

Vernieuwingsbewegingen in de exacte vakken.

Een beschrijving en analyse van onderwijsvernieuwingen bij wiskunde, natuurkunde, scheikunde en biologie vanuit een curriculumperspectief in de periode 1960-1995¹

J. Terwel, A. Vermeulen en M. Volman
Vrije Universiteit Amsterdam
Universiteit van Amsterdam

Summary

This study is a theoretical and empirical study into curriculum innovation in secondary education in the Netherlands. The study focuses on the subjects of mathematics, physics, chemistry and biology, and covers the last three to four decades of curriculum innovation. The impetus for this study was an expressed supposition by the Dutch Ministry of Education to the effect that curriculum innovation in physics, chemistry and biology might not be as successful as in mathematics. In order to test this supposition and to develop some insight into the reasons for this supposed situation a study was considered desirable. The study was conducted with the following research question at its basis: which factors contribute to successful curriculum innovations in secondary education in the academic subjects of mathematics, physics, chemistry and biology?.

The assumption that innovation in mathematics has been more successful cannot receive a definite answer in the affirmative, although undoubted mathematics education in the Netherlands has been a kind of Mecca, also for scholars from other countries. Our findings concerning the success of the innovation in mathematics must be qualified; first, because differences in success were also found for the other subjects, and, secondly, because the success of the innovation in mathematics itself may be questioned. Mathematics has to prove itself on the operational level and the implementation of the innovation still has not been completed. In this respect mathematics is much like physics, chemistry and biology. In the final section of this article the implications of the findings are discussed from the basic distinction between 'top-down versus bottom-up' approaches in science and mathematics education. It is our claim that this thesis and antithesis can be superseded in a strategic approach called 'Strategic learning in contexts' in which both 'top-down' and 'bottom up' approaches are integrated. It is precisely in this emphasis on strategic learning that a new paradigma emerges.

1. Inleiding

De afgelopen jaren hebben in het vak wiskunde en de natuurwetenschappelijke vakken in het voortgezet onderwijs talloze vernieuwingen plaatsgevonden. De achtergrond daarvan wordt enerzijds gevormd door de voortdurende noodzaak tot vakinhoudelijke en vakdidactische 'updating' van het onderwijs, en anderzijds door de steeds terugkerende noodzaak tot vernieuwing op grond van maatschappelijke en onderwijskundige ontwikkelingen. In klein- en grootschalige ontwikkelingsprojecten is vernieuwend curriculummateriaal ontwikkeld. Recentelijk is de invoering van de basisvorming bepalend geweest voor vernieuwingen in het onderwijs. Momenteel vindt de gedachtenvorming plaats over vernieuwing van de tweede fase voortgezet onderwijs, in het bijzonder over de vormgeving van het studiehuis (Ministerie van O & W 1991, 1992; Stuurgroep Profiel Tweede Fase, 1994a, 1994b; Veugelers en Zijlstra, 1996; Van den Akker, 1996). Ook in de natuurwetenschappelijke vakken en in het vak wiskunde zullen in dat kader veranderingen plaatsvinden.

Het tempo en de reikwijdte van het vernieuwingsproces in de vakken wiskunde, natuurkunde, scheikunde en biologie verschilt. Elk vak kent zijn eigen traditie, beperkingen en mogelijkheden, en ook externe factoren zijn hierop van invloed. In 1962 gaf De Miranda al aan dat vernieuwingen in het scheikunde- en natuurkunde-onderwijs niet zo ver gevorderd waren als die bij wiskunde. Anno 1995 bestond bij het ministerie van OCW de indruk dat vernieuwingen in de natuurwetenschappelijke vakken in het voortgezet onderwijs nog steeds moeizamer tot stand komen dan vernieuwingen in het wiskunde-onderwijs. Deze indruk, zoals expliciet verwoord in de opdracht aan de onderzoekers, behoefde echter empirische onderbouwing. Daarnaast werd inzicht in de achtergronden van eventuele verschillen gewenst geacht.

Hoewel de vier genoemde vakken niet geheel vergelijkbaar zijn, zijn er wel overeenkomsten in het soort vernieuwingen dat er de afgelopen jaren heeft plaatsgevonden. Verder kan verondersteld worden dat er, naast verschillen, ook overeenkomsten zijn in de factoren die het vernieuwingsproces in positieve of negatieve zin beïnvloeden. Tegen deze achtergrond is de volgende probleemstelling geformuleerd:

Hoe is het vernieuwingsproces in de periode van 1960 - 1997 verlopen en welke factoren spelen een rol bij het wel of niet slagen van onderwijsvernieuwing in de B-vakken?

Ter beantwoording van deze vraag is een literatuurstudie verricht en zijn sleutelfiguren geconsulteerd. Voor elk van de vakken is een beschrijving gemaakt van het vernieuwingsproces, en is nagegaan in hoeverre betrok-

kenen het vernieuwingsproces geslaagd achten, en welke factoren daarbij volgens hen in positieve of negatieve zin een rol hebben gespeeld.

Dit artikel is als volgt opgebouwd. Eerst wordt de werkwijze toegelicht en wordt ingegaan op het kader van waaruit de literatuur en de interviews zijn geanalyseerd. Dan volgt een globale schets van de aard van de vernieuwingen in wiskunde en de natuurwetenschappelijke vakken van de afgelopen vijfendertig jaar. Na een beschrijving en analyse van de succesfactoren besluiten we het artikel met enkele conclusies en een discussie waarbij een vergelijking wordt gemaakt tussen de vernieuwingsprocessen in de verschillende bètavakken. Daarbij is speciaal gelet op de onderscheiding tussen 'top-down' en 'bottom-up' benaderingen in de didactiek. De uitkomsten van het onderzoek worden vergeleken met de bevindingen uit een soortgelijk onderzoek op het gebied van het vreemde-talenonderwijs. Deze laatste analyse heeft enkele verrassende parallellen tussen de alfa- en bètavakken opgeleverd.

2. Theoretisch kader en onderzoeksvraag

De term 'onderwijsvernieuwing' verwijst naar verschillende soorten van verandering in het onderwijs. In deze probleemanalyse wordt enerzijds de term 'vernieuwing(en)' gehanteerd als globale aanduiding van de ontwikkelingen in het onderwijs in wiskunde en de natuurwetenschappelijke vakken die de afgelopen decennia hebben plaatsgevonden. Anderzijds wordt hiermee bedoeld op de specifieke innovatieve activiteiten in deze vakken, waarin deze 'globale vernieuwing' concreet vorm krijgt.

In de eerste plaats onderscheiden we vernieuwingen die hun oorsprong vinden binnen de vakken, hoewel ze vaak passen binnen algemenere tendenzen. Enerzijds kan het daarbij gaan om het opnemen van nieuwe inhoud (actualisering of vermaatschappelijking van de stof), anderzijds kan het gaan om een andere didactische benadering van de bestaande of nieuwe inhoud (bijvoorbeeld thematisch werken, leerlingenpracticum, werken in contexten). Deze vernieuwingen krijgen vaak vorm in het kader van vernieuwingsprojecten, waarin lesmateriaal wordt ontwikkeld. Deze vernieuwingen vinden hun neerslag in leerplanvoorstellen, en worden al dan niet geformaliseerd in examenprogramma's en geconcretiseerd in de feitelijke examens of toetsen voor een vak. Binnen de vakken kan er ook sprake zijn van vernieuwingen die vooral de vakdidactiek betreffen.

In de tweede plaats vindt vernieuwing plaats in het kader van grootschalige onderwijsinnovaties, zoals de invoering van de basisvorming en de herprofilering van de tweede fase havo/vwo. Dergelijke vernieuwingen hebben, behalve gevolgen op macro- en mesoniveau, ook specifieke

gevolgen voor de inhoud en didactiek van de natuurwetenschappelijke vakken. Zo behelzen de plannen voor de tweede fase de invoering van een nieuw vak algemene natuurwetenschappen en zullen de principes van 'leren leren', 'zelfstandig leren' en 'actief leren', die voor de tweede fase van belang worden geacht, voor het grootste deel binnen de vakken vorm moeten krijgen. Ook kunnen dergelijke grootschalige vernieuwingen het kader zijn waarbinnen vakspecifieke ontwikkelingen concreet gestalte krijgen.

Tenslotte zijn er specifiekere 'algemene' vernieuwingen, bijvoorbeeld de introductie van informatietechnologie en nieuwe media in het onderwijs, of de wens om aandacht te besteden aan natuur- en milieu-educatie, die consequenties hebben voor de natuurwetenschappelijke vakken.

De genoemde typen van vernieuwing zijn weliswaar te onderscheiden, maar niet altijd te scheiden. Bijvoorbeeld: de uitgangspunten van de basisvorming, betekenden een ondersteuning voor het 'leren in contexten'. Zowel in de literatuur als in de interviews wordt wel een onderscheid gemaakt tussen 'doelstellingenvernieuwing' of 'vakinhoudelijke vernieuwingen' enerzijds en 'didactische vernieuwing' of 'onderwijskundige vernieuwing' anderzijds. Ook hiervoor geldt dat deze aspecten wel onderscheiden maar niet gescheiden kunnen worden; een scherpe afbakening tussen doelstelling/inhoud en didactiek kan niet altijd gemaakt worden.

