

# NIEUWE NATUURKUNDE

ADVIES-EXAMENPROGRAMMA'S  
VOOR HAVO EN VWO

COMMISSIE VERNIEUWING  
NATUURKUNDEONDERWIJS HAVO/VWO  
DECEMBER 2010





Aan de minister van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap  
Mevr. J. M. van Bijsterveldt

Van de Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo  
Datum december 2010

Betreft nieuwe examenprogramma's natuurkunde voor havo en vwo

Excellentie,

Hierbij bieden wij u de eindrapportage aan van de Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo. In uw opdracht is vanaf december 2004 gewerkt aan het ontwikkelen van nieuwe examenprogramma's voor het profielvak natuurkunde havo en vwo.

In bijgaande rapportage vindt u onze advies-examenprogramma's in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 lichten wij de totstandkoming toe en de uitgangspunten die een rol hebben gespeeld. Het proces van het examenexperiment, de veldconsultaties, de evaluaties en de externe commentaren worden beschreven in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden de examenprogramma's zoals die op grond van de consultaties en evaluaties zijn geformuleerd, in detail besproken. Daarin geven we ook een overzicht van de wijzigingen ten opzichte van de huidige examenprogramma's natuurkunde. We besluiten met een beschouwing over het centraal schriftelijk examen en het schoolexamen met onze conclusies in hoofdstuk 6.

Hoofdstuk 1 fungeert als samenvatting van onze rapportage met een reeks aanbevelingen die de uitkomst zijn van het experimenteertraject op de scholen en de consultaties met het veld.

De documentatie die niet in deze rapportage is opgenomen, blijft beschikbaar voor degenen die bij de invoering van de examenprogramma's betrokken zullen zijn. De vernieuwingscommissie zal daartoe het archief ter beschikking stellen van SLO, als regisseur van het invoeringsproces.

Wij danken u voor het gestelde vertrouwen in onze commissie en gaan ervan uit dat decharge zal volgen. Via de Nederlandse Natuurkundige Vereniging, de beroepsvereniging van natuurkundigen, die ook participeert in de stichting Innovatie Onderwijs in Bètawetenschappen en Technologie, blijven wij graag beschikbaar voor advies en kunnen we medewerking verlenen aan de implementatie.

Hoogachtend,  
Prof. Dr. Ch. G. van Weert  
Voorzitter Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs  
havo/vwo

## Colofon

*Nieuwe natuurkunde, advies-examenprogramma's voor havo en vwo*  
Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo  
© 2010 Nederlandse Natuurkundige Vereniging

Vormgeving: Claud Biemans, [www.frontlinie.nl](http://www.frontlinie.nl)

Alle rechten voorbehouden. Mits bron wordt vermeld, is het toegestaan om zonder voorafgaande toestemming van de uitgever deze uitgave geheel of gedeeltelijk te kopiëren dan wel op andere wijze te verveelvoudigen.

Bij bronvermelding de volgende referentie gebruiken:  
Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo (2010).  
Nieuwe natuurkunde, advies-examenprogramma's voor havo en vwo.  
Amsterdam: Nederlandse Natuurkundige Vereniging.

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Samenvatting en aanbevelingen</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>Examenprogramma's havo en vwo</b>	<b>80</b>
1.1	Nieuwe natuurkunde	7	5.1	Keuze van eindtermen	80
1.2	Attitude en studiekeuze	9	5.2	Subdomeinen CE en SE	91
1.3	Scientific literacy als kernpunt	10	5.3	Vergelijking met het huidige examenprogramma	95
1.4	Concept-context	11	5.4	Afstemming wiskunde	106
1.5	Onderzoek en ontwerp	12	<b>6</b>	<b>Examens</b>	<b>110</b>
1.6	Meisjes	13	6.1	Verdeling over CE en SE	110
1.7	Aansluiting op de onderbouw	14	6.2	Examinering CE	112
1.8	Onderscheid tussen havo en vwo	15	6.3	Syllabus	115
1.9	Toetsing CE	15	6.4	Examinering SE	117
1.10	Toetsing SE	16		Referenties	120
1.11	Afstemming wiskunde	17	<b>Bijlage 1</b>	<b>Samenstelling Commissie Vernieuwing</b>	
1.12	De leraar maakt het verschil	18		Natuurkundeonderwijs havo/vwo	122
1.13	Uitvoerbaarheid	19	<b>Bijlage 2</b>	<b>Samenstelling projectgroep Nieuwe Natuurkunde</b>	123
1.14	Invoering en overgangsfase	20	<b>Bijlage 3</b>	<b>Pilotscholen en -docenten</b>	124
<b>2</b>	<b>Advies-examenprogramma's</b>	<b>22</b>	<b>Bijlage 4</b>	<b>Samenstelling klankbordgroep</b>	125
2.1	Examenprogramma natuurkunde havo	22	<b>Bijlage 5</b>	<b>Auteurs en medewerkers aan modules</b>	126
2.2	Examenprogramma natuurkunde vwo	28		Afkortingen	128
<b>3</b>	<b>Waarom een nieuw programma?</b>	<b>35</b>			
3.1	Positionering van het natuurkundeonderwijs	35			
3.2	Noodzaak tot vernieuwing	39			
3.3	Hoofdpijnen voor vernieuwing	45			
<b>4</b>	<b>Examenexperiment</b>	<b>53</b>			
4.1	Visiedocument en examenprogramma's	53			
4.2	Praktijktest in pilotscholen	55			
4.3	Interne evaluatie	59			
4.4	Externe evaluatie	63			
4.5	Conclusies uit de evaluaties	67			
4.6	Externe communicatie	73			

# 1 Samenvatting en aanbevelingen

*'Pictures of education, taken at different moments in history are incomparable. Each society at a given period got the education it wanted, it needed, it could afford, it deserved and it was able to provide. Innovation cannot effect any more than adapting education to a changing society, or at the best can try to anticipate on the change. This alone is difficult enough.'*

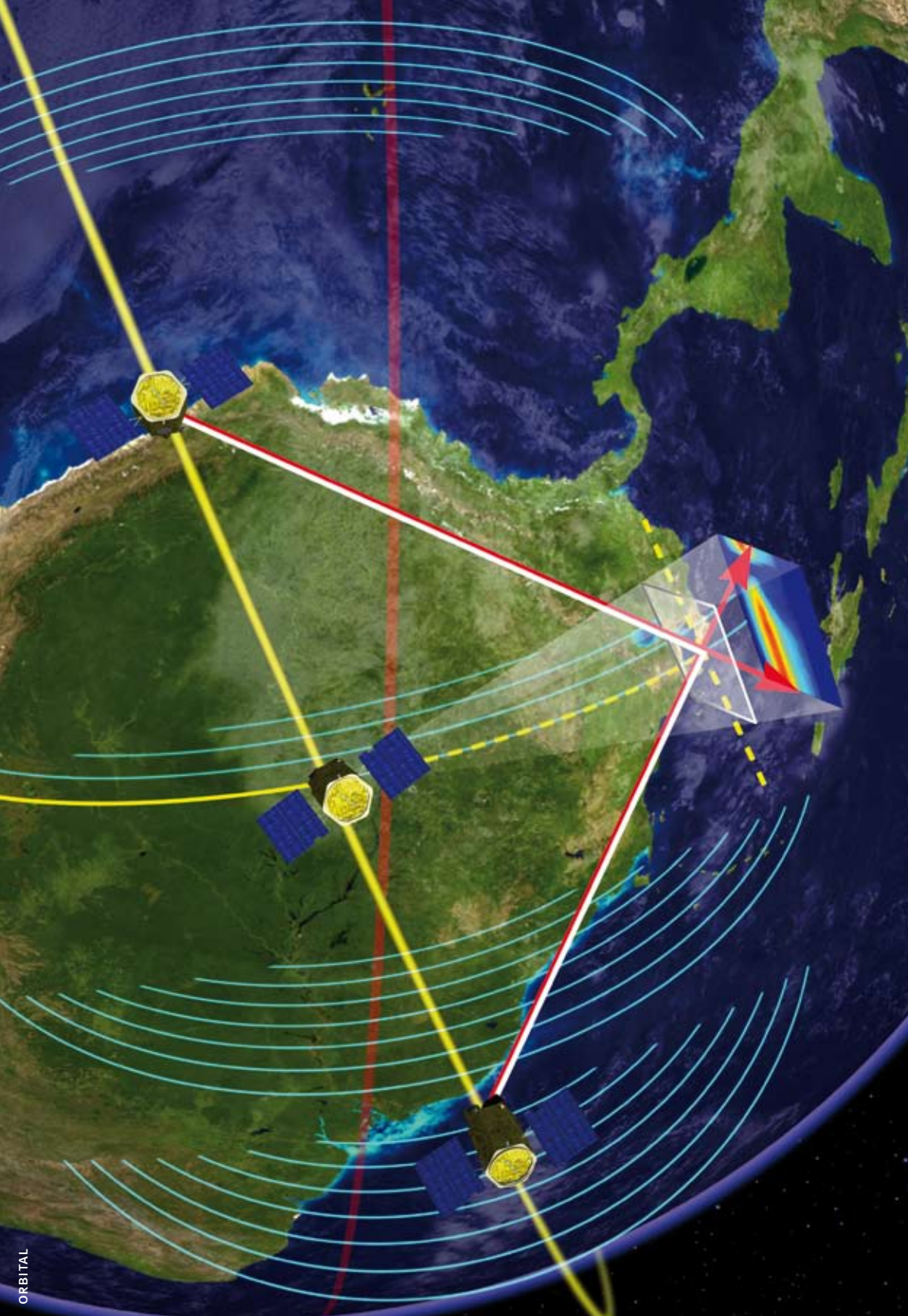
Hans Freudenthal

In deze rapportage worden de advies-examenprogramma's nieuwe natuurkunde aan de minister van OCW aangeboden en de overwegingen toegelicht. Dit eerste hoofdstuk is een samenvatting van de hoofdpunten. Tevens bevat dit hoofdstuk een reeks aanbevelingen die de uitkomst zijn van het experimenteertraject en de consultaties met het veld.

## 1.1 Nieuwe natuurkunde

Natuurkunde is al eeuwen een vak van baanbrekende ontdekkingen en actuele maatschappelijke toepassingen. In de 21<sup>e</sup> eeuw is de reikwijdte van de natuurkunde als wetenschappelijke en toegepaste discipline groter dan ooit. Deze loopt van fundamentele basistheorieën die ons wereldbeeld bepalen tot ondersteunende wetenschap die een bijdrage levert aan nieuwe inzichten en toepassingen in andere disciplines en technologie. Natuurkunde wordt gedragen door een internationale gemeenschap waarbinnen een grote mate van overeenstemming bestaat over de principes en leergebieden die de natuurkunde omvat, waaronder niet in de laatste plaats de astrofysica. Natuurkundigen dragen bij aan fundamentele kennis door wetenschappelijk onderzoek en ze vinden hun weg in tal van beroepen waarin ze bijdragen aan technische en maatschappelijke innovatie. Het karakter van de natuurkunde wordt eerst en vooral bepaald door wat natuurkundigen doen in wetenschap en maatschappij.

Natuurkunde is wat natuurkundigen doen; vanuit dit perspectief heeft de Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo, verder te noemen com-





missie Nieuwe Natuurkunde (NiNa) nieuwe examenprogramma's ontwikkeld voor het profielvak natuurkunde in de natuurprofielen van havo en vwo. Maatschappelijke ontwikkelingen sturen de vraag naar breed georiënteerd natuurkundeonderwijs. Ontwikkelingen in onderzoek en technologie, en innovaties van het natuurkundeonderwijs in andere landen laten zien dat er kansen liggen voor een dergelijke vernieuwing.

De commissie Nieuwe Natuurkunde is op 16 februari 2005 door de minister van OCW ingesteld vanuit de wens van de overheid en de beroepsverenigingen om meer leerlingen te interesseren voor de bètavakken, in het bijzonder de opleidingen in de (technische) natuur- en sterrenkunde. De opdracht van de commissie was:

1. advies uit te brengen over de kernconcepten en de kernvaardigheden natuurkunde die in de natuurprofielen havo en vwo onderwezen moeten gaan worden, zowel wat betreft de inhoud, de examens als de didactiek.
2. op basis van dit advies een examenprogramma en een implementatietraject te ontwerpen.

De vernieuwing moet erop gericht zijn het natuurkundeonderwijs voor leerlingen te profileren met het oog op vervolgonderwijs en beroepspraktijk. Het nieuwe onderwijs dient in samenhang ontwikkeld te worden met de in gang gezette

vernieuwing van de andere exacte vakken biologie, scheikunde, wiskunde en het nieuwe bètavak natuur, leven en technologie (NLT).

In de periode 2005-2010 heeft de commissie NiNa de uitgangspunten uitgewerkt in het visiedocument *Natuurkunde Leeft* [1] en concept-examenprogramma's ontwikkeld voor havo en vwo. Deze examenprogramma's zijn beproefd, geëvalueerd en bijgesteld op basis van de lespraktijk op veertien pilotscholen en de pilotexamens afgenomen in 2009 (havo) en 2010 (havo en vwo).

Het project Nieuwe Natuurkunde werd uitgevoerd op initiatief van het Nederlands Platform voor Natuurkunde, in opdracht van het Ministerie van OCW en met financiering door het Platform Bèta Techniek, de Nederlandse Natuurkundige Vereniging en de Stichting Physica.

