

Welke context-conceptbenadering is het meest geschikt voor het ontwikkelen van scheikundeonderwijs?

Joke van Aalsvoort
O.S.G. Huygenwaard in Heerhugowaard

Samenvatting

De Commissie Vernieuwing Scheikunde stelt voor scheikundeonderwijs te baseren op een context-conceptbenadering. Daarnaast adviseert de commissie docenten en leerlingen de gelegenheid te bieden tot eigen inbreng en keuzes in het programma. Er blijken echter verschillende context-conceptbenaderingen te bestaan. Bovendien brengt elke benadering andere mogelijkheden voor eigen inbreng en keuzes van docenten en leerlingen met zich mee. In dit artikel onderzoek ik welke benadering uit de literatuur naar voren komt als de meest geschikte voor het ontwikkelen van scheikundeonderwijs gezien de voorstellen van de commissie.

1. Inleiding

De maatschappelijke sector chemie verkeert al enige tijd in de problemen. De chemie heeft een negatief imago onder het Nederlandse publiek (Verkenningcommissie Scheikunde, 2002). Dit blijkt uit het feit dat chemie vooral in verband gebracht wordt met ongelukken en milieuproblemen, terwijl het grote maatschappelijke belang van de chemie voor het op peil houden van de welvaart en het bevorderen van de gezondheid nauwelijks onderkend wordt. Daarnaast heeft de chemie een probleem met de rekrutering van chemici. Er is al een reeks van jaren sprake van een terugloop van het aantal leerlingen dat scheikunde gaat studeren of een andere aan de scheikunde gerelateerde opleiding gaat volgen, hoewel er momenteel een kentering lijkt op te treden. Het scheikundeonderwijs is onderdeel van de problemen. De Verkenningcommissie Scheikunde (2002) heeft deze problemen geanalyseerd en noemt daarbij de volgende oorzaken:

- leerlingen hebben onvoldoende idee wat het schoolvak scheikunde met hun dagelijkse leven te maken heeft;
- het schoolvak biedt hun geen beeld van de carrièremogelijkheden in of buiten de chemie;
- het examenprogramma biedt docenten en leerlingen onvoldoende mogelijkheden voor eigen inbreng en keuzes.

De Verkenningcommissie signaleert meer problemen. Hierboven staan alleen de problemen die direct te maken hebben met het scheikundeonderwijs. De Commissie Vernieuwing

Scheikunde (Driessen & Meinema, 2003) die de Verkenningcommissie opvolgde, doet de volgende aanbevelingen:

- scheikundeonderwijs gaat uit van een context-conceptbenadering, waarbij contexten als brug fungeren tussen de buitenschoolse werkelijkheid en concepten uit het vak;
- contexten worden ontleend aan de maatschappij en aan beroepen;
- groepen van docenten scheikunde ontwikkelen modules;
- leerlingen kunnen zelf contexten aandragen.

In de andere natuurwetenschappelijke vakken doet zich een vergelijkbare problematiek voor. Daarom zijn door de commissies voor de vernieuwing van natuurkunde en biologie dezelfde oplossingen voorgesteld.

Het doel van onderwijsonderzoek, met name ontwikkelingsonderzoek, is onder meer een bijdrage te leveren aan de vernieuwing van het onderwijs (Van den Akker, 1999; Cobb et al., 2003). Zo heeft didactisch ontwikkelingsonderzoek verschillende context-conceptbenaderingen opgeleverd. Pilot en Bulte (2006) noemen bijvoorbeeld *Chemistry in Context* (USA), *Salter's Advanced Chemistry* (UK), *Industrial Chemistry* (Israël), *Chemie im Kontext* (Duitsland) en *Chemistry in Practice* (Nederland). Deze benaderingen onderscheiden zich op een aantal punten van elkaar. Zo hanteren ze verschillende invullingen van het begrip context. De Engelse benadering bijvoorbeeld ziet 'aspects of students' lives, which they have experienced either personally or via the media' (Campbell et al., 1994, p. 419) als bron van contexten, terwijl de Nederlandse benadering authentieke handelingspraktijken als uitgangspunt neemt (Bulte, Westbroek, De Jong & Pilot, 2006). De diverse benaderingen worden verder gekenmerkt door een verschillende relatie tussen contexten en concepten. *Salter's Advanced Chemistry* introduceert bijvoorbeeld concepten wanneer de noodzaak (need to know) daartoe zich voordoet. De Israëlische benadering wil vooral de toepassing van 'basic chemical principles and concepts' (Hofstein & Kesner, 2006, p. 1021) in de industrie laten zien. Ook verschilt de betrokkenheid van docenten bij de ontwikkeling van het onderwijs. Het Amerikaanse *Chemistry in Context* is geschreven door een klein team van docenten (Schwartz, 2006), terwijl het Engelse *Salter's* en het Duitse *ChiK* een gezamenlijk project van didactici en docenten is. Daarnaast zijn er nog verschillen wanneer het gaat om de inbreng van leerlingen in het leerproces. Zo biedt de Duitse benadering leerlingen de mogelijkheid om, weliswaar binnen een aangedragen thema, hun eigen interesses te volgen (Parchmann et al., 2006). In de Israëlische benadering daarentegen werken leerlingen een probleem uit dat hun wordt voorgelegd (Hofstein & Kesner, 2006). Kortom, er zijn niet alleen verschillende context-conceptbenaderingen, maar ze verschillen ook in de manier waarop en de mate waarin ze de hierboven opgesomde problemen oplosbaar maken. Wanneer men nieuw scheikundeonderwijs wil ontwikkelen, moet men zich dan ook afvragen welke context-conceptbenadering de meest geschikte is.

