

Curriculumontwikkeling in het natuurkundeonderwijs vanuit internationaal perspectief¹

P.L.Lijnse
Natuurkunde-didactiek, CD- β ,
Universiteit Utrecht

Summary

First, this paper describes some main trends in forty years of international curriculum development in physics education. Have the high expectations that were expressed at the start of the curriculum waves in the fifties really come true? The author argues that, in fact, nowadays we are still struggling with the same topics from the past, showing that our curricula apparently ask for continuous updating, but that, at the same time, there's no clear sense in which we can say that we have made any progress, i.e. that our curricula, as far as goals and contents are concerned, are now 'better' than those from the past. In looking for an 'engine' for such progress, also research trends on teaching and learning (physics) and on ways of curriculum development are reviewed. It is concluded that though also in these fields much work has been done, any clear indications that the high expectations from the past have come true are still lacking. To improve on this situation for the future, the author advocates a further extension of integrated (small scale) curriculum development and (domain specific) research on teaching and learning, known as 'developmental research'.

1. Inleiding

In september 1959 vond er in Woods Hole (USA) een conferentie plaats waarin wetenschappers uit alle betrokken vakdisciplines, tezamen met onderwijsdeskundigen, zich bogen over de vraag hoe het Amerikaanse natuurwetenschappelijk onderwijs op primair en secundair niveau ingrijpend kon worden verbeterd. In het voorwoord van het verslag van deze conferentie, zijn beroemde boek 'The Process of Education' (1960)² schreef de psycholoog Bruner over zijn "conviction that we were at the beginning of a period of new progress in, and concern for, creating curricula and ways of teaching science, and that a general appraisal of this progress and concern was in order, so as to better guide developments in the future."

Het optimisme dat hieruit spreekt werd in die tijd ook overgebracht naar andere landen, resulterend in de welbekende eerste curriculumgolf van de jaren zestig en zeventig. Een golf die het natuurwetenschappelijk onderwijs wereldwijd heeft overstromd, tot in ons land toe.

Nu, bijna 40 jaar later, terwijl we, wereldwijd, opnieuw middenin allerlei nieuwe curriculumontwikkelingen zitten, is het daarom misschien nog niet zo gek om eens terug te kijken en onszelf af te vragen wat voor vooruitgang al deze curriculumontwikkelingsprojecten met het daaraan verbonden onderzoek ons nu eigenlijk hebben gebracht. Dit is des te meer relevant, omdat

onderwijsdiscussies, zeker op politiek niveau, zich gewoonlijk niet plegen te kenmerken door een groot historisch besef.

Uiteraard kan ik in zo'n historisch overzicht niet meer nastreven dan het schetsen van enkele grote lijnen. En het gaat me daarbij niet primair om de ontwikkelingen in ons land, maar om een internationaal perspectief, omdat de grote trends in ons onderwijs zich nu eenmaal niet door landsgrenzen laten tegenhouden. Alhoewel internationaal, in dit verband, vooral gelezen moet worden als angelsaksische ontwikkelingen³.

Om deze reflectie enigszins te structureren, lijkt het instructief om wat preciezer te kijken naar wat zo rond 1960 als hoofdproblemen en perspectieven werden gezien. Laat ik hier daarom eerst Bruner's belangrijkste conclusies, gerangschikt volgens een aantal thema's, kort samenvatten.

Wat betreft 'het belang van structuur', een eerste hoofdthema, werd het volgende geconcludeerd: "...the curriculum of a subject should be determined by the most fundamental understanding that can be achieved of the underlying principles that give structure to that subject. Teaching specific topics or skills without making clear their context in the broader fundamental structure of a field of knowledge is uneconomical in several deep senses. In the first place, such teaching makes it exceedingly difficult for the student to generalize from what he has learned to what he will encounter later. In the second place, learning that has fallen short of a grasp of general principles has little reward in terms of intellectual excitement. (...) Third, knowledge one has acquired without sufficient structure to tie it together is knowledge that is likely to be forgotten."

Voorzover het de keuze van inhouden betreft, komt dit idee van 'structure-of-the-discipline' redelijk goed overeen met wat academische fysici gewoonlijk het belangrijkste vinden om te onderwijzen. Bruner voegde hier echter een psychologische rationale aan toe.

Voor wat een tweede thema, 'readiness for learning', betreft, poneerde Bruner zijn befaamde en sindsdien veel bediscussieerde mening dat elk onderwerp op de een of andere intellectueel eerlijke manier effectief aan elk kind in elk ontwikkelingsstadium onderwezen kan worden.

Deze hypothese werd geacht op drie aspecten betrekking te hebben: het proces van intellectuele ontwikkeling van kinderen, de 'act of learning' (in het bijzonder 'the act of discovery'), en de notie van een 'spiral curriculum'. Sindsdien hebben deze aspecten veel aandacht gekregen in de curriculumontwikkeling, zoals we nog zullen zien.

Een derde thema heeft betrekking op het feit dat, zoals werd gezegd, "the emphasis in much of school learning and student examining is upon explicit formulations, upon the ability of the student to reproduce verbal or numerical formulae. It is not clear, in the absence of research, whether this emphasis is inimical to the later development of good intuitive understanding - indeed, it is even unclear what constitutes intuitive understanding".

"Usually", werd gezegd, "intuitive thinking rests on familiarity with the domain of knowledge involved and with its structure". Echter, "the complementary

nature of intuitive and analytic thinking should be recognized", in het bijzonder omdat "the formalism of school learning has somehow devalued intuition".

Dit leidde tot de vraag: "Will the teaching of certain heuristic procedures facilitate intuitive thinking? For example, should students be taught explicitly: "When you cannot see how to proceed with the problem, try to think of a simpler problem that is similar to it; then use the method for solving the simpler problem as a plan for solving the more complicated problem?""

In deze uitspraken zien we een voorafschaduw van de 'cognitieve swin' die de psychologie sindsdien heeft doorgemaakt, en die ook veel invloed heeft gehad op het onderzoek op het gebied van het natuurkunde-onderwijs.

Met de uitspraak. "In assessing what might be done to improve the state of the curricular art, we are inevitably drawn into discussion of the nature of motives for learning and the objectives one might expect to attain in educating youth", wordt een vierde thema geïntroduceerd. Een thema dat speelt op alle onderwijsniveaus, van de individuele docent en leerling in de natuurkunde tot de rol van het natuurkunde-onderwijs in de maatschappij als geheel. Een thema, dus ook, dat altijd om serieuze aandacht zal blijven vragen.

Tenslotte, voor wat betreft de onderwijshulpmiddelen, werd geconcludeerd dat "the teacher's task as communicator, model and identification figure can be supported by a wide use of a variety of devices that expand experience, clarify it, and give it personal significance". Alleen al vanwege de opkomst van de personal computer lijkt dit thema sindsdien een volledig nieuwe betekenis voor het natuurkunde-onderwijs te hebben gekregen (in vergelijking met de 'teaching machines' van de jaren vijftig en zestig).

Zoals al vermoed is het frappant om te zien hoeveel van het bovenstaande vandaag nog steeds relevant is. In onze curriculumontwikkeling en in ons onderwijs en didactisch onderzoek worstelen we nog steeds met dezelfde problemen. En dit ondanks het feit dat er in de afgelopen veertig jaar veel werk is verzet op dit gebied. Op dat vele werk wil ik nu verder ingaan, althans voorzover het betrekking heeft op het natuurkunde-onderwijs. En uiteraard vanuit mijn eigen optiek.

Onderwijzen we nu (of nog steeds?) de structuur van de discipline, zoals Bruner adviseerde? Hebben we nu natuurkundecurricula die inderdaad zijn aangepast aan de cognitieve ontwikkeling van kinderen, en zo ja, op welke manier hebben we dat dan gedaan? Is het ruimte geven voor ontdekkend leren nog steeds een belangrijke onderwijsstrategie in het natuurkunde-onderwijs? En op welke doelen richten we ons nu, en hoe gaan we om met de motivatieproblematiek?