### Aanbeveling 1:

- *De commissie Nieuwe Natuurkunde adviseert de minister van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap de advies-examenprogramma's voor de profielvakken natuurkunde havo en vwo die in dit eindverslag worden beschreven en toegelicht, vast te stellen.*
- *De commissie is voorstander van regelgeving die voorziet in een regelmatige bijstelling van de syllabus voor het centraal examen (CE) en adviseert het College voor Examens (CvE) de syllabus te actualiseren als ontwikkelingen in de natuurkunde en/of het onderwijs daar aanleiding toe geven.*
- *Ten aanzien van de invoering heeft het nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling (SLO) de regierol. De commissie beveelt aan om scholen en docenten snel duidelijkheid te verschaffen over het tijdstip van invoering. In het invoeringsplan moeten de gewenste inzet en verantwoordelijkheden van de actoren aangegeven worden. In dit invoeringsplan moet ook de ondersteuning van de scholen en docenten die doorgaan met het NiNa-examenexperiment vastgelegd zijn.*

## 1.2 Attitude en studiekeuze

Het huidige natuurkundeonderwijs op havo en vwo is van goed niveau. Dit wordt bevestigd door internationaal vergelijkend onderzoek PISA en TIMSS. Nederlandse leerlingen scoren qua kennis en vaardigheden in de natuurwetenschappen ruim boven het gemiddelde van de OESO-landen, maar er lijkt een dalende

trend te zijn. Qua interesse in natuurwetenschappen scoren ze echter ver onder het OESO-gemiddelde, ook in vergelijking met de ons omringende landen.

Het aantal leerlingen dat een N-profiel kiest is sinds 2003 spectaculair gestegen. Op het vwo is het leerlingenaantal in het NT-profiel verdubbeld en het NG-profiel is het grootste profiel geworden op het vwo. Dit is voornamelijk het gevolg van het veranderde keuzegedrag van meisjes. Hoewel havo-leerlingen vaker kiezen voor een maatschappijprofiel is er een soortgelijke ontwikkeling te zien als op het vwo. Ook het aandeel havo-leerlingen dat een natuurprofiel volgt neemt toe en ook hier doet zich een grotere stijging voor onder meisjes dan onder jongens. Niettemin blijft de toename van het aantal leerlingen op het *advanced*-niveau, namelijk diegenen die naast de profielvakken de bètakeuzevakken volgen, vooralsnog beperkt, evenals de toename van de instroom in de opleidingen (technische) natuurkunde en sterrenkunde.

#### Aanbeveling 2:

- *Om een positieve attitude en studiekeuze voor bètatechniek te bevorderen is meer aandacht voor beroepen en nut van toepassingen van de natuurwetenschappen in het voortgezet onderwijs gewenst. Daarnaast dient samenhang tussen bètavakken bevorderd te worden, zodat leerlingen bij andere vakken verworven competenties bij natuurkundige vraagstukken kunnen inzetten en visa versa.*

### 1.3 Scientific literacy als kernpunt

Het is de opdracht voor het vak natuurkunde, samen met de andere natuurwetenschappelijke vakken en wiskunde, leerlingen inzicht te geven in de fysieke werkelijkheid om hen heen en de daarvoor noodzakelijke sleutelinzichten en -vaardigheden tot ontwikkeling te brengen. In Angelsaksische landen heet dit *scientific literacy*. Bij natuurwetenschappelijke geletterdheid gaat het niet alleen om kennis en toepassing van die kennis, maar ook om inzicht in de manier waarop natuurwetenschappelijke kennis tot stand komt in onderzoek en hoe de betrouwbaarheid van deze kennis beoordeeld kan worden.

De uitkomst van het onderwijsproces zou moeten zijn dat leerlingen kennis verwerven over de begrippen en principes die gebruikt worden in de vakdiscipline (*learning science*), over de methoden die gebruikt worden bij het uitvoeren van wetenschappelijk onderzoek (*doing science*), en inzicht hebben verworven in vragen die te maken hebben met de aard en betekenis van wetenschap (*learning about science*). *Scientific literacy* betekent ook dat er verbinding wordt gelegd

met de toepassing van natuurwetenschappelijke kennis in contexten die duidelijk maken waar natuurwetenschap toe dient en wat de maatschappelijke opbrengst is.

#### Aanbeveling 3:

- *Naast het verwerven en toepassen van vakkennis moet in de uitwerking van lesmateriaal voor onder- en bovenbouw aandacht zijn voor kennis over natuurwetenschappen en de methoden van de wetenschap, in contexten die duidelijk maken waar natuurwetenschap over gaat, toe dient en wat de maatschappelijke opbrengst is.*

### 1.4 Concept-context

Om de beschreven doelstellingen te kunnen realiseren hebben de vernieuwingscommissies voor de profielvakken biologie, natuurkunde, scheikunde, en het nieuwe bètavak natuur, leven en technologie (NLT), de concept-contextbenadering als uitgangspunt voor de vernieuwing genomen bij het opstellen van de examenprogramma's voor havo en vwo en de opzet van de pilots. In de uitwerking van deze uitgangspunten in de advies-examenprogramma's natuurkunde zijn een aantal contextgebieden opgenomen die de snelle ontwikkeling van kennis in de kennissamenleving weerspiegelen en laten zien wat de maatschappelijke betekenis is van het vak natuurkunde. Dit maakt het mogelijk het natuurkundeonderwijs voor leerlingen te profileren met het oog op vervolgonderwijs en beroepspraktijk.

Binnen een aantal contextgebieden kan de samenhang in en tussen de natuurwetenschappelijke vakken worden versterkt. De voorgeschreven contextgebieden zijn in de advies-examenprogramma's natuurkunde niet nader gespecificeerd. Wel hebben de gezamenlijke vernieuwingscommissies een aantal uitgangspunten voor samenhangend natuurwetenschappelijk bètaonderwijs in een notitie uitgewerkt en een aantal vakoverstijgende thema's benoemd. Het doel van deze notitie is een basis te bieden voor verdergaande ontwikkeling van samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken in syllabi, handreikingen, en in lesmaterialen en schoolpraktijk, om zo samenhangend onderwijs voor meer docenten mogelijk te maken.

In het NiNa-examenexperiment is de concept-contextbenadering ook uitgewerkt in het voorbeeldlesmateriaal. NiNa streeft naar een curriculum dat meer stuurt op het verwerven van conceptueel inzicht dan op vaardigheid in procedures (sommen). De commissie NiNa is daarom voorstander van een concept-

context-aanpak die erop neerkomt dat concepten betekenis krijgen voor leerlingen in verschillende contexten. Internationaal sluit deze concept-contextbenadering aan bij een brede opvatting van *context-based science education*.

Een ruime meerderheid van de docenten betrokken bij de NiNa-pilot is het erover eens dat de concept-context-aanpak zoals uitgewerkt in de voorbeeldmodules, zowel persoonlijk, maatschappelijk als wetenschappelijk relevant is voor hun leerlingen. Gedurende de pilot vonden steeds meer docenten dat het behandelen van concepten in contexten de aantrekkelijkheid van natuurkunde voor leerlingen bevordert. Alle docenten in de NiNa-pilot onderschrijven de stelling dat het gebruik van contexten in de voorbeeldmodules het mogelijk maakt om aandacht te besteden aan huidige ontwikkelingen in samenleving, beroep en wetenschap.

#### Aanbeveling 4:

- *De commissie adviseert de samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken te versterken door binnen interdisciplinaire contextgebieden lesmateriaal te ontwikkelen volgens het kader dat daarvoor door de vernieuwingscommissies is uitgewerkt.*
- *Op grond van de ervaringen van de docenten in de NiNa-pilot adviseert de commissie de methodeschrijvers contexten uit te werken zowel vanuit het oogpunt van een motiverend en gevarieerd aanbod als om een beeld te geven van de praktijk van de natuurkunde in onderzoek, beroep en maatschappij. Er is echter geen sprake van een voorgeschreven didactiek. Lesmethodes en didactiek zijn in Nederland de vrije keuze van de school en de docenten.*

### 1.5 Onderzoek en ontwerp

‘Leren door doen’ heeft in de natuurkunde een duidelijke betekenis. De commissie pleit ervoor om in het onderwijsprogramma naast aandacht voor kennis van leerlingen ook ruim aandacht te geven aan de ontwikkeling van wetenschappelijke en technische vaardigheden. In het kader van natuurwetenschappelijke geletterdheid is het doel dat leerlingen, binnen de grenzen die een schoolcurriculum daaraan stelt, inzicht krijgen in de manier hoe wetenschap werkt en hoe wetenschappelijke verklaringen tot stand komen.

Uit de evaluaties tijdens het NiNa-experiment blijkt dat bij het eerste cohort de meeste docenten door overladenheid van het programma aan praktisch werk te

weinig zijn toegekomen. De tegenvallende inzet van practica werd ook veroorzaakt door een beperkte uitwerking van practica in het voorbeeldmateriaal en het feit dat praktisch werk wel als vaardigheid was benoemd in de werkversie van de syllabus maar niet in relatie tot specifieke kennisdomeinen. In de advies-examenprogramma’s nieuwe natuurkunde is daarom een apart kennisdomein Onderzoek en ontwerp opgenomen dat betrekking heeft op aspecten van experimenteel en observationeel onderzoek, modelvorming en modelleren, en ontwerpen.

#### Aanbeveling 5:

- *De commissie adviseert dat in de syllabus bij de examenprogramma’s natuurkunde specificaties worden opgenomen die refereren aan de vaardigheden die in het domein Onderzoek en ontwerp in de advies-examenprogramma’s worden benoemd.*
- *De commissie adviseert de makers van leermiddelen kennis te nemen van de referenties in de syllabus naar de vaardigheden in het kennisdomein Onderzoek en ontwerp.*

### 1.6 Meisjes

Uit de internationale PISA- en TIMSS- onderzoeken blijkt dat in het Nederlandse onderwijs meisjes het vak natuurkunde relatief laag waarderen. Dit gegeven is voor de commissie Nieuwe Natuurkunde een belangrijk aandachtspunt geweest. Hierbij is ook Nederlands onderzoek betrokken waarin wordt geconstateerd dat het vak natuurkunde moeilijk wordt gevonden, met name door de meisjes in het profiel NG die natuurkunde hebben gekozen. Maar ook de meisjes in het NT-profiel vinden natuurkunde moeilijker dan biologie en scheikunde. Natuurkundedocenten bevestigen het beeld dat meisjes hun vak moeilijker vinden dan jongens.

In het NiNa-experiment is expliciet aandacht gegeven aan de waardering van meisjes voor het nieuwe examenprogramma. Hoewel elementen van het examenprogramma voor meisjes aantrekkelijk zijn, moet alles bij elkaar geconstateerd worden dat er te weinig aanwijzingen zijn om te oordelen of de NiNa-programma’s geslaagd zijn in hun doelstelling de meisjes enthousiaster te krijgen dan de reguliere programma’s. Hieraan werd deels ook bijgedragen door de onzekerheid die een nieuw examenprogramma met zich meebrengt. Uit de evaluatie blijkt dat het te optimistisch is van een examenprogramma alleen te verwachten dat daarin de oplossing ligt van een hardnekkig cultureel probleem.



Het examenprogramma kan slechts condities bieden die bevorderend kunnen werken voor de oplossing van dit probleem. De sleutel moet toch vooral gezocht worden in het ouderlijk milieu en de leeromgeving.

#### Aanbeveling 6:

- *Onderzoeksgegevens laten zien dat docenten het keuzegedrag van meisjes voor bèta positief kunnen beïnvloeden. De commissie NiNa adviseert om parallel aan het invoeringstraject hieraan aandacht te geven in het Bèta Excellent-programma van het Platform Bèta Techniek.*

### 1.7 Aansluiting op de onderbouw

De derde klas is cruciaal om bij leerlingen interesse te wekken voor een keuze voor de N-profielen. De ingeschatte moeilijkheid van natuurkunde toont de grootste samenhang met de profielkeuze, gevolgd door scheikunde en daarna door wiskunde. Hier ligt een uitdaging voor de onderwijsvernieuwing van de bètavakken met het oogmerk een goede profielkeuze van de leerlingen mogelijk te maken. Het huidige breukvlak kan vermeden worden door de vakinhoud van de vier exacte vakken beter te verdelen over de leerjaren van havo en vwo. De nieuwe profielvakken kunnen door goed gedefinieerde inhoudelijke beginter-

men in de syllabus richting geven aan het onderwijs in de onderbouw. Dit biedt kansen voor vernieuwing van het programma vanuit de onderbouw en voor betere afstemming op de specifieke mogelijkheden van havo- en vwo-leerlingen.

#### Aanbeveling 7:

- *De commissie adviseert in de syllabus van de nieuwe profielvakken goed gedefinieerde inhoudelijke begintermen op te nemen om daarmee richting te geven aan het onderwijs in de onderbouw.*

### 1.8 Onderscheid tussen havo en vwo

Op het niveau van doelstellingen zijn de natuurkundeprogramma's voor havo en vwo gebaseerd op dezelfde uitgangspunten. Het verschil tussen havo- en vwo-onderwijs komt tot uitdrukking in de diepgang van de stof en de mate van uitdaging die deze de leerlingen naar verwachting biedt. In de keuze van domeinen is dit verschil tot uitdrukking gebracht in de aard van de gekozen contextgebieden. De contextgebieden voor havo hebben een meer maatschappelijke en toepassingsgerichte nadruk, die voor vwo zijn over het algemeen meer theoretisch en onderzoeksgericht. Uit de evaluatie blijkt dat het havo-examenprogramma zich duidelijk onderscheidt van het examenprogramma vwo. De ontwikkelde voorbeeldmodules zijn echter nog niet voldoende op havoleerlingen toegesneden.

#### Aanbeveling 8:

- *De commissie beveelt aan dat methodeschrijvers en docenten lesmateriaal ontwikkelen met een op havo toegesneden didactiek.*

### 1.9 Toetsing CE

Het centraal eindexamen heeft een belangrijke sturende rol in het onderwijs omdat dit examen de facto in hoge mate bepaalt wat er in de klas gebeurt. Het herontwerp van de inhoud van de schoolvakken is dan ook onlosmakelijk verbonden met een bezinning op de rol van het centraal examen (CE) en het schoolexamen (SE). Dit is van extra belang nu het SE een groter gewicht krijgt in het natuurkunde-eindexamen. Voor het NiNa-experiment is door het ministerie van OCW een verhouding vastgelegd van 60 % van de stof die in het CE wordt getoetst en 40 % van de stof die alleen in het SE getoetst wordt, net zoals voor biologie en scheikunde. In het huidige examenprogramma natuurkunde is deze verhouding 75 % CE versus 25 % SE. Door het aandeel van het SE te vergro-

ten wil de overheid docenten meer ruimte geven om hun eigen onderwijs in te richten en differentiatie naar interesses en capaciteiten van leerlingen mogelijk te maken.

