

Op weg naar een didactische structuur van de natuurkunde?

De ontwikkeling van didactische structuren volgens een probleemstellende benadering

Piet Lijnse

Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen
Universiteit Utrecht

Samenvatting

Dit artikel geeft een overzicht van recente opbrengsten van dat deel van het Utrechts natuurkundedidactisch onderzoek dat gericht is op de inzichtelijke ontwikkeling van natuurkundige begrippen en werkwijzen in onderwijssituaties. Deze opbrengst bestaat enerzijds uit wat een probleemstellende onderwijsbenadering wordt genoemd, tezamen met een bepaalde methodologische uitwerking van vakdidactisch ontwikkelingsonderzoek, en anderzijds uit 'didactische structuren' als vorm van didactische theorievorming. In het artikel wordt, naast het beschrijven van feitelijke voorbeelden, het waarom en hoe van deze onderzoeksbenadering beargumenteerd, met bijzondere aandacht voor positionering binnen verwant Nederlands didactisch onderzoek.

1. Waarom dit artikel?

Enkele jaren geleden werd het voorlopige einde van dit tijdschrift aangekondigd met een themanummer over de verhouding vakdidactiek-onderwijskunde. Daarin heb ik betoogd dat het voor het bereiken van progressie in β -didactisch onderzoek nodig zou zijn om te zoeken naar een eigen onderzoeksweg (Lijnse, 1995b). Deze zou zich moeten richten op de 'didactische kwaliteit'¹ van het vakonderwijs, door dit in zijn doelstellingen en vormgeving te bestuderen, vernieuwen en legitimeren, en door de gang van het inhoudelijke onderwijsleerproces te beschrijven, te bereflecteren en onderzoeksmatig te optimaliseren. Daarmee zou het in zulk onderzoek dan in de eerste plaats moeten gaan om het 'onderzoekend ontwikkelen, beschrijven en funderen van goed vakonderwijs'. Door middel van ontwikkelingsonderzoek zou, uitgaand van onderliggende te expliciteren visies op onderwijzen en leren, en op het vak en vakonderwijs, gewerkt moeten worden aan domeinspecifieke onderwijsleertheorieën, samen te vatten in wat 'didactische structuren'² van het onderzochte domein, of zelfs van de natuurwetenschap als geheel, genoemd zouden kunnen worden. En daarmee zou in zulk onderzoek ook de gevreesde theorie-praktijk kloof, althans in principe, overbrugbaar moeten zijn.

Op zich is het altijd leerzaam om je eigen gedachten na een aantal jaren nog eens door te lezen en je af te vragen wat daar tot nu toe nu allemaal van terecht is gekomen. Dat zal dan ook het doel van dit artikel zijn. Is het nu inmiddels wat duidelijker wat we onder de aangekondigde 'didactische structuren' zouden kunnen verstaan. En in hoeverre kunnen we daarmee ook daadwerkelijk uit de voeten als het gaat om vakdidactische theorievorming?

De noodzaak van onderzoek gericht op de 'didactische kwaliteit' van onderwijsleersituaties, lijkt me nog onverminderd van kracht. Ging het in het vorige artikel nog om de relatie vakdidactiek-onderwijskunde, nu zou ik de toen geschetste problematiek ook willen uitbreiden naar wat internationaal wordt verstaan onder 'science education research'. Vaak wordt de genoemde theorie-praktijk kloof (De Jong et al., 1998) geweten aan het feit dat docenten te weinig van het didactisch onderzoek afweten en/of dat zij niet in staat of niet bereid zouden zijn om de onderzoeksopbrengsten op een adequate manier in hun onderwijspraktijk vorm te geven. Op zich zit hier waarschijnlijk best een kern van waarheid in, maar naar mijn idee ligt een veel belangrijker oorzaak in de aard van het werk dat in de 'main stream' van het 'science education' onderzoek gedaan wordt. Om dit onderzoek operationeel te definiëren, staan ons inmiddels twee monumentale recente publicaties ter beschikking: het *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (Gabel, 1994) en het *International Handbook of Science Education* (Fraser & Tobin, 1998). Over het geheel genomen zijn dit best interessante boeken om te lezen, althans voor een onderzoeker. Een docent zal er minder van zijn gading in aantreffen. Ze geven een goed overzicht van waardevolle inzichten in veel aspecten van het onderzoek naar natuurwetenschappelijk onderwijs, en van ontwikkelingen daarin. Dit gezegd hebbende, was ik na het lezen echter ook nogal teleurgesteld vanwege hun eenzijdigheid en het gebrek aan didactische relevantie van de gerapporteerde onderzoeken.

Een eerste kenmerk dat direct opvalt is, ook hierin, het haast totale gebrek aan aandacht voor de *inhoud* van het onderwijs. Wat theorievorming betreft lijkt het wel alsof science education research zich praktisch uitsluitend lijkt te richten op een inhoudsonafhankelijke meta-positie, nauw aansluitend bij algemeen onderwijskundige inzichten. In feite gaat het praktisch altijd om toepassing daarvan.

Een tweede kenmerk is het haast volledige ontbreken van onderzoek dat zich richt op wat ik de harde kern van de didactiek zou willen noemen: de onderlinge afstemming van onderwijs- en leeractiviteiten met het oog op een succesvol resultaat. Ook wordt weinig of geen aandacht besteed aan een grondige didactische conceptuele analyse van de te onderwijzen vakinhouden, een conceptuele analyse, dus, vanuit het perspectief van onderwijsbaarheid en leerbaarheid. En daardoor wordt, ook in dit onderzoek, zelden of nooit aandacht besteed aan een beschrijving en discussie van de *didactische kwaliteit*³ van het bestudeerde onderwijs. De belangrijkste oorzaak hiervan ligt, volgens mij, daarin dat, in navolging van het onderwijskundige onderzoek, in het gangbare science education onderzoek vooral getracht wordt *bestaand* natuurwetenschappelijk onderwijs te *beschrijven* en te *verklaren* in termen van *algemene* kenmerken en theorieën. Hoe interessant dit ook moge zijn, het leidt onvermijdelijk tot resultaten die slechts een geringe didactische relevantie hebben⁴.

Dit geldt helaas ook grotendeels voor de nieuwste loot aan deze stam, de aandacht voor *pedagogical content knowledge* van docenten, in ons land ook naar voren gebracht als deel uitmakend van hun *praktijkkennis*, zonder hierin overigens het toch voor de hand liggende verband met *vakdidactiek* te leggen (Van Driel & Verloop, 1998).⁵ Natuurlijk heeft elke ervaren leraar veel vakdidactische (praktijk)kennis over zijn vak, en over het waarom en wat

ervan hoe te onderwijzen en te leren.⁶ In feite worden, juist daarom, in veel beleidsstukken en in het meeste onderwijskundige onderzoek dat zich richt op natuurwetenschappelijk onderwijs, leraren als *de* didactische experts gezien, die nieuwe curriculumideeën of onderwijsleertheorieën moeten vertalen in hanteerbare praktijk. Echter, juist het onderzoek naar leerling-ideeën, evenals de teleurstellende effecten van de grote curriculumvernieuwingprojecten uit het verleden, hebben laten zien dat deze didactische expertise, zelfs van de meest ervaren leraren, vaak tekort schiet. Daarmee zeg ik niets ten nadele van de didactische kennis van ervaren leraren, maar probeer ik alleen maar te beargumenteren dat *uitbreiding en verdieping* van die kennis ten zeerste noodzakelijk is. En dat kan niet alleen, als een onmogelijke taak, overgelaten worden aan die docenten zelf, maar dient gezien te worden als een gezamenlijke taak van docenten en didactische onderzoekers. Beschrijven en verklaren van wat er gebeurt is daarvoor essentieel onvoldoende, er dienen vooral nieuwe didactische wegen onderzoeksmatig ontwikkeld te worden.

Binnen de β -didactiek wordt zulk onderzoek steeds meer gedaan,⁷ maar nog met verschillende intenties. Het onderwijs, en dus ook het β -onderwijs, is voortdurend aan verandering onderhevig, geïnduceerd door allerlei maatschappelijke, wetenschappelijke, pedagogische en technologische ontwikkelingen. De voor de hand liggende vraag of het onderwijs hierdoor ook 'beter' wordt, werd door Freudenthal als een verkeerde vraag bestempeld.

Pictures of education, taken at different moments in history, cannot be compared. Each society at a given period got the education it wanted, it needed, it could afford, it deserved and it was able to provide. Innovation can effect no more than to adapt education to a changing society, or at best it can try to anticipate the change. This alone is difficult enough (Freudenthal, 1991).

Daarin ligt dan ook, naar zijn mening, het nut van ontwikkelingsonderzoek. Het anticiperen op en vormgeven aan 'change', met de ontwikkelingsonderzoeker, de docent, de docent-in-opleiding en de leerboekauteur als belangrijke 'agents of change'. Er is inmiddels veel *ontwikkelingsonderzoek* dat zich, terecht, hierop richt. Onderzoek met een korte termijn horizon, gericht op de lokale oplossing van directe praktijkproblemen. Opbrengsten hiervan zijn vooral nieuwe uitgeteste producten en werkwijzen, met beschrijving en verantwoording daarvan. De praktische bruikbaarheid en overdraagbaarheid is daardoor gewaarborgd, maar de theoretische inbedding en theorievorming is veelal beperkt. Vandaar dat er, naar mijn mening, ook *ontwikkelingsonderzoek* nodig is, dat zich, vanuit een lange termijn perspectief, juist vooral daarop richt en daardoor, wellicht, verder weg staat van het oplossen van directe praktijkproblemen. Zulk onderzoek moet zich dus juist niet richten op datgene wat verandert, maar op het relatief constante in het onderwijs, d.w.z. op de natuurwetenschappelijke inhoud. Ofwel, onderzoek met als object de natuurwetenschap, die bestudeerd wordt vanuit de optiek van onderwijsbaarheid/leerbaarheid en onderwijswaarde/leerwaarde⁸ (en dat zowel vanuit het perspectief van de docerende als van de lerende).⁹ Als opbrengst hiervan zie ik de beschrijving en verantwoording van de eerder genoemde didactische struct(ur)(en) van de natuurwetenschap. Als vakdidactische progressie überhaupt mogelijk is, en wellicht in

tegenstelling tot Freudenthal wil ik hierin vooralsnog blijven geloven, lijkt me dit een aangewezen zoekrichting daarvoor.

2. Visies op het onderwijzen en leren van natuurwetenschappen

In het bovenstaande heb ik al kort aangegeven dat ontwikkelingsonderzoek dient te beginnen bij het expliciteren en theoretisch rechtvaardigen van samenhangende uitgangspunten ten aanzien van leren en onderwijzen, en ten aanzien van het vak en het vakonderwijs, van waaruit men naar oplossingen van de didactische problematiek gaat zoeken. Aan de vormgeving van onderwijs liggen nu eenmaal altijd opvattingen ten grondslag, die zich zowel weerspiegelen in de gekozen doelstellingen als in de wijze waarop deze nagestreefd worden. Resultaten van ontwikkelingsonderzoek zullen dus altijd vanuit deze context gecommuniceerd en bediscussieerd moeten worden.

Zo kan het voor het ontwerpen van onderwijs, in ieder geval in principe, verschil uitmaken of dat gebeurt vanuit een receptieve, een behavioristische, een ontdekkende, dan wel een informatie-verwerkings opvatting over leren, om enkele invloedrijke opvattingen uit het verleden te noemen. Ook al blijken die verschillen in de didactische praktijk vaak veel kleiner te zijn, dan op grond van theoretische discussies verwacht zou mogen worden. Recentelijk heeft vooral de constructivistische opvatting over leren veel aandacht getrokken (Driver & Oldham, 1986; Scott et al., 1992; Duit & Treagust, 1998). Ondanks alle diepgaande beschouwingen hierover (zie bijvoorbeeld: Science & Education, 9(6), 2000), komt de *didactische* relevantie hiervan, naar mijn idee, niet verder dan de stelling dat 'nieuwe kennis geconstrueerd wordt op basis van al aanwezige kennis' (Ogborn, 1997). Dat impliceert dat betekenissen vaak niet eenvoudig kunnen worden overgedragen, maar door de lerende zelf geconstrueerd worden (wat daar ook precies mee bedoeld wordt), en daarmee wordt ook het resultaat van dit constructieproces in meer of mindere mate onvoorspelbaar. Deze opvatting wordt filosofisch vaak *triviaal-constructivisme* genoemd en staat als zodanig ook nauwelijks ter discussie; echter, de didactische uitdaging die hierdoor geïmpliceerd wordt, is allerminst triviaal!¹⁰

Op zich is deze triviaal-constructivistische opvatting over leren nog niet verbonden met een opvatting over onderwijzen. Immers, dit constructieproces vindt *altijd* plaats, hoe het onderwijs ook is vormgegeven. Echter, als men wil voorkomen dat een onderwijsleerproces al te snel resulteert in *geforceerde* begripsontwikkeling, met alle misconcepties die daaraan verbonden zijn, of, in andere woorden, als men vindt dat onderwijzen toch zou moeten resulteren in zoiets als 'echt' begrijpen, dan lijkt het noodzakelijk om lerenden voldoende ruimte te geven om *hun* constructies, die immers noch kunnen worden voorkomen, noch volledig kunnen worden voorspeld, expliciet te maken (vrijheid van onderop). Dan kan daar, door middel van interacties met medelerenden of de docent, niet alleen op adequate wijze op worden ingespeeld, maar ook gekomen worden tot een gemeenschappelijk constructieproces, wat dus *didactisch* socio-constructivisme genoemd zou kunnen worden.^{11,12} Tegenwoordig spreekt men in dit verband dan ook over een klas als een 'gemeenschap van lerenden'. Tegelijkertijd moet dit constructieproces dan zo zorgvuldig (be)geleid worden, dat toch de gestelde doelen bereikt worden ((be)leiding van bovenaf). In zekere zin zou men dit, naar mijn idee, een constructivistische opvatting over onderwijzen kunnen noemen.¹³

