

Bouwen aan een nieuw natuurkundecurriculum havo/vwo

Harrie Eijkelhof
Koos Kortland
Centrum voor Bèta-Didactiek, Universiteit Utrecht

Summary

The new profile structure for Dutch senior secondary education (havo/vwo) did have a considerable impact on the physics programme. The long-standing tradition of 'one programme fits all' was torn to pieces: one smaller piece for all students in the 'nature and health' and 'nature and technology' profiles, and one additional piece for only those students opting for the 'nature and technology' profile.

Although this differentiated physics programme is only in operation since 1998 and therefore could be considered still to be in its implementation phase, there is already sufficient reason for a thoughtful reflection on its structure and contents. In this paper we will call attention to some relevant social developments and connect these to some important structural bottlenecks in the present-day physics programme. On the basis of this problem analysis we will sketch some ideas about a possible way-out: a different way of differentiating between students with an interest in either health-related or technology-related further education, and a reflection on the contents of the physics programme for senior secondary education.

1. Inleiding

Het onlangs ingevoerde examenprogramma natuurkunde voor havo en vwo (OCenW, 1998) heeft een lange voorgeschiedenis. In het begin van de vorige eeuw was er geen examenprogramma, er waren alleen schoolboeken (bijv. Gerrits, 1909). Pas in 1928 verscheen een voorstel voor een examenprogramma (Fokker, 1928), geschreven door een commissie die was ingesteld door de Nederlandse Natuurkundige Vereniging. De commissie formuleerde het volgende inhoudsdoel van het natuurkundeonderwijs:

Het doel van het onderwijs in de natuurkunde bestaat in het aanbrengen van de kennis der voornaamste natuurkundige verschijnselen en der wetten, waardoor zij worden beheerscht, op een wijze, die uit proefondervindelijke waarneming opklimt tot het natuurkundig begrip, om de uit zulk begrip volgende conclusie's wederom aan het experiment te toetsen, zoodat de leerling ervaart hoe natuurkennis wordt verkregen en is verkregen. Het moet leiden tot kennis van de belangrijkste theorieën, bekendheid met de voornaamste toepassingen der natuurkunde in het dagelijks leven en in de techniek, en inzicht in de historische ontwikkeling van enkele problemen.

(Fokker, 1928, p. 9)

Vanuit hedendaags perspectief is het interessant dat ruim tachtig jaar geleden al het belang van het experiment werd benadrukt en dat verder ook al gesproken werd over toepassingen in het dagelijks leven en de techniek, en

de historische ontwikkeling. En opvallend is dat de commissie in het rapport ook al aandacht vraagt voor de vragen:

Hoe kan men bij de voortdurende stofvermeerdering in den beperkten tijd, die beschikbaar is, het beste voldoen aan de eischen, die men aan goed natuurkunde-onderwijs heeft te stellen? ...

Wat van het moderne dient te worden opgenomen?

(Fokker, 1928, p. 10)

Is er iets veranderd sindsdien? Uiteraard heel veel, zowel in het kennisbestand en de werkwijzen van natuurkundigen, in de technologie en in de samenleving. Uiteenlopende commissies, voor zover ons bekend zes, hebben voorstellen gedaan voor nieuwe examenprogramma's: Groosmuller (1938), Houdijk (1948), Rekveld (1966a,b), Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde (CMLN, 1975), Werkgroep Examenprogramma's Natuurkunde (WEN, 1988) en, meest recent, de vakontwikkelgroep biologie, natuurkunde en scheikunde (Stuurgroep Profiel Tweede Fase, 1995). Dezelfde soort vragen vinden we terug in de rapporten van deze commissies, al krijgen ze niet steeds dezelfde aandacht en zijn de antwoorden soms verschillend. In grote lijnen traden in de loop der jaren de volgende veranderingen op in de natuurkundeprogramma's:

- Het opnemen van de mechanica in het natuurkundeprogramma: tot 1962 was mechanica in de bovenbouw van de HBS-B een afzonderlijk examenvak (van Genderen, 1989).
- Een grotere detaillering in de voorgeschreven leerstof.
- Expliciete aandacht voor experimentele en andere vaardigheden.
- Meer aandacht voor contexten van de natuurkunde.
- Aandacht voor de computer en het gebruik ervan.
- Aandacht voor meningsvorming in maatschappelijke kwesties waarbij natuurkundige kennis een rol speelt.

Bij het schrijven van dit soort programma's spelen tal van uiteenlopende factoren een rol. Naar onze indruk belangrijke factoren zijn:

- De traditie van het natuurkundeonderwijs in Nederland: het is eenvoudiger de bestaande praktijk te continueren dan veranderingen tot stand te brengen. Bovendien verandert fysische basiskennis niet zo snel en zijn er soms goede redenen voor de bestaande praktijk, zoals de gebleken belangstelling van leerlingen of het aansluiten bij de expertise en het enthousiasme van docenten.
- Veranderingen in de onderwijsstructuur, bijvoorbeeld in de jaren zeventig de invoering van de Mammoetwet en onlangs van de Profielen voor vwo en havo.
- Nieuwe ontwikkelingen in de natuurkunde: in 1928 was het neutron nog niet ontdekt, laat staan dat er kennis was over bijvoorbeeld kernsplijting en -fusie, de quarkstructuur, CT-scanners of lasers.
- Veranderingen in de samenleving: sinds de jaren zeventig worden permanent maatschappelijke discussies gevoerd over nieuwe technologieën die voortvloeien uit natuurwetenschappelijke ontwikkelingen en heeft informatie- en communicatietechnologie (ICT) een grote vlucht genomen.

De jongste examenprogramma's natuurkunde voor havo en vwo zijn vijf jaar geleden opgesteld. Op het moment van schrijven (voorjaar 2001) heeft alleen een kleine groep havo-leerlingen examen gedaan volgens de nieuwe programma's. Pas in het voorjaar van 2002 worden de examens op alle scholen voor havo en vwo afgenomen in dit kader. Toch is er nu al voldoende aanleiding stil te staan bij vorm en inhoud van deze programma's. Enerzijds omdat de jongste programma's in zeer korte tijd tot stand zijn gekomen (negen maanden terwijl de CMLN wel zeven jaar aan zijn programma's heeft gewerkt), anderzijds omdat wij een aantal ontwikkelingen signaleren waarop de programma's onvoldoende inspelen.

In deze bijdrage willen wij enkele relevante maatschappelijke ontwikkelingen signaleren en deze verbinden met enkele belangrijke structurele knelpunten van de huidige programma's. Vervolgens schetsen wij op basis hiervan een mogelijkheid om op korte of lange termijn de examenprogramma's bij te stellen.

