

Strategisch omgaan met leerlingdenkbeelden in de exacte vakken: een praktisch overzicht en een theoretisch perspectief

R. Taconis,
Instituut voor de Leraren Opleiding, UvA
Technische Universitaire Leraren Opleiding, TUE
J. Terwel
Instituut voor de Leraren Opleiding, UvA
Afdeling Onderwijspedagogiek, VUA

Summary

This paper attempts to give a practicable overview of strategies for conceptual change and the fighting of misconceptions, as a basis for teachers to develop their own educational practice. Four such strategies are described and discussed in an epilogue adding a framework to guide the development of these educational practices. It is suggested that a general framework for understanding conceptual change comprises at least four aspects: the ontological aspect, the epistemological aspect, the social/affective aspect and the information processing aspect. Moreover, it is argued that co-construction and enculturation form a useful perspective from which these aspects come together to produce the outline of conceptual change curricula.

1. Inleiding

Het onderwerp begripsontwikkeling is uitgegroeid tot een van de centrale thema's van de didactiek van de exacte vakken (Lijnse, 1992; Terwel, Vermeulen & Volman, 1997, 1998; Terwel & Volman, 1998). Het ontwikkelen van een goed begrip - d.w.z. volgende de doelstellingen van het onderwijs - neemt een belangrijke plaats in het onderwijs in. In veel gevallen blijkt echter dat de beoogde begripsontwikkeling niet wordt gerealiseerd.

Dat is teleurstellend want begripsvorming bij de exacte vakken is ook in relatie tot vernieuwingen in het voortgezet onderwijs zoals basisvorming en studiehuis van groot belang. Zo heeft Amerikaans onderzoek aangetoond dat een juist begrip van de natuurkunde in het curriculum van het voortgezet onderwijs een belangrijke determinant is van het succes bij tal van studies in het hoger onderwijs (Halloun & Hestenes, 1985a; 1985b). Ook bestaat er een belangrijke relatie tussen de ontwikkeling van begrippen en vaardigheden in het probleemoplossen (Taconis, 1995; Taconis, Ferguson-Hessler & Verkerk, 1997). Een goede begripsvorming is nodig opdat een voor het probleemoplossen adequate kennisbasis ontstaat. Op haar beurt is vaardigheid in het oplossen van problemen weer van belang voor succes in vervolgonderwijs. Anderzijds kan het oplossen van problemen aan de begripsvorming bijdragen.

Een belangrijk gegeven is dat leerlingen bij aanvang van het onderwijs reeds bepaalde denkbeelden over de te behandelen onderwerpen hebben opgebouwd welke het leerproces kunnen bevorderen, maar ook in de weg kunnen staan (preconcepties). Reeds aanwezige kennis is een belangrijke voorspeller voor wat er daarna nog geleerd kan worden (Ausubel, Gagne: zie

Baddeley, 1990). Ook gaandeweg het onderwijs kunnen leerlingen echter onbedoeld onjuiste denkbeelden vormen die een verder succesvol leerproces in de weg kunnen staan. Deze zullen we aanduiden met de term 'misconcepties' (mis in de zin van: niet door het onderwijs beoogd). Pre- en misconcepties zullen we in dit artikel aanduiden met de verzamelnaam: leerlingdenkbeelden (alternative conceptions).

Cruciaal voor het verloop van de onderwijs carrière is de wijze waarop in het onderwijs met pre- en misconcepties wordt omgegaan. Het lijkt ons dan ook van belang als er voor docenten en leraren in opleiding een toepassingsgericht overzicht beschikbaar is van didactische strategieën. Een overzicht dat bovendien een uitgangspunt kan vormen voor het zelf verder ontwikkelen van de lespraktijk en het denken over begripsvorming. Op dit gebied bestaat reeds een imposante bibliografie door Pfundt & Duit (1991). Deze omvat evenwel geen didactische systematisering. Het bekende overzicht van Wandersee, Mintzes & Novak (1994) is primair op onderzoek gericht. Daarin komt overigens wel naar voren dat het onderzoek naar leerlingdenkbeelden zich vooral op catalogiseren heeft gericht. In de jaren negentig wordt er een gebrek aan een systematiserend kader geconstateerd en een behoefte aan meer onderzoek naar onderwijsaanpakken (Lijnse, 1998). Over de didactiek van de begripsvorming is dus nog niet het laatste woord gezegd, en docenten zullen dus voor een belangrijk deel op eigen kompas moeten varen.

De vraagstelling waarop we in dit artikel een - derhalve voorlopig incompleet - antwoord willen geven luidt: *"Hoe kan men in de klassenpraktijk van de bètavakken strategisch omgaan met leerlingdenkbeelden?"*

Het artikel is als volgt opgebouwd. We formuleren eerst een theoretische basis. Dan gaan we in op voorbeelden en bronnen van misconcepties bij bètavakken. Vervolgens presenteren we 4 antwoorden op de hoofdvraag: *hoe kan men in de klassenpraktijk strategisch omgaan met leerlingdenkbeelden?* We besluiten ons artikel met een epiloog waarin we de aangekondigde systematisering van de gegeven voorbeeldaanpakken zullen proberen vorm te geven.

2. Een theoretische basis

Een belangrijk fundament van dit artikel wordt gevormd door de gehanteerde opvatting van wat begrip is, en wat begrippen of concepten zijn. Taconis (1995) komt op grond van een literatuurstudie tot en viertal definities van wat onder een begrip of concept wordt verstaan.

- Klassiek: de inhoud van een begrip ligt volledig vast door haar definitie.
- Relationeel: de inhoud van een begrip wordt gedefinieerd door haar relaties met andere begrippen.
- Observationeel: begrippen zijn primair categorieën waarmee we onze ervaringen kunnen benoemen en ordenen. De inhoud van een begrip ligt volledig vast door aan te geven op welke ervaringen (objecten, gebeurtenissen etc.) het begrip wel en op welke het begrip niet van toepassing is.
- Functioneel: Begrippen zijn primair categorieën waarmee we onze ervaringen als handelend wezen in relatie met de werkelijkheid om ons heen kunnen benoemen. De inhoud van een begrip ligt volledig vast door aan te geven op welke ervaringen (objecten, gebeurtenissen etc.) het begrip

wel en op welke het begrip niet van toepassing is, en door aan te geven welke (denk-) handelingen met het begrip kunnen worden uitgevoerd.

Daarnaast is het van belang om op te merken dat begrippen altijd zijn ingebed in een complex geheel dat met de term wereldbeeld zou kunnen worden aangeduid. Zo'n wereldbeeld bestaat uit een geheel van kennis van gebeurtenissen, veronderstellingen, waarnemingen, begrippen, procedures, werkmethodes, waarden en overtuigingen. (Gowin, 1987; Vosniadou, 1994). Binnen dit complex bestaat een structuur: een epistemologische structuur. In een wetenschappelijk wereldbeeld ligt deze vast in een wetenschappelijke epistemologie. De structuur in de denkwereld van de leerlingen kan daarvan afwijken. Behalve dat leerlingen niet-wetenschappelijke opvattingen over de inhoud van het betreffende bètavak kunnen hebben (de pre- en misconcepties), kunnen zij ook meer algemene overtuigingen of opvattingen hebben over hoe de werkelijkheid in elkaar zit (ontologie), en over hoe de kennis in het vakgebied is gestructureerd en wordt verworven (epistemologie). Ook deze kunnen een geslaagde begripsvorming in de weg staan. Enige voorbeelden kunnen hier verhelderend werken.

Soms hebben leerlingdenkbeelden een levensbeschouwelijke achtergrond, bijvoorbeeld als een leerling zegt: "...ik kan niet geloven dat de mens uit de zee is gekropen enkele miljoenen jaren geleden." (Janssen & Voogt, 1997). In de biologieles wordt duidelijk dat leerlingen vaak al denkbeelden hebben over het ontstaan van de aarde en de mens voordat ze er onderwijs in gehad hebben. Bijvoorbeeld: een blank meisje dat in Afrika opgroeit, trouwt met een blanke man. Zij krijgen samen een kind. Een leerling denkt dat dit kind ietsje donkerder zal zijn dan de ouders.