Het vinden van een adequate balans tussen deze noodzakelijke vrijheid van onderop en de even noodzakelijk begeleiding van bovenaf vormt het hart van ons didactisch onderzoek. Het houdt in dat we proberen leerlingen te (bege)leiden in een *bottom-up* leerproces dat begint bij een gemeenschappelijk startpunt (*common ground*). En dat we een onderwijstraject ontwerpen dat het leerlingen geleidelijk mogelijk maakt om juist die begrippen en vaardigheden te construeren die we hen ook willen onderwijzen.¹⁴

Op het eerste gezicht lijkt deze opvatting niets nieuws in te houden, zoals moge blijken uit vergelijking met vele publicaties over 'constructivist science teaching' (Duit & Treagust, 1998). Toch wijken we in ons werk hier op twee hoofdpunten vanaf. Alhoewel we 'educational constructivism', in de hierboven beschreven zin, als een belangrijk uitgangspunt accepteren, sluiten we ons niet zonder meer aan bij de daaraan vaak verbonden 'alternative framework movement', en dus ook niet bij de bekende 'conceptual change theory' (zie bijv.: Hewson & Lemberger, 2000), in het bijzonder niet bij die versie daarvan die zoveel nadruk legt op het oproepen van conceptuele conflicten.¹⁵ Dit laatste dient trouwens niet zozeer te worden beschouwd als behorende bij een constructivistische visie op onderwijzen, zoals soms wordt geschreven, maar vooral als te maken hebbend met een bepaalde manier van interpretatie van het onderzoek naar preconcepties van leerlingen. En dus, impliciet, ook als een interpretatie van de relatie tussen common sense en wetenschappelijke kennis¹⁶. Deze preconcepten worden dan geïnterpreteerd als wetenschappelijk incorrect. Didactisch gezien, zou er dan een cognitief conflict moeten worden opgeroepen om leerlingen te doen afzien van hun incorrecte opvattingen en de correcte te doen accepteren.

In onze opvatting zijn de intuïties van leerlingen *over hun ervaringswereld*, in het algemeen, echter grotendeels correct (Klaassen, 1995),¹⁷ hetgeen impliceert dat we altijd een daarbij aansluitend bruikbaar gemeenschappelijk startpunt kunnen vinden om ons onderwijsproces te beginnen. En in dat proces is dan dus ook geen rol meer weggelegd voor een op te roepen negatief conflict. Voor zover het cognitief leren betreft, lijkt het ons het beste om het leren van natuurwetenschap te zien als een proces waarin leerlingen, gebruikmakend van hun aanwezige begrippen, ervaringsbasis en systeem van 'beliefs', hieraan nieuwe kennis toevoegen (met eventueel bijbehorende veranderingen in betekenissen van termen).

Wat, als een tweede uitgangspunt, nog aan dit beeld dient te worden toegevoegd, is dat, wil dit proces ook door leerlingen als *zinvol* kunnen worden ervaren, er zo goed mogelijk voor gezorgd dient te worden dat zij ook zelf de *inhoudelijke functie* zien van dat toevoegen. Of, in andere woorden, leerlingen zouden op elk moment tijdens het onderwijsleerproces inhoudelijk moeten kunnen inzien *waarom ze wat* aan het doen zijn.¹⁸

Als dat het geval is, zal het onderwijsleerproces naar alle waarschijnlijkheid voor hen *zinvoller* zijn, en dus zal het waarschijnlijker worden dat ze dan ook nieuwe kennis zullen construeren of accommoderen op voor henzelf begrijpelijke gronden. Een benadering van het (natuurwetenschappelijk) onderwijs die zich hier expliciet op richt, noemen wij *probleemstellend*. De nadruk van een probleemstellende benadering ligt er dus op om leerlingen in een dusdanige positie te brengen dat zij zelf de

inhoudelijke zin gaan inzien van het in een *bepaalde richting* gaan uitbreiden van hun bestaande begrippenapparaat, opvattingen en ervaringen.^{19, 20}

Zo geformuleerd, lijkt ook dit tweede uitgangspunt nogal triviaal, en terecht. En aangezien beide uitgangspunten op zichzelf verder nog geen gedetailleerde didactische aanwijzingen geven, ligt de werkelijke niet-triviale didactische uitdaging, zoals al gezegd, in de kwaliteit waarmee deze uitgangspunten in de praktijk kunnen worden uitgewerkt.

Ter voorkoming van misverstand nog het volgende. Gunstone schrijft:

This problem of students not knowing the purpose(s) of what they are doing, even when they have been told, is perfectly familiar to any of us who have spent time teaching. The real issue is why the problem is so common and why it is very hard to avoid (Gunstone, 1992).

Als remedie hebben zij, en vele anderen, zich sindsdien gericht op het bevorderen van metacognitieve kennis en vaardigheden bij leerlingen. Leerlingen moeten op hun eigen leergedrag leren reflecteren en dat zondig kunnen bijsturen, 'leren leren' dus. Zonder het didactisch belang daarvan ter discussie te willen stellen, is het goed te benadrukken dat het ons hier gaat om een aanvullende vakdidactische optiek. Het gaat er ons om dat het leerlingen ook op *inhoudelijke* gronden duidelijk is wat zij aan het doen zijn, iets wat in de gebruikelijke metacognitieve optiek niet aan de orde komt.

Onze visie omtrent het ontwikkelen van een bottom-up onderwijsleerproces, zoals hierboven geschetst, vraagt dus om een grondige didactische analyse van common sense en wetenschappelijke kennis en van hun onderlinge relatie. Hoe kunnen we een onderwijstraject ontwerpen dat begripmatig zodanig in stappen is onderverdeeld dat leerlingen deze stappen ook betekenisvol kunnen nemen, en daarbij ook inderdaad in staat zijn om productief voort te bouwen op dat wat ze al weten.

Kunnen we leerlingen er toe brengen vragen te stellen, of in ieder geval te waarderen, die, aan de ene kant zinvol zijn vanuit hun perspectief, en, aan de andere kant, voor hun beantwoording juist vragen om de ontwikkeling van de (mogelijk aangepaste) te onderwijzen nieuwe ideeën en concepten. Dat betekent dat, voor hen, de te heruitvinden begrippen kunnen functioneren voor een duidelijk inhoudelijk doel, en dat de redenen voor hun constructie en acceptatie direct daaraan ontleend kunnen worden. Op die manier verloopt kennisconstructie binnen een probleemstellende benadering dan, in feite, grotendeels analoog aan het professionele proces van kennisconstructie in de wetenschap zelf. Kennis wordt geconstrueerd voor een bepaald doel. En naarmate die constructies productiever functioneren voor het beoogde doel, worden ze gemakkelijker geaccepteerd door diegenen die ze maken en er kennis van nemen.

De laatste jaren is er veel geschreven over het doel en de aard van wetenschappelijke kennis en wetenschappelijk werken. Voor het onderwijs moeten deze opvattingen echter nog in een onderwijscontext geplaatst worden. Ruw geanalyseerd kunnen we, naar mijn idee, voor het onderwijzen van natuurwetenschappelijke kennis vier overkoepelende doeloriëntaties

onderscheiden, nl., *praktisch* (natuurwetenschap als instrument voor het dagelijks handelen), *theoretisch* (natuurwetenschap als theorie om de natuur te begrijpen), *technisch* (natuurwetenschap als middel bij het ontwerpen van artefacten), en *maatschappelijk* (natuurwetenschap als maatschappelijke (productie-) factor).²¹ Deze oriëntaties zullen in een curriculum in een afgewogen balans aan de orde moeten komen. Maar de manier waarop dat gebeurt hangt af van verschillende mogelijke inzichten omtrent (de relaties tussen) natuurwetenschap, technologie en samenleving. En dus vraagt hun inpassing in natuurwetenschappelijke curricula om een expliciete visie op het natuurwetenschappelijk onderwijs, die overeen dient te komen met een visie op de maatschappelijke en pedagogische rol van het onderwijs zelf (Van Aalsvoort, 2000; Millar & Osborne, 1999). Voor het ontwerpen van onderwijs op microniveau betekent dit in het algemeen dat dit zal plaatsvinden binnen één of meer specifieke oriëntaties, die dan ook functioneel gemaakt moeten worden voor de leerlingen. In dit artikel zal ik echter op deze curriculumproblematiek niet verder ingaan.

3. 'Onze' methodologie

Voordat ik nu enkele voorbeelden van ons onderzoek naar onderwijsleertrajecten wat uitgebreider zal presenteren, wil ik eerst kort iets zeggen over onze methodologie. In ons werk kunnen we onderscheid maken tussen drie nauw met elkaar samenhangende 'niveaus van werken'.

Op het eerste niveau ontwikkelen we *voorbeeldige*²² *onderwijsleermiddelen* voor zowel docenten als leerlingen, door parallel aan het schrijven hiervan ook een *scenario* te ontwerpen (Klaassen, 1995). Dit gedetailleerde scenario geeft een *beschrijving* en *theoretische rechtvaardiging* van het onderwijsleerproces, zoals we *verwachten* dat het zal plaatsvinden en *waarom* we dat zo verwachten. Zo'n scenario reflecteert dus niet alleen de didactische praktijkkennis van de bij het ontwerp betrokkenen, maar geeft ook een operationele vertaling van zowel datgene wat uit onderzoeksliteratuur bekend is, als van de gekozen uitgangspunten. Dit hypothetische scenario kan dus empirisch worden getoetst en zo nodig bijgesteld.²³ Bij het ontwikkelen van het scenario proberen we, gegeven onze onderwijsvisie, heel zorgvuldig de geplande onderwijsactiviteiten te doordenken, zowel vanuit het standpunt van de leerling als de docent. Ook besteden we veel aandacht aan de verbinding tussen de onderwijsactiviteiten. Bereiden de voorgaande activiteiten, *gezien vanuit de leerling*, echt goed voor op de volgende, en worden de volgende activiteiten echt voldoende voorbereid door de voorgaande (Ten Voorde, 1977)?²⁴ Of, in andere woorden, kan het geplande onderwijsproces ook werkelijk resulteren in een te verwachten *coherent* leerproces, gezien vanuit het standpunt van de leerling.²⁵

Bij het uittesten van dit onderwijsleertraject functioneert het scenario als een gedetailleerd richtinggevend *instrument* voor onze observatie en interpretaties. De leraar gebruikt voor zijn lesvoorbereiding een door de onderzoeker *aangepaste* versie van dit scenario. Deze aanpassing bleek nodig omdat anders het risico te groot is dat het scenario door de leraar als te dwingend ervaren wordt.

Na één of twee testronden kan de ontwikkeling van het scenario en van de bijbehorende onderwijsmiddelen zodanig gevorderd zijn, dat ze als 'goed genoeg' voor de onderwijspraktijk beschouwd kunnen worden, d.w.z. dat

gebleken is dat in normale omstandigheden het onderwijsleerproces grotendeels zal verlopen zoals gepland en verwacht. Echter, omdat dit scenario nog de onderwijsactiviteiten weerspiegelt waarop het betrekking heeft, wordt de directe toepasbaarheid daar ook toe beperkt.

Daarmee komen we tot het tweede niveau: ik wil onderscheid maken tussen een scenario en een daaruit te abstraheren domein specifieke didactische theorie.²⁶ Deze laatste is, in zekere zin, een reflectieve meta-versie van de eerste. Hij beschrijft, bediscussieert en rechtvaardigt theoretisch de noodzakelijke leer- en onderwijsstappen die gezet moeten worden voor het onderhavige onderwerp, in termen van eisen aan en kenmerken van succesvolle onderwijsactiviteiten en acties. Zo'n theorie maakt ook vergelijkingen met andere onderwijsaanpakken, beschrijft voor- en nadelen van deze aanpakken samen met paradigmatische voorbeelden van interacties, cruciale momenten, etc.

Een samenvatting van zo'n didactische theorie, d.w.z. de in een gekozen benadering belangrijkste stappen in het begripsmatige en inhoudelijk-motivationale onderwijsleertraject, zoals die door de docent en leerlingen gezet moeten worden, noem ik een mogelijke *didactische structuur* voor het betreffende onderwerp.

Volgens ons is het essentieel om in onze empirische procedure niet alleen te focuseren op het leren van de leerlingen, maar in het bijzonder ook op het leren van de docent. Door juist ook op dit leerproces te reflecteren kunnen we komen tot de formulering van een didactische structuur voor het onderwijzen van vakdidactiek voor het betreffende onderwerp. Tot nu toe is dit echter een onderbelicht element in ons werk.

Dit laat overigens nog steeds de vraag open naar *transfer*. Wat kunnen we, afgezien van de gevolgde werkwijze, inhoudelijk leren van zo'n onderwerpsspecifieke theorie en didactische structuur, voor het leren en onderwijzen van andere onderwerpen. Om die vraag te beantwoorden hebben we te maken met de enigszins paradoxale situatie dat we juist moeten abstraheren van de inhoudsspecifieke aspecten van datgene wat met opzet als inhoudspecifieke theorie wordt geformuleerd, in een poging essentiële karakteristieken ook in inhoudsonafhankelijke termen, dus als een algemenere didactische theorie, met bijbehorende *algemenere didactische structuur*, te formuleren, die zich richt op het structureren van onderwijsleerprocessen in termen van specifieke inhoudsoverstijgende kenmerken van natuurwetenschappelijke kennis en vaardigheden (zie verder).