Wij beperken ons in deze bijdrage dus nadrukkelijk tot het natuurkundecurriculum in de *tweede fase havo/vwo* op het niveau van *examenprogramma's* – programma's die niet meer dan de gewenste kennis en vaardigheden van de leerling beschrijven. Vragen die betrekking hebben op het door de leerling verwerven van deze kennis en vaardigheden – zoals rekenen houden met voorkennis en begripsproblemen van leerlingen, hanteren van een didactiek van 'actief leren', gefaseerd en vakoverstijgend werken aan vaardigheidsontwikkeling, en omgaan met de niet-onproblematische relatie tussen kennis- en vaardigheidsontwikkeling (Lijnse, 1997) – moeten binnen het bestek van deze bijdrage noodgedwongen buiten beschouwing blijven.

2. Karakter en context van de huidige examenprogramma's natuurkunde

De natuurkundeprogramma's die nu worden ingevoerd op havo en vwo zijn gesplitst in een N1- en N2-deel. N1 is bestemd voor alle leerlingen met een natuurprofiel (NG en NT), N2 alleen voor de leerlingen met het profiel Natuur en Techniek (NT). Inhoudelijk kunnen deze programma's als volgt worden gekenmerkt:

- Ze zijn omvangrijk en gedetailleerd: N1,2 voor het vwo (havo) omvat bijvoorbeeld 5 (4) inhoudelijke domeinen, 19 (13) subdomeinen, 74 (69) eindtermen en 86 (46) formules.
- Ze omvatten een breed terrein van de natuurkunde: mechanica, elektriciteit en magnetisme, thermodynamica, golven & straling, atoom- & kernfysica.
- Er is veel aandacht voor vaardigheden: 74 (sub)eindtermen op de gebieden taal, reken/wiskunde, informatieverwerking (met name gebruik van ICT), instrumenten, ontwerpen en onderzoek doen.
- Ze bieden weinig keuzeruimte aan docenten en leerlingen: er zijn geen keuzeonderwerpen zoals in de jaren zeventig en tachtig van de vorige eeuw.
- Contexten komen aan de orde in een aantal eindtermen, met name als het gaat om het noemen van toepassingen of voorbeelden van verschijnselen en het inperken van het bereik van een eindterm.

- Moderne ontwikkelingen in de natuurkunde hebben beperkt aandacht. In een speciaal project wordt gewerkt aan het ontwikkelen van een domein moderne natuurkunde voor het vwo (N2), met de nadruk op kwantumfysica.
- De computer wordt met name genoemd bij metingen en signaalverwerking (N1 havo en vwo) en bij een aantal modellen (N2 vwo), zoals met betrekking tot het op- en ontladen van een condensator, het onderzoeken van de invloed van wrijving op bewegingen en het beschrijven van bewegingen van voorwerpen en deeltjes in gravitatie- en elektrische velden.
- Het deelvak N1 is gemeenschappelijk voor beide profielen. Dat wil zeggen dat de leerlingen die kiezen voor het profiel Natuur- en Gezondheid (NG) geen extra natuurkunde krijgen die zich specifiek richt op de medisch/biologische praktijk.

In de schoolboeken spelen de contexten vaak een belangrijker rol dan het examenprogramma aangeeft, zowel bij het aanleren als het toepassen van natuurkundige kennis. Ook de vragen van de recente centraal schriftelijke eindexamens natuurkunde zijn voor een groot deel in contexten geformuleerd. Het toetsen van vaardigheden – anders dan de in het examenprogramma impliciet genoemde vaardigheid ‘probleemoplossen’ – wordt grotendeels aan de scholen overgelaten.

Externe ontwikkelingen

Dit is niet de plaats om uitvoerig in te gaan op alle ontwikkelingen in de samenleving. Wij beperken ons tot die ontwikkelingen die waarschijnlijk tot een blijvend andere samenleving leiden en directe gevolgen hebben voor het natuurkundeonderwijs. Er zijn ook ontwikkelingen (of juist een gebrek daaraan) waarop zou moeten worden ingespeeld om ongewenste gevolgen te voorkomen.

Om met het laatste type ontwikkelingen te beginnen:

- *De belangstelling van meisjes voor een studie natuurkunde blijft gering* – Op de meeste universiteiten is 90% van de natuurkundestudenten van het mannelijk geslacht. We slagen er in Nederland (en een aantal omliggende landen) maar niet in om meisjes voor natuurkunde te interesseren. Dit punt is niet nieuw, zorgelijk is dat hierin nauwelijks verandering valt te bespeuren. Factoren die daarbij mogelijk een rol spelen zijn vertrouwen in eigen kunnen, het curriculum, de manier van toetsen, de leeromgeving, het arbeidsethos en de cultuur van de natuurkundigen (Eijkelhof, 1999, pp 35-37).
- *De belangstelling voor een studie natuurkunde in het hoger onderwijs daalt sterk* – In de laatste tien jaar is het aantal universitaire eerstejaars studenten natuurkunde bijna gehalveerd (Verbunt, 2000). Dit leidt op den duur waarschijnlijk tot het sluiten van opleidingen, een tekort aan jonge wetenschappelijke onderzoekers en leraren, en een grotere afhankelijkheid van buitenlandse inbreng.
- *Er ontstaat een groeiend tekort aan natuurkundedocenten* – Dit tekort ontstaat enerzijds doordat er minder afgestudeerde fysici komen (zie het vorige punt), anderzijds doordat het leraarschap om diverse redenen op dit moment moeilijk kan concurreren met een loopbaan in het bedrijfsleven. Dit

houdt in dat de kwaliteit van het natuurkundeonderwijs op school wordt bedreigd, omdat de lessen zullen vervallen of worden gegeven door onder- en onbevoegden die minder in staat zijn leerlingen voor natuurkunde te motiveren. Dat zou de onder het vorige punt genoemde ontwikkeling kunnen versterken en daarmee dreigt een negatieve spiraal.

Deze problemen zijn niet uniek voor Nederland (Coughlan, 1999 en 2000; EPS, 1999; Berge & Duit, 2000) maar daarom niet minder belangrijk.

Onomkeerbare en wereldwijde veranderingen in wetenschap en samenleving waarop het onderwijs ons inziens zou moeten inspelen, zijn:

- *Snelle ontwikkelingen in natuurwetenschappen en technologie* – Het gaat hier om ontwikkelingen op bijvoorbeeld het gebied van ruimteonderzoek, nanotechnologie, informatie- en communicatietechnologie, materiaalkunde, medische technologie en hoge-energiefysica. Aandacht voor deze ontwikkelingen is niet alleen van belang omdat ze in potentie appelleren aan de belangstelling van jonge mensen, maar ook vanwege hun mogelijke consequenties voor burgers.
- *Een toenemend belang van interdisciplinair denken* – Deze manier van denken is van belang bij het uitvoeren van onderzoek en de ontwikkeling van technologie, maar ook om de resultaten en de gevolgen van fundamenteel en technologisch onderzoek te kunnen interpreteren. Dat wil niet zeggen dat iedereen van alles op de hoogte dient te zijn, wel dat men in staat moet zijn verbindingen te leggen tussen ontwikkelingen op diverse terreinen.
- *De ruime beschikbaarheid van digitale informatie* – Hierbij kunnen we denken aan het gebruik van internet en cd-rom's en de te verwachten integratie van radio, televisie, telefoon, agenda en pc. Een fundamentele basiskennis en het vermogen scherpe zoekvragen te stellen, efficiënte zoekstrategieën te hanteren en de betrouwbaarheid van gevonden informatie goed in te schatten worden daarmee steeds belangrijker. Dit gaat gepaard met een internationalisering waarbij het Engels de lingua franca lijkt te worden voor informatie en communicatie.
- *De veranderende leefwereld van leerlingen* – Eén van de veranderingen betreft de apparaten waarmee mensen dagelijks te maken hebben: door de vergaande miniaturisering worden apparaten steeds meer 'black boxes' met een input en een output. Daarmee wordt het steeds moeilijker apparaten te gebruiken om bij leerlingen belangstelling te wekken voor fysische processen. Dit vraagt om een herbezinning op de rol van de omgeving bij het vormgeven van natuurkundeonderwijs.
- *Een toenemend belang van het kunnen reguleren van het eigen leerproces* – Door de hierboven genoemde beschikbaarheid van enorm veel informatie en snelle veranderingen in wetenschap en samenleving wordt het in toenemende mate belangrijk om het eigen leerproces te kunnen reguleren. De ontwikkeling van het studiehuis is dan ook een weerslag van een maatschappelijke trend.

Knelpunten in het onderwijs

Naast ontwikkelingen buiten het onderwijs zullen ook knelpunten in het huidige onderwijs moeten worden meegenomen in de discussie over veranderingen in examenprogramma's. Enkele belangrijke knelpunten zijn:

- *De door veel leraren ervaren overladenheid van de programma's* – Nu is dit al een oude klacht, maar zij wint aan sterkte door veranderingen die gepaard gaan met de invoering van het studiehuis waarbij minder contacttijd beschikbaar is en de leerlingen zich de vaak moeilijke begrippen meer zelfstandig eigen moeten maken. Veel leraren hebben het idee dat de beschikbare contacttijd niet voldoende is om hetzelfde niveau te halen als in het oude systeem. Ook de recente nadruk op vaardigheden zet het onderwijs onder druk. Het risico van overladen programma's is dat er weliswaar veel stof wordt 'behandeld' maar dat dit ten koste gaat van inzicht (Arons, 1997, p. 363). Dit probleem wordt bevestigd door de resultaten van vakdidactisch onderzoek waaruit blijkt dat het verschil tussen wat docenten onderwijzen en leerlingen leren groot is (McDermott, 1993).
- *Het gebrek aan keuzeruimte voor leerlingen en docenten* – In de vernieuwde tweede fase hebben de leerlingen minder keuze in het samenstellen van een vakkenpakket. Weliswaar was een keuzeruimte van 20% gepland maar die wordt thans voor een groot deel opgevuld met het profielwerkstuk en andere opdrachten die eigenlijk binnen de bestaande vakken passen. Door de overladenheid van de programma's is er ook voor docenten minder tijd om buiten het programma om onderwerpen aan de orde te stellen. Docenten worden daarmee gedwongen zich te beperken tot het examenprogramma, hetgeen tekort doet aan hun professionaliteit en weinig uitdaagt het onderwijs inhoudelijk te moderniseren.
- *Het gebrek aan samenhangend onderwijs in de profielen* – De nieuwe examenprogramma's voor de natuurwetenschappelijke vakken zijn, voor het eerst, geschreven door een commissie van biologen, natuurkundigen en scheikundigen. Dit heeft opgeleverd dat er een gemeenschappelijke lijst van vaardigheden is geformuleerd. De raakvlakken tussen de disciplines zoals biofysica, meteorologie, aardwetenschappen en astrofysica, inhoudelijk vaak zeer interessant voor leerlingen, krijgen echter weinig aandacht. De profielwerkstukken zouden een aanknopingspunt kunnen bieden maar sinds januari 2000 hoeven die niet meer betrekking te hebben op twee profielvakken. Het gevaar bestaat dat leerlingen op deze wijze een verkokerd beeld van natuurwetenschappen verwerven dat niet aansluit bij de interdisciplinaire praktijk in de buitenschoolse wereld.
- *Het profiel Natuur & Techniek (NT) is een jongensprofiel geworden* - Het NT-profiel wordt in de vierde klas door jongens nu nog in redelijke mate gekozen (vwo 36%, havo 27%), maar door meisjes vrijwel niet (vwo 7%, havo 3%). De ervaringen in de eerste twee jaar van de invoering van de tweede fase doen vermoeden dat deze percentages zowel voor jongens als meisjes verder dalen in de loop van de schoolloopbaan: van NT naar NG en van NG naar de maatschappijprofielen (PMVO, 1999). Dat betekent dat voor meisjes de sociale drempel voor het NT-profiel hoog wordt en dat het aantal meisjes in vervolgstudies zoals natuurkunde, wiskunde en de technische vakken op den duur nog verder dreigt af te nemen.
- *De keuze van het profiel Natuur & Techniek (NT) staat ernstig onder druk* – Aanvankelijk eisten de universiteiten voor een aantal technische en exacte studies het NT-profiel als vooropleiding. Om het echter niet praktisch onmogelijk te maken voor leerlingen met een profiel Natuur & Gezondheid (NG) om bijvoorbeeld natuurkunde te studeren is de toelatingseis verlicht tot minimaal NG met wiskunde B2. Bovendien hoeft aan die wiskunde-eis pas bij

de propedeuse te zijn voldaan. In de praktijk betekent dit dat NG toelating biedt tot alle exacte studies. Verwacht mag worden dat het NT-profiel nu nog minder gekozen zal worden door leerlingen en dat scholen om economische redenen moeite zullen hebben om dit profiel te blijven aanbieden.

Positieve ontwikkelingen

Plannen voor de toekomst mogen niet alleen gebaseerd zijn op externe ontwikkelingen en knelpunten in het huidige onderwijs. Het lijkt ons belangrijk ook een aantal positieve ontwikkelingen te schetsen ten aanzien van het natuurkunde- en bètaonderwijs:

- *Er is de laatste dertig jaar veel veranderd in het Nederlandse natuurkundeonderwijs* – Er is meer aandacht voor de aansluiting op de leefwereld van de leerlingen. Leerlingpractica hebben een vaste plaats verworven. De computer speelt een belangrijke rol bij het meten en verwerken van gegevens zodat meer tijd beschikbaar komt voor de analyse van de resultaten. Het open onderzoek biedt leerlingen de kans zich te verdiepen in een zelf gekozen natuurkundig onderwerp. En er is met het NG- en NT-profiel een eerste aanzet gegeven tot invoering van een differentiatie naar vervolgopleiding.
- *Het NG-profiel staat in de belangstelling van meisjes* – Op het vwo kiest ca 33% van de meisjes voor het NG-profiel (PMVO, 1999, p. 17). In totaal kiest 40% van de vwo-meisjes voor een N-profiel. Dat is veel meer dan verwacht: in het eerste rapport van de Stuurgroep Profiel Tweede Fase (1994, p. 37) wordt geschat dat 30% van de meisjes een N-profiel zal kiezen, al een flinke stijging in vergelijking met het begin van de negentiger jaren (20%) (de Jong, 1994). Veel meer meisjes komen nu dus in de Tweede Fase in aanraking met een breed scala aan bètavakken.
- *De grote belangstelling voor de jaarlijkse Woudschotenconferentie* - Uit het aantal van circa vijfhonderd deelnemers mogen we concluderen dat een aanzienlijke groep docenten geïnteresseerd is in de ontwikkeling van hun onderwijs en in het contact onderhouden met collega's.
- *Uit evaluatiegegevens (NRC, 2000) blijkt dat natuurkunde tot de meest gewaardeerde studies behoort, zowel in het WO als het HBO.*
- *In de universitaire wereld bestaat steeds meer interesse voor het natuurkundeonderwijs op school* – Dit valt te constateren uit initiatieven van de Nederlandse Natuurkundige Vereniging richting voortgezet onderwijs, de activiteiten in de netwerken rond de universiteiten en de reacties uit de onderzoekswereld op de recente examens vwo-natuurkunde (Dijkgraaf et al., 2000).

In deze context van ontwikkelingen in onderwijs, wetenschap en samenleving dienen wij nu te bezien hoe het examenprogramma meer kan bijdragen aan natuurkundeonderwijs dat door leerlingen wordt gewaardeerd, door docenten met plezier wordt gegeven, door de buitenwereld met respect wordt behandeld, jongeren inspireert om te kiezen voor een exacte studie en natuurkundigen aantrekt voor het beroep van docent.

Een antwoord op deze vragen is naar ons idee te vinden in een wijziging van de huidige profielstructuur (paragraaf 3) en een grondig doordenken van de inhoud (paragraaf 4) van het natuurkundeprogramma voor de tweede fase

havo/vwo – als een tweetal elementaire bouwstenen voor een nieuw natuurkundecurriculum.

3. Eén Natuurprofiel?

Een deel van het in paragraaf 2 geschetste probleem heeft te maken met de huidige profielstructuur, waarin het vak natuurkunde is 'verdeeld' over de twee natuurprofielen. Die opdeling leidt tot de volgende zes knelpunten:

- Het NT-profiel wordt weinig door meisjes gekozen.
- Het NT-profiel dreigt minder populair te worden door de veranderde instroomeisen van het hoger onderwijs.
- Het NG-profiel biedt te weinig oriëntatie op een aantal NT-studies en is dus niet geschikt als enige natuurprofiel (waar het, gezien de eerder gesignaleerde knelpunten in het onderwijs, wel op lijkt uit te draaien).
- Leerlingen met een NT-profiel missen het belangrijke vak biologie, juist nu veel natuurkundig onderzoek zich op levensprocessen gaat richten.
- De huidige NG en NT-profielen bieden te weinig differentiatie door stapelingen als N1 en N2.
- Het bestaan van twee N-profielen belemmert de afstemming tussen de profielvakken: alleen N1, WB1 en S1 worden door alle leerlingen gevolgd.

Een mogelijke oplossing is één bètaprofiel met differentiatiemogelijkheden binnen het profiel. Dat zou moeten bestaan uit een kern- en keuzeprogramma. Het kerngedeelte omvat voor alle leerlingen de vakken natuurkunde, wiskunde, scheikunde en biologie, bijvoorbeeld 400 uur per vak voor het vwo en 240 uur voor de havo. Dan resteert 240 resp. 200 uur keuzetijd, bij voorkeur in te vullen in het laatste jaar (5 havo of 6 vwo). De leerling kan deze keuzetijd invullen met een beperkt aantal modules die zijn afgestemd op een NG en/of NT studie. Wanneer we voor het gemak maar even uitgaan van een gelijk aantal uren voor elk van de vakken, dan zou zo'n opzet er in tabelvorm kunnen uitzien zoals weergegeven in figuur 1.

Desgewenst kan de differentiatieruimte vergroot worden door minder tijd voor het kernprogramma te reserveren.

	VWO	HAVO
Natuurkunde	400	240
Scheikunde	400	240
Biologie	400	240
Wiskunde	400	240
Differentiatie	240	200
Totaal	1840	1160

Figuur 1 – Voorbeeld van differentiatie binnen één N-profiel (in slu's).

Een dergelijk gedifferentieerd N-profiel heeft, uiteraard, zijn voor- en nadelen. Laten we beginnen met enkele voordelen.

- De keuze voor een specialisatie NT of NG kan worden uitgesteld. Dat lijkt ons voor alle leerlingen gewenst, en met name voor meisjes die soms in het begin van de tweede fase te snel kiezen voor een NG-profiel.

- Via de keuzemodulen kunnen leerlingen zich op basis van hun interesse en toekomstplannen echt oriënteren op een NT- of NG-studie, terwijl dat nu vanwege de stapeling van N1/2 binnen het NG-profiel nauwelijks mogelijk is bij het schoolvak natuurkunde. In het buitenland zijn aardige voorbeelden voorhanden van modules over natuurkunde & gezondheid (Pope, 1989; Hollins, 1990; Science Education Group University of York, 2000) en natuurkunde & sport (Hawkey, 1991; Mathelitsch, 1991; Parker & Parry, 1998). In Nederland zou het project *Techniek 15+* dergelijke modules over natuurkunde & techniek kunnen produceren.
- De keuzemodulen zouden ook interdisciplinaire onderwerpen kunnen omvatten, waardoor leerlingen beter zicht krijgen op de manier waarop vanuit verschillende natuur- en technische wetenschappen wordt samengewerkt, bijvoorbeeld bij materiaalkunde, meteorologie en oceanografie, aardwetenschappen en medische technologie.
- Keuzemogelijkheden bevorderen in het algemeen de betrokkenheid en het verantwoordelijkheidsgevoel van leerlingen, zoals veelal blijkt bij open onderzoekopdrachten en het profielwerkstuk.
- Leraren kunnen op deze wijze hun specifieke deskundigheden inbrengen waardoor meer een beroep wordt gedaan op het vakinhoudelijk aspect van hun professionaliteit.
- Sommige modules zouden ook door buitenschoolse instellingen kunnen worden aangeboden, zoals universiteiten, hogescholen en science centra. Een combinatie van lezingen/werkgroepen/practica en online-werkvormen is daarbij goed denkbaar.

Een interessant voorbeeld van een dergelijke aanpak met keuzeonderwerpen vinden we bij de natuurkundeprogramma's van het wereldwijde International Baccalaureate (1996). Leerlingen kunnen daarbij kiezen uit 20-30 uur omvattende modules. Sommige van die modules betreffen aanvullende onderwerpen op het gebied van mechanica, atoom- en kernfysica, en energie. Andere gaan over de onderwerpen biomedische natuurkunde, geschiedenis van de natuurkunde, astrofysica, speciale en algemene relativiteitstheorie, en optica.