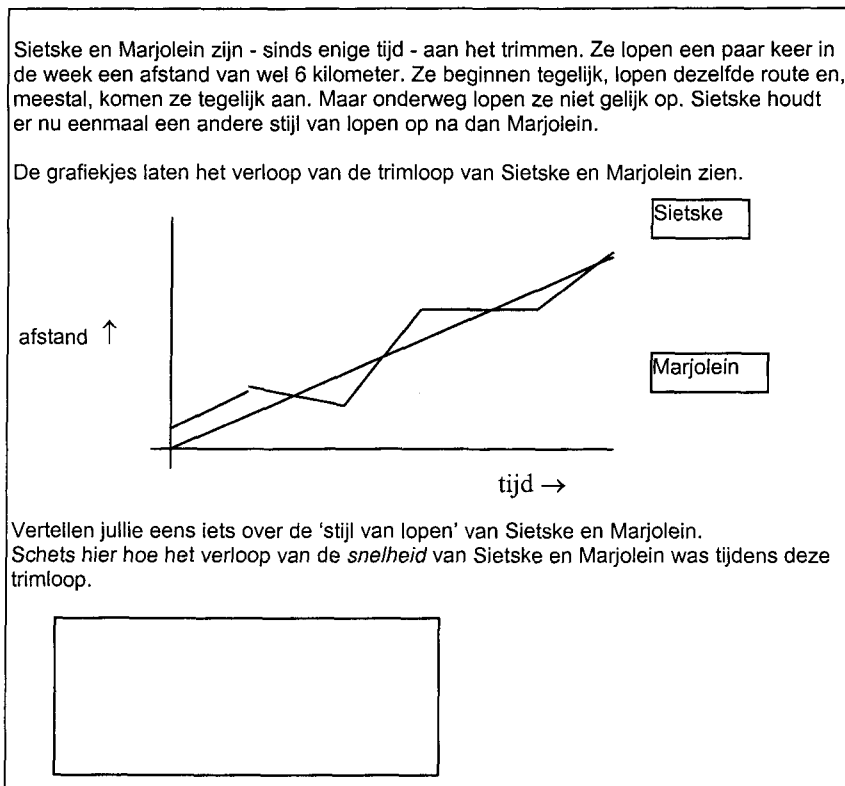
Een ander voorbeeld van een opvatting over de wereld die een geslaagde begripsvorming in de weg kan staan is samen te vatten met de kreet 'niets voor niets'. De misconceptie dat in een geworpen bal kracht ligt opgeslagen (o.a. beschreven in Van Genderen, 1989) kan in deze (ontologische) opvatting verankerd zijn.

Een derde voorbeeld betreft de situatie waarin de natuurkundeleraar beweert dat de temperatuur van kokend (thee)water constant is, of dat de netto kracht op een constant rijdende auto nul is. Veel leerlingen zijn dan erg verbaasd. Deze stellingen komen niet overeen met intuïtieve verwachtingen op grond van hun reeds gevormde denkbeelden en overtuigingen. Zo'n overtuiging kan in dit geval zijn dat ertussen de grootte van oorzaak en gevolg een evenredigheid moet bestaan (kleine oorzaken leiden tot kleine gevolgen, grote oorzaken tot grote gevolgen; vgl. Andersson, 1986). Toegepast op het verwarmen van water zou dit impliceren dat hoe meer gas / grotere vlam (oorzaak) hoe hoger de temperatuur (gevolg).

Een vierde voorbeeld betreft een (epistemologische) opvatting over het vak wiskunde die is te verwoorden als 'wiskunde is voortgezette rekenkunde'. Een leerling die dat standpunt huldigt zal (meer) moeite hebben met een begrip als functie. Hier wordt immers helemaal niet gerekend, maar wordt volstaan met het specificeren van een relatie tussen variabelen die in een grafiek kan worden weergegeven.

Gevolgen van het (nog) ontbreken van een dergelijk concept 'functie' in de betekenis van "een grafisch te representeren relatie tussen variabelen" kan bij verschillende vakken worden opgemerkt bij de interpretatie van gra-

fieken. Als leerlingen bij wiskunde een afstand-tijd-grafiek moeten interpreteren, bijvoorbeeld van hun fietstocht van huis naar school of een grafiek van een hardloophwedstrijd, dan spelen hun persoonlijke ervaringen soms een 'storende' rol. De grafiek wordt dan gezien als een weergave van de heuvels en dalen op de weg of als een weg met bochten. Een voorbeeld (Figuur 1) uit het onderzoeksproject "Interne Differentiatie Wiskunde-onderwijs 12-16" mag dit verduidelijken (Dekker, Herfs, Terwel & van der Ploeg, 1985).



Figuur 1: Opgave en Grafiek hardloop wedstrijd Sietske en Marjolein

Rik zegt: "Sietske loopt aan één stuk door zonder rust en Marjolein loopt onregelmatig, dus dan weer hard en dan weer zacht". "O, ja?", zegt José, "waarvoor maakt ze die malle bochten dan?". Dit verschil van inzicht blijft bestaan en er ontstaat een 'socio-cognitief conflict' dat ook nog escaleert tot een ruzie waarbij Rik zegt "Jij begrijpt er geen reet van, jongen", en José terug mept: "Dat slaat nergens op dikkerd." (Dekker, Herfs, Terwel & Van der Ploeg, 1985).

3. Bronnen van leerlingendenkbeelden

Zoals gezegd ontstaan misconcepties door toedoen van het onderwijs zelf. Leerlingen kunnen tot een verkeerde interpretatie komen van wat de docent

zegt of van wat in het boek staat en zo misconcepties vormen. Bijvoorbeeld omdat die boodschap in conflict is met diep liggende overtuigingen van de leerlingen, of omdat we de leerlingen een specifieke wetenschappelijke theorie proberen aan te praten over een onderwerp waarover ze al een intuïtieve theorie hebben die daarmee conflicteert. De leerlingen hebben dan de neiging de aangeboden informatie te negeren, te bestrijden of te integreren in hun globale idee wat tot ongewenste kennisconstructies kan leiden (Chinn & Brewer 1993; Vosniadou, 1994).

Overigens is het hier goed om te benadrukken dat in nagenoeg alle gevallen dat mensen iets leren, pre- en misconcepties kunnen worden aangetroffen. Ook vergevorderde leerlingen en experts zullen misconcepties kunnen vormen als zij een nieuw terrein betreden. Een belangrijk verschil is evenwel dat de meer gevorderde meestal over een meer adequate epistemologische opvatting beschikt, en meer vaardigheden heeft om het eigen leerresultaat te toetsen en eventuele misconcepties op te sporen en onschadelijk te maken.

Een aantal bronnen van leerlingdenkbeelden zijn nader te lokaliseren. Ten eerste kunnen zintuiglijke waarnemingen en fysieke sensaties van leerlingen een rol spelen bij de vorming van preconcepten. "Je ziet gewoon dat een voorwerp waar geen kracht op werkt steeds langzamer gaat", of: "Op de kermis voel je de 'middelpunt-vliedende kracht'. Het begrip 'vervuiling' is in de aanvankelijke visie van leerlingen vaak beperkt tot fenomenen als 'troebel water' en 'rookwolken'.

Andere bronnen zijn het alledaagse taalgebruik en de sociale omgeving. In dagelijkse gesprekken of de krant komen allerlei fragmenten van wetenschappelijke inzichten naar voren. Vaak zijn dat onnauwkeurige of verbasterde weergaven zoals 'De aarde draait om de zon', 'De zon komt op in het oosten', of 'Straling is gevaarlijk' (Klaassen, Eijkelhof, Lijnse, & Scholte, 1988).

Ook komt het voor dat natuurkundigen termen gebruiken om een bepaald vakbegrip aan te duiden, die voor de leerlingen al een andere - aan de omgangstaal ontleende betekenis - hebben. Voorbeelden daarvan zijn de begrippen 'kracht' (bijvoorbeeld in 'waterkrachtcentrale'), 'warmte' (door de leerlingen veelal opgevat als een aangenaam gevoel dat vooral met temperatuur van doen heeft), 'energie', 'gewicht', 'straling', 'lading', 'model', 'zien', 'beeld', 'lichtstraal', etc.