Daarmee kunnen we dus zeggen dat de opbrengst van ons onderzoek een zekere hiërarchische structuur vertoont, met als verticale dimensie een toenemende theoretische abstrahering vanuit de onderwijspraktijk, dan wel een toenemende concretisering vanuit algemene theoretische uitgangspunten. Daarmee vormt zij als het ware een brug tussen onderwijskunde en onderwijspraktijk, waarmee overigens niet gezegd wil zijn dat deze opbrengsten als vanzelf hun weg naar de onderwijspraktijk, dan wel de onderwijskunde zullen vinden (zie fig.1). Hier zijn nog vele voetangels en klemmen te overwinnen.²⁷

Tenslotte expliciteert, op het derde niveau, een theoretische reflectie op de gevolgde werkwijze, uitgangspunten, en producten in termen van scenario's, onderwijsmaterialen en didactische structuren, in het licht van de internationale onderzoeksliteratuur, het uiteindelijke *didactische leerproces*

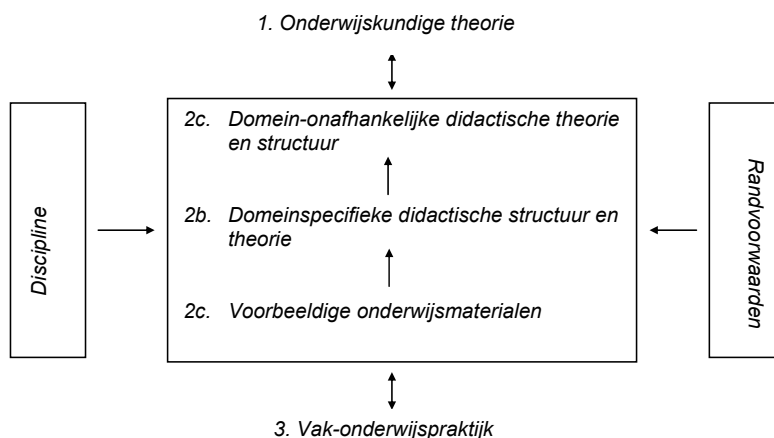


Fig.1. Een vereenvoudigde weergave van hoe de opbrengsten van ontwikkelingsonderzoek het vakdidactische niveau opvullen, en daarmee een brug kunnen slaan tussen algemeen onderwijskundige inzichten en de vakonderwijspraktijk.

van de onderzoeker.²⁸ Een adequate beschrijving daarvan kan beschouwd worden als de belangrijkste *wetenschappelijke* opbrengst van ons didactisch onderzoek, in die zin dat zo'n beschrijving de vooruitgang in didactische kennis zou moeten weerspiegelen. Nieuwe didactische kennis die dan zowel theoretisch verantwoord, als empirisch ondersteund is.

4. Voorbeelden van didactische structuren

4.1. Een inleiding tot radioactiviteit

Ik wil nu enkele voorbeelden beschrijven van didactische structuren, zoals die in ons onderzoek zijn ontwikkeld. De eerste heeft betrekking op de introductie van het onderwerp radioactiviteit voor mavo-leerlingen van ca. 15 jaar (Klaassen, 1995). Daarvoor is een serie van 12 lessen ontwikkeld, hoofdzakelijk vanuit een *praktische* oriëntatie. Ons eerste doel was om een didactische aanpak te ontwerpen, die niet zou resulteren in de gebruikelijke begripsverwarringen ten aanzien van radioactiviteit (Eijkelhof, 1990). Onderstaande structuur beschrijft de uiteindelijke probleemstellende aanpak.^{29, 30}

Deze structuur begint op het niveau van de leefwereldkennis en ervaring van leerlingen over radioactiviteit. Op dit niveau is radioactiviteit iets vaags, met name wordt geen onderscheid gemaakt tussen wat wetenschappelijk gezien 'radioactieve straling' en 'radioactieve stof' wordt genoemd, waardoor ook geen onderscheid gemaakt kan worden tussen zaken als 'bestraling' en 'besmetting' (Eijkelhof, 1990; Klaassen, 1995). Het didactische probleem is dus om het voor leerlingen zinvol te maken om, vanuit hun leefwereldniveau, dit onderscheid te gaan leren. Hun leefwereldkennis wordt daartoe, binnen de gekozen context, productief gebruikt om te komen tot het formuleren van het praktische hoofdprobleem: 'hoe kun je iets radioactief maken'? Leerlingen komen tot deze vraag als blijkt dat hun verwachting niet uitkomt dat een appel

die bestraald wordt (d.w.z. langdurig in de buurt wordt geplaatst van een voorwerp waarvan zij vinden dat dat radioactief is) daardoor, volgens een door henzelf geaccepteerd criterium, ook radioactief wordt.³¹ Deze vraag roept dan de noodzaak op om nieuwe kennis te leren over het onderscheid tussen radioactieve stof en straling, alsook tussen bestraling en besmetting, etc.

Het bottom-up karakter van deze structuur wordt weerspiegeld in het feit dat de lessenserie niet start met theoretische kennis over atomen en kernen, zoals gebruikelijk is voor dit onderwerp (en er ook niet noodzakelijkerwijs mee eindigt), maar dat eerst een niveau ontwikkeld wordt van beschrijvende empirische generalisaties, dat zinvol bruikbaar is om de noodzakelijke begrippen te gaan onderscheiden.

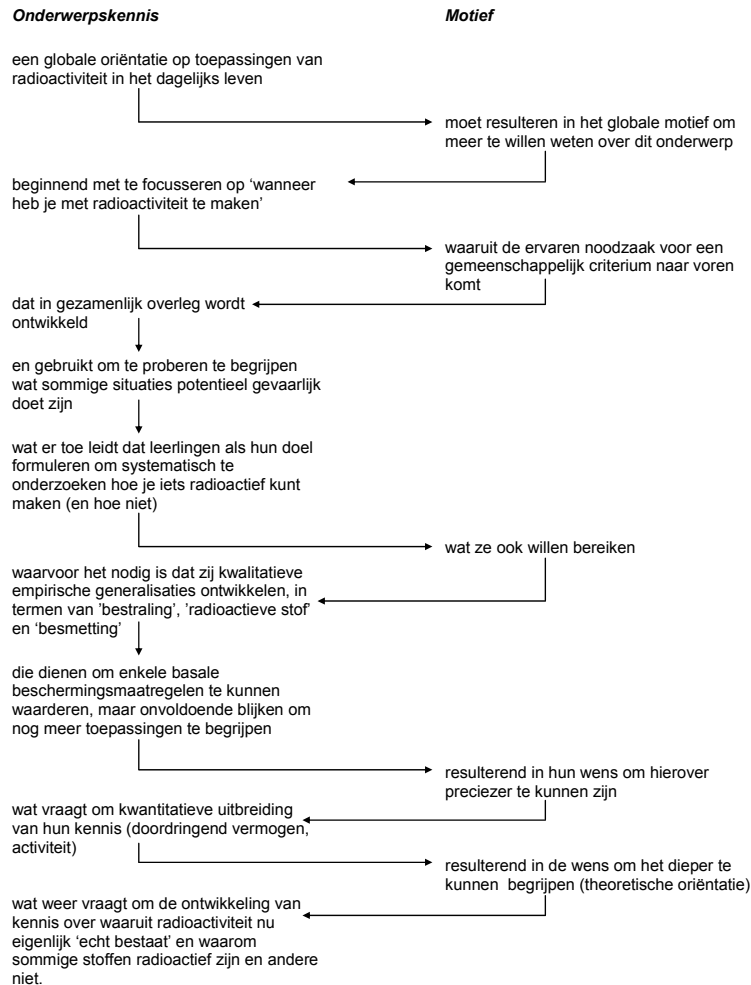


Fig 2. Een didactische structuur voor een probleemstellende introductie van radioactiviteit.

Het probleemstellende karakter van deze benadering wordt, in het bijzonder, weerspiegeld door de samenhangende ontwikkeling van motieven en daarvoor benodigde kennis. Het zwaartepunt van de beschreven structuur ligt dus op de overgang van het leefwereldniveau naar het (de) beschrijvende kennisniveau(s) (kwalitatief en kwantitatief), door de leerlingen er toe te brengen een voor henzelf betekenisvol praktisch probleem te stellen, dat ze vervolgens ook willen oplossen. Maar al doende kan dan toch de behoefte

aan een dieper begrijpen ontstaan, d.w.z. vanuit een theoretische oriëntatie meer willen weten over wat radioactiviteit nu eigenlijk is.

In de bovenstaande didactische structuur kunnen we ook de volgende didactische *functies* en *fasering* onderscheiden.

Fase 1: oriënteren op en oproepen van een globale interesse en motief voor het bestuderen van het betreffende onderwerp.

Fase 2: het inperken en toespitsen van dit globale motief tot een inhoudsspecifieke behoefte aan meer praktische kennis.

Fase 3: het uitbreiden van de bestaande kennis van de leerlingen, in het licht van het globale motief en de specifiekere geformuleerde kennisbehoefte.

Fase 4: het toepassen van de nieuwe kennis in situaties waarvoor de kennisuitbreiding bedoeld was.

Fase 5: het creëren van, in het licht van het globale motief, een behoefte aan theoretische kennis.

Fase 6: het binnen deze oriëntatie ontwikkelen van meer theoretische kennis

Merk op dat de fasen 2 en 5 kernpunten zijn in onze probleemstellende benadering. Deze fasen blijken dan ook niet aanwezig te zijn in soortgelijke faseringen zoals gepubliceerd in de literatuur (Abraham, 1998, zie verder). De daarin beschreven faseringen blijken uitsluitend gericht te zijn op cognitief leren, ook al wordt vaak uitgebreid geschreven over het belang van motivaties. In onze benadering zijn beide aspecten, inhoudelijk geïnterpreteerd, samen genomen en vanaf het begin met elkaar geïntegreerd.

Zoals eerder in algemene termen is beschreven doet zich dus nu de vraag voor in hoeverre de beschreven structuur en fasering ook gegeneraliseerd kan worden, zodat hieruit ook aanwijzingen volgen voor de ontwikkeling van een probleemstellende aanpak voor andere onderwerpen. Daartoe kunnen we de structuur ook op een inhoudsonafhankelijke, manier beschrijven (fig. 3).

Deze beschrijving focuseert meer op *kenmerken* van de te verwerven kennis, en op de daarvoor benodigde oriëntaties.³² In feite worden in fig. 3 drie 'manieren van spreken over en ervaren van' radioactieve verschijnselen aangeduid, elk met zijn specifieke begrippen en bijbehorende verklaringwijze.

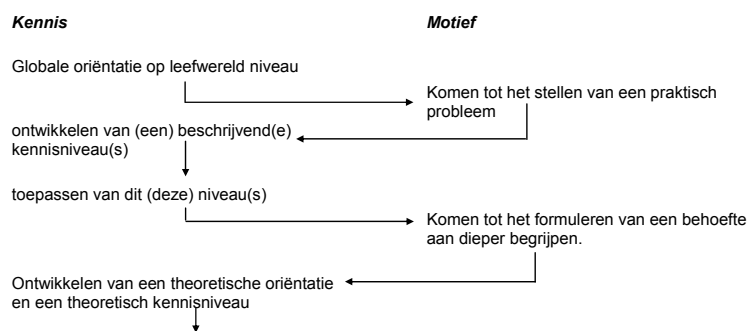


Fig. 3 Inhoudsonafhankelijke niveauctuur van de introductie van radioactiviteit.

De didactische uitdaging is om lerenden op een voor hen zinvolle wijze deze structuur te laten doorlopen, door hen het nut te laten ervaren van het gebruiken en ontwikkelen van nieuwe kennis om daarmee tegemoet te kunnen komen aan nieuw ontstane verklaringsinteressen. Fig. 3 symboliseert ook de noodzaak van een grondige didactische conceptuele analyse, beginnend bij common sense. Zo'n analyse kan slechts gedeeltelijk achter het bureau gedaan worden, omdat dikwijls niet precies kan worden voorzien welke begripsmatige stappen leerlingen wel of niet kunnen nemen. Daarom dient zo'n analyse dus aangevuld te worden met empirische reflectie op de feitelijk door leerlingen in de onderwijspraktijk gemaakte constructies.

Stel dat het bovenstaande enig hout snijdt, dan wordt de vraag dus nu in hoeverre de hier ontwikkelde gedachtegang ook bruikbaar is voor de ontwikkeling van onderwijs over andere onderwerpen.

4.2. De introductie van een aanvankelijk deeltjesmodel

Een tweede voorbeeld van een mogelijke didactische structuur wordt ontleend aan het werk van Vollebregt (1998). Zij ontwierp een probleemstellende benadering voor de introductie van een aanvankelijk deeltjesmodel. Het gaat hierbij eerst om de ontwikkeling van een *theoretische* oriëntatie, met daarna de ontwikkeling van theoretische kennis, gericht op het bekende probleem om kennis over macroscopische eigenschappen van materie te kunnen verklaren in termen van een sub-microscopisch model, op een voor leerlingen betekenisvolle en begrijpelijke wijze. Veel onderzoek heeft laten zien dat dit neerkomt op een moeilijke didactische uitdaging, die ook wij nog niet hebben opgelost. We claimen echter wel dat we meer inzicht hebben gekregen in een mogelijke didactische uitweg.