Wat ik over de antwoorden op deze vragen kan zeggen, en dat is uiteraard beperkt, zal ik ordenen volgens drie hoofdthema's: doelen en inhouden, onderwijzen en leren, en wijzen van curriculumontwikkeling en implementatie. Maar voordat ik dit doe is het goed om ons steeds weer te realiseren dat het (natuurkunde-)onderwijs geen constante is, maar een variabele. Onderwijs is voortdurend aan veranderingen onderhevig in directe samenhang met de ontwikkelingen in de maatschappij waar het deel van uitmaakt, met de ontwikkelingen in de maatschappelijke opvattingen over onderwijs en

wetenschap, en met de ontwikkelingen in die wetenschap zelf (Lijnse, 1983). Om hieraan tegemoet te kunnen komen is, naast het 'gewone' schrijven van leerboeken, een professionele wijze van curriculumontwikkeling in het leven geroepen, als een verondersteld noodzakelijk middel om het onderwijs aan deze continue stroom van veranderingen en invloeden te kunnen aanpassen. En ofschoon deze curriculumontwikkeling gewoonlijk niet beschouwd wordt als te behoren tot vakdidactisch onderzoek, heeft het wel op vele plaatsen de belangrijkste impulsen gegeven tot het ontstaan daarvan (Fensham, 1994).⁴

2. Doelen en Inhouden

2.1. De Structuur-van-de-Discipline

Het eerste grote project, de PSSC-physics-course, hoofdzakelijk bedoeld voor "the academically superior college-bound students" (French, 1986), heeft wereldwijd grote invloed gehad (PSSC, 1960). Het project had een duidelijk vernieuwende opzet, door Matthews (1994) als volgt beschreven: "Its intention was to focus upon the conceptual structure of physics, and teach the subject as a discipline: applied material was almost totally absent from the text. Air pressure for instance is not mentioned in the index, it is discussed in the chapter on "The Nature of Gases", and the chapter proceeds entirely without mention of barometers or steam engines, the former making its first appearance in the notes to the chapter". In hun onderwijs maakten zij gebruik van zeer veel experimenten, om vorm te kunnen geven aan het idee van 'being a scientist for the day'. Deze karakteristiek leek zo mogelijk zelfs nog meer van toepassing te zijn op de minstens zo invloedrijke Engelse Nuffield-Physics projecten (O-level, 11-16; A-level, 16-18). Ook deze projecten focuseerden grotendeels op het onderwijzen van de disciplinaire basisstructuur, maar op een wat andere manier (Ogborn, 1978). Of, zoals Eric Rogers (1966), de man achter Nuffield O-level Physics, het formuleerde: "And for the things we do teach we should choose topics that have many uses. I do not mean practical applications, but rather linkages with other parts of physics. Science should appear to our pupils as a growing fabric of knowledge in which one piece that they learn reacts with other pieces to build fuller knowledge". Het O-level project richtte zich op 'teaching for understanding' en op 'physics for all', zoals het werd omschreven. Later, echter, realiseerde men zich dat deze curricula toch niet zo goed gericht waren op 'physics for all' als men eerst had gedacht, maar eigenlijk het best geschikt waren voor de meer begaafde, wetenschappelijk georiënteerde leerling. Om hun feitelijke rationale beter tot uitdrukking te brengen zijn ze daarom later wel omschreven als 'physics for the inquiring mind'.

Een speciaal aspect van de tot nu toe genoemde curricula is dat zij met name ook een voorbeeld rol hebben gespeeld met betrekking tot het probleem van het vanuit disciplinair standpunt inhoudelijk 'updaten' van het natuurkundeonderwijs. In het bijzonder met betrekking tot het onderwerp 'moderne natuurkunde'. French beschreef enkele van de belangrijkste keuzen van het PSSC-team als volgt: "The most basic and universal features of the physicist's description of nature - such matters as orders of magnitude and the effects of changes of scale- would be stressed. There would be a unifying

theme - the atomic, particulate picture of the universe - in the presentation and discussion of the subject matter. Also, in the interests of achieving depth of treatment, substantial areas of traditional material (such as sound) would be omitted". En, zoals de ontwikkelaars van Nuffield A-level zeiden: "One of our basic decisions has been to sacrifice a wide acquaintance with many ideas for a deeper understanding of fewer". Volgens dit principe hebben zij inderdaad sterk vernieuwende en didactisch schitterende inleidingen tot onderwerpen als quantum mechanica, statistische mechanica en elektronica ontwikkeld (op 'advanced' niveau).

Ondanks de immense internationale invloed van deze projecten, en ondanks dat soortgelijke innovaties sindsdien in veel landen zijn uitgetoetst (Girep, 1973; Aubrecht, 1987; Fischler, 1993; etc.) kan men, naar mijn idee, nog steeds niet zeggen dat, op secundair niveau, het didactische probleem van het waarom, wat en hoe van de basisideeën van de moderne natuurkunde bevredigend is opgelost. Te meer daar, vanwege de snelle ontwikkeling van de natuurkunde zelf, we niet alleen te maken hebben met basisideeën van quantum mechanica en relativiteitstheorie, zoals vaak gedacht wordt, maar ook andere onderwerpen reeds staan te kloppen op onze curriculumdeuren, zoals: chaos, gecondenseerde materie, computationele natuurkunde, hoge energie natuurkunde, kosmologie, etc. (Girep, 1993, 1991, etc.). Deze snelle ontwikkeling veroorzaakt in feite een constante 'top-down' druk op het curriculum, resulterend in het serieuze gevaar dat het steeds meer overladen wordt. Wat dit betreft dient de structuur van de discipline, vanwege zijn grotendeels hiërarchische aard, niet alleen beschouwd te worden als een gids voor het curriculum, maar zeker ook als een hinderpaal, want daardoor is het meestal veel duidelijker wat er in het curriculum bij zou moeten, dan wat er uit kan worden weggelaten.

Tot nu toe lijkt er geen echte consensus te bestaan over hoe men met deze druk op het curriculum zou moeten omgaan. Met het oog op de tijd die nodig is om inzicht te bereiken bepleit Arons, bijvoorbeeld, nog steeds om zoiets als het Bohr atoom als eindpunt te accepteren voor een zinvolle inleiding in de natuurkunde. "What seems to me to be feasible and highly desirable in an introductory course is to get to the insights gained in early twentieth century physics: electrons, photons, nuclei, atomic structure and (perhaps) the first qualitative aspects of relativity". En zelfs om dat te kunnen bereiken dienen er al moeilijke keuzen gemaakt te worden: "To achieve this, it is impossible to include all the conventional topics of introductory physics. One must leave gaps, however painful this may seem. How does one decide what to be left out? One powerful way, in my experience, is to define what I call a 'story line'. If one wishes, say to get to the Bohr-atom, one should identify the fundamental concepts and subject matter from mechanics, electricity, and magnetism that will make understandable the experiments and reasoning that defined the electron, the atomic nucleus, and the proton. The selected story line would develop the necessary underpinnings and would leave out those topics not essential to understanding the climax. For students continuing in physics, the gaps would have to be recognized, accepted, kept in mind by the faculty, and closed in subsequent courses".

Naar mijn idee behoeft het probleem van hoe het natuurkundecurriculum

in zijn geheel kan worden gestructureerd als een verzameling zinvol samenhangende en zich geleidelijk ontwikkelende 'story lines', nog steeds diepgaande aandacht (Ogborn, 1978). Of, in andere woorden, hoe kan de structuur van de natuurkunde (in brede zin) worden omgevormd tot een beter onderwijsbare curriculumstructuur (De Vos et al., 1994)?

2.2. Proces en Processen

In de genoemde projecten is ook veel aandacht voor het 'proces van de natuurkunde' en voor het leerlingen doen ervaren van een 'ontdekkings- of onderzoeksproces'. In het PSSC leerboek "physics is presented not as a mere body of facts but basically as a continuing process by which men seek to understand the nature of the physical world".

Maar leerlingen dienen niet alleen iets te leren over een proces dat anderen, en in het bijzonder 'grote' natuurkundigen, hebben doorgemaakt, ze moeten ook zelf dit proces ervaren. Om Rogers (1966) weer te citeren: "Practical work is essential not just for learning material content, but for pupils to make their own personal contact with scientific work, with its delight and sorrows. They need to meet their own difficulties like any professional scientist and enjoy their own successes, so that the relation of scientific knowledge to experiment is something they understand".

Men zou dus kunnen zeggen dat deze nadruk op 'proces' in de eerste plaats om interne redenen werd gelegd. Het behoort tot het begrijpen van natuurkunde om te weten hoe natuurkundige kennis wordt gegenereerd en hoe het zich ontwikkelt. En omdat natuurkunde een empirische wetenschap is, wordt het als een onlosmakelijk deel van natuurkunde leren beschouwd om ook te leren hoe je zelf kennis van de natuur kunt vergaren door hypothesen te stellen, te testen en te experimenteren. Natuurkunde leren door natuurkunde te doen, is sindsdien een bekende slogan geworden. Het gebruik van 'praktisch werk' in het natuurkunde-onderwijs heeft inmiddels een grote vlucht genomen en het is een integraal onderdeel geworden van veel curricula en leerboeken. Zodanig zelfs dat het leren van experimentele vaardigheden soms tot een doel op zich lijkt te zijn geworden, bijna niet meer gerelateerd aan het doel van experimenteren, nl. nieuwe kennis ontwikkelen (Woolnough and Allsop, 1985; Woolnough, 1989; Wellington, 1989; Hegarty-Hazel, 1990; Hodson, 1993).

Uit natuurkunde-didactisch onderzoek is het inmiddels duidelijk geworden dat het toenmalige idee van ontdekkend leren misschien wel wat te naïef is geweest (Driver, 1983). Vanuit een huidige constructivistisch perspectief (zie verder) kon dit immers welhaast niet anders dan leiden tot 'misconcepties'. En anderzijds heeft natuurkunde leren door te doen tegenwoordig bijna een nieuwe dimensie erbij gekregen, vanwege de mogelijkheid om 'artificial worlds' te modelleren, die nu middels de personal computer binnen het bereik van leerlingen is gekomen (Mellar et al., 1994).