Een derde -meer psychologische - bron wordt aangeduid door Carey (1986) en anderen (Chi, Slotta, & de Leeuw, 1994). Zij constateren dat veel leerlingdenkbeelden er op neer lijken te komen dat (natuurkundige) vakbegrippen als materieel van aard worden gezien. Zo wordt het natuurkundige begrip 'kracht' dat een wisselwerking beschrijft, voorgesteld als krachtmannetjes (Hellingman, 1987; Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992), terwijl 'energie' als brandstof wordt gezien welke net als bijvoorbeeld benzine, bij omzettingsprocessen verloren gaat (Driver, Guesne & Tiberghien, 1985).

4. Hoe kunnen we een geslaagde begripsvorming bevorderen?

We zullen nu kort vier door ons in de literatuur gevonden aanpakken beschrijven die aangeven hoe met leerlingdenkbeelden kan worden omgegaan.

4.1. Cognitief conflict

Het creëren van een cognitief conflict om leerlingen contradicties te laten ervaren is een klassieke aanpak van misconcepties die teruggaat op Piaget (vgl. Terwel, 1994). Een duidelijke verwoording van deze aanpak vinden we bij Posner, Strike, Hewson en Gertzog (1982). Als leerlingen geconfronteerd worden met nieuwe verschijnselen zullen die in het algemeen proberen deze nieuwe verschijnselen op basis van hun bestaande cognitieve structuur te verklaren (assimileren: het opnemen van een nieuw concept in een bestaande cognitieve structuur zonder deze bestaande cognitieve structuur wezenlijk te veranderen). In een aantal gevallen zal echter blijken dat de nieuwe informatie niet ingepast kan worden in de bestaande cognitieve structuur. Assimilatie is dan niet voldoende om tot een juist begrip te komen. Er is dan een fundamentele aanpassing van de bestaande cognitieve structuur nodig (accommodatie: het opnemen van een nieuw concept door vervanging of herschikking van de bestaande cognitieve structuur). Het creëren van een cognitief conflict door leerlingen contradicties te laten ervaren kan een belangrijke stap zijn in het proces van begripsvorming. Door een verstoring van het evenwicht wordt een behoefte aan verandering opgewekt.

Maar ook als leerlingen zich bewust geworden zijn van contradicties, kan accommodatie een moeilijke en ingrijpende stap zijn. Er zijn indicaties uit de literatuur dat misconcepties optreden doordat nieuwe informatie ten onrechte in de bestaande cognitieve structuur - bijvoorbeeld een preconceptie - wordt geassimileerd (Vosniadou, 1994; Chi, 1991). Anders gezegd: misconcepties ontstaan doordat accommodatie uitblijft waar het wel nodig zou zijn. Posner *et al.* (1982) stellen zich daarom de vraag: "Onder welke omstandigheden zal bij het leren van een nieuw begrip accommodatie optreden?" Posner *et al.* stellen dat pas accommodatie op zal treden als de leerling verschijnselen heeft leren kennen die niet op basis van zijn cognitieve structuur verklaard kunnen worden. Immers, pas dan zal er voldoende ontevredenheid over de bestaande verklaring optreden en is er aanleiding tot accommodatie. Volgens hun theorie zal daartoe aan een viertal voorwaarden moeten worden voldaan:

- er zal ontevredenheid moeten zijn over de bestaande verklaring voor een nieuw verschijnsel,
- de nieuwe verklaring zal voor de leerling te begrijpen moeten zijn,
- de nieuwe verklaring zal voor de leerling logisch moeten zijn,
- de nieuwe verklaring zal in staat moeten zijn het bestaande probleem te verklaren en de potentie moeten hebben toekomstige problemen te verklaren (het moet niet over komen als een kunstgreep).

Chinn & Brewer (1993) hebben onderzoek gedaan naar de wijze waarop leerlingen omgaan met gegevens of observaties die met hun denkbeelden conflicteren en komen op grond daarvan tot de volgende lijst van factoren die de reactie van de leerlingen en het al dan niet optreden van een rigoureuze bijstelling van de leerlingdenkenbeelden beïnvloeden:

- Kenmerken van het leerlingdenkbeeld:
 - de mate waarin dit is verankerd in een groter geheel van denkbeelden
- Kenmerken van de aan te leren theorie
 - de beschikbaarheid (van een plausibele theorie als alternatief van het leerlingdenkbeeld)

- de kwaliteit (van een plausibele theorie als alternatief van het leerlingdenkbeeld)
- Kenmerken van de conflicterende gegevens of observaties
 - betrouwbaarheid
 - ondubbelzinnigheid
 - de hoeveelheid onafhankelijke conflicterende gegevens of observaties
- Verwerkingsstrategieën
 - de mate waarin diepe cognitieve verwerking optreedt

Volgens deze theorie kunnen misconcepties dus worden bestreden door een aantal tegenvoorbeelden te geven: het creëren van een cognitief conflict. Dan zal er ontevredenheid ontstaan over de bestaande theorie en wordt de weg vrijgemaakt voor nieuwe concepten. Voorbeelden van meer praktische uitwerkingen van een dergelijke conflict-gerichte werkwijze worden gegeven door Ali (1990) en Biemans (1997).

Tegen de benadering van Posner *et al.* kan worden ingebracht dat ze er eigenlijk van uit gaan dat de keuze tussen assimilatie en accommodatie in wezen een bewuste rationele keuze is. De gesuggereerde onderwijsaanpak 'cognitief conflict' leunt dan ook zwaar op het vermogen om de leerlingen met rationele argumenten te overtuigen. Of dit uitgangspunt overeenkomt met de psychologische werkelijkheid kan worden betwijfeld. Men kan zich voorstellen dat een mens pas tot accommodatie komt als een gezaghebbend of bemind persoon een conflicterende gedachte uitdraagt (Pintrich, Marx & Boyle, 1993). Zolang een begrip, een visie, een gewoonte, voor een persoon voordeel oplevert zal hij geneigd zijn hieraan vast te houden, vaak zelfs tegen redelijke argumenten in. Zo zal een verstokte roker bij het lezen van een artikel over de relatie tussen roken en longkanker proberen het evenwicht te bewaren door te wijzen op zijn grootvader die als straffe roker de respectabele leeftijd van 96 jaar bereikte. Er zijn dus naast rationele aspecten ook emotionele en sociale kanten aan het proces van begripsvorming verbonden. Het onderwijs in de exacte vakken zou zich dan ook moeten richten op de ontwikkeling van bredere disposities (vgl. het concept 'inclusief leren', Terwel, Vermeulen en Volman, 1998).

In ieder geval heeft internationaal empirisch onderzoek laten zien dat onderwijs dat op een 'puur' cognitieve benadering is gebaseerd maar matig effectief is omdat affectieve, sociale en culturele factoren buiten het gezichtsveld blijven (McLeod, 1992). Ook leidt het introduceren van een cognitief conflict soms tot sociale spanningen en kunnen er 'echte conflicten' uit voortkomen (zie bijvoorbeeld het eerder genoemde voorbeeld van de interpretatie van een grafiek). Leerlingen laten zich soms niet door rationele argumenten overtuigen. Licht (1988) heeft bijvoorbeeld laten zien dat empirisch bewijsmateriaal voor leerlingen vaak niet overtuigend is. Geconfronteerd met de gelijke stand van stroommeters voor en na een lampje, verzinnen ze allerlei 'uitvluchten' om hun opvatting 'een lampje verbruikt stroom', te kunnen handhaven. Ze deinzen er bijvoorbeeld niet voor terug om te verklaren dat de meters onvoldoende nauwkeurig zijn. Voor de docent zijn dit type van ad hoc argumenten nauwelijks te weerleggen zodat er dan geen begripsverandering wordt bereikt¹.