De onderhavige didactische structuur is in het bijzonder interessant omdat het gaat om twee gekoppelde leerprocessen, die elkaar a.h.w. aandrijven. Het eerste proces gaat over het leren van een deeltjesmodel en het tweede gaat over de aard van natuurwetenschap, in het bijzonder, over de *aard van* een deeltjesmodel. Dit geeft aan dat we bij het ontwikkelen van deze lessenserie twee doelen in gedachten hadden, namelijk zowel het leren *van* een deeltjesmodel als het leren *over* een deeltjesmodel.³³ De achterliggende gedachte hierbij was dat je de inhoud van een bepaald model eigenlijk alleen goed kunt begrijpen als je ook weet hoe en waarom dat model aan welke eisen dient te voldoen. En de beste manier om zowel de inhoud, als reflectie op die inhoud van het model te leren, lijkt dan, gegeven onze uitgangspunten, om de leerlingen dit model zoveel mogelijk al zelf modellerende te laten ontwerpen, toetsen en bijstellen. Het blijkt dan dat vragen over de inhoud, en vragen over de aard van de ontwikkelde inhoud motieven kunnen gaan vormen die elkaar op productieve wijze kunnen afwisselen.

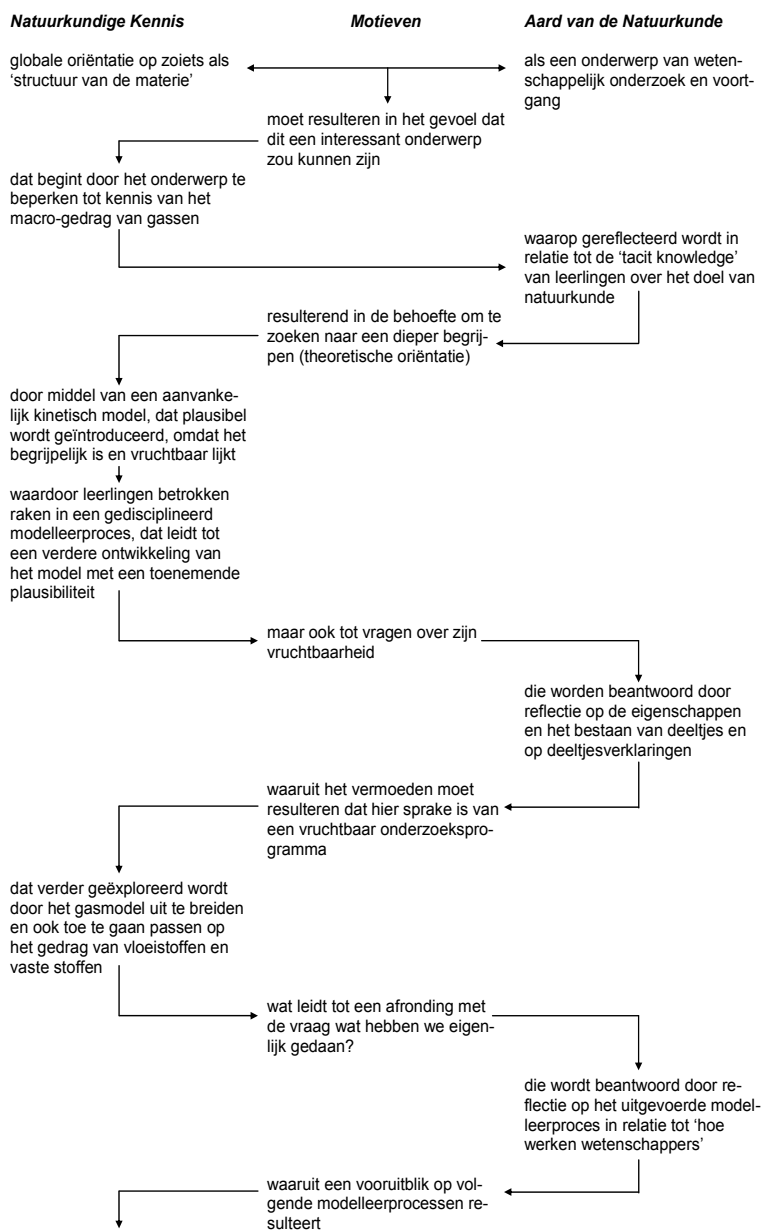


Fig. 4. Een didactische structuur voor een probleemstellende benadering van een modellerende introductie van een aanvankelijk deeltjesmodel.

Deze onderlinge afhankelijkheid van beide leerprocessen was niet in detail geanticiepeerd, maar bleek achteraf zo gestructureerd te zijn. Naar ons idee is dit een belangrijke opbrengst omdat dit een natuurlijke manier zou kunnen inhouden waarop onderwijs *over* (de aard van) natuurwetenschappen kan worden geïntegreerd in onderwijs *van* natuurwetenschappen. En wel zodanig dat dit eerste niet langer alleen maar een wat vreemde toevoeging aan het laatste lijkt te zijn.

Een ander aspect dat uit deze structuur naar voren komt is dat ideeën over 'conceptual change' (Duit & Treagust, 1998) of over het gebruik van analogieën, waarover in de literatuur veel en zwaarwichtig geschreven is, weliswaar door ons niet als zodanig zijn toegepast, maar desalniettemin wel grotendeels op natuurlijke wijze aanwezig bleken te zijn in ons onderwijstraject. In retrospectie is ook dit eigenlijk vanzelfsprekend. Immers, een probleemstellende benadering is er op gericht leerlingen inhoudelijke motieven te geven voor het ontwikkelen van hun kennis. Dat betekent dat zaken als: intelligibility, plausibility en fruitfulness, d.w.z. de status-descriptors in conceptual change (Hewson & Hewson, 1992), niet alleen vanzelf aan bod komen, maar ook op een door de inhoudelijke voortgang gegeven natuurlijke wijze.

In termen van een niveauctuur, kunnen we nu het volgende schema opstellen:

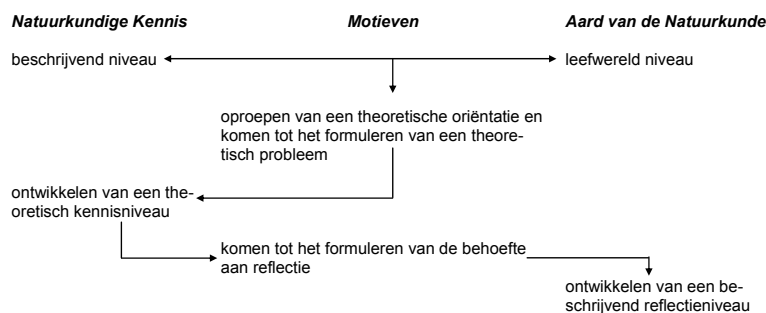


Fig.5 De niveauctuur van een probleemstellende benadering voor de introductie van een deeltjesmodel.

Bovenstaande niveauctuur is niet gebruikt als een a-priori instrument bij het ontwikkelen van de lessenserie, zodat deze beschrijving tevens een reflectie en aanvulling daarop inhoudt. Bovendien geeft de ontwikkelde lessenserie slechts een eerste begin voor het vullen van de beschreven niveaus, het gaat immers om een aanvankelijk deeltjesmodel. In verdere lessenseries moet dit verder uitgebreid worden.

Laat ik kort aangeven wat met de aangegeven niveaus bedoeld wordt. In deze lessenserie vindt kennisontwikkeling plaats binnen een theoretische context, die echter, door het oproepen van een theoretische oriëntatie, voor leerlingen eerst dient te ontstaan. Als uitgangspunt daarvoor is gekozen voor een beschrijvend kennisniveau t.a.v. het macroscopisch gedrag van gassen,³⁴ dat vanuit het idee dat je in de natuurkunde door steeds maar opnieuw 'hoe-

komt-dat-nou?’ vragen te stellen steeds meer steeds dieper wilt begrijpen, geïnterpreteerd kan worden. Dat idee zou je een nog vage en ongedifferentieerde verwoording van een ‘leefwereld’ niveau t.a.v. de aard van natuurkunde kunnen noemen dat hier productief gebruikt kan worden, tezamen met het vanzelfsprekende idee dat je de werking van dingen vaak beter kunt begrijpen als je kijkt waar ze uit zijn opgebouwd.³⁵

Door vervolgens een door de docent geïntroduceerd kernmodel³⁶ geleidelijk uit te breiden met eigenschappen, komen leerlingen tot inzicht in dit model. Daarbij stellen ze echter wel de vraag of wat ze zo doen wel klopt met het ‘goede’ antwoord, wat de mogelijkheid biedt om te komen tot inzicht in de vraag op grond waarvan en in hoeverre we in de natuurkunde eigenlijk een model accepteren, aan welke regels dat modelleren moet voldoen, en in hoeverre je nu kunt zeggen dat de gepostuleerde deeltjes dan ook echt bestaan (Driver et al., 2000). Dus zowel de epistemologie, methodologie als ontologie krijgt hierbij aandacht. Dat zou je een beschrijvend niveau ‘aard van de natuurkunde/modellen’ kunnen noemen. Beschrijvend omdat leerlingen in reflectie op de door hun gevolgde procedure wel kunnen komen tot het expliciteren van een aantal ‘spelregels’, maar nog niet kunnen beredeneren waarom deze regels moeten zijn zoals ze zijn.

In fig. 4 kunnen we de volgende didactische fasering onderscheiden:

- Fase 1: oriënteren op en oproepen van een globale interesse en globaal motief voor het bestuderen van het betreffende onderwerp.
- Fase 2: het inperken en toespitsen van dit globale motief tot een inhoudsspecifieke behoefte aan meer theoretische kennis.
- Fase 3: het uitbreiden van de bestaande kennis van de leerlingen in een nog beperkte context, in het licht van het globale motief en de geformuleerde kennisbehoefte, uiteindelijk leidend tot de behoefte om op de zinvolheid van de verworven kennis te reflecteren.
- Fase 4: reflectie op de zin van de verworven kennis, in het licht van het globale motief, resulterend in het vermoeden dat een vruchtbare uitbreiding mogelijk is.
- Fase 5: toepassing, uitbreiding en bijstelling van de tot nu toe ontwikkelde kennis door het toepassingsbereik te verbreden, wat uiteindelijk leidt tot de behoefte om op de manier van kennisverwerving te reflecteren.
- Fase 6: reflectie op de manier van kennisverwerving, in relatie tot de aard van het globale motief, waardoor ook een perspectief ontstaat voor verder modelleren.

Voor dit moment laat ik het hier bij de constatering dat het opnieuw mogelijk is om een fasering aan te geven die laat zien dat er verschillende didactische functies kunnen worden onderscheiden. Verdere discussie hiervan volgt na de presentatie van een laatste voorbeeld.

4.3. Het onderwijzen van besluitvorming over het afvalvraagstuk

Een ander didactisch probleem dat om meer aandacht vraagt is het onderwijzen/leren van wat ‘algemene’ vaardigheden wordt genoemd, zoals probleem oplossen, onderzoeken, informatie verwerken, modelleren, etc. De crux van het probleem bestaat uit de vraag wat het precies betekent als men deze vaardigheden wil onderwijzen. Hoeven ze eigenlijk wel onderwezen te

worden en, mocht dat zo zijn, hoe kunnen we dat dan het beste doen. In het bijzonder, hoe verhoudt zich dat dan tot het onderwijzen van vakinhoud. Hierover is in de literatuur de nodige discussie geweest, die hier overigens niet zal worden herhaald (Zie bijvoorbeeld Lijnse, 1994).

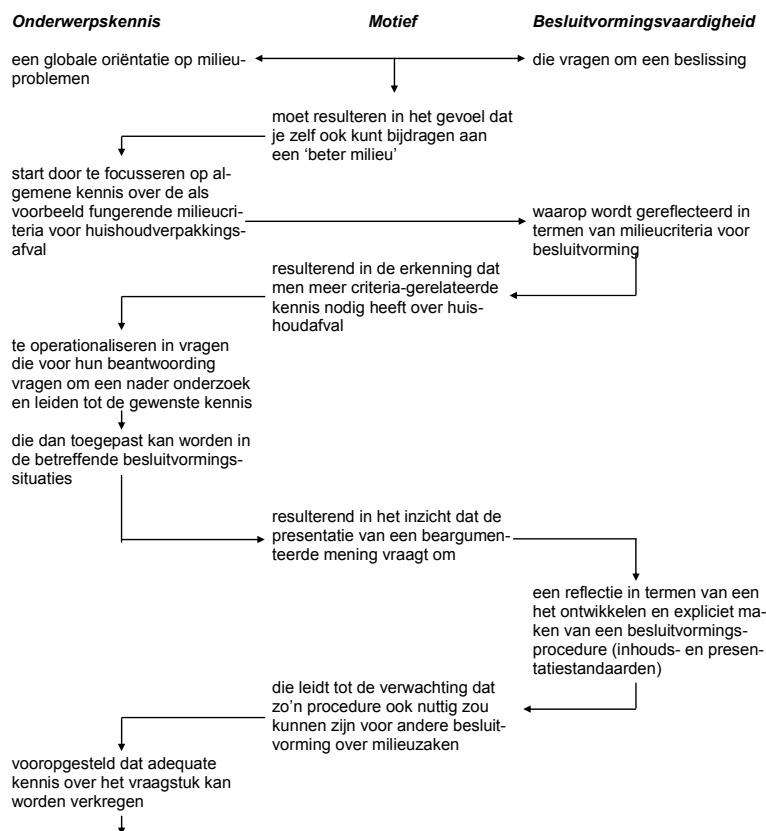


Fig. 6. Een didactische structuur voor het probleemstellend onderwijzen van besluitvorming over het afvalvraagstuk.

Kortland heeft dit probleem aangepakt voor het aanvankelijk onderwijzen van wat 'algemene' besluitvormingsvaardigheden worden genoemd, in relatie tot het onderwijzen van het milieu/afvalvraagstuk. Zijn probleemstellende aanpak leidde tot de didactische structuur van fig. 6. We zien daarin opnieuw de ontwikkeling van twee gekoppelde leerprocessen weergegeven, die elkaar weer motiveren en aandrijven. Het ene leerproces is gericht op nieuwe natuurwetenschappelijke kennis over afval; het andere op de inzichtelijke ontwikkeling van een metacognitief 'instrument' waarmee men kan nadenken over de vraag of men wel een verstandig besluit heeft genomen.