Terugkerend naar de curriculumgeschiedenis, in Harvard Project Physics (1970), een ander groot Amerikaans project dat veel internationaal applaus heeft gekregen, werd de aandacht voor het interne proces van de natuurkunde geplaatst in een veel bredere intellectuele context. Ook externe invloeden

werden nu in beschouwing genomen. In de beroemde woorden van Rabi: "I propose science be taught at whatever level from the lowest to the highest, in the humanistic way. It should be taught with a certain historical understanding, with a social understanding and a human understanding in the sense of the biography, the nature of the people who made this construction, the triumphs, the trials, the tribulations". Vanwege deze bijzondere nadruk, werd verwacht dat een veel bredere groep leerlingen (in het bijzonder de meisjes) zouden kunnen worden aangetrokken. Vanuit het standpunt van de fysicus heeft ook dit project werkelijk schitterende curriculummaterialen ontwikkeld. Desondanks slaagde het er niet alleen niet werkelijk in om beduidend meer leerlingen aan te trekken (French, 1986), ook is hun historische en filosofische benadering gedurende lange tijd slechts in geringe mate door anderen overgenomen. Pas recentelijk heeft dit curriculumfocus op geschiedenis en filosofie, alhoewel altijd wel op de achtergrond in meer of mindere mate aanwezig, een nieuwe impuls gekregen (Matthews, 1994). Aandacht voor de 'aard van de natuurkunde', voor haar historische, epistemologische en methodologische aspecten is nu een regulier onderdeel van curricula aan het worden (Aikenhead, 1991). In Engeland is het zelfs opgenomen in het voorgeschreven National Curriculum, terwijl, zoals u weet, in ons land dit aspect een sterk accent heeft gekregen in het nieuwe vak Algemene Natuurwetenschappen.

Historisch gezien hield dit bredere perspectief in dat de nadruk (gedeeltelijk) verschooft van 'teaching as inquiry' naar 'teaching about inquiry'. Een zelfs nog sterkere verschuiving werd beschreven door Shulman en Tamir (1973) in wat zij 'teaching of inquiry' noemden. Deze stap werd in extreme vorm uitgewerkt in een derde invloedrijke benadering, die werd ontwikkeld in het Amerikaanse SAPA-project, een afkorting die staat voor Science A Process Approach⁵. Zoals beschreven door de psycholoog Gagné: "this project rejects the 'content approach' idea of learning highly specific facts or principles of any particular science or set of sciences. It substitutes the notion of having children learn generalisable process skills which are behaviorally specific, but which carry the promise of broad transferability across many subject matters⁶".

Wetenschappelijk gedrag werd uiteengelegd in eenvoudiger wetenschappelijke procesvaardigheden, zoals: observeren, classificeren, communiceren, gevolgtrekkingen maken, etc, die geacht werden als zodanig leerbaar en onderwijsbaar te zijn. Sindsdien heeft er een voortdurend debat plaatsgevonden over de vraag of men in het onderwijs nu de nadruk moet leggen op wetenschappelijke kennisverwerving dan wel op verwerving van wetenschappelijke vaardigheden, ofwel dat het zinloos is om überhaupt deze scheiding te willen maken (Millar en Driver, 1987).

Tegenwoordig is dit debat, naar het lijkt, meer actueel dan ooit omdat veel onderwijskundigen het onderwijzen van zelfs nog bredere algemene vaardigheden propageren. Niet alleen als een doel op zich, maar ook, zoals al voorgesteld door Gagné, als de aangewezen manier om om te gaan met de dreigende 'elephantiasis' van onze curricula.

2.3. Verbreding van doelen

Zoals hierboven reeds aangegeven, bleken de curricula die de structuur-van-de-discipline benadrukten, zowel qua rationale als qua cognitieve eisen (zie verder), meer gericht te zijn op de begaafde wetenschappelijk geïnteresseerde leerling dan op 'natuurkunde voor iedereen'. Daarmee een curriculumगत openlatend voor wat betreft aandacht voor de minder begaafde, minder wetenschappelijk geïnteresseerde leerlingen. Voor die groep werden zowel (meer) geïntegreerde science-projecten, als technologie-projecten ontwikkeld (zie bijv. Brown, 1977). Deze zouden, in overeenstemming met de geest van de tijd, kunnen worden geïnterpreteerd als te maken hebbend met een verschuiving van discipline-gericht naar leerling-gericht onderwijs. Een belangrijke rationale achter het geïntegreerde science-onderwijs was dat een verdeling in afzonderlijke disciplines niet samenvalt met de manier waarop leerlingen hun wereld ervaren. (Echter, zoals Black (1985) beargumenteerde, leerlingen ervaren hun wereld net zo min op een geïntegreerde-science manier.)

Hoe dit ook zij, geïntegreerd science-onderwijs is in veel landen ingevoerd, alhoewel sommigen daarvan inmiddels zijn teruggedaan naar gecoördineerd science-onderwijs. Andere landen hebben deze trend zelfs helemaal weerstaan en zijn helemaal niet overgegaan op vakkenintegratie.

De vroege technologieprojecten zijn hoofdzakelijk ontwikkeld als activiteiten die konden worden toegevoegd aan het natuurkundecurriculum, waaruit een visie op technologie naar voren komt als bestaande uit toepassing van natuurkunde (bijv. Schools Council, 1975). Tegenwoordig wordt deze visie op technologie niet langer als adequaat beschouwd, waaruit de geleidelijke emancipatie van technologie als apart schoolvak is geresulteerd (Layton, 1993).

In de jaren zeventig, ontwikkelde zich geleidelijk nog een andere nadruk, die nu wordt aangeduid met STS (zie bijv. Solomon en Aikenhead, 1994), alhoewel deze afkorting nog steeds gebruikt wordt voor een scala van benaderingen. Eén daarvan betreft de expliciete reflectie op de relatie van wetenschap, technologie en maatschappij (bijv. het Engelse Science in Society project (SiS)), met nadruk op maatschappelijke implicaties en problemen. Een andere aanpak geeft meer aandacht aan de relevantie van de te leren inhouden voor leerlingen, door natuurkunde te onderwijzen in contexten uit het dagelijks leven of maatschappij (bijv. het Nederlandse PLON-project; Satis, 1992). Globaal gesproken zijn beide benaderingen ook bekend geworden onder de naam 'science for the citizen' en 'science for action', of, neutraler, als gecontextualiseerd natuurkundeonderwijs.

Het SiS-project is een voorbeeld van een project waarin de maatschappelijke dimensie wordt behandeld als een toevoeging aan het reguliere curriculum. In het PLON-project, echter, zijn aandacht voor wetenschapsgerelateerde maatschappelijke problemen, voor 'consumentennatuurkunde' en andere 'leerlingrelevante' contexten geheel geïntegreerd in het natuurkunde-onderwijs zelf. Wanneer, echter, de grenzen die aan een curriculum gesteld worden zodanig zijn dat het natuurkundecurriculum zijn identiteit van 'echte' natuurkunde moet behouden, dan kan een gecontextualiseerde benadering

resulteren in aanzienlijke spanning tussen de kennis die relevant lijkt voor de gekozen contexten, en dat wat zou moeten worden behandeld vanuit het disciplinaire perspectief. Of, in andere woorden, men dient dan een niet eenvoudige balans te vinden tussen de 'structuur van de discipline' en de 'structuur van de contexten' (Lijnse et al., 1990).

Beide benaderingen houden echter een duidelijke verbreding van traditionele doelen in (Fensham, 1988), die je weer kunt relateren aan 'natuurkunde voor iedereen'. Hoewel, in dit verband, deze slogan heel anders geïnterpreteerd moet worden dan hiervoor. In verband met deze verbreding, moesten, in de jaren tachtig, trouwens ook nog andere nieuwe onderwerpen als, bijvoorbeeld, milieu en (informatie-)technologie aan het curriculum worden toegevoegd. Op veel plaatsen werd en is het zaak van discussie of deze onderwerpen in het reguliere natuurkunde-onderwijs moeten worden ingepast, dan wel dat ze als aparte vakken moeten worden onderwezen.

En vanuit maatschappelijk standpunt deden zich nog meer problemen voor, zoals hoe het natuurkunde-onderwijs aan te passen aan de behoeften van meisjes (Bentley en Watts, 1986) en aan die van een multiculturele samenleving (Reiss, 1993). Waarmee de vraag zich stelt hoe breed we onze doelen eigenlijk wel kunnen maken om nog steeds te mogen spreken van natuurkunde-onderwijs. Of kunnen we in het licht van deze ontwikkelingen natuurkunde als schoolvak maar beter opheffen?