Het CE moet gevarieerd en betrouwbaar blijven, ook nu de examenmakers minder concepten ter beschikking hebben in de syllabus. In het CE moeten de verschillende kennisaspecten (kennis, inzicht, redeneren, combineren, schatten, berekenen, toepassen in contexten) getoetst worden door een variëteit van vraagformuleringen. De criteria hiervoor zijn door de commissie Nieuwe Natuurkunde uitgewerkt in samenwerking met de syllabuscommissie, de vakcommissies van het College voor Examens (CvE) en het Cito.

#### Aanbeveling 9:

- *De evolutie van het CE, ingezet tijdens het NiNa-experiment, zou verder moeten worden doorgezet onder aansturing van het College voor Examens (CvE). De ontwikkeling van nieuwe toetsvormen zou sterk bevorderd worden door een ontwikkelproject, uit te voeren door het Cito in samenwerking met de vakcommissie natuurkunde van het CvE. Daarmee kan het CE een belangrijke impuls geven aan de vernieuwing van het natuurkundeonderwijs.*

### 1.10 Toetsing SE

In het NiNa-experiment is ervaring opgedaan met een verhouding van 60 % van de stof die in het CE wordt getoetst en 40 % van de stof die alleen in het SE getoetst wordt. Schoolexamens bieden mogelijkheden voor toetsvormen die zich niet voor het CE lenen, maar wel belangrijk zijn omdat zij vaardigheden toetsen die in het examenprogramma zijn opgenomen, zoals die op het gebied van onderzoeken, ontwerpen en modelleren. In het NiNa-programma onderscheidt het SE zich ook omdat het gaat over leerstof die een contextgebonden, dan wel verdiepend karakter heeft.

De docenten in de NiNa-pilot zijn op verschillende manieren bevraagd over hun ervaringen met het schoolexamen binnen het NiNa-programma. Net als docenten die het reguliere examenprogramma uitvoeren zijn zij van mening dat de inhoud, diepgang en moeilijkheidsgraad van het SE erg kunnen afhangen van andere factoren dan het examenprogramma. Docenten pleiten voor een beter toezicht op het niveau van het SE die de evenwaardigheid van CE en SE waarborgt. Bij gebrek aan tegenwicht zal het onderwijs voornamelijk gestuurd worden door de vereisten van het CE, tegen de bedoelingen van het SE in. De commissie constateert dat een tegenwicht noodzakelijk is om de verhouding

van 60/40 in de lespraktijk te realiseren en tevens de kwaliteit van het onderwijs in de natuurkunde volgens objectieve normen voldoende te borgen (zie hoofdstuk 6).

#### Aanbeveling 10:

- *Tijdens het invoeringstraject van de nieuwe examenprogramma's zou een begin moeten worden gemaakt met de invoering van een systeem van kwaliteitsborging van het SE. De commissie is van mening dat het CvE de initiator zou moeten zijn voor een landelijke vorm van kwaliteitsborging. SLO en Cito kunnen daarbij een belangrijke ondersteunende rol vervullen. Concrete suggesties voor uitwerking zijn opgenomen in hoofdstuk 6 van dit advies.*

### 1.11 Afstemming wiskunde

In de beoefening van de natuurkunde speelt de wiskunde een essentiële rol. Wiskundige basisvaardigheden zijn nodig als het gaat om het analyseren en presenteren van gegevens, het modelleren van verschijnselen en het berekenen van constructies. Veel natuurkundige redeneringen berusten op wiskundige inzichten. Het gaat dan om inzicht in de betekenis van de vorm van een grafiek, van omzetten van kwalitatieve verbanden in kwantitatieve wiskundige vergelijkingen, en het vermogen om modellen te ontwikkelen die een verklaring kunnen geven voor fysische verschijnselen.

De wiskundige aard van de natuurkunde is voor leerlingen vaak problematisch. Een betere afstemming tussen de examenprogramma's wiskunde en natuurkunde kan hieraan een positieve bijdrage leveren. Om tot afstemming te komen tussen de nieuwe examenprogramma's natuurkunde en wiskunde is in 2006 de werkgroep Afstemming wiskunde-natuurkunde ingesteld op initiatief van de vernieuwingscommissies wiskunde cTWO en NiNa. De werkgroep heeft voor een zestal thema's de afstemmingsproblematiek concreet gemaakt. Om aan de verdere ontwikkeling richting te geven, heeft de werkgroep een aantal algemene aanbevelingen geformuleerd die de commissie Nieuwe Natuurkunde overneemt. De vernieuwingscommissie wiskunde cTWO zal in samenspraak met natuurkundegremia verder richting geven aan de uitvoering en implementatie.

#### Aanbeveling 11:

- *De syllabi voor wiskunde en natuurkunde moeten op elkaar worden afgestemd en samenhang moet worden aangebracht. Met het oog op de gewenste en noodzakelijke afstemming adviseert de commissie het*



*College voor Examens (CvE) om wiskunde te betrekken bij de uitwerking van de syllabi voor natuurkunde en omgekeerd natuurkunde bij de syllabi voor wiskunde. Daarbij zou een adviesgroep ingesteld door de Nederlandse Vereniging van Wiskundeleraren (NVvW) en de Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen (NVON) ondersteuning kunnen geven, in samenspraak met de vernieuwingscommissie wiskunde cTWO.*

- *Tijdens het invoeringstraject moet SLO stimuleren dat docentenprogramma's ontwikkeld worden waarmee natuurkunde- en wiskunde-docenten enige deskundigheid gaan verwerven in het andere vak. In die programma's moet de nadruk liggen op de afstemming en samenhang tussen de vakken natuur- en wiskunde.*

## 1.12 De leraar maakt het verschil

Het NiNa-project wordt gedragen door ruim dertig leraren die op veertien scholen (havo en vwo) gedurende drie jaar het NiNa-programma hebben uitgevoerd en getest in de lespraktijk. In het verleden zijn examenprogramma's veelal vastgesteld zonder voorafgaande experimenten; het is een goede zaak dat

het Platform Bèta Techniek dat nu wel mogelijk heeft gemaakt. De vaststelling uit de evaluatie is dat het NiNa-examenprogramma een nieuw elan bij deze docenten teweeg heeft gebracht. Het experiment heeft ook eens te meer duidelijk gemaakt dat een examenprogramma slechts voorwaarden schept; voor het vak zoals het de leerlingen bereikt is het de leraar die het verschil maakt. Goed geschoolde en enthousiaste bètadocenten op de middelbare school zijn onmisbaar voor een innovatieve technologische samenleving. De kwaliteit van het natuurkundeonderwijs staat of valt met voldoende leraren van het vereiste niveau; een examenprogramma is machteloos bij een kwalitatief lerarentekort.

### Aanbeveling 12:

- *De commissie adviseert de lerarenopleidingen (zowel eerste- als tweedegraads) om in de opleidingen uit te gaan van de nieuwe examenprogramma's en daarvoor de kennisbasis aan te passen aan de nieuwe domeinen van de examenprogramma's nieuwe natuurkunde voor havo en vwo. De commissie adviseert daarbij gebruik te maken van de ervaring van de docenten betrokken bij het NiNa-experiment.*
- *De commissie bepleit dat de wetenschappelijke en technologische gemeenschap, in het bijzonder de universiteiten en hogescholen, het op zich neemt de relatie tussen de leraren in de bètavakken en de disciplines te versterken.*

## 1.13 Uitvoerbaarheid

De reductie van de omvang van het CE met 20 % in het NiNa-examenprogramma is een grote verandering ten opzichte van het huidige examenprogramma. De combinatie van de reductie van uren voor het CE met een vernieuwing van de inhoud van het examenprogramma impliceert voor docenten een ingrijpende verandering van de lespraktijk. Tijdens het NiNa-experiment is zeer veel aandacht gegeven aan de planning van de lessen om tot een uitvoerbaar curriculum te komen. Het blijkt dat dit een langdurig proces van aanpassing vergt. De constatering is dat zich gedurende de pilot nog geen gevestigde praktijk kon ontwikkelen om deze veranderingen uit te lijnen tussen docenten, de opstellers van de syllabus, de moduleauteurs en de examenmakers.

In het laatste jaar van het NiNa-experiment zijn door de docenten op basis van de ervaring in de pilot voor ieder domein lestabellen opgesteld die het mogelijk maken het lesprogramma in de beschikbare tijd uit te voeren. Het is echter onjuist te veronderstellen dat met deze ervaring bij invoering geen problemen

kunnen optreden. Invoering is een complex innovatieproces dat niet vanuit één centraal orgaan aangestuurd kan worden. Knelpunten zijn onvermijdelijk bij een drastische systeemverandering en daarmee moet rekening gehouden worden bij de invoering. Tegelijk bieden de uitkomsten van het NiNa-experiment houvast om de invoering *evidence-informed* te laten plaatsvinden, mits deze kennis ruim gedeeld wordt met scholen en docenten die nog de gehele innovatiecyclus moeten gaan doorlopen.

### Aanbeveling 13:

- *De reductie van de omvang van het CE is een ingrijpende zaak voor de lespraktijk van het profielvak natuurkunde. De commissie adviseert dat het CvE en SLO dit probleem gezamenlijk adresseren en het een belangrijk aandachtspunt laten zijn bij de invoering van de nieuwe examenprogramma's natuurkunde.*
- *Docenten, examenmakers, en auteurs van lesmateriaal dienen tijdig geïnformeerd te worden over de consequenties van de beperking van het CE om overladenheid te voorkomen. Met name dient benoemd te worden welke onderwerpen uit het huidige programma niet meer centraal geëxamineerd worden.*
- *De gedetailleerde invulling van de CE-onderdelen van het definitieve examenprogramma is de verantwoordelijkheid van de syllabuscommissie ingesteld door het CvE. De commissie adviseert aan de syllabuscommissie om bij het opstellen van de syllabus mede de lestabellen te betrekken die een uitkomst zijn van het NiNa-experiment.*

## 1.14 Invoering en overgangsfase

De vernieuwing van het bètaonderwijs is een veelomvattend innovatieproces dat staat of valt met actieve betrokkenheid van de docenten. Naar de mening van de vernieuwingscommissies zal daarom de invoeringsstrategie minstens zo'n groot effect hebben op het bètaonderwijs als de feitelijke inhoud van het examenprogramma. Het examenprogramma schept slechts voorwaarden voor goed natuurkundeonderwijs; de leraar en de manier waarop die wordt ondersteund maken het verschil.

In de consultaties van het veld over het examenprogramma is de invoeringsstrategie een centraal onderwerp van de discussie geweest en een voorwaarde voor draagvlak. Vanuit dat perspectief is door SLO in nauwe samenwerking met de

gezamenlijke vernieuwingscommissies een invoeringsplan opgesteld. Kern van het plan is om op basis van de ervaringen van de docenten op de pilotscholen optimale condities te creëren voor invoering. De lokale netwerken tussen scholen, HO-instellingen en bedrijven die in diverse regio's actief zijn kunnen daarbij een belangrijke rol spelen. Dit geldt zowel voor de inhoudelijke kennisontwikkeling als de ontwikkeling van didactiek en lesmateriaal. De bètavakverenigingen die het initiatief hebben genomen tot oprichting van de Stichting Innovatie Onderwijs in Bètawetenschappen en Technologie (IOBT) hebben zich gecommitteerd daaraan een bijdrage te leveren.<sup>1</sup>

### Aanbeveling 14:

- *De commissie onderschrijft de condities voor invoering zoals beschreven in het invoeringsplan dat is opgesteld door het nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling SLO in overleg met de vernieuwingscommissies biologie, natuurkunde, scheikunde en de stuurgroep voor het vak natuur leven en technologie (NLT). Zij adviseert SLO de ervaringen van de pilots daarin maximaal mee te nemen.*
- *De invoering van de vernieuwing vraagt om een professionele voorbereiding van docenten, die hiervoor vanuit de scholen en de overheid ruim de gelegenheid moeten krijgen. De commissie doet de aanbeveling de docenten te ondersteunen vanuit regionale steunpunten die moeten voldoen aan daarvoor op te stellen vakinhoudelijke, didactische en organisatorische voorwaarden. De commissie adviseert daarbij de expertise van de vak- en beroepsverenigingen die zich aan de vernieuwingsprojecten gecommitteerd hebben structureel te betrekken.*

<sup>1</sup> De stichting IOBT is opgericht namens de beroepsverenigingen KNCV (Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging), NIBI (Nederlands Instituut voor Biologie), NNV (Nederlandse Natuurkundige Vereniging) en NVON (Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen).

## 2 Advies- examenprogramma's

### 2.1 Examenprogramma natuurkunde havo

#### Het eindexamen

Het eindexamen bestaat uit het centraal examen en het schoolexamen.

Het examenprogramma bestaat uit de volgende domeinen:

- Domein A Vaardigheden
- Domein B Beeld- en geluidstechniek
- Domein C Beweging en energie
- Domein D Materialen
- Domein E Aarde en heelal
- Domein F Menselijk lichaam
- Domein G Meten en regelen
- Domein H Natuurkunde en technologie
- Domein I Onderzoek en ontwerp.

#### Het centraal examen

Het centraal examen heeft betrekking op de subdomeinen B1, B2, C1, C2, D1, E1, G1 en H in combinatie met de vaardigheden uit domein A.

Het CvE kan bepalen, dat het centraal examen ten dele betrekking heeft op andere subdomeinen, mits de subdomeinen van het centraal examen tezamen dezelfde studielast hebben als de in de vorige zin genoemde.

Het CvE stelt het aantal en de tijdsduur van de zittingen van het centraal examen vast.