Naast voordelen zijn er bij deze gedifferentieerde aanpak ook enkele nadelen die ondervangen dienen te worden.

- Bij een kern/keuzeaanbod bestaat het gevaar dat het kernprogramma de taaie, klassieke stof omvat en het keuzedeel 'de leuke dingen' (Ogborn, 2000). Recente Britse natuurkundecurricula zoals *Advancing Physics* (Ogborn & Whitehouse, 2000) en *Salter's Horners Advanced Physics* (Science Education Group University of York, 2000) laten zien dat ook het kerngedeelte op een aansprekende manier kan worden vormgegeven. Het kernprogramma zou ook een oriëntatie kunnen bieden op contexten die in de keuzemodules centraal staan.
- Examinering in een centraal schriftelijk examen wordt lastiger met een keuzeprogramma. Dat is echter te ondervangen door keuzevragen op te nemen in het centraal schriftelijk examen, een praktijk die in Britse examens en bij het International Baccalaureate (1996) al gebruikelijk is.

- Voor de vakken scheikunde, biologie en wiskunde zou een soortgelijke aanpassing nodig zijn in kern- en keuzeprogramma. Daarnaast is een goede, inhoudelijke afstemming nodig tussen de curricula voor de vakken natuurkunde, scheikunde, biologie, wiskunde en ANW. Dat laatste lijkt ons echter eerder een voordeel dan een nadeel, omdat ook in de huidige situatie deze onderlinge afstemming veel te wensen overlaat.

4. De inhoud van het natuurkundeprogramma

Een ander deel van het in paragraaf 2 geschetste probleem is de inhoud van het natuurkundeprogramma. Laten we beginnen met aan te geven aan welke criteria deze inhoud voor de tweede fase havo/vwo volgens ons zou moeten voldoen:

- Interessant voor een meerderheid van de leerlingen vanuit het oogpunt van algemene vorming (cultureel perspectief).
- Exemplarisch voor een voortgezette studie in de natuurkunde als hoofd- of bijvak (perspectief van oriëntatie op studie- en beroep).
- Optimale samenhang met de andere exacte vakken.
- Door leerlingen studeerbaar in de beschikbare tijd.
- Voor docenten onderwijsbaar.
- Gerespecteerd door de 'physics community'.

Wanneer we kiezen voor bovengenoemde opzet van de tweede fase: één bèta-profiel met een kernprogramma en keuzemogelijkheden. Hoe dient dan het kernprogramma natuurkunde te worden vorm gegeven? Het lijkt ons niet verstandig daarvoor zonder meer het huidige N1 programma te kiezen. Daartoe is te weinig doordacht hoe dit programma zou moeten voldoen aan uiteenlopende eisen, zoals:

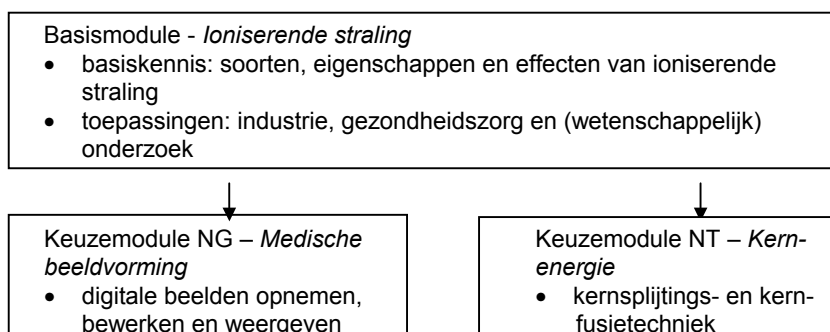
- *Een afspiegeling van het unieke gedachtegoed van de discipline natuurkunde vanuit een cultureel perspectief* – Hierbij gaat het om begrippen, relaties tussen begrippen en redeneerwijzen die specifiek zijn voor natuurkunde, een algemeen vormende waarde hebben en nauwelijks buitenschools te leren zijn. Te denken valt aan onderwerpen als het krachtbegrip van Newton, velden (krachten op afstand), het elektromagnetisch spectrum, de relatie energie-materie, de eerste en tweede hoofdwet van de warmteleer, kwantumfysica en speciale relativiteitstheorie.
- *Een voorbereiding op een mogelijke studie in de natuur- en technische wetenschappen* – Enige mathematisering kan hierbij niet ontbreken, maar ook een kennismaking met nieuwe ontwikkelingen in het onderzoek, zowel inhoudelijk als methodisch. In de keuzemodulen kunnen leerlingen gerichter worden voorbereid op een aantal veel gekozen vervolgopleidingen.
- *Samenhang met de andere profielvakken (wiskunde, biologie en scheikunde) en ANW* – Aandachtspunten hierbij zijn het voorkomen van overlap en het ondersteunen middels vakverbindingen (met name in de relatie tussen de vakken natuurkunde en wiskunde is volgens ons nog veel te verbeteren).
- *Aansluiten op de basisvorming* – Aansluiten dient niet opgevat te worden als meer van hetzelfde, maar uit kunnen gaan van een min of meer gemeenschappelijke kennisbasis, het voorkomen van storende overlap of

ontbrekende kennis, en een helder identiteitsverschil tussen natuurkunde in de basisvorming en de bovenbouw.

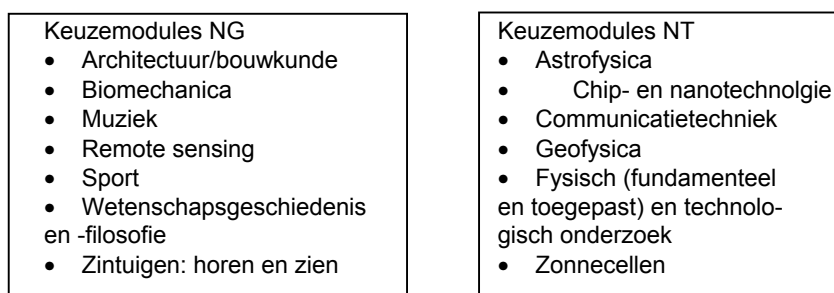
Voorbeeld

Hoe ziet een dergelijk kernprogramma met keuzemodules er nu concreet uit? We beperken ons hierbij voorlopig tot het in figuur 2 weergegeven voorbeeld, waarbij we nog zo dicht mogelijk bij het huidige programma voor N1,2 proberen te blijven. Het kernprogramma zou dan onder andere een basismodule *Ioniserende straling* kunnen bevatten, met daarin een oriëntatie op het karakter van twee keuzemodules over *Medische beeldvorming* en *Kernenergie* (afgestemd op een NG- resp. NT-studie). Als het genoemde onderwerp voor de NG-keuzemodule wat te beperkt lijkt, behoort ook een keuzemodule over *Medische fysica* tot de mogelijkheden. Op een vergelijkbare manier is de NT-keuzemodule uit te breiden tot een keuzemodule *Energietechniek*. In de appendix zijn de eerste ideeën over deze basismodule en keuzemodules nog wat verder uitgewerkt.