4.2. Analogieën

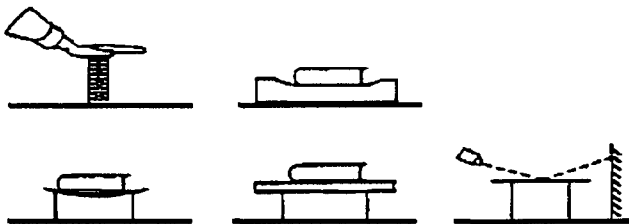
Zoals we in de vorige paragraaf hebben gezien, kunnen volgens Posner *et al.* misconcepties worden bestreden door accommodatie te stimuleren via het creëren van een cognitief conflict. De cognitieve structuur - bijvoorbeeld preconceptie - waarbinnen de nieuwe informatie ten onrechte door de leerling werd geassimileerd, wordt genegeerd.

Het is echter ook mogelijk om bestaande denkbeelden een constructieve rol te geven, bijvoorbeeld door het gebruik van analogieën. Aan het gebruik van analogieën is door verschillende auteurs gewerkt (o.a. Clement, 1993; Stockmayer & Treagust, 1993). Anderen hebben de effecten van het gebruik van analogieën verder in kaart gebracht. Dragher (1994) constateert dat de effecten van het gebruik van analogieën op radicale conceptual change beperkt zijn. Desalniettemin draagt het gebruik van analogieën volgens deze auteur wezenlijk bij aan de begripsvorming, maar door het tot stand brengen van minder verstrekkende vormen van conceptuele ontwikkeling.

Een voorbeeld van het gebruik van analogieën is beschreven door Clement (1993). In plaats het uitlokken van accommodatie via een cognitief conflict, probeert deze een geleidelijk ombuigingsproces in gang te zetten, dat tot het gewenste begrip leidt en niet tot een misconceptie.

Door een reeks van onderling verwante voorbeelden - de zogenaamde 'Bridging analogies' - wordt een brug geslagen tussen een reeds aanwezige cognitieve structuur die als ankerpunt is gekozen en de nieuwe leerstof. Door een hele reeks van kleine stapjes wordt tenslotte een aanpassing van de cognitieve structuur bereikt. Essentieel daarvoor is overigens wel de geschiktheid van het gekozen ankerpunt.

Figuur 2 is een schematische weergave van hoe men vanuit het ankerpunt (hand op veer, veer oefent kracht op hand uit) tot het nieuw te verwerven inzicht komt (boek op tafel, tafel oefent kracht op boek uit).



Figuur 2: Begrippen-diagram voor statische normaal kracht (ontleend aan Clement, 1993).

Als ankerpunt dient hier de bij de leerlingen bekende praktijkervaring dat een veer een tegenwerkende kracht uitoefent als men deze probeert in te drukken. Het doel van de serie analogieën is de leerlingen te laten onderkennen dat een tafel een kracht uitoefent op het boek dat erop rust. Om deze overgang te bewerkstelligen wordt gebruik gemaakt van twee tussenliggende analogieën de zogenaamde 'bridging cases', in dit geval het boek op schuimrubber en het boek op een doorbuigende tafel.

Een tweede voorbeeld van een 'bridging analogies- aanpak' ligt op het gebied van waterkracht en elektriciteit. Een leraar neemt zijn leerlingen mee naar een snel stromend riviertje met een waterval. Zij voelen met hun handen de kracht van het vallende water. De leraar zegt: "Hier kun je gebruik van maken bijvoorbeeld zoals bij oude watermolens (korenmolens en oliemolens) in de rivier de Berkel bij het malen van graan tot meel of het pletten van zaad tot olie. Tegenwoordig maakt met gebruik van waterkracht bij het opwekken van elektriciteit. In de Maas bij Linne heeft men een turbine in de stuw gebouwd. Zo'n turbine lijkt op een dynamo zoals op jouw fiets. Bij een dynamo ben jij het die de kracht levert om het voorwiel te laten draaien die op zijn beurt de dynamo in gang zet waardoor het lampje gaat branden. Bij de turbines in de Maas wordt de 'dynamo' in beweging gebracht door de kracht van de stroom in de rivier en het vallende water". Vervolgens demonstreert de leraar aan een fiets hoe het voorwiel de dynamo aandrijft en het voor- en achterlicht gaan branden. Dan neemt de leraar een demonstratiemodel van een fietswiel waaraan schoepen zijn bevestigd in een groot formaat voorvork waarop een dynamo en een lamp zijn gemonteerd. Hij laat het schoepenrad in de waterval zakken waardoor het wiel gaat draaien, de dynamo in beweging wordt gezet en de lamp gaat branden. Zo slaat hij 'bruggen' van eenvoudige en reeds geaccepteerde, naar meer complexe - nog vreemde - voorbeelden. Deze gang van zaken sluit aan bij wat Dewey noemt het principe van 're-invention' waarbij de leerling onder begeleiding de geschiedenis van - in dit geval - het gebruik van waterkracht recapituleert.

Volgens Clement kan het principe van de 'bridging analogies' niet alleen worden ingezet om het ontwikkelen van nieuwe misconcepties tegen te gaan, maar ook worden gebruikt om bestaande misconcepties aan te pakken. Door middel van 'bridging analogies' is het volgens Clement mogelijk om de leerling er toe te brengen misconcepties op te geven. Daarbij moet de docent zich realiseren dat de kennis bij leerlingen in kleine pakketten is georganiseerd, in tegenstelling tot de geïntegreerde organisatie die een expert (w.o. de docent) heeft. Mede daardoor is het voor leerlingen mogelijk twee of meer onderling tegenstrijdige concepties van een vakbegrip te hebben die naast elkaar functioneren. De ene conceptie van een vakbegrip wordt geactiveerd in een bepaalde context terwijl in een andere context een andere conceptie van datzelfde vakbegrip wordt gebruikt. Bijvoorbeeld: in de ene context wordt geredeneerd dat een positief geladen deeltje naar een negatief geladen plaat toe beweegt omdat het daardoor zijn energie kan kwijtraken, terwijl bij het doen van een berekening aan elastisch botsende deeltjes wordt geargumenteed dat energie altijd behouden blijft. Door nu aan een voorbeeld een reeks van 'bridging analogies' te laten voorafgaan worden beide contexten en daarmee beide begripsvarianten geactiveerd waardoor bij de leerlingen een cognitief conflict kan optreden. Van daaruit kan door de docent in de richting van de fysisch correcte conceptie worden gestuurd. Strikt genomen gaat het bij deze toepassing van 'bridging analogies' niet meer om een zuivere toepassing van analogieën, maar om een combinatie met een aanpak via cognitief conflict.

Concluderend kan worden gesteld dat Clement ervan uit gaat dat van de bestaande cognitieve structuur die als ankerpunt wordt gekozen, een nieuwe wordt afgesplitst. Bij het kiezen van de cognitieve structuur die als ankerpunt moet gaan fungeren, legt Clement alleen pragmatische criteria aan. Toch zou

vanuit theoretisch oogpunt bijvoorbeeld kunnen worden verondersteld dat dit 'afsplitsen' het beste verloopt als een algemene cognitieve structuur als ankerpunt wordt gekozen waarvan de te ontwikkelen cognitieve structuur een specifiek geval is. Hiermee zijn we bij een volgende aanpak beland.

4.3. Aanbieden van een overkoepelend model

Een enigszins aan de benadering van Clement verwante aanpak wordt gepropageerd door Chi van de Universiteit van Pittsburgh, USA (Chi, 1991; Chi, Slotta & De Leeuw, 1994). Ook zij wil van reeds bestaande cognitieve structuren gebruik maken om een goede begripsvorming te bewerkstelligen. Chi veronderstelt een hiërarchische organisatie van de kennis. Hierin spelen zogenaamde 'ontologische categorieën' een centrale rol. Ontologie is de leer van het zijn. Deze ontologische categorieën geven zeer diep verankerde ideeën over de fundamentele eigenschappen van de werkelijkheid weer. Als voorbeelden van ontologische categorieën noemen Chi *et al.* 'materiële objecten', 'processen' en 'mentale toestanden'. Definiërend kenmerk van een ontologische categorie is dat zaken die binnen één ontologische categorie vallen, de eigenschappen die bij een andere ontologische categorie horen niet kunnen hebben. Bijvoorbeeld: Materiële objecten hebben een kleur, maar kunnen geen tijdsduur hebben. Omgekeerd hebben processen een tijdsduur, maar kunnen ze geen kleur hebben.