Om de vraag naar de mate van succes van de vernieuwing in de natuurwetenschappelijke vakken te kunnen beantwoorden, dienen criteria voor succes geformuleerd te worden. Uit de innovatietheoretische literatuur is een aantal factoren bekend waarvan wordt aangenomen dat ze van invloed zijn op het succes van vernieuwingen in het onderwijs. Voor deze probleemanalyse zijn in de eerste plaats factoren van belang die een rol spelen bij de *ontwikkeling* van nieuwe curricula. Dergelijke factoren kunnen worden afgeleid uit analyses van (succesvolle) processen van curriculumontwikkeling, of uit aanwijzingen voor het ontwerpen van leergangen zoals de Curvostrategie (De Kok-Damave, 1980). Ontwikkeling verwijst naar het proces waarin het design wordt vertaald in een concreet produkt (Nijhof, Franssen, Hoeben en Wolbert, 1993). Wij nemen hier de processen van design en ontwikkeling samen onder de term '*ontwikkeling*'. De daadwerkelijke realisering in de onderwijs- en klaspraktijk noemen wij '*implementatie*'.

Een ordening van deze factoren ontlene wij aan het kader dat Kimpston en Rogers (1986) ontwierpen voor curriculumonderzoek. Zij onderscheiden kenmerken van de input, de context, het proces en het resultaat. Deze vier soorten kenmerken zijn van belang bij design, ontwikkeling, implementatie en evaluatie van curricula. De term design of ontwerp

verwijst naar de specificatie van curriculumdoelen en curriculumstructuur.

Op grond van het voorgaande kan de algemene vraagstelling gespecificeerd worden tot de volgende onderzoeksvraag:

Hoe is het vernieuwingsproces in de periode van 1960 - 1997 verlopen en welke factoren, met betrekking tot het proces van ontwikkeling en implementatie, worden in de literatuur en door sleutelfiguren genoemd als relevant voor het al dan niet slagen van onderwijsvernieuwingen in wiskunde, natuurkunde, scheikunde en biologie?

3. Methoden van onderzoek

Er is gebruik gemaakt van twee onderzoeksmethoden: de methode van het literatuuronderzoek en de methode van het interview. Ten behoeve van het *literatuuronderzoek* is een search verricht in het ADION/DION en het ERIC-bestand. Ook relevante leerplandocumenten en beleidsnota's zijn in het literatuuronderzoek betrokken. De analyse van de literatuur was gericht op twee aspecten. In de eerst plaats het geven van een paradigmatische beschrijving van vernieuwingen in de vakken wiskunde, natuurkunde, scheikunde en biologie. In de tweede plaats het analyseren van deze vernieuwingen aan de hand van het innovatietheoretisch kader.

Voor de gesprekken met *sleutelfiguren* is op basis van de resultaten van de literatuurstudie een interviewleidraad ontwikkeld. De respondenten zijn geselecteerd via de 'sneeuwbalmethode'. Voor ieder vak (wiskunde, natuurkunde, scheikunde, biologie) zijn gesprekken gevoerd met vertegenwoordigers uit verschillende categorieën. Steeds werd gekozen uit de categorieën: vakdidactisch onderzoekers, leerplanontwikkelaars, uitgevers, leden van examencommissies, vertegenwoordigers van vakverenigingen, toets- en examenontwikkelaars, inspecteurs, (na)scholers en onderwijsbegeleiders. Uiteindelijk zijn gesprekken gevoerd met sleutelfiguren uit alle categorieën, maar verspreid over de vakken. Daarbij is er naar gestreefd dat voor elk vakgebied deskundigheid ten aanzien van de verschillende schooltypen (vbo, mavo, havo en vwo) en op het gebied van zowel de eerste als de tweede fase voortgezet onderwijs vertegenwoordigd was. Aangezien er ook veel 'dubbelrollen' voorkwamen (bijvoorbeeld leerplanontwikkelaars zijn soms ook lid van een examencommissie) stuitte dit niet op problemen. In totaal werden negentien gesprekken gevoerd. De interviews zijn voor een deel 'face to face' en, gezien de beperkte beschikbare tijd, voor een deel telefonisch afgenomen. Voor ieder vak vond het eerste interview plaats in een 'face to face' situatie en de daarop volgende interviews telefonisch. Hoewel de opbouw van de

interviews gelijk was, hadden ze ook een cumulatief aspect; resultaten uit eerdere interviews werden ingebracht in de volgende gesprekken, met het verzoek aan de geïnterviewde hierop te reageren. Aan alle respondenten werd een globale schets toegestuurd van de vernieuwingen in het betreffende vak. De eerste vraag voor het interview betrof aanvullingen en correcties op deze schets. Ook is gevraagd naar aanvullingen op de literatuurlijst en naar sleutelpersonen ten aanzien van innovaties in dit vak.

4. Het verloop van de vernieuwingen: in grote lijn en per vak

Grote lijn: drie vernieuwingsbewegingen

In grote lijnen kunnen de curriculumvernieuwingen in de exacte vakken vanaf 1960, zowel in Nederland als in het buitenland, in drie perioden worden ondergebracht die als 'vernieuwingsbewegingen' kunnen worden aangeduid.

Eerste vernieuwingsbeweging: structuur van het vakgebied

In de eerste vernieuwingsbeweging wordt de structuur van de wetenschappelijke discipline centraal gesteld. Richtsnoer voor de ontwikkeling van curricula is de discipline zelf. Het gaat dus niet zozeer om de belangstelling van de leerling of de sociale betekenis van het vakgebied. In de Angelsaksische curriculumliteratuur wordt dit paradigma aangeduid met de term 'structure of the discipline' (vgl. Huhse 1968; Walker, 1990; Pinar, 1995).

Tweede vernieuwingsbeweging: leefwereld- en participatiegericht onderwijs

In de tweede vernieuwingsbeweging wordt gestreefd naar meer leefwereldgericht en participatiegericht onderwijs. Ook ontstaat er meer aandacht voor individuele verschillen tussen leerlingen en voor vraagstukken van sociale ongelijkheid in het onderwijs. Deze aandacht vindt zijn expressie in wervende slogans als 'wiskunde voor iedereen', 'scheikunde voor iedereen' of 'science for all' (Wierstra, 1990; Kuiper, 1993).

Derde vernieuwingsbeweging: constructivisme

In de derde vernieuwingsbeweging komt het leerproces van de leerling centraal te staan. Er ontstaat, mede onder invloed van het constructivisme als stroming in de 'cognitive sciences' een grotere aandacht voor eigen constructies en denkbeelden van leerlingen in relatie tot begripsvorming, probleemoplossen en (meta)cognitieve vaardigheden. Deze vernieuwingsbeweging is nog volop in opbouw (Von Glasersfeld, 1991; Cobb, 1994; Gravemeijer, 1994, 1995).

Deze vernieuwingsbewegingen hebben in de vier vakken op verschillende wijzen vorm gekregen. De opeenvolging van de door ons onderscheiden vernieuwingsbewegingen is op te vatten als een wisseling van het paradigma. Hierbij wordt het eerdere paradigma niet volledig vervangen door het latere. Vaak is er gedurende langere tijd een situatie waarin twee paradigma's naast elkaar bestaan. De overgangen moeten derhalve als perioden worden gezien waarin het ene paradigma gaandeweg plaats maakt voor het andere. Tussen vakken kunnen paradigma's verschillende accenten krijgen en kan de opeenvolging in de tijd een verschillend verloop te zien geven. Onze indeling dient dan ook niet in een strikt chronologische, lineaire of successieve zin te worden opgevat maar als een conceptueel kader of als een metafoor. Men kan deze bewegingen voorstellen als een rivier met een gelaagd stelsel van stromen: er is een voortdurende 'strijd' tussen bovenstromen en onderstromen om de dominante richting aan te geven. Als het tij verloopt kan een onderstroom of tegenstroom aan kracht winnen en de dominante richting gaan bepalen. Overigens moet worden opgemerkt dat het hier niet gaat om een 'natuurlijk' proces. Het zijn maatschappelijke, politieke, economische, wetenschappelijke en ideële factoren die uiteindelijk het verloop bepalen.

Bij het bespreken van het al of niet slagen van de vernieuwingen kijken we niet alleen naar de ideeën en het lesmateriaal, maar we proberen ook te achterhalen in hoeverre deze daadwerkelijk in de klassenpraktijk zijn gerealiseerd en wat de implicaties zijn met het oog op de leerresultaten van leerlingen.

Wiskunde

De *eerste vernieuwingsbeweging*, waarbij de structuur van de academische disciplines centraal werd gesteld, is te zien als een reactie op de reformpedagogiek van John Dewey. Deze beweging kreeg een krachtige impuls toen men in Amerika tot het inzicht kwam dat men, internationaal gezien, de wetenschappelijke en technologische voorsprong dreigde te verliezen (de 'sputnik-shock' van October 1957). Deze vernieuwingsbeweging werd in het wiskunde-onderwijs onder meer zichtbaar in bepaalde methoden (Huhse, 1968; Walker, 1990; Pinar, 1995). Deze beweging heeft in Nederland echter maar weinig invloed gehad. In de wiskundedidactiek in Nederland vond de dominante Amerikaanse stroming nauwelijks ingang. Men sloeg deze fase van de 'structure of the discipline' min of meer over en richtte zich al in de jaren zestig op vernieuwingen die kenmerken vertonen van de tweede vernieuwingsbeweging. De vernieuwing in het wiskunde-onderwijs in de jaren zestig en zeventig was, anders dan die in de natuurwetenschappelijke vakken, vooral geïnspireerd

door het werk van o.a. de wiskunde-didactici Van Hiele en Freudenthal, die zich expliciet of impliciet baseerden op het werk van Europese psychologen als Piaget, Vygotskij, Selz en Kohnstamm. Ook zijn er in het werk van Freudenthal ideeën herkenbaar van onderwijspedagogen als Petersen, Decroly en Langeveld.

