van bepaalde leer- of begripsmoeilijkheden, ofwel kennis van specifieke docceerstrategieën, respectievelijk voorafgaand aan en na afloop van het verzorgen van de ontworpen lessenreeks. Ten slotte, om de drie specifieke onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden, is de inhoud van de PCK van de verschillende dio's vergeleken waarbij gezocht is naar overeenkomsten en verschillen. Hierbij hebben de eerste en tweede auteur toegewerkt naar consensus over rubrieken waarmee de PCK inhoudelijk getypeerd kon worden (met name specifieke leerproblemen in het geval van de eerste onderzoeksvraag), dan wel over een clustering van de dio's in subgroepen met overeenkomstige PCK (voor de tweede en derde specifieke onderzoeksvraag).

4 Resultaten

4.1 Welke kennis hebben scheikunde-dio's aanvankelijk over leerproblemen met betrekking tot het gebruik van deeltjesmodellen?

Deze onderzoeksvraag wordt in twee subparagrafen besproken, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen reeds ervaren en onthouden leerproblemen enerzijds, en verwachte leerproblemen anderzijds.

Aanvankelijke PCK van dio's over leerproblemen: (a) op basis van ervaringen

Tijdens de eerste fase van de module rapporteerden vrijwel alle dio's begripsmoeilijkheden met betrekking tot het gebruik van deeltjesmodellen. Ze baseerden zich hierbij op herinneringen aan hun eigen ervaringen als leerling of universitair student, of op (recente) ervaringen als dio. Hoewel de dio's aangaven dat ze niet veel specifieke herinneringen hadden aan hun eigen school- of

studietijd, en dat hun ervaringen als docent nog beperkt waren, konden de meeste dio's toch concrete voorbeelden van specifieke moeilijkheden geven. De voorbeelden die ze beschreven in hun schriftelijke antwoorden en tijdens de groepsdiscussies bleken twee soorten leermoeilijkheden te betreffen, namelijk (a) de relatie tussen processen en stoffen enerzijds en corpuscula anderzijds en (b) corpusculaire kenmerken. Hierbij werd onderscheid gemaakt tussen zelf ervaren leermoeilijkheden en bij leerlingen geobserveerde moeilijkheden. Hieronder vermelden we enkele van de genoemde voorbeelden. In rubriek (a), persoonlijk ervaren leermoeilijkheden:

- "Een molecuul, je weet dat is een deeltje. Maar ja, goed, een stof die doet bepaalde dingen, dat explodeert, die reageert, het doet iets, maar ja, een molecuul dat doet niets, alleen als ie met meer is. Ja, goed, vond ik lastig als leerling." [dio-11; groepsdiscussie]
- "Het verband leggen tussen temperatuur en deeltjes. Temperatuur is een functie van snelheid van deeltjes . . . moeilijk." [dio-3; groepsdiscussie]

In dezelfde rubriek, geobserveerde leermoeilijkheden:

- "Molecuulmodel [bestaat uit] harde bolletjes met stukjes. Hoe te combineren met de zichtbare wereld, dat is moeilijk voor leerlingen." [dio-8; schriftelijk antwoord]
- "Moeilijkheden om het ontkleuren van een vloeistof met actieve kool (macro) te begrijpen met een model van deeltjes op een oppervlak." [dio-6; schriftelijk antwoord]

Wat betreft rubriek (b), corpusculaire kenmerken, ging het in bijna alle voorbeelden over de onmogelijkheid om corpuscula waar te nemen. We vermelden er enkele.

Persoonlijk ervaren leermoeilijkheden:

- "Ik kon eigenlijk weinig voorstellen bij deeltjes of zo . . . een houten tafel bijvoorbeeld bestaat uit deeltjes, maar ik zie helemaal geen deeltjes." [dio-2; groepsdiscussie]

Geobserveerde leermoeilijkheden:

- "Moeilijkheden om niet-zichtbare dingen te begrijpen." [dio-1; schriftelijk antwoord]

Aanvankelijke PCK van dio's over leermoeilijkheden: (b) op basis van verwachtingen

Tijdens de tweede fase van de module gingen de dio's in op moeilijkheden die zij verwachtten bij het verwerken door leerlingen van enkele paragrafen van een chemieleerboek voor 3 havo/vwo (Pieren et al., 1995). Ofschoon zij in hun schriftelijke antwoorden verschillende leermoeilijkheden beschreven, konden de meeste in dezelfde rubrieken als hierboven worden ondergebracht. Wat betreft rubriek (a), de relatie tussen processen/stoffen en corpuscula, verwachtte een dio moeilijkheden bij het interpreteren van een faseovergang in moleculaire termen:

- "De samenhang tussen molecuultheorie en faseovergangen zal moeilijk zijn om te begrijpen. Bijvoorbeeld het verdampen van water, dat moleculen dan daaruit ontsnappen, dat zij zich vrijmaken van het vloeistofoppervlak. Zitten deze moleculen in de damp? Voor leerlingen zal dat lastig zijn om zich voor te stellen." [dio-2; schriftelijk antwoord]

In dezelfde rubriek verwachtte een andere dio verwarring bij het relateren van een chemische reactie in termen van stofveranderingen aan veranderingen op corpusculair niveau. Dit probleem werd beschreven tijdens een groepsdiscussie:

- "Stel nou eens, er is een reactie met zuurstof. En tijdens die reactie wordt het molecuul opgesplitst. Er verandert iets. Maar, ze hebben geleerd dat zuurstof een niet-ontleedbare stof is waarvan de moleculen bestaan uit één soort atomen. De stof is dus niet-ontleedbaar, maar tijdens de reactie gaan de atomen uit elkaar. Dat is erg vreemd. Het kan kennelijk niet ontleden maar wel een reactie aangaan." [dio-11; groepsdiscussie]

De leermoeilijkheden die de dio's verwachtten met betrekking tot rubriek (b), corpusculaire kenmerken, werden door hen meestal omschreven in de vorm van een cognitief conflict. Een dio, bijvoorbeeld, verwachtte problemen met het idee dat moleculen voortdurend in beweging zijn:

- "Ze zullen niet begrijpen waarom moleculen bewegen terwijl de stof toch stil staat." [dio-1; schriftelijk antwoord]

Tijdens dezelfde groepsdiscussie gingen de

dio's (Utrechtse groep) met elkaar nader in op mogelijke oorzaken voor dit soort moeilijkheden. Ze werden het met elkaar eens dat leerlingen moleculen wellicht beschouwen als deeltjes, die weliswaar onzichtbaar klein zijn, maar nog wel alle eigenschappen hebben van de betreffende stof. Dergelijke opvattingen, waarbij bijvoorbeeld aan een suikermolecuul een zoete smaak wordt toegedicht, zijn ook beschreven in de literatuur (bijv. De Vos & Verdonk, 1996).

4.2 Welke kennis hebben scheikunde-dio's aanvankelijk over doceerstrategieën met betrekking tot het gebruik van deeltjesmodellen?

Na de groepsdiscussie over verwachte leer-moeilijkheden, gingen de dio's in op doceerstrategieën die mogelijk zouden kunnen bijdragen aan een beter begrip bij de leerlingen. Eerst bedachten zij ieder voor zich zulke strategieën en schreven deze op, waarna een nieuwe groepsdiscussie plaatsvond. Hierbij ging het opnieuw om de genoemde paragrafen uit het chemieleerboek van Pieren e.a. (1995). De helft van de dio's (dio's 1, 3, 5, 7, 8 en 9) gaf aan de in dit boek genoemde aanpak grotendeels geschikt te vinden. Zij zouden in hun praktijk de inhoud, structuur en de opdrachten min of meer aanhouden. De andere helft, echter, formuleerde juist aanpakken die nogal sterk afweken van dit leerboek. De aanpak in dit boek gaat uit van waarneembare verschijnselen, welke vervolgens in corpusculaire termen worden geïnterpreteerd. Deze dio's gaven de voorkeur aan een "omgekeerde" aanpak, waarbij het corpusculaire perspectief als startpunt wordt gekozen. Zij verwachtten dat een dergelijke aanpak minder verwarring bij leerlingen zou geven. In de woorden van dio-2:

- "In het leerboek zijn theorie en praktijk ontzettend met elkaar verweven. Het zou veel meer uit elkaar gehaald moeten worden om verwarring bij leerlingen te voorkomen. Ik zou liever willen hebben: eerst theorie, dan voorbeelden uit de praktijk." [dio-2; schriftelijk antwoord]

Tijdens de hierop volgende groepsdiscussie bespraken de dio's mogelijkheden voor het gebruik van deeltjesmodellen in deze context. Zij werden het erover eens dat zulke

modellen geschikt zouden kunnen zijn om leerlingen te ondersteunen bij het begrijpen van de relatie tussen de macroscopische en de corpusculaire wereld. Sommigen koppelden dit aan specifieke onderwerpen, zoals:

- "Neem nou behoud van materie. Ik zou graag modellen gebruiken om te laten zien dat atomen niet verdwijnen bij chemische reacties." [dio-11; groepsdiscussie] of:
- "Ik zou verschillen tussen stoffen met dezelfde formule willen bespreken, zoals butanol en ether, door moleculaire modellen van deze isomeren te laten zien." [dio-5; groepsdiscussie]

4.3 Welke PCK hebben scheikunde-dio's na het verzorgen van een lessenreeks over het gebruik van deeltjesmodellen?

Uit hun reflectieve lesverslagen en bijdragen aan de discussies tijdens de laatste groepsbijeenkomst bleek dat zeven dio's voornamelijk rapporteerden over leer- of begripsmoeilijkheden van leerlingen. De andere vijf dio's gingen vooral in op doceerstrategieën, waarbij zij overigens, in verschillende mate, wel een verband legden met leer-moeilijkheden die hen waren opgevallen. In het onderstaande worden deze twee subgroepen nader besproken.