Echter, na deze verbredingstendens (de geest van de late jaren zeventig en vroege jaren tachtig), zien we weer een andere tendens naar voren komen die minder focuseert op natuurkunde voor 'goed burgerschap', en meer op de waarde van natuurkunde voor het opleiden van een hoog gekwalificeerd arbeidspotentieel (de geest van de late jaren tachtig en negentig). Beroepskwalificaties worden opgesteld en het natuurkunde-onderwijs moet explicieter gaan bijdragen aan het bereiken daarvan. Als een gevolg hiervan zien we opnieuw een verandering in de curriculumdiscussies optreden, die nu ruwweg te karakteriseren valt als van leerling-gericht naar klant-gericht (met tegelijkertijd bijzondere aandacht voor het hoog begaafde kind). In relatie hiermee komt de wens naar voren om de 'harde inhoudelijke kern' van natuurkunde-curricula preciezer vast te leggen (bij voorkeur beschreven in te bereiken kerndoelen, die regelmatig kunnen worden getest.). Echter, de inhoud van deze 'harde kern' wordt nu niet alleen meer vastgesteld door 'pure' academische fysici of natuurkunde onderwijzers (zoals in het verleden het geval was), maar ook door hen die de markt vormen voor wie we onze leerlingen opleiden (zoals werkgevers en hogere opleidingsinstellingen).

Tot zover een zeer beknopt en zeer subjectief overzicht van zo'n veertig jaar van curriculumdiscussies over doelen en inhoud. Blijkbaar had en heeft het natuurkunde-onderwijs te worstelen met een continue stroom van innovaties, die vanuit een scala van veelal maatschappelijke argumenten zijn bepleit. Wat kunnen we uit deze beschrijving nu concluderen? Een eerste vanzelfsprekende conclusie zou kunnen zijn dat, voorzover het doelen en inhoud betreft, dezelfde thema's met cyclische regelmaat aan de orde lijken te worden gesteld, als in een soort golfbeweging, gedreven door de voortdurend veranderende visies over onderwijs in een veranderende maatschappij. Zou-

den we, desalniettemin, voorzichtig mogen concluderen dat het natuurkunde-onderwijs als het ware naar boven spiraliseert, op een manier die we in zeker opzicht ook vooruitgang zouden mogen noemen (zoals Bruner verwachtte)? Of moeten we eerder concluderen dat het natuurkunde-onderwijs eigenlijk alleen maar ronddraait in cirkels, zoiets als een slang die regelmatig in zijn eigen staart bijt?

Of blijkt uit deze vraag naar 'vooruitgang' alleen maar dat ik niet goed weet waar het eigenlijk om gaat in het onderwijs. De wiskundendidacticus Freudenthal (1991) schreef hierover het volgende: "Once, asked by an interviewer whether I thought that attempts at innovating have improved education, I hesitated for a short while, only to eventually stamp it as a wrong question. Pictures of education, taken at different moments in history are incomparable. 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 cannot effect any more than adapting education to a changing society, or at the best can try to anticipate on the change. This alone is difficult enough".

Maar voor ik hier nog verder op in ga, moeten we eerst preciezer kijken naar de curriculumbeschuwingen die resulteerden uit onderzoek naar leren en onderwijzen (van natuurkunde).

3. Leren en Onderwijzen

In het voorgaande heb ik geen aandacht besteed aan het 'leren en onderwijzen' en op de invloed van onderzoek op dat gebied op curriculumontwikkeling. Daarom wil ik nu ook ten aanzien hiervan eerst een soortgelijk globaal beeld schetsen.

3.1. Behaviorisme en 'Piagetisme'

In de jaren vijftig en zestig was het behaviorisme de dominante stroming in de (Angelsaksische) onderwijspsychologie. Dit concentreerde zich op het formuleren van onderwijsdoelen op gedragsniveau, betrekking hebbend op kennis en vaardigheden, en georganiseerd in leehierarchieën en taxonomieën (Bloom, 1956). In feite is de benadering van Gagné, zoals eerder beschreven, hier een voorbeeld van (SAPA, 1968). Geprogrammeerde instructie en leermachines ontwikkelden zich tot geïndividualiseerde studiesystemen (Keller plan) en beheersingsleren (Bloom, 1971; White, 1979). Ondanks dat in onderzoeksrapporten veelvuldig over succesvolle implementaties van dit soort systemen is gerapporteerd (Lijnse, 1975), zijn deze benaderingen geleidelijk aan verdwenen, ofschoon ze, in zekere zin, recentelijk weer zijn opgedoken in veel computer ondersteunde onderwijsprogramma's.

Volgens deze benadering kan het onderwijsproces het best worden opgesplitst in zo klein mogelijke stappen, die, wat betreft hun sequentiëring, de 'logische' disciplinaire structuur moeten volgen. In die zin is in het behaviorisme curriculuminhoud geen variabele, en daarom had deze benadering ook slechts een zwakke relatie met de natuurkundendidactiek. De blijvende bijdrage hiervan aan het natuurkunde-onderwijs is dan ook niet spectaculair.

Een daarop volgende psychologische benadering die veel meer invloed heeft gehad op het natuurkunde-onderwijs is wat ik hier het 'piagetisme' wil noemen. Daarin werd Bruner's hierboven geciteerde aanbeveling serieus

genomen. Piaget's beschrijving van concreet en formeel operationeel denken was en is een nuttige globale aanwijzing voor het uitlijnen van onderwijs. Behalve dat ze veel curriculumprojecten sterk heeft beïnvloed (waarvan sommigen zelfs expliciet uitgingen van een piagetaans perspectief, zoals ASEP, 1974) heeft de niveautheorie van Piaget, in het bijzonder in de USA, aanleiding gegeven tot een stortvloed van kwantitatieve onderzoeken waarin de cognitieve ontwikkeling van leerlingen in verband werd gebracht tot welhaast elke andere meetbare variabele. Uiteindelijk kunnen we zeggen dat dit type onderzoek weinig praktische invloed heeft gehad. Beter bruikbaar is de uit de U.K. stammende aanpak waarin de Piagetniveaus zowel gebruikt werden als een diagnostisch instrument om de te hoge eisen van veel van de nieuw ontwikkelde curricula te kunnen concretiseren, als als een middel om deze eisen te 'matchen' met de leeftijdsafhankelijke capaciteiten van leerlingen (Shayer en Adey, 1980; Adey en Shayer, 1994). Daarmee speelde dit onderzoek een belangrijke rol in het 'grijpbaar' maken van in welke mate en in welk opzicht de eerder beschreven 'physicist-for-the-day' type curricula geneigd waren de capaciteiten van 'alle' leerlingen te overschatten. Ook al zijn de bevindingen hiervan niet unaniem geaccepteerd, het 'piagetisme' maakte de belangrijke stap om niet alleen de te onderwijzen inhoud tot uitgangspunt te nemen voor curriculumontwikkeling, maar ook de cognitieve ontwikkeling van leerlingen. Dat betekent dat vanuit piagetaans gezichtspunt, de curriculuminhoud gezien wordt als een 'structurele' variabele, die volgens de (psycho-)logica van de cognitieve ontwikkeling gesequesterd moet worden. Later zijn, gebaseerd op piagetaanse redeneerpatronen, ook curriculummaterialen ontwikkeld die zich niet zozeer richten op het onderwijzen van vakinhoud, maar op het stimuleren van de cognitieve ontwikkeling zelf (Adey, Shayer en Yates, 1989).

Desalniettemin is de werkelijke betekenis en potentie van de piagetaanse niveautheorie nog steeds een onderwerp van discussie (Carey, 1985). Dat is overigens veel minder het geval voor een ander aspect van het 'piagetisme', nl., zijn constructivistische grondslag (Bliss, 1995; Adey en Shayer, 1994): het idee dat in essentie een lerende zijn eigen kennis construeert door te handelen met en op zijn omgeving. Toentertijd gaf dat een soort psychologische onderbouwing aan de aantrekkingskracht van 'ontdekkend leren' voor het natuurkunde-onderwijs, zoals dat uitgewerkt is in verschillende variaties van 'learning cycles': exploratie (aanrømmelen), inventie, ontdekking (toepassing). Ofschoon, zoals gezegd, ontdekkend leren in zijn naïeve vorm weer is verdwenen van de agenda, is het constructivisme nog volop aanwezig.

Het is moeilijk te zeggen in welke mate het piagetisme een blijvende bijdrage heeft geleverd aan het natuurwetenschappelijk onderwijs. Opvallend is dat de niveautheorie in de actuele literatuur nog nauwelijks aan de orde komt. En hoewel veel literatuur van de jaren zeventig heel optimistisch was ten aanzien van hun betekenis, denk ik dat we mogen concluderen dat tegenwoordig ook het meeste onderzoek hooguit nog slechts in globale zin door Piagetniveaus beïnvloed wordt. Of misschien moeten we zeggen dat het hedendaagse didactisch onderzoek de potentie van deze theorie niet verder meer probeert te ontwikkelen (zie echter Lawson, 1994, voor een nieuwe interpretatie).