Het CvE maakt indien nodig een specificatie bekend van de examenstof van het centraal examen.

#### Het schoolexamen

Het schoolexamen heeft betrekking op domein A en:

- de domeinen en subdomeinen waarop het centraal examen geen betrekking heeft; daarbij kan het bevoegd gezag uit de subdomeinen B3, E2, F

en G2 twee subdomeinen kiezen, dan wel deze keuze aan de kandidaat laten;

- indien het bevoegd gezag daarvoor kiest: een of meer domeinen of subdomeinen waarop het centraal examen betrekking heeft;
- indien het bevoegd gezag daarvoor kiest: andere vakonderdelen, die per kandidaat kunnen verschillen.

#### De examenstof

#### Domein A: Vaardigheden

#### Algemene vaardigheden — profieloverstijgend niveau

##### Subdomein A1: Informatievaardigheden gebruiken

1. De kandidaat kan doelgericht informatie zoeken, beoordelen, selecteren en verwerken.

##### Subdomein A2: Communiceren

2. De kandidaat kan adequaat schriftelijk, mondeling en digitaal in het publieke domein communiceren over onderwerpen uit het desbetreffende vakgebied.

##### Subdomein A3: Reflecteren op leren

3. De kandidaat kan bij het verwerven van vakkennis en vakvaardigheden reflecteren op eigen belangstelling, motivatie en leerproces.

##### Subdomein A4: Studie en beroep

4. De kandidaat kan aangeven op welke wijze natuurwetenschappelijke kennis in studie en beroep wordt gebruikt en kan mede op basis daarvan zijn belangstelling voor studies en beroepen onder woorden brengen.

#### Natuurwetenschappelijke, wiskundige en technische vaardigheden — bètaprofielniveau

##### Subdomein A5: Onderzoeken

5. De kandidaat kan in contexten instructies voor onderzoek op basis van vraagstellingen uitvoeren en conclusies trekken uit de onderzoeksresultaten. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.

**Subdomein A6: Ontwerpen**

6. De kandidaat kan in contexten op basis van een gesteld probleem een technisch ontwerp voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren en daarbij relevante begrippen, theorie en vaardigheden en valide en consistente redeneringen hanteren.

**Subdomein A7: Modelvorming**

7. De kandidaat kan in contexten een probleem analyseren, een adequaat model selecteren, en modeluitkomsten genereren en interpreteren. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.

**Subdomein A8: Natuurwetenschappelijk instrumentarium**

8. De kandidaat kan in contexten een voor de natuurwetenschappen relevant instrumentarium hanteren, waar nodig met aandacht voor risico's en veiligheid; daarbij gaat het om instrumenten voor dataverzameling en -bewerking, vaktaal, vakconventies, symbolen, formuletaal en rekenkundige bewerkingen.

**Subdomein A9: Waarderen en oordelen**

9. De kandidaat kan in contexten een beargumenteerd oordeel geven over een situatie in de natuur of een technische toepassing, en daarin onderscheid maken tussen wetenschappelijke argumenten, normatieve maatschappelijke overwegingen en persoonlijke opvattingen.

**Natuurkundige vakvaardigheden****Subdomein A10: Kennisontwikkeling en -toepassing**

10. De kandidaat kan in contexten analyseren op welke wijze natuurkundige en technologische kennis wordt ontwikkeld en toegepast.

**Subdomein A11: Technisch-instrumentele vaardigheden**

11. De kandidaat kan op een verantwoorde wijze omgaan met voor de natuurkunde relevante materialen, instrumenten, apparaten en ICT-toepassingen.

**Subdomein A12: Rekenkundige en wiskundige vaardigheden**

12. De kandidaat kan een aantal voor de natuurkunde relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden correct en geroutineerd toepassen bij voor de natuurkunde specifieke probleemsituaties.

**Subdomein A13: Vaktaal**

13. De kandidaat kan de specifieke vaktaal en vakterminologie interpreteren en produceren, waaronder formuletaal, conventies en notaties.

**Subdomein A14: Vakspecifiek gebruik van de computer**

14. De kandidaat kan de computer gebruiken bij modelleren en visualiseren van verschijnselen en processen, en voor het verwerken van gegevens.

**Subdomein A15: Kwantificeren en interpreteren**

15. De kandidaat kan fysische grootheden kwantificeren en mathematische uitdrukkingen in verband brengen met relaties tussen fysische begrippen.

**Domein B: Beeld- en geluidstechniek****Subdomein B1: Informatieoverdracht**

16. De kandidaat kan in contexten eigenschappen van trillingen en golven gebruiken bij het analyseren en verklaren van informatieoverdracht.

**Subdomein B2: Medische beeldvorming**

17. De kandidaat kan in de context van medische beeldvorming fysische principes en technieken beschrijven, analyseren en hun diagnostische functie voor de gezondheid toelichten, en kan eigenschappen van ioniserende straling en de effecten op mens en milieu beschrijven.

**Subdomein B3: Optica\***

18. De kandidaat kan aan de hand van toepassingen van geometrische optica en golfoptica eigenschappen van licht beschrijven en analyseren.

**Domein C: Beweging en energie****Subdomein C1: Kracht en beweging**

19. De kandidaat kan in contexten de relatie tussen kracht en bewegingsveranderingen analyseren en verklaren met behulp van de wetten van Newton.

**Subdomein C2: Beweging en energie**

20. De kandidaat kan in contexten de begrippen energiebehoud, rendement, arbeid en warmte gebruiken om energieomzettingen te beschrijven en te analyseren.

## Domein D: Materialen

### Subdomein D1: Eigenschappen van stoffen en materialen

21. De kandidaat kan in contexten fysische eigenschappen van stoffen en materialen beschrijven en verklaren met behulp van atomaire en moleculaire modellen.

### Subdomein D2: Functionele materialen

22. De kandidaat kan in de context van de ontwikkeling van functionele materialen fysische begrippen gebruiken en de mogelijke toepassingen van deze materialen toelichten en verklaren.

## Domein E: Aarde en heelal

### Subdomein E1: Zonnestelsel en heelal

23. De kandidaat kan het ontstaan en de ontwikkeling van structuren in het heelal beschrijven en bewegingen in het zonnestelsel analyseren en verklaren.

### Subdomein E2: Aarde en klimaat\*

24. De kandidaat kan in de context van geofysische systemen fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.

## Domein F: Menselijk lichaam\*

25. De kandidaat kan in de context van het menselijk lichaam fysische processen beschrijven, analyseren en verklaren en hun functie voor gezondheid en veiligheid toelichten.

## Domein G: Meten en regelen

### Subdomein G1: Gebruik van elektriciteit

26. De kandidaat kan aan de hand van fysische begrippen opwekking, transport en toepassingen van elektriciteit beschrijven en analyseren.

### Subdomein G2: Technische automatisering\*

27. De kandidaat kan meet-, stuur- en regelsystemen construeren en de functie en werking van de componenten beschrijven.

## Domein H: Natuurkunde en technologie

28. De kandidaat kan in voorbeelden van technologische ontwikkeling die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen natuurkundige principes en wetmatigheden herkennen, benoemen en toepassen.

## Domein I: Onderzoek en ontwerp

### Subdomein I1: Experiment

29. De kandidaat kan in contexten die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen onderzoek doen door middel van experimenten en de resultaten analyseren en interpreteren.

### Subdomein I2: Modelstudie

30. De kandidaat kan in contexten die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen onderzoek doen door middel van modelstudies en de modeluitkomsten analyseren en interpreteren.

### Subdomein I3: Ontwerp

31. De kandidaat kan in contexten die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen op basis van een gesteld probleem een ontwerp voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren.

\* uit deze vier (sub)domeinen worden er twee gekozen

## 2.2 Examenprogramma natuurkunde vwo

### Het eindexamen

Het eindexamen bestaat uit het centraal examen en het schoolexamen.

Het examenprogramma bestaat uit de volgende domeinen:

Domein A Vaardigheden

Domein B Golven

Domein C Beweging en wisselwerking

Domein D Lading en veld

Domein E Straling en materie

Domein F Quantumwereld en relativiteit

Domein G Leven en aarde

Domein H Natuurwetten en modellen

Domein I Onderzoek en ontwerp.

### Het centraal examen

Het centraal examen heeft betrekking op de subdomeinen B1, B2, C1, C2, C3, D1, D2, E2, F1 en H in combinatie met de vaardigheden uit domein A.

Het CvE kan bepalen, dat het centraal examen ten dele betrekking heeft op andere subdomeinen, mits de subdomeinen van het centraal examen tezamen dezelfde studielast hebben als de in de vorige zin genoemde.

Het CvE stelt het aantal en de tijdsduur van de zittingen van het centraal examen vast.

Het CvE maakt indien nodig een specificatie bekend van de examenstof van het centraal examen.

### Het schoolexamen

Het schoolexamen heeft betrekking op domein A en:

- de domeinen en subdomeinen waarop het centraal examen geen betrekking heeft; daarbij kan het bevoegd gezag uit de subdomeinen E3, F2, G1 en G2 twee subdomeinen kiezen, dan wel deze keuze aan de kandidaat laten;
- indien het bevoegd gezag daarvoor kiest: een of meer domeinen of subdomeinen waarop het centraal examen betrekking heeft;
- indien het bevoegd gezag daarvoor kiest: andere vakonderdelen, die per kandidaat kunnen verschillen.

## De examenstof

### Domein A: Vaardigheden

#### Algemene vaardigheden — profieloverstijgend niveau

##### Subdomein A1: Informatievaardigheden gebruiken

1. De kandidaat kan doelgericht informatie zoeken, beoordelen, selecteren en verwerken.

##### Subdomein A2: Communiceren

2. De kandidaat kan adequaat schriftelijk, mondeling en digitaal in het publieke domein communiceren over onderwerpen uit het desbetreffende vakgebied.

##### Subdomein A3: Reflecteren op leren

3. De kandidaat kan bij het verwerven van vakkennis en vakvaardigheden reflecteren op eigen belangstelling, motivatie en leerproces.

##### Subdomein A4: Studie en beroep

4. De kandidaat kan aangeven op welke wijze natuurwetenschappelijke kennis in studie en beroep wordt gebruikt en kan mede op basis daarvan zijn belangstelling voor studies en beroepen onder woorden brengen.

#### Natuurwetenschappelijke, wiskundige en technische vaardigheden — bètaprofielniveau

##### Subdomein A5: Onderzoeken

5. De kandidaat kan in contexten vraagstellingen analyseren, gebruik makend van relevante begrippen en theorie, vertalen in een vakspecifiek onderzoek, dat onderzoek uitvoeren, en uit de onderzoeksresultaten conclusies trekken. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.

##### Subdomein A6: Ontwerpen

6. De kandidaat kan in contexten op basis van een gesteld probleem een technisch ontwerp voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren en daarbij relevante begrippen, theorie en vaardigheden en valide en consistente redeneringen hanteren.

**Subdomein A7: Modelvorming**

7. De kandidaat kan in contexten een relevant probleem analyseren, inperken tot een hanteerbaar probleem, vertalen naar een model, modeluitkomsten genereren en interpreteren, en het model toetsen en beoordelen. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.

**Subdomein A8: Natuurwetenschappelijk instrumentarium**

8. De kandidaat kan in contexten een voor de natuurwetenschappen relevant instrumentarium hanteren, waar nodig met aandacht voor risico's en veiligheid; daarbij gaat het om instrumenten voor dataverzameling en -bewerking, vaktaal, vakconventies, symbolen, formuletaal en rekenkundige bewerkingen.

**Subdomein A9: Waarderen en oordelen**

9. De kandidaat kan in contexten een beargumenteerd oordeel over een situatie in de natuur of een technische toepassing geven, en daarin onderscheid maken tussen wetenschappelijke argumenten, normatieve maatschappelijke overwegingen en persoonlijke opvattingen.

**Natuurkundige vakvaardigheden****Subdomein A10: Kennisontwikkeling en -toepassing**

10. De kandidaat kan in contexten analyseren op welke wijze natuurkundige en technologische kennis wordt ontwikkeld en toegepast.

**Subdomein A11: Technisch-instrumentele vaardigheden**

11. De kandidaat kan op een verantwoorde wijze omgaan met voor de natuurkunde relevante materialen, instrumenten, apparaten en ICT-toepassingen.

**Subdomein A12: Rekenkundige en wiskundige vaardigheden**

12. De kandidaat kan een aantal voor de natuurkunde relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden correct en geroutineerd toepassen bij voor de natuurkunde specifieke probleemsituaties.

**Subdomein A13: Vaktaal**

13. De kandidaat kan de specifieke vaktaal en vakterminologie interpreteren en produceren, waaronder formuletaal, conventies en notaties.

**Subdomein A14: Vakspecifiek gebruik van de computer**

14. De kandidaat kan de computer gebruiken bij modelleren en visualiseren van verschijnselen en processen, en voor het verwerken van gegevens.

**Subdomein A15: Kwantificeren en interpreteren**

15. De kandidaat kan fysische grootheden kwantificeren en mathematische uitdrukkingen in verband brengen met relaties tussen fysische begrippen.

**Domein B: Golven****Subdomein B1: Informatieoverdracht**

16. De kandidaat kan in contexten eigenschappen van trillingen en golven gebruiken bij het analyseren en verklaren van informatieoverdracht.

**Subdomein B2: Medische beeldvorming**

17. De kandidaat kan in de context van medische beeldvorming fysische principes en technieken beschrijven, analyseren en hun diagnostische functie voor de gezondheid toelichten, en kan eigenschappen van ioniserende straling en de effecten op mens en milieu beschrijven.

**Domein C: Beweging en wisselwerking****Subdomein C1: Kracht en beweging**

18. De kandidaat kan in contexten de relatie tussen kracht en bewegingsveranderingen kwalitatief en kwantitatief analyseren en verklaren met behulp van de wetten van Newton.

**Subdomein C2: Energie en wisselwerking**

19. De kandidaat kan in contexten de begrippen energiebehoud, rendement, arbeid en warmte gebruiken om energieomzettingen te beschrijven en te analyseren.