2. Ontwikkeling van de vraagstelling

In een poging de diverse context-conceptbenaderingen te ordenen heeft Gilbert (2006) vier contextmodellen opgesteld. Het eerste model duidt hij aan met: context als de directe toepassing van concepten. Het gaat om het leren van abstracte begrippen die vervolgens met behulp van toepassingen worden geïllustreerd. Uit de toepassingen moet de zinvolheid van de abstracte begrippen blijken. Hij constateert dat de meeste schoolboeken van dit model uitgaan. Het tweede model brengt mogelijkheden voor contexten door uit te gaan van de wederkerigheid tussen concepten en toepassingen. Concepten en toepassingen zijn niet alleen aan elkaar gerelateerd zoals het eerste model dit voorstelt, maar toepassingen beïnvloeden ook de betekenis van concepten. Men treft dit model wel aan in de Science-Technology-Society (STS) beweging. Het derde model gaat ervan uit dat persoonlijke mentale activiteit in een context voorziet. Hierbij vormen klassengesprekken de context. Belangrijke gebeurtenissen uit de wetenschap dienen als uitgangspunt. Deze gebeurtenissen worden belicht vanuit de achtergrond waarin ze konden optreden. Dit model lijkt vooral te verwijzen naar de verhalen die men in schoolboeken aantreft over het werk van bekende wetenschappers of over wetenschappelijke prestaties. Voorbeelden hiervan zijn het werk van Mendele'ev of Van 't Hoff en de ontdekking van *buckyballs*. Het vierde model noemt Gilbert: context als maatschappelijke omstandigheid. Hier wordt context ingevuld met onderwerpen en activiteiten die maatschappelijk van belang zijn, zoals genetische modificatie, klimaatverandering, gezond voedsel en de waterstofeconomie. Het vierde model heeft zijn weg nog niet gevonden naar het formele curriculum zoals vastgelegd in officiële documenten en schoolboeken. Het model wordt alleen nog maar in didactisch onderzoek gebruikt. Gilbert stelt dat er, gaande van het eerste naar het vierde model, sprake is van vooruitgang wanneer het gaat om het probleemoplossend vermogen dat aan het model ontleend kan worden. Voor het ontwikkelen van scheikundeonderwijs is het dan ook verstandig van dit vierde model uit te gaan.

Op basis van een artikel van Van Oers (1998) maakt Gilbert onderscheid tussen twee interpretaties van het vierde model. In de eerste interpretatie wordt context ingevuld met leeromgeving, in de tweede met maatschappelijke activiteit. Over de eerste interpretatie zegt Van Oers:

'Powerful learning environments are those situations that spontaneously make sense and suggest appropriate actions and interactions. This suggestive nature of a situation supports the emergence and processing of meanings in learning communities' (ibid., p. 477).

Over de tweede zegt hij:

'the activity approach ... explains the context character of any situation by viewing it as a socially (and linguistically) constructed appeal for some cultural activity. Context, then, is essentially conceived in terms of a sociocultural setting, calling for tool-mediated actions, operations, and goals that are to be valued in the framework of the activity' (ibid., p. 481).

Het verschil tussen leeromgeving en maatschappelijke activiteit als context zit vooral in de zinvolheid die spontaan blijkt uit een situatie, tegenover het doel dat gewaardeerd wordt in het kader van een activiteit, in *learning community* tegenover *sociocultural setting* en in het ontwikkelen van betekenissen op basis van dat wat een situatie suggereert, tegenover het mediëren van handelingen door *tools* (begrippen en instrumenten) op basis van een beroep op leerlingen vanuit de maatschappij.

De twee interpretaties verschillen in hun mogelijkheden een bijdrage te leveren aan de oplossing van de hierboven genoemde problemen. Zo hoeft de context leeromgeving nog niet in te houden dat er relaties met de buitenschoolse werkelijkheid worden gelegd, terwijl de context maatschappelijke activiteit daar veel meer aanleiding toe geeft. Ook is de relatie tussen context en concept anders. In de eerste interpretatie komt deze relatie spontaan tot stand waarna bewerking plaatsvindt in een leergemeenschap. In de tweede interpretatie is deze relatie er een van bewuste mediëring met het oog op een bepaald doel. De eerste interpretatie biedt docenten mogelijkheden voor eigen inbreng en keuzes in de vorm van het maken of kiezen van leeromgevingen. Leerlingen daarentegen reageren in eerste instantie op de leeromgeving, waarna een fase van ontwikkeling van betekenissen volgt. In de tweede interpretatie kunnen docenten kiezen uit verschillende maatschappelijke activiteiten die bewerkt zijn of die ze zelf bewerken voor het onderwijs. Binnen deze schoolse versies van maatschappelijke praktijken krijgen leerlingen mogelijkheden zich eigen doelen te stellen en deze op een eigen manier te realiseren in een mate die met de betreffende praktijk overeenstemt. Wanneer men scheikundeonderwijs wil ontwikkelen dat voldoet aan de eisen die geformuleerd zijn door de Vernieuwingscommissie, ligt een keuze voor de tweede interpretatie voor de hand.

De Nederlandse benadering is een uitwerking van het vierde model met maatschappelijke omstandigheid in de betekenis van authentieke handelingspraktijk. Dit laatste is afgeleid van het begrip maatschappelijke activiteit van Leont'ev (1982). Een maatschappelijke activiteit is een georganiseerde manier om in maatschappelijke behoeften te voorzien. In het kader van de activiteitstheorie van Leont'ev is het juist maatschappelijke activiteit te definiëren als een georganiseerde manier om maatschappelijke motieven te realiseren. Leont'ev maakt onderscheid tussen behoeften die het menszijn nu eenmaal met zich meebrengt, zoals de behoefte aan voedsel, en motieven die de cultuurhistorische vorm van deze behoeften aanduiden, zoals de behoefte aan rundvlees of walvisvlees, alsmede cultuurhistorisch teweeggebrachte behoeften aanduiden, zoals de behoefte aan nieuws door middel van een krant. Voorbeelden van maatschappelijke activiteiten zijn voedselvoorziening, voorziening in medicijnen, energie, nieuws, enzovoorts. Binnen een maatschappelijke activiteit bestaan verschillende niveaus. In de voedselvoorziening kan men bijvoorbeeld onderscheid maken tussen productie en distributie van voedsel, en in de productie van voedsel weer tussen kwaliteitsverbetering door middel van onderzoek en kwaliteitscontrole met behulp van gestandaardiseerde testen die in de Warenwet zijn voorgeschreven. Met (handelings)praktijk in de uitdrukking *Chemistry in*

Practice bedoelen Pilot en Bulte (2006) een dergelijk ondergeordend niveau, omdat dit het niveau is waarop chemici werkzaam zijn. De onderzoekers die context op deze manier invullen, voeren hiervoor als redenen aan dat: 'it not only defines the specific situation, but also the type of actions together with the necessary knowledge to be able to perform these actions' (Bulte, Westbroek, De Jong & Pilot, 2006, p. 1074). Een praktijk als context moet dus samenhang brengen in het lesmateriaal.