Veel misconcepties ontstaan volgens Chi *et al.* doordat nieuwe begrippen op een onjuiste wijze in de tot dan toe bestaande hiërarchie worden ingepast: ze komen in een verkeerde ontologische categorie terecht. Voorbeelden hiervan hebben we hierboven eigenlijk al gezien voor de begrippen kracht en energie. Door aan het begin van het onderwijs een daartoe geschikt algemeen intuïtief model 'klaar te zetten' worden leerlingen er toe gebracht de aangeboden informatie in het licht van dit geschikte intuïtieve model te interpreteren. Daardoor komt het nieuwe begrip dan in de juiste ontologische categorie terecht. Zo wordt voorkomen dat de leerlingen de aangeboden kennis interpreteren binnen een ongeschikt intuïtief model, en dat de nieuwe begrippen in een verkeerde ontologische categorie worden ondergebracht.

Als voorbeeld een schets van een les over elektriciteit en energie. De les wordt begonnen door te praten over stroming. Dit gebeurt aan de hand van *verscheidene* voorbeelden, zoals stroming van water in een rivier, en stroming van het bloed dat voedingsstoffen aflevert in de cellen, of de opslag van water in een stuwmeer. Pas wanneer de cognitieve structuur m.b.t. het algemene begrip 'stroming' voldoende naar voren is gekomen, komt elektrische stroom ter sprake. Op deze wijze kan de specifieke natuurkundige cognitieve structuur over elektrische stroom worden afgeleid uit deze algemene cognitieve structuur door deze te specificeren. De algemene concepten die binnen het algemene stromingsmodel worden gebruikt (bijvoorbeeld 'opslag'), krijgen bij de begripsvorming rond de begrippen *elektrische stroom* en *energie*, opnieuw een specifieke betekenis en mogelijk een bijbehorende vakterm. Anders dan bij Clement gaat het dus niet om een analogie tussen gelijkwaardig veronderstelde cognitieve structuren, maar om het afleiden van een specifieke cognitieve structuur uit een meer algemene.

Een belangrijke component van de door Chi bepleitte aanpak is het activeren van reeds bestaande cognitieve structuren. Onder andere Schmidt (1982) en Ali (1990) geven hiervoor aanwijzingen.

4.4. Begripsontwikkeling vanuit gemeenschappelijk inzichten: een constructivistische didactiek

Een voorbeeld van begripsvorming vanuit gemeenschappelijke inzichten is de 'Probleem Stellende Aanpak' die is ontwikkeld door Klaassen (1994; 1995) en later Vollebregt (1998). Het gaat volgens Klaassen om " het ontwikkelen van een constructivistische didactiek" welke voor het onderwerp radioactiviteit is uitgewerkt. Vollebregt (1998) werkte een probleemstellende aanpak uit voor onderwijs betreffende het deeltjesmodel in de natuurkunde. Hier vindt de begripsontwikkeling plaats op basis van inzichten die gemeenschappelijk zijn voor de lerende en het vak. Vollebregt (p.193) stelt als uitgangspunt van de probleemstellende aanpak: "dat de leerlingen gedurende het gehele onderwijsleerproces moeten kunnen zien wat de zin is van hetgeen zij aan het doen zijn".

Het voert te ver om een of meer uitwerkingen van deze aanpak in detail te beschrijven (zie Vollebregt p. 160 voor een schematisch overzicht), maar we kunnen wel een impressie geven van het verloop van deze onderwijsaanpak. De leerlingen worden aan het werk gezet met een werkvraag. Daarbij kan de leerling tot interpretaties komen die als misconceptie kunnen worden beschouwd. In dat geval zal de docent samen met zijn leerlingen een stapje terug doen om de gemeenschappelijk gedeelde uitgangspunten te achterhalen. Gezamenlijk gaan de docent en de leerlingen op zoek naar hun gemeenschappelijke waarheid. Zo zullen docent en leerlingen tot gemeenschappelijk aanvaarde "stellingen" over de betreffende situatie komen. Uitgaande van deze gemeenschappelijk aanvaarde "stellingen" probeert de docent de leerlingen via gerichte vraagstelling tot het formuleren van generalisaties aan te zetten. Hierbij wordt door de leerlingen in groepjes gewerkt, zodat er een discussie ontstaat die voortduurt totdat men het eens is over een generalisatie. Als eenmaal een reeks van deze generalisaties is gemaakt, kan men een stap verder gaan door te zoeken naar een meer kwantitatief niveau van probleembeschrijving en tenslotte tot een fysische theorie.

Ook bij deze aanpak worden eventuele misconcepties dus langzaam omgevormd. Daarbij is essentieel dat de betrokkenen zich bewust met andermans mening bezig houden en proberen elkaar van hun gelijk te overtuigen. Hoewel Klaassen zijn aanpak onderbouwt vanuit de taal filosofie, kunnen we er toch een aantal elementen in ontdekken die ook in de benadering van Chi *et al.* aanwezig zijn. Zo lijkt de functie van 'de gemeenschappelijke aanvaarde stellingen' bij Klaassen van waaruit gegeneraliseerd wordt, overeen te komen met het bij Chi *et al.* door de docent aangedragen 'intuïtieve model' van waaruit in de aanpak van Chi *et al.* de te leren begrippen en modellen worden opgebouwd. Wel vallen daarbij twee belangrijke verschillen op. Ten eerste speelt in de benadering van Klaassen de gemeenschappelijkheid tussen docent en leerlingen een essentiële rol, en in mindere mate ook die tussen leerlingen. Leren is volgens Klaassen kennelijk een in wezen sociaal proces, terwijl de aanpak van Chi *et al.* lijkt te suggereren dat de auteurs leren als een in eerste instantie individueel proces zien. Ten tweede komen de 'gemeenschappelijke aanvaarde stellingen' bij Klaassen pas tot stand nadat de leerlingen met de werктаak zijn geconfronteerd. In overeenstemming met zijn constructivistisch uitgangspunt acht Klaassen het 'very urgent' om niet te beginnen met algemene principes en modellen, maar uit te gaan

van de leefwereld van leerlingen. Daarentegen wordt bij Chi *et al.* het algemene cognitieve model helemaal aan het begin gepresenteerd.

Epiloog

We hebben een aantal mogelijke aanpakken bij het omgaan met leerlingendenkbeelden in de bètavakken kort beschreven. Zoals aangekondigd was dit een incompleet en voorlopig overzicht. Een aantal onderwijsaanpakken en technieken zijn hierbij nog buiten beschouwing gelaten. Bijvoorbeeld de zogenaamde niveau-theorieën zoals die van Van Hiele - die met name in de wiskundendidactiek bekendheid geniet, en van Ten Voorde (Lagerwerf & Kort-hagen, 1993). Ook is niet ingegaan op het gebruik van de zogenaamde concept-maps (bijvoorbeeld Roth & Roychoudhury, 1993; White & Gunstone, 1992) waarmee de door de leerlingen beleeden denkbeelden zichtbaar en bespreekbaar kunnen worden gemaakt. Een andere beperking van het overzicht is dat we de verschillende bètavakken op één hoop hebben geveegd.

