

Modellen en de ontwikkeling van het (natuur-) wetenschappelijk denken van leerlingen.

B. van Oers,
Vakgroep Onderwijskunde
Vrije Universiteit Amsterdam

Summary

The development of scientific thinking in school is one of the main educational aims in the modern world. This general educational aim implies, among other things, that we teach our pupils to (re)construct and use mental models in the process of solving theoretical or practical problems. In this article we have tried to show how this goal can be achieved starting from a cultural historical (Vygotskian) point of view. The development of scientific thinking can be fostered by involving pupils from an early age in a scholarly activity that is organised according to the rules of the real scientific enterprise. In this social activity pupils should be brought in the position to take a meaningful role (in agreement with their level of cognitive and motivational development), while the teacher's essential role is to take care of the execution of those parts of the activity that the pupils cannot yet carry out themselves. In this learning activity (Davydov) the pupils gradually can interiorise the possibility to (re)construct and use (scientific) models. Basically this procedure is an elaboration of the Vygotskian view on interiorisation and the zone of proximal development. Didactically this educational procedure refers to a teaching process that capitalizes on model-based discussions between teacher and pupils

1. Inleiding

In de afgelopen decennia is de belangstelling voor modellen als didactisch hulpmiddel in het onderwijsleerproces toegenomen (zie uit de overvloedige literatuur in dezen o.a. Davydov, 1977; Davydov & Vardanjan, 1981; Engeström & Hedegaard, 1985; Gentner & Stevens, 1983; Haenen & Van Oers, 1986; Licht, 1987). De basale overweging daarbij is, dat modellen het denken, c.q. het probleemoplossingsproces ondersteunen en structureren en als

zodanig allerlei begrips- en redeneerproblemen bij leerlingen kunnen helpen voorkomen. In de meeste gevallen genieten de voorgestelde en gebruikte didactische modellen een zekere wetenschappelijke erkenning en in die hoedanigheid kunnen deze dan ook bijdragen aan de bevordering van de kwaliteit van het onderwijs, zoals zichtbaar in de aard van de leerresultaten bij leerlingen. Ongetwijfeld zijn deze 'wetenschappelijk gekeurde' modellen onmisbaar waar het gaat om het correct overbrengen van complexe wetenschappelijke inzichten van deze tijd.

De ervaringen hebben inmiddels echter ook geleerd, dat het gebruik van zulke didactische modellen niet altijd bij alle leerlingen tot een succesvol leerproces leidt. De meest besproken problemen in dit kader zijn:

- a. De leerling neemt het model niet over, maar blijft zijn eigen, vaak beperkte of onjuiste handelingen uitvoeren. Hoewel het aangereikte model wetenschappelijk gezien volstrekt adequaat is, blijkt het bij (bepaalde) leerlingen niet aan te slaan. Vaak aangevoerde verklaringen voor zulke feiten zijn: ongeschikte didactisering, de pre-concepties van de leerlingen zijn nog te hardnekkig om zich te laten transformeren, de leerling is nog niet toe aan deze vorm van formeel denken.
- b. De leerling neemt het model wel over, maar zijn handelingen op basis daarvan blijven louter mechanische, procedurele operaties. In dit geval zijn er slechts *formalismen* gevormd; de wendbaarheid is gebrekkig, het inzicht ontbreekt. Het gevaar voor de vorming van formalismen ontstaat met name, wanneer de leerling geen inzicht ontwikkelen kan in de zinvolheid van het aangereikte model, maar de vereiste handelingen op zich gemakkelijk kan (leren) uitvoeren. In dat geval ontstaat er geen persoonlijke binding van de leerling met het geleerde handelingspatroon en het daarbij horende model (zie verder o.a. Carpay, 1987; Van Oers, ter perse).

Om een oplossing voor deze problemen naderbij te brengen, is een verdere psychologisch-didactische analyse van de functie van modellen in het handelen en in leerprocessen vereist. In dit artikel wil ik vanuit een bepaalde psychologisch-didactische optiek een benadering van modellen in het onderwijs nader uitwerken. Met opzet blijf ik daarbij binnen het algemene psychologisch-didactische kader en wil ik niet proberen de inbreng van de vakdidacticus over te nemen. Ik doe dit *niet* vanuit de veronderstelling, dat uit een algemene psychologisch-didactische

theorie direct praktische onderwijsvormen af te leiden zouden zijn. De vormgeving van de onderwijspraktijk blijft een interdisciplinaire aangelegenheid, die geëffectueerd moet worden via discussies tussen de diverse betrokkenen. Ik denk, dat die discussies het meest gediend zijn met consequente uiteenzettingen van de afzonderlijke standpunten. Met mijn uiteenzetting wil ik primair slechts de onderwijsleertheorie aanspreken van vakdidactici¹. Het ligt dan ook *niet* in mijn bedoeling hier vergaand uitgewerkte (-didactische) onderwijsvoorbeelden te geven van modelgebruik door leerlingen.

2. De onderwijsbaarheid van het denken van leerlingen

De wijze waarop de problematiek van het modelgebruik in het onderwijs benaderd wordt, hangt sterk af van de leer- en ontwikkelingstheorie van waaruit men vertrekt. In deze paragraaf wil ik daar dan ook eerst kort op in gaan.

In de huidige onderwijswetenschappen zijn momenteel grosso modo twee hoofdbenaderingen te onderscheiden die van belang zijn (geweest) in het denken over onderwijs en ontwikkeling (vgl. ook Van Parreren, 1982).

De Neo-Piagetiaanse benadering.

Deze gaat ervan uit, dat de ontwikkeling van het denken uiteindelijk zal uitmonden in een vorm van formeel denken, waarvoor het werken met formules, hypothesen, modellen, voorwaardelijke clausuleringen, deducties e.d. kenmerkend zijn. De oorspronkelijke Piagetiaanse opvattingen over onbeïnvloedbaar zijn van dit ontwikkelingsproces en over de universaliteit van de ontwikkelingsstadia worden momenteel vrij algemeen afgewezen. Daarentegen wordt het belang van de geleide zelfontdekking nog steeds nadrukkelijk bepleit in dit kader. Bovendien wordt nog steeds vastgehouden aan een vaste, weliswaar niet aan stringente leeftijds grenzen gebonden, volgorde van ontwikkelingsstadia (het ontwikkelingspatroon), waarbij sprake is van een niet-variabele opeenvolging van kwalitatief verschillende cognitieve structuren (zie bijv. Van Haften e.a., 1986 voor een goed doordachte, moderne reconstructie van het genetisch structuralisme van Piaget). Kenmerkend daarvoor is, dat het curriculum moet beginnen met concrete, nauw aan de waarneming gelieerde handelingen die na verloop van tijd uitmonden in (domein)specifieke vormen van abstract denken. De nadruk in het Neo-Piagetiaanse psychologisch onderzoek ligt momenteel vooral op de 'processing

capacity', 'intuitive conceptions', op de ontwikkeling van de metacognitie en op de analyse van het expertgedrag in vergelijking met dat van beginners op een bepaald domein (zie verder voor een goed en recent overzicht, toegespitst op de 'sciences': Linn, 1986).

De cultuurhistorische benadering.

In deze benadering gaat men er ook van uit, dat ontwikkeling bestaat in kwalitatieve nieuwvormingen (herstructureringen, metaniveau's, hogere psychische functies). Echter, de aard van deze nieuwvormingen en van de structuur van het ontwikkelingspatroon zijn volgens deze opvatting een functie van de cultuur en, om preciezer te zijn, afhankelijk van de aard van de sociale activiteiten waarin de leerling in de loop van zijn leven (c.q. schoolloopbaan) betrokken is. Een van de basisideeën in deze benadering van de kinderlijke ontwikkeling is de door Vygotskij geïntroduceerde gedachte dat de ontwikkeling gestimuleerd kan worden door een kind tot *nieuwe* activiteiten te brengen die het nog niet zelfstandig aankan, maar wel met hulp van anderen. Het gebied van nieuwe activiteiten waarin het kind zinvol betrokken kan worden, wordt door Vygotskij en zijn navolgers aangeduid als de 'zone van de naaste ontwikkeling'. Onderwijs moet - aldus Vygotskij (zie o.a. 1978) - aangrijpen op de zone van naaste ontwikkeling van kinderen. In dat geval mogen we verwachten dat het onderwijs de ontwikkeling van kinderen stimuleert: niet zo zeer in tempo versnelt, maar vooral tot een kwalitatief nieuwe inhoud brengt.