3.2 Constructivisme

Dat heeft ook alles te maken met de spectaculaire opkomst, sinds de tweede helft van de jaren zeventig, van wat ik 'didactisch constructivisme' zou willen noemen. Hiermee verwijs ik naar wat in de vakdidactiek begonnen is als de 'alternative framework' beweging, zoals het soms slordig genoemd wordt. Een beweging die, in feite, beschouwd mag worden als te zijn ontstaan uit het vroege werk van Piaget. Er werd in voortgebouwd op de manier waarop Piaget de inhoud van het denken van kinderen over natuurlijke fenomenen onderzocht, en juist niet op zijn analyse daarvan in termen van hypothetische onderliggende logisch-mathematische structuren, die geleid heeft tot de bovengenoemde niveaetheorie. Deze nadruk op het inhoudsspecifieke redeneren van kinderen heeft eerst geleid tot een groot aantal diagnostische en beschrijvende onderzoeksrapporten over allerlei leerlingbegrippen en ideeën over situaties (Driver, Guesne en Tiberghien, 1985). Later is dit uitgebreid tot onderzoek naar leerlingideeën over experimenteren (Carey et al., 1991), over leren en onderwijzen, over hun ideeën over kennisverwerving, etc. (Butler Songer en Linn, 1991). Vervolgens is hetzelfde gedaan voor de ideeën en opinies van leraren (Tobin, Tippins en Gallard 1990). Ook is het verloop in de tijd van leerling- en leraarconcepties bestudeerd, zowel over een klein aantal lessen als over vele jaren (Driver Leach, Scott en Wood-Robinson 1994). Behalve de gebruikelijke 'implicaties voor het onderwijs', die het haast verplichte slotakkoord lijken te moeten zijn van veel onderzoeksartikelen, hebben deze onderzoeken ook geleid tot klasse-experimenten om concrete wegen te vinden, die het onderwijs met betrekking tot specifieke onderwerpen kunnen verbeteren, of om meer algemene 'betere' onderwijsstrategieën te vinden (CLIS, 1990). Zulke studies maken duidelijk dat dit onderzoeksgebied belangrijke implicaties heeft voor curriculumontwikkeling, die nog steeds niet volledig zijn ontwikkeld. Ze houden zelfs ook een verandering in van de manier waarop we over een curriculum moeten denken. Zoals Driver (1989) schreef: "Curriculum is not that which is to be learned, but a programme of learning tasks, materials and resources which enable students to reconstruct their models of the world to be closer to those of school science". Een belangrijke consequentie hiervan is dat "the curriculum is not something that can be planned in an 'a priori' way but is necessarily the subject of empirical enquiry".

Theoretisch gezien wordt binnen dit 'paradigma' de dominante positie ingenomen door 'constructivism and conceptual change'. Veel onderzoek richt zich op het verklaren van begripsverandering in termen van individuele of sociale processen, en op het vinden van algemene strategieën die zulke veranderingen laten plaatsvinden. Onderdeel van deze strategieën is hun nadruk op 'higher order thinking skills' en op metacognitie (Baird en Mitchell, 1986). Daarin weerspiegelt zich een sterke band met de cognitieve psychologie.

Op metaniveau vinden ook veel discussies plaats over verschillen in verschillende opvattingen over constructivisme en verwante ideeën over kennis en epistemologie (Matthews, 1995). Hoe interessant deze discussies op zich ook mogen zijn, naar mijn idee dragen ze niet of nauwelijks bij tot vooruitgang

van de praktijk van het natuurkunde-onderwijs.

Het grootste belang van dit paradigma lijkt me te liggen in het feit dat daarin aanvankelijk het leren en onderwijzen van natuurkundige inhoud zelf tot belangrijkste variabele is geworden in veel didactisch onderzoek. Onderzoeksresultaten dienen niet langer in de eerste plaats vanuit een ver verwijderd psychologisch perspectief geïnterpreteerd te worden, dat zowel door veel practici als vakdidactici dikwijls niet zozeer gezien wordt als irrelevant als wel als onbruikbaar. In mijn ervaring lijken deze inhoudsspecifieke opbrengsten ook docenten, vakdidactici en curriculumontwikkelaars veel directer te kunnen aanspreken, juist omdat die aangrijpen op hun intuïtieve vanzelfsprekendheden van een onberefleeteerd, op de praktijk gebaseerd niveau van expertise. De kunst zal echter zijn om deze eerste periode van 'constructivistisch' geïnspireerd natuurkunde-didactisch onderzoek productief voort te zetten. En dat kan niet door te vluchten in theoretische discussies over allerlei opvattingen over wat constructivisme wel of niet is of zou moeten zijn, maar door de concrete uitwerking van het 'triviale idee' over kennisverwerving uit te werken in hanteerbaar en productief onderwijs (zie verder).

Tot zover mijn zeer globale schildering van het onderzoek naar leren en onderwijzen van natuurkunde. In hoeverre heeft dit onderzoek nu ook invloed gehad op de praktijk van curriculumontwikkeling?

Zoals hierboven al is vermeld hebben de belangrijkste onderwijspsychologische theorieën zeker de beschreven ontwikkeling van curricula beïnvloed. Maar over de periode tot begin jaren tachtig concludeerden White en Tisher (1986) desalniettemin als volgt: "The great amount of energy that went into research did not spill over into seeing the results affected practice." Geldt deze conclusie ook voor de periode daarna, of kunnen we dat nu nog niet beoordelen? Zoals gezegd heeft de 'misconceptions-wave' veel aandacht gekregen van een breed publiek van didactici. In sommige landen heeft hij ook enige impact gehad op de formulering van kerndoelen van curricula, in die zin dat begrippen nu meer geleidelijk in stappen dienen te worden ontwikkeld, maar daar is het wel zo'n beetje bij gebleven.

Ook is er aandacht besteed aan het probleem om de boodschap door te laten dringen tot de leraren (bijv. CLIS, 1990). Maar, wat was die boodschap eigenlijk? Voorzover onderzoek door is gedrongen tot leraren, kregen zij daaruit vaak de indruk dat zij hun werk niet goed genoeg doen. Dat zij er niet in slagen om hun leerlingen voldoende te laten begrijpen van wat zij onderwijzen, en dat zij beter moeten omgaan met de misconcepties van hun leerlingen. Echter, op het eerste gezicht is dat een nogal negatieve boodschap, die het begrijpelijk maakt dat veel leraren niet direct staan te trappelen om er naar te luisteren. Maar, hoe kunnen we dit dan verbeteren? Algemene strategieën voor begripsverandering functioneren niet echt voor natuurkundedocenten zolang ze niet naar de concrete praktijk vertaald kunnen worden. En onderzoekers hebben op dat niveau nog niet veel te bieden (zie bijv. Tobin et al, 1994), waarvan ze zich overigens in toenemende mate bewust lijken te worden (Fensham, Gunstone en White, 1994). Gelukkig maar, zou ik zeggen, omdat anders, naar mijn mening, na een bemoedigende periode van productieve groei, het didactisch onderzoek opnieuw het gevaar zou lopen ern-

stig te stagneren.

4. Manieren van curriculumontwikkeling

4.1. Top-down benaderingen vanuit universiteiten

In het eerste deel beschreef ik enkele hoofdtrends in de curriculumontwikkeling voor natuurkunde, voor wat betreft inhoud en doelen. In het tweede deel deed ik hetzelfde voor onderzoek naar het leren en onderwijzen van natuurkunde, dat in meer of mindere mate implicaties heeft gehad voor curriculumontwikkeling. Op die manier heb ik, impliciet, ook enkele belangrijke ontwikkelingen aangestipt in de manier waarop curriculumontwikkeling plaatsvindt, gerelateerd aan de problemen van curriculuminnovatie en van het gebruik van onderzoeksresultaten in de praktijk. In dit deel wil ik hier verder op ingaan, omdat, naar mijn overtuiging, de door Bruner verwachte vooruitgang alles te maken heeft met de manier waarop we in de toekomst in staat zullen blijken deze problemen op te lossen.

Daarbij moeten we wel bedenken dat er een groot verschil in tijdschaal is tussen grootschalige curriculumontwikkeling en 'fundamenteel' onderzoek over leren en onderwijzen. Curriculumprojecten moeten vaak op korte termijn onderwijsmateriaal opleveren dat geschikt is voor gebruik op school, en ook inderdaad gebruikt wordt. Onderzoek naar leren en onderwijzen richt zich op een lange termijn proces van leren begrijpen, hopelijk te formuleren in toepasbare theorie.

Een tweede opmerking betreft het feit dat curriculumimplementatie tot op zeer grote hoogte ook een zaak is van onderwijspolitiek. Als, bijvoorbeeld, de politieke situatie in een land zodanig is dat de regering besluit om vanaf een bepaalde datum voor alle scholen een nieuw curriculum in te voeren, dan zal, kwantitatief gezien, de implementatie noodzakelijkerwijs succesvol zijn (bijvoorbeeld: de invoering van de basisvorming in ons land, en daarmee van het vak natuur- en scheikunde). Alhoewel kwalitatief gezien de situatie uiteraard nog geheel anders kan liggen (bijvoorbeeld: dat dit vak nog tot op grote hoogte een optelsom van de twee oude vakken is gebleven). Het andere uiterste van het spectrum is dat de politieke situatie zodanig is dat scholen, of zelfs individuele leraren, tot op grote hoogte vrij zijn om hun eigen keuzen te maken op curriculumgebied. Dan wordt, zoals de ervaring uit het verleden heeft laten zien, curriculumimplementatie een heel andere zaak.