De *tweede vernieuwingsbeweging* startte in het basisonderwijs met het realistisch reken-wiskundeonderwijs. Vervolgens kreeg een meer leefwereldgerichte en participatiegerichte wiskunde vorm in de eerste en tweede fase voortgezet onderwijs. 'Wiskunde voor iedereen' werd het 'Leitmotiv' voor de ontwerper van curricula. In het wiskunde-onderwijs wordt dit wel de 'horizontale periode' genoemd. In het basisonderwijs is het gehele onderwijs op deze wijze vernieuwd, met de resultaten van de PPOZ zijn ook de eerste aanwijzingen beschikbaar dat deze vernieuwing een positief effect op leerlingniveau heeft. In de boven- en onderbouw van het voortgezet onderwijs werd aan de tweede vernieuwingsbeweging vorm gegeven door in te springen op door de overheid gewenste en opgelegde vernieuwingen. Op het formele niveau is inmiddels sprake van vernieuwde examenprogramma's en eindtermen. De principes van realistische wiskunde zijn in meerdere of mindere mate verwerkt in alle methoden die op de markt zijn. In de interviews kwam echter naar voren dat er nog maar weinig zicht is op de wijze waarop in de praktijk met de vernieuwing wordt omgegaan. Ook is niet bekend wat de effecten zijn van het vernieuwde wiskunde-onderwijs in het voortgezet onderwijs in termen van leerwinst en motivatie van leerlingen.

De *derde vernieuwingsbeweging* bevindt zich in alle vakken nog hoofdzakelijk op ideëel niveau. Denkbeelden en eigen constructies van leerlingen, begripsvorming en probleemoplossen krijgen aandacht in onderzoek, dat vaak ontwikkelingsgericht van karakter is. Hoewel hiermee ook aanzetten voor nieuwe curricula worden gegeven, gaat daarbij nog niet om volledige leerplanherzieningen. Bepaalde cognitieve theorieën, met name het constructivisme en 'situated cognition', probeert men thans in te passen in het denken over het wiskunde-onderwijs. Mede dankzij de interesse van Amerikaanse onderzoekers voor oudere Europese theorieën zoals van Piaget en Vygotskij, zijn er contacten met Nederlandse wiskundendidactici tot ontwikkeling gekomen die stimulerend zijn voor theorievorming en curriculumontwikkeling aan beide zijden van de oceaan. Daarbij is bijvoorbeeld te denken aan de samenwerking op het gebied van onderzoek en theorievorming tussen het Freudenthal Instituut en enkele Amerikaanse Universiteiten.

Natuurkunde

In het natuurkunde-onderwijs is het werk van de CMLN typerend voor de *eerste vernieuwingsbeweging*. Het schoolvak natuurkunde werd gezien als een oriëntatie op de wetenschappelijke discipline natuurkunde. Men streefde naar inzicht bij leerlingen in de wetenschappelijke werkwijze en vaardigheden op dit gebied. Er zijn dan echter ook al elementen van de tweede vernieuwingsbeweging te herkennen. Reeds bij de invoering van deze vernieuwingen in het natuurkunde-onderwijs zijn kritische geluiden te horen; sommigen vinden de vernieuwingen niet ver genoeg gaan.

De *tweede vernieuwingsbeweging* is in het natuurkunde-onderwijs herkenbaar in het aspect 'leefwereldgerichtheid' in het PLON-project, en aandacht voor individuele verschillen vooral in het DBK-project. Ideeën die in het kader van bijvoorbeeld het PLON-project werden ontwikkeld, zijn inmiddels in afgezwakte vorm herkenbaar in curricula, waarin opgaven in 'contexten' zijn opgenomen en in de kerndoelen voor de basisvorming. Toch wordt het onderwijs op operationeel niveau door de respondenten nog traditioneel genoemd. Veel methoden zijn nog vakstructuurgericht (in plaats van leefwereldgericht), en het zelfstandig onderzoek, als participatiegerichte werkvorm, is nog niet overal van de grond gekomen. Wat betreft de leerresultaten bleken de vernieuwingen niet altijd het beoogde cognitieve effect te bewerkstelligen (Wierstra, 1990; Kuiper, 1993).

In het natuurkunde-onderwijs is de *derde vernieuwingsbeweging* tot uitdrukking gekomen in de aandacht voor alternatieve concepties van leerlingen en begripvorming bij vakdidactisch onderzoek en in onderdelen van het curriculum. Momenteel wordt er sterk voor meer aandacht voor dit type onderzoek en voor curriculumontwikkeling die daarop gebaseerd is. Daarbij wordt ook enige afstand genomen van de nadruk op 'contexten' zoals in het PLON-curriculum (Lijnse, 1990; 1992).

Scheikunde

Ook het werk van de CMLS bij scheikunde richtte zich voor een groot deel op vernieuwingen die typerend zijn voor de *eerste vernieuwingsbeweging*. Dit resulteerde uiteindelijk in de methode 'Chemie' die tot op de dag van vandaag een groot aandeel in de markt heeft. De structuur van het vakgebied en de centrale scheikundige concepten (bijvoorbeeld het begrip 'chemische stof') worden tot op zekere hoogte van bovenaf aangeboden. De invoering van het practicum is echter typerend voor de nieuwe invulling van het vak. Er wordt gestreefd naar inzicht in de wetenschap-

pelijke werkwijze. Hierin zijn dus al elementen van de tweede vernieuwingsbeweging herkenbaar. Hoewel het 'practicum' wel enige ruimte laat voor een participatiegerichte werkvorm, wordt de klassenpraktijk gedomineerd door een 'topdown' benadering.

Vernieuwingen die typerend zijn voor *de tweede vernieuwingsbeweging* zijn nog niet sterk in examens, leerplannen en lesmateriaal geformaliseerd. Wel is er in de loop der jaren, althans in het programma in de onderbouw, een verschuiving in de richting van het behandelen van concepten, verschijnselen en wetmatigheden die betrokken kunnen worden op het dagelijks leven. In het scheikunde-onderwijs is 'scheikunde voor iedereen' een bekende term, verwijzend naar een chemische oriëntatie op de leefwereld in plaats van een oriëntatie op de chemie als discipline. In kleinschalige projecten als 'Theorie Uit Experimenten' (TUE) wordt vormgegeven aan een meer participatiegerichte scheikunde. Hoewel elementen van leefwereldgerichtheid en participatiegerichtheid wel een plaats hebben gekregen, bevindt het vernieuwingsproces zich nog in de fase van discussie over de vraag hoe omgegaan kan worden met de spanningsverhouding tussen vakstructuur en leefwereld. Op operationeel niveau typeren de respondenten het scheikunde-onderwijs als overwegend traditioneel.

De projecten TUE en 'Chemie in 1000 vragen', getuigen van een constructivistische aanpak 'avant la lettre'. De discussies over de vakstructuur van het scheikunde-onderwijs hangen nauw samen met vragen met betrekking tot eigen constructies van leerlingen en begripsvorming. Hier ziet men dus elementen van de *derde vernieuwingsbeweging* tot uitdrukking gebracht. Overigens passen deze projecten, qua situering in de tijd, niet in de door ons gereconstrueerde chronologie omdat de wortels van bijvoorbeeld TUE terug gaan tot in de jaren zestig. Voorzover het deze methoden betreft ziet men, mutatis mutandis, eenzelfde ontwikkeling als bij wiskunde: er is een constante aandacht voor de leefwereld en de eigen constructies van leerlingen terwijl de fase van de 'structure of the discipline' wordt overgeslagen. In het geval van scheikunde zou het echter veel te ver gaan om te suggereren dat het hier een dominante stroming betreft. Illustratief hiervoor is het grote marktaandeel van methoden waarin de 'vakstructuur' voorop staat. De dagelijkse klassenpraktijk lijkt dus nog ver af te staan van de constructivistische ideeën, zelfs bij docenten die bijvoorbeeld de methode TUE hanteren. In de praktijk blijken docenten soms concessies te doen die op gespannen voet staan met de uitgangspunten van TUE (Terwel en Hooch Antink, 1996).

Biologie

In de jaren zeventig profileerde ook het biologie-onderwijs zich, in de lijn van de *eerste vernieuwingsbeweging*, als natuurwetenschappelijk onderwijs. Ook in dit vak kreeg het practicum een belangrijker plaats en de natuurwetenschappelijke vakstructuur werd het criterium voor de leerstofordening.