Over de interpretatie van het begrip 'zone van de naaste ontwikkeling' doen de laatste tijd helaas nogal wat misverstanden de ronde (vgl. voor commentaar daarop Van Oers, 1987, p. 254-261; 1988a). Voor Vygotskij berust deze op een vorm van 'imitatie', waarin het kind samen met anderen (meestal ouderen) een cultureel-maatschappelijke activiteit "speelt", die het nog niet zelfstandig volledig aankan, maar wel als anderen daarbij helpen en de moeilijkere onderdelen daarvan voor hun rekening nemen. Men kan dit vergelijken met een kind dat zelf zijn schoenveters kan strikken, maar dat alleen als er iemand bij is die vertelt wat het achtereenvolgens moet doen. In een later stadium neemt het kind ook zelf deze rol van 'instructeur' over - dat wil zeggen: *interioriseert* die rol - en kan ten slotte volledig zelfstandig zijn schoenveters vastknopen. Ook voor cognitieve vaardigheden geldt dit. Zo zijn kinderen van vijf jaar

uitstekend in staat om boeken te lezen, mits iemand het verklanken van de lettertekens (woorden) voor zijn rekening wil nemen. Zij kunnen zelf wel de specifieke contextgebonden betekenis van de woorden interpreteren, namen onthouden, verbanden leggen, conclusies trekken (bijvoorbeeld zichtbaar in de reacties van kinderen als het spannend wordt), e.d. Pas later interioriseren zij de rol van 'verklanker'. Veel onderwijs is op deze manier te interpreteren en te optimaliseren.

Het verloop van de kinderlijke ontwikkeling kan door onderwijs en opvoeding in hoge mate beïnvloed worden. Dat wil overigens niet zeggen, dat we kinderen op elk willekeurig moment alles zinvol kunnen leren. Er zijn beperkingen aan de activiteiten waarin we kinderen zinvol kunnen betrekken. Deze beperkingen hangen samen met de kwaliteiten die de kinderen zich in voorafgaande leer- en ontwikkelingsprocessen al eigen gemaakt hebben. Op zijn minst moet het kind gemotiveerd zijn tot deelname aan de nieuwe activiteit, maar het moet ook beschikken over een minimaal handelingsrepertoire dat het spelen van een eigen zinvolle rol in die activiteit mogelijk maakt. Het heeft geen zin om een kind (met hulp) te leren optellen en aftrekken, zolang het nog niet in staat is hoeveelheden van een beperkte omvang correct af te tellen, niet weet wat het met die telwoorden aan moet. Een zinvolle deelname aan die wiskundige activiteit van het optellen en aftrekken is dan niet mogelijk.

Voor het onderwijs komt het er thans op aan, die cultureel-maatschappelijke activiteiten op te sporen en te beschrijven:

- a. waaraan leerlingen zinvol kunnen deelnemen, gelet op hun beschikbare motieven en handelingsrepertoire, maar die ze nog niet volledig zelfstandig aankunnen, en:
- b. waarin we leerlingen willen betrekken teneinde hen zo ook de functies (rollen) te laten eigen maken (te laten interioriseren), die van belang zijn voor het volbrengen van die activiteit en voor de verdere ontwikkeling van de betrokken leerlingen.

Het belang van de inbreng van de volwassenen voor het begripvormingsproces is door Vygotskij (1964) al aangetoond. In een reeks onderzoekingen kon hij laten zien, dat zich kwalitatief andere begrippen vormen, wanneer deze in de omgang met volwassenen (d.w.z. in onderwijs) tot stand komen in plaats van door spontane ontwikkelingen. Alleen door onderwijs kunnen zich

bewuste, wendbare en systematische begrippen vormen. Voortbouwend op Vygotskij heeft Davydov zulke begrippen 'wetenschappelijk' genoemd, mits deze voldoen aan de standaard van de vigerende wetenschappelijke inzichten. De methode tot het ontwikkelen van zulke *wetenschappelijke begrippen* is vooral door Davydov c.s. verder uitgewerkt. Vermeldenswaard is nog dat Davydov zich daarbij vooral richtte op de basisschool (zie Davydov, 1977; vgl. ook Van Parreren, 1982; Haenen & Van Oers, 1986). Juist in het optimisme ten aanzien van de onderwijsbaarheid van kinderen onderscheidt de cultuurhistorische benadering zich van de Neo-Piagetiaanse (vgl. ook van Oers, 1988).

Bovengenoemde verschillen tussen de Neo-Piagetiaanse en de cultuurhistorische benadering zijn met name zichtbaar in de functie die beide toekennen aan de analyse van het expertgedrag en de weg die wordt voorgesteld om leerlingen daartoe te brengen. In de Neo-Piagetiaanse benadering (en eigenlijk vrij algemeen in de cognitivistische psychologie) wordt expertgedrag altijd voorgesteld als een doel dat aan het *eind* van een ontwikkelingsproces bereikt moet worden. De componenten van dit expertgedrag (die uit de analyse naar voren komen) worden vervolgens getransformeerd naar afzonderlijke leerprocessen, die in de tijd geordend worden en die aldus de cognitieve antecedenten vormen voor het uiteindelijk door integratie te vormen expertgedrag. In schema zouden we dit als volgt kunnen voorstellen. Stel dat expertgedrag X is opgebouwd uit de componenten, A, B, C en D (bijv. probleemidentificatie, planning, actualisering van een adequate techniek, etc.). De standaardaanpak in de Neo-Piagetiaanse benadering is dan een ordening van afzonderlijke leerprocessen A', B', C', D' en X' (gericht op de realisatie van resp. A, B, C, D en de integratie van deze) in de tijd die uiteindelijk geïntegreerd worden tot X. Dus in schema:

A' -----> B' -----> C' -----> D' -----> X' -----> X

Fig.1 Schematische voorstelling van Neo-Piagetiaanse leertaak-analyse ten behoeve van gewenst leerresultaat X. Toelichting in de tekst.

Niet zelden zien we in deze benadering onderwijsprogramma's die gericht zijn op de ontwikkeling van zulke basale componenten (cognitive skills), bijvoorbeeld planning, metacognitie, probleem-

oplossen, modelgebruik, hypothesen stellen en toetsen (vgl. bijv. Anderson, 1981).

In de cultuurhistorische benadering zien we een volstrekt andere aanpak. De analyse van het expertgedrag moet de functies (zo men wil 'componenten') en de dynamiek van de expert-activiteit aan het licht brengen, teneinde kinderen vanaf het begin van hun leerproces te kunnen betrekken in een volledige imitatie van deze totale activiteit. De leerlingen nemen daarin in het begin nog slechts weinig functies voor hun rekening. De meeste worden verzorgd door oudere leerlingen en/of onderwijsgenenden. Van lieverlede maken de leerlingen zich echter ook deze functies eigen, totdat zij tenslotte de gehele activiteit zelfstandig kunnen volbrengen. Stel wederom dat het beoogde expertgedrag X de functies A, B, C en D omvat. In schema ziet het leerproces er dan als volgt uit (l = onder beheer van de leerling, L = onder beheer van de leerkracht).

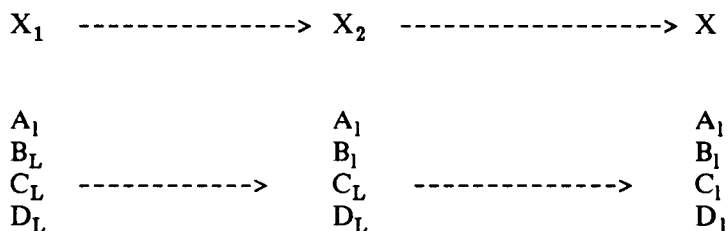


Fig.2 Schematische voorstelling van een handelingspsychologische leertaakanalyse ten behoeve van leerresultaat X. Handelingscomponenten onder het beheer van de leerling (l) of onder beheer van de leraar (L). Verdere toelichting in de tekst.

Het zal duidelijk zijn dat het hier om een langdurig leerproces gaat. Zouden we de Neo-Piagetiaanse benadering elementaristisch kunnen noemen, de cultuurhistorische benadering is dan holistisch (integratief) waarin vanaf het begin van het leerproces de gehele activiteit aan de orde is. Het begin van dergelijke leerprocessen ligt volgens deze opvatting niet pas in de puberteit, maar veel vroeger in de basisschool (vgl. Haenen & Van Oers, 1986). In het hierna volgende wil ik de cultuurhistorische benadering

dering van de ontwikkeling van het (natuur)wetenschappelijke denken verder volgen, om enkele implicaties van deze benadering te illustreren en de vruchtbaarheid daarvan plausibel te maken. Een vergaande verdediging van deze keuze kan ik hier niet aangaan (zie daarvoor onder meer Van Oers, 1987; 1988a en b). Ik begin met de analyse van het expertgedrag vanuit handelings-theoretische optiek.