De structuur van fig. 6 laat zich generaliseren tot de inhoudsonafhankelijke niveaustructuur van fig. 7.

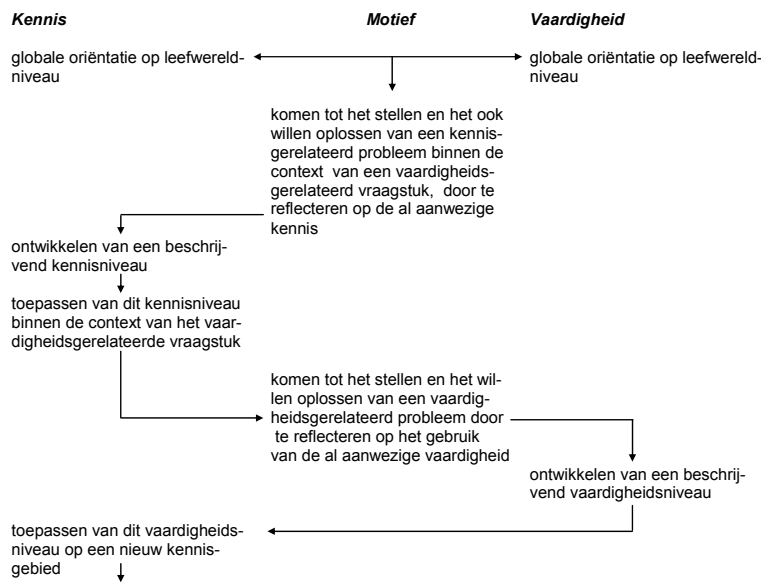


Fig. 7. De probleemstellende niveaustructuur van het in onderlinge afhankelijkheid aanvankelijk onderwijzen/leren van kennis en algemene vaardigheden.

De didactische fasering van Kortland is voor de eerste vier fasen identiek aan die hierboven geformuleerd naar aanleiding van het onderzoek van Klaassen. Daarna laten de volgende fasen zich als volgt omschrijven:

Fase 5: het in het licht van het globale motief creëren van een behoefte aan reflectie op het kunnen hanteren van de betreffende vaardigheid.

Fase 6: het ontwikkelen van een (mogelijk nog gecontextualiseerd) metacognitief instrument voor het op een hoger niveau kunnen uitvoeren van de vaardigheid.

Het gaat dus in dit geval weer om twee gekoppelde onderwijsleerprocessen, zij het dat de relatie tussen beide nu van geheel andere aard is dan in het voorgaande geval. In de gegeven onderwijscontext (3 Mavo) beginnen beide onderwijsleerprocessen op het leefwereldniveau, en maken, door te starten bij de 'common ground', productief gebruik van wat leerlingen al kennen en kunnen.

Voor wat de besluitvormingsvaardigheid betreft, betekent dit dat de leerlingen niet zozeer moeten leren om beslissingen te nemen, want feitelijk kunnen ze dat al, maar lijkt het de moeite waard om hen te leren om, in situaties die daar ook om lijken te vragen, expliciet te reflecteren op de kwaliteit van hun besluitvormingsproces. En om dat reflectieproces te sturen

kan een metacognitief instrument, bestaande uit heuristische aanwijzingen, een nuttige rol vervullen. In feite dient dit instrument te bestaan uit in de klas gemeenschappelijk afgesproken normen over waaraan een 'goed' besluitvormingsproces moet voldoen (Gravemeijer et al., 2000). In de gepresenteerde structuur is dit instrument nog ontwikkeld binnen de context van het afvalvraagstuk. Echter, in een serie van elkaar opvolgende besluitvormingsmodulen, dus als een doordachte curriculumlijn, zou dit instrument geleidelijk kunnen worden gedecontextualiseerd tot een instrument voor besluitvorming als zodanig. Omdat dit heuristische instrument de stappen beschrijft in wat beschouwd zou kunnen worden als een besluitvormingsproces van goede kwaliteit, zonder dit proces als zodanig theoretisch te rechtvaardigen, kunnen we dit niveau van (reflectie op) besluitvorming een beschrijvend vaardigheidsniveau noemen.

Zoals beschreven door Kortland zou een soortgelijke aanpak ook geschikt kunnen zijn voor de aanvankelijke introductie van andere algemene vaardigheden, zoals leren probleemoplossen, leren modelleren, leren onderzoeken, etc. Het belangrijke punt hierbij is dat daarvoor bruikbare heuristieken³⁷ (als meta-cognitief instrument) nu in reflectie op de eigen ervaringen van leerlingen, in het bijzonder op een door hun als problematisch ervaren situatie, kunnen worden geëxpliciteerd en uitgebreid.

5. Afsluitende Reflectie

5.1. Didactische faseringen

Om te beginnen wil ik, zoals al aangekondigd, eerst iets zeggen over de beschreven didactische fasen. In de omschrijving van deze fasen gaat het steeds om een didactische functie die in die fase moet worden vervuld. Op zich is dit een welbekend fenomeen, dat in de literatuur in vele varianten wordt beschreven.

Zo onderscheidt Roebertsen (1996) een begripsontwikkelingsmodel met vier fasen: activering van voorkennis, verwerving van nieuwe kennis, verwerking waardoor nieuwe kennis aan al bestaande kennis gerelateerd wordt, toepassing waarin de verworven kennis in nieuwe situaties gebruikt wordt.³⁸ Van Dormolen (1981) introduceerde enkele jaren geleden het OsaEV-model³⁹ en het daarop voortbouwende OOV-model, voor het onderwijzen van (wiskundige) begrippen, respectievelijk ruimer opgevatte concepten. In de literatuur is ook veel geschreven over 'learning cycles' (Abraham, 1998). Vanuit een op overdracht gerichte onderwijsopvatting wordt deze 'cycle' geformuleerd als: informeren, verifiëren, oefenen. Vanuit een 'inquiry-based' opvatting over leren wordt dit: exploreren, uitvinden, toepassen.

Driver & Oldham (1986) formuleerden, vanuit een constructivistische opvatting over leren, de volgende fasering: oriënteren, eliciteren, herstructureren, toepassen en reflecteren. Hierin herkennen we het uitgangspunt dat we niet alleen moeten aansluiten bij de voorkennis van leerlingen, maar dat deze voorkennis ook veelal zal bestaan uit 'alternative conceptions' die we leerlingen naar voren moeten laten brengen om ze vervolgens te kunnen herstructureren. De reflectiefase aan het eind van de cyclus heeft tot doel om leerlingen zich bewust te laten worden van hoe hun kennis en opvattingen zijn veranderd, wat dan tevens tot een verdere verankering zou moeten leiden. Naar onze opvatting is deze fasering minder

geschikt omdat ze niet start vanuit wat we eerder 'common ground' hebben genoemd.

Tenslotte de fasering van Ten Voorde (1977). Deze beschrijft vijf onderwijsfasen die doorlopen moeten worden om te komen tot een (Van Hiele-) niveauverhoging: informeren, gebonden oriënteren, expliciteren, vrij oriënteren en integreren. Deze fasen lijken vooral gericht op het vormgeven van begripsontwikkeling, en als zodanig ook bruikbaar. Ze vertonen een zekere overeenkomst met en bieden ook een verfijning van eerder gegeven 'cycles'.

Als we nu al deze fasen vergelijken met de 'onze' dan vallen, naast overeenkomsten ook belangrijke verschillen op. In de eerste plaats onderscheiden onze fasen, en daarmee onze didactische functies, zich door het feit dat er steeds sprake is van het oproepen, toespitsen, voldoen aan en reflecteren op (globale en locale) motieven. Kennis en vaardigheden worden ontwikkeld vanuit een bepaald perspectief dat ook voor de leerlingen een richtlijn zou moeten zijn. Het vormt de kern van onze probleemstellende benadering. Daardoor beschrijven onze fasen niet alleen de activiteiten van de docent, maar ook dat dit voor leerlingen duidelijk moet worden gemaakt. Ze zijn dus zowel didactisch als meta-didactisch van aard, iets wat voor docenten, zoals eerder beschreven, niet alleen heel nieuw maar ook heel moeilijk blijkt te zijn. Dit perspectief voor leerlingen blijft in de andere beschreven fasen impliciet en daardoor zal het voor leerlingen en docenten ook niet functioneren. Deze fasen beschrijven dan gewoon de activiteiten die docenten moeten vormgeven om het leerproces van hun leerlingen te faciliteren, maar de meta-didactische inkadering ontbreekt.

5.2 Didactische theorievorming?

Tot zover mijn beperkte beschrijving van ons werk aan didactische structuren tot nu toe. Beide karakteristieken, de niveaustructuur en de didactische fasering, kunnen mogelijkgevoerd worden als elementen van een meer generale didactische theorie, die uiteraard nog verder uitgewerkt moet worden. Ook het gebruik van onderwijsvisies en doeloriëntaties, de laatste als overkoepelende contexten waarbinnen begrips- en vaardigheidsontwikkeling plaatsvindt, moet hierin verder uitgewerkt worden. Zoals aangegeven in diverse voetnoten kan een verdere verfijning plaatsvinden, zowel in niveaustructureringen als in didactische fasen. Ik ben er van overtuigd dat dit soort van didactische theorievorming nodig is als een intermediair tussen en verbinding van algemene onderwijskundige theorieën met de vakdidactische onderwijspraktijk (zie bijvoorbeeld ook Gravemeijer et al., 2000). Dit soort meer algemene didactische theorie, tezamen met de domeinspecifieke didactische structuren en scenario's zouden de uitkomst kunnen zijn van didactisch onderzoek naar onderwijsleertrajecten.

We kunnen de drie beschreven algemene structuren beschouwen als betrekking hebbend op het onderwijzen van vakinhoudelijke kennis, het onderwijzen van vakinhoudelijke kennis en aard van die kennis, en op het onderwijzen van vakinhoudelijke kennis en daarvan in principe losstaande vaardigheden. Deze beschreven structuren zijn tot stand gekomen door te reflecteren op de resultaten van ontwikkelingsonderzoeken waaraan deze structuren nog slechts impliciet ten grondslag lagen. Deze drie onderzoeken

zijn ook niet gekozen met het oog op onderwerpsoverstijgende didactische theorievorming. Het feit dat ze daar desalniettemin, naast de inhoudsspecifieke opbrengst, toch ook toe leiden is, m.i., niet een toevallige bijkomstigheid maar een kenmerk van ontwikkelingsonderzoek. Daaraan kan immers ook steeds de vraag gesteld worden wat van de inhoudsspecifieke opbrengst mogelijk transfer oplevert voor de didactiek van andere onderwerpen. En om deze transfer te expliciteren is het heen-en-weer denken tussen een inhoudsspecifiek en een algemener niveau noodzakelijk. Beide leiden tot de noodzakelijke progressie in didactische theorievorming.

Zo verdient het, naar mijn overtuiging en ervaring, aanbeveling om de hierboven geschetste reflectief-descriptieve gedachtegang, zoals weergegeven in de plaatjes van fig. 2 t/m 7, van nu af aan ook prescriptief te gaan gebruiken voor onderwijsontwikkeling. Niet dat daarmee een directe handleiding beschikbaar is, maar het richt wel de aandacht op belangrijke didactische vormgevingsproblemen en brengt daar ook structuur in aan. Ik meen dus te mogen concluderen dat het didactisch onderzoek zoals beschreven inderdaad mogelijkheden heeft opgeleverd om het begrip didactische kwaliteit beter in kaart te brengen en bespreekbaar te maken. In mijn inleiding heb ik gewezen op een communicatieprobleem wat dat betreft. Naar mijn mening zou de communicatie over (onderzoek van) vormgeving van onderwijsleerprocessen, en over de didactische kwaliteit daarvan, aan duidelijkheid winnen als hierin werd ingegaan op de volgende aspecten:

- wat is het eigenlijke *didactische* probleem en in hoeverre wordt dit ook opgelost;
 - * wat zijn de uitgangspunten van waaruit aan de oplossing gewerkt wordt;
 - * zijn deze uitgangspunten adequaat geoperationaliseerd;
 - * levert de resulterende didactische structuur werkelijk een nieuwe en verklaarbare bijdrage aan de oplossing van het probleem;
- kan het ontwikkelde onderwijsleerproces vanuit het standpunt van de *leerling*, werkelijk als coherent beoordeeld worden, d.w.z.:
 - * worden zij voorzien van functionerende globale en lokale motieven;
 - * zijn de onderwijsleeractiviteiten werkelijk voorbereid door en voorbereidend op elkaar;
 - * zijn de leerlingen in staat om de bedoelde begrippen (geleid en coöperatief) ook inderdaad inzichtelijk te construeren;
 - * bereiken zij in voldoende mate de gestelde doelen;
- is het onderwijsleerproces voor de *docent* voldoende hanteerbaar en slaagt hij er in om onverwachte problemen in de geest van het voorziene scenario op te lossen;
 - * interpreteert de docent de leerlingen adequaat;
 - * laat de docent voldoende constructieruimte open voor leerlingen en slaagt hij er in om met hen productief te communiceren;
 - * is hij in staat om het onderwijsleerproces ook meta-didactisch te reguleren.

Zonder de pretentie te hebben hierin volledig te zijn, ben ik van mening dat wanneer dit soort criteria meer aandacht zouden krijgen in onze communicatie over (onderzoek van) onderwijsleerprocessen, we een beter idee zouden krijgen van wat we waarom bedoelen met didactische kwaliteit, en daardoor beter op elkaar zouden kunnen voortbouwen.