Terugkijkend op de door ons beschreven aanpakken dient de vraag zich aan of en op welke wijze deze in een systematiserend kader zijn te plaatsen. Treagust, Tyson, Harrison en Venville (1996) stellen een kader voor teneinde begripsverandering (conceptual change) te begrijpen. Zij onderscheiden 3 aspecten welke in ieder geval aandacht zouden moeten krijgen:

1. *Het epistemologische aspect:* Begripsverandering heeft te maken met iemands opvattingen van wat goede wetenschappelijke kennis is (bijvoorbeeld: als een leerling de in de bèta-wetenschappen gehuldigde epistemologische opvatting dat binnen een theorie geen tegenstrijdigheden mogen voorkomen niet deelt, dat is deze leerling niet gevoelig voor dergelijke argumenten van de docent).
2. *Het ontologische aspect:* Begripsverandering kan een ingrijpende verandering van diepverankerde ideeën over de fundamentele eigenschappen van de wereld met zich mee brengen of vereisen (bijvoorbeeld: Een leerling die overtuigd is dat het scheppingsverhaal feitelijk waar is, komt in de problemen bij de behandeling van het begrip evolutie).
3. *Het sociale/affectieve aspect:* Begripsverandering wordt beïnvloed door, en kan van invloed zijn op de sociale relaties met anderen. Leren kan worden gezien als een proces van co-constructie waarbij leerlingen en leraren samen kennis opbouwen in een 'community of learners'. In het leerproces spelen sociale en affectieve factoren als status, angst, zelfvertrouwen, frustratie, voldoening en zelfs esthetische gevoelens een belangrijke rol (Bijvoorbeeld: de docent wordt misschien wel boos als ik zeg dat ik niet kan geloven wat hij zegt, of: de andere leerlingen vinden mij misschien dom als ik mijn standpunt blijf verdedigen; of: als Marije iets zegt hoef ik niet eens te luisteren want die zegt toch alleen maar stomme dingen).

We kunnen de door ons beschreven voorbeeldaanpakken tegen dit kader afzetten. In onze beschrijving van de eerste aanpak volgens het cognitieve conflict hebben we reeds aangegeven dat deze cognitieve benadering niet altijd effectief is (McLeod, 1992). Zo ligt in de benadering van het cognitief conflict volgens Posner *et al.* (1982) een zwaar accent op het cognitieve en epistemologische aspect met voorbijgaan aan sociale en affectieve aspecten.

Ontologische aspecten krijgen in de benadering van Chi *et al.* (Chi, 1991; Chi, Slotta & De Leeuw, 1994) een zwaar accent, terwijl ook hier sociale en affectieve aspecten nauwelijks aandacht krijgen.

In de beschreven benadering met analogieën volgens Clement (1993) lijkt weinig expliciete aandacht te worden gegeven aan ontologische of epistemologische aspecten. Ook het gegeven dat de leerlingendenkbeelden veelal deel uitmaken van een meeromvattend wereldbeeld krijgt weinig aandacht. Overigens is het idee van 'bridging analogies' wel verenigbaar met aandacht voor de meer omvattende 'beliefs' van leerlingen.

In de 'constructivistische' benadering van Klaassen (1994) is daarvoor juist weer wel veel aandacht. Klaassen wil achterhalen wat een leerling gelooft, wil, van plan is, bedoelt met zijn of haar woorden, wat zijn of haar redenen zijn om te doen wat hij of zij doet. Binnen Klaassen's 'constructivistische didactiek' is in beginsel ook ruimte voor de sociale en affectieve aspecten van het leerproces. Hij wil leerlingen en leraren met elkaar laten spreken over eigen ervaringen en overtuigingen. Klaassen wil leerlingen in een zodanige positie brengen dat zij zelf op inhoudelijke gronden hun bestaande kennis willen uitbreiden in een richting die uiteindelijk leidt tot inzichtelijke, natuurwetenschappelijke kennis. Hij hecht daarbij grote waarde aan sociale interactie en verbale communicatie tussen leerlingen onderling en tussen leraar en leerlingen. De cognitieve en sociale strategieën die in dit proces een rol zouden moeten spelen (Chinn & Brewer, 1993) komen echter nauwelijks in beeld.

Dit geheel overziend komen we tot de conclusie dat het nuttig is om het aspect 'leerpsychologische' aan het lijstje van Treagust *et al.* toe te voegen. Dit zou aansluiten bij het optreden van 'diepe verwerking' als factor die het optreden van conceptual change zou beïnvloeden in het lijstje van Chinn en Brewer (1993). Wanneer we daartoe overgaan en de overige aanpakken toetsen aan het criterium van expliciete aandacht voor het leerpsychologische aspect, dan blijkt dat de door ons beschreven onderwijsaanpakken hieraan eigenlijk nauwelijks aandacht besteden. Wel is er in sommige aandacht voor metacognitie met betrekking tot de epistemologie van het vak en door het aansnijden van ontologische discussies, maar er lijkt geen sprake van leren leren: de versterking van het eigen leervermogen van de leerlingen door het verwerven van sociale en cognitieve strategieën (vgl. Hieltes & Simons, 1996; Hoek, Terwel & van den Eeden, 1997). Als het onderscheidende kenmerk tussen de leerlingen en experts het vermogen is dat de eerste hun pre- en misconcepties niet kunnen herkennen en repareren, terwijl de experts dat wel kunnen, dan ligt misschien juist hierin een sleutel om nog effectiever om te gaan met leerlingdenkenbeelden (Biemans, 1997; Van der Sanden, 1997). Aansluitend bij de ideeën om in het onderwijs meer aandacht te besteden aan het 'leren leren', zouden we onze leerlingen dan vooral vaardigheden moeten laten verwerven waarmee zij in staat worden gesteld zelf hun eigen pre- en misconcepties te detecteren en te repareren². Dat zou misschien kunnen door een training in vaardigheden voor het samen oplossen van problemen (Hoek, Terwel & van den Eeden, 1997) en door meer specifieke reflectie-technieken als 'concept mapping' en 'Vee-diagrammen' (Gowin, 1987).

Vanuit het oogpunt van het ontwerpen en geven van onderwijs is een mogelijk nadeel van het door Treagust *et al.* gegeven kader, dat dit wel een opsomming van relevante aspecten geeft, maar nog geen invulling daarvan en samenhang daartussen aangeeft. Een dergelijke samenhang (een van de mogelijke) kan voortkomen uit de gedachte dat onderwijs kan worden opgevat als een proces van co-constructie en enculturatie.

5. Co-constructie

In traditioneel onderwijs is het optreden van misconcepties bij leerlingen een groot probleem omdat deze in frontaal-klassikaal onderwijs moeilijk kunnen worden opgespoord, laat staan bijgesteld. Traditioneel zoekt men de oplossing in het remediëren of uitschakelen van 'misconcepties'. Vanuit de visie van de leerlingen als zelfstandig lerenden en vanuit de pragmatische visie van Dewey en anderen, is het niet de primaire taak van de docent om de misconcepties bij de leerlingen op te sporen en uit te roeien.

Het lijkt beter leerlingen in staat te stellen te participeren in een 'community of learners'. In een coöperatieve groep kunnen leerlingen leren hun denkbeelden te expliciteren en bij te stellen door strategisch te werk te gaan! Uiteindelijk is dat ook de enige oplossing. Immers, ook experts hebben pre- en misconcepties. Het verschil met beginners is echter dat zij zich daar van bewust zijn en over voldoende reflecterende vaardigheden beschikken om ze op te sporen en voldoende studeervaardigheid hebben om ze bij te stellen. Misconcepties duiden op een tekort aan leer- en reflectievermogen. Ook experts blijken namelijk misconcepties te hebben, maar deze zijn in staat om ze te identificeren en door verdere studie te overwinnen. Het is niet alleen een kennis-probleem! Leren vindt niet alleen plaats op het niveau van de te verwerven vakinhouden. Ook de achterliggende opvattingen over bijvoorbeeld de doelen en werkwijzen van het vak spelen een rol. Compleet onderwijs heeft ook betrekking op het leren van deze achtergronden en het evalueren van het eigen leerproduct en leerproces. Dat kan het beste gebeuren in samenwerking met medeleerlingen: de klas als een 'community of learners' onder leiding van een leermeester die zelf weer in verbinding staat met de gemeenschap van bètawetenschappers en -vakdidactici.