**Subdomein C3: Gravitatie**

20. De kandidaat kan bewegingen in het heelal analyseren en verklaren aan de hand van de gravitatiewisselwerking

## Domein D: Lading en veld

### Subdomein D1: Elektrische systemen

21. De kandidaat kan in contexten elektrische schakelingen analyseren met behulp van de wetten van Kirchhoff. Daarbij kan de kandidaat energieomzettingen analyseren.

### Subdomein D2: Elektrische en magnetische velden

22. De kandidaat kan in contexten elektromagnetische verschijnselen beschrijven, analyseren en verklaren met behulp van elektrische en magnetische velden.

## Domein E: Straling en materie

### Subdomein E1: Eigenschappen van stoffen en materialen

23. De kandidaat kan in contexten fysische eigenschappen van stoffen en materialen beschrijven en kan deze eigenschappen verklaren en analyseren aan de hand van deeltjesmodellen.

### Subdomein E2: Elektromagnetische straling en materie

24. De kandidaat kan in astrofysische en andere contexten de wisselwerking tussen straling en materie beschrijven en verklaren aan de hand van de begrippen atoomspectrum, absorptie, emissie en stralingsenergie.

### Subdomein E3: Kern- en deeltjesprocessen\*

25. De kandidaat kan in contexten behoudswetten en de equivalentie van massa en energie gebruiken in het beschrijven en analyseren van deeltjes- en kernprocessen.

## Domein F: Quantumwereld en Relativiteit

### Subdomein F1: Quantumwereld

26. De kandidaat kan in contexten de golf-deeltjedualiteit en de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg toepassen, en de quantisatie van energieniveaus in enkele voorbeelden verklaren aan de hand van een eenvoudig quantumfysisch model.

### Subdomein F2: Relativiteitstheorie\*

27. De kandidaat kan in gedachte-experimenten en toepassingen de verschijnselen tijdrek en lengtekrimp verklaren aan de hand van de begrippen lichtsnelheid, gelijktijdigheid en referentiestelsel.

## Domein G: Leven en aarde

### Subdomein G1: Biofysica\*

28. De kandidaat kan in de context van levende systemen fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.

### Subdomein G2: Geofysica\*

29. De kandidaat kan in de context van geofysische systemen fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.

## Domein H: Natuurwetten en modellen

30. De kandidaat kan in voorbeelden die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen fundamentele natuurkundige principes en wetmatigheden herkennen, benoemen en toepassen.  
De kandidaat kan een model hanteren en de grenzen van de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van een bepaald model voor een fysisch verschijnsel beoordelen.

## Domein I: Onderzoek en ontwerp

### Subdomein I1: Experiment

31. De kandidaat kan in contexten die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen onderzoek doen door middel van experimenten en de resultaten analyseren en interpreteren.

### Subdomein I2: Modelstudie

32. De kandidaat kan in contexten die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen onderzoek doen door middel van modelstudies en de modeluitkomsten analyseren en interpreteren.

### Subdomein I3: Ontwerp

33. De kandidaat kan in contexten die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen op basis van een gesteld probleem een ontwerp voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren.

\* uit deze vier subdomeinen worden er twee gekozen

## 3 Waarom een nieuw programma?

*Bereidheid tot verandering is een voorwaarde voor verbetering*

In dit hoofdstuk geven we argumenten waarom het natuurkundeonderwijs met een eigentijdse inhoud en een eigentijdse aanpak mogelijkheden tot vernieuwing moet aangrijpen, voortbouwend op de sterke elementen in het huidige onderwijs. Het gaat om het bieden van mogelijkheden voor het natuurkundeonderwijs om zich in de komende vijftien jaar te ontwikkelen in het licht van veranderingen in de omgeving: wetenschap, technologie, jeugd, samenleving. Maatschappelijke ontwikkelingen sturen de vraag naar breed georiënteerd natuurkundeonderwijs. Ontwikkelingen in onderzoek en technologie, en innovaties van het natuurkundeonderwijs in andere landen laten zien dat er kansen liggen voor een dergelijke vernieuwing.

### 3.1 Positionering van het natuurkundeonderwijs

#### Nederland Kennisland

In het regeringsbeleid is 'Nederland Kennisland' de insteek. Het is de ambitie van de Nederlandse overheid om bij de top van Europa te behoren op het gebied van onderzoek, onderwijs en innovatie. Innovatiekracht is in belangrijke mate bepalend voor de internationale concurrentiepositie en voor economische groei. Voor innovatie is veelal technologische kennis onontbeerlijk. Bèta's en technici spelen daarbij een centrale rol. Zo is R&D hoofdzakelijk bètag gericht: ruim driekwart van de personen werkzaam bij R&D in bedrijven en kennisinstellingen hebben een bèta- of techniekachtergrond. Maar Nederland scoort lager dan gemiddeld wat betreft aantal onderzoekers en aantal afgestudeerde bèta's. Het aantal bèta-afgestudeerden in Nederland is weliswaar toegenomen, maar blijft nog steeds ver achter bij het gemiddelde van de referentielanden [2].

De deelname aan het hoger onderwijs in Nederland is hoog. De omvang van het aantal afgestudeerde bètatechnici ten opzichte van het totaal aantal hoger opgeleiden is echter een punt van zorg. Nederland blijft aanzienlijk achter bij

landen om ons heen en bij de opkomende economieën. Om een belangrijke internationale rol te kunnen blijven spelen is in 2003 door het toenmalige kabinet het *Deltaplan Bèta Techniek* opgesteld [3]. Doel: zorgen voor meer leerlingen en studenten in het bètatechnisch hoger onderwijs en betere benutting van bestaand talent in bedrijven en onderzoeksinstellingen. Het achterliggende argument was dat stimuleren van bètatechniekonderwijs een investering is in de toekomstige innovatiekracht van Nederland.

Dit plan, dat in opdracht van de overheid is uitgevoerd door het Platform Bèta Techniek, heeft ertoe geleid dat Nederland zijn achterstandspositie in Europa begint in te lopen nu meer jongeren kiezen voor een bètatechnische opleiding. De totale instroom van studenten in bètatechnische studies in het wo is sinds 2000 aanzienlijk gestegen en in het hbo is de dalende trend van de afgelopen jaren gekeerd en is een stijging ingezet. Deze stijging is voor een groot deel te danken aan de grotere belangstelling van meisjes voor bètatechnische studies in het hoger onderwijs. Er zal echter voorlopig nog een aanzienlijk tekort blijven aan hoogopgeleide bètatechnici, waaronder leraren in de bètavakken, in het bijzonder voor het vak natuurkunde. De ingezette lijn van de afgelopen jaren van kwantitatieve en kwalitatieve verbetering in het onderwijs moet worden voortgezet om dit vraagstuk op termijn op te lossen [4].

Om een duurzame toename te bereiken van het aantal bèta's en technici is het vooral van belang dat de waardering voor bèta en techniek omhoog gaat. Daaraan kan het onderwijs een belangrijke bijdrage leveren. Leerlingen moeten zich ervan bewust worden dat oplossingen voor veel maatschappelijke vraagstellingen een bètatechnische bijdrage vergen. Het tonen van de verwevenheid van bèta en techniek met maatschappelijke domeinen als gezondheid, economie, duurzame energie, klimaat, transport, sport, communicatie, is één van de manieren om dit te doen. Competenties in bèta en techniek zijn voor iedereen van belang. Een zekere bagage aan bètatechnische kennis en vaardigheden is voor alle burgers noodzakelijk om in de huidige technologische samenleving de weg te vinden [5].

### Onderzoek en toepassing

Wetenschappelijke nieuwsgierigheid is één van de belangrijke drijfveren voor interesse in een exact vak, in het bijzonder natuurkunde of sterrenkunde. Het natuurkundecurriculum moet daarom inspelen op de natuurlijke nieuwsgierigheid van jongeren naar het hoe en waarom. Vanuit fascinatie en verwondering over structuren, verschijnselen en processen in de wereld om ons heen ontstaat de motivatie om een probleemstelling te onderzoeken en te doorgronden; verwondering gevolgd door begrip.

Naast wetenschappelijke interesse kan ook maatschappelijke relevantie voor leerlingen de reden zijn om te kiezen voor een bètastudie. Het onderzoek in de natuurwetenschappelijke vakken en de wiskunde speelt een sleutelrol in de innovatieketen en bij het oplossen van belangrijke vragen die gerelateerd zijn aan actuele maatschappelijke problemen. Voorbeelden zijn onderzoek naar en aanwending van nanotechnologie, informatie- en communicatietechnologie en het nuttig gebruiken van onze kennis van het menselijk genoom. Ook de grote uitdagingen op gebied van energie, klimaat, veiligheid, en gezondheid vragen om afgestudeerden in de bètavakken. De meeste van deze vraagstukken zijn disciplineoverschrijdend.

Hetzelfde brede spectrum van natuurwetenschappelijke kennis dat in onderzoek gebruikt en verder ontwikkeld wordt, speelt ook een rol in de technologie. Bij veel innovatieve bedrijven wordt natuurwetenschappelijke kennis ontwikkeld in de context van een ontwerp taak. Het maken van ontwerpen en de studie naar voorwaarden voor succesvolle ontwerpen vormen voor veel jongeren een drijfveer die kan concurreren met de nieuwsgierigheid naar hoe de natuur in elkaar zit. Van die drijfveer kan het voortgezet onderwijs goed gebruik maken om meer leerlingen naar natuurkunde te trekken. Leren langs de weg van het maken van ontwerpen kan bovendien valide bijdragen leveren aan inzicht in de natuurkunde zelf.

### Beroepsperspectief

Natuurkunde biedt leerlingen openingen naar tal van beroepen en er is volop werkgelegenheid in bètatechnische sectoren. Toch kiest momenteel nog geen 20 % van de Nederlandse jongeren voor een toekomst in deze wereld. Het is een gemiste kans voor de maatschappij dat zo weinig jongeren met bètatalent daadwerkelijk bèta kiezen [6]. Er is veel onderzoek gedaan naar de motieven die de studiekeuze bepalen. Een van de redenen voor jongeren om voor een studie bèta of techniek te kiezen is het perspectief op een boeiende carrière. De groep jongeren die in het BètaMentality-model [7] van het Platform Bèta Techniek wordt aangeduid als 'concrete bèta's' ziet de technische en de exacte wereld als een avontuurlijke omgeving waarin een uitdagende baan in het verschiet ligt.

Daarnaast is er een grote groep van potentiële 'carrière-bèta's' die nog niet precies weet wat ze wil worden. Een toekomst in een bètavak is voor hen zeker een optie, vooral wanneer het beroep status en aanzien heeft. Deze leerlingen zouden graag zien dat op school wordt uitgelegd wat je concreet kunt doen met de kennis die je opdoet bij bètavakken. Een veel gehoorde klacht is een gebrek aan actualiteit en praktijk van het onderwijs. 'Als je snapt waar die sommen en formules voor dienen wordt het vak ook leuker!' Communicatie over de zichtbaarheid en positieve beleving van bèta en techniek moet onderdeel zijn van de opleiding [8].

Aansprekende rolmodellen kunnen helpen om de mogelijkheden na een bèta-studie te laten zien. Jongeren hebben te vaak het idee dat natuurkundigen alleen onderzoek doen in een academische werkomgeving, en weten niet dat natuurkundigen in een hoogtechnologische maatschappij binnen overheid, onderwijs, of bedrijfsleven een bijdrage leveren in een door niet-fysici gedomineerde werkomgeving. Bijvoorbeeld, bij het technologieconcern Philips werkten vijftien jaar geleden natuurkundigen in monodisciplinaire onderzoeksteams; nu werken daar natuurkundigen in projectteams met moleculair biologen, informatici, designers en psychologen. Binnen deze sector van het bedrijfsleven is een groeiende behoefte aan natuurkundigen die creatief met collega's met een andere achtergrond kunnen meedenken en die mogelijke oplossingen voor gecompliceerde problemen kunnen aandragen.

Natuurkundigen vinden niet alleen een werkring in het onderzoek maar ook in functies op het grensvlak tussen R&D en management. Vanwege hun strakke redeneertrant en kritische vermogens werven ook advies- en consultancy-bureaus onder natuurkundigen. In het licht van dit brede beroepsperspectief en het maatschappelijk belang daarvan is het essentieel dat natuurkundigen affiniteit hebben met andere maatschappelijke aspecten en factoren dan alleen de vakdiscipline. De natuurkundige van nu en de naaste toekomst neemt intensief deel aan het innovatieproces als geheel [9].

### Onderwijsinnovatie

Aan de vergroting van de waardering voor bèta en techniek hebben de afgelopen jaren naast het Platform Bèta Techniek veel instituties en organisaties een bijdrage geleverd, waaronder kennisinstellingen, bedrijven en de bètaberoepsverenigingen. In het Jongeren en Technologie Netwerk Jet-Net werken bedrijfsleven, overheid, onderwijsorganisaties en een aantal intermediaire organisaties samen aan interessanter onderwijs en aansluiting tussen onderwijs en arbeidsmarkt. Doel is havo/vwo-leerlingen een reëel beeld te geven van bèta en technologie en hen te interesseren voor een bètatechnische vervolgopleiding. Belangrijk is dat leerlingen ervaren dat werken aan innovatie en bètatechniek veel uitdagingen kent, een breed spectrum van vaardigheden vereist en vele kansen biedt. Jet-Net is inmiddels met 62 bedrijven op meer dan 170 scholen actief. De technische branches en technologische bedrijven zijn voornemens ook de komende jaren te investeren in samenwerking met het onderwijs.