3. Leeractiviteit: structuur en dynamiek

Tegen de achtergrond van het bovenstaande zouden we nu kunnen stellen: de ontwikkeling van het natuurwetenschappelijk denken bij leerlingen begint met het betrekken van leerlingen in een activiteit die een imitatie is van de activiteit van natuurwetenschappers. Voor goed begrip: daarbij gaat het *niet* om een exacte inhoudelijke reproductie van het gedrag van de moderne natuurwetenschapper, maar om een activiteit die naar structuur en dynamiek lijkt op die van de natuurwetenschapper-in-actie. Het gaat er dus niet om dat de leerlingen geconfronteerd worden met de problemen van de moderne natuurwetenschapper, maar dat de leerling betrokken wordt bij een activiteit die *de methode en de dynamiek* weerspiegelt volgens welke natuurwetenschappers problemen aanpakken.

Voor de inrichting van onderwijs dat aanstuurt op een 'imitatie' van deze activiteit is het van belang om de hoofdmomenten van deze activiteit op het spoor te komen en psychologisch te interpreteren. Er zijn momenteel tal van wetenschapstheoretische en -historische studies die enig licht werpen op de vraag naar de dynamiek van het (natuur)wetenschappelijk denken (zie o.a. Toulmin, 1972; Laudan, 1977; vooral ook Dijksterhuis, 1951). In die studies zien we, dat het wetenschappelijk denken altijd verbonden is aan *het oplossen van (praktische of theoretische) problemen*. In de oplossingsprocessen van wetenschappers zien we minstens de volgende kardinale momenten steeds weer terugkeren:

1. *Erkenning van probleem.*

Daarbij kan het nog gaan om:

- a. *praktische problemen*: in de omgang met de fysische of sociale realiteit schieten bekende gewoontes, procedures of inzichten tekort;
- b. *theoretische problemen*: de theorie voldoet niet aan de nor-

men die we daaraan opleggen (m.n. consistentie, volledigheid, eenvoud, voorspellingskracht, productiviteit van nieuwe feiten, e.d. spelen daarin een rol).

De erkenning van problemen is overigens niet uitsluitend een individuele zaak, maar hangt vaak mede af van de waardering die een of ander probleem geniet in een desbetreffende wetenschappelijke gemeenschap. De rol van het onderwijs is hierbij (zoals Kuhn terecht al aangaf) onmiskenbaar.

2. *Interpretatie van een probleem en actualisering van relevant geachte voorkennis.*

Ook hier doet de invloed van onderwijs zich gelden. Interpretatie van een probleem berust vaak op waarneming van de probleemsituatie en daardoor op de direct door die waarneming opgeroepen operaties en oplossingsmogelijkheden. In zulke gevallen wordt een probleemsituatie onmiddellijk geïnterpreteerd als een situatie waarin bepaalde bekende regels, wetten, technieken gelden (zonder dat daarmee de oplossing ook al meteen gegeven is). De natuurwetenschapper "ziet" in zulke gevallen onmiddellijk dat het bijv. gaat om een probleem dat met behulp van de energiebehoudswet kan worden opgelost. In vele gevallen kan hiermee echter niet volstaan worden en is een nader analyse vereist. Probleemoplossen bestaat dan uit het op basis van aanvullende analyse-gegevens kiezen van één van de beschikbare oplossingsmethoden.

3. *Modificatie van de eigen 'theorie'.*

In een aantal gevallen moeten de dan beschikbare denkbeelden aangepast worden om een probleem op te lossen. Er zijn aanvullende aannamen nodig, nieuwe operationalisaties, verdere specificaties van de theorie etc.. In deze gevallen is er sprake van ontwikkeling van de aanwezige theorie. Grubers (1980) typering van een theorie als een 'evolving system' is hier uitstekend van toepassing: het gaat om relatief kleine modificaties aan een vaste kern van min of meer gestabiliseerde denkbeelden. Een belangrijk hulpmiddel voor wetenschappers om tot modificaties te komen (nog voor men tot experimenteren over gaat) is het gedachtenexperiment (vgl. Sodiëv, 1987). Of de aangebrachte modificaties in de wetenschappelijke gemeenschap ook levensvatbaar zijn, is hiermee nog niet zeker.

4. *Polyloog².*

Het gaat hierbij om een verdediging van de nieuwe denkbeelden, c.q. van de voorgestelde modificaties aan bestaande denk-

beelden. Deze polyloog neemt de vorm aan van een discours met historische en contemporaine 'mee-denkers' (vgl. Davydov, 1983). Hierbij staan ons weer twee middelen ter beschikking (zie Van Oers, 1987):

- a. discussie over beweringen en argumentaties; hierin gaat het om de invoering en gezamenlijke weging van nieuwe argumenten ten gunste van een bepaalde opvatting/oplossing;
- b. empirisch onderzoek; het gaat hier om toetsing van beweringen aan een speciaal daartoe ingerichte realiteit (experiment), teneinde hiermee extra argumenten te verkrijgen ten gunste van een bepaalde opvatting of oplossing.

De inrichting van de polyloog is overigens zelf een historisch gegroeide opvatting over hoe kennisontwikkeling in de wetenschap zou moeten verlopen. De geschiedenis van de natuurwetenschappen (zie Dijksterhuis, 1951) wordt juist gekenmerkt door steeds wisselende opvattingen en daarmee samenhangende discussies over het gewicht dat moet worden toegekend aan genoemde middelen (Plato versus Aristoteles). En deze discussies zijn wellicht nooit definitief afgerond.

Het bovenstaande is een structureel-dynamische analyse van de wetenschappelijke leeractiviteit. Een nadere psychologisch-didactische analyse is nodig om deze te vertalen naar een onderwijskundig relevante strategie van onderwijzen van theoretische begrippen.

4. Psychologisch-didactische analyse van de leeractiviteit

Onderwijs dat de ontwikkeling van wetenschappelijk denken bij leerlingen beoogt, moet leerlingen betrekken in een proces waarin kennis wordt gemaakt en beoordeeld. Dat wil zeggen: dergelijk onderwijs moet leerlingen meenemen in een vorm van productieve leeractiviteit die analoog is aan de manier waarop wetenschappers kennis verwerven. Alleen in die gevallen mogen we zinvol spreken over 'realistisch onderwijs'. Bovenstaande globale analyse van het expertgedrag van de wetenschapper is een eerste indicatie van de momenten die in een 'imitatie' van deze activiteit aan de orde zijn. Voor de inrichting van onderwijs is deze analyse echter niet direct geschikt, omdat het bij de inrichting van onderwijs primair gaat om het activeren en ontwikkelen van psychologische functies bij leerlingen en deze worden door bovenstaande expertanalyse niet aangewezen. De psychologisch-didactische analyse gaat nog een stapje verder en

probeert de psychologische kenmerken en processen te identificeren die worden angesproken, wanneer leerlingen betrokken worden in een leeractiviteit zoals in de vorige paragraaf aangegeven. We belanden hiermee in een complex probleemgebied dat nog niet vergaand ontgonnen is. Een volledige psychologische analyse van de eisen die aan een subject worden gesteld in het kader van een wetenschappelijke activiteit, zullen we ook hier niet kunnen geven (noch nastreven). De volgende aspecten kunnen op basis van ons huidige psychologische inzicht veilig als kardinale momenten van de leeractiviteit op school worden aangevoerd.

a. Dynamische factoren.

Hieronder vallen motieven, interesses en attitudes; men denke hierbij aan factoren zoals de instelling om te zoeken naar nieuwe gegevens en denkbelden of de instelling om te willen voldoen aan (esthetische en morele) normen die voor wetenschappelijke activiteit constituerend geacht worden (bijv. de eis die innerlijke tegenspraak in een theorie verbiedt); dit nog tamelijk ongestructureerde gebied omvat alle factoren in de persoon die tot activiteit van een bepaalde vorm aanzetten. Verdere theorievorming op dit aspect is echter nog nodig.

b. Interpretatie van 'tekens'.

Bedoeld is hier het verlenen van betekenis aan alle gegevenheden die van buitenaf worden aangereikt, dan wel in een bepaalde situatie worden aangetroffen; het gaat hierbij dus om het interpreteren van waargenomen situaties, empirische feiten, maar ook om het interpreteren van symbolen, teksten of anderszins gematerialiseerde informatie.

c. Vaardigheden en technieken.

Het gaat hier om allerlei speciale psychologische handelingskwaliteiten waarover iemand of een groep personen in instrumentele zin moet beschikken, om een wetenschappelijke activiteit te kunnen uitvoeren; te denken valt aan algemene oplossingsvaardigheden (strategieën, planningsvaardigheden, heuristieken), schematiseren, taalvaardigheden, mathematische vaardigheden, maar ook vaak onderzoekstechnieken, meettechnieken, instrumentgebruik (computer, pipet, microscoop, tabellen etc.) e.d..

d. Wetenschappelijk begrippen.

Registers van bewuste en gesystematiseerde handelingen aan gespecificeerde objecten, die zich laten uitdrukken in taalhandelingen. Het ontwikkelen van een bewuste, generaliserende en

gesystematiseerde manier van 'spreken' over een deel van de realiteit ten behoeve van de oriëntering op het praktische handelen is in feite de kern van alle wetenschapsbeoefening.