Het bereiken van overeenstemming over de richting waarin het biologie-onderwijs vernieuwd diende te worden is een langdurig proces geweest. Het dóórbreken van de *tweede vernieuwingsbeweging* kwam na een moeizame discussie tot stand. Deze discussie werd gevoerd onder de tegenstelling van een 'exacte versus een maatschappelijke benadering'. Inmiddels hebben vernieuwingen die typerend zijn voor de tweede vernieuwingsbeweging echter een plaats gekregen in het formele curriculum. Nieuwe onderwerpen die meer leefwereldgericht en maatschappelijk gericht zijn (DNA-technologie, ecologie, Natuur- en Milieu-educatie, immunologie enz.), zijn in de eindexamenprogramma's opgenomen en participatiegerichte werkvormen winnen terrein. Ook in de kerndoelen van de basisvorming zijn de ontwikkelingen van de tweede vernieuwingsbeweging herkenbaar. Zo speelt het leren in contexten ook in het biologie-onderwijs een rol (bijvoorbeeld 'mens en gezondheid'). Op het operationele niveau laat de vernieuwing echter volgens de respondenten nog te wensen over.

Door de late realisering in het biologie-onderwijs van vernieuwingen die passen bij de tweede vernieuwingsbeweging, gaan die voor een deel hand in hand met aandacht voor vernieuwingen die typerend zijn voor de *derde vernieuwingsbeweging*. Zo hebben in de nieuwe examenprogramma's vaardigheden, zoals meningsvorming en zelf onderzoek doen, een plaats gekregen. Ook in het StimuleringsProject Invoering examenprogramma's biologie (SPIN-project) is aandacht besteed aan vaardigheden. In het Project Bovenbouw Biologie (PBB) stond begripsontwikkeling centraal. De invoering van de basisvorming heeft ook bij biologie voor een nieuw élan gezorgd. Docenten hebben zelf een belangrijke rol gespeeld bij deze vernieuwing. Bijvoorbeeld bij het onderdeel Natuur en Milieu Educatie (NME) is door docenten hard gewerkt om nieuwe inzichten in het onderwijs gestalte te geven. In de kerndoelen voor de basisvorming hebben constructivistische ideeën, zoals ontwerpen en onderzoeken, een uitdrukkelijke plaats verworven. Methoden zijn ook bij biologie medebepalend voor de vernieuwingen in de klassenpraktijk. Bij biologie spelen (dus) ook maatschappelijke en politieke factoren een belangrijke rol, mogelijk nog meer expliciet dan bij de andere vakken. Daarbij is bijvoorbeeld te

denken aan discussies over het onderwerp evolutieleer. De media fungeren daarbij als gesprekspodium.

Samenvatting en reflectie

Bij wiskunde is men opvallend succesvol geweest in de tweede vernieuwingsbeweging: bij het propageren van 'wiskunde voor iedereen' en bij het concretiseren van deze visie in lesmateriaal waarbij opgaven in 'rijke contexten' worden aangeboden. Deze vernieuwingen hebben inmiddels een plaats gekregen in examenprogramma's, kerndoelen, leerplannen en schoolboeken. Succes op dit niveau draagt sterk bij aan een positieve beeldvorming ten aanzien van de vernieuwing; het is immers het meest zichtbare niveau. De stelling dat de vernieuwingen in de wiskunde beter van de grond zijn gekomen dan die in de natuurwetenschappelijk vakken moet overigens wel worden genuanceerd. Of het didactisch handelen in de klas ook is veranderd valt niet te bewijzen. Er zijn slechts weinig empirische gegevens beschikbaar over de lespraktijk. Met andere woorden: het invoeringsproces is nog in volle gang. In dit opzicht bevindt het vak wiskunde zich in dezelfde situatie als de natuurwetenschappelijke vakken. Tussen de natuurwetenschappelijke vakken zijn er verschillen te constateren in de mate van succes.

5. Factoren bij vernieuwingen in wiskunde en de natuurwetenschappelijke vakken

Waaruit kunnen verschillen tussen de vakken verklaard worden? We formuleren enkele vakoverstijgende conclusies over 'succesfactoren' in het proces van ontwikkeling en implementatie. Voor de ordening hanteren wij de categorieën van Kimpston en Rogers: Input, Context, Proces, Resultaat (zie de paragraaf Theoretisch kader).

Factoren gerelateerd aan de input

Een *eenduidige visie* op de richting van de gewenste vernieuwing lijkt een belangrijke factor voor het op gang komen van onderwijsvernieuwingen. Bij wiskunde bestond een dergelijke overeenstemming al vroeg. Bij de visie-ontwikkeling ten aanzien van het wiskunde-onderwijs heeft de persoon Freudenthal een belangrijke rol gespeeld. Men heeft in het voortgezet onderwijs kunnen voortbouwen op het werk dat al in het basisonderwijs was verricht. Dat wil overigens niet zeggen dat er geen andere visies waren of zijn. Voor natuurkunde zijn er echter duidelijk verschillende kenniscentra waarin verschillende vakdidactische accenten worden gelegd. Denk bijvoorbeeld aan verschillende visies bijvoorbeeld bij vakdidactiek Natuurkunde aan de Universiteit Utrecht (PLON-project) en de

Universiteit Amsterdam (DBK-natuurkunde). Bij scheikunde bestaan meningsverschillen over de relatie vakstructuur en leefwereld, en bij biologie hebben aanhangers van een meer exacte invalshoek en een meer maatschappelijke benadering lang tegenover elkaar gestaan. Dat betekende onder andere dat in nieuwe examenprogramma's tegenstrijdige wensen verenigd moesten worden.

Een factor van heel andere aard, die een gunstige invloed op het ontwikkelingsproces lijkt te hebben, is het betrekken van *verschillende deskundigen*. Dit dient in een vroeg stadium te gebeuren. Behalve leerplanontwikkelaars dienen ook vakdidactici en onderwijskundigen, uitgevers, auteurs van schoolboeken en vertegenwoordigers van het hoger onderwijs en maatschappelijke sectoren (bijvoorbeeld de chemische industrie bij scheikunde), bij de vernieuwingen betrokken te worden. Van bijzonder belang is de rol van docenten in het proces van ontwikkeling. Vernieuwingen waarbij docenten een substantiële inbreng in het ontwikkelingstraject hebben gehad, blijken achteraf vaak succesvol. Zo kunnen ook overwegingen met betrekking tot de haalbaarheid van een vernieuwing aan bod komen.

De eigen *aard van de vakken* is ook een mogelijke verklaring voor verschillen in de mate waarin de vernieuwing is geslaagd. Zijn er verschillen tussen vakken wat betreft complexiteit? Het succes van de vernieuwing bij wiskunde zou misschien verklaard kunnen worden vanuit de gedachte dat dit vak het minst complex is. Deze verklaring mag dan opgaan voor de wiskunde als systeem, maar niet voor wiskunde als een menselijke activiteit in een maatschappelijke context. Toch zijn er wel extra complicerende 'kenmerken' te noemen bij de andere exacte vakken. Bijvoorbeeld bij biologie komen ethische aspecten als complicerende factoren naar voren. Bij scheikunde vormt de hiërarchische, cumulatieve vakstructuur een complicerende factor in het onderwijsleerproces. Het hoge abstractieniveau van de scheikundige basisbegrippen zou het moeilijk maken om aan te sluiten bij de ervaringen van leerlingen. Bij natuurkunde blijkt de relatie tussen de leefwereld van de leerlingen en de vakstructuur een complex vraagstuk te zijn. De contexten bij natuurkunde-onderwijs blijken bij leerlingen misconcepties, pre-concepties of alternatieve concepties te activeren. Het is echter de vraag of deze 'problemen' inherent zijn aan het vak. Bij de beoordeling van deze problemen spelen verschillen in visies op het vak en op de didactiek een belangrijke rol.

Factoren gerelateerd aan de context

Een belangrijke contextfactor is de *legitimering* van de vernieuwing. De overheid speelt in dit verband een rol door het op gang brengen van de bijstelling van examenprogramma's en door het initiatief te nemen tot grootschalige vernieuwingen als de basisvorming en de herstructurering van de tweede fase voortgezet onderwijs. Instellingen speelden hier soms goed op in. Bijvoorbeeld het Freudenthal Instituut wist ook steeds een legitimering voor haar activiteiten te *creëren*. Men verwierf onder meer subsidies en opdrachten door aan te sluiten bij de politieke agenda.

Een mogelijke verklaring voor verschillen tussen de vernieuwingsprocessen bij wiskunde en de natuurwetenschappelijke vakken zou kunnen zijn dat het wiskunde-onderwijs meer *aandacht* van de overheid heeft gehad. Wiskunde wordt gezien als een vak 'voor iedereen'. Dat betekent dat er aandacht is voor de vraag wat een voor alle leerlingen zinnige en bereikbare wiskunde is en hoe die aangeboden dient te worden. De indruk bestaat dat het wiskunde-onderwijs ook vanuit de eigen discipline meer ondersteuning en waardering ondervindt dan de overige vakken. Vertegenwoordigers uit de overige vakken zijn soms van mening dat 'niemand de belangen van het natuurwetenschappelijk onderwijs behartigt'.

Verder komt het belang van de *financiering van instellingen* met een taak op het gebied van onderwijsvernieuwing naar voren. Hierbij kan gedacht worden aan instellingen als SLO en CITO, maar ook aan het Freudenthal Instituut. De concentratie van expertise bij wiskunde in één instituut is een belangrijke factor voor het slagen van de vernieuwingen in dit vak is geweest. Met het Freudenthal Instituut is een deskundige ontwikkelgroep van *voldoende omvang* gecreëerd, en is bovendien continuïteit in de deskundigheid gegarandeerd. Voor natuurkunde, scheikunde en biologie bestaan er geen kenniscentra van dezelfde omvang. Bij wiskunde kon versnippering vermeden worden. Deze versnippering kan optreden wanneer verschillende instellingen in de verzorgingsstructuur los van elkaar aan vernieuwingen werken, zoals bij de andere exacte vakken wel is gebeurd.