5.3. *Is er een beste didactiek?*

Wat kunnen we nu concluderen uit het voorgaande over het belang van onderzoek aan onderwijsleertrajecten? Hoe zou het gedaan moeten worden opdat het gezien kan worden als 'echt' onderzoek, omdat vaak in twijfel wordt getrokken of, en zo ja in hoeverre, onderzoek eigenlijk überhaupt iets kan zeggen over hoe een bepaald onderwerp het meest effectief onderwezen kan worden. Zoals Tiberghien (2000) opmerkt 'designing teaching situations for each domain of physics and for each level is an endless task'. Daarom focuseert zij in haar onderzoek op het ontwerpen van onderwijssituaties die representatief zijn voor een *set of situations* door gebruik te maken van meer algemene karakteristieken van fysieke kennis. Dit weerspiegelt een belangrijk dilemma in dit soort onderzoek. Ik ben het eens met de opmerking dat de uitkomsten van didactisch onderzoek niet (alleen maar) kunnen liggen op het niveau van onderwijssituaties zelf, maar wij hebben daarvoor een andere benadering gekozen. In feite zijn wij terecht gekomen bij het idee van empirisch ondersteunde scenario's en 'didactische structuren van een bepaald onderwerp'. Zoals ik hoop hierboven te hebben laten zien, beschrijven zulke structuren goed gemotiveerde, mogelijk gebleken domeinspecifieke routes naar de oplossingen van didactische problemen die ofwel naar voren gebracht zijn door docenten, of voortkomen uit eerder onderzoek. Natuurlijk kunnen zulke structuren, tezamen met hun uitgewerkte scenario's, nooit slagen zonder de ervaring en vakmanschap van goede docenten. Als zodanig zijn ze niet teacher-proof, noch kunnen ze garanderen dat het leerproces van elke individuele leerling succesvol zal zijn. Echter, ze voorzien wel zelfs ervaren leraren van nieuwe didactische inzichten die hun onderwijs op belangrijke knelpunten aanzienlijk kan verbeteren. En ook beschrijven ze, binnen het raamwerk van de gekozen uitgangspunten, een stapsgewijs onderwijsleerproces waarvan gebleken is, dat deze stappen ook haalbaar zijn voor zowel docenten als leerlingen. Zodat ze, over het geheel genomen, toch genoeg houvast bieden aan docenten om deze afwijkingen klein te kunnen houden en het onderwijsleerproces op het goede spoor, ook al zullen in de actuele klassenpraktijk het onderwijsproces en de leerprocessen van individuele leerlingen altijd afwijken van dat wat beschreven wordt in het scenario.

En dat is precies waarom scenario, theorie en structuur het leren en onderwijzen van een bepaald onderwerp kunnen verbeteren, in die zin dat meer leerlingen op de bedoelde wijze zullen begrijpen en waarderen, wat hun is onderwezen. Als meer onderzoek zich zou richten op zulke didactische structuren (of hoe men ze ook noemen wil) dan zou door onderlinge vergelijking en discussie verdere didactische progressie mogelijk worden. En zelfs al zal de *beste* manier om een onderwerp te onderwijzen altijd een illusie blijven, verbeterde manieren zouden hieruit kunnen resulteren die als (meer) bevredigend zouden kunnen worden beschouwd en die tot didactisch rationelere beslissingen zouden kunnen leiden.

English summary

This paper describes an overview of recent results of research at Utrecht University, that focuses on insightful development of concepts and methods of physics in actual classrooms. These results consist out of, on the one hand, a

so-called problem posing educational approach together with a particular methodological approach for developmental research, and, on the other hand, out of so-called 'didactical structures' as a particular way of formulating didactical theory. Apart from some examples of such structures, also the position of this type of work is described and discussed, in particular with respect to related Dutch didactical research.

Dankwoord

Het hier beschrevene is grotendeels gebaseerd op onderzoek dat de afgelopen jaren is verricht in het Centrum voor Natuurkunde Didactiek van de UU. Ik dank alle betrokkenen, maar in het bijzonder Kees Klaassen, voor hun samenwerking en voor hun inbreng in de ontwikkeling van de hier geschetste gedachten.

Noten

1. De betekenis van deze term is op zich nog open. Het zou al een belangrijke stap vooruit zijn als we deze term inhoud zouden kunnen geven. Daarmee zouden we dan immers belangrijke criteria geëxpliciteerd hebben en wellicht ook op een hanteerbare manier binnen handbereik hebben gekregen.
2. Deze term is ontleend aan Ten Voorde (1977) die er overigens een andere betekenis aan heeft gegeven.
3. Voorlopig wil ik kwaliteit omschrijven als verloopt het onderwijsleerproces, ook bij gedetailleerde beschouwing, optimaal en is het resultaat bevredigend in het licht van de gekozen uitgangspunten. Het is dus een relatief begrip.
4. Het is opvallend dat er ook in het onderwijskundige onderzoek, zo weinig direct aandacht is voor didactiek. Dit is wellicht te verklaren uit het feit dat veel op de microsituatie gericht onderwijskundig onderzoek enerzijds wordt geïnspireerd door de 'vertaling' van de resultaten van de cognitiewetenschap naar het onderwijs. Of, anderzijds, voornamelijk technologisch geïnspireerd is door de opkomst van ICT. Er worden wel interventies ontwikkeld en op effecten geëvalueerd, maar het onderzoek richt zich dan op het toetsen van de onderliggende uitgangspunten en niet op het ontwikkelen van een optimale didactiek. Die wordt nauwelijks geïnterpreteerd. Ditzelfde bezwaar geldt ook voor veel van de hier bedoelde science education research.
5. Ik vind het jammer dat nu ook in ons land deze term geïntroduceerd is, en nog wel alsof het om iets nieuws gaat, terwijl we hier toch, net als in vele andere Europese landen, niet alleen al een term beschikbaar hebben die deze categorie omvat, nl: vakdidactische kennis, maar ook een lange traditie op dat gebied.
6. Alhoewel het hier meestal om individuele meningen gaat, die zich op grond van ervaringen hebben gevormd. Het betreft dus geen systematisch gevalideerde kennis of opvattingen.
7. Ook binnen de onderwijskunde wordt het belang van ontwikkelingsonderzoek tegenwoordig steeds meer benadrukt. Toch is dit gewoonlijk gericht op een ander soort kennisverwerving, nl. om het formuleren van algemenere ontwerpregels en heuristieken (zie Van den Akker, 1999). In ons geval gaat het echter om het ontwikkelen van β -didactische kennis.
8. Wanneer we dit onderzoek niet beperken tot geïnstitutionaliseerde onderwijspraktijken, maar uitbreiden tot alle praktijken waarin natuurwetenschappelijke kennis een rol speelt, kunnen we overkoepelend spreken van communiceerbaarheid en communicatiewaarde.
9. Daarmee verhoudt zulk vakdidactisch onderzoek zich dan op dezelfde wijze tot de vakdiscipline als de filosofie of geschiedenis van de vakdiscipline.
10. Het belangrijkste advies dat constructivisten op grond hiervan formuleren is gewoonlijk dat je dus eerst de voorkennis van leerlingen moet vaststellen om daarop vervolgens goed aan te sluiten. Maar ook hier speelt weer hetzelfde

probleem. Iedere onderwijsgever zal zeggen dat hij dat natuurlijk doet. Kortom, de didactische uitdaging is dus niet óf je dat doet, maar de manier waarop en de kwaliteit waarmee.

11. Ook deze term heeft dus niets te maken met de wetenschapsfilosofische discussie over socio-constructivisme.
12. Het didactisch advies dat hieraan ontleend kan worden geldt het belang van interactieve werkvormen, i.h.b. (coöperatief) groepswork, om een gezamenlijk leerproces te creëren. In de Engelstalige literatuur wordt in dit verband vaak de term 'negotiation of meaning' gebruikt, maar hiermee wordt, naar mijn mening, onvoldoende recht gedaan aan de asymmetrische rol van de docent. In ons land heeft de WEI-groep trouwens al lang geleden gewezen op het belang van 'het gesprek' als onderwijsvorm (Ten Voorde, 1977)
13. Naar mijn mening is hier een grote overeenkomst met wat Freudenthal beschrijft als een proces van 'guided reinvention'.
14. Dit gemeenschappelijke startpunt moet niet alleen liggen in de kennis die ontwikkeld moet worden, maar ook in de situaties waarop deze betrekking heeft, d.w.z. de situaties die tot context (zijn of) worden van deze kennis. Gravemeijer (1994) spreekt in dit verband over situaties die 'experientially real' zijn voor de leerlingen. Als we, met Van Genderen (1989), zeggen dat situaties tot context worden van wetenschappelijke begrippen door die situaties met behulp van die begrippen te gaan beschrijven, dan hebben we dus te maken met een recursief gekoppeld proces van begrips- en contextvorming. Kenmerk van dit ontwikkelingsproces moet zijn dat we niet alleen starten met situaties en bijbehorende beschrijvingswijzen die 'experientially real' zijn voor leerlingen, maar dat nieuw te ontwikkelen beschrijvingswijzen en bijbehorende contexten dat, tijdens het onderwijs, ook voor hen worden. Kortom, ervaringsgericht onderwijs, waarbij niet alleen *uitgegaan wordt* van gemeenschappelijke ervaringen van leerlingen, maar ook gezamenlijk nieuwe ervaringen *gemaakt worden*.

Hierin ligt trouwens een belangrijke bottle-neck. In dit verband wordt immers ook vaak gesproken over leefwereld- of contextgericht onderwijs. Het voormalige PLON-project heeft in ons land veel moeite gedaan om dit voor het vak natuurkunde vorm te geven (Eijkelhof et al., 1986). Het probleem is echter dat het dan vaak vooral blijkt te gaan om datgene waarvan de docent denkt dat het de leefwereld van leerlingen is, of zou moeten zijn. Het zou wenselijk zijn dat huidige projecten die zich richten op contextrijk onderwijs meer lering uit deze PLON-ervaringen zouden trekken.

15. Hier past enige nuancering omdat het begrip *cognitief conflict* nogal slordig gebruikt wordt. Ik wil daarvan een sterke en een zwakke variant onderscheiden. De zwakke variant is gekoppeld aan verwondering, verrassing, verbazing; aan het ontdekken dat dingen anders zijn dan je dacht, of dat je iets interessants nog niet weet. Het gebruik hiervan past in een *positieve* didactische heuristiek, die we daarom juist in ons werk toepassen.

De sterke variant heeft te maken met de aandacht voor misconcepties. De onderwijsstrategie is er dan op gericht om door middel van een op te roepen conflict, leerlingen te laten ervaren dat ze over bepaalde zaken foute denkbeelden hebben, die ze moeten afleren en vervangen door de wetenschappelijk juiste. Deze *negatieve* didactische heuristiek wijzen we daarom af (zie ook Scott et al., 1992).

16. Het is niet ongebruikelijk dat common sense kennis en wetenschappelijke kennis scherp tegenover elkaar gezet worden als fundamenteel verschillend, maar men vergeet dan dat men als het ware twee eindpunten van een continuum vergelijkt (Reif & Larkin, 1991). Naar mijn idee is er geen reden om te veronderstellen dat het denken en doen van een wetenschapper zich fundamenteel, dus meer dan gradueel, onderscheidt van dat van een 'gewoon' mens, behalve dat hij een bepaalde kennis en ervaring heeft opgebouwd op zijn terrein. En dat hij die kennis en ervaring meestal gebruikt om een bepaald theoretisch doel na te streven, in plaats van de praktische gerichtheid van common sense. Einstein sprak in dit

verband dan ook van wetenschap als 'organised common sense'. Desalniettemin doet zich in het geval van de natuurwetenschap hier een continuïteitsprobleem voor, waarover de opvattingen verschillen.

Voor de wiskunde doet zich dit probleem volgens Freudenthal (1991) niet voor: "Common sense experiences, as it were, coalesced into rules (such as the commutativity of addition), and these rules again became common sense, say of a higher order, as a basis of even higher order mathematics ...". Hiermee benadrukt hij de continuïteit van wetenschapsontwikkeling (of alleen voor wiskunde?) als steeds op elkaar voortbouwende lagen van common sense, althans voor diegenen die daarmee voldoende vertrouwd zijn geraakt. "Common sense reveals itself in those actions –physical and mental - which are common to people who share common realities". Zo'n proces zou dus ook met leerlingen doorlopen moeten worden.

17. Een uitgebreide theoretische onderbouwing hiervan is gegeven door Klaassen (1995). Dit betekent natuurlijk niet dat leerlingen nooit incorrecte dingen zouden zeggen. Dit gebeurt met name veelvuldig als gevolg van weinig succesvol verlopen onderwijs, maar dat is niet de situatie die wij hier bedoelen.

18. Dat dit in de onderwijspraktijk niet vanzelfsprekend is moge blijken uit het volgende citaat (Gunstone, 1992):

In the following typical example, the student (P) has been asked by the interviewer (O) about the purpose of the activity they have just completed.

P: He talked about it...That's about all...

O: What have you decided it [the activity] is all about?

P: I dunno, I never really thought about it ... just doing it – doing what it says ... its 8.5 ... just got to do different numbers and the next one we have to do is this [points in text to 8.6].

19. In feite komt het er op neer dat we leerlingen zoveel mogelijk zelf natuurwetenschappelijk bezig willen laten zijn. D.w.z. vanuit een (natuurwetenschappelijke) vraag (samen met de docent) gaan zoeken naar een antwoord en dat antwoord ook interpreteren en accepteren in het licht van die vraag, leidend tot nieuwe vragen, etc. Overigens betekent dit niet dat de leerling nu alles zelf moet ontdekken, er is wel degelijk een belangrijke rol weggelegd voor de inhoudelijke inbreng van de docent (en andere informatiebronnen). Dit gezamenlijk zoekproces komt dan in de plaats van de overdracht van (kant en klare) natuurwetenschappelijke kennis door de docent.