Ten behoeve van het onderwijs ontwikkelen onderzoekers een gedidactiseerde versie van een handelingspraktijk. Dit houdt in dat zij een zo getrouw mogelijke weergave van een dergelijke praktijk in het onderwijs nastreven. Hierbij houden ze rekening met wat leerlingen weten en kunnen en wat een school aan mogelijkheden heeft. Zij kiezen bijvoorbeeld voor vereenvoudigde of alternatieve uitvoeringen van gestandaardiseerde testen. In termen van Leont'ev komt het erop neer dat in een gedidactiseerde versie van een handelingspraktijk de motieven behouden blijven, maar dat deze op een andere manier dan in de nagebootste praktijk worden gerealiseerd. Zodoende blijft de relatie in stand tussen motieven uit de handelingspraktijk en begrippen en technieken die gebruikt worden bij het realiseren daarvan.

Op dit moment liggen er twee proefschriften waarin verslag wordt gedaan van onderzoek aan een gedidactiseerde versie van een handelingspraktijk. Dat zijn de proefschriften van Westbroek (2005) en van Van Rens (2005). In dit artikel worden deze met elkaar vergeleken. Uiteraard gebeurt deze vergelijking op de punten die de Commissie Vernieuwing Scheikunde naar voren heeft gebracht. Verder zijn de resultaten die het onderzoek heeft opgeleverd interessant omdat deze iets zeggen over de effectiviteit van het onderwijs en van de gekozen context-conceptbenadering. De vragen die ik aan beide didactiseringen stel zijn de volgende:

1. welke invulling geeft de onderzoekster aan het begrip context in het door haar ontwikkelde onderwijs?
2. om welke concepten gaat het?
3. hoe ziet de onderzoekster de relatie tussen context en concept?
4. hoe heeft de onderzoekster de context gedidactiseerd?
5. welke resultaten levert het onderzoek op?
6. welke mogelijkheden tot eigen inbreng en keuzes biedt het door de onderzoekster ontwikkelde onderwijs aan docenten?
7. welke mogelijkheden tot eigen inbreng en keuzes biedt het door de onderzoekster ontwikkelde onderwijs aan leerlingen?

In paragraaf 3 bespreek ik het proefschrift van Westbroek, in paragraaf 4 dat van Van Rens. Elke bespreking wordt voorafgegaan door een opmerking over de aanleiding tot het onderzoek en de onderzoeksvraag, dan wel het doel dat de onderzoekster voor ogen stond.

3. De didactisering van een handelingspraktijk door Westbroek

Aanleiding voor het onderzoek van Westbroek is de wijdverbreide onvrede over het huidige scheikundeonderwijs. Zij begint haar onderzoek dan ook met een analyse hiervan. Zij vindt drie kenmerken die zij als problematisch aanmerkt. Deze zijn: (1) de inhoud is een selectie uit resultaten van wetenschappelijk onderzoek, (2) er is een gebrek aan samenhang en (3) er is een gebrek aan aandacht voor de inbreng van leerlingen. Vervolgens bekijkt zij een aantal projecten uit binnen- en buitenland. Zij merkt op dat de oplossing van de problemen steeds in dezelfde richting wordt gezocht. De projecten vertonen dan ook dezelfde karakteristieken: men voorziet begrippen van een context, men probeert pas stappen te zetten in het onderwijsleerproces wanneer de behoefte daaraan ontstaat (need-to-know) en men geeft de inbreng van leerlingen een rol in het onderwijsleerproces. Deze drie karakteristieken worden echter steeds op een andere manier ingevuld. Bovendien is bij geen van de projecten onderzocht of het lesmateriaal waarmaakt wat men ervan verwacht. Deze constatering leidt tot de onderzoeksvraag:

'What is an adequate teaching-learning process that properly embodies the three characteristics of meaningful: a motivating context, a proper need-to-know and a proper attention for student input?' (ibid., p. 30).

Deze vraag wordt toegespitst op een module over de beoordeling van de kwaliteit van water.

In de derde versie van haar onderwijsontwerp kwam Westbroek ertoe context in te vullen met een authentieke handelingspraktijk, in haar geval de controle van de kwaliteit van water. In een gedidactiseerde versie van deze context leren leerlingen wat er allemaal komt kijken bij het controleren van de kwaliteit van water. Hiertoe nemen zij de rol van chemisch analist op zich. Zij testen het water met behulp van standaardtesten op een aantal verontreinigingen, vergelijken hun resultaten met wettelijke normen en spreken een oordeel uit over de waterkwaliteit. De gedidactiseerde versie van deze authentieke praktijk moet leerlingen tot een inzicht brengen in de algemene procedure die de authentieke praktijk volgt om de kwaliteit van water te beoordelen.

De gedidactiseerde versie van de controle van waterkwaliteit geeft leerlingen de gelegenheid kennis te maken met begrippen zoals betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van testresultaten. Behalve deze begrippen komen ook criteria voor waterkwaliteit aan de orde, alsmede de argumenten die ten grondslag liggen aan de keuze van deze criteria. Verder komen praktische overwegingen met betrekking tot de procedure ter sprake. Zo wordt water gewoonlijk niet op alle criteria getest. Dit zou te tijdrovend en te duur zijn, terwijl de waarschijnlijkheid dat water bepaalde verontreinigingen bevat vrijwel nihil is. De argumentatie rond criteria voor waterkwaliteit heeft dus betrekking op de validiteit van conclusies.

De relatie tussen context en concept is mediëring. De begrippen kwaliteit, betrouwbaarheid en nauwkeurigheid bepalen immers het handelen in de handelingspraktijk. Uiteraard moet de kwaliteit van water in orde zijn, dit in verband met gezondheid en met

esthetische overwegingen. De kwaliteit moet betrouwbaar en nauwkeurig vastgesteld kunnen worden, willen wij water vertrouwen.

Westbroek heeft de handelingspraktijk controle van waterkwaliteit gedidactiseerd door een didactische structuur op te stellen en deze in een scenario te concretiseren. Een didactische structuur is een opeenvolging van motieven en begrippen die samenhang brengt in het onderwijs. De didactische structuur werd tot een scenario uitgewerkt. Een scenario is een serie opdrachten voor leerlingen waarin elke opdracht wordt voorbereid door een vorige en op haar beurt een volgende opdracht voorbereidt. Daarnaast beschrijft het scenario de interventies van de docent ter ondersteuning van het leerproces van de leerlingen. Het scenario geeft dus het onderwijsleerproces weer dat naar verwachting zal plaatsvinden. Vervolgens wordt het verwachte onderwijsleerproces vergeleken met wat er werkelijk in de klas gebeurt. Waar verwacht en gerealiseerd onderwijsleerproces te zeer uiteenlopen, wordt de didactische structuur bijgesteld. De uiteindelijke didactische structuur kwam in drie rondes van onderzoek, evaluatie en bijstelling tot stand.