Enkele van de hierboven genoemde factoren heb ik elders uitvoerig geanalyseerd (zie Van Oers, 1987; ter perse). In het kader van het huidige betoog is het vooral nog van belang om erop te wijzen, dat er intrinsieke samenhangen bestaan tussen de genoemde psychologische factoren: wetenschappelijke begrippen veronderstellen speciale vaardigheden, dynamische kwaliteiten, tekens e.d. Zo kenmerkt het wetenschappelijk denken zich onder andere door de aard van de tekensystemen die daarin gebruikt worden. Een belangrijk onderdeel daarin vormen de *modellen*. Modellen vormen een bijzondere categorie van in de cultuurhistorie ontwikkelde tekens waarin geprobeerd is de wetenschappelijke ervaring op beeldende wijze samen te vatten. Het zijn structuren waar de wetenschapper zijn denkactiviteit op richt in de veronderstelling, dat de handelingen die daaraan verricht kunnen worden, ook uitvoerbaar zijn aan de objecten waar de modellen voor staan.

In het begripsvormingsproces spelen modellen een cruciale rol. In de leeractiviteit als gedidactiseerde imitatie van de wetenschappelijke activiteit, moeten zij dan ook een belangrijke plaats krijgen. Davydov heeft daar reeds bij herhaling op gewezen. De vraag hoe we in het onderwijs uitvoering moeten geven aan deze eis, kan pas beantwoord worden na een nadere analyse van de functie van modellen in het denkproces van wetenschappers. In het licht van het voorafgaande moet het duidelijk zijn, dat ik niet aanstuur op een aparte 'training' in modelgebruik als specifieke fase in het ontwikkelingsproces van het wetenschappelijk denken. Een dergelijke functiegerichte benadering is weliswaar in het kader van de Neo-Piagetiaanse (en ruimer: cognitivistische) visie niet ongebruikelijk, maar deze leidt m.i. slechts tot hypertrofie van één van de factoren in het wetenschappelijk denkproces. Het effect van zulk soort gespecialiseerde trainingen op bepaalde functies voor de ontwikkeling van een volwaardige vorm van wetenschappelijk denken is twijfelachtig, zie bijv. De Jong & Ferguson-Hessler (1983) i.v.m. training van probleemoplossen bij natuurkunde-onderwijs; verder bijv. ook Vedder (1985), i.v.m. taakgerichte communicatie; Lodewijks & Simons (1985) i.v.m. 'zelfstandig leren'. In het kader van de cultuurhistorische benadering, daarentegen, gaat het steeds om

de inrichting van een activiteit door leerkrachten en leerlingen tesamen, waarin alle factoren in samenhang aan de orde zijn. Vanaf het allereerste moment, dat leerlingen deelnemen aan een wetenschappelijke activiteit is daarbij ook sprake van modelgebruik, zij het dat de leerlingen wellicht niet zelf vanaf het begin deze functie voor hun rekening nemen. Met betrekking tot de vraag naar de functie van modellen en de vraag hoe daarmee omgegaan moet worden in het kader van de leeractiviteit, wil ik hieronder een nadere beschouwing geven.

5. Over de functie van modellen

Het belang van het gebruik van modellen in de wetenschap is onomstreden. De definitie van wat een model is, is echter een complex vraagstuk (zie bijv. Bertels & Nauta, 1974; Nauta, 1974). Ik wil me hier niet diepgaand in die problematiek storten en volsta ermee 'model' hier te omschrijven als: elke materiële, gematerialiseerde (bijv. grafisch weergegeven) of mentaal voorgestelde constructie, opgebouwd uit identificeerbare elementen en relaties, die de handelingen van een gebruiker op een bepaalde wijze structureert én waarbij voorts aangenomen wordt dat die handelingen equivalent zijn met de handelingsmogelijkheden aan een ander object (vgl. verder ook Van Oers, 1987, p.276 e.v.).

De belangrijkste psychologische functie van modellen is hun functie als *teken*. Dat wil in dit geval zeggen: in het menselijk handelen fungeert het model als symbool dat door zijn structuur in staat is om het menselijk handelen samenhang en structuur te geven en af te grenzen van andere handelingsgehelen. Het heliocentrisch model van Copernicus, bijvoorbeeld, suggereert bepaalde handelingsmogelijkheden met een bepaalde structuur en samenhang en juist daarin onderscheidt het zich van bijvoorbeeld het Ptolemaïsche geocentrische model. Het duidelijkst komt dit tot uiting in de beweringen die aan de hand van zo'n model gedaan kunnen en mogen worden. Bepaalde beweringen kunnen in het ene model wel, in het andere niet. Het Copernicaanse en het Ptolemaïsche model zijn verschillende tekens (d.w.z. hebben verschillende betekenissen).

In die hoedanigheid zijn modellen ook hulpmiddelen om nieuwe gegevens te interpreteren, maar zelfs ook vaak om nieuwe gegevens of inzichten te genereren. Bruner (1957) heeft al gewezen op de belangrijke cognitieve functie van modellen in de representatie van de werkelijkheid. Door consequente toepas-

sing van de regels van het model zijn mensen in staat om de direct (aanschouwelijk) gegeven informatie te overstijgen (Bruner spreekt in dat verband over 'going beyond the information given'). Het model constitueert als het ware een artificiële werkelijkheid die afzonderlijk (op het mentale, aanschouwelijke of materiële niveau) te onderzoeken is. Precies daardoor is het model ook een constituerend hulpmiddel voor het uitvoeren van voor de wetenschap zo essentiële *gedachtenexperimenten* (zie Sodiëv, 1987).

Modellen functioneren als teken, d.w.z. dat zij cultuurhistorisch gegroeide handelingsgehelen symboliseren en structureren, maar vooral dat ze zorgen voor *semantische samenhang* van handelingen (inclusief denkprocessen). In die zin zijn ze van wezenlijk belang voor zowel de individuele cognitieve processen, als de sociale denkprocessen, zoals die zich in communicatie en discussie afspelen (vgl. o.a. Meyers e.a., 1986; verder ook Kučinskij, 1983).

Binnen deze visie op modellen en hun functie in het denken moeten we nog een onderscheid maken tussen twee soorten modellen:

I. *Canonieke modellen*: dit zijn in de loop van de cultuurhistorie door generaties van wetenschappers opgebouwde modellen welke door de wetenschappelijke gemeenschap aanvaard zijn als bruikbare samenvatting van (een deel van) de wetenschappelijk kennis op een bepaald gebied. Voorbeelden: het heliocentrisch model van Kepler, het dubbele helixmodel voor de D.N.A.-structuur, het chromosoommodel voor erfelijkheidsverklaring, Hess' drijvende continentenmodel, de Big Bang-theorie, Superstrings, etc.. Het gaat hier om voorstellingen die als richtsnoer gebruikt kunnen worden bij het denken over bepaalde problemen, die in de realiteit ervaren worden. Als een voorstelling eenmaal deze status verworven heeft in de wetenschappelijke wereld (als deze dus een canoniek model is geworden) wordt aan de grondstructuur daarvan een tijd lang in principe meestal niet veel meer getornd, wel worden deze modellen steeds gemodificeerd. Canonieke modellen zijn -zoals Gruber (1980) het noemde- 'evolving systems'.

II. *Persoonlijke modellen*: het gaat hier om gearticuleerde voorstellingen die individuen zelf hebben van enig object. Deze 'privé'-voorstellingen kunnen meer of minder ver afstaan van canonieke modellen, maar hebben altijd persoonsgebonden kenmerken. In het denken en probleemoplossen wordt altijd minstens

gebruik gemaakt van zulke persoonlijke modellen. In de cognitivistische psychologie is men in dit verband gaan spreken over 'mental models' (zie Gentner & Stevens, 1983).

In het kader van de wetenschappelijke denkactiviteit is de verhouding tussen de beide typen modellen van wezenlijk belang. De zogenoemde persoonlijke modellen kunnen idiosyncratische interpretaties zijn van canoneke modellen, maar kunnen ook volstrekt afwijkende nieuwe voorstellingen van zaken zijn (zoals bijv. Copernicus' model dat aanvankelijk was). Om de hier geschetste problematiek verder te verhelderen moeten we eerst kort nog ingaan op de eigenschappen van persoonlijk modellen.