Op macropolitiek niveau is de rol van het *centraal schriftelijk examen* in het Nederlandse voortgezet onderwijs van belang. Pas als iets in het examen terecht komt, gaan docenten hun onderwijsaanbod vernieuwen. Enerzijds is het examen te zien als een belemmering voor vernieuwing; het examen is zo dwingend dat docenten weinig ruimte hebben voor vernieuwingen die niet geëxamineerd worden. Anderzijds biedt het centraal schriftelijk examen juist de mogelijkheid om vernieuwingen centraal te sturen. Niet iedere vernieuwing leent zich echter voor centrale

sturing via het examen. Voor vernieuwing van het didactisch handelen is deze weg minder geschikt.

Een '*faciliterende overheid*' is niet alleen van belang voor het ontwikkelingstraject, maar ook voor de invoering van vernieuwingen. Het vrijstellen van docenten met een taak ten aanzien van implementatie is daarbij van belang.

Wanneer leerplanontwikkeling, het vaststellen van examens en de nascholing van docenten in verschillende instituten zijn ondergebracht dreigt het gevaar van *verkokering*. In het Freudenthal Instituut kon de versnippering vermeden worden. Door het bundelen van diverse deskundigheden in één instituut kon men de *ontwikkeling* en de *invoering* in samenhang realiseren.

Kenmerken van *het veld en de doelgroep* zijn eveneens van invloed op de mate waarin vernieuwingen gerealiseerd. Ieder vak heeft een kleine groep van 'koplopers' onder de docenten, en een kleine groep absolute tegenstanders. De gemiddelde innovatiebereidheid in de verschillende vakken lijkt echter ook te verschillen. Daarbij is te denken aan factoren als: de relatief hoge gemiddelde leeftijd van docenten in de natuurwetenschappelijke vakken, het gebrek aan mobiliteit, en de dominantie van eerstegraads docenten. Deze kenmerken lijken samen te hangen met een grote gehechtheid aan traditionele werkwijzen, en een sterke binding met de wetenschappelijke discipline. De natuurwetenschappelijke vakken hebben doorgaans sterke vakverenigingen, die in staat zijn om vernieuwingen tegen te houden. Tegelijkertijd komt de vakvereniging naar voren als een belangrijk medium om docenten te bereiken.

Uitbreiding van het didactisch repertoire van docenten is noodzakelijk. Het is echter de vraag of dit haalbaar is. Niet alle docenten hebben belangstelling voor nascholing op didactisch gebied. Het lijkt er op dat bij wiskunde de bereidheid tot nascholing groter is dan bij natuurkunde en scheikunde.

Factoren gerelateerd aan het ontwikkelings- en implementatieproces

De *fasering* van het ontwikkelingsproces blijkt een belangrijke factor. Soms werd gestart met het ontwikkelen van concreet materiaal, uitmondend in leerplannen en vervolgens in een nieuw examenprogramma. Soms werd de omgekeerde weg bewandeld. Ideaal lijkt een fasering te zijn, waarin gestart wordt met het formuleren van een voorlopig examenprogramma als richtingwijzer. Vervolgens worden de doelen, leerinhouden en werkvormen in een ontwikkelingsonderzoek uitgewerkt en beproefd. Tenslotte kan bijstelling plaats vinden van het voorlopige programma op basis van de ervaringen in de praktijk.

Behalve fasering is *timing* van belang. Succesvolle invoering van een examenprogramma vereist dat in het proces van ontwikkeling het stadium van de productie van concreet lesmateriaal is bereikt. Zo is het tijdstip van invoering van de vernieuwing in de tweede fase voortgezet onderwijs problematisch. De tijdsdruk die nu bestaat met betrekking tot de tweede fase, sluit het bepleite model van ontwikkelen en invoeren uit (ontwikkelen van examenprogramma en voorbeeldmateriaal, ontwikkeling van de didactiek, uitproberen in een groeiende groep scholen, formatieve evaluatie en bijstelling).

De factor *ontwikkelingsonderzoek* als basis voor onderwijsvernieuwing speelt een belangrijke rol. Nieuw curriculummateriaal dient gebaseerd te zijn op inzicht in het leerproces van leerlingen. Ontwikkelingsonderzoek, waarin theorie-ontwikkeling en materiaalontwikkeling plaatsvinden in een cyclisch proces, kan dit inzicht opleveren. Van groot belang is ook *continuïteit* in het proces van ontwikkeling.

Een factor van betekenis is de gehanteerde *implementatiestrategie*. Er tekenen zich duidelijk verschillen af in de gehanteerde implementatiestrategieën, zowel tussen de vakken als bij verschillende vernieuwingen binnen de vakken. Als vernieuwingen in nauwe *samenwerking met het veld* ontwikkeld zijn, is daarmee al een eerste stap op weg naar implementatie gezet.

De mate van *samenhang tussen maatregelen* is een belangrijke factor voor succes. Een nieuw examenprogramma moet samengaan met de introductie van nieuw lesmateriaal, met een aanbod voor nascholing dat docenten in staat stelt de vernieuwing vorm te geven, en met nieuwe (typen) examenopgaven. Er dient zorg besteed te worden aan het informeren van de grote groep van docenten die nog niet bij de ontwikkeling betrokken was. Nascholing is een belangrijk instrument voor het creëren van deskundigheid en draagvlak voor vernieuwingen. Publicaties in vakbladen en conferenties kunnen hierbij een rol spelen. Via de netwerken en structuren van de vakverenigingen (bijvoorbeeld de NVON-kringen) kan een grote groep docenten bereikt worden.

Tenslotte noemen we hier enkele factoren waarvan verondersteld wordt dat ze mede de *kwaliteit* van het resultaat bepalen: het *betrekken van 'het veld'* in de ontwikkeling van examenprogramma's en in experimenten, het *vroegtijdig informeren van uitgevers*. Deze laatsten blijken soms al in een vroeg stadium in het ontwikkelingstraject te participeren; zij worden niet langer gezien als 'ondeskundige buitenstaanders met enkel commerciële belangen'.

Factoren gerelateerd aan het resultaat

Reeds ontwikkelde curriculumproducten kunnen de input vormen voor een nieuwe ontwikkelingscyclus of voor de implementatie op grotere schaal (examenprogramma's, leerplannen, voorbeeldmateriaal, leerboeken, examens).

Voorbeeldmateriaal kan een belangrijke functie vervullen in het kader van het ontwikkelingstraject. Dit is van belang om auteurs van schoolboeken te voorzien van ideeën en een kader voor de beoogde vernieuwing. In voorbeeldmateriaal wordt duidelijk wat met algemene doelstellingen wordt bedoeld. Bij de ontwikkeling van concreet lesmateriaal kan bovendien aandacht worden besteed aan didactische aspecten van de vernieuwing.

Met het van kracht worden van een nieuw examenprogramma en de beschikbaarheid van lesmateriaal is het traject van ontwikkeling nog niet afgesloten. Ook de vernieuwing van examenopgaven dient opgevat te worden als onderdeel van het vernieuwingstraject. Het is van belang dat de concrete examens afgestemd zijn op de doelstellingen van de beoogde vernieuwing.

6. Conclusies

In deze slotparagraaf komen we terug op de vraagstelling, formuleren twee hoofdconclusies en plaatsen de conclusies uit het onderzoek in breder verband. Daarbij maken we ook een vergelijking met ontwikkelingen op het gebied van de talen. We signaleren de opkomst van een vierde vernieuwingsbeweging getiteld '*Strategisch leren in contexten*' en stellen voor het onderzoek en het ontwikkelingswerk in de komende jaren in het bijzonder hierop te richten.

Aan de 'neutraal' geformuleerde vraagstelling - Hoe is het proces verlopen en welke factoren zijn relevant voor het al dan niet slagen van onderwijsvernieuwingen in de B-vakken? - lag een 'gericht' vermoeden ten grondslag betreffende verschillen tussen wiskunde en de andere exacte vakken. De vernieuwing van het wiskunde-onderwijs zou succesvoller verlopen dan de vernieuwing van de natuurwetenschappelijke vakken.

(1) Eerste hoofdconclusie: drie vernieuwingsbewegingen

Vanuit een curriculumperspectief kunnen de vernieuwingen in de exacte vakken van 1960 tot heden in drie 'perioden' worden ondergebracht. Deze vernieuwingen zijn zowel in Nederland als in het buitenland herkenbaar, zij het dat per vak en land aanzienlijke verschillen zijn opgetreden.

(ii) *'Leefwereld- en participatie-gericht onderwijs'*: in de tweede vernieuwingsbeweging valt het accent op leefwereld- en participatie-gericht onderwijs (exacte vakken voor iedereen). De didactische aanpak overwegend als een 'bottom-up' benadering te typeren.

(iii) *'Constructivisme'*: in de derde vernieuwingsbeweging ontstaat, mede onder invloed van de constructivistische stroming een grotere aandacht voor eigen constructies en denkbeelden van leerlingen. Ook deze didactische aanpak overwegend als een 'bottom-up' benadering te zien.

(II) Tweede hoofdconclusie: wiskunde meer geslaagd, maar.....