Dio's die voornamelijk rapporteerden over geobserveerde leer-moeilijkheden

Zeven dio's (dio's 3, 7 t/m 12) beschreven in hun reflectieve lesverslagen moeilijkheden van hun leerlingen bij het gebruiken van deeltjesmodellen om de relatie te leggen tussen de wereld van de verschijnselen en die van de corpuscula. Hun beschrijvingen varieerden sterk in de zin van gedetailleerdheid en precisie. Dio-8 en dio-11 gaven de meest gedetailleerde beschrijvingen. Laatstgenoemde had leerlingen van 4-vwo gevraagd om modellen van moleculen te bouwen om zodoende verschillen in kookpunten van stoffen te kunnen koppelen aan verschillen in moleculaire structuur. Op grond van zijn observaties van de aanpak en de redeneringen van zijn leerlingen bij deze opdracht trok deze dio de conclusie dat het bouwen van de modellen de leerlingen weliswaar geholpen

had om de moleculaire structuur te visualiseren, maar dat de relatie van deze structuur met het kookpunt van de corresponderende stof voor hen bepaald niet evident was. Tijdens de slotbijeenkomst ging hij op deze bevinding in, aan de hand van bepaalde lesobservaties:

- “Bij water denken ze dan aan een molecuul waterstof plus een atoom zuurstof of soms ook aan een molecuul zuurstof. Ze halen het door elkaar heen. [...] En wanneer ze redeneren dat bij water de deeltjes bestaan uit atomen, dan ontkennen ze dat er bij de ontleding moleculen kunnen loskomen. Voor hen kunnen alleen maar atomen loskomen.” [dio-11; groepsdiscussie]

Dio-8 rapporteerde vergelijkbare moeilijkheden van 4-vwo leerlingen bij het gebruiken van deeltjesmodellen om verbanden te leggen tussen stoffeigenschappen, zoals kookpunt en oplosbaarheid, en moleculaire structuur. In zijn lesverslag schreef hij deze problemen toe aan het abstracte kenmerk van de corpusculaire wereld, en suggereerde dat visualisaties voor leerlingen nuttig zouden kunnen zijn. Deze dio formuleerde dus wel doceerintenties, maar beschreef geen feitelijke ervaringen met het gebruik van visualisaties in zijn lespraktijk.

De andere vijf dio's in deze subgroep beschreven leerproblemen in meer globale termen. Twee van hen gingen in op reacties van hun leerlingen die hen waren opgevallen tijdens de verzorgde lessen. Dio-9 concludeerde op basis van zulke reacties bij een bepaald onderwerp in 4-vwo dat dit onderwerp (i.c. waterstofbruggen) te abstract voor haar leerlingen was, waardoor hun motivatie verminderde. Op basis hiervan formuleerde zij de intentie om op een meer structurele manier aandacht te schenken aan de relatie tussen verschijnselen en corpuscula, zonder overigens een concrete doceerstrategie te beschrijven waarin het gebruik van deeltjesmodellen al dan niet is ingepast. Een andere dio, dio-7, concludeerde dat het bouwen van modellen haar leerlingen had geholpen om het onderscheid tussen moleculen en atomen te begrijpen. Echter, het was haar ook opgevallen dat het voor de meeste leerlingen buitengewoon lastig was om dergelijke model-

len te verbinden met waarneembare verschijnselen, zoals het koken van water. Deze dio bracht haar observaties niet expliciet in verband met de door haar gevolgde doceerstrategie, en formuleerde evenmin specifieke doceerintenties.

Drie andere dio's, ten slotte, rapporteerden voornamelijk over leerproblemen die hen waren opgevallen in de antwoorden van leerlingen (3-vwo en 4-havo) op een schriftelijke toets. In vergelijking met de hierboven beschreven dio's, beperkten zij zich voornamelijk tot het bespreken van leerlingantwoorden in termen van “correct” of “fout”. In hun lesverslagen lichtten zij hun interpretaties beknopt toe, bijvoorbeeld:

- “Voor leerlingen is het verbinden van zichtbare processen met bijbehorend deeltjesgedrag moeilijk. Voor hen zijn dat twee verschillende dingen, bijvoorbeeld, hogere temperatuur versus sneller bewegende deeltjes.” [dio-12; reflectief lesverslag]

of:

- “Leerlingen beseffen onvoldoende dat ze moeten redeneren op twee niveaus: micro en macro. [...] Zij geven antwoorden als: ‘De concentratie [...] wordt groter, dus de snelheid van de reactie neemt toe’. Hierbij vergeten ze de deeltjes en botsingen als tussenstap te noemen. De meeste van hun fouten zijn hieraan te wijten.” [dio-3; reflectief lesverslag]

Dio's die voornamelijk rapporteerden over doceerstrategieën

Vijf dio's (dio's 1, 2, 4, 5 en 6) gingen in hun reflectieve lesverslagen voornamelijk in op de door hen ontworpen en toegepaste doceerstrategieën. Daarnaast vermeldden zij ook reacties van hun leerlingen op de gekozen aanpak. In het onderstaande bespreken we de bevindingen van deze vijf dio's.

Dio-5 had leerlingen van 4-havo modellen van moleculen laten bouwen, waarbij hij opdrachten in quizvorm had gegeven om op die manier de leerlingen uit te dagen en te motiveren. Een opdracht luidde bijvoorbeeld “Bouw twee verschillende moleculen van twee identieke sets van vijf atomen, waarvan één een koolstofatoom is”. Hij concludeerde dat deze aanpak wel positief was uitgevallen

voor wat betreft het vergroten van de motivatie van zijn leerlingen, maar ook dat de leerlingen er niet in waren geslaagd om de gebouwde modellen te verbinden met eigenschappen van de corresponderende stoffen.