6. Enculturatie

Het is mogelijk onderwijs op te vatten als een proces van enculturatie: "becoming a member of a community of practice" (Lave & Wenger, 1991; Terwel, 1997). De leerlingen worden als het ware ingewijd in de cultuur van een bepaalde gemeenschap. Daarbij is te denken aan de opleiding van leerling kleermakers en vroedvrouwen binnen bepaalde culturen. Zij zijn vanaf het begin van hun opleiding omringd door de totale complexe werkomgeving. Zij maken kennis met de daarbinnen geldende veronderstellingen, betekenissen, normen, inzichten, begrippen, werkmethodes, ontologische opvattingen, epistemologische opvattingen etc. die in die gemeenschap gelden. Al deze elementen samen definiëren deze vakcultuur. Vakbegrippen zijn onderdeel van deze vakcultuur, en principieel slechts van daaruit te begrijpen en te leren (Taconis, 1995). De vorming van een met die vakcultuur corresponderend begrippenapparaat zien wij dan ook als een onderdeel van een breder proces van enculturatie in de bèta-gemeenschap waarin ook de andere componenten van de vakcultuur worden verworven. Naar onze mening vormt

deze enculturatie ook de context waarbinnen het begripsontwikkelingsproces zich succesvol kan afspelen. Helaas is de 'community' van beta-vakgenoten niet zo concreet en zichtbaar als die van de kleermakers en vroedvrouwen in bepaalde niet- westerse landen als Mexico of India, of in het gildenwezen in de Middeleeuwen. Mogelijk zou het onderwijs meer dienen te worden ingericht volgens een participatiemodel.

Overigens willen we hier met nadruk stellen dat bèta-onderwijs - net als alle onderwijs - primair een opvoedkundige taak heeft. Die pedagogische taak betreft onder meer het verwerven van kennis, vaardigheden en houdingen die nodig zijn om als burger te kunnen participeren in deze samenleving. Deze pedagogische taak impliceert een zekere mate van bèta-enculturatie. Onze samenleving is in sterke mate door de bètavakken beïnvloed. Juist in die overlap ligt de opvoedende bijdrage van bètavakken. Voor een deel van met name de VWO-leerlingen gaat dit enculturatieproces nog verder. Zij gaan deel uitmaken van de gemeenschap van bètavakgenoten. Voor een ander deel van de leerlingen is dat niet het geval. Voor hen is een gedeeltelijk enculturatieproces voldoende. Op het gebied van de begripsvorming kan hier dan ook worden volstaan met een begripsvorming die nodig is om als 'citizen' in deze samenleving te kunnen participeren.

Uiteraard kunnen binnen het kader van deze enculturatie allerlei verschillende accenten worden gelegd in de concrete doelstellingen die worden nastreefd. Zo kan voorop worden gesteld dat de leerlingen vooral de werkmethode leren beheersen. Bijvoorbeeld het opzetten en uitvoeren van experimenten of kleinschalige onderzoekjes. In het oude CMLN natuurkunde programma, maar ook in de huidige profielen, ligt hierop bijvoorbeeld een sterke nadruk. Dit kan impliceren dat minder nadruk wordt gelegd op het verwerven van wetenschappelijk juiste begrippen en inzichten. Algemeen kan echter worden gesteld dat er in het bèta-onderwijs in meer of mindere mate naar wordt gestreefd dat de leerlingen hun aanvankelijke - volgens de actuele wetenschappelijke inzichten onjuiste - denkbeelden gaandeweg verlaten en de gangbare wetenschappelijke inzichten gaan accepteren en gebruiken³.

Vanuit deze enculturatie opvatting komen de in de voorbeeldaanpakken gebruikte termen als cognitief conflict, confrontatie, accommodatie en assimilatie in een ander perspectief te staan. We herkennen even zovele enculturatie-strategieën van confronteren 'van de leerlingdenkbeelden met de 'wetenschappelijke waarheid' via 'actief ombuigen' en 'overbruggen' tot 'accepteren/delen'.

Uit de enculturatiebenadering komt ook de behoefte naar voren om de vakcultuur (nog eens) in haar onderlinge samenhang nauwkeurig te analyseren, om zo een nauwkeuriger beeld te krijgen van de doelen en vereisten van begripsvorming. Dit heeft vervolgens weer implicaties voor een voorgestelde onderwijsaanpak. Een voorbeeld:

Taconis (1995) heeft de epistemologische stellingname beargumenteerd dat natuurkundige begrippen niet alleen een functie hebben bij het beschrijven en verklaren van fenomenen, maar ook bij het uitvoeren van de voor dat vak typerende taken zoals het doen van (toetsende) experimenten en het oplossen van (kwantitatieve) problemen (Hooykaas, 1980; Layton, 1991; Taconis, 1995). Aansluitend bij het pragmatisme van Dewey is een belangrijk criterium voor een geslaagde begripsvorming of de verworven begrippen zich 'waar kunnen maken' in de praktijk die aan het vak verbonden is (zie: Boyd,

1966; Garrison, 1994). Kun je er effectief problemen mee oplossen? Het kan zelfs worden betwijfeld of een echt inzicht wel mogelijk is wanneer deze praktische gebruiksaspecten niet aan de orde worden gesteld. Zo onderscheiden de natuurkundige begrippen 'kracht' en 'energie' zich concreet doordat deze ieder op een andere categorie van problemen met succes kunnen worden toegepast.

Vanuit de enculturatiegedachte zou dit pragmatische aspect in het begripsgerichte onderwijs niet buiten beschouwing mogen blijven. Er kan aandacht voor worden gevraagd door het begripsontwikkelingsproces zo veel mogelijk in een voor het vak typerende handelingscontext te laten plaatsvinden. Dit zou bijvoorbeeld kunnen door begripsontwikkeling in te bedden in het aanleren van probleemoplossingsstrategieën en daarmee juist de pragmatische betekenisverschillen tussen de begrippen te benadrukken (voor een uitwerking zie: Hoek, Terwel & van den Eeden, 1997; Taconis & Van Hout-Wolters, 1999).

Tenslotte dient opgemerkt te worden dat vanuit een onderwijspedagogisch perspectief de totale persoon van de leerling bij begripsvorming betrokken is (Carpay & Terwel, 1995). Sommige leerlingen zijn sterk gericht op zekerheid en duidelijkheid. Zij raken in verwarring en worden angstig als hun denkbeelden ter discussie worden gesteld. Met name bij een strategie die is gericht op het uitlokken van een cognitief conflict kan dit het leerproces in de weg staan. Anderen voelen zich juist uitgedaagd in een klassenklimaat waarin verschillende standpunten kunnen worden uitgewisseld. In dit spanningsveld dient de leraar een bemiddelende rol te spelen. Uiteindelijk gaat het er om dat alle leerlingen worden gestimuleerd om te leren denken onder eigen verantwoordelijkheid. Het onderwijs mag leerlingen niet vastleggen op een denkbeeld, visie of paradigma, maar zou hen moeten inwijden in de veelkleurige, pluriforme samenleving.

Noten

1. Formeel gesproken lijkt dit zelfs principieel onmogelijk, omdat een theorie nooit door een 'objectief' feit kan worden weerlegd. Immers dit 'objectieve' feit kan steeds in het licht van de te weerleggen theorie door de leerlingen worden geherinterpreteerd.
2. Het onderzoeksprogramma van de TULO in Eindhoven richt zich op het Leren leren in de technisch-exacte vakken.
3. Hierbij merken we nadrukkelijk op dat niet aan de orde is of deze leerlingdenkbeelden objectief onjuist zijn - als er al zo iets zou bestaan als objectieve juistheid van denkbeelden.

Literatuur

- Ali, K. S. (1990). *Instructiestrategieën voor het activeren van preconcepties*. Proefschrift, Katholieke Universiteit Brabant, Tilburg.
- Anderson, J.R., Reder, L.M. & Simon, H.A. (1996). Situated Learning and Education. *Educational Researcher*, 25(4), 5-11.
- Andersson, B. (1986). The experiential gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 8(2), 155-171.
- Baddeley, A. (1990). *Human memory: Theory and practice*. Hillsdale, NJ: LEA.
- Biemans, H.J.A. (1997). *Fostering activation of prior knowledge and conceptual change*. Arnhem: H.J.A. Biemans.