Uit het hier gegeven voorbeeld blijkt dat het niet al te lastig hoeft te zijn om NG- en/of NT-keuzemodules te ontwerpen – en hoe ruimer het aanbod, hoe beter het lijkt. In figuur 3 geven we een eerste – en zeker onvolledige – inventarisatie.



Figuur 2 – Een voorbeeld van een combinatie van een basismodule in het kernprogramma, met aansluitende NG- en NT-keuzemodules.



Figuur 3 – Enkele voorbeelden van NG- en NT-keuzemodules.

Discussie

Over de hierboven in grote lijnen gesuggereerde inhoud van het natuurkundeprogramma zou op korte termijn een discussie moeten worden gevoerd, waarbij ook een inbreng zou moeten worden geleverd door natuurkundigen die buiten het voortgezet onderwijs werkzaam zijn. De discussie moet vooraf gaan aan het werk van een examenprogrammacommissie omdat daarin allerlei pragmatische zaken en tijdsdruk dan de toon zetten. Voorbeelden van vragen die in een dergelijke werkgroep aan de orde zouden moeten worden gesteld, zijn:

- *Welke onderwerpen verdienen aandacht in een kern- en keuzecurriculum natuurkunde en waarom?* – Bij elk onderwerp zou een verantwoording moeten komen vanuit de diverse eisen die aan het natuurkundeonderwijs kunnen worden gesteld. Zo'n verantwoording is met name belangrijk wanneer er keuzes moeten worden gemaakt om overladenheid van het programma te voorkomen.
- *Hoe kun je jongeren van 15 – 18 jaar het best boeien met natuurkunde?* – Het gaat daarbij om aansluiting bij de bestaande interessesfeer van leerlingen, maar het zou te ver gaan louter onderwerpen te bespreken die leerlingen initieel interessant vinden. Juist de school is een plaats waar ook nieuwe interessevelden kunnen worden ontwikkeld.
- *Welke plaats ken je toe aan contexten bij de keuze van leerstof, het introduceren van een nieuw onderwerp, het aanleren en verwerken van nieuwe kennis en het toetsen van eindtermen?* – Recentelijk is enige discussie ontstaan over contexten in het natuurkundeonderwijs naar aanleiding van de vwo-examens 2000 (Dijkgraaf et al, 2000; van Welie, 2000a,b). De meningen blijken daarover te verschillen, maar (nog) onvoldoende helder is welke achterliggende opvattingen daarbij een voorname rol spelen.
- *Van welke voorkennis zou je mogen uitgaan: is dat de lijst kerndoelen van de basisvorming of moeten we hogere en meer specifiek geformuleerde ingangseisen stellen voor de bovenbouw havo/vwo?* – Formeel kunnen nu geen hogere eisen worden gesteld dan de basisvorming, maar in de praktijk blijkt dat niveau problemen op te leveren, zodat op veel scholen toch een soort basisvorming-plus programma wordt gebruikt in 3 havo/vwo. De eindtermen hiervan, i.e. de ingangseisen voor de tweede fase, zijn echter niet helder geformuleerd.
- *Tot op welk niveau zijn nieuwe ontwikkelingen in de natuurkunde begrijpelijk te maken voor leerlingen en hoe kun je dat met enig succes doen?* – Het gaat daarbij vooral over onderwerpen waarmee nog weinig ervaring is opgedaan. Veel aandacht voor de mathematische achtergronden zou veel leerlingen kunnen ontmoedigen kennis te nemen van deze onderwerpen. In hoeverre is een 'didactische vertaling' mogelijk die leerlingen aanspreekt maar ook recht doet aan de ideeën zelf.
- *Hoe kun je ICT-middelen optimaal benutten bij het leren van natuurkunde?* – Cd-rom's en websites bieden tal van nieuwe mogelijkheden om vertrouwd te raken met natuurkunde. Welke kennis en vaardigheden zijn vereist om deze middelen goed te kunnen benutten? Meer aandacht voor Engelse termen, zoekstrategieën, modelleertechnieken?
- *Hoe moeilijk mag/moet het natuurkundeonderwijs zijn?* – Het schoolvak natuurkunde heeft de naam moeilijk te zijn. Hoe moeilijk natuurkunde is hangt

samen met de manier waarop de leerstof wordt aangeboden en de eisen die worden gesteld in een centraal schriftelijk examen. We kunnen het eenvoudiger maken zodat meer leerlingen met succes en interesse het vak kunnen volgen, maar dat gaat wellicht ten koste van bepaalde inhouden. Maken we het moeilijker dan ontmoedigen we leerlingen een natuurprofiel te kiezen. Is het aanvaardbaar het kerncurriculum en de examens zo te maken dat de meeste leerlingen dat met succes kunnen afronden en niveauverschillen aan te brengen in de moeilijkheidsgraad van de opties? Of moeten we vrezen dat leerlingen dan altijd de wat minder moeilijke opties kiezen?

- *Welke randvoorwaarden zijn vereist om een dergelijk curriculum te kunnen onderwijzen?* – Het heeft weinig zin een curriculum te formuleren dat slechts door superdocenten met onbepaald veel tijd en middelen kan worden waargemaakt. Aan de andere kant is het gewenst en noodzakelijk dat docenten meer tijd en gelegenheid krijgen zich te blijven ontwikkelen op vak- en vakdidactisch gebied. In hoeverre laten we ons leiden door bestaande randvoorwaarden of moeten we de noodzaak van nieuwe en betere randvoorwaarden voor docenten bepleiten?

Bovenstaande vragen gelden niet alleen voor het natuurkundeprogramma maar in enigszins aangepaste vorm voor alle exacte vakken. Wellicht is het daarom verstandiger geen aparte werkgroep voor natuurkunde in te stellen maar een werkgroep met vertegenwoordigers van alle exacte vakken. Zo'n werkgroep zou niet alleen antwoorden moeten verschaffen op bovenstaande vragen maar ook lijnen moeten uitzetten voor een inhoudelijke samenhang op het gebied van de exacte vakken. De werkgroep zou ook ideeën kunnen uitwerken voor interdisciplinaire keuzemodules. En ten slotte zou zo'n interdisciplinaire werkgroep goed kunnen nagaan hoe de – op zich door ons positief gewaardeerde – versterkte aandacht voor experimentele en andere vaardigheden in de huidige programma's voor de exacte vakken (inclusief de uitwerking daarvan in de praktische opdrachten en het profielwerkstuk) op een zoveel mogelijk samenhangende manier en bovendien rekening houdend met de noodzakelijke koppeling tussen kennis- en vaardigheidsontwikkeling in de verschillende curricula tot uitdrukking zou kunnen komen.