Dio-1 had een lessenserie ontworpen voor 3-havo over de historische ontwikkeling van het atoommodel. In zijn lesverslag gaf hij nauwkeurig aan hoe zijn doceerstrategie was ontworpen en op welke overwegingen dit ontwerp was gebaseerd. Bovendien formuleerde hij expliciet verwachtingen van zijn leerlingen op de aanpak. Bij zijn evaluatie van de uitvoering van de lessenserie beschreef hij hoe op bepaalde punten de leerlingen hadden gereageerd zoals hij had verwacht, en hoe hij daarop had geanticipeerd. Echter, op andere punten was hij verrast door de vragen van zijn leerlingen en had hij een uitleg moeten improviseren die, naar zijn inschatting, niet goed was overgekomen bij zijn leerlingen. Zo was hem gebleken dat leerlingen hardnekkig vasthielden aan het idee dat zich tussen de kern en de elektronen in een atoom “lucht” bevindt. In elk geval kon deze dio concreet aangeven op welke punten zijn kennis over doceerstrategieën en moeilijkheden van leerlingen was toegevoegd.

Een andere dio, dio-2, gaf in zijn lesverslag een stapsgewijze beschrijving van het ontwerp van zijn lessenreeks voor 3-havo, waarin hij deeltjesmodellen had gebruikt bij het onderwerp “klappend maken van reactievergelijkingen”. Hij ging daarbij ook in op de reacties van zijn leerlingen op de stappen in zijn aanpak en concludeerde dat het gebruik van deeltjesmodellen alleen bij bepaalde stappen nuttig voor leerlingen was geweest. Bij andere stappen waren leerlingen juist in verwarring geraakt door deze modellen. Op basis hiervan formuleerde hij de intentie om in de toekomst deeltjesmodellen selectief en zorgvuldig te gebruiken bij onderdelen, waarbij hem gebleken was dat zulke modellen het begrip van zijn leerlingen konden verdiepen of ondersteunen.

In haar lesverslag ging dio-4 in op de doceerstrategie die zij in 5-vwo had toegepast bij het onderwerp “elektrochemische cellen”. Ook beschreef zij tamelijk gedetailleerd de reactie van haar leerlingen op de gekozen

aanpak. Zij concludeerde onder meer dat het gebruik van een bepaald visueel model had geleid tot kortere uitleg van haar kant en goed had gefunctioneerd bij het beantwoorden van een aantal vragen van haar leerlingen. Echter, ook zij concludeerde dat, na de lessenreeks, een groot aantal leerlingen moeite had met het relateren van de waargenomen elektrochemische verschijnselen aan processen op corpusculaire schaal.

Ten slotte beschreef dio-6 zijn worsteling met de introductie van het concept *mol* in 4-havo. Bij de beschrijving en verantwoording van zijn lesaanpak ging hij in op de vraag waarom het molbegrip eigenlijk nodig is. Nadat hij hier voor zichzelf een bevredigend antwoord op had gevonden, in termen van het kunnen relateren van aantallen moleculen of atomen aan macroscopische stofhoeveelheden, beschreef hij dat leerlingen, tot zijn verrassing, erg veel moeilijkheden hadden met het begrijpen van het concept *mol*. Hij concludeerde dat deze leerlingen niet in staat zijn om de “wereld van de atomen” te verbinden met de “wereld van de stoffen”, waarin liters en grammen worden gebruikt. Deze stap is “te onvoorstelbaar” voor een deel van de leerlingen, zo schreef hij in zijn lesverslag. Bovendien trok hij de conclusie dat, om dergelijke complexe onderwerpen succesvol te kunnen onderwijzen, het noodzakelijk is dat je als leraar zelf de inhoud van de stof diep en grondig kent. Op basis van dergelijke kennis achtte hij zichzelf in de toekomst in staat om geschikte modellen te selecteren die kunnen dienen als een “brug tussen de microwereld en de macrowereld”.

Op deze manier formuleerde deze dio dus doceerintenties welke gezien kunnen worden als een bron voor een verdere uitbreiding van zijn PCK.

5 Conclusies en discussie

5.1 De PCK van dio's over het gebruik van deeltjesmodellen

De door ons ontworpen module was vooral bedoeld om de aandacht van de dio's te vestigen op het gebruik van deeltjesmodellen in het scheikundeonderwijs. Ofschoon alle dio's

ervaringen hebben opgedaan met zulke modellen, als leerling, student en beginnend docent, was het voor hen in hun opleiding de eerste keer dat expliciet werd ingegaan op begrips- en leermoeilijkheden die met het gebruik van deze modellen kunnen samengaan, en op mogelijkheden om hier als docent op in te spelen. In die zin vormde de module een eerste oriëntatie op dit thema. Wij hebben in de module het accent gelegd op het expliciteren van reeds aanwezige noties en het uitbreiden van dergelijke noties via een reeks opeenvolgende activiteiten (schoolboek-analyse, lesontwerp, -uitvoering en reflectie hierop). Hierbij werden individuele activiteiten afgewisseld met groepsbesprekingen.

Wat betreft de aanvankelijke PCK kwam naar voren dat vrijwel alle dio's concrete herinneringen hadden aan leermoeilijkheden op het gebied van deeltjesmodellen. Ofschoon hun herinneringen tamelijk globaal en fragmentarisch waren, leken zij zich bewust te zijn van begripsproblemen die kunnen optreden bij het relateren van verschijnselen aan corpuscula. Met name wezen zij op problemen die samenhangen met de ontoegankelijkheid van de corpusculaire wereld en met moeilijkheden van leerlingen om kenmerken van stoffen te verbinden met corpusculaire eigenschappen. De analyses van onderdelen uit een chemieboek en de groepsbespreking hiervan hebben bijgedragen aan de uitbreiding van de PCK van de dio's. Niet alleen noemden zij meer en meer specifieke voorbeelden van leermoeilijkheden, maar bovendien slaagden zij erin om een regelmatigheid hierin te benoemen. Dat wil zeggen dat zij het gezamenlijk eens werden, althans in de Utrechtse groep, over een mogelijke oorzaak van de specifieke moeilijkheden die zij, op anekdotische wijze, konden aangeven. Als oorzaak zagen zij een gemeenschappelijke visie van leerlingen waarin macroscopische kenmerken ten onrechte worden toegekend aan moleculen of atomen.