- Boyd, W. (1966). *The History of Western Education*. London: Adam & Charles Black.
- Brekelmans, M., Van den Eeden, P., Terwel, J. & Wubbels, Th. (1997). Student characteristics and learning environment interactions in mathematics and physics education: a resource perspective. *International Journal of Educational Research*, 27, no. 4, 283-292.
- Carey, S. (1986). Cognitive Science and Science Education. *American Psychologist*, 41(10), 1123-1130.
- Carpay J. & Terwel, J. (1995). In de leer bij de constructivisten. *Pedagogisch Tijdschrift*, 20, nr. 4/5, 241-245. (Themanummer Curriculum, Constructivisme en Authentiek Leren).
- Chi, M.T.H. (1991). Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science. In: R. Giere (ed.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science*. University of Minnesota Press.
- Chi, M.T.H., Slotta, J.D. & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- Chinn, C.A., & Brewer, W.F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: a theoretical framework and implications for science instruction. *Review of educational research*, 63 (1), 1-50
- Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (10), 1241-1257.
- Dekker, R., Herfs, P., Terwel, J., en D. van der Ploeg (1985). *Interne differentiatie in heterogene brugklassen bij wiskunde*. Den Haag: SVO Selectareeks.
- Dragher, Z.R. (1994). Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Science Education*, 78 (6), 601-614.
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985). In: R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (eds.), *Children's ideas in science* (pp. 1-10). Milton Keynes, UK: Open University Press.
- Franssen, H., Roelofs, E. & Terwel, J. (1995). Authentiek leren in de basisvorming. *Pedagogisch Tijdschrift*, 20 (4/5), 293-312.
- Garrison, J. (1994). Realism, Deweyan Pragmatism, and Educational Research. *Educational Researcher*, 23 (1), 5-13.
- Genderen, D. van. (1989). *Mechanica, onderwijs in beweging*. Proefschrift, Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Glaserfeld, E. von (ed.) (1991). *Radical Constructivism in Mathematics Education*. Dordrecht: Kluwer.
- Gowin, D.W. Changing the meaning of experience: Empowering teachers and students through Vee-diagrams and principles of educating to reduce misconceptions in science and mathematics. In D. Novak (ed.) *Proceedings of the second international seminar: Misconceptions and educational strategies in science and mathematics*: Vol. 1 (pp. 233-240). Ithaca, NY: Cornell University.
- Halloun, I.A. & Hestenes, D. (1985a). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53 (11), 1043-1055.
- Halloun, I.A. & Hestenes, D. (1985b). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53(11), 1056-1065.

- Hellingman, C. (1987). Zijn krachten tweelingen? *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 5 (3), 173-182.
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158.
- Hieltjes, P. C. & Simons, P.R.J. (1996, october). Vakspecifieke leer- en denkvaardigheden. *Studiehuisreeks*, 11, 5-29.
- Hoek, D. Terwel, J. & Eeden, P. van den. (1997). Effects of training in the use of social and cognitive strategies: an intervention study in secondary mathematics in cooperative groups. *Educational Research and Evaluation*, 3, no. 4, 364-389.
- Hooykaas, R. (1980). Das Verhältnis van Physik und Mechanik in Historische Hinsicht. In E.J. Fischer (ed.), *Geschiedenis van de techniek: Inleiding overzicht en thema's*. Den Haag: Martinus Nijhoff.
- Janssen, F. & Voogt, P. (1997). Evolutietheorie in het voortgezet onderwijs. *Tijdschrift voor Didactiek der Bèta-wetenschappen*, 14 (1), 56 -71.
- Klaassen, C.W.J.M. (1994). Knowledge acquisition as interpersonal understanding. In P.L. Lijnse (ed.) *European research in science education: Proceedings of the first Ph. D. summerschool*. Utrecht, The Netherlands: University Utrecht.
- Klaassen, C.W.J.M. (1995). *A problem-posing Approach to teaching the topic of radioactivity*. Proefschrift, CD- β Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Klaassen, C.W.J.M., Eijkelhof, H.M.C., Lijnse, P.L. & Scholte, R.L.J. (1988). *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 6 (3), pp. 199-219.
- Lagerwerf, A. & Korthagen, F.A.J. (1993). Niveaus in het leren. *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 11 (3), pp. 147-200.
- Lave, J. & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Layton, D. (1991). Science education and praxis: The relation of school science to practical action. *Studies in Science Education*, 19, 43-79.
- Licht, P.L. (1988). De ontwikkeling van een diagnostisch instrument voor de vaststelling van specifieke ideeën over stroom en spanning. *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 6 (2), 99-114.
- Lijnse, P.L. (1992). *Natuurkunde leren begrijpen*. Inaugurele rede, november 1992. Universiteit Utrecht.
- Lijnse, P.L. (1998). Curriculumontwikkeling in het Natuurkundeonderwijs. *Tijdschrift voor didactiek der bèta-wetenschappen*, 15 (1), 2-24.
- McLeod, D.B. (1992). Research on affect in mathematics education: a reconceptualisation. In D.A. Grouws, *Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning*.
- Pfundt, H. & Duit, R. (ed.) (1991). *Bibliography: Students' alternative frameworks in science education* (3rd ed.). Kiel, Germany: Istitute for Science Education.
- Pintrich, P.R., Marx, R.W. & Boyle, R.A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63, 167-199.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. & Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a Scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.

- Roth, W.M. & Roychoudhury, A. (1993). The concept map as a tool for the collaborative construction of knowledge: A microanalysis of highschool physics students. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(5), 503-534.
- Sanden, J.M.M., van der. (1997). *Duurzame ontwikkeling van leervermogen: Leren leren in het technische domein*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven (Inaugurele rede).
- Schmidt, H. (1982). Problem based learning: Rationale and description. In: H.G. Schmidt, *Activatie van voorkennis, intrinsieke motivatie en de verwerking van tekst* (pp. 16-30). Proefschrift, Rijksuniversiteit Limburg, Maastricht.
- Stockmayer, S.M. & Treagust, D.F. (1993). *Understanding electricity through analogies: a historical perspective of conceptual change*. Paper presented at the 1991 AERA annual meeting, Chicago.
- Taconis, R. (1995). *Understanding Based Problem Solving: Towards qualification-oriented teaching and learning in physics education*. Proefschrift. Technische Universiteit Eindhoven (i.s.m. ILO, Amsterdam).
- Taconis, R, Ferguson-Hessler, M.G.M. & Verkerk, G. (1997). Physics problem solving and the transition form general secondary education to higher education. *Tijdschrift voor onderwijsresearch*, 22(3), 123-144.
- Taconis, R. & van Hout-Wolters, B.H.A.M. (1999). Systematic comparison of solved problems as a cooperative learning task. *Research in Science Education*, 29 (1).
- Terwel, J.(1994). *Samen onderwijs maken. Over het ontwerpen van adaptieve onderwijs*. Groningen: Wolters-Noordhoff (Inaugurele rede Universiteit van Amsterdam).
- Terwel, J. (1997). *Grenzen aan de groep? Een onderwijspedagogisch perspectief op leren in contexten*. Amsterdam: Vrije Universiteit (Inaugurele rede).
- Terwel, J., Vermeulen, A. & Volman, M. (1997). Vernieuwingsbewegingen in de exacte vakken. *Tijdschrift voor didactiek van de bètawetenschappen*, 14 (1), 3-29.
- Terwel, J., Vermeulen, A. & Volman, M. (1998). Onderwijsvernieuwingen bij wiskunde, natuurkunde, scheikunde en biologie. *Pedagogisch Tijdschrift Tijdschrift*, 23, no. 2/3, 101-115.
- Terwel, J. & Volman, M. (1998). Inleiding op het thema onderwijsvernieuwingen in vakken in het voortgezet onderwijs, *Pedagogisch Tijdschrift Tijdschrift*, 23, no. 2/3, 97-100.
- Treagust, D.,F., Tyson, L.M., Haririson, G.J. & Venville, G.J. (1996). *A multi-dimensional interpretive framework for understanding conceptual change learning*. Symposium at the 1996 AERA annual meeting at New York.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the proces of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69
- Wandersee, J.H., Mintzes, J.J. & Novak, J.D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D.L. Gabel (ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*. New York, Mc Millan.
- White, R. & Gunstone, R. (1998). *Probing Understanding, chapter 2: concept mapping*. London: Falmer.
- Zuylen, J. & Simons, R.J. (1995, oktober). Uitwerking van een zelfstandigheidsdidactiek. *Studiehuisreeks*, 4, 21-38.