5. Conclusie

Het lijkt ons verstandig serieus na te denken over de mogelijkheid één bètaprofiel aan te bieden op havo en vwo dat differentiatiemogelijkheden biedt voor leerlingen. Dat vereist de vaststelling van een kern- en keuzeprogramma. Het denken daarover mag niet wachten tot het moment dat de nieuwe examenprogramma's worden herzien, omdat dan, zoals de ervaring met de vakontwikkelgroepen in 1995 leert, de tijdsdruk een fundamentele discussie en de tijdige ontwikkeling van goede leermiddelen in de weg staat. Het laatste examenprogramma natuurkunde dat wel op een uitgebreide discussie is gebaseerd (WEN, 1988) is van twaalf jaar geleden en werd voorafgegaan door een periode van veertien jaar experimenteren in het Project Leerpakketontwikkeling Natuurkunde (PLON) (Eijkelhof et al, 1986; Eijkelhof & Kortland, 1988; Lijnse et al, 1990). Sindsdien is er veel veranderd in wetenschap, onderwijs en samenleving. Laten we zorgen dat het programma

tijdig wordt vernieuwd, ons inziens een levensvoorwaarde om het schoolvak natuurkunde aantrekkelijker te maken voor leraren en leerlingen.

Literatuur

- Arons, A.B. (1997). *Teaching Introductory Physics*. New York: John Wiley.
- Berge, O.E., & R. Duit (2000). Den Physikunterricht effektiver und erfreulicher machen. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik*, 49 (1), 9-13.
- CMLN (1975). *Natuurkunde*. Rapport 1974 van de Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde. Den Haag: Staatsuitgeverij.
- Coughlan, R. (ed.), (1999). *Attainment in Physics. Proceedings of the Colloquium on Attainment in Physics at 16+*. Dublin: Stationary Office.
- Coughlan, R. (2000). European Union Physics Colloquium. *Physics Education*, 35 (4), 287-292.
- Dijkgraaf, R., Heuvel, E. van den, 't Hooft G. & Lagendijk A. (2000). Algemene beschouwingen over het vwo-examen 2000. *NVOX*, 25 (7), 373-374.
- Eijkelhof, H.M.C. (1999). Social issues and physics at 16+ in Europe. In R. Coughlan, R. (ed.), *Attainment in Physics. Proceedings of the Colloquium on Attainment in Physics at 16+* (pp 33-50). Dublin: Stationary Office.
- Eijkelhof, H.M.C., Holl, E., Pelupessy, B. & Verhagen P.A.J. (1986). *Op Weg naar Vernieuwing van het Natuurkundeonderwijs*. Den Haag: SVO.
- Eijkelhof, H.M.C. & Kortland, J. (1988). Broadening the aims of physics education. In P. Fensham (ed.), *Development and Dilemmas in Science Education* (pp 282-305). London: Falmer Press.
- EPS, (1999). *Securing the future of physics. Report on the Malvern seminar*. Malvern: European Physical Society.
- Fokker, A.D. (1928). *Het Onderwijs in de Natuurkunde aan Gymnasia, Hoogere Burgerscholen en Lycea*. Groningen/Den Haag: J.B. Wolters.
- Genderen, D. van (1989). *Mechanica-onderwijs in beweging*. Utrecht: WCC.
- Gerrits, G.C. (1909). *Leerboek der natuurkunde*. Leiden: E.J. Brill.
- Groosmuller, J.Th. (1938). Rapport Commissie tot uitwerking van het K.B. van 27 mei 1937, voor zover het de natuurkunde betreft. *Faraday*, 8, 153-168.
- Hawkey, R. (1991). *Sport Science*. London: Hodder & Stoughton.
- Hollins, M. (1990). *Medical Physics*. Basingstoke: MacMillan.
- Houdijk, A. (1948). Rapport van de commissie inzake het natuurkunde-onderwijs op de H.B.S. B. *Faraday*, 17, 61-81.
- International Baccalaureate (1996), *Physics*. Geneva: International Baccalaureate Organisation.
- Jong, U. de (1994). *Verder studeren. Verbeteren doorstroomprofielen de aansluiting bij het hoger onderwijs?* Amsterdam: SCO.
- Lijnse, P.L. (1997). Vakdidactiek: het vergeten fundament van het studiehuis? *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 14 (1), 72-91.
- Lijnse, P.L., Kortland, J., Eijkelhof, H.M.C., Genderen, D. van & Hooymayers, H.P. (1990). A thematic physics curriculum: A balance between contradictory curriculum forces. *Science Education*, 74 (1), 95-103.
- Mathelitsch, L. (1991). *Sport und Physik*. Wien: Verlag Hölder-Pichler-Tempsky.
- McDermott, L. C. (1993). Guest Comment: How we teach and how students learn – A mismatch? *American Journal of Physics*, 61 (4), 295-298.
- NRC (2000), <http://www.nrc.nl/W2/Lab/Profiel/Studiekeuze2000/cijfers.html>

- Ogborn, J. (2000), Post-16 physics for tomorrow. *Physics Education*, 35 (4), 301-303.
- Ogborn, J. & Whitehouse, M. (2000). *Advancing Physics AS*. Bristol: Institute of Physics Publishing.
- OcenW, (1998). *Examenprogramma's profielen vwo/havo natuurwetenschappelijke vakken*. Zoetermeer: CFI, Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen.
- Parker, K. & Parry, M. (1998). *Physics in Sport*. Supported Learning in Physics Project. Oxford: Heinemann.
- PMVO, (1999). *Peiling 1. Cursusjaar 1999-2000*. Den Haag: PMVO.
- Pope, J.A. (1989). *Medical Physics*. Oxford: Heinemann.
- Rekveld, J. (1966a). Natuurkunde-onderwerpen voor het h.a.v.o.-eindexamen. *Faraday*, 35, 61-68.
- Rekveld, J. (1966b). Rapport van de natuurkundecommissie v.w.o.-h.a.v.o. over de leerstof voor natuurkunde bij het v.w.o. *Faraday*, 35, 121-130.
- Science Education Group University of York, (2000). *Salter's Horners Advanced Physics AS level*. Oxford: Heinemann.
- Stuurgroep Profiel Tweede Fase, (1995). *Advies Examenprogramma's havo en vwo: biologie, natuurkunde, scheikunde*. Enschede: SLO.
- Stuurgroep Profiel Tweede Fase, (1994). *Tweede Fase. Scharnier tussen basisvorming en hoger onderwijs*. Den Haag: Stuurgroep Profiel Tweede Fase.
- Verbunt, F. (2000). De natuurkunde in de 21^e eeuw. *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde*, 66 (1), 6-11.
- Welie, T. van (2000a). Het centraal eindexamen natuurkunde vwo 2000. *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde*, 66 (7), 214-218.
- Welie, T. van (2000b). Het centraal examen VWO natuurkunde. *NVOX*, 25 (7), 361-363.
- WEN, (1988). *Examenprogramma natuurkunde VWO en HAVO*. Enschede: Werkgroep Examenprogramma's Natuurkunde.