Het resultaat van het onderzoek van Westbroek is een didactische structuur voor de controle van de kwaliteit van water. De invulling van context met authentieke handelingspraktijk in de derde versie had tot gevolg dat de relatie tussen context en concept versterkt werd, vergeleken met voorgaande versies. Verder bleken leerlingen geen inzicht in de algemene procedure te ontwikkelen waarmee in de authentieke praktijk de kwaliteit van water beoordeeld wordt.

In de loop van haar onderzoek kwam Westbroek ertoe behalve een didactische structuur, ook de rol van de docent te ontwerpen. Hiervoor gebruikte zij interactiestructuren die zij aan het werk van Lemke ontleende. Interactiestructuren zijn bedoeld om de interactie tussen docent en leerlingen te reguleren. De docent kon hier niet steeds mee uit de voeten. Westbroek rapporteert daarover:

'the development of the procedure for Water Quality control made his role inflexible: he felt he had to make sure that the proper steps emerged at the proper time, which was sometimes unnatural in his experience' (Westbroek, 2005, p. 162).

Wat betreft de inbreng van leerlingen doet Westbroek enkele vooronderstellingen. Zij gaat ervan uit dat leerlingen de motieven van de authentieke praktijk kennen en waarderen. Dit draagt ertoe bij dat leerlingen gemotiveerd zijn om wat te leren over de betreffende praktijk. Daarnaast gaat zij ervan uit dat leerlingen intuïtieve kennis hebben over het globale verloop van kwaliteitscontroles. Deze intuïtieve kennis gebruikt zij om inhoudsgerelateerde motieven tot stand te brengen onder leerlingen. Dit wil zeggen dat leerlingen op bepaalde momenten de noodzaak tot meer gedetailleerde kennis ervaren. Deze noodzaak biedt het uitgangspunt om de volgende logische stap te kunnen zetten die in het scenario al voorzien is. Het veelvuldige gebruik van woorden als *induce*, *trigger*, *naturally follow*, *drive*, *emerge*, *naturally bring up* en dergelijke, is dan ook kenmerkend voor het onderzoeksverslag van Westbroek.

4. De didactisering van een handelingspraktijk door Van Rens

Het opnemen van onderzoeksvaardigheden in het examenprogramma voor het vwo vormde de aanleiding voor het onderzoek van Van Rens. Uit de literatuur bleek dat het voor docenten een probleem is hieraan uitvoering te geven en dat er onder onderzoekers geen consensus bestaat over de didactiek hiervan. Deze constatering leidde ertoe 'leren onderzoeken' als thema voor het onderzoek te nemen. Van Rens formuleerde als onderzoeksvraag:

'Welke kenmerken maken een ontwerp van scheikundeonderwijs voor leren onderzoeken in de Tweede Fase van het vwo effectief?' (Van Rens, 2005, p. 3).

Haar onderzoeksdoel is het formuleren van richtlijnen voor het ontwerpen van effectief scheikundeonderwijs voor leren onderzoeken.

Als context heeft Van Rens de authentieke handelingspraktijk van het wetenschappelijk onderzoek gekozen. Door deze context na te bootsen in het onderwijs leren leerlingen wat het inhoudt wetenschappelijk onderzoek te doen. Hiertoe doen zij de dingen die onderzoekers ook doen. Zo formuleren leerlingen een onderzoeksvraag, stellen een werkplan op en voeren dit uit, schrijven een artikel, discussiëren met *peers* over hun onderzoeksresultaten en herzien hun artikel op grond hiervan. Dit gebeurt wel op een aangepast niveau. Zo sluit het onderwerp waar het onderzoek over gaat aan bij de leerstof van het vwo. Aan de nabootsing van onderzoek gaat een oriëntatie vooraf op het onderzoeksthema en op de gang van zaken in onderzoek door middel van een gidsexperiment en door de analyse van een artikel. Doel van dit alles is dat leerlingen leren wat empirische bewijsvoering inhoudt.

Het voorgaande brengt met zich mee dat in het onderzoek van Van Rens de nadruk ligt op de *concepts of evidence*. Zodoende komen nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van waarnemingen alsook de geldigheid van conclusies in beeld. Leerlingen moeten hun onderzoek zo inrichten dat zij nauwkeurige en betrouwbare resultaten krijgen. Deze vormen het empirische fundament waaruit de geldigheid van de conclusies uit hun onderzoek moet blijken. Het gaat dus ook om de relaties tussen de *concepts of evidence*.

De relatie tussen context en concept is ook hier mediëring. Voornoemde *concepts of evidence* maken de handelingspraktijk die wetenschap heet mede mogelijk. De *concepts of evidence* zijn erop gericht 'vakgenoten' te overtuigen van de conclusies die de leerlingen in hun rol van onderzoeker trekken. Hiertoe moeten de 'onderzoekers' kunnen aantonen dat hun conclusies terecht zijn. Zij moeten kunnen laten zien dat de 'wetenschappelijke gemeenschap' geloof kan hechten aan hun metingen door ervoor te zorgen dat deze metingen nauwkeurig en betrouwbaar zijn.

Van Rens heeft de handelingspraktijk 'onderzoek' gedidactiseerd door een model hiervan te ontwerpen en dit uit te werken tot een onderwijsleerstrategie. Het model houdt in dat leerlingen de rol van onderzoeker krijgen in een nagebootste onderzoekspraktijk. Hierdoor krijgen zij zicht op het weten, kunnen en willen van een onderzoeker alsmede de

gang van zaken in het onderzoek. Het theoretische kader voor het model ontleent Van Rens aan wetenschapsfilosofische opvattingen met betrekking tot onderzoek en sociaal-constructivistische overwegingen over leren. Verder doet zij onderzoek naar de beginsituatie van docenten en leerlingen wat betreft leren onderzoeken. Op basis van het model en van de uitkomsten van het onderzoek naar de beginsituatie van docenten en leerlingen formuleert Van Rens richtlijnen die zij tot een onderwijsleerstrategie uitwerkt. Deze onderwijsleerstrategie is een planning van door leerlingen uit te voeren activiteiten en door docenten te geven instructie en begeleiding. Er volgt een iteratief proces van uitvoeren, evalueren, reflecteren en bijstellen van de onderwijsleerstrategie. Dit bijstellen gebeurt op grond van onderzoeksgegevens over uitvoerbaarheid en effectiviteit van het onderwijsontwerp. Van Rens didactiseert dus door een model op te stellen van de handelingspraktijk die zij in het onderwijs wil nabootsen en past dit model aan met behulp van gegevens die zij aan de praktijk van het onderwijs ontleent.