In Nederland ontstaan steeds meer initiatieven gericht op het vormen van een regionaal bètanetwerk voor samenwerking tussen voortgezet onderwijs, hoger onderwijs, en bedrijfsleven. Daarvan zijn er inmiddels een stuk of tien verspreid over het land. Deze netwerken bevorderen zowel de interactie tussen scholen

onderling als tussen scholen en hoger onderwijs en bedrijven met als doel: vergroten van de belangstelling voor bèta bij leerlingen en het bevorderen van een betere kwalitatieve aansluiting tussen VO en HO. De vorming van deze netwerken is de laatste jaren gestimuleerd door het Platform Bèta Techniek als een investering in de onderwijsketen om een goede in-, door- en uitstroom van bètatechniekstudenten te bereiken. Vanuit universiteiten en het Sectorplan Natuurkunde en Scheikunde worden deze regionale steunpunten concreet met middelen en menskracht gesteund.

Deze regionale netwerken blijken een succes en door universiteiten en hogescholen zijn initiatieven genomen om deze netwerken voor de bètavakken te verduurzamen. De bètavakverenigingen die zich hebben verenigd in de Stichting Innovatie Onderwijs in Bètawetenschappen en Technologie (IOBT) willen daaraan een bijdrage leveren. Deze nieuwe coalitie van partners in het onderwijsveld kan een solide basis geven aan de innovatie van het bètaonderwijs, zowel op scholen die meer aandacht willen geven aan bètatechniek als in de bacheloropleidingen van de bètatechniekopleidingen [10, 11].

## 3.2 Noodzaak tot vernieuwing

### Internationale vergelijking

Het huidige natuurkundeonderwijs op havo en vwo is van goed niveau. Dit wordt bevestigd door internationaal vergelijkend onderzoek (PISA en TIMSS [12, 13]), maar er lijkt een dalende trend te zijn. In het PISA-onderzoek van 2009 is wereldwijd gevraagd naar de kennis, vaardigheden en attitudes van 15-jarige leerlingen op het gebied van de natuurwetenschappen en wiskunde. Daarbij is uitgegaan van een breed geaccepteerd kader voor *'scientific literacy'*: wat zou elke 15-jarige moeten weten en kunnen in het licht van de moderne samenleving. Nederlandse leerlingen scoren qua kennis en vaardigheden in de natuurwetenschappen ruim boven het gemiddelde van de OESO landen. Qua interesse in natuurwetenschappen scoren ze echter ver onder het OESO-gemiddelde, ook in vergelijking met de ons omringende landen [14]. Die relatief geringe interesse vinden we ook bij havo- en vwo-leerlingen.

In het meest recente TIMSS-Advanced 2008 onderzoek scoorden de Nederlandse vwo-eindexamenleerlingen voor natuurkunde het hoogst in deze internationale vergelijking. Daarbij moet wel worden aangetekend dat dit niveau door een relatief kleine groep leerlingen werd behaald, namelijk diegenen die het oude profiel NT volgden. Dit betrof toen slechts 3,5 % van alle achttienjarigen. In de meeste andere deelnemende landen wordt een beduidend groter

deel van de leerlingen op het – daar geldende – *advanced*-niveau onderwezen.

Opvallend is, dat in vergelijking tot de andere negen landen, het aandeel van meisjes in de Nederlandse onderzoekspopulatie zowel voor wiskunde als natuurkunde het laagst is. Op de TIMSS-natuurkunde-toets werd door meisjes een significant lagere score behaald dan door jongens. De attitude van de leerlingen in het TIMSS-2008 onderzoek ten aanzien van het vak natuurkunde is slechts licht positief, waarbij natuurkunde door meisjes duidelijk minder aantrekkelijk en relevant wordt gevonden dan door jongens. De sekseverschillen in de inschatting van de eigen vaardigheden zijn ook relatief groot.

Sinds 1 augustus 2007 bestaat er één enkel profielvak natuurkunde voor zowel het NG- als NT-profiel, met een omvang van 480 sl (studielastuur) voor vwo, en 400 sl voor havo. Dit vak is alleen verplicht voor het profiel NT, maar de medische en biologische opleidingen stellen het wel als instroomeis voor NG-leerlingen. Als verdieping kunnen leerlingen, op scholen waar dit wordt aangeboden, kiezen uit de profielkeuzevakken wiskunde D, het nieuwe bètavak natuur, leven en technologie (NLT) of informatica.

Een van de beoogde effecten van de nieuwe profielindeling is dat meer leerlingen bètatechnische vakken kiezen, omdat er meer keuze is in deze vakken en omdat wiskunde B en natuurkunde iets minder zware vakken zijn geworden door inperking van het aantal uren. De cijfers van het CBS laten zien dat de interesse voor bètatechnische vakken in het VO inderdaad is toegenomen [15]. Het aantal meisjes in 4/5/6 vwo met een NT-profiel is sinds 2003 spectaculair gestegen, van 5.600 naar 15.000 in 2009/2010; voor jongens geldt een toename van 15.600 naar 24.400. De totale omvang van het aantal vwo-leerlingen in het NT-profiel is daarmee verdubbeld en het NG-profiel is het grootste profiel geworden op het vwo. Ook het aandeel havo-leerlingen dat een natuurprofiel volgt neemt toe en ook hier doet zich een grotere stijging voor onder meisjes dan onder jongens. Niettemin blijft de toename van het aantal leerlingen op het *advanced*-niveau, namelijk diegenen die naast de profielvakken de bètakeuzevakken volgen, voorts nog beperkt, evenals de toename van de instroom in de opleidingen (technische) natuurkunde en sterrenkunde [16].

### Typing huidige programma

Analyses van het schoolvak natuurkunde en de andere natuurwetenschappelijke vakken zijn de afgelopen jaren uitgevoerd door het nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling SLO [17]. De belangrijkste tekortkomingen van het huidige natuurkundeonderwijs in het VO zijn de overladenheid, in het bijzonder

het gebrek aan tijd voor praktisch werk van leerlingen, en het moeilijke imago van het vak natuurkunde in de natuurprofielen. De moeilijkheidsgraad van alle exacte vakken, met uitzondering van wiskunde A, ligt volgens vierdeklassers en vijfdeklassers behoorlijk hoog. Het moeilijkst wordt natuurkunde gevonden, met name door de meisjes in het profiel NG die natuurkunde hebben gekozen. Maar ook de meisjes in het NT-profiel vinden natuurkunde moeilijker dan jongens en behalen er ook iets lagere cijfers voor. De docenten bevestigen dat meisjes hun vak moeilijker vinden dan jongens [18, 19].

De overladenheid beperkt de ruimte van docenten om hun inhoudelijke passie voor het vak over te brengen, en de ruimte om voor leerlingen met verschillende interesses of leerstijlen verschillende accenten in het onderwijs aan te brengen. De invoering van de vernieuwde tweede fase in 1998 heeft ertoe geleid dat bij de bètavakken door het drastisch afgenomen aantal lessen minder tijd is voor practicumactiviteiten. Dit laatste beïnvloedt in negatieve zin de studeerbaarheid van het vak natuurkunde en de ontwikkeling van onderzoeksvaardigheden. Ook kan hierdoor in de lessen de praktische kant van de natuurwetenschap niet voldoende worden benut als motiverend didactisch element. Overigens is het opvallend dat er aanzienlijke verschillen zijn tussen scholen in het aantal practicumuren dat in de lestabel voor de natuurwetenschappelijke vakken beschikbaar is.

In essentie is de inhoud van de huidige natuurwetenschappelijke schoolvakken nog dezelfde als in de jaren zestig. De nadruk ligt op het vak als monodisciplinaire wetenschap, zonder een duidelijke samenhang met de leefwereld van de leerlingen en de andere natuurwetenschappelijke vakken. Het huidige natuurkundeprogramma is voornamelijk gestoeld op de kennis van de natuurkunde zoals die al bestond aan het einde van de negentiende en de eerste helft van de twintigste eeuw. Gewoonlijk wordt eerst de mechanica van Newton behandeld en daarna volgen vaak elektriciteit en optica. De schoolnatuurkunde stopt met kernenergie en straling. Veelal ontbreekt daardoor in de schoolstof de inspiratie die uitgaat van de belangrijke en nieuwe uitdagingen van het vakgebied in de 21<sup>e</sup> eeuw op wetenschappelijk en technologisch gebied. Het resultaat is een groeiende spanning tussen de schoolvakken en hedendaagse natuurwetenschap zoals leerlingen die leren kennen buiten school (onder andere via de media).

### Leeromgeving

Om een grote groep leerlingen blijvend te interesseren voor natuurwetenschap en techniek moeten vorm en inhoud van het onderwijs ruimte bieden aan de fascinatie en nieuwsgierigheid van de leerlingen en aan verschillen tussen leerlingen daarin. Vorm en inhoud moeten daarbij op elkaar zijn afgestemd. Dit is in het natuurwetenschappelijk onderwijs minder vanzelfsprekend dan het lijkt.

Voor veel leerlingen bestaat de natuurkunde in de leerboeken uit een verzameling feiten en stellingen waar niet meer over te discussiëren valt; de natuurkunde als vakgebied lijkt grotendeels af, de belangrijkste natuurwetten zijn, vaak lang geleden, al ontdekt. Het is voor leerlingen moeilijk te zien wat nog de uitdaging kan zijn.

Het is bekend uit didactisch onderzoek dat:

- leren wordt bevorderd door leerlingen te confronteren met een complex aan ervaringen die rijk aan inhoud en authentiek zijn en aansluiten bij hun interesses
- leren wordt bevorderd als leerlingen een persoonlijke uitdaging kunnen vinden in de aangeboden inhoud en leeractiviteiten
- het inzicht wordt bevorderd door activerende leervormen; intensieve analyse van een authentiek probleem vanuit verschillende invalshoeken bevordert de verankering en internalisering van nieuwe informatie.

Het onderwijs in de natuurwetenschappelijke vakken laat hier kansen liggen [20]. Cruciaal daarbij is het maken van onderscheid tussen wetenschap als menselijke activiteit en wetenschap als canon van kennis die door deze activiteit tot stand is gekomen en komt. De traditie in het natuurwetenschappelijk onderwijs is om het product van wetenschap voorrang te geven boven het proces; om geaccepteerde kennis te stellen boven kennis-in-wording; om het antwoord te stellen boven de vraag.

### Aansluiting op de onderbouw

De verbreding en verdieping binnen het totaal van het bètaonderwijs zouden een doorlopende leerlijn moeten volgen waarbinnen leerlingen zich steeds beter bewust worden van hun eigen interesses en ambities. Deze leerlijn begint in het basisonderwijs en loopt via de onderbouw en de derde klas door in de profielvakken binnen NG en NT, de nieuwe bètavakken natuur, leven en technologie (NLT), wiskunde D en informatica, die aansluiten op vervolgopleidingen. Tot nu toe is er van een dergelijke doorlopende leerlijn niet veel terechtgekomen. De signalen dat veel leerlingen de overgang van leerjaar drie naar vier in een natuurprofiel als zwaar ervaren, worden in onderzoek bevestigd [18]. Alle leerlingen die een natuurprofiel hebben gekozen vinden de exacte vakken (met uitzondering van wiskunde A) veel moeilijker in leerjaar vier dan voorheen in leerjaar drie. Bij natuurkunde oordelen meisjes ongunstiger over de verschillen tussen leerjaar drie en vier dan jongens.

De derde klas is cruciaal om bij leerlingen interesse te wekken voor een keuze voor de N-profielen. De ingeschatte moeilijkheid van natuurkunde toont de grootste samenhang met de profielkeuze, gevolgd door scheikunde en daarna

door wiskunde [21]. Hier ligt een uitdaging voor de onderwijsvernieuwing van de bètavakken met het oogmerk een goede profielkeuze van de leerlingen mogelijk te maken. Het derde jaar vervult de spilfunctie tussen contextrijk onderbouwonderwijs en de inrichting van het onderwijs vanaf het vierde leerjaar. Het huidige breukvlak kan vermeden worden door de vakinhoud van de vier exacte vakken beter te verdelen over de eerste vier leerjaren van havo en vwo. De nieuwe profielvakken kunnen door goed gedefinieerde inhoudelijke begintermen richting geven aan het onderwijs in de derde klas. Dit biedt kansen voor vernieuwing van het programma vanaf de derde klas en voor betere afstemming op de specifieke mogelijkheden van havo- en vwo-leerlingen [22].

### Technisch ontwerpen

Traditioneel wordt binnen de natuurwetenschappelijke vakken vrij veel aandacht besteed aan de manier waarop natuurwetenschappers door onderzoek kennis verwerven. Technisch ontwerpen als bezigheid van ingenieurs is tot nu toe in het lesprogramma weinig van de grond gekomen. De reden er meer aandacht aan te schenken is dat natuurwetenschap en techniek een verschillende oriëntatie hebben. Kort geformuleerd hebben de natuurwetenschappen tot doel de fysische wereld om ons heen te begrijpen en heeft de techniek tot doel deze wereld te veranderen. De opbrengst van natuurwetenschappelijk onderzoek is kennis, de opbrengst van technische ontwerpactiviteiten bestaat uit producten, maar ook kennis van processen en ontwerpstrategieën. Ontwerpproblemen kennen geen unieke oplossingen; de essentie is een oplossing of uitvoering te vinden waarmee een gewenste functie gerealiseerd kan worden. Het gaat om het zoeken naar het beste alternatief uit meer mogelijke uitwerkingen.

In de schoolsituatie kan een gegeven ontwerp vraag een context bieden die bijdraagt aan het leren van natuurkundige begrippen en modellen. Veel leerlingen waarderen technisch ontwerpen omdat zij binnen de ontwerp opdrachten zelfstandig, actief en creatief kunnen leren. Dit sluit aan bij de behoefte van leerlingen, zowel havo als vwo, om meer te leren vanuit praktijk opdrachten [23]. Door het een duidelijke plaats in het programma te geven zou technisch ontwerpen meer aantrekkingskracht kunnen krijgen, zowel bij havo als vwo. Het bredere doel van technisch ontwerpen als vak is dat het kan bijdragen aan een beter inzicht in de mogelijkheden, beperkingen en risico's van toepassingen van wetenschappelijk onderzoek en technologie voor de samenleving.