Appendix

In deze appendix werken we het in het artikel gegeven voorbeeld van een basismodule in het kernprogramma met daarop aansluitende NG- en NT-keuzemodules iets verder uit om deze ideeën wat meer concreet te maken. Méér dan de status van een – voor discussie vatbare – verkenning heeft het voorbeeld (inclusief de onderstaande uitwerking) echter niet.

Bij het uitgewerkte voorbeeld moet wel worden bedacht dat een curriculum iets anders is dan een (examen)programma. Het programma moet voldoende ruimte bieden om de natuurkunde in een of meer van de genoemde contexten aan te bieden, hetzij vanaf de start met een onderwerp als een kader waarin de leerstof wordt geplaatst, hetzij achteraf als toepassingen van die leerstof. Het programma hoeft die contexten niet voor te schrijven, maar om het bekende probleem van overladenheid te vermijden moet er bij het opstellen van het programma wel rekening mee worden gehouden.

Basismodule – Ioniserende straling

In het artikel wordt het *elektromagnetisch spectrum* genoemd als mogelijk onderwerp in het basisdeel van het natuurkundeprogramma. Een onderdeel van dat spectrum is de *ioniserende straling*: röntgen-, α -, β - en γ -straling. In het huidige programma wordt dat onderwerp beschreven in de subdomeinen 'straling en gezondheidszorg' (havo N1) en 'radioactiviteit' (vwo N1). In beide gevallen gaat het daarbij om de verschillende soorten ioniserende straling, hun eigenschappen en hun effecten op mens en milieu. Een dergelijk onderwerp zou vanuit een cultureel en democratisch perspectief (toepassingen van ioniserende straling brengen risico's met zich mee, en zijn daardoor niet onomstreden) goed kunnen passen in het basisdeel van een gedifferentieerd programma. Bovendien is er sprake van een samenhang met de vakken biologie (genetica), scheikunde (atoombinding), wiskunde (exponentiële krommes) en ANW (biosfeer). En ten slotte kan worden aangesloten bij het schema van bron-straling-ontvanger dat in de basisvorming bij onderwerpen als licht en geluid geïntroduceerd is (of kan worden).

In het subdomein 'straling en gezondheidszorg' (havo N1) worden verder enkele toepassingen van ioniserende straling in industrie, gezondheidszorg en (wetenschappelijk) onderzoek genoemd. Bij die toepassingen blijkt dat ioniserende straling op grond van steeds dezelfde eigenschappen voor volstrekt verschillende doelen – en soms zelfs tegenstrijdige doelen – is in te zetten. Het is deze variëteit aan toepassingen die het onderwerp geschikt maakt als oriëntatie op het karakter van de latere, meer op NG- en/of NT-studies gerichte modules in het keuzedeel van het programma. Het is bovendien deze zelfde variëteit aan toepassingen die voorkomt dat het basisdeel alleen de taaie, klassieke leerstof omvat en die het mogelijk maakt om het onderwerp op een aantrekkelijke manier te brengen (waarvan zoekopdrachten op internet en het modelleren van (verval)processen zeker een onderdeel kunnen uitmaken).

Uit dit voorbeeld blijkt dat het niet nodig is om het huidige natuurkundeprogramma volledig overboord te gooien. En als het goed is, geven de huidige schoolboeken voor de tweede fase concrete uitwerkingen

(of op z'n minst aanzetten daartoe) van dit onderwerp uit het basisdeel van een gedifferentieerd natuurkundeprogramma.

Keuzemodule NG – Medische beeldvorming

Als in het basisdeel het elektromagnetisch spectrum aan de orde is geweest, is een module over bijvoorbeeld *medische beeldvorming* in het keuzedeel zeker op zijn plaats als een mogelijke voorbereiding op NG-studies. Daarbij zal het dan vooral gaan om het opnemen, bewerken en weergeven van digitale beelden. Beelden die ontstaan door gebruik van licht en ioniserende straling, maar ook door gebruik van geluid (echografie). Beelden die niet alleen voorwerpen weergeven, maar ook snelheden en snelheidsverdelingen (dopplerechografie). Beelden die niet alleen rechtstreeks worden opgenomen, maar ook berekend (tomografie). Beelden ten slotte die op allerlei mogelijke manieren kunnen worden gemanipuleerd: ruis onderdrukken, contrast verbeteren, onscherpte verwijderen enzovoort. In de marge van een dergelijke module is natuurlijk ook te verwijzen naar het gebruik van deze beeldbewerkingstechnieken in onder andere de astronomie, de meteorologie, de geofysica (seismologie) en het aardonderzoek vanuit de ruimte (remote sensing).

En als zo'n module over medische beeldvorming wat te beperkt lijkt: ook een module over *medische fysica* behoort tot de mogelijkheden – met de mechanica van en de energiehuishouding in het menselijk lichaam, zien en horen, het functioneren van de bloedsomloop enzovoort (waarmee de biofysica uit het oude WEN-programma weer zou terugkeren). En dan niet alleen 'hoe het werkt', maar ook de fysische meetmethoden en afbeeldingstechnieken die daarbij worden gebruikt. Een onderwerp met duidelijk interdisciplinaire aspecten, en (waarschijnlijk) goed aansluitend bij een aantal onderwerpen uit het basisdeel van het biologieprogramma.

Concrete voorbeelden van de uitwerking van dit soort NG-modules of mogelijke onderdelen daarvan zijn te vinden in *Advancing Physics* (Ogborn & Whitehouse, 2000) en *Medical Physics* (Pope, 1989; Hollins, 1990).

Keuzemodule NT – Kernenergie

Als in het basisdeel ioniserende straling aan de orde geweest is, dan zou een module over bijvoorbeeld *kernenergie* onderdeel kunnen uitmaken van het keuzedeel als een mogelijke voorbereiding op NT-studies. Dit onderwerp is ook in de huidige programma's te vinden in de subdomeinen 'kernenergie en techniek' (havo N2) en 'kernfysica' (vwo N2). In de marge van een dergelijke module over kernsplijting en -fusie is te verwijzen naar andere keuzemodules zoals *astrofysica* en de *aard van materie*– modules die zich niet richten op toegepast of ontwerpend onderzoek, maar op (meer) fundamenteel onderzoek.

En ook hier: als zo'n module over kernenergie wat te beperkt lijkt, is ook een module over *energietechniek* voorstelbaar. Niet alleen grootschalig (brandstof- en kerncentrales), maar ook kleinschalig (zonneboiler, fotovoltaïsche cel, windturbine, warmtepomp) en met een koppeling naar de vakken biologie (biomassa, vergisting), scheikunde (brandstofcel) en ANW (biosfeer). In een dergelijke module moet het ook mogelijk zijn om 'ontwerpen' een plaats te geven, als vervolg op een onderwerp als *fysische informatica* in het

basisdeel van het programma – als dat onderwerp daarvan onderdeel zou gaan uitmaken.