Naar aanleiding van de evaluatie van het tweede onderwijsontwerp komt Van Rens tot de conclusie dat haar onderwijsontwerp: 'uitvoerbaar is en in hoge mate de beoogde leerresultaten oplevert' (ibid., p. 129). Leerlingen bleken in staat een onderzoeksplan op te stellen waarin zij de afhankelijke en onafhankelijke variabele alsook de controlevariabelen definieerden. Zij bleken in mindere mate in staat artikelen van voldoende kwaliteit te schrijven. Dit betrof met name de formulering van de onderzoeksvraag, de grafische weergave van meetresultaten en de reflectie op de betrouwbaarheid van meetresultaten. Van Rens schrijft het succes van haar onderwijsontwerp toe aan:

'de hoge mate van authenticiteit van de onderzoekshandelingen van de leerlingen. Zij werken in een compleet onderzoeksproces aan een 'echt' probleem binnen een gesimuleerde onderzoeksgemeenschap' (ibid., p. 131, 132).

De richtlijnen die Van Rens uiteindelijk formuleert voor het ontwerpen van scheikundeonderwijs voor 'leren onderzoeken', zijn gebaseerd op een door middel van onderzoek aangepast model van de na te bootsen handelingspraktijk.

Wat betreft de inbreng van docenten in het onderzoek heeft Van Rens drie benaderingen overwogen. Zij typeert deze met de aanduidingen: (1) van theorie naar praktijk, (2) een wisselwerking tussen theorie en praktijk en (3) van praktijk naar theorie. De eerste benadering houdt een scheiding in tussen denkers (didactische onderzoekers) en uitvoerders (docenten). Daardoor brengt deze het gevaar met zich mee dat plan en uitvoering meer van elkaar verschillen dan wenselijk is voor het onderzoek. De derde benadering betekent dat wellicht onvoldoende gebruik wordt gemaakt van kennis en ervaring die elders is opgedaan. Daarom kiest Van Rens voor de tweede benadering. Hiertoe riep zij een netwerk in het leven waardoor zowel docenten als onderzoekster actief betrokken konden zijn bij alle fasen van ontwerp en onderzoek. In de tweede ronde bereikten docenten en onderzoekster consensus over de te volgen onderwijsleerstrategie. Tijdens de uit-

voering hielden alle docenten zich aan de afspraken, behoudens in situaties van overmacht.

De inbreng van leerlingen bestaat uit het doen van een eigen onderzoek binnen het kader van een aangedragen thema. Er is hier dus sprake van een eigen doelgerichte activiteit van de leerlingen. Zij worden hierop voorbereid door een gidsexperiment en een analyse van een artikel. Doel hiervan is leerlingen te oriënteren op de kwaliteitseisen waaraan wetenschappelijk onderzoek moet voldoen, met andere woorden hun te laten ervaren hoe de *concepts of evidence* in de praktijk werken en wat deze concepten van hen eisen.

5. Evaluatie

Wanneer ik de antwoorden van beide onderzoeksters op mijn vragen (pagina 63) vergelijk, kom ik tot de volgende bevindingen. Allebei kiezen ze ervoor context in te vullen met handelingspraktijk. Westbroek neemt de controle van de kwaliteit van water als voorbeeld om na te bootsen, Van Rens kiest hiervoor wetenschappelijk onderzoek. In de nagebootste handelingspraktijk van Westbroek gaat het om de begrippen nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van testresultaten, de validiteit van conclusies alsmede om de criteria die gelden voor waterkwaliteit, in de handelingspraktijk van Van Rens gaat het om dezelfde begrippen, uiteraard met uitzondering van de criteria voor de kwaliteit van water. De relatie tussen context en concept is in beide gevallen mediëring. De begrippen zijn immers noodzakelijk voor het functioneren van de betreffende handelingspraktijken.

Tot zover komt het werk van Westbroek en van Van Rens overeen. Wanneer het om de didactisering van een handelingspraktijk gaat, treden er verschillen tussen beide onderzoeksters op. Westbroek ontwerpt hiervoor een didactische structuur en werkt deze uit tot een scenario. Van Rens stelt een model van wetenschappelijk onderzoek op en concreetiseert dit in een onderwijsleerstrategie. Beide onderzoeksters komen tot de conclusie dat hun didactisering voldoet in de praktijk van het onderwijs. Bovendien vond Westbroek dat een handelingspraktijk als context de relatie tussen context en concept versterkt vergeleken met de context waarvan zij eerder uitging. De didactisering van Westbroek biedt docenten minder mogelijkheden tot eigen inbreng en keuzes dan die van Van Rens. Bij Westbroek zijn docenten niet betrokken bij de keuze van het soort water dat gecontroleerd gaat worden, bij Van Rens komt het onderzoeksthema in overleg met de docenten tot stand. De interactiestructuren waarmee Westbroek de interactie tussen docent en leerlingen probeert te reguleren leggen de mogelijkheden tot eigen inbreng van docenten aan banden, zoals de betrokken docent ook aangaf. De onderwijsleerstrategie die door Van Rens en de docenten is afgesproken, geeft ruimte aan de inbreng van docenten tijdens het onderwijsleerproces. Ook wanneer het gaat om eigen inbreng en keuzes van leerlingen heeft de didactisering van Westbroek minder te bieden. Bij deze onderzoekster staat de procedure om de kwaliteit van water te testen centraal. De eigen inbreng en keuzes van leerlingen worden beperkt tot een heruitvinding van deze procedure op basis van een

waardering van de leerlingen voor de motieven die de handelingspraktijk nastreeft en van hun intuïtieve noties omtrent een dergelijke procedure. Bij Van Rens formuleren leerlingen na een oriëntering op de gang van zaken in wetenschappelijk onderzoek een eigen onderzoeksvraag, waardoor zij tot eigen doelgerichte activiteit komen.