De hoofdconclusie is dat er inderdaad aanwijzingen zijn dat de vernieuwingen in het wiskundeonderwijs beter geslaagd zijn dan bij de andere exacte vakken. Deze conclusie dient echter te worden genuanceerd. De ontwikkeling van ideeën en curriculummaterialen is succesvol geweest, zij het dat er in toenemende mate ook inhoudelijke kritiek te beluisteren valt op de theorie van 'realistisch wiskundeonderwijs'. Omtrent de implementatie in de klassenpraktijk en de effecten op de leerresultaten van de leerlingen is een minder eenduidig antwoord te geven. Op deze punten moet het wiskundeonderwijs zich, evenals de andere vakken, nog bewijzen.

Zo wordt naar voren gebracht dat het succes wel geldt voor wiskunde A, maar (nog) niet voor wiskunde B. Ook wordt gesteld dat wiskunde bij de start van de vernieuwingen in de jaren zestig een 'achterstand' had ten opzichte van de natuurwetenschappelijke vakken, waardoor er meer lijkt te zijn veranderd. Tenslotte wordt aangegeven dat de vernieuwingen in het vak wiskunde weliswaar duidelijk zichtbaar zijn op het niveau van het formele curriculum - ze hebben een plaats gekregen in examenprogramma's, leerplannen en schoolboeken - maar dat er over de lespraktijk weinig bekend is. De wiskunde vernieuwing moet zich op operationeel niveau nog bewijzen. Met andere woorden: het invoeringsproces is nog in volle gang. In dit opzicht bevindt het vak wiskunde zich in dezelfde situatie als de natuurwetenschappelijke vakken. Juist succes op het formele niveau draagt echter sterk bij aan een positieve beeldvorming ten aanzien van de vernieuwing; het is immers het meest zichtbare niveau.

Welke factoren liggen ten grondslag aan dit relatieve succes? Op het gebied van het wiskunde onderwijs zijn voorwaarden zijn gecreëerd, die ook op andere vakgebieden van betekenis kunnen zijn. In de eerste plaats betreft dat het bundelen van deskundigheid in het proces van ontwikkeling en implementatie. Daarbij is te denken aan de samenwerking tussen onderzoekers, leerplanontwikkelaars, examenmakers, begeleiders en nascholers. In de tweede plaats verwijzen wij naar de rol van het ontwikke-

ling en implementatie. Daarbij is te denken aan de samenwerking tussen onderzoekers, leerplanontwikkelaars, examenmakers, begeleiders en nascholers. In de tweede plaats verwijzen wij naar de rol van het ontwikkelingsonderzoek en naar de systematische wijze waarop vanuit het Freudenthal Instituut het vernieuwingsproces wordt gestuurd en begeleid. In de derde plaats is met het Freudenthal Instituut een voorwaarde gerealiseerd voor een continu proces van vernieuwing van onderwijs. Tenslotte kan worden gewezen op de factor internationalisering. Er zijn al vele tientallen jaren internationale contacten tussen medewerkers van het Freudenthal Instituut en wiskundendidactici in andere landen. De laatste jaren lijkt dit proces van internationalisering nog te worden versterkt en wordt het produkt geëxporteerd bijvoorbeeld in de vorm van een visie op wiskundeonderwijs (Realistic Mathematics Education, afgekort RME) en in de vorm van concreet lesmateriaal voor de Amerikaanse Middle School. Dit lijkt een goede zaak omdat hiermee de discussie op een internationaal niveau kan worden gevoerd en ook een verbinding kan worden gelegd met recente ontwikkelingen in de theorievorming betreffende onderwijzen en leren.

Verschillen in het succes van het vernieuwingsproces tussen wiskunde en de natuurwetenschappelijke vakken lijken voor een belangrijk deel herleidbaar tot verschillen in de faciliteiten en infrastructuur. Soms wordt 'jaloers' naar het Freudenthal Instituut gekeken. Het feit dat een dergelijk instituut voor wiskunde is gerealiseerd en voor de overige vakken niet, is voor een deel toe te schrijven aan het grotere maatschappelijke belang dat aan het vak wiskunde wordt gehecht. Ook speelde de visie een belangrijke rol: realistisch wiskundeonderwijs. Deze visie is onder de inspirerende leiding van Freudenthal opgebouwd. Er is echter ook een minder wenselijk aspect verbonden aan het concentreren van expertise in één landelijk instituut. Een dergelijke monopoliepositie kan leiden tot eenzijdigheid en uitsluiting van andere invalshoeken.

7. Discussie en aanbevelingen

Op deze visie en enkele recente discussies gaan wij nu nader in. In dit verband is het interessant te vermelden dat het draagvlak voor Freudenthals visie bij de vakken wiskunde en natuurkunde minder massief lijkt te zijn dan twintig jaar geleden. Illustratief is in dit verband de discussie rondom het leren in rijke en realistische contexten. Freudenthal was een groot voorstander van "Mathematics starting at, and staying within reality" (Freudenthal 1991, blz. 18). Elders formuleerde Freudenthal zijn didactisch credo met drie fundamentele kwaliteiten: "aan de realiteit gelieerd, nabij de kinderen, maatschappelijk relevant" (Freudenthal, 1973,

blz. 90). Freudenthal veroordeelde benaderingen waarbij deductief te werk wordt gegaan als 'antididactisch'.

Er zijn echter ook andere visies die recentelijk met kracht naar voren worden gebracht (Anderson, Reder and Simon, 1996a, 1996b). Deze visies komen niet alleen van onderwijskundigen en onderwijspsychologen, ook binnen de kring van vakdidactici komt er kritiek op wat genoemd wordt het 'dogma van realistisch wiskunde-onderwijs'. Volgens de Lange (1997) is er thans zelfs een 'hausse' aan kritische artikelen over realistisch wiskunde-onderwijs. Zo stelt Verstappen (1994) dat het principe van uitgaan van complexe problemen uit de leefwereld onjuist is. "Hoe is van leerlingen te verwachten dat ze de wiskunde niet aanleren, maar zelf vanuit het reële kunnen her-uitvinden, als de historische ontwikkeling ervan zo traag en stroef verliep?" (Verstappen, 1994, 105). Elders vraagt Van Streun (z.j.) zich met het oog op de basisvorming af of de didactiek van de rijke contexten en het ontdekkende leren wel de optimale didactiek is voor alle leerlingen. Van Streun is van mening dat de zwakke leerlingen niet gebaat zijn met een open aanpak met weinig structuur. Het blijkt dus dat zelfs in een situatie waarin een bepaalde visie dominant is en wordt uitgedragen door een instituut dat een monopoliepositie bezit, er toch enige ruimte is om tegengestelde visies naar voren te brengen. Maar men kan dan wel forse kritiek verwachten (Freudenthal, 1989). Ook de kritiek van Verstappen blijft niet zonder weerwerk vanuit het Freudenthal Instituut (de Lange, 1997). Het zou gaan om 'misverstanden' die rechtgezet moeten worden. Deze repliek lijkt echter voorbij te gaan aan de kern van Verstappens standpunt, dat primair het didactisch uitgangspunt van 'realistisch wiskundeonderwijs' betreft, namelijk het 'her-uitvinden vanuit rijke contexten'.

Aan de basis van deze discussie tussen wiskundededidactici ligt niet primair een 'misverstand', maar een diepgaand paradigmatisch dispuut, dat waarschijnlijk hoog op de agenda zal blijven staan. De tegenstelling tussen 'top-down' en 'bottom-up' benaderingen doet zich in alle vakken voor en is dus geen specifiek wiskundededidactische discussie. Aan de drie historische vernieuwingsbewegingen, die in dit artikel zijn onderscheiden, liggen steeds bepaalde vooronderstellingen omtrent deze tegenstelling ten grondslag. Deze tegenstelling komt in de discussie in verschillende begrippenparen tot uitdrukking zoals: inductief versus deductief, bottom-up versus top-down, concreet versus abstract, informeel versus formeel, leren vanuit rijke contexten versus 'structure of the discipline', situated cognition versus information processing enzovoort (Anderson, Reder en Simon, 1996a, 1996b).

De tegenstelling ziet men bijvoorbeeld ook in de discussie over het PLON-project op het gebied van natuurkunde (Lijnse, 1990; 1992). Ook bij scheikunde is deze discussie aan te treffen bijvoorbeeld rondom de methode Theorie Uit Experimenten (TUE) (Terwel en Hooch Antink, 1996). Deze laatste methode is een radicaal voorbeeld van een benadering die als een 'bottom-up approach' kan worden getypeerd. Ook bij biologie is er in de tijd gezien een ontwikkeling van een meer aan de structuur van de wetenschappen georiënteerde didactiek naar een aanpak die uitgaat van problemen uit het dagelijks leven (en weer terug).

Het onderhavige onderzoek van Volman, Vermeulen en Terwel (1995) bij de bètavakken heeft recent een pendant gekregen op het gebied van de talen. (Withagen, Oud-de Glas, Smeets en Buis, 1996). Interessant daarbij is dat de onderzoekers de uitkomsten van ons onderzoek in de bètavakken vergelijken met hun bevindingen op het gebied van de talen. Zij constateren verrassende parallellen in de vernieuwingsbewegingen op beide gebieden. De discussie rondom 'top-down versus bottom-up' is ook bij de talen aan te treffen. Hier is de laatste decennia een ontwikkeling aanwijsbaar die in termen van de tweede vernieuwingsbeweging begrepen kan worden. Er is een ontwikkeling van een grammaticaal-structurele aanpak naar een communicatieve benadering waarbij wordt uitgegaan van authentieke situaties. Niet langer wordt de kennis van het taalsysteem voorop gesteld maar komt het accent te liggen op het gebruik van de taal voor communicatieve doelen. Men spreekt in dit verband wel van een 'communicatieve wending' waarbij het leren in contexten een belangrijke rol speelt. Anders gezegd ook het onderwijs op het gebied van de talen wordt meer 'leefwereld- en participatiegericht' (Withagen, Oud-de Glas, Smeets en Buis, 1996).