De leerboekanalyses en de bespreking hiervan droegen ook bij aan een uitbreiding van de ideeën van de dio's over docerstrategieën omtrent deeltjesmodellen. De helft van hen liet zich hierbij vooral inspireren door de aanpak in het betreffende leerboek, hetgeen niet verwonderlijk is, gezien de centrale rol

van dit soort leerboeken in het natuurwetenschappelijke onderwijs (zie bijv. Yager, 1983). De andere helft, echter, formuleerde opvattingen over een gewijzigde aanpak, waarmee zij verwarring bij leerlingen zouden willen voorkomen door te starten vanuit corpusculair perspectief. Zonder in te gaan op de vraag welke van beide opvattingen onze voorkeur zou verdienen, vinden we het vooral van belang om vast te stellen dat alle dio's in deze fase van de module aangaven dat ze modellen van atomen en moleculen als een geschikt hulpmiddel beschouwden bij het bevorderen van inzicht van leerlingen in de relatie tussen waarneembare verschijnselen en de submicroscopische wereld van atomen en moleculen.

We concluderen dat de gekozen aanpak in de module ertoe heeft bijgedragen dat de dio's, voordat zij hun lessenreeks gingen ontwerpen en uitvoeren, zich bewust waren geworden van bepaalde conceptuele problemen van leerlingen en een idee hadden gevormd van mogelijk geschikte docerstrategieën. De combinatie van het expliciteren en bespreken van herinneringen aan leermoeilijkheden en het analyseren van leerboeken is dus kennelijk ook een geschikte manier om dit soort inzichten te bevorderen (vgl. Geddis, 1993; Van Driel et al., 2002).

Gezien de opzet van de module, is het niet goed mogelijk om een "strakke" vergelijking te maken van de PCK van de dio's voorafgaand aan, en na afloop van het verzorgen van hun lessenreeks. Dit heeft in belangrijke mate te maken met het feit dat de specifieke onderwerpen die in Fase 1 en 2 van de module aan de orde kwamen (o.a. in de leerboekfragmenten), verschilden van de onderwerpen waarover de dio's in Fase 3 een lessenreeks hadden opgezet. Bovendien verschilden de onderwerpen van de lessenreeksen voor iedere dio. Dit is een onvermijdelijk gevolg van de opzet van de lerarenopleiding, waarin dio's in het praktijkdeel te maken hebben met bepaalde klassenlagen en het specifieke lesprogramma van hun scheidkundesectie. Toch menen we, over het gehele verloop van de module bezien, wel enkele trends in de veranderingen van de PCK van de dio's te kunnen aanwijzen. Daarbij moeten we aantekenen dat de door ons geanaly-

seerde data betrekking hebben op (schriftelijke of mondelinge) uitspraken van dio's over hun lespraktijk en niet op het gebruik van kennis in die praktijk (vgl. 'espoused theory' versus 'theory-in-use': Argyris & Schön, 1974). In de eerste plaats hebben de dio's, refererend aan hun praktijkervaringen, in hun lesverslagen talrijke uitspraken opgenomen die wijzen op een toegenomen kennis van specifieke leerbaarheid. Uiteraard hebben deze uitspraken voornamelijk betrekking op het specifieke onderwerp van hun lessenreeks, en daarmee gaven de dio's blijk van *andere* kennis dan de kennis die zij voorafgaand aan hun lessenreeks verwoordden. In aanvulling hierop, en dit beschouwen we als belangrijker, zagen we over het geheel genomen ook een *verdieping* in de wijze waarop de dio's leerbaarheid onder woorden brachten in hun reflectieve lesverslagen en de discussie hierover. Hoewel er duidelijke verschillen tussen dio's naar voren kwamen wat betreft de mate van gedetailleerdheid of precisie waarmee (geconstateerde) leerbaarheid werden omschreven, beschreven de meeste dio's leerbaarheid niet alleen op anekdotische wijze, maar ook op een meer algemeen en samenhangend niveau, in termen van soorten leerbaarheid. Sommigen, bijvoorbeeld, brachten specifieke leerbaarheid in verband met het abstracte karakter van de corpusculaire wereld (onder meer genoemd door dio's 1, 8 en 9), terwijl anderen concludeerden dat het een probleem is dat veel leerlingen deze wereld geheel los zien van de wereld van de waarneembare verschijnselen (geconstateerd door dio's 3, 5, 6 en 12). Wat betreft hun kennis van docerstrategieën, gaf ongeveer de helft van de dio's, op basis van ervaringen met hun lessenreeks, blijk van een uitbreiding van kennis over mogelijkheden en beperkingen van het gebruik van deeltjesmodellen bij specifieke onderwerpen. Zo ervoeren sommige dio's (zoals dio's 1, 2 en 6) dat het gebruik van deeltjesmodellen, ook al was dit zorgvuldig voorbereid, voor leerlingen niet altijd tot begripsverheldering leidt. Zij beschreven concrete voorbeelden van situaties waarin het gebruik van deeltjesmodellen wel gunstig uitpakte voor het begrip van de leerlingen, maar gaven ook voorbeelden waarin leerlin-