De voorgaande vergelijking maakt het mogelijk de vraag te beantwoorden welke context-conceptbenadering het meest geschikt is voor het ontwikkelen van scheikundeonderwijs. In de paragraaf over de ontwikkeling van de vraagstelling kwam al naar voren dat het vierde model van Gilbert met maatschappelijke activiteit als context de meest veelbelovende context-conceptbenadering is met het oog op de voorstellen van de Commissie Vernieuwing Scheikunde. Zowel de benadering van Westbroek als die van Van Rens bevestigen dit. De nabootsing van handelingspraktijken in het onderwijs geeft leerlingen een beeld van de buitenschoolse werkelijkheid. Door bepaalde rollen uit die handelingspraktijken op zich te nemen, zoals analist (Westbroek) of wetenschappelijk onderzoeker (Van Rens) krijgen leerlingen bovendien een idee wat deze beroepen inhouden. Mediëring vormt hierbij een brug tussen context en concept omdat leerlingen ervaren hoe concepten in handelingspraktijken functioneren. De mate waarin beide onderzoeksters de beloftes waarmaken verschilt echter. Zoals tijdens de vergelijking naar voren kwam, hebben de onderzoeksters voor een verschillende manier van didactiseren gekozen. Westbroek gebruikt hiervoor een didactische structuur en een scenario, terwijl Van Rens dit doet met behulp van een model en een onderwijsleerstrategie. De didactisering van Westbroek bleek beperkter in de mogelijkheden voor eigen inbreng en keuzes van docenten en leerlingen. Gezien de voorstellen van de Commissie Vernieuwing Scheikunde moet dan ook aan de context-conceptbenadering van Van Rens de voorkeur gegeven worden.

Het valt overigens op dat beide onderzoeksters niet zozeer inhoudelijke concepten hebben gekozen, zoals bijvoorbeeld zout, ester, waterstofbrug, reactiesnelheid en dergelijke, maar het eerder gezocht hebben in concepten als nauwkeurigheid, betrouwbaarheid enzovoorts, die met de procedures in handelingspraktijken te maken hebben. Het probleem hoe inhoudelijke concepten door middel van nagebootste handelingspraktijken aan de orde te stellen blijft nog liggen.

6. Achtergronden

De vraag die zich nu voordoet is waarom de didactisering door Westbroek minder goed uitpakt dan die door Van Rens. Is dit toeval of is daar een verklaring voor te geven? Heeft dit misschien te maken met het feit dat in de handelingspraktijk van Westbroek de procedure een vaster omlijnd karakter heeft dan in de handelingspraktijk van Van Rens? Dit zou immers verklaren waarom er minder mogelijkheden voor eigen inbreng en keuzes zijn voor docenten en leerlingen in de didactisering van Westbroek. Dit zou ook terecht zijn omdat dit overeenkomt met de mogelijkheden die de betreffende handelingspraktijk biedt. Naar mijn mening heeft het verschil te maken met de vooronderstellingen waarvan beide onderzoeksters uitgaan. Daarom ga ik na op welke ideeën zij zich baseren en wat de con-

sequenties daarvan zijn voor hun didactisering. Hierdoor wordt een algemener antwoord op de vraag van dit artikel mogelijk dan hierboven gegeven is.

Westbroek heeft het idee van een didactische structuur ontleend aan de 'probleemstellende benadering' van Klaassen (1995). Zijn theorie is een combinatie van drie elementen, namelijk de filosofie van Davidson, een visie op de gang van zaken in de wetenschap die door Davidson is geïnspireerd, en de niveautheorie van Van Hiele. Ik ga kort op deze drie elementen in.

Davidson gaat ervan uit dat wij in een gedeelde wereld leven en dat wij dezelfde normen voor rationaliteit hanteren. De gedeelde wereld bestaat uit objecten en gebeurtenissen die wij door conditionering verbonden hebben met woorden. Sommige objecten bestaan niet echt en sommige gebeurtenissen vinden alleen plaats in onze gedachten. Deze objecten en gebeurtenissen kunnen echter altijd herleid worden tot objecten en gebeurtenissen in de werkelijke wereld door het hanteren van rationaliteitsnormen. Tot deze normen behoren de principes van de logica. Zo accepteren wij geen tegenspraken in ons begrippensysteem en baseren we conclusies op relevante gegevens. Tot genoemde normen behoort ook het *principle of continence*. Dit impliceert dat we de beste keuzes maken door relevante punten af te wegen op basis van het beste bewijsmateriaal. Rationaliteitsnormen reguleren hierbij de relaties tussen wat wij willen, verwachten, geloven en denken.

Volgens Davidson voegt de wetenschap woorden en begrippen toe aan onze gedeelde wereld. Hiertoe voert de wetenschap specifieke manieren in om objecten en gebeurtenissen te classificeren. Op basis hiervan worden regelmatigheden onderkend die in de loop van empirisch onderzoek tot generalisaties leiden. Deze generalisaties worden in een begrip samengevat en in een woord uitgedrukt.

Met behulp van de niveautheorie van Van Hiele weet Klaassen voorgaande ideeën tot een algemene didactische structuur uit te werken. Hij ziet een didactische structuur als een opeenvolging van motieven en begrippen die samenhang in het onderwijs moeten bewerkstelligen. Volgens deze didactische structuur moet onderwijs aansluiten bij de leefwereld van leerlingen. Hierdoor ontstaat een globaal motief voor de volgende activiteit. De spraakverwarring onder leerlingen over situaties in de leefwereld leidt tot de noodzaak een afspraak te maken hoe naar deze situaties te kijken. Leerlingen komen hiermee op wat Van Hiele het grondniveau noemt. Door het classificeren van overeenkomsten en verschillen tussen voornoemde situaties bereiken leerlingen het beschrijvende niveau van empirische generalisaties. Het motief tot deze classificatie wordt geïnduceerd door leerlingen een probleem voor te leggen. Bij het oplossen van dit probleem maken leerlingen zich begrippen eigen. Reflectie op de empirische reikwijdte van die begrippen brengt hun vervolgens op het niveau van theoretische generalisaties. Klaassen veronderstelt dat leerlingen bij het oplossen van problemen normen voor rationaliteit hanteren. De opeenvolging van motieven en begrippen in een didactische structuur berust dus op rationaliteitsnormen en op de niveautheorie van Van Hiele. Hierbij leggen de rationaliteitsnormen

de spelregels vast, terwijl de niveautheorie een onderscheid aanbrengt in inhoudelijke begrippen. In de didactisering van Westbroek speelt de niveautheorie van Van Hiele overigens geen rol.