Het lijkt er op dat de genoemde tegenstelling kan worden opgelost door de aandacht voor de strategische aspecten bij het leren of het nu meer een 'bottom-up' dan wel een 'top-down' benadering betreft. Welke insteek men ook kiest, de weg waarlangs een leerling kan gaan zal moeten worden verhelderd. In de communicatieve aanpak gaat het om de strategie om actief met informatie uit de context om te gaan. Het gaat dan om de weg van het bijzondere naar het algemene. Bij een 'top-down' benadering is de centrale vraag hoe men van het algemene model of schema naar de toepassing in praktische situaties kan gaan. In beide gevallen gaat het om de vraag naar de strategie en hoe men het ook wendt of keert op enig moment moet er een verbinding worden gelegd tussen de basis (context) en de top (structuur). (Withagen, Oud-de Glas, Smeets en Buis, 1996; De Glopper, Van Daalen-Kapteijns en Schouten-van Parreren, 1996). Ook in recente publikaties op het gebied van de wiskunde-didak-

tiek staat de vraag naar de overgang van de informele activiteiten van leerlingen naar de formele mathematische structuren centraal. En men ziet ook hier de worsteling met de 'bottom-up' versus een 'top-down' benadering. De oplossing wordt ook hier gezocht in het strategisch leren vanuit contexten. Hoe kan men de situatie zo modelleren dat deze toegankelijk wordt voor wiskundig denken? Bij de talen gaat het om het leren 'communiceren' bij wiskunde gaat het om het leren 'mathematiseren' (Gravemeijer, 1995; Gravemeijer en Terwel, in press; Withagen, Oud-de Glas, Smeets en Buis, 1996; De Gloppe, Van Daalen-Kapteijns en Schouten-van Parreren, 1996).

Wij komen nu met een eigen stellingname en lichten onze visie met enkele voorbeelden toe. Wij hebben in dit artikel drie vernieuwingsbewegingen gesignaleerd in de periode 1960-1997. Momenteel staat de derde vernieuwingsbeweging, met het name het constructivisme, sterk in de belangstelling maar er is ook de nodige kritiek. Hoewel wij de positie van Anderson, Reder en Simon (1996a; 1996b) niet delen voorzover het hun massieve afwijzing van het constructivisme en vooral het leren in contexten betreft, voelen wij ons ook niet verwant met 'radicaal constructivisten' die stellen dat kennis alleen kan worden geconstrueerd door de leerling in complexe situaties en dat de overdracht van kennis door de leraar onmogelijk is. Wij voelen ons dan ook wat ongemakkelijk bij het gegeven dat zoveel vakdidactici, curriculumontwikkelaars, lerarenopleiders, begeleiders en nascholers het constructivisme onkritisch lijken te omarmen. Daarmee ontkennen wij niet de betekenis van de bijdrage van de 'constructivisten' aan de discussie. Kernpunt is echter dat het constructivisme in essentie een descriptieve theorie is waarin wordt vastgesteld dat leerlingen eigen denkbeelden en constructies vormen. Een dergelijke theorie kan in beginsel geen aanwijzingen of prescripties leveren voor goed onderwijs. Er lijkt zich thans een vierde beweging aan te dienen waarin eenzijdigheden uit de voorgaande vernieuwingen worden erkend. Wij omschrijven deze vierde beweging als '*Strategisch leren in contexten*'. In deze optie is er geen sprake van een dogmatische afwijzing van 'top-down' of 'bottom-up' benaderingen. Het lijkt ons niet vruchtbaar om de ene of andere benadering als 'antididactisch' af te doen. Ook lijkt het ons niet zinvol te spreken van 'het dogma van het realistisch wiskunde-onderwijs'. Dergelijke kwalificaties kunnen worden vermeden door de spanning te erkennen tussen de structuur van het domein en de leefwereld van de leerlingen. De nadruk dient te liggen op de strategische aspecten. Het didactisch proces zou kunnen beginnen bij een probleem uit de leefwereld van de leerlingen. Het analyseren en bewerken van de situatie, bijvoorbeeld door gebruik te maken van karteringsvragen, schetsen, teke-

ningen, modellen, schema's of diagrammen, is een tweede stap. In essentie gaat het om het ondersteunen van het proces van probleemoplossen en ontwerpen door modelleren. De karteringsvragen en modellen kunnen door de leraar worden gedemonstreerd in een proces van probleemoplossen of door de leerlingen zelf worden ontwikkeld. Het proces verloopt van de leefwereld, via tussenliggende modellen, naar de meer formele structuren en concepten van het betreffende vakgebied (Van der Valk, 1992). In dit proces fungeert de leraar als gids en rolmodel voor de leerlingen. Medeleerlingen kunnen echter ook een belangrijke rol spelen. Bij deze aanpak kan gebruik gemaakt worden van een combinatie van werkvormen: klassikale instructie, discussiemethoden, begeleide herontdekking en participatie in taakgerichte groepen. In bepaalde fasen wordt speciale begeleiding gegeven aan leerlingen die extra hulp nodig hebben. Deze tijdelijke en aangepaste hulp ('scaffolding') wordt geleidelijk teruggenomen zodra blijkt dat de leerling weer op eigen kracht verder kan. In het kader van deze benadering zijn specifieke strategieën in te zetten. Enkele voorbeelden kunnen dit verduidelijken. Bij *wiskunde* in de basisvorming zou bij het onderwerp 'Maten en meten' de volgende opdracht gegeven kunnen worden: maak een schets en vervolgens een maquette van een huis. Het ontwerp moet op schaal worden gemaakt en dient te passen binnen een bepaalde situatie. Bij *biologie* is te denken aan de volgende opdracht. Ontwerp een conceptueel model op papier en vervolgens een drie dimensionaal model voor het ademhalingsstelsel van de mens. Men kan ook aan een opdracht denken waarbij meerdere vakken zoals *Nederlands, wiskunde en natuurkunde* zijn betrokken. Bijvoorbeeld: Bastiaan heeft een oude zeilboot gekocht in Grouw en wil de boot in een lang weekend naar het haventje aan de IJssel in Zutphen overbrengen. Er zijn allerlei gegevens betreffende de route, het vaarreglement, de bruggen, de motor, benzine, lekkage etc. De opdracht luidt: maak een plan voor de tocht en houd rekening met de randvoorwaarden. Bij dit type opdrachten wordt niet alleen een grondige voorbereiding verondersteld met klassikale instructies, demonstraties, observaties van ontwerpprocessen, presentatie van materiaal, videopresentaties etc. Nieuwe mogelijkheden van de Informatie en Communicatie Technologie (ICT) kunnen daarbij worden gebruikt. Ook de fase van afronding, rapportage, discussie en generalisatie is van groot belang. Essentieel in onze benadering is dat centrale begrippen in verschillende contexten worden aangeboden. Het proces van 'decontextualiseren' of 'recontextualiseren' dient een belangrijke plaats te krijgen met het oog op de transfer van het geleerde in nieuwe situaties.

Bij de omschrijving van deze vierde vernieuwingsbeweging getiteld 'Strategisch leren in contexten' zijn we geïnspireerd door het werk van Mayer (1996), The Cognition and Technology Group at Vanderbilt / The Learning Technology Center Vanderbilt (1996), Rosenshine, Meister, Chapman (1996) en Schoenfeld (1994), Perrenet (1995), maar ook door eigen onderzoek (Carpay en Terwel, 1995; Hoek, Van den Eeden en Terwel, 1996; Roelofs en Terwel, 1997; Van Oers, Schouten-Van Parrenen, Terwel en Wardekker, 1997).

Tegen de achtergrond van bovenstaande discussie pleiten wij voor een programma van onderzoek naar het 'Strategisch leren in contexten'. Snelle en pasklare oplossingen dient men van een dergelijk researchprogramma niet te verwachten. Wel is er op wat langere termijn vooruitgang te boeken omdat een dergelijke benadering de kern van het onderwijsleerproces betreft. Het lijkt van groot belang de verworvenheden uit eerdere stadia te behouden en op een nieuw en hoger plan te integreren.

Noot

1. Met dank aan dr. Rijkje Dekker, drs. Stan Frijters, dr. Martin Goedhart, drs. Cees Mulder, en drs. Riny van Krieken, vakdidactici in de exacte vakken verbonden aan de Universiteit van Amsterdam, voor hun waardevolle ideeën en opmerkingen bij de opzet en uitvoering van ons onderzoek.