De meeste van de eerst beschreven curricula zijn ontwikkeld in projectteams, waarin universitaire fysici, onderwijsspecialisten en natuurkundedocenten samenwerkten (French, 1986; Raizen, 1991). Dat hield een fundamentele verandering in ten aanzien van de gebruikelijke methode van het schrijven van leerboeken door één of twee auteurs, meestal zelf geen praktiserende fysici maar ervaren leraren. In ieder geval in de US gold dat de "fundamental axiom of the program was that the improvement of curricula needed to enlist outstanding research scientists" (Raizen, 1991). Of, zoals Matthews (1994) schrijft, in de eerste curriculumgolf zijn de vakwetenschappers "put firmly in the saddle of curriculum reform, teachers were at best stable-hands, and education faculty rarely got as far as the stable door. The PSSC project epitomized 'top-down' curriculum development: its maxim was: 'Make physics teacher-proof'."

Deze beschrijving maakt het begrijpelijk dat in het algemeen de meeste nadruk is gelegd op het updaten van wetenschappelijke inhoud, dat de vertaling van algemene leertheorieën in curriculummaterialen en klaspraktijk meestal resulteerde in 'considerable slippage' (zoals Fensham het noemt) en dat de rol van de leraren beperkt was tot 'trying out' en niet zozeer tot 'participating in'. Zoals Welch (1979) schreef: "Scientists were usually hesitant to accept the criticism of their 'science' from school teachers unless very convincing substantiating data were provided."

Desalniettemin ontwikkelden zulke top-down projecten in het algemeen prachtige, zeer originele en innovatieve curriculummaterialen, voor zowel studenten als docenten, die een brede en aanzienlijke invloed hebben gehad. French (1986) schrijft, bijvoorbeeld, over de PSSC-course dat deze zich kenmerkte "by originality and freshness of approach", en dezelfde karakteristieken gelden voor veel andere curricula die in die periode zijn ontwikkeld.

Een ander hoofdkenmerk van de eerste golf was dat het ging om ontwikkelingen vanuit centrale instituten, hoofdzakelijk universiteiten. Centrale projectteams van specialisten ontwikkelden prachtige materialen, die in een beperkt aantal scholen waren uitgetoetst, en die vervolgens top-down op grote schaal moesten worden geïmplementeerd. Echter, waarschijnlijk juist vanwege hun innovatieve karakter en hoge kwaliteit verliep deze innovatie bepaald niet zoals verwacht. Heel vaak, kwam adoptie van curricula niet noodzakelijkerwijs ook neer op adoptie van hun rationale of van hun aanbevolen onderwijsmethoden. In plaats van de vraag hoe teacher-proof curricula te implementeren, bleek het probleem veeleer hoe om te gaan met curriculum-proof docenten.

Fensham merkt op dat in de jaren zeventig "evidence accumulated that many or most of the hopes and good intentions of the reformers were not being achieved in schools." En volgens Matthews: "Now, in the 1990s, when school science reform is once more on the agenda, it is timely to know how much of this failure and confusion was due to the curriculum materials, how much to teacher inadequacies, how much to implementation and logistic failures, how much to general anti-intellectual or antiscientific cultural factors and how much to a residue factor of faulty learning theory and inadequate views of the scientific method that the schemes incorporated."

Dit is niet de plaats om al deze factoren uitgebreid te bespreken. De belangrijkste kern die ik hier wil benadrukken is dat blijkbaar een gecentraliseerde wijze van curriculumontwikkeling met projectteams van experts, alhoewel volledig begrijpelijk in die tijd, geneigd is om de fijngevoeligheden en complexiteit van curriculumimplementatie zeer te onderschatten, en in het bijzonder de rol van de docenten daarin. Zoals French (1986) opmerkte: "the crucial ingredient for the success of any educational innovation is the classroom teacher."

4.2. Schoolgebonden benaderingen

Het is daarom begrijpelijk dat, waarschijnlijk gedeeltelijk als reactie op de beschreven problemen, en gedeeltelijk omdat, in de tijdgeest van de jaren zeventig en tachtig, docenten zich meer en meer emancipeerden en zich meer betrokken gingen voelen bij het onderwijs in het algemeen en het na-

tuurkunde-onderwijs in het bijzonder, er geleidelijk een heel andere schoolgebonden benadering van curriculumontwikkeling naar voren kwam. Zoals Eggleston (1980) schrijft in het voorwoord van een boek over de situatie in Engeland: "School-based curriculum development has, in the early 1980s, become the dominant form of the curriculum development movement. After a decade in which the main effort has been focused on the national project, we have come to realise that if change in the schools is the objective, then the initiative must also come from the schools. The result has been a gradual resurgence of curriculum development that arises directly from the needs and enthusiasms of the schools, their pupils and their teachers."

Deze 'bottom-up' benadering van curriculumontwikkeling resulteert in het algemeen in een heel ander type materiaal, met andere doelen en pretenties. Gebruik van onderwijsmethoden die hanteerbaar zijn voor docenten, minder nadruk op de wetenschappelijke inhoud van de natuurkunde en meer op haar mogelijke relevantie voor leerlingen; minder 'glossy' en meer met 'beide voeten op de grond'; en in zeker opzicht minder innovatief en origineel, maar beter bruikbaar en lokaal aan te passen. Wat het onderzoek betreft, viel deze verandering in model van curriculumontwikkeling min of meer samen met een bepleite verandering in houding t.a.v. onderwijsonderzoek; weg van het academisch onderzoek dat focusteert op de ontwikkeling en daaropvolgende toepassing van (algemene) onderwijstheorieën, en naar actieonderzoek dat in de eerste plaats bedoeld was om docenten te steunen en te helpen in het bereiken van hun directe doelen, leidend tot voorbeeldpraktijken die door anderen kunnen worden overgenomen.

Beide 'geïdealiseerde' modellen van curriculumontwikkeling, zoals beschreven, hebben complementaire rollen te vervullen. Projecten vanuit de universiteiten, hetzij met natuurkundigen of docenten, kunnen zeer innovatieve curricula ontwikkelen, die echter nog niet op grote schaal implementeerbaar kunnen zijn. Desondanks kan hun invloed op lange termijn aanzienlijk en onmisbaar zijn. In schoolgebonden, docentgerichte manieren van curriculumontwikkeling, wordt dikwijls meer aandacht gegeven aan de directe zorgen van docenten en dus vormen ze een belangrijk mechanisme om docenten betrokken te doen raken bij de directe verbetering van hun eigen onderwijs-situatie, leidend tot het beschikbaar komen van flexibele en in principe tamelijk gemakkelijk implementeerbare curriculummaterialen en ervaringen. En, dikwijls, bestaat een deel van deze verbetering uit een lokaal hanteerbare aanpassing van de producten van de grootschalige innovatieve projecten, wat er op neer komt dat dit mes dan aan twee kanten snijdt.

4.3. Ontwikkelingsonderzoek

Naar mijn oordeel is er echter nog een derde model dat ook aandacht verdient. Niet om beide andere te vervangen, maar om een andere essentiële rol te vervullen, die tot nu toe te weinig aandacht heeft gekregen. De noodzaak voor dit model heeft te maken met, naar mijn mening, de noodzakelijke expliciete verbinding van onderzoek naar leren en onderwijzen met curriculumontwikkeling en in die zin met het slaan van een brug tussen onderwijskundige en/of vakdidactische theorie en curriculumpraktijk. In de grote projecten uit

het verleden, had, zoals beschreven, algemene onderwijskundige theorie alleen ergens op de achtergrond invloed, of zelfs alleen in de curriculumretoriek. In feite is dit, naar mijn overtuiging, niet zomaar een ongelukkige samenloop van omstandigheden, maar heeft het te maken met de essentie van zulke theorieën, nl. hun algemeenheid. In werkelijkheid was de feitelijke ontwikkeling van deze curricula veel meer gebaseerd op de intuïtieve inhoudsspecifieke didactische kennis, standpunten en ervaringen van de ontwikkelaars. En actie-onderzoek resulteert meestal meer in actie dan in ontwikkeling van empirisch ondersteunde didactische theorievorming. Beide modellen hebben daarom geleid tot een grote hoeveelheid van belangrijke veranderingen en verbeteringen van de onderwijspraktijk, maar niet tot een systematische op onderzoek gebaseerde manier van het maken van vooruitgang op curriculumgebied. Tegelijkertijd, echter, lijkt de beschreven groei van onderzoek naar het leren en onderwijzen van natuurkunde te beloven dat deze vooruitgang wel binnen handbereik ligt, vooropgesteld dat we erin slagen om het onderzoek naar het leren en onderwijzen van natuurkunde, en curriculumontwikkeling elkaar te laten vinden in een gezamenlijke lange termijn benadering.