### Afstemming wiskunde

In de beoefening van de natuurkunde speelt de wiskunde een essentiële rol. Het is een wezenlijk kenmerk van de natuurkunde dat de belangrijkste grondbeginselen een wiskundige vorm hebben – formules zijn in de natuurkunde niet aller-

eerst rekenvoorschriften, al worden ze in de schoolpraktijk vaak wel zo gehanteerd, maar een taal waarin concepten en theorieën geformuleerd en begrepen kunnen worden. De kracht van de wiskunde in de natuurkunde is dat abstracte redeneringen en principes, zoals symmetrie, kunnen leiden tot diepe inzichten met grote reikwijdte. Dit is een van de fascinerende kenmerken van de natuurkunde. De rol van de wiskunde in de natuurkunde moet dus zeker niet vernauwd worden tot een discussie over wiskundige basisvaardigheden, maar deze vaardigheden zijn wel een noodzakelijke voorwaarde.

Wiskundige basisvaardigheden zijn nodig als het gaat om het analyseren en representeren van gegevens, het modelleren van verschijnselen en het berekenen van constructies. Veel natuurkundige redeneringen berusten op wiskundige inzichten. Het gaat dan om inzicht in de betekenis van de vorm van een grafiek, van omzetten van kwalitatieve verbanden in kwantitatieve wiskundige vergelijkingen, en het vermogen om modellen te ontwikkelen die een verklaring kunnen geven voor fysische verschijnselen. Voor veel van de natuurkundige concepten geldt dat er een wiskundige abstractie aan ten grondslag ligt die leerlingen op één of ander manier moeten leren hanteren.

De wiskundige aard van de natuurkunde is voor leerlingen vaak problematisch. Veel leerlingen hebben moeite om concepten en formules in verband te brengen met de waarneembare wereld en zien formules als rekenvoorschriften. Het gevolg is dat een deel van de leerlingen de natuurkundelessen moeilijk vindt, en soms ook het nut ervan niet inziet. Toch is het geen oplossing om de natuurkunde te ontdoen van wiskundige inhoud, al was het maar vanwege het feit dat onderwerpen die vaak de interesse van leerlingen wekken, zoals kosmologie en deeltjesfysica, juist het meest wiskundig van aard zijn. Bovendien maakt de wiskunde door de duidelijke regels veel natuurkundige redeneringen eerder eenvoudiger dan moeilijker.

Een betere afstemming tussen de examenprogramma's wiskunde en natuurkunde kan hieraan een positieve bijdrage leveren. De huidige situatie is wat afstemming en samenhang betreft tussen wiskunde en natuurkunde zeker niet optimaal. Wiskundige concepten worden ook bij natuurkunde behandeld zonder dat leerlingen het verband zien. Omgekeerd komen in de wiskunde contexten uit de natuurkunde aan de orde, met vaak afwijkende notatie en terminologie, eveneens zonder door leerlingen als zodanig herkend te worden. Beide situaties zijn verwarrend voor de leerlingen en schetsen een verkeerd beeld van de samenhang tussen deze twee kennisgebieden, terwijl goede toepassingen van wiskunde onbenut blijven. Dit probleem is hardnekkig en het zal veel inspanning kosten om het bestaande cultuurverschil tussen het wiskunde- en het natuurkundeonderwijs in

dit opzicht te overbruggen. In de publicaties van het project SONaTe staan aanbevelingen op hoe afstemming en samenhang gerealiseerd kunnen worden [24].

### 3.3 Hoofdpijnen voor vernieuwing

#### Scientific literacy

In de moderne westerse samenleving maakt kennis van natuurwetenschap en techniek deel uit van de culturele bagage die op school wordt onderwezen. De verdieping van deze kennis in de natuurwetenschappelijke profielen van havo en vwo moet voor leerlingen de basis zijn om te kunnen kiezen uit een scala van vervolgstudies en beroepen, binnen en buiten de sector natuurwetenschap en techniek. Het schoolvak natuurkunde zal, samen met de andere natuurwetenschappelijke vakken en wiskunde, aan leerlingen in de profielen NT en NG van havo en vwo een beeld moeten geven van:

- de basisprincipes en -begrippen van het natuurwetenschappelijk denken en de natuurwetenschappelijke methode
- de opleidingen en beroepen waartoe de N-profielen toegang geven
- de functie van natuurwetenschap en techniek in de hedendaagse maatschappij en de samenwerking tussen onderzoek en toepassing.

Omdat niet alle leerlingen in de N-profielen hun carrière zullen kiezen in wetenschap of techniek moet het profielvak natuurkunde zich richten op twee doelgroepen: de toekomstige natuurwetenschappelijke en technische kenniswerkers, en de grotere groep van hoger opgeleiden voor wie natuurwetenschappelijke en technische kennis noodzakelijk is om te kunnen functioneren in de moderne kennismaatschappij. Gemeenschappelijk voor beide doelgroepen is dat leerlingen inzicht krijgen in de fysieke werkelijkheid om hen heen en de daarvoor noodzakelijke sleutelinzichten en -vaardigheden tot ontwikkeling brengen. In Angelsaksische landen heet dit *scientific literacy* [25]. In het eerder genoemde PISA-onderzoek is dit begrip uitgewerkt voor alle 15-jarige leerlingen. Voor havo- en vwo-abituïrenten is een hoger niveau van *scientific literacy* het leerdoel.

Deze doelstelling heeft een brede internationale context. In plaats van de natuurwetenschappelijke schoolvakken te zien als het voorportaal van de corresponderende academische studie of beroepsopleiding, verschuift het accent naar sleutelcompetenties voor een hoog opgeleide beroepsbevolking in een dynamische kennismaatschappij [5]. Op het gebied van de natuurwetenschap en de technologie gaat het om het vermogen om kennis en methoden die gebruikt worden om de natuurlijke wereld te verklaren, te gebruiken om problemen te identificeren en gefundeerde conclusies te trekken.

Natuurwetenschap en technologie zijn daarbij nauw verwant. Vaak hebben natuurwetenschappelijke probleemstellingen een technologische component: wetenschappelijk onderzoek is sterk afhankelijk van geavanceerde technologie en geavanceerde technologie is mogelijk dankzij wetenschappelijke ontdekkingen. In de beroepsuitoefening van bèta's en bij maatschappelijke vraagstukken is de technologie zelfs vaak het dominante deel van de problematiek of de discussie. Voor leerlingen is het belangrijk om het onderscheid te leren maken tussen natuurwetenschap en technologie.

### Samenhang bètavakken

Zoals hierboven beschreven, heeft er de laatste decennia een zeer wezenlijke verandering plaatsgevonden in het natuurwetenschappelijk onderzoek en de technische toepassing daarvan. Nieuwe ontwikkelingen en toepassingen vinden we steeds meer op grensgebieden tussen de monodisciplines. Deels wordt dit gestuurd door vraagstellingen die vanuit de samenleving worden gedefinieerd, maar ook in het fundamentele onderzoek worden grenzen tussen vakgebieden overschreden. Zo heeft de deeltjesfysica aan de theoretische kant een grote affiniteit met wiskunde, en berust zij aan de experimentele kant op zeer geavanceerde technologie. In de materiaalkunde is het onderscheid met scheikunde vaak moeilijk aan te geven, en in de biowetenschappen spelen natuurkundige technieken en modellen een steeds grotere rol. Deze veranderingen weerspiegelen zich in de functies die natuurwetenschappers en technici vervullen in de maatschappij.

Het is dus van belang bij het ontwikkelen van het nieuwe schoolcurriculum een niet al te grote nadruk te leggen op het onderscheid tussen de verschillende vakgebieden, maar duidelijk te maken dat:

- de natuurkunde haar methode en denkwijze deelt met andere vakgebieden en dat het begrip van natuurwetenschappelijke processen vaak niet alleen natuurkundige kennis, maar ook scheikundige en biologische kennis vereist, en
- het leren gebruiken van (wiskundige) modellen voor het verklaren en voorspellen van verschijnselen om ons heen van direct nut is voor andere vakgebieden dan alleen de (traditionele) natuurkunde.

Dit vraagt om afstemming en samenhang van de natuurwetenschappelijke vakken. Het biedt leerlingen de mogelijkheid zich bewust te worden van overeenkomsten in natuurwetenschappelijke kennis en vaardigheden, en dit zou de transfer van kennis en vaardigheden naar verschillende contexten in verschillende vakken kunnen faciliteren [14].

Het potentieel dat hier ligt is echter nauwelijks benut in het natuurwetenschappelijke onderwijs. Het ministerie van OCW heeft de vakvernieuwingscommissies

daarom verzocht de samenhang tussen de nieuwe examenprogramma's te verduidelijken. Om hiertoe een aanzet te geven zijn door een werkgroep, ingesteld door de gezamenlijke vernieuwingscommissies, een aantal uitgangspunten voor samenhangend natuurwetenschappelijk bètaonderwijs in een notitie uitgewerkt en een aantal vakoverstijgende thema's benoemd [26]. Het doel van deze notitie is een basis te bieden voor verdergaande ontwikkeling van samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken in syllabi, handreikingen en in lesmaterialen, om zo samenhangend onderwijs voor meer docenten mogelijk te maken.

### De concept-contextbenadering

Om de bovenbeschreven doelstellingen te kunnen realiseren hebben de vernieuwingscommissies voor de profielvakken biologie, natuurkunde, scheikunde, en het nieuwe bètavak natuur, leven en technologie (NLT), de concept-contextbenadering als uitgangspunt voor de vernieuwing genomen bij het opstellen van de examenprogramma's voor havo en vwo en de opzet van de pilots. In de concept-contextbenadering wordt de inhoud van het onderwijs structuur gegeven door een combinatie van concepten en contexten. Concepten typeren op een breed toepasbare manier de belangrijkste inzichten in de natuurwetenschap en wiskunde, en vormen de vakinhoudelijke leidraad in de examenprogramma's. Contexten geven betekenis aan deze concepten in het onderwijs en het gekozen lesmateriaal, en dienen ter illustratie van wetenschappelijke en maatschappelijke toepassingen.

De overwegingen van de vernieuwingscommissies om de inhoud van de examenprogramma's te structureren in concepten en contexten zijn:

- de benadering sluit aan bij de snelle ontwikkeling van kennis en de kennis-samenleving
- de benadering sluit aan bij opvattingen over de aard van kennis, namelijk dat de betekenis van concepten contextafhankelijk is
- de benadering maakt het mogelijk om samenhang binnen en tussen vakken te versterken
- de benadering sluit aan bij de doelstellingen van de tweede fase: algemene ontwikkeling en vorming, en voorbereiding op het hoger onderwijs.

In de uitwerking van deze uitgangspunten moet onderscheid gemaakt worden tussen toepassen van de concept-contextbenadering als een manier om inhouden en doelen te ordenen op curriculumniveau en als pedagogisch-didactische benadering op lesniveau. De opdracht van de vernieuwingscommissies gaat over de inhoud van natuurwetenschappelijke schoolvakken en wiskunde, 'het wat'. De toepassing van de concept-contextbenadering in het examenprogramma is dus beperkt tot het curriculumniveau. De didactische vormgeving van het lesprogramma ('het hoe') is de autonome verantwoordelijkheid van het onderwijsveld.

### 'Het hoe' en 'het wat'

Deze uitgangspunten voor vernieuwing moeten gerealiseerd worden binnen de kaders gesteld door de overheid, scherp beschreven in het rapport van de Commissie Parlementair Onderzoek Onderwijsvernieuwingen [27]. De autonomie van de school en de docent zijn daarin een gegeven. Scholen zijn verantwoordelijk voor 'het hoe': de pedagogisch-didactische praktijk en overige aspecten van het schoolklimaat. De overheid heeft de taak ervoor te zorgen dat de belangrijkste kennisgebieden en kernvaardigheden in het schoolprogramma, 'het wat', concreet wordt vastgelegd in examenprogramma's en kwaliteitseisen. Vanuit deze verantwoordelijkheid heeft het ministerie van OCW de vernieuwingscommissies voor de bètavakken ingesteld met een brede samenstelling uit relevante beroeps- en kennisgebieden.

De autonomie van scholen betekent dat zij vrij zijn in hoe zij de door de overheid gestelde doelen (het examenprogramma) voor hun leerlingen trachten te bereiken. Scholen krijgen binnen deze kaders de ruimte om hun eigen professionele beleidskeuzes te maken, bijvoorbeeld over de inrichting van het onderwijsproces, de organisatie die hiervoor nodig is en welk loopbaan- en beloningsbeleid zij voeren. Minder centrale regelgeving betekent dat scholen ook op het gebied van visie, leerdoelen en leerinhoud eigen keuzes kunnen maken, bijvoorbeeld over de invulling van het schoolexamendeel (uiteraard binnen de grenzen van de wettelijke randvoorwaarden). Toetsing is grotendeels aan de scholen, alleen het schriftelijk eindexamen wordt op centraal niveau afgenomen.

De invoering van nieuwe examenprogramma's voor de bètavakken gaat uit boven de normale schoolontwikkeling. Deze verandering heeft betrekking op alle havo/vwo-scholen en kan alleen succesvol verlopen als aan essentiële randvoorwaarden, zoals beschikbare materialen, bijscholing, tijd voor voorbereiding etc. voldaan is. De overheid zal verantwoordelijkheid moeten nemen voor het realiseren van deze randvoorwaarden. Daarnaast is het belangrijk om scholen ondersteuning te bieden bij het formuleren en realiseren van hun eigen wensen op het gebied van docent- en schoolontwikkeling binnen dit vakontwikkelingsproces. Dit sluit aan bij de doelen van de examenprogrammavernieuwing en de wens om scholen en docenten te stimuleren zich te professionaliseren langs eigen ambities. Een deel van de invoeringsactiviteiten zal dan ook daarop gericht moeten zijn.