De nadruk op rationaliteit in deze benadering brengt met zich mee dat een handelingspraktijk die met behulp van een didactische structuur wordt gedidactiseerd, geen volledig beeld geeft van de betreffende praktijk. Immers, de rationele kant daarvan, bijvoorbeeld tot uiting komend in een procedure, krijgt alle nadruk, maar er is geen oog voor maatschappelijke en historische aspecten. In de nabootsing van de controle van waterkwaliteit door Westbroek zijn dan ook omissies aan te wijzen. Zij laat leerlingen bijvoorbeeld kennismaken met de argumenten voor enkele criteria van waterkwaliteit. Nergens wordt duidelijk dat dit de argumenten zijn die 'gewonnen' hebben. Nergens is te vinden wie deze argumenten naar voren heeft gebracht. Nergens komt over het voetlicht dat de wet waaruit deze criteria afkomstig zijn, een compromis is tussen verschillende maatschappelijke groeperingen met soms tegengestelde belangen. Het compromiskarakter van de waterleidingwet is bijvoorbeeld zichtbaar in de criteria voor nitriet en nitraat. Deze zijn respectievelijk 0,1 mg/L en 50 mg/L, terwijl deze ionen door chemische reacties in elkaar omgezet kunnen worden. De meerperspectiviteit waarvan in handelingspraktijken altijd sprake is, is in de didactisering van Westbroek verloren gegaan. Een ander voorbeeld betreft het feit dat, waar nauwkeurigheid, betrouwbaarheid en validiteit alle aandacht krijgen, standaardisatie volledig buiten beschouwing blijft. In de wet zijn de methoden om de kwaliteit van water te testen voorgeschreven. Vanuit maatschappelijk oogpunt is dit van belang omdat hiermee voorkomen wordt dat hetzelfde water in verschillende laboratoria een andere beoordeling krijgt of dat water van slechte kwaliteit ergens in Nederland goedgekeurd wordt. In een maatschappij waarin alle burgers gelijke rechten hebben mag dit uiteraard niet voorkomen.

Het is nu ook duidelijk wat Westbroek bedoelt met intuïtieve kennis (over het globale verloop van kwaliteitscontroles). Hiermee bedoelt zij de normen voor rationaliteit die wij allen hanteren. Deze vormen een verklaring voor het veelvuldig optreden van woorden als *induce*, *trigger*, *emerge*, en dergelijke in haar onderzoeksverslag. Op de momenten waarop sprake is van *inducing*, *triggering*, *emerging*, doet zij blijkbaar een beroep op deze bij leerlingen aanwezig veronderstelde normen. Omdat alleen uitingen en overwegingen op basis van deze normen worden gewaardeerd, ben ik van mening dat een didactische structuur op basis van deze normen de mogelijkheden tot eigen inbreng van leerlingen beperkt.

De didactisering van een handelingspraktijk door Van Rens berust op ideeën uit de cultuurhistorische school beschreven door Van Aalsvoort (2000). Ook hierin zijn drie elementen te onderkennen. Dit zijn de activiteitstheorie van Leont'ev gecombineerd met de visie op begrippen van Il'enkov, een visie op wetenschap die met de activiteitstheorie van Leont'ev wordt geïmpliceerd, en een onderscheid in stadia in de ontwikkeling van wetenschappelijke begrippen waarvan volgens Leont'ev sprake is.

Voor Leont'ev is de wereld waarin wij leven een conglomeraat van maatschappelijke activiteiten, die, zoals al eerder gezegd, erop zijn gericht maatschappelijke motieven te realiseren. Hij stelt verder dat wij op verschillende manieren betrokken zijn bij diverse maatschappelijke activiteiten, dit wil zeggen dat wij verschillende rollen of functies daarin bekleeden. Objecten en gebeurtenissen hebben verschillende betekenissen voor ons, afhankelijk van de aard van onze betrokkenheid bij een activiteit. Soms worden deze verschillende betekenissen zelfs met verschillende woorden aangeduid. Zo heeft drinkwater voor een consument die koffie zet een andere betekenis dan voor de analist die het nitraatgehalte bepaalt. Volgens Leont'ev leven wij dus niet in een gedeelde wereld. Il'enkov heeft geprobeerd te doordenken wat cultuurhistorische ideeën inhouden voor onze opvatting over de aard van begrippen. De algemeenheid van begrippen die wellicht berust op de aanname van een gedeelde wereld gaat naar de achtergrond, terwijl de meerperspectiviteit van begrippen die gebaseerd is op de manier waarop wij betrokken zijn bij een activiteit, naar voren komt. Het beschrijvende karakter van begrippen die ten grondslag liggen aan classificaties krijgt minder nadruk, terwijl de functionaliteit van begrippen in het mediëren van een activiteit meer aandacht krijgt. Naast de logica waarmee classificaties worden gemaakt komt een cultuurhistorische beschouwingwijze aan bod.

Redenerend langs lijnen van de activiteitstheorie komt men tot de opvatting dat wetenschap zich ontwikkelt uit andere maatschappelijke activiteiten doordat er een motief ontstaat om deze activiteiten te verbeteren. Wetenschap realiseert verbeteringen door onze begripssystemen te verbeteren. Tijdens de daadwerkelijke verbetering van (andere) maatschappelijke activiteiten is er geen sprake van toepassing van wetenschappelijke resultaten, zij ondergaan een verandering van betekenis omdat ze gaan functioneren in een andere maatschappelijke activiteit.

Leont'ev (1982) onderscheidt bepaalde stadia in de ontwikkeling van wetenschappelijke begrippen. Eerst zijn er de begrippen die voortkomen uit reflectie op een activiteit. Daarna komen begrippen die het resultaat zijn van het beproeven van materialen op hun geschiktheid voor een bepaald doel. Ten slotte volgen begrippen die deel uitmaken van een modelmatige benadering van de werkelijkheid. In *Chemie in Producten* (Van Aalsvoort, 2001, 2005), een methode voor het scheikundeonderwijs in 3 vwo/havo, zijn deze stadia aangehouden.