Persoonlijke modellen (zie o.m. Williams e.a., 1983, p.133) zijn vaste, voor een persoon stereotiepe, manieren om zich bepaalde objecten voor te stellen (inclusief hun relaties met andere objecten en hun 'gedragingen'). Niettemin gebeurt het vaak, dat een persoon goed kan redeneren over een bepaald probleem zonder het gehanteerde model (volledig) te kunnen expliciteren. In dat geval is het denkbaar, dat de betrokken probleemoplosser het model pas van lieverlee bij zichzelf gaat ontdekken of dat hij daar door anderen op attent gemaakt wordt. Norman (1983, p.8) somt van de persoonlijke mentale modellen nog de volgende psychologische kenmerken op:

- mentale modellen zijn meestal onvolledig;
- de vaardigheid om dit model te doorlopen (run the model) is beperkt;
- mentale modellen zijn instabiel, details kunnen worden vergeten of kunnen vervagen;
- mentale modellen zijn niet scherp afgegrensd van andere (bijv. voorstellingen van electriciteit volgens een waterstroommodel of volgens een deeltjesmodel kunnen door elkaar heen gaan lopen);
- mentale modellen zijn niet altijd rationeel;
- mentale modellen zijn simpel (grof en ongenueanceerd).

Het zal duidelijk zijn, dat de persoonlijke modellen die voldoen aan alle hierboven genoemde kenmerken, nog ver af staan van de wetenschappelijk aanvaarde canoneke modellen. Wellicht moeten we tot deze categorie ook de psychologische verschijnselen reken die tegenwoordig vaak worden aangeduid als preconcepties, misconcepties, sommige kinderlijke alternative frameworks e.d.

We komen nu bij een kernprobleem in verband met de functie

van modellen in de wetenschap. Over de grondstructuur van canonieke modellen zijn wetenschappers het in grote lijnen meestal wel met elkaar eens, maar op het punt van specificatie en interpretatie lopen ook in de wetenschap meningen vaak uiteen. Hanson (1965, p. 99) heeft bijvoorbeeld eens laten zien, hoe de tweede wet van Newton door fysici verschillend geïnterpreteerd wordt in uiteenlopende situaties. Ook in de wetenschap is er kennelijk sprake van een diversiteit van persoonlijke invullingen van het basismodel. Een historisch bekend voorbeeld hiervan is ook het verschil in opvatting over de specifieke eigenschappen van het deeltjesmodel van de materie bij Demokrites, Empedocles en Aristoteles (zie Dijksterhuis, 1951). Het canonieke model is in feite een abstractie waarin enkele algemeen aanvaarde basisrelaties zijn aangeduid aangaande een af ander object van studie. Daarnaast hebben we in de wetenschap altijd ook te maken met een diversiteit aan persoonsgebonden interpretaties van het betrokken canonieke model. In het denken van de individuele wetenschappers fungeren juist deze persoonlijke modellen als de eigenlijke denkmodellen.

We kunnen nu nog een stap verder gaan. Juist in de diversiteit aan persoonlijke modellen in relatie met een canoniek model vormt een belangrijke voorwaarde voor wetenschap, omdat hier de noodzaak tot discussie ontstaat. *Juist de discussie over persoonlijke en canonieke modellen ligt een fundamentele voorwaarde voor wetenschappelijke vooruitgang.* De basisfunctie van modellen bestaat dus niet alleen in het afbeelden van de werkelijkheid, maar ook in het vasthouden en bevorderen van samenhang in interpretaties. Een basisfunctie van (persoonlijke) modellen is derhalve ook het prononceren van verschillen tussen interpretaties en daarmee het mogelijk maken van discussie en dus van kennisontwikkeling.

Hierin schuilt een belangrijke, didactische implicatie. Als modelgebruik in het kennisverwervingsproces altijd inhoudt het discussiëren over (persoonlijke) modellen, dan moet dit ook in de didactische imitatie van het wetenschappelijk denken tot uitdrukking komen.

6. Modelgebruik in het onderwijs.

Een belangrijk kenmerk van de cultuurhistorische benadering van de ontwikkeling van wetenschappelijk denken bij leerlingen, ligt in het uitgangspunt dat deze vorm van denken een histo-

risch gegroeide intellectuele *activiteit* is en dat het onderwijs erin moet bestaan de leerlingen ertoe te brengen hun kennisverwervingsactiviteit in die richting om te buigen. Met het oog daarop is het van belang om leerlingen te betrekken in een gezamenlijke bezigheid die exemplarisch is voor de activiteit die we leerlingen uiteindelijk willen bijbrengen.

Uitgaande van de gedachte, dat in het onderwijs het 'spel' wetenschap realistisch gespeeld moet worden (gebaseerd op vergelijkbare componenten en op dezelfde dynamiek als de reële wetenschappelijke activiteit), zijn er enkele implicaties te formuleren met betrekking tot onderzoek en vormgeving van de onderwijspraktijk.

Om te beginnen heeft het implicaties voor het *onderzoek* naar zogenaamde preconcepties, c.q. misconcepties bij leerlingen. Dit onderzoek levert tot op heden steeds weer nieuwe varianten op van de 'alternative frameworks' van leerlingen en op conferenties kunnen we ons daar steeds weer vrolijk over maken. Voor de theorie-ontwikkeling over leren en voor de didactiek levert het helaas niet meer op dan een herhaalde bevestiging van het bestaan van 'persoonlijke modellen' bij leerlingen. In de verklaring voor het ontstaan daarvan is men tot nu toe nog niet ver gekomen en het is ook niet te verwachten dat het inventariseren en exploreren van de persoonlijke modellen van leerlingen een grote psychologische of didactische opbrengst zullen hebben. Vermoedelijk is er meer te verwachten van pogingen om de ontwikkeling van leerlingconcepties te beïnvloeden. In plaats van allerlei alternative frameworks te inventariseren en te beschrijven zouden we er beter aan doen om na te gaan hoe we met die frameworks (persoonlijke modellen) van leerlingen het best om kunnen gaan.

Voor het onderwijs is het dan ook vooral van belang om via onderzoek:

- a. methoden te ontwikkelen om alternatieve concepties expliciet te krijgen, die te gebruiken zijn door leerkracht én leerlingen, én
- b. didactische methoden te ontwerpen om zulke alternatieve concepties verder te ontwikkelen. Het heeft geen zin om steeds maar weer te herhalen dat preconcepties e.d. bestaan en te laten zien wat ze inhouden. Waar het in het onderwijs op aankomt is deze preconcepties te ontwikkelen.

De implicaties van het voorafgaande, voor het *onderwijs* ten

behoefte van de ontwikkeling van het modelmatige denken bij leerlingen, hangen nauw samen met hetgeen ik zojuist gesteld heb met betrekking tot onderzoek. Beide hierboven genoemde punten verwijzen naar onderwijsvormen waarin alternatieve concepties aan het licht kunnen komen en ter discussie kunnen worden gesteld met het oog op verdere ontwikkeling daarvan. Gelet op de aard van wetenschappelijke begrippen (met name het feit dat deze altijd in symbolen worden uitgedrukt) moet deze onderwijsvorm gericht zijn op het uitlokken bij de betrokkenen van symbolische voorstellingen van het object onder studie en toelichtingen daarbij. Dat wil zeggen: het onderwijs berust in essentie op *stelsels van beweringen* over enig onderwerp, opgesteld door leerlingen en leraar. Nog anders gezegd: d.w.z. het gaat in het leerproces primair om het maken van gesproken of geschreven *teksten* die een uitdrukking zijn van de eigen ideeën van leerlingen en leraar. Deze teksten zijn uitdrukking van de persoonlijke modellen. Via deze teksten moeten deze persoonlijke modellen met elkaar geconfronteerd worden. Pas in dit kader wordt argumentatie, het streven naar consensus of overreding relevant. En ook pas in dit kader moet het experiment worden ingebed. Discussie en experiment moeten staan in het licht van het (gezamenlijk) streven naar betere "teksten" over enig onderwerp. Een uitvoeriger aanzet tot een dergelijke didactiek heb ik elders uitvoeriger gegeven en verantwoord (zie Van Oers, 1987).