gen door dergelijke modellen juist in verwarring raakten. Hoewel dit soms een teleurstellende constatering was voor de betreffende dio, hielp het hen in een aantal gevallen wel om nieuwe docerintenties te formuleren, bijvoorbeeld gericht op het zoeken naar geschikte voorbeelden van deeltjesmodellen voor bepaalde onderwerpen of situaties (met name dio's 2 en 6). Deze bevinding is consistent met die van Bryan en Abell (1999) en van Kinach (2002). De gerichtheid op concrete docerstrategieën wordt door laatstgenoemde in verband gebracht met de vorming van "instrumentele" PCK. Deze vorm van PCK heeft betrekking op het "wat en hoe" van het vakonderwijs. Net als Kinach vonden wij in dit onderzoek weinig aanwijzingen voor de vorming van "relationele" PCK, die het "waarom" van dit onderwijs betreft (Kinach, 2002).

Bij het analyseren van de reflectieve lesverslagen kwamen verschillen naar voren in de accenten die dio's hierin legden op leerbaarheid dan wel op docerstrategieën, en de reacties van leerlingen daarop. Bij een nadere beschouwing bleek de groep dio's wat dit betreft in vier subgroepen onderverdeeld te kunnen worden, en wel als volgt:

- 1 Vijf dio's rapporteerden uitsluitend over bij leerlingen geconstateerde begripsbaarheid (dio's 3, 7, 10, 11, 12).
- 2 Twee dio's concentreerden zich hier ook op, maar formuleerden bovendien (nieuwe) docerintenties (dio's 8 en 9).
- 3 Drie dio's gingen voornamelijk in op de door hen toegepaste docerstrategie, en beschreven ook bepaalde moeilijkheden die leerlingen in dit verband hadden (dio's 1, 4 en 5).
- 4 Twee dio's, ten slotte, deden hetzelfde, maar voegden hieraan ook docerintenties toe (dio's 2 en 6).

Een verklaring voor de verschillen tussen dio's zou kunnen liggen in het gegeven dat dio's tijdens de uitvoering van de lessenreeks te maken hadden met de druk van het klasmanagement. Het is immers bekend dat beginnende docenten de neiging hebben om veel aandacht te besteden aan klasmanagement en daarbij bij voorkeur doceractiviteiten toepassen waarbij de kans op ordeverstoringen klein is (Kagan, 1992). In

zulke situaties is de dio wellicht minder gericht op de interactie tussen de gekozen doceerstrategie en de reacties hierop van leerlingen.

5.2 Implicaties voor onderzoek en opleiding

Het onderzoek naar het leren van docenten-in-opleiding vanuit het perspectief van kennisontwikkeling staat nog in de kinderschoenen, waarbij zowel theoretische als methodologische noties nog volop in ontwikkeling zijn (Beijaard, 2002). Wat tot dusver onder meer opvalt in het onderzoek op dit gebied is dat er grote verschillen kunnen voorkomen tussen de individuele leerprocessen van docenten-in-opleiding, zelfs als zij een vergelijkbare achtergrond hebben en in dezelfde context worden opgeleid. Dergelijke verschillen zijn ook in ons onderzoek naar voren gekomen. Het is van belang om nader te onderzoeken welke factoren van invloed zijn op dergelijke verschillen en op welke manieren processen van kennisvermeerdering en -integratie plaatsvinden. In dit verband willen we wijzen op een in 2002 gepubliceerd model, het zogenoemde Interconnected Model of Teacher Professional Growth (IMTPG; Clarke & Hollingsworth, 2002). In dit model worden vier domeinen onderscheiden, waarbij het geheel van kennis, opvattingen en attitudes van een docent deel uitmaakt van het 'personal domain'. Scholingsactiviteiten, collegiale samenwerking, coaching, e.d. worden in het 'external domain' gesitueerd, terwijl het 'domain of practice' betrekking heeft op het uitproberen van nieuwe doceerstrategieën in (vak-)lessen. Het 'domain of consequence', ten slotte, betreft concrete opbrengsten van het onderwijs, zoals leerresultaten of motivatie van leerlingen. Deze vier domeinen zijn met elkaar verbonden door processen van 'enactment' en 'reflection'. De term *enactment* heeft betrekking op de gedachte dat het handelen van docenten gebaseerd is op wat een docent weet, vindt, of heeft ervaren (Clarke & Hollingsworth, 2002, p. 951). Het model benadrukt dat het leren van docenten niet via één (vastgelegd) pad verloopt, maar volgens verschillende patronen kan verlopen waaruit individuele verschillen verklaard kunnen worden. In een recent afgesloten studie is dit

model door een van ons op deze wijze gebruikt en heeft het bovendien gediend als kader voor het ontwerpen van een leeromgeving voor docenten-in-opleiding (Justi & Van Driel, 2003).

Ter afronding van dit artikel bespreken we enkele implicaties van dit onderzoek voor de initiële opleiding van docenten.