Freudenthal spreekt in dit verband van wiskundeonderwijs gebaseerd op 'mathematics as a human activity', in tegenstelling tot onderwijs dat gebaseerd is op het overdragen van wiskunde als kant en klaar product.

In analogie gaat het ons dus om 'natuurwetenschap als menselijke activiteit'. Dit moet men niet verwarren met het vroegere 'discovery learning', waaraan een te naïeve inductief-empirische wetenschapsopvatting ten grondslag lag. Immers, natuurwetenschappelijke kennis als empirisch gevalideerde menselijke constructies laat zich niet zomaar aflezen uit de 'feiten'.

20. Een ideale uitwerking van probleemstellend onderwijs zou dus zijn om leerlingen er toe te brengen om juist die vragen te stellen (of in ieder geval te waarderen) die voor hun beantwoording precies vragen om de kennis die we hen ook juist zouden willen onderwijzen. Het zal echter duidelijk zijn dat dit ideaal niet altijd haalbaar is, zodat er dan toch een beroep gedaan zal moeten worden op een zekere forcering van leerlingen in de gewenste richting.

De term 'probleemstellend' is ingevoerd door Ten Voorde (1977), die er overigens iets anders mee bedoelde. Zo schrijven Kaper en Ten Voorde (1992) dat een onderwijsaanpak in hun ogen probleemstellend wordt genoemd als auteur of leraar probeert leerlingen te laten ervaren dat een vorige (taal)context niet meer voldoet, voordat hij een nieuwe (taal)context expliciet aanreikt. Dat betekent dus dat hun probleemstellende aanpak er toe leidt dat leerlingen een zeker ongenoegen ervaren met hun eigen taalgebruik en als gevolg daarvan, hetzij uit zichzelf, hetzij in gesprek met de docent, komen tot een nieuwe taalafpraak. Deze opvatting is geheel gericht op begripsontwikkeling, en geeft geen aandacht aan het expliciet

- oproepen van motieven om iets te gaan/willen leren. Natuurlijk zou het ervaren van een probleem met eigen woordgebruik als een impliciet motief voor aanpassing daarvan geïnterpreteerd kunnen worden, maar zo'n ervaring biedt verder geen enkel (globaal) zicht op het waarom daarvan en op het waar-naar-toe. Kortom leerlingen weten ook in die situatie niet waarom ze wat aan het doen zijn.
21. In dit verband is de cultuur-historische benadering van Van Aalsvoort (2000) interessant. Zij heeft laten zien hoe vanuit deze optiek gekomen kan worden tot de vormgeving van een geheel nieuw scheikunde-curriculum.
- In de cultuur-historische benadering wordt de natuurwetenschap niet als een geïsoleerd verschijnsel opgevat, maar als onderdeel van de hele cultuur in zijn historische context. Onderwijzen van natuurwetenschap wordt dan een proces van enculturasatie.
22. Voorbeeldig in de zin dat hierin een nagestreefde oplossing voor een bepaald didactisch probleem tot in detail is uitgewerkt.
23. Een bijzonder methodologisch probleem is het interpreteren van het geprotocolleerde onderwijsleerproces (Klaassen & Lijnse, 1996). Daarvoor is het belangrijk om expliciet te zijn t.a.v. het perspectief van waaruit die interpretatie plaatsvindt. Is dit perspectief de verwachting of de wens van de onderzoeker, en *zijn* referentiekader, dan is het gevaar groot dat afwijkingen van die verwachtingen al snel geïnterpreteerd worden als 'fouten' van leerlingen en/of docent, of als inhoudelijke misconcepties. Veel moeilijker is het om het om protocollen van gesprekken van leerlingen onderling of met de docent te interpreteren vanuit het perspectief van deze respectievelijke actoren. Dennett (1995) schrijft over de interpretatie van geprotocolleerde bandopnamen als volgt:
- "We moeten verdergaan dan de tekst; we moeten hem interpreteren als een verslag van *taalhandelingen*; niet alleen als een manier van uitspreken of van opzeggen, maar als vragen, antwoorden, commentaar, verzoek tot opheldering, hardop nadenken of zelfaanmoediging. Dit soort interpretatie vereist dat we wat ik de *intentionele houding* noem, innemen; we dienen de geluidsproducent te behandelen als een handelend persoon, een rationeel handelend persoon, die ergens in geloof en iets verlangt en die andere mentale toestanden kent die iets van intentionaliteit laten zien, iets van 'gerichtheid', en wiens daden verklaard (of voorspeld) kunnen worden op grond van de inhoud van deze toestanden. Daarom moeten de voortgebrachte geluiden geïnterpreteerd worden als dingen die de proefpersoon *zeggen wilde*, als *beweringen die hij wilde doen* om verschillende redenen."
24. Ten Voorde schreef in dit verband over 'uitleidend onderwijs'. In dit verband is het ook relevant om te wijzen op het belang van het voorkomen van 'verstudieboeking' (Joling, Ten Voorde & Verdonk, 1990), alsmede op dat van het voorkomen van 'sluipende (taal)contextwisselingen' (Kaper & Ten Voorde, 1991).
25. In dit scenario, en dus ook in de daaruit volgende didactische structuur, wordt in feite de samenhang in de ontwikkeling van de drie componenten van de onderwijsleersituatie, het lesmateriaal, het (coöperatieve) leren van de leerlingen en het onderwijzen van de docent, in relatie tot elkaar beschreven. In een probleemstellende benadering vinden zowel het leren van de leerling, als het onderwijzen van de docent op twee niveaus plaats: een cognitief en een metacognitief niveau. Voor de leerling gaat het hier om het leren van en over vakinhoud. Terwijl de docent in zijn onderwijzen zowel inhoudelijk-didactisch als meta-didactisch moet kunnen opereren. Hiermee wordt bedoeld dat de docent niet alleen een aan de onderwijsleeractiviteiten gekoppelde inhoudelijk docerende taak heeft, maar ook om het inhoudelijk verloop van het onderwijsleerproces op regelmatige momenten tesamen met de leerlingen te expliciteren en te bereflecteren, in het licht van de globale en lokale motieven. Dit gebeurt vooral bij het afronden van een vorige en het inleiden van een nieuwe onderwijsleeractiviteit. Het doel is immers dat ook de leerling zich steeds bewust wordt en blijft van deze globale en lokale motieven, dat het hem steeds duidelijk is hoe daar aan gewerkt is

en gaat worden en zich realiseert waarom hij wat moet gaan doen. Het is onze ervaring dat dit meta-didactisch onderwijzen voor docenten niet alleen heel nieuw is, maar, ondanks de aanwijzingen in de scenario's, ook heel moeilijk. Het vormt daarmee één van de bottlenecks voor een bevredigend verloop van onze probleemstellende benadering.

26. Het is misschien goed er op te wijzen dat de aard van een didactische theorie afwijkt van de aard van een natuurkundige theorie. Klaassen schrijft hierover (met kleine wijzigingen van mijn hand) als volgt: "It should be noted that the predictions a didactical theory and structure make are to be understood like the teleological (or: reason-) explanations we give of human thought and action. The latter render someone's behaviour intelligible to us, because they describe his behaviour as being governed by the basic standards of rationality he shares with us. They are, because of their appeal to rationality, description and explanation (rationalization) in one.

The aim of improving didactical structures is not the same as the aim of improving empirical theories in the physical sciences (and physics in particular). Theories of the latter kind aim at a vocabulary containing concepts with precise conditions of application and at a closed system of strict laws in which those concepts are related, such that the occurrence of events can be predicted and explained with maximum precision.

A didactical theory cannot aim at that, however. For a didactical theory essentially deals with *mental* concepts such as belief, desire, meaning, intention, etc. And because those mental concepts only have application against a background of rationality, they resist incorporation into a closed system of strict laws. A didactical theory does not predict or explain by recourse to a system of strict laws, but by an appeal to rationality. The aim of improving a didactical theory thus cannot be to eventually arrive at 'the ultimate' didactical theory. There is also no need for such an ultimate didactical theory, however. What matters is whether a didactical theory is 'good enough', whether it serves as a valuable guideline for understanding and guiding what goes on in actual classes. In each of these classes, however, the teaching/learning process, will without doubt meander in a somewhat different way around the main path predicted by the didactical theory".

27. Zo zien, enerzijds, onderwijskundigen nog steeds niet goed wat eigenlijk de opbrengst is van vakdidactisch ontwikkelingsonderzoek. Een voorbeeld hiervan is de recensie van Van den Akker (1997) van het, volgens mij, uitstekende ontwikkelingsonderzoek van Klaassen (1995), waarin hij schrijft: "Ofschoon ik een warm voorstander ben van ontwikkelingsonderzoek, betwijfel ik of Klaassens aanpak nog wel onder die noemer gerangschikt kan worden. Er lijkt veeleer sprake van (als uiterst grondig en creatief te karakteriseren) ontwikkelarbeid dan van onderzoek". Terwijl, anderzijds, de uit zulk onderzoek resulterende 'voorbeeldige' onderwijsmaterialen en didactische theorie toch nog vaak een behoorlijke vertaalslag vragen om ook in het 'gewone' onderwijs breder inzetbaar te kunnen zijn.
28. Ter voorkoming van misverstand, het gaat uiteraard alleen om dat deel van het leerproces dat de pretentie kan hebben om grensverleggend te zijn voor wat betreft het *publieke* debat over didactische kennis.
29. Deze structuur kan, in termen van Gravemeijer (1994, 2000), beschouwd worden als een didactisch model *van* een onderwijsleertraject en daarmee tevens als een model *voor* verdere didactische theorievorming.
30. Wat is precies de pretentie van zo'n structuur? Het is natuurlijk niet zo dat dit de enig acceptabele wijze voor de behandeling van een onderwerp kan zijn. Maar deze structuur pretendeert wel een weg te beschrijven die in voldoende mate een voor leerlingen coherent, inzichtelijk en motiverend leerproces, mogelijk maakt, en daarmee een onderwijsleerproces van voldoende didactische kwaliteit.
31. Dit is dus een voorbeeld van wat ik eerder, t.a.v. een cognitief conflict, een positieve didactische heuristiek noemde.

32. Ik gebruik hier termen, zoals beschrijvend en theoretisch niveau, die niet onproblematisch zijn. Deze termen zijn ontleend aan Ten Voorde (1977), maar ook hier wijken we weer af in betekenis. Kort gezegd gebruikt Ten Voorde de term beschrijvend niveau als het gaat om empirische generalisaties die een samenhang in (ervaring van) verschijnselen weergeven. Hieraan voorafgaand spreekt hij van een grondniveau wanneer nog sprake is van situatiegebonden en aanwijzend taalgebruik. Een kenmerk van zijn grondniveau is dat er wel 'aandachtsselectie' heeft plaatsgevonden. Deze aandachtsselectie heeft bij Ten Voorde betrekking op ongenoegen met het woordgebruik, waarmee dan nog geen argumentatie mogelijk zou zijn. In onze structuur zouden we, in analogie, het 'komen tot het stellen van het praktisch probleem' kunnen benoemen als het bereiken van een 'inhoudelijk-motivatieel grondniveau' dat vraagt om de ontwikkeling van een beschrijvend kennisniveau. Hieruit moge blijken dat in onze optiek de aandacht voor begrips- en taalontwikkeling (behoefte aan precisering van de termen 'stof' en 'straling') is ingebed in een bredere motivatieel-didactische context. Zo kunnen we ook 'het komen tot het formuleren van een behoefte aan dieper begrijpen' interpreteren als een 'inhoudelijk-motivatieel grondniveau' voor de ontwikkeling van het daarop volgend theoretisch niveau. Het is deze aandacht voor het doen ontstaan van inhoudelijke locale en globale motieven die kenmerkend is voor een probleemstellende benadering en die, in ieder geval in expliciete zin, ontbreekt in het werk van Ten Voorde/Van Hiele. In dit verband zij nog benadrukt dat de aandacht voor inhoudelijke motieven niet hetzelfde is als 'het leuk vinden' (gemotiveerd zijn voor). Immers, je kunt precies weten waarom je iets doet of moet gaan doen en er desondanks toch niet voor gemotiveerd zijn.

Kaper (1997) gebruikt de term theoretisch niveau op een andere manier, nl. als binnen een empirische context het niveau van het expliciteren van de (axiomatische) samenhang in de empirische generalisaties wordt bereikt. D.w.z. dat dan het 'op weg zijn naar (een beschrijvende theorie)' kan worden afgesloten en kan worden overgegaan naar 'het redeneren vanuit (een beschrijvende theorie)'. Dit heeft overeenkomsten met het door Gravemeijer (1994) gebruikte idee van 'model van' en 'model voor'. De beschrijving van Kaper, grotendeels ontleend aan Van Hiele (1973), is dus gericht op het identificeren van niveaus in de verwoording van lerenden die grotendeels op grond van eigen ervaringen geleid op weg zijn naar het zich eigen maken van een (natuurwetenschappelijk) begrip. Hij spreekt daarom ook niet van kennis- of begripsniveau maar van niveaus in woordgebruik en kwaliteit van argumentaties. De didactische claim die hier aan verbonden kan worden is dat het voor het inzichtsvol bereiken van die kennis ook noodzakelijk is om die niveaus in de aangegeven volgorde te doorlopen. Het een en ander houdt, m.i. in dat de door Kaper/Van Hiele bedoelde structuur beschouwd kan worden als een specifiek op begripsontwikkeling gerichte fijnstructuur binnen de hier door ons ontwikkelde globalere structuur.