Met betrekking tot de precieze ontwikkelingsgang van deze activiteit moet nog veel longitudinaal onderzoek verricht worden. Het bovenstaande geeft in elk geval een globale indicatie van de manier waarop in het onderwijs met 'modellen' moet worden omgegaan. Daarbij is geïmpliceerd - ik memoreer het nog maar even - dat dit geldt voor *elke* leeftijd waarop we met begripsontwikkeling in de hier bedoelde zin bezig zijn, zij het dat we ons steeds moeten afvragen wie welke functies vervult. Onderzoek heeft laten zien, dat leerlingen al vrij jong in staat zijn om hun ideeën over een bepaald onderwerp tot uitdrukking te brengen en te vergelijken met elkaar, zij het dat zij daar nog wel ondersteuning bij behoeven. Podd'jakov (1981) heeft in zijn onderzoek met kleuters al laten zien, dat deze met hulp van een volwassene in staat zijn om hun gedachten over 'zelfverdediging bij dieren' onder woorden te brengen en dat kleuters al in staat zijn om van fouten daarbij te leren. Wat zij zelf meestal nog niet kunnen, is het stelselmatig bevragen van henzelf of anderen

om aldus een 'tekst' op te bouwen en deze te vergelijken met andere 'teksten'. Daár ligt op dat moment een sturingsfunctie die de leraar voorlopig voor zijn rekening moet nemen. In zijn totaliteit bezien is daar niettemin sprake van een gezamenlijke activiteit die in prille vorm de dynamiek van de wetenschappelijke leeractiviteit vertoont. Willen we leerlingen inleiden in het wetenschappelijk denken (d.w.z. hen bewust maken van verschillende concepties over eenzelfde fenomeen en aanzetten tot discussie en reflectie daarover), dan moeten we daarmee al vroeg beginnen. Eén van de implicaties daarvan is ook dat we jonge leerlingen vertrouwd maken met schema's en hun functies (dit in tegenstelling tot wat binnen een Piagetiaanse benadering gangbaar is). De russische ontwikkelingspsycholoog Venger heeft in een uitvoerige reeks onderzoeken kunnen aantonen, dat kleuters allerlei schema's en modellen voor de meest uiteenlopende objecten kunnen leren hanteren. Voor de ontwikkeling van het natuurwetenschappelijke denken, dat sterk leunt op het kunnen opstellen, gebruiken en vergelijken van modellen, is het van belang om al vroeg met de ontwikkeling van deze vaardigheid te beginnen (zie ook Van Parreren, 1988, p. 118-120). We moeten helaas een andere gelegenheid zoeken om dieper op het interessante werk van Venger in te gaan.

Een sterkere aandacht binnen het moedertaalonderwijs voor stelvaardigheid en een nauwere band van moedertaalonderwijs met andere leergebieden zijn eveneens uitvloeisels van deze benadering van de ontwikkeling van het wetenschappelijk denken.

Dit leidt ons tot een andere belangwekkende kwestie. Indien we namelijk de verbinding intact willen houden tussen de eigen ervaringen en het eigen taalgebruik van de leerling en de over te dragen theorie, moeten we een continue ontwikkelingsgang proberen te realiseren tussen het eigen model van de leerling en het wetenschappelijke (canonieke) model. Veel is dan gelegen aan de manier waarop het wetenschappelijke model geïntroduceerd wordt.

Op de eerste plaats moeten modellen qua vormgeving vaak aangepast worden aan de kennis en het ontwikkelingsniveau van de leerlingen. Modellen die van specialistische symbolen gebruik maken of een beroep doen op speciale technieken of interesses zijn niet altijd bruikbaar. Vaak moet een model geconcretiseerd

worden in een voor de leerlingen hanteerbare vorm. Davydov (zie o.a. Davydov e.a., 1982), is van mening, dat het didactische model de algemene relatie moet weergeven van de begripstructuur die men wil overdragen. Die relatie moet zo algemeen mogelijk zijn. Dat wil zeggen: ze moet niet uitsluitend van toepassing zijn op beperkte, locale domeinen, maar zoveel mogelijk bijzondere gevallen kunnen omvatten. Davydov c.s. hebben in verband met deze problematiek nog voornamelijk hun aandacht gericht op het wiskunde-onderwijs en het moedertaalonderwijs (zie o.m. Davydov, 1977; Ajdarova, 1982).

Op deze stellingname van Davydov valt mijns inziens kritiek te leveren, omdat daarin het didactische model te veel als doel op zichzelf wordt voorgesteld en niet als middel tot kennisverwerving. Met betrekking tot het onderwijs blijft het evenwel de vraag welke modellen in aanmerking moeten komen voor de inrichting van het onderwijs. Hier ligt werk voor vaklogische analyse, gecombineerd met een psychologische analyse. De ontwikkelde leermodellen moeten voor de leerlingen de volgende functies kunnen vervullen (Davydov & Vardanjan, 1981, p. 142-145):

1. ze moeten kunnen fungeren als *tekens*, d.w.z. ze moeten voor de leerlingen verwijzen naar een bepaalde categorie van handelingen of operaties;
2. ze moeten kunnen dienen als *voorstellingen* waarmee een object of systeem op aanschouwelijke wijze kan worden gerepresenteerd;
3. ze moeten een *operationele* rol kunnen vervullen in die zin dat ze indicaties kunnen geven voor de wijze waarop men zich moet (zou kunnen) oriënteren binnen een gegeven probleem;
4. ze moeten een *heuristisch* hulpmiddel zijn, d.w.z. ze moeten de leerlingen ideeën en mogelijkheden wijzen, waar ze niet of nauwelijks op zullen komen door alleen maar praktisch te handelen.

Wanneer een dergelijk model eenmaal ontworpen is, rijst de vraag hoe we dit aan leerlingen aanbieden. Davydov (zie Davydov & Vardanjan, 1981, 88-99; zie ook Van Oers, 1987, p. 221-222) heeft daar de volgende fasering voor bedacht en beproefd:

1. *Transformatie*, d.w.z. het veranderen van aspecten van een

- probleemsituatie om de algemene relatie die daarin belichaamd wordt, op het spoor te komen;
2. *Modelvorming*, d.w.z. het weergeven van de gevonden relatie in een materiele, grafische of symbolische vorm;
 3. *Transformatie van het model* om het bestudeerde systeem 'in zuivere vorm' te onderzoeken. Door transformaties in het model aan te brengen en de gevolgen daarvan na te gaan in termen van het model zelf, kunnen eigenschappen van het model aan het licht komen; via deze eigenschappen van het model wordt ook kennis verworven over het systeem (de concrete probleemsituatie) dat door het model wordt gerepresenteerd;
 4. *Afleiden en construeren*: het gaat hier om het opstellen van specifieke opgaven, die met het ontworpen en onderzochte model kunnen worden opgelost;
 5. *Controleren*. Controle van de uitvoering van de voorafgaande fasen (1 tot en met 4) door terugkoppeling naar de gegevens in de oorspronkelijke opgave;
 6. *Evaluatie*. Het verlenen van een waardering aan de gevonden oplossing, het model en het ontwikkelde begrip in het licht van de beschikbare wetenschappelijke inzichten en persoonlijke motieven. Het gaat hier dus om de analyse van het eigen handelen (reflectie), vanuit vragen als "klopt het?", "is het consistent?", "is het een handige, misschien elegante oplossing of zou er nog een betere te vinden moeten zijn?", "is dit eigenlijk wat ik nodig heb?" etc..

Aan Davydovs voorstel kleeft echter als groot bezwaar, dat het eigenlijke proces van modelvorming (fase 2) onvoldoende gespecificeerd is. In de meeste onderzoeken op basis van Davydovs theorie (zie o.m. Engeström & Hedegaard, 1985) komt het definitieve model vrij plotseling uit de lucht vallen. Hoe een zinvolle aanvaarding daarvan door de leerlingen wordt bewerkstelligd blijft duister. Gelet op het voorafgaande moeten we stellen, dat die aanvaarding alleen kan berusten op het overtuigen van de leerlingen van de meerwaarde van dit model ten opzichte van andere besproken modellen (waaronder hun eigen persoonlijke model).

Om dit te bereiken moet Davydovs fasering van de leeractiviteit op enkele punten nader bepaald worden. In wezen is 'leeractiviteit' op te vatten als een sociaal proces van 'tekstvorming' over een bepaald gedeelte van de realiteit: in het kader

van een leeractiviteit wordt in wezen kritisch overleg gepleegd om na te gaan wat over een gegeven object allemaal met recht beweerd kan worden. Wat mag er beweerd worden over 'electriciteit'? Is het correct om te stellen, dat de spanning recht evenredig is met de weerstand? Zo ja, hoe komt dit, zo nee waarom niet? Is het correct om te zeggen, dat parallel geschakelde lampjes niet zwakker gaan branden als we het systeem uitbreiden met parallelle schakelingen? Mag ik daar argument X voor gebruiken om dit te verdedigen? etc. Als leerlingen daar met elkaar en met de leraar over discussiëren, wordt er op discursieve wijze in feite een gezamenlijke tekst gemaakt, die idealiter recht doet aan zo veel mogelijk beschikbare kennis over het betreffende object. Het gaat er daarbij dan ook niet alleen om, dat de betrokken gespreksdeelnemers consensus bereiken over die tekst, maar ook, dat die tekst consistent is met historisch gegroeide opvattingen over het onderwerp ter zake (hoewel het natuurlijk geen eis hoeft te zijn, dat dit al onmiddellijk het geval is!). Dit proces van tekstvorming is onderhevig aan een groot aantal bepalingen: met name moet het voldoen aan bepaalde normen van rationaliteit, in de eindfase van een stuk onderwijs op een bepaald gebied moet het tevens consistent zijn met de gedachten die in de betreffende cultuur al leven ten aanzien van het bestudeerde object. In de meeste gevallen betekent dit, dat de leeractiviteit bestaat in het uitbreiden van de bestaande 'tekst' over enig object (de theorieën daarover). In het waarborgen van de semantische eenheid met de al bestaande (cultuurhistorisch opgebouwde) tekst spelen modellen een essentiële rol. Het maken van een tekst (een stelsel van beweringen) rond een bepaald model, moet daarin dan ook een belangrijke plaats hebben. Juist in deze sterk aan de taalfunctie opgehangen opvatting over de ontwikkeling van begrippen en over de rol van modellen daarbij, onderscheidt de cultuurhistorische benadering zich van de cognitivistische en Neo-Piagetiaanse benadering van begripsvorming (waarin de nadruk meer ligt op de vorming van logische operaties).