Dit kan het beste plaatsvinden, denk ik, in een tamelijk pragmatisch proces van hecht verbonden kleinschalige curriculumontwikkeling en onderzoek van onderwijsleerprocessen, dat wordt aangeduid als 'ontwikkelingsonderzoek' (Lijnse, 1995), waarin onderzoekers (fysici, vakdidactici) en natuurkundecenten nauw samenwerken op basis van gelijkwaardigheid. Het gaat om een cyclisch proces van theoretische reflectie, conceptuele analyse, kleinschalige curriculumontwikkeling (met inbegrip van nascholing en toetsontwikkeling) en onderzoek van de interactie van onderwijs- en leerprocessen in de klas. De uiteindelijke, empirisch ondersteunde, beschrijving en rechtvaardiging van deze gerelateerde processen en activiteiten vormen wat we mogelijke 'didactische structuren' zouden kunnen noemen voor het betreffende onderwerp. Een gedetailleerde beschrijving en rechtvaardiging van zulke structuren kan gegeven worden in termen van leertaken, hun onderlinge samenhang, en van de acties die leerlingen en docenten verondersteld en verwacht worden te doen. In feite kunnen zulke beschrijvingen beschouwd worden als empirisch geteste domein specifieke didactische theorieën (Klaassen, 1995), die gebaseerd zijn op expliciete visies op natuurkunde en natuurkunde-onderwijs. Reflectie op zulke theorieën voor diverse onderwerpen, kunnen leiden tot 'hogere orde' didactische theorie. Omdat de disciplinaire structuur van de natuurkunde bij nader inzien niet het meest geschikte startpunt geeft voor onderwijsconstructie, dient deze ontwikkelingsonderzoeksbenadering tevens te resulteren in empirisch ondersteunde didactische structuren voor de natuurkunde als geheel. Zoals Freudenthal beargumenteert (1991), is de term 'implementatie van resultaten' ook niet de meest geschikte voor ontwikkelingsonderzoek. Dat vraagt veel meer om een geleidelijk en continu proces van uitzaaiing, gebruik, reflectie en verdere ontwikkeling van ideeën, om de noodzakelijke verandering op alle niveaus te weeg te kunnen brengen.

Deze derde aanvullende benadering van ontwikkelingsonderzoek is geen theoretisch fata morgana, maar een manier van zowel pragmatisch als reflectief werken die, op verschillende manieren, al wordt uitgevoerd op vele plaat-

sen. Het betekent in feite dat curriculumontwikkeling en didactisch onderzoek zijn samengebracht. De CLIS P-benadering (Driver en Oldham, 1987) is een welbekend voorbeeld, dat dicht in de buurt komt van wat ik heb beschreven. Het PEEL-project in Melbourne heeft een soortgelijke weg gevolgd, alhoewel het zich niet richtte op het onderwijzen van een bepaald vakinhoudelijk onderwerp, maar op de ontwikkeling van metacognitie. In de recente Europese zomerscholen voor a.i.o.'s op het gebied van de didactiek van de natuurwetenschappen, bleek dat veel activiteiten zich richten op het onderwijzen van X, waarin X staat voor een bepaald onderwerp (Lijnse, 1994, 1996). In de US, zijn er ook didactici (bijv. McDermott en Shafer, 1993) die op verwante wijze te werk gaan.

Tegelijkertijd maakt deze opsomming ook een zwakke plek duidelijk van de gepropageerde benadering, en dat is hoe samen te werken en voort te bouwen op elkaar's concrete ervaringen. Dat vraagt erom dat gedetailleerde beschrijvingen van onderzoek en curriculummaterialen beschikbaar komen. En veel gedetailleerder dan nu gebruikelijk is in de onderzoeksliteratuur. Misschien dat in de toekomst hier een rol weggelegd is voor het internet. Immers, dit maakt het mogelijk om de gedetailleerde onderzoeksgegevens en bijbehorende lesmaterialen op internationale schaal uit te wisselen, zodat het veel directer mogelijk wordt van elkaars ervaringen te profiteren.

5. Conclusies

Ik wil eindigen met het kort samenvatten van het bovenstaande in een aantal korte conclusies. Uitgaand van Bruner's beschrijving uit de jaren vijftig, heb ik, met betrekking tot de verwachte vooruitgang in curriculumontwikkeling, gepoogd te beschrijven wat de hoofdtrends hierin zijn geweest. Er is veel gedaan aan het conceptueel en onderwijskundig bij de tijd houden van het natuurkunde-onderwijs. Een taak die overigens nooit af zal zijn.

Tegelijkertijd, en grotendeels resulterend uit de eerste belangrijke curriculum inspanning, heeft natuurkunde-didactisch onderzoek laten zien dat de moeilijkheid van het ontwerpen van begrijpelijke curricula en onderwijs, in het verleden sterk is onderschat. Daarmee wijzend op een tweede lange termijn taak, die ook onophoudelijk aandacht zal vragen in de toekomst.

In beide taken hebben de verschillende participanten, fysici, natuurkundedocenten en natuurkundededidactici verschillende maar even belangrijke rollen te spelen. Zoals ik heb betoogd hebben deze verschillende rollen in het verleden min of meer geleid tot drie verschillende modellen van curriculumontwikkeling, die in zekere zin even belangrijk zijn maar zich richten op verschillende functies. Voor de toekomst zal de lang verwachte realisatie van Bruner's voorspelde curriculumvoortgang, naar mijn oordeel, sterk afhangen van de mate waarin we er in zullen slagen om deze verschillende perspectieven op een gecoördineerde, samenwerkende wijze te laten bijdragen aan de ontwikkeling van nieuwe natuurkundecurricula en nieuwe manieren van onderwijzen.

Noten

1. In dit artikel beperk ik me tot ontwikkelingen in het natuurkundeonderwijs. Het is waarschijnlijk dat in andere vakken soortgelijke ontwikkelingen hebben plaatsge-

- vonden, maar aangezien ik die niet overzie, doe ik daar geen uitspraak over.
2. Deze conferentie wordt vaak als het begin gezien van de 'curriculum wave'. Vandaar dat ik Bruner hier uitgebreid aan het woord laat, om het beginpunt vast te leggen.
 3. De beperking tot de Angelsaksische landen laat zich rechtvaardigen door het feit dat deze nu eenmaal, waarschijnlijk hoofdzakelijk vanwege de taal, in grote mate toonaangevend zijn voor de internationale ontwikkelingen. Natuurlijk zijn er ook in vele andere landen locale ontwikkelingen geweest, maar de invloed is veelal beperkt gebleven tot de eigen landsgrenzen.
 4. Fensham schrijft over 'science educators' als "a professional group that can almost be said to have been created by the wave of curriculum reforms in school science that occurred in the 1950/60s."
 5. Dit verschil in benadering werd waarschijnlijk bevorderd door het feit dat dit project zich bezighield met het basisonderwijs. De invloed van de benadering strekte echter veel verder.
 6. Het is interessant om op te merken dat vanuit psychologisch standpunt, om precies dezelfde reden, nl. 'transferability', twee schijnbaar conflicterende benaderingen zijn gepropageerd. Aan de ene kant de nadruk op de 'most general' kennis (Bruner), en aan de andere kant de nadruk op de 'most general' processen (Gagné).

6.Literatuur

- Adey, P., Shayer, M. & Yates C.(1989). *Thinking Science*. London: Macmillan.
- Adey, P. & Shayer, M. (1994). *Really Raising Standards*. London: Routledge.
- Aikenhead, G.S. (1991). *Logical Reasoning in Science & Technology* (Student Text and Teachers Guide) Toronto: John Wiley.
- Arons, A.B.(1990). *A Guide to introductory physics teaching*. New York: Wiley.
- Aubrecht, G. (1987). *Quarks, Quasars and Quandaries*. Maryland: AAPT.
- Baird, J.R. & Mitchell, I.J. (1986). *Improving the quality of teaching and learning: an Australian case study - the PEEL project*. Melbourne: Monash University.
- Bentley, D. & Watts, D.M.(1986). Courting the positive virtues: a case for feminist science. *Eur. J. Sci. Educ.*, 8, 121 -134.
- Black, P. (1985). Could physics be re-admitted to the curriculum? *Phys. Ed.*, 20, 267 -271.
- Bliss, J. (1995). Piaget and after: the Case of Learning Science. *Stud. Sci. Educ.*, 25, 139 -172.
- Bloom, B.S. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives, Handbook I: Cognitive Domain*. New York: Longman.
- Bloom, B.S. (1971). Mastery Learning and its implications for Curriculum Development. In E.W.Eisner: *Confronting Curriculum Reform*. Boston: Little, Brown and Co, 17 - 49.
- Brown, S.A. (1977). A review of the meanings of, and argumentation for, integrated science. *Stud. Sci. Educ.*, 4, 31 - 62.
- Brown, S. & McIntyre, D.(1981). An Action-Research Approach to Innovation