Alhoewel deze didactische claim ook in onze structuur aanwezig is, sluit onze terminologie meer aan bij wat in de wetenschapsfilosofie gewoonlijk bedoeld wordt met een beschrijvend (empirisch) en een verklarend (theoretisch) kennisniveau. Maar het gaat hier dan niet om niveaus in het *leerproces* van kennis, maar om niveaus in *te leren* kennis. De interpretatie van theoretisch kennisniveau sluit dan aan bij het idee van 'dieper begrijpen', bijvoorbeeld wanneer wordt overgegaan van een empirische beschrijving naar een verklaring in termen van een *onderliggend mechanisme*. Zo zouden we de algemene gaswet een beschrijvende theorie (alhoewel het goed kunnen hanteren daarvan, naar mijn idee, een volgens Kaper/Van Hiele theoretisch argumentatieniveau vereist) kunnen noemen en de kinetische gastheorie een verklarende. Dit onderscheid roept overigens allerlei bekende problemen op (immers ook met de algemene gaswet kun je zaken verklaren), zoals wat dan wel, in algemene zin, het essentiële verschil is tussen beschrijven en verklaren, dan wel tussen empirische en theoretische kennis, maar toch is de terminologie een veelgebruikte die binnen de actuele gebruikscontext ook

meestal voldoende helder is (d.w.z. in absolute zin geven deze termen problemen, maar in relatieve zin zijn ze goed bruikbaar (zie ook Kuipers & Zandvoort, 1985)).

Kortom aan de nagestreefde niveau-indeling zijn nog allerlei haken en ogen verbonden die vragen om een zorgvuldiger analyse. Klaassen beperkt zich tot praktische en theoretische kennis gekoppeld aan het *doel* waarvoor en daarmee de context waarbinnen kennis verworven wordt en wijst een verdere niveau-indeling af. Wanneer echter wel een niveau-indeling wordt nagestreefd, zoals in dit artikel, dan komt dit doel/context onderscheid hier nog bovenop. Kortland (2001) gebruikt in zijn didactische structuur de 'lege' term operationeel niveau om spraakverwarring met de Ten Voordiaanse terminologie te voorkomen.

33. Deze structuur bestaat daarom uit drie kolommen, terwijl de voorgaande er slechts twee had. Omdat we hier twee hoofddoelen nastreven, zijn er ook twee onderwijsleerprocessen te onderscheiden, die ieder hun eigen voortgang hebben..
34. Hiermee sluit ik me dus weer aan bij de gebruikelijke wetenschapsfilosofische classificering. Volgens de in de vorige noot beschreven terminologie van Kaper zou men, zeker als het gaat om de ideale gaswetten, moeten zeggen dat het, in de praktische verwervingscontext, gaat om een theoretisch niveau.
35. Het leefwereldidee t.a.v. deeltjes, d.w.z. dat een deeltje een klein deel van iets groters is, en dat dus nog alle eigenschappen daarvan heeft, dient hier juist vermeden te worden omdat dit ten grondslag ligt aan veel in de literatuur gerapporteerde 'misconcepties'.
36. Hier ligt, voor het onderhavige onderwerp, een belangrijk probleem dat, ter voorkoming van misverstanden, tevens nog eens overduidelijk illustreert dat een constructivistische bottom-up benadering niet inhoudt dat leerlingen alles zelf moeten bedenken. Integendeel, de leraar heeft een cruciale taak, ook t.a.v. de introductie van nieuwe kennis.

In de structuur is nu de vraag aan de orde hoe je het gedrag van gassen zodanig kunt problematiseren dat er een noodzaak ontstaat voor, c.q. een behoefte aan deeltjes. Naar mijn oordeel kan dit niet door nog meer inhoudelijke vragen te stellen, bijvoorbeeld over het gedrag van gassen in nieuwe situaties. Dit soort vragen kan immers altijd beantwoord worden door nog meer beschrijvende kennis van het gedrag van gassen. Op die manier kun je geen behoefte aan deeltjes creëren. Daarvoor is immers nodig dat je op een kwalitatief andere manier naar hetzelfde gaat kijken. Dus niet 'hoe gedraagt gas zich', maar 'waarom gedraagt het zich zoals het zich gedraagt'. Het stellen van zo'n waarom vraag vraagt dus dat je uit het niveau stapt waarop je tot dan toe gewend bent te denken. Maar dan moet daarvoor dus wel een aanleiding zijn. Die aanleiding zal voor leerlingen zelf niet gemakkelijk ontstaan, omdat voor hen dat niveau voldoet. Het geeft antwoord op hun vragen (voorzover ze die hebben). Het is dus de taak van de docent om niet alleen de nieuwsgierigheid op te roepen van waaruit de 'waarom-vraag' kan ontstaan, maar ook om deze vast te houden en te leiden tot het stellen van een 'is-vraag' (wat is een gas eigenlijk?). Een waarom-vraag zal immers, als je nog geen idee hebt over wat er nog meer over te zeggen valt, altijd nog op hetzelfde niveau beantwoord worden, nl. gassen gedragen zich nu eenmaal zo omdat ze gas zijn. Pas door de is-vraag te stellen wordt je gedwongen anders te gaan kijken. Maar dan doet zich een nieuw probleem voor. Het deeltjesbegrip dat we nodig hebben houdt in dat deeltjes essentieel iets anders zijn dan 'kleine brokjes'. Maar je mag niet van leerlingen verwachten dat zij überhaupt iets anders *kunnen* zeggen dan dat. En dat lijkt geen vruchtbaar uitgangspunt om te komen tot *échte* deeltjes. We hebben hier dus een moment geïdentificeerd waarop het essentieel is dat de docent zelf de kern van een verder te ontwikkelen hypothetisch deeltjesmodel introduceert. Een kern die enerzijds hanteerbaar moet zijn voor leerlingen, en anderzijds productief moet kunnen worden uitgebouwd.

37. Gedacht kan hier worden aan de bekende SPA-heuristiek in zijn meer gedetailleerde versie.
38. Deze fasering lijkt sterk op een bekend model van lesplanning: ophalen van voorkennis (huiswerk overhoren), nieuwe kennis verwerven (nieuwe theorie

behandelen), integreren met bestaande kennis (enkele voorbeelden behandelen), toepassen van nieuwe kennis (sommen maken).

Hieruit blijkt dat je aan het concept 'didactische fasering' in zekere zin een 'fractale structuur' zou kunnen toekennen. Zo'n fasering speelt op alle niveaus, van een enkele onderwijsleeractiviteit, van een enkele les, van een lessenserie, van meerdere lessenseries, tot een totaal curriculum. Eenzelfde opmerking geldt, denk ik, ook voor het begrip didactische structuur.

39. OsaEV staat voor: Oriënteren, Sorteren, abstractie controleren, Expliciteren, Verwerken. Een model gericht op het leren van wiskundige begrippen. Later is dit model verruimd tot OOV: Oriënteren, Ontwikkelen, Verwerken. Van Dormolen noemde dit modellen voor leerstofordening. Beter is het, denk ik, om te spreken van ordenen van onderwijsleeractiviteiten.

Literatuur

- Aalsvoort, J. van (2000). *Chemistry in Products*. Proefschrift: Universiteit Utrecht.
- Abraham, M.R. (1998). The learning cycle approach as a strategy for instruction in science. In B.J. Fraser & K.G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp.513-524). Dordrecht: Kluwer.
- Akker, J. van den (1997). Boekbespreking, *Tijdschrift voor Didactiek der β -Wetenschappen*, 14, 97-99.
- Akker, J. van den (1999). Principles and methods of development research. In J. van den Akker, R. Branch, K. Gustafson, N. Nieveen & T. Plomp (Eds.), *Design Approaches and tools in education and training* (pp. 1-14). Dordrecht: Kluwer.
- Dennett, D.C. (1995). *Het bewustzijn verklaard*. Amsterdam: Contact.
- Dormolen, J. van (1981). *Didactiek van de Wiskunde*. Utrecht.
- Driel, J. van & Verloop, N. (1998). 'Pedagogical content knowledge': een verbindend element in de kennisbasis van docenten. *Pedagogische Studiën*, 75, 225-237.
- Driver, R. & Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 5-12.
- Driver, R., Newton, P. & Osborne, J. (2000). Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. *Science Education*, 84, 287-312.
- Duit, R. & Treagust, D.F. (1998). Learning in science – From behaviourism towards social constructivism and beyond. In B.J.Fraser & K.G.Tobin (Eds.), *International Handbook on Science Education* (pp. 3- 25). Dordrecht: Kluwer.
- Duschl, R. (2000). Making the nature of science explicit. In R. Millar, J. Leach & J. Osborne (Eds.) *Improving science education – The contribution of research* (pp. 187-206). Buckingham: Open University Press.
- Eijkelhof, H.M.C. (1990). *Radiation and Risk in Physics Education*. Utrecht: CD- β Press.
- Eijkelhof, H.M.C., e.a. (1986). Op weg naar vernieuwing van het natuurkunde-onderwijs, Den Haag: SVO/PLON.
- Fraser, B.J. & Tobin, K.G. (Eds.) (1998). *International Handbook of Science Education, Part One and Two*. Dordrecht: Kluwer.
- Freudenthal, H. (1991). *Revisiting Mathematics Education*. Dordrecht: Kluwer.
- Gabel, D.L. (ed.) (1994). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: Macmillan.
- Genderen, D.van (1989). *Mechanica-onderwijs in beweging*. Utrecht: W.C.C.

- Gravemeijer, K.P.E. (1994). *Developing Realistic Mathematics Education*. Utrecht: CD-β Press.
- Gravemeijer, K.P.E., Cobb P., Bowers, J. & Whitenack, J. (2000) Symbolizing, Modeling and Instructional Design. In: P. Cobb, E. Yackel & K. McClain (Eds.), *Symbolizing and communication in mathematics classrooms: Perspectives on discourse, tools, and instructional design* (pp. 225-273). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Gunstone, R. (1992). Constructivism and metacognition: theoretical issues and classroom studies. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.) *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies* (pp.129-140). Kiel: IPN.
- Hewson, P. & Hewson, M. (1992) The status of students' conceptions. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.) *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies* (pp.59-73). Kiel: IPN.
- Hewson, P. & Lemberger, J. (2000). Status as the hallmark of conceptual learning. In R. Millar, J. Leach & J. Osborne (Eds.) *Improving science education – The contribution of research* (pp. 110-125), Buckingham: Open University Press.
- Joling, E., Voorde, H.H. ten & Verdonk, A.H. (1990). Verstudieboeking: de totstandkoming van feiten, beschouwd vanuit een didactische optiek. *Tijdschrift voor Didactiek der β-Wetenschappen*, 8, 197-221.
- Jong, O. de, Kortland, K., Waarlo, A.J., & Buddingh', J. (Eds) (1998). *Bridging the Gap between Theory and Practice: What Research Says to the Science Teacher*. Hatfield: ICASE.
- Kaper, W.H. & Voorde, H.H. ten (1991). Problemen in begripsontwikkeling in relatie tot de aanpak van docenten en studieboekschrijver. *Tijdschrift voor Didactiek der β-Wetenschappen*, 9, 3-28.
- Kaper, W.H. & Voorde, H.H. ten (1992). De probleemstellende onderwijssituatie. *Tijdschrift voor Didactiek der β-Wetenschappen*, 10, 3-30.
- Klaassen, C.W.J.M. (1995). A problem posing approach to teaching the topic of radioactivity. Utrecht: CD-β Press.
(<http://pablo.ubu.ruu.nl/~proefsch/01873016/inhoud.htm>)
- Klaassen, C.W.J.M. & Lijnse, P.L. (1996). Interpreting students' and teachers' discourse in science classes: an underestimated problem? *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 115-34.
- Kortland, J. (2001). *A Problem Posing Approach to Teaching Decision Making about the Waste Issue*. Utrecht: CD-β Press.
- Kuipers, Th. & Zandvoort, Z. (1985). Empirische wetten en theorieën. *Kennis en Methode*, 49-63.
- Lijnse, P.L. (1994a). Probleemoplossen en algemene vaardigheden: een poging tot discussie. *Tijdschrift voor Didactiek der β-Wetenschappen*, 12, 246-260.
- Lijnse P.L. (1994b). Trends in European research in science education? in D. Psillos (ed.) *European Research in Science Education II*. Thessaloniki: Art of Text S.A.
- Lijnse, P.L. (1995a). 'Developmental research' as a way to an empirically based 'didactical structure' of science. *Science Education*, 79, 189-99.
- Lijnse, P.L. (1995b). Natuurkunde-didactisch onderzoek: de moeite waard? *Tijdschrift voor Didactiek der β-wetenschappen*, 13, 147-164.

- Lijnse, P.L. (2000). Didactics of Science: the forgotten dimension in science education research? In R.Millar, J.Leach & J.Osborne (Eds.) *Improving science education – The contribution of research* (pp. 308-326). Buckingham: Open University Press.
- Millar, R. & Osborne, J. (1999). *Beyond 2000: Science education for the future*. London: KCL.
- Ogborn, J. (1997). Constructivist metaphors of learning science. *Science & Education*, 6, 121-133.
- Reif, F. & Larkin, J.H.(1991). Cognition in Scientific and Everyday Domains: Comparison and Learning Implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 733-760.
- Roebertsen, H. (1996). *Integratie en toepassing van biologische kennis*. Utrecht: CD-β Press.
- Scott, P.H., Asoko, H.M. & Driver, R.H. (1992). Teaching for conceptual change: a review of strategies. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.) *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies* (pp. 310-329). Kiel: IPN.
- Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. In R.Millar, J.Leach & J.Osborne (Eds.), *Improving science education – The contribution of research* (pp. 27-47). Buckingham: Open University Press.
- Vollebregt, M.J. (1998) *A Problem Posing Approach to Teaching an Initial Particle Model*. Utrecht: CD-β Press.
- Voorde, H.H. ten (1977). *Verwoorden en Verstaan*. Den Haag: Staatsuitgeverij.