De door Davydov genoemde fasen in de leeractiviteit zijn belangrijke momenten in het proces van gezamenlijke tekstontwikkeling. Zij geven de aandachtspunten aan voor *discussie* tussen leraar en leerlingen; het is geen programma dat individueel moet worden afgewerkt; alleen de conclusies (d.w.z. de tekst die men er aan over houdt) uit die discussie moeten persoonlijk zijn. De

door de leraar aangereikte didactische (canonieke) modellen zijn derhalve niet - zoals Davydov e.a. het doen voorkomen - modellen om te leren, maar modellen waaraan men kan leren. In de discussie over modellen als hulpmiddel bij het oplossen van bepaalde problemen vormen de canonieke modellen tegelijkertijd zowel richtsnoer als catalysator voor het ontwikkelingsproces van persoonlijke modellen. In de discussie over modellen vindt vergelijking plaats van alternatieve modellen en dus een analyse van de werkelijkheid op mentaal niveau. De discussie is aldus in feite een extern (sociaal) gedachtenexperiment. Door deelname aan deze discussies ontstaat de mogelijkheid tot interiorisatie van dit sociale proces en kan zich een individuele kwaliteit ontwikkelen tot het voltrekken van mentale gedachtenexperimenten bij het individu.

Tegen de achtergrond van de hier beschreven visie op modellen en hun functie in het denken, ontstaat nu een bepaald beeld over de onderwijsleerprocessen waarin de ontwikkeling van het (natuurwetenschappelijk) denken centraal staat. Dit beeld moet nog op allerlei plaatsen nader ingevuld worden en met onderzoek onderbouwd worden. De ruimte daartoe ontbreekt hier echter. In de literatuur kunnen echter interessante illustraties gevonden worden van de hier bedoelde werkwijze (zie o.a. Hiller, 1973; Arcá e.a., 1983). Bij wijze van samenvatting wil ik ter afsluiting de belangrijkste kenmerken daarvan nog aangeven.

De visie die hierboven is beschreven, is een consequente uitwerking van de cultuurhistorische visie op leren en ontwikkeling via, een proces van interiorisatie binnen de zone van de naaste ontwikkeling van leerlingen. De zone van naaste ontwikkeling wordt hier gedefinieerd als het domein van nieuwe sociaal-culturele activiteiten waarin de leerling zinvol kan worden betrokken, maar welke de leerling zelfstandig nog niet kan volbrengen. Het leerproces begint altijd binnen die sociale activiteit, die een imitatie is van een reële sociaal-culturele activiteit, die men bij de leerlingen tot stand wil brengen. Voor de ontwikkeling van het wetenschappelijk denken betekent dit, dat we leerlingen moeten betrekken in een activiteit, waarin modellen, discussie over alternatieve modellen, experimenten etc. reeds vanaf het allereerste begin zijn opgenomen (zij het dat natuurlijk de leerling zelf dat niet altijd voor zijn rekening hoeft te nemen). In dit proces neemt de leraar een essentiële rol in als

degene die het canonieke model in de discussies invoert. Via de leerkracht wordt de cultuur discussiant in het leerproces van leerlingen. De onmisbaarheid van de rol van de leraar in volwaardige discursieve leerprocessen vormt naast de al genoemde een onderscheidend kenmerk in de cultuurhistorische benadering van de ontwikkeling van het modelmatige denken bij leerlingen in het onderwijs (bijv. ten opzichte van de meer Piagetiaans georiënteerde benaderingen, waarin de leraar meestal een veel meer terughoudende rol is toebedeeld). Het canonieke model is echter geen keurslijf waarin de leerlingen met geweld geperst moeten worden, maar een model waaraan (waartegen) de leerlingen hun taalgebruik ten aanzien van het bestudeerde object (in discussie met anderen) kunnen ontwikkelen.

De implicaties van deze visie op de inrichting van onderwijs (didactisch handelen en curriculum) zijn enorm. Op de eerste plaats zien we nu dat de ontwikkeling van het natuurwetenschappelijk denken niet pas in het voorgezet onderwijs begint, maar reeds op de basisschool een aanvang neemt: jonge kinderen moeten we reeds met schema's en modellen laten werken en de discussies daarover laten meemaken. Aangezien het in dit ontwikkelingsproces echter primair gaat om een voor de leerlingen zinvolle ontwikkeling van hun eigen taalgebruik, kan hier ook geen sprake zijn van een overdracht van het canonieke model in zijn 'definitieve' vorm. Het gaat veeleer om zeer langdurige leerprocessen, waarin de leerlingen stap voor stap hun persoonlijke modellen leren modificeren in de discussie met anderen (waaronder voorstanders van het wetenschappelijk aanvaarde canonieke model). Complexe begrippen kunnen niet in één keer in volwaardige vorm aan de leerlingen worden aangereikt (zoals Davydov lijkt te willen doen), maar vergen een langdurig ontwikkelingsproces van uitbreidingen, specificaties en modificaties (zie bijvoorbeeld Usova, 1986, die dit met verschillende natuurwetenschappelijke begrippen, o.a. het begrip 'energie' heeft laten zien in haar onderzoek). Zoals gezegd, zouden discussies in dit leerproces een belangrijke rol moeten innemen. Eerst in het kader van een discussie over een model kunnen ook experimenten zinvol worden ingezet. De aanleiding tot het doen van een experiment moet echter door de leerlingen zelf onderkend kunnen worden en verbonden kunnen worden met hun modellen.

De hier geschetste visie wijkt scherp af van de voorstellen die Davydov heeft gedaan ten aanzien van de ontwikkeling van

het wetenschappelijk denken in het onderwijs. Met name Davydovs visie op het curriculum als een hiërarchisch vanuit een kiem georganiseerd geheel, wordt hiermee verlaten. De leerlingen hoeven niet eerst het grondmodel te leren en in tweede instantie de verbijzonderingen daarvan. De ontwikkeling van het basale model vindt plaats gedurende het hele curriculum, aan de hand van een diversiteit van specifieke (vaak persoonlijke) modellen en hun verbijzonderingen. Bij Davydov is er sprake van éérs een ontwikkeling bij de leerlingen *naar één* grondmodel en daarna een ontwikkeling *van* dat model. In het door mij verdedigde voorstel is er sprake van een convergerende ontwikkeling naar (zo mogelijk) één grondmodel (het canonieke model) dóór ontwikkeling van diverse persoonlijke modellen. In dit ontwikkelingsproces is het goed om leerlingen te laten werken met verschillende modellen voor hetzelfde.

Voor een verwerkelijking van het ideaal van natuurwetenschappelijk denken bij leerlingen moet echter ook nog veel studie verricht worden naar de psychologische voorwaarden waaronder dit bij leerlingen kan worden gerealiseerd. Zoals men ziet, wordt veelvuldig beroep gedaan op allerlei psychologische kwaliteiten bij leerlingen (communicatievaardigheden, interesses, attitudes e.d.). Op dit gebied zijn al wel wat vorderingen gemaakt, maar deze zijn hier niet te bespreken. In elk geval laat het zien, dat we voor de ontwikkeling van het (natuurwetenschappelijk) denken van leerlingen de gehele schoolloopbaan van leerlingen in beschouwing moeten nemen. Het accent moet daarbij liggen op de ontwikkeling van de dynamiek van het denken van leerlingen (overeenkomstig die van het natuurwetenschappelijk denken) en niet op de transplantatie van wetenschappelijke kennisinhouden naar de leerlingen. Kennis is geen ruilhart.