Over het onderzoek van Van Rens is op te merken dat haar didactisering in methodisch opzicht onvolkomenheden vertoont. Zij heeft een handelingspraktijk willen nabootsen, maar een oriëntatie op deze praktijk maakt geen deel uit van haar vooronderzoek. Immers, een oriëntatie op wetenschapsfilosofische reconstructies kan niet als zodanig gelden. De bedoeling van het nabootsen van zo'n praktijk is dat leerlingen de begrippen die een praktijk mediëren in hun discussies gaan gebruiken op een manier die daarbij gebruikelijk is. Dit bleek onvoldoende het geval. Vermoedelijk valt er winst te behalen door de nabootsing te verbeteren, bijvoorbeeld door het houden van werkbesprekingen wanneer leerlingen hun onderzoeksvraag en onderzoeksopzet hebben geformuleerd.

Opvallend is verder dat Van Rens geen intuïtieve kennis bij leerlingen veronderstelt. In plaats daarvan maakt een oriëntatie van de leerlingen op wetenschappelijk onderzoek door middel van een gidsexperiment en een door leerlingen te maken analyse van een artikel deel uit van haar didactisering. Gezien het cultuurhistorische karakter van handelingspraktijken is deze werkwijze terecht. Immers, leerlingen kunnen niet op de hoogte zijn van zaken die historisch gegroeid zijn in een voor hen onbekende handelingspraktijk.

De vraag welke context-conceptbenadering het meest geschikt is voor het ontwikkelen van scheikundeonderwijs met het oog op de voorstellen van de Commissie Vernieuwing Scheikunde kan nu op een algemener niveau beantwoord worden. De meest geschikte benadering is die welke context als handelingspraktijk opvat en de relatie tussen context en concept als mediëring. Ten behoeve van de didactisering van een dergelijke context wordt een model opgesteld waarin alle essentiële elementen van een handelingspraktijk zijn opgenomen. De didactisering krijgt vorm in een plan voor een onderwijsleerproces waarvan een oriëntatie op en een nabootsing van de cultuurhistorische gang van zaken in een handelingspraktijk deel uit maken.

Correspondentie over dit artikel aan Joke van Aalsvoort, O.S.G. Huygenwaard, Middenweg 76, 1703 RD Heerhugowaard, joke.van.aalsvoort@planet.nl.

Met dank aan Dr. W. Wardekker, Dr. L. van Rens en twee anonieme reviewers voor hun commentaren op eerdere versies van dit artikel.

English summary

Which context-concept approach is most appropriate for the development of chemical education?

The Committee for the Innovation of Chemistry proposes to found chemical education on a context-concept approach. Moreover, the committee recommends to enable teachers and students to contribute to the programme and to make their own choices in this. However, it appears that several context-concept approaches exist. In addition, each context-concept approach involves different possibilities for contributions and choices of teachers and students. In this article I investigate which context-concept approach comes to the fore from the literature as most appropriate for the development of chemical education in view of the requirements of the committee.

Literatuur

Aalsvoort, J.G.M. van (2000). *Chemistry in Products. A cultural-historical approach to initial chemical education*. Proefschrift Universiteit Utrecht.

Aalsvoort, J.G.M. van (2001, 2005). *Chemie in Producten*. Interne publicatie van de O.S.G. Huygenwaard, Heerhugowaard.

- Akker, J. van den (1999). Principles and methods of development research. In J. van den Akker, R.M. Branch, K. Gustafson, N. Nieveen & T. Plomp (ed.). *Design Approaches and Tools in Education and Training*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Bulte, A.M.W., Westbroek, H.B., Jong, O. de & Pilot, A. (2006). A Research Approach to Designing Chemistry Education using Authentic Practices as Contexts. *International Journal of Science Education*, 28(9), 1063-1086.
- Campbell, B., Lazonby, J., Millar, R., Nicolson, P., Ramsden, J. & Waddington, D. (1994). Science: The Salters approach – a case study of the process of large scale curriculum development. *Science Education*, 78(5), 415-447.
- Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R. & Schauble, L. (2003). Design Experiments in Educational Research. *Educational Researcher*, 32(1), 9-13.
- Driessen, H.P.W. & Meinema, H.A. (2003). *Chemie tussen context en concept. Ontwerpen voor vernieuwing*. Enschede: SLO, Stichting Leerplanontwikkeling.
- Gilbert, J.K. (2006). On the Nature of 'Context' in Chemical Education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976.
- Hofstein, A. & Kesner, M. (2006). Industrial Chemistry and School Chemistry: Making chemistry studies more relevant. *International Journal of Science Education*, 28(9), 1017-1039.
- Klaassen, C.W.J.M. (1995). *A Problem-Posing Approach to Teaching the Topic of Radioactivity*. Proefschrift Universiteit Utrecht. Utrecht, CD-β Press.
- Leontjew, A.N. (1982). *Tätigkeit, Bewußtsein, Persönlichkeit. Studien zur Kritischen Psychologie*. Köln: Pahl-Rugenstein Verlag.
- Oers, B. van (1998). From context to contextualising. *Learning and Instruction*, 8, 473-488.
- Parchmann, I., Gräsel, C., Baer, A., Nentwig, P., Demuth, R., Ralle, B. & the ChiK Project Group (2006). 'Chemie im Kontext': A symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach. *International Journal of Science Education*, 28(9), 1041-1062.
- Pilot, A. & Bulte, A.M.W. (2006). The Use of 'Contexts' as a Challenge for the Chemistry Curriculum: Its successes and the need for further development and understanding. *International Journal of Science Education*, 28(9), 1087-1112.
- Rens, E.M.M. van (2005). *Effectief scheikundeonderwijs voor 'leren onderzoeken' in de tweede fase van het vwo*. Proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam.
- Schwartz, A.T. (2006). Contextualized Chemistry Education: The American experience. *International Journal of Science Education*, 28(9), 977-998.
- Verkenningcommissie Scheikunde (2002). *Bouwen aan Scheikunde. Blauwdruk voor een aanzet tot vernieuwing van het vak scheikunde in de Tweede Fase van HAVO en VWO*. In opdracht van het Ministerie van OC&W, Zoetermeer.
- Westbroek, H. (2005). *Characteristics of Meaningful Chemistry Education*. Proefschrift Universiteit Utrecht. Utrecht, CD-β Press.