Literatuur

- Akker, J.J.H. van den (1996). *Het Studiehuis: ook een leeromgeving voor docenten?* Amsterdam: Vrije Universiteit (Inaugurele rede Vrije Universiteit Amsterdam).
- Anderson, J.R., L.M. Reder & H.A. Simon (1996a). Situated Learning and Education. *Educational Researcher*, 25, 5, 5-11.
- Anderson, J.R., L.M. Reder & H.A. Simon (1996b). *Applications and Misapplications of Cognitive Psychology to Mathematics Education: Constructivism*. [Http://www.psy.cmu.edu/~mm4b/misapplied.ntml](http://www.psy.cmu.edu/~mm4b/misapplied.ntml)
- Carpay J. & J. Terwel (1995). In de leer bij de constructivisten. *Pedagogisch Tijdschrift*, 20, 4/5, 241-245.
- Freudenthal, H. (1991). *Revisiting Mathematics Education. China Lectures*. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers.
- Freudenthal, H. (1973). De niveaus in het leerproces en de heterogene leergroep met het oog op de middenschool. In: *Gesamtschule conferentie 1973*. Amsterdam/Purmerend: APS/ Muuses.
- Freudenthal, H. (1989) Boekbespreking: A. van Streun, Heuristisch wiskunde-onderwijs. Verslag van een onderwijsexperiment. Proefschrift Groningen, 10 maart, 1989. *NVON-Tijdschrift*, 302- 304.

- Glaserfeld, E. von (ed.) (1991). *Radical constructivism in mathematics education*. Dordrecht: Kluwer.
- Glopper, K. de, M Van Daalen-Kapteijns & C. Schouten-van Parreren (1996). *Effects of the training of a word learning strategy*. Paper presented at the AERA Annual Meeting, New York, April 8-12.
- Gravemeijer, K.P.E. (1994). *Developing realistic mathematics education*. Utrecht University, CDβ Press.
- Gravemeijer, K.P.E. (1995). *Symbolizing from a developmental-research perspective*. Paper presented at the symposium "Symbolizing, Communication, and Mathematizing, at Vanderbilt University, Nashville, September, 1995.
- Gravemeijer, K.P.E. & J. Terwel (in press). Hans Freudenthal: a mathematician takes a stand on curriculum in mathematics education, *Journal of Curriculum Studies*.
- Hoek, D., P. van den Eeden & J. Terwel (1996). Leren oplossen van wiskundige problemen in kleine groepen: effecten van een didactische interventie. *Pedagogisch Tijdschrift*, 21, 6, 403-427.
- Huhse, K. (1968). *Studien und Berichte. Theorie und Praxis der Curriculum Entwicklung*. Berlin: Institut für Bildungsforschung in der Max-Planck-Gesellschaft.
- Kimpston, R.D. & K.B. Rogers (1986). A framework for curriculum research. In: *Curriculum Inquiry*, 16, 4, 463-474.
- Kok-Damave, M. de (1980). *Handboek voor leergangontwikkeling*. Den Haag: SVO.
- Kuiper, W.A.J.M (1993). *Curriculumvernieuwing en lespraktijk*. Een beschrijvend onderzoek op het terrein van de natuurwetenschappelijke vakken in het perspectief van de basisvorming. Enschede: OCTO.
- Lange, J. de (1997). Werelden van verschil - Ontwikkelingen in het reken-wiskundeonderwijs- Panama-post, *Tijdschrift voor Nascholing en Onderzoek van het Reken-Wiskundeonderwijs*, 15, 3, 3-12.
- Lijnse, P. (1990). Natuurkunde-didactiek vanuit bètadidactisch perspectief. In: P.L. Lijnse & W. de Vos, *Didactiek in Perspectief*, 126-142. Utrecht: CDβ Press.
- Lijnse, P.L. (1992). *Natuurkunde leren begrijpen*. Utrecht: Vakgroep Natuurkunde Didactiek, (oratie).
- Mayer, R.E. (1996). Learners as Information Processors: Legacies and Limitations of Educational Psychology's Second Metaphor, *Educational Psychologist*, 31, 3/4, 151-161.
- Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen (1991). *Profiel van de tweede fase voortgezet onderwijs, voorstellen voor een betere toerusting van*

- scholen en leerlingen in de tweede fase voortgezet onderwijs*. Zoetermeer: Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen.
- Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen (1992). *Profiel van de tweede fase voortgezet onderwijs*. Vervolgnota. Zoetermeer: Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen.
- Miranda, J., de (1966). Vragen naar de identiteit van de didactiek. *Vernieuwing van opvoeding en onderwijs*, 25, 122-137 en 162-173.
- Nijhof, W.J., H.A.M. Franssen, W.Th.J.G. Hoeben & R.G.M. Wolbert, (red.) (1993). *Handboek curriculum*. Modellen, theorieën, technologieën. Amsterdam/Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Oers, B. van, C.M. Schouten-van Parreren, J. Terwel & J. Wardekker (1997). *Strategisch leren in contexten*. Ontwerp, implementatie en effecten van een didactische strategie voor leerlingen in reguliere klassensituaties: een interventie studie naar het strategisch leren in contexten bij Nederlands en rekenen/wiskunde. Amsterdam: Vrije Universiteit, Faculteit der Psychologie en Pedagogiek, Vakgroep Pedagogiek.
- Perrenet, J. Chr. (1995). *Probleemoplossen in het wiskunde-onderwijs: samen of alleen*. Onderzoek van wiskunde leren bij 12- tot 16-jarigen. Amsterdam: Faculteit der Pedagogische en Onderwijskundige Wetenschappen/Instituut voor de Lerarenopleiding, Universiteit van Amsterdam (proefschrift).
- Roelofs, E. & J. Terwel (1997). Constructivism and Authentic Pedagogy: State of the Art and Recent Developments in the Dutch National Curriculum in Secondary Education. Paper presented at the Annual Meeting of the AERA, Chicago, 1997. *Annual Meeting Program AERA, session 46.40*, 217. Washington: American Educational Research Association.
- Rosenshine, B., C. Meister & S. Chapman (1996). Teaching Students to Generate Questions: A Review of the Intervention Studies. *Review of Educational Research*, 66, 2, 181-221.
- Schoenfeld, A. H. (1992). Learning to Think Mathematically: Problem Solving, Metacognition, and sense Making in Mathematics. In: D.A. Grouws (Ed.) *Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning*, 334-371. New York: MacMillan.
- Streun, A. van (z.j.). *Van een verbale probleemstelling naar een wiskundige kern*. (tekst van een nog niet gepubliceerde lezing).
- Streun, A. van (1994). Hoe onderwijs je probleemoplossen? *Tijdschrift voor Didactiek der Bèta-wetenschappen*, 12, 3, 210-225.
- Streun, A. van (1989). *Heuristisch wiskunde-onderwijs*. Verslag van een onderwijsexperiment. Groningen: Rijksuniversiteit Groningen (proefschrift).

- Stuurgroep Profiel Tweede fase Voortgezet Onderwijs (1994a). *Tweede fase, scharnier tussen basisvorming en hoger onderwijs*. Een uitwerking op hoofdlijnen van de nota's profiel van de tweede fase van het voortgezet onderwijs. Den Haag.
- Stuurgroep Profiel Tweede fase Voortgezet Onderwijs (1994b). *De tweede fase vernieuwt*. Den Haag.
- The Learning Technology Center, Vanderbilt University (1996). *The Adventures of Jasper Woodbury, Jasper Training Guide*. Mahwa, NJ: Learning Inc. Lawrence Erlbaum (en video serie).
- Terwel, J. & M.H.J. Hooch Antink (1996). *Ontwerpen van klassesituaties. Een beschrijving en vergelijking van didactische modellen in het perspectief van sociale en cognitieve ontwikkeling van leerlingen*. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam, SCO-Kohnstamm Instituut/Instituut voor de Lerarenopleiding. Eindrapport in opdracht van het Instituut voor Onderzoek van het Onderwijs, SVO-projectnummer: 92904 /SCO rapport 419.
- Valk, A.E. van der (1992). *Ontwikkeling in energieonderwijs*. Utrecht: CDβ Press. (proefschrift).
- Veugelers, W. & H. Zijlstra (1996). *Praktijken uit het studiehuis*. Leuven - Apeldoorn: Garant.
- Verstappen, P. *Theorie in praktijk* (1994). Het dogma: van de leefwereld naar de wiskundewereld. *Tijdschrift voor Didactiek der Bètawetenschappen*, 12, 2, 104-129.
- Volman, M, A Vermeulen & J. Terwel (1996). *Success Factors in Curriculum Innovation*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association (AERA). New York, April 1996.
- Volman, M., A. Vermeulen & J. Terwel (1995). *Onderwijsvernieuwingen in wiskunde, Natuurkunde, scheikunde en biologie. Een Probleemanalyse van ontwikkelingen in het voortgezet onderwijs*. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam, SCO-Kohnstamm Instituut/Instituut voor de Lerarenopleiding. Instituut voor Onderzoek van het Onderwijs (SVO) (Eindrapport van projectnummer SVO-94815, SCO-rapport 401).
- Walker, D. (1990). *Fundamentals of Curriculum*. San Diego: Harcourt, Brace, Jovanovich, Publishers.
- Wierstra, R.F.A. (1990). *Natuurkunde-onderwijs tussen leefwereld en vakstructuur*. Utrecht: CDβ Press. (proefschrift).
- Withagen, V.W, M.M.B. Oud-de Glas, E.F.L.Smeets & T.J.M.N. Buis (1996). *Vernieuwingen in het vreemde talenonderwijs. Spreken is zilver zwijgen is goud*. Nijmegen: Instituut voor Toegepaste Sociale Wetenschappen.