Noten

1. Op dit punt zou een discussie met Treffers over de relatie tussen psychologie en vakdidactiek op zijn plaats zijn. Treffers (zie o.a. 1984, 1987) heeft gelijk waar hij beweert, dat een onderwijskundige c.q. psychologische theorie altijd een epistemologie omvat en daarmee een opvatting over het betrokken vakgebied. Treffers' waarschuwing tegen een al te gemakkelijke legitimering van onderwijsvoorstellen door psychologische theorie is op zijn plaats, zijn evaluatie van algemene psychologische theorieën in het kader van onderwijsontwikkeling is echter voorbarig en inconsistent. Onder meer berust deze op een denkfout door het te doen voorkomen alsof

een algemene psychologische theorie over leerprocessen het zelfde is als een psychologische theorie over leren-in-het-algemeen. Een algemene psychologische theorie over leren is een systematische generalisatie over diverse specifieke leerprocessen; dit is een theoretische mogelijkheid. Onderhavig artikel is een specificatie van zo'n theorie. Een theorie over "leren-in-het-algemeen" is een absurdum, omdat "leren-in-het-algemeen" niet bestaat. Als zodanig is het ook geen correcte grondslag voor de evaluatie van de relatie tussen psychologische theorie en vakdidactiek. Hoe precies de verschillen tussen diverse theoretische benaderingen moeten worden verduidelijkt en beoordeeld, is een complexe problematiek die hier niet aan de orde gesteld kan worden (vgl. o.m. Van Oers, 1988a). Het punt is echter te complex om hier uitvoerig te bespreken.

2. De term "polyloog" is door Davydov ingevoerd om het discursieve karakter van wetenschap te benadrukken. Wetenschap is geen monoloog van een geïsoleerde denker, noch een dialoog tussen discussianten, maar een gesprek (discussie) tussen velen, met name ook met historische voorgangers.

Literatuur

- Ajdarova, L.I. (1982) *Child development and education*, Moskou: Progress.
- Anderson, J.R. (1981) *Cognitive skills and their acquisition*. Hillsdale, N.J.:L.E.A.
- Arcá, M., P.Guidoni & P.Mazzoli (1982) *Insegnare Scienza. Come cominciare: riflessione e proposte per una educazione scientifica di base*, Milaan: Fr. Angeli editore.
- Bertels, K. & D. Nauta (1974) *Inleiding tot het modelbegrip*, Amsterdam: Wetenschappelijke Uitgeverij.
- Bruner, J.S. (1973) Going beyond the information given. In: J.S. Bruner (Ed.). *Beyond the information given. Studies in the psychology of knowing*. New York: W.W. Norton, 218-241.
- Carpay, J.A.M. (1987) De actuele betekenis van het werk van Vygotskij voor de onderwijskunde, *Handelingen*, 1, 5-23.
- Davydov, V.V. (Dawydow, W.W.) (1977) *Arten der Verallgemeinerung im Unterricht*, Berlin: Volk und Wissen.
- Davydov, V.V. (1983) Istoriceskie predposylki učebnoj dejatel'nosti (Historische voorwaarden van de leeractiviteit). In: V.V. Davydov (red.). *Razvitie psichiki škol'nikov v processe učebnoj dejatel'nosti*, Moskou: A.P.N., 5-22.
- Davydov, V.V. & A.U.Vardanja (1981) *Učebnaja dejatel'nost' i modelirovanie* (Leeractiviteit en modelvorming), Jerevan: Izd-vo Lujs.

- Davydov (Dawydow) V.V., J.Lompscher & A.K.Markova (1982) *Ausbildung der Lerntätigkeit bei Schülern*. Berlin: Volk und Wissen.
- Dijksterhuis, E.J. (1951) *De mechanisering van het wereldbeeld*, Amsterdam: Meulenhof.
- Engeström, Y. & M.Hedegaard (1985) Teaching theoretical thinking in elementary school: the use of models in history and biology. In: E.Bol, J.Haenen & M.Wolters (eds.). *Education for cognitive development*. Den Haag: S.V.O.
- Gentner, D. & A.L.Stevens (1983) *Mental models*, Hillsdale, N.J.: L.E.A.
- Gruber, H.E. (1980) The evolving system approach to creative scientific work: Charles Darwin's early thought. In: Th Nickles (ed.), *Scientific discovery: Case studies*, Dordrecht: Reidel, 113-131.
- Haaften, A.W. van, M.Korthals, G.A.M.Widdershoven, J. de Mul & G.L.M.Snik (1986) *Ontwikkelingsfilosofie. Een onderzoek naar de grondslagen van ontwikkeling en opvoeding*, Muiderberg: D. Coutinho.
- Haenen J. & B. van Oers (1986) De vorming van wetenschappelijke begrippen. Davydov op de basisschool, *Pedagogische Studiën*, 63, 445-456.
- Hanson, N.R. (1965) *Patterns of discovery. An inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge: U.P.
- Hiller, G.G. (1973) *Konstruktive Didaktik*, Düsseldorf: Schwann.
- Jong, T. de & M.G.M.Ferguson-Hessler (1983) *Strategiegebruik bij het oplossen van natuurkundige problemen*. Rapport 31 T.H. Eindhoven, Groep Onderwijsresearch. Eindhoven: T.H.
- Kučinskij, G.M. (1983) *Dialog i myšlenie (Dialog en denken)*. Minsk: Izd-vo BGU im. V.I. Lenina.
- Laudan, L. (1977) *Progress and its problems. Towards a theory of scientific growth*. Berkeley: Univ. of California Press.
- Licht, P. (1987) *De ontwikkeling van een onderwijsstrategie om begrips- en redeneerproblemen in het electriciteitsonderwijs te verminderen*. Paper ORD '87. Vakgroep didactiek en practica Natuurkunde. Amsterdam: Vrije Universiteit.
- Linn, M.C. (1986) Science. In: R.F.Dillon & R.J Sternberg (Eds.). *Cognition and Instruction*. Orlando etc.: Academic Press, 155-205.
- Lodewijks, J.G.C.L. & P.R.J.Simons (1985) *Zelfstandig leren*. (ORD'84). Lisse: Swets & Zeitlinger.

- Meyers, T., K. Brown & B. McGonigle (1986) *Reasoning and discourse processes*. London: Academic Press.
- Nauta, D. (1974) *Het modelbegrip in de wetenschappen*, Amsterdam: Wetenschappelijke Uitgeverij.
- Norman, D.A. (1983) Some observations on mental models. In: D. Gentner & A.L. Stevens (Eds.). *Mental models*, Hillsdale, N.J.: L.E.A., 7-15.
- Oers, B. van (1987) *Activiteit en begrip. Proeve van een handelingspsychologische didactiek*, Amsterdam: VU-uitgeverij.
- Oers, B. van (1988a) Cognitivistische psychologie, handelingspsychologie en de prijs van het verschil. *Pedagogische Studiën*, 65, 71-79.
- Oers, B. van (1988b) De ontwikkelingsconceptualisering van het genetisch structuralisme, *Nederlands Tijdschrift voor Opvoeding, Vorming & Onderwijs*, 2.
- Oers, B. van (1987) *Zingeving aan biologische leerstof*, voordracht Studiedag Vakgroep Biologie V.U. Amsterdam, 21 aug. 1987. (ter perse)
- Parreren, C.F. van (1982) Begrippen en werkwijzen in het natuurkundeonderwijs, beschouwd vanuit de psychologie. In: Werkgroep Natuurkunde-Didactiek (Red.). *Hoe leren leerlingen Natuurkunde?* Conferentiebijdrage, 5-15.
- Parreren, C.F. van (1988) *Ontwikkelen onderwijs*. Leuven/Amersfoort: Acco.
- Podd'jakov, N.N. (1981) Cognitieve opvoeding van kleuters. Vertaling B. van Oers, Vakgroep Onderwijskunde, V.U. Amsterdam. In: A.V. Zaporozec & T.A. Markova (red.). *Osnovy doškol'noj pedagogiki* (Grondslagen van de kleuterpedagogiek), Moskou: Pedagogika, 148-181.
- Sodiëv, D. (1987) *Myslennyj eksperiment v prepodavanii fiziki* (Het gedachtenexperiment in het fysica-onderwijs). Moskou: Prosvesčenie.
- Toulmin, S. (1972) *Human understanding. The collective use and evolution of concepts*. Princeton Univ. Press.
- Treffers, A. (1984) Psychologie, vakdidactiek en ontwikkelingsonderzoek, *Tijdschrift voor de didactiek der Natuurwetenschappen*, 3, 149-169.
- Treffers, A. (1987) Leerplanontwikkeling volgens generalisten en specialisten. Een reactie. *Pedagogische Studiën*, 64, 195-204.
- Usova, A.V. (1986) *Formirovanie u škol'nikov naučnych ponjatij v processe obučenija* (De ontwikkeling van wetenschappelijke

- begrippen bij leerlingen in het onderwijs), Moskou: Pedagogika, 1986.
- Vedder, P.H. (1985) *Cooperative learning. A study on processes and effects of cooperation between primary school children*, Den Haag: SVO.
- Vygotskij, L.S. (Wygotski) (1964) *Denken und Sprechen*. Berlin: Akademie Verlag.
- Williams, M.D., J.D.Hollan & A.L.Stevens. Human reasoning about a simple physical system. In: D.Gentner & A.L.Stevens (eds.). *Mental models*, 131-153.