In algemene zin vinden we, aansluitend bij hetgeen hierboven is gezegd over het Interconnected Model of Teacher Professional Growth, dat het voor de groei van PCK belangrijk is dat modules in de lerarenopleiding (external domain) nadrukkelijk worden verbonden met specifieke doceeractiviteiten van dio's in de schoolpraktijk (domain of practice). Dio's kunnen hun PCK uitbreiden door enerzijds opdrachten over een zeker onderwerp uit te voeren (zoals in ons geval de analyse van enkele paragrafen uit een leerboek) en te bespreken en anderzijds in hun doceerpraktijk ervaringen met dit onderwerp op te doen. Door middel van reflectieve activiteiten (individueel zowel als in groepsverband) kunnen deze verschillende ervaringen met elkaar worden verbonden. De aanpak en de onderwerpen moeten zodanig gekozen worden dat ze aansluiten bij de schoolpraktijk van de dio's en voldoende ruimte bieden voor een specifieke invulling die past bij de actuele belangstelling van de individuele dio en bij de context waarin hij of zij werkt.

Wat betreft de module die in deze studie centraal stond, willen we nogmaals aangeven dat deze voor de dio's een introducerend karakter had voor wat betreft het onderwerp (i.c. gebruik van deeltjesmodellen in scheikundeonderwijs). Uit de verzamelde gegevens komt naar voren dat de module een behoefte aan verder leren heeft opgeroepen, althans bij sommige dio's, zoals dio-8 en dio-11, die aangaven meer te willen weten over het visualiseren van moleculaire structuren om de relatie van zulke structuren met stoffeigenschappen meer inzichtelijk te maken, of dio-2, die meer voorbeelden van geschikte deeltjesmodellen wilde leren kennen. Er zou dus een vervolgtraject ontworpen kunnen worden, gericht op een verdere uitbreiding van de PCK op dit gebied. In een dergelijk traject zou de researchliteratuur over deeltjesmodellen meer aandacht kunnen hebben

(als onderdeel van het external domain) . We verwachten namelijk dat de dio's, op basis van hun ervaringen in de introducerende module, in staat zullen zijn om de specifieke leerproblemen en denkbeelden van leerlingen die in dergelijke literatuur worden beschreven te herkennen en te verbinden met ideeën over mogelijk geschikte docerstrategieën. Dit zou kunnen leiden tot nieuwe praktijkexperimenten en, door reflectie op de uitkomsten hiervan, tot verdere kennisgroei. Op deze wijze zouden we willen bereiken dat dio's uiteindelijk zelfstandig, ook na het beëindigen van hun opleiding, doorgaan met het experimenteren met docerstrategieën, het monitoren van de reacties van hun leerlingen hierop, het zoeken naar relevante literatuur hierbij, enzovoorts, zodat zij hun PCK verder uitbreiden.

Noot

- 1 De auteurs danken T. Mulder (ICLON, Universiteit Leiden) voor zijn bijdrage aan het ontwerpen en uitvoeren van de module.

Literatuur

Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (Age 12-16). In P. L. Lijnse, P. Licht, W. de Vos, & A. J. Waarlo (Eds.), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles* (pp. 12-35). Utrecht: CDb-Press.

Argyris, C., & Schön, D. (1974). *Theory in practice: Increasing professional effectiveness*. San Francisco: Jossey Bass.

Beijaard, D. (2002). Veranderingen en accenten in het onderzoek naar leren van docenten: Inleiding op het themanummer. *Pedagogische Studiën*, 79, 243-250.

Bryan, L. A., & Abell, S. K. (1999). Development of pedagogical knowledge in learning to teach elementary science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 121-139.

Clarke, D. & Hollingsworth, H. (2002). Elaborating a model of teacher professional growth. *Teaching and Teacher Education*, 18, 947-967.

Cochran, K. F., DeRuiter, J. A., & King, R. A.

(1993). Pedagogical content knowledge: An integrative model for teacher preparation. *Journal of Teacher Education*, 44, 263-272.

Denzin, N. K. (2000). The practices and politics of interpretation. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (Tweede editie; pp. 897-922). Thousand Oaks: Sage.

Driel, J. H. van, Verloop, N., & Vos, W. de. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 673-695.

Driel, J. H. van, & Verloop, N. (1998). 'Pedagogical content knowledge': een verbindend element in de kennisbasis van docenten. *Pedagogische Studiën*, 75, 225-237.

Driel, J. H. van, Jong, O. de, & Verloop, N. (2002). The development of preservice chemistry teachers' PCK. *Science Education*, 86, 572-590.

Eraut, M. (1994). *Developing professional practice and competence*. London: Falmer Press.

Erduran, S. (2001). Philosophy of chemistry: An emerging field with implications for chemistry education. *Science & Education*, 10, 581-593.

Francoeur, E. (1997). The forgotten tool: The design and use of molecular models. *Social Studies of Science*, 27, 7-40.

Geddis, A. N. (1993). Transforming subject-matter knowledge: The role of pedagogical content knowledge in learning to reflect on teaching. *International Journal of Science Education*, 15, 673-683.

Gess-Newsome, J., & Lederman, N. G. (Eds.). (1999). *Examining pedagogical content knowledge*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Harrison, A. J., & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80, 509-534.

Harrison, A. J., & Treagust, D. F. (2002). The particulate nature of matter: Challenges in understanding the submicroscopic world. In J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. Treagust, & J. van Driel (Eds.), *Chemical Education: Towards research-based practice* (pp. 189-212). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Ingham, A. M., & Gilbert, J. K. (1991). The use of analogue models by students of chemistry at higher education level. *International Journal of Science Education*, 13, 193-202.