- in Centralized Educational Systems. *Eur. J. Sci. Educ.*, 3, 243 - 258.
- Bruner, J.S. (1960). *The Process of Education*, New York: Random House.
- Butler Songer, N. & Linn, M.C.(1991) How Do Students' Views of Science Influence Knowledge Integration? *J.Res.Sci.Teaching*, 28, 761 - 784.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in Childhood*, Cambridge: MIT Press.
- Carey, S., Evans, R., Honda M., Jay E. & Unger C. (1991). 'An experiment is when you try it and see if it works': a study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge, *Int. J. Sci.Educ.*
- Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of research in science teaching*, 30, 1241-1257.
- CLIS (1987). *CLIS in the classroom: approaches to teaching*. Leeds: CSSME.
- CLIS: *Interactive Teaching in Science*, Workshops for Training Courses (1990). ASE.
- Driver, R. (1983). *The pupil as Scientist?* Milton Keynes: O.U.P.
- Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. (eds.) (1985). *Children's ideas in Science*, Milton Keynes: O.U.P.
- Driver, R. & Oldham, V.(1986). A constructivist Approach to Curriculum Development in Science. *Studies in Science Education*, 13, 105 - 122.
- Driver, R. (1988) Changing Conceptions, *Tijds. Did. 8-Wetenschappen*, 6, 161 - 198.
- Driver, R., Leach, J., Scott, P. & Wood-Robinson, C. (1994). Young people's understanding of science concepts: implications of cross-age studies for curriculum planning. *Stud. Sci Educ.*, 24, 75 -100.
- Duit, R., Goldberg, F. & Niedderer, H. (Eds.) (1992). *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. Kiel: IPN.
- Eggleston, J. (ed.)(1980). School-based curriculum development in *Britain*. London: Routledge.
- Eijkelhof, H.M.C.& Kortland, J. (1988). Broadening the aims of physics education - experiences in the PLON-project. In: P.J.Fensham (ed.) *Development and Dilemmas in Science Education*, London: Falmer Press, 282 - 305.
- Fensham, P.J (ed.)(1988) *Development and Dilemmas in Science Education*, London: Falmer Press.
- Fensham, P.J. (1992). "Science and Technology". In P.W.Jackson (ed.), *Handbook of Research on Curriculum*. New York: Macmillan, 789-829.
- Fensham, P., Gunstone, R. & White, R. (eds.) (1994). *The Content of Science*. London: Falmer Press.
- Fischler, H. (1989) Quantenphysik in der Schule I: Tendenzen der didaktischen Diskussion und Aufgaben der Fachdidaktik, *Physica Didactica* 16, 21 - 33.
- Fischler H. & Lichtfeldt, M. (1992) Modern physics and students' conceptions, *Int.J.Sci.Educ.*, 14, 181 -190.
- French, A.P. (1986). Setting new directions in physics teaching: PSSC 30 years later. *Physics Today*, sept, 30 - 35.
- Freudenthal, H. (1991). *Revisiting Mathematics Education*. Dordrecht: Kluwer.
- Gabel, D. (ed.) (1994) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: Macmillan.
- GIREP (1973). Loria, A & Thomson, P.(eds) *Seminar on the Teaching of*

- Physics in Schools: Electricity, Magnetism and Quantum Physics*. Copenhagen: Gyldendal.
- GIREP (1986). *Cosmos: an Educational Challenge*. Noordwijk: ESTEC.
- GIREP (1991). Khhnelt, H., Berndt, M., Staszal, M. & J.Turlo (eds.). *Teaching about Reference Frames: from Copernicus to Einstein*. Torun: NCUP.
- GIREP (1993). Chainho Pereira, L., Alves Ferreira, J. & Lopes, H.A. (eds.) *Light and Information*. Braga: Universidade do Minho.
- Hagerty-Hazel, E. (ed.) (1990). *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. London: Routledge.
- Harvard Project *Physics Course* (1970). New York: Holt.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: towards a more critical approach to practical work in school science. *Stud. Sci. Educ.*, 22, 85 -142.
- Johnson, S. (1984). The underachievement of girls in physics: Towards explanations. *Eur.J.Sci.Educ.*, 6, 399-409.
- Klaassen, C.W.J.M. (1995). *A problem posing approach to the teaching of radioactivity*. Utrecht: CD-β Press.
- Layton, D. (1992). *Technology's challenge to science education*. Buckingham: Open University Press.
- Lawson, A.E. (1994). Research on the Acquisition of Science Knowledge: Epistemological Foundations of Cognition. In D. Gabel (ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: Macmillan, 131 - 177.
- Lijnse, P.L., (1975). Individuele studiesystemen in universitair natuurkunde onderwijs, *Ned. Tijdschrift voor Natuurkunde*, 41, 119-121.
- Lijnse, P.L.(1983). Physikunterricht in einer sich wandelnden Gesellschaft. *Physica Didactica*, 10, 43 - 60.
- Lijnse, P.L., Licht, P. Vos, W. de, & Waarlo A.J.(eds.) (1990a). *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic particles*. Utrecht: CD-βPress.
- Lijnse, P.L., Kortland, K., Eijkelfhof, H., Genderen, H.M.C.van & Hooymayers, H.P. (1990b). A Thematic Physics Curriculum: a Balance Between Contradictory Curriculum Forces. *Science Education*, 74, 95 - 103.
- Lijnse, P.L. (1995). 'Developmental research' as a way to an empirically based 'didactical structure' of science. *Science Education*, 79, 189-199.
- Matthews, M. (1994). *Science Teaching: the role of history and philosophy of science*. London: Routledge.
- McDermott, L.C. & Shaffer, P.S.(1993). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. *Am J. Phys.*, 60, 994 - 1003.
- Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J. & Tompsett, C. (1994). *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum*. London: Falmer Press.
- Millar, R. & Driver, R. (1987). Beyond Processes. *Studies in Science Education*, 14, 33 - 62.
- Nuffield O-level Physics. London: Longman.
- Nuffield Advanced Science: Physics (1971; revised version: 1986). Harlow: Longman.
- Nussbaum, J. & Novick, S.(1982) Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy. *Instructional*

Science 11, 183 - 200.

Physical Science Study Committee (1960). *Physics*. Boston: Heath & Co.

Ogborn, J. (1978). Decisions in curriculum development - a personal view. *Phys. Educ.*, 13, 11 - 18.

PLON (1986). *Curriculummaterials*, Utrecht University/Zeist NIB.

Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W., Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 2, 211-227.

Raizen, S.A. (1991). The Reform of Science Education in the U.S.A. Déjà Vu or De Novo? *Studies in Science Education*, 19, 1 -41.

Redish, E.F. (1994). Implications of cognitive studies for teaching physics. *Am.J.Phys.* 62, 796 - 803.

Reif, F. & Larkin, J.H.(1991). Cognition in Scientific and Everyday Domains: Comparison and Learning Implications. *J.Res.in Science Teach.*, 28, 733 - 760.

Reiss, M.J. (1993). *Science Education for a Pluralist Society*. Buckingham: OUP.

Royal Society, (1985). *The Public Understanding of Science*.

Satis 8 - 14 (1992).Hatfield: ASE.

Science, *A Proces Approach* (1968). AAAS.

Schools Council (1975). Project Technology. London: Heinemann.

Scott, P., Asoko, H., Driver, R. & Emberton, J. (1994). Working from children's ideas: An Analysis of constructivist teaching in the context of a Chemistry topic. In P. Fensham, R. Gunstone and R. White (eds.). *The Content of Science*. London: Falmer Press.

Shayer, M. & Adey, P.(1981). *Towards a science of science teaching*. London: Heinemann.

Shulman, L.S. & Tamir, P. (1973). Research on Teaching in the Natural Sciences. In R.M.W Travers (ED.) *Second Handbook of Research on Teaching*. Chicago: Rand McNally, 1072 - 1097.

Solomon, J. (1988). Science Technology and Society courses: tools for thinking about social issues. *Int.J. Sci.Educ.*, 10, 379 -387.

Solomon, J. & Aikenhead, G. (eds.) (1994). *STS Education: International perspectives on reform*. New York: Teachers College Press.

Tobin, K., Butler Kahle, J. & Fraser, B.J. (1990). *Windows into Science Classrooms*. London: Falmer Press.

Tobin, K., Tippins, D.J.& Gallard, A.J. (1994). Research on Instructional Strategies for Teaching Science. In D. Gabel (ed.). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: Macmillan.

Vos, W. de, Van Berkel, B. & Verdonk, A.H. (1994). A Coherent Conceptual Structure of the Chemistry Curriculum. *J. Chem.Educ.*, 71, 743 - 746.

Wellington, J. (ed.). *Skills and processes in science education*, London: Routledge.

White, R.T. (1979). Achievement, Mastery, Proficiency, Competence. *Stud. Sci. Educ.*, 6, 1 - 22.

Woolnough, B. & Allsop, T. (1985). *Practical work in science*. Cambridge: CUP.

Woolnough, B.E. (1989). Towards a holistic view of processes in science

education. In J. Wellington (Ed.) *Skills and processes in science education*. London: Routledge.

Wright, E.L. (1993). The Irrelevancy of Science Education Research: Perception or Reality? *NARST News*, 35, 1 -2.