- Janesick, V. J. (2000). The choreography of qualitative research design. In N.K. Denzin & Y.S. Lincoln (Eds.), *Handbook of Qualitative Research*. 2nd ed. (pp. 379-399). Thousand Oaks: Sage.
- Johnstone, A.H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70, 701-705.
- Justi, R.S., & Gilbert, J.K. (2002). Models and modelling in chemical education. In J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. F. Treagust, & J. H. van Driel (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 47-68). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Justi, R., & Driel, J. H. van. (2003, juni). *Developing science teachers knowledge on models and modelling*. Paper presented at the ISATT conference, Leiden.
- Kagan, D. M. (1992). Professional growth among preservice and beginning teachers. *Review of Educational Research*, 62, 129-169.
- Kinach, B. M. (2002). A cognitive strategy for developing pedagogical content knowledge in the secondary mathematics methods course: toward a model of effective practice. *Teaching and Teacher Education*, 18, 51-71.
- Lampert, M., & Loewenberg, D. B. (1998). *Teaching, multimedia, and mathematics: Investigations of real practice*. New York: Teachers College, Columbia University.
- Lederman, N. G., Gess-Newsome, J., & Latz, M. S. (1994). The nature and development of preservice science teachers' conceptions of subject matter and pedagogy. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 129-146.
- Luisi, P. L., & Thomas, R. M. (1990). The pictorial molecular paradigm - Pictorial communication in the chemical and biological sciences. *Naturwissenschaften*, 77, 67-74.
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 95-132). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Osborne, H. D. (1998). Teacher as knower and learner, reflections on situated knowledge in science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 427-439.
- Pieren, L., Scheffers-Sap, M., Scholte, H., Vroemen, E., & Davids, W. (1995). *Chemie 3HAVO/VWO*. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Sanders, L. R., Borko, H., & Lockard, J. D. (1993). Secondary science teachers' knowledge base when teaching science courses in and out of their area of certification. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 723-736.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57, 1-22.
- Smith, D. C., & Neale, D. C. (1989). The construction of subject matter knowledge in primary science teaching. *Teaching and Teacher Education*, 5, 1-20.
- Smith, J. A. (1995). Semi-structured interviewing and qualitative analysis. In J. A. Smith, R. Harré, & L. van Langenhove (Eds.), *Rethinking methods in psychology* (pp. 9-26). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Sprinthall, N. A., Reiman, A. J., & Thies-Sprinthall, L. (1996). Teacher Professional Development. In J. Sikula, T. J. Buttery, & E. Guyton (Eds.), *Handbook of Research on Teacher Education* (pp. 666-703). New York: Macmillan.
- Summers, D. (Ed.). (2003). *Longman Dictionary of Contemporary English* (Derde editie). Harlow, UK: Pearson Education Ltd.
- Verloop, N., Driel, J. H. van, & Meijer, P. C. (2001). Teacher knowledge and the knowledge base of teaching. *International Journal of Educational Research*, 35, 441-461.
- Vos, W. de. (1985). *Corpusculum Delicti*. Dissertatie, Rijksuniversiteit Utrecht, Utrecht.
- Vos, W. de, & Verdonk, A. H. (1996). The particulate nature of matter in science education and in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 657-664.
- Yager, R. E. (1983). The importance of terminology in teaching K-12 science. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 577-588.
- Zemal-Saul, C., Krajcik, J., & Blumenfeld, P. (2002). Elementary student teachers' science content representations. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 443-463.

Manuscript aanvaard: 27 mei 2004

Auteurs

Jan van Driel is als universitair hoofddocent werkzaam bij het Interfacultair Centrum voor Lerarenopleiding, Onderwijsontwikkeling en Nascholing (ICLON) van de Universiteit Leiden.

Onno de Jong is als universitair docent werkzaam bij het Instituut voor Lerarenopleiding, Onderwijsontwikkeling en Studievaardigheden (IVLOS) en het Centrum voor Didactiek der Wetkunde en Natuurwetenschappen van de Universiteit Utrecht.

Nico Verloop is als hoogleraar-directeur verbonden aan het Interfacultair Centrum voor Lerarenopleiding, Onderwijsontwikkeling en Nascholing (ICLON) van de Universiteit Leiden.

Correspondentieadres: J. H. van Driel, ICLON, Universiteit Leiden, Postbus 9555, 2300 RB Leiden, e-mail: driel@iclon.leidenuniv.nl

Abstract

Preservice chemistry teachers' pedagogical content knowledge of particle models

This paper describes the results of a study of the pedagogical content knowledge (PCK) of preservice chemistry teachers in the context of a post-graduate teacher education program. Twelve preservice teachers participated in an experimental introductory course module about the use of particle models. The design of the module focused on learning from teaching, by combining practical work (i.e., preparing, teaching and reflecting on a series of lessons on particle models) with institutional activities. The collection of research data involved answers to written assignments, transcripts of workshop discussions, and reflective lesson reports, written by the participants. From the findings of the study, it appeared that, initially, all participants were able to describe specific learning difficulties, and acknowledged the potential importance of using particle models to overcome such difficulties. After they had taught a series of self-designed lessons, all preservice teachers demonstrated a deeper understanding of their students' problems with the use of particle models. In addition, about half of the participants had become more aware of the possibilities and limitations of using particle models in specific teaching situations.