### Rol van de leraar

Er is op dit moment een brede maatschappelijke consensus dat de kwaliteit van het onderwijs wordt gedragen door de ervaring en het vakmanschap van goede docenten. In een recent rapport van McKinsey [28] waarin de succesfactoren

van onderwijssystemen in de hele wereld zijn onderzocht, wordt dit samengevat in de uitspraak *'The quality of an education system cannot exceed the quality of its teachers'*. Niet het curriculum en leermateriaal, maar het opleidingsniveau en het vakmanschap van de leraar is de bepalende factor voor de onderwijsprestaties van leerlingen in het vak natuurkunde [29]. Ook goede docenten moeten de tijd krijgen om via aanvullende scholing nieuwe vakkennis en didactische inzichten te verwerven die nodig zijn om de gewenste onderwijsvernieuwing gestalte te geven. Dit vernieuwingsproces moet vormgegeven worden als een geleidelijk proces met een grote mate van betrokkenheid van de vakdocenten.

Uit onderzoek blijkt dat actief eigenaarschap van de docenten een cruciale voorwaarde is voor het slagen van onderwijsvernieuwing [30]. De betekenis voor natuurkundedocenten is dat zij, meer dan nu, de kans krijgen hun eigen onderwijs in te richten en samen met de andere bètadocenten een visie te ontwikkelen op het leren van natuurwetenschappen. Het is toe te juichen dat de overheid, in overleg met de vakverenigingen, voor de professionalisering van leraren een algemeen kader gaat stellen, zoals dat is aangekondigd in het regeerakkoord. Juist voor een vak als natuurkunde dat continu verandert onder invloed van wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen, is het van belang dat leraren in nauw contact staan met de natuurkundige gemeenschap en in het bijzonder de academische wereld om zo hun kennis aan te kunnen scherpen en inspiratie op te doen.

Universiteiten en hogescholen zouden het tot hun verantwoordelijkheid moeten rekenen voor docenten een breed programma van deskundigheidsbevordering aan te bieden, zowel vakinhoudelijk als didactisch. Anderzijds zou de overheid ervoor moeten zorgen dat er algemene afspraken komen over hoe deze deskundigheidsbevordering een structureel deel kan zijn van de onderwijstaak en hoe dit zich kan vertalen in het carrièreperspectief van leraren binnen de school. Dit algemene kader moet garanderen dat de leraar meer dan nu de ruimte krijgt voor de ontwikkeling van de vereiste kwalificaties en dat dit zichtbaar is in de arbeidsvoorwaarden [31]. Met een dergelijke zekerheid krijgt het leraarsberoep nieuw elan. Dit zal een positieve uitwerking hebben op het aanzien van het beroep van leraar en op de toestroom van jonge leraren in de natuurwetenschappelijke vakken.

### Rol van het examen

Het centraal eindexamen heeft een belangrijke sturende rol in het onderwijs omdat dit examen de facto in hoge mate bepaalt wat er in de klas gebeurt. Het herontwerp van de inhoud van de schoolvakken is dan ook onlosmakelijk verbonden met een herbezinning op de rol van het centraal examen (CE) en het

schoolexamen (SE). Het eerste uitgangspunt moet zijn dat de examinering een positieve bijdrage levert aan het onderwijs van het vak natuurkunde. Dus de examinering moet zo zijn ingericht dat docent en leerling het leren begrijpen van natuurkunde centraal stellen en dat activiteiten die gerelateerd zijn aan de andere doelstellingen van het onderwijs ook daadwerkelijk worden uitgevoerd. Tijdens de pilotperiode van het NiNa-project is door het College voor Examens (CvE) en Cito al een aanzet gegeven voor de experimentele NiNa-eindexamens. Deze evolutie van het CE zou verder doorgezet moeten worden onder aansturing van het College voor Examens. Daarmee kan het CE een belangrijke impuls geven aan de vernieuwing van het natuurkundeonderwijs.

Bij de invoering van de nieuwe natuurwetenschappelijke examenprogramma's is de overheid voornemens meer ruimte te geven aan scholen door een vergroting van de ruimte voor het schoolexamen. De eindtermen hiervoor worden alleen op hoofdlijnen geformuleerd en invulling wordt aan uitgevers en docenten overgelaten. Ook wordt de omvang van de stof voor het centraal examen beperkt. Hierbij dreigt het gevaar dat de differentiatie in lesinhouden tussen scholen te groot wordt. De Onderwijsraad [32] stelt in een advies hierover dat het examen een garantie voor kwaliteit moet blijven en een gegarandeerde toegang moet blijven bieden tot het vervolgonderwijs en de arbeidsmarkt. Het ontbreken van duidelijke leerstandaarden zal eerder belemmerend dan bevorderend werken voor de doorstroom van leerlingen naar vervolgopleidingen. De Commissie Parlementair Onderzoek Onderwijsvernieuwingen beveelt aan de waarde van het schoolexamen te objectiveren door externen te betrekken bij het vormgeven van schoolexamens en het beoordelen van de resultaten [27]. Tijdens het invoeringstraject van de nieuwe examenprogramma's zou een begin moeten worden gemaakt met de invoering van een systeem van kwaliteitsborging.

### Invoeringstraject is innovatietraject

In dit rapport worden de advies-examenprogramma's havo en vwo voor het vak natuurkunde aan de minister van OCW aangeboden. Vergelijkbare adviezen worden ook voor de vakken biologie, scheikunde en NLT uitgebracht. Vervolgens zal door OCW een besluit genomen worden over de invoering. Het is aan de overheid om de randvoorwaarden te bepalen die een goede invoering mogelijk maken; de regie over de feitelijke invoeringsactiviteiten is opgedragen aan het nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling SLO.

De vernieuwingscommissies hebben in een vroeg stadium vastgesteld dat de doelstellingen van de vernieuwing van de examenprogramma's alleen gerealiseerd kunnen worden als daarvoor een breed draagvlak is. Ervaringen uit het verleden en onderzoek naar veranderingstrajecten in het onderwijs in binnen-

en buitenland hebben geleerd dat actief eigenaarschap van docenten essentieel is bij vakvernieuwing; dat blijkt ook uit de evaluatie van de huidige examenpilots [33]. Iedere docent moet in dit veranderingsproces een voorbereidingsfase doorlopen die tijd kost en niet versneld kan worden. Van essentieel belang daarbij is dat de docent in zijn/haar voorbereiding niet alleen staat, maar zich gesteund weet door andere docenten en de schoolorganisatie: vakontwikkeling, docentontwikkeling en schoolontwikkeling dienen hand in hand te gaan voor een succesvolle invoering.

De manier waarop de nieuwe programma's vertaald worden naar concreet onderwijs zal van school tot school verschillen. Deze verschillen hangen niet alleen samen met de verschillende ambities en visies van scholen, maar zeker ook met de verschillende startsituaties waarin scholen zich bevinden. Terwijl docenten op pilotscholen de eerste fases al achter de rug hebben en volop bezig zijn met uitvoeren, adapteren, reflecteren en delen, staan docenten op de andere scholen nog aan het begin. De ondersteuning moet hier rekening mee houden door te werken aan de juiste condities bij deze volgscholen, en tegelijkertijd de doorloop-pilotscholen te blijven ondersteunen bij hun eigen proces en te zorgen voor uitwisseling van ervaringen tussen de twee groepen scholen.

Naar de mening van de vernieuwingscommissies zal de invoeringsstrategie een minstens zo'n groot effect hebben op het bètaonderwijs als de feitelijke inhoud van het examenprogramma. Het examenprogramma schept slechts voorwaarden voor goed natuurkundeonderwijs; de leraar en de manier waarop die wordt ondersteund maken het verschil. In de consultaties van het veld over het examenprogramma is de invoeringsstrategie dan ook een centraal onderwerp van de discussie geweest. Vanuit dat perspectief is door het nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling SLO in nauwe samenwerking met de gezamenlijke vernieuwingscommissies een invoeringsplan opgesteld. Het plan richt zich op de invoering van de nieuwe examenprogramma's en de achterliggende doelen met inachtneming van de autonomie van de scholen. Kern van het plan is om op basis van de ervaringen van de docenten op de pilotscholen optimale condities te creëren voor invoering [34].

Ten aanzien van de uitvoering van dit plan van invoering heeft SLO de regierol. In het plan is voorzien dat de lokale netwerken tussen scholen, HO-instellingen en bedrijven, die in diverse regio's actief zijn, daarbij een belangrijke rol spelen. Dit geldt zowel voor de inhoudelijke kennisontwikkeling als de ontwikkeling van didactiek en lesmateriaal. De bètavakverenigingen – verenigd in de Stichting Innovatie Onderwijs in Bètawetenschappen en Technologie (IOBT) – hebben zich geëngageerd daaraan een bijdrage te leveren.

## 4 Examenexperiment

*The test of all knowledge is experiment*

De opdracht aan de commissie Nieuwe Natuurkunde is een advies uit te brengen over examenprogramma's voor havo en vwo

1. die gefundeerd zijn op een visie die aan het veld is voorgelegd
2. die in een praktijktest zijn geëvalueerd
3. waarop het veld ook in verdere uitwerking commentaar heeft kunnen geven.

In het vervolg van dit hoofdstuk worden de gang van zaken bij deze onderdelen en de belangrijkste conclusies voor de examenprogramma's beschreven.

### 4.1 Visiedocument en examenprogramma's

#### Visiedocument

De commissie Nieuwe Natuurkunde heeft het eerste deel van haar opdracht vormgegeven door het schrijven van het visiedocument *Natuurkunde leeft* (2006) [1]. Een interne conceptversie van het visiedocument was in juni 2005 gereed en is besproken met de klankbordgroep. Een bijgestelde versie is als openbare discussieversie aangekondigd in een brief aan alle natuurkundesecties, een aankondiging in *NVOX*, en verspreid via de website [www.nieuwenatuurkunde.nl](http://www.nieuwenatuurkunde.nl) en in druk. In de maanden oktober en november 2005 zijn in Eindhoven, Utrecht, Rotterdam, Enschede en Groningen besprekingen geweest met steeds 30 tot 40 deelnemers, in totaal 170. Het merendeel van de deelnemers bestond uit natuurkundedocenten, verder waren lerarenopleiders en hoger-onderwijscoördinatoren van de partij. Ook een SLO-veldadviescommissie heeft het visiedocument besproken en van advies voorzien.

De reacties uit de discussies en de adviezen zijn besproken in de commissie NiNa en hebben tot bijstellingen van het visiedocument geleid. Een deel van de reacties betrof zaken die buiten de competentie van de commissie NiNa vielen. Die zijn onder de aandacht van de toenmalige N-profielcommissie gebracht. Het herziene visiedocument (Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs, 2006) [1] is onder natuurkundedocenten verspreid, en is ook op de website geplaatst.



### Visiedocument

De discussie over het visiedocument leverde bijstellingen op waarvan hieronder de belangrijkste zijn weergegeven:

1. Er is meer aandacht besteed aan de onderbouwing van de keuze van domeinen en de verschillen daarin tussen havo en vwo.
2. Om het wervender te maken voor NG-leerlingen zijn ook in het vwo-programma de contextgebieden *Leven* en *Aarde* ondergebracht.
3. Met het oog op de context-conceptbenadering is scherper aangegeven dat het doel van het natuurkundeonderwijs vooral is: het verwerven van een natuurwetenschappelijke denkwijze en van inzicht in natuurkundige concepten, het ervaren van natuurkunde als experimentele wetenschap. De rol van contexten is vooral het duidelijk maken van de brede toepasbaarheid van concepten, en te laten zien in welke gebieden van onderzoek en technologie de actuele natuurkunde actief is.
4. Duidelijker is gedefinieerd wat met contexten, concepten en activiteiten bedoeld wordt, de categorie *activiteiten* is met voorbeelden ingevuld.
5. Ten opzichte van het programma dat gold tot 2007 zijn onderwerpen geschrapt om ruimte te bieden aan nieuwe inhoud en om rekening te houden met het gereduceerde aantal uren natuurkunde voor het NT-profiel in de vernieuwde tweede fase.

Ook waren er onderwerpen waarover de meningen tijdens die visiediscussies uiteenliepen, zoals over het al dan niet voorschrijven van specifieke contexten, over de verschillen tussen havo en vwo (zoveel mogelijk eigen karakter versus maximale aansluiting havo-vwo) en aansluiting op het hoger onderwijs (trainen in vaardigheden en denkwijzen versus uitlijnen van specifieke begrippen).

Andere adviezen hadden betrekking op het vervolg van en de periode na het project, zoals:

1. Houd de vinger aan de pols bij de ontwikkeling van centrale examens; bewaak het niveau van schoolexamens.
2. Beperk het aantal leerdoelen c.q. eindtermen om overladenheid af te remmen.
3. Besteed aandacht aan de afstemming van wiskunde en natuurkunde.
4. Werk kernbegrippen en denkwijzen uit in samenhang met andere vakken.
5. Beweeg uitgevers tot het ontwikkelen van combinaties van boeken en *web based*-materiaal.

Domeinen	Subdomeinen	
A. Vaardigheden		CE/SE
B. Beeld- en geluidstechniek	B1. Informatieoverdracht	CE
	B2. Medische beeldvorming	CE
C. Beweging en energie	C1. Kracht en beweging	CE
	C2. Energieomzettingen	CE
D. Materialen	D1. Eigenschappen van materialen	CE
	D2. Functionele materialen	SE
E. Aarde en heelal	E1. Zonnestelsel en heelal	CE
	E2. Aarde en klimaat*	SE
F. Menselijk lichaam		SE
G. Meten en regelen	G1. Gebruik van elektriciteit	CE
	G2. Technische automatisering*	SE
H. Natuurkunde en technologie		CE

\* Keuzedomeinen: kies één uit twee.

**Tabel 4.1** Domeinen en subdomeinen van het concept-examenprogramma nieuwe natuurkunde havo 2006.

### Concept-examenprogramma's

Eind 2006 zijn de domeinen uit het visiedocument uitgewerkt in globale examenprogramma's, met één eindterm per subdomein. Inhoud en detailleringniveau daarvan werden inzet van de praktijktest op de scholen.

De domeinen van het concept-examenprogramma havo staan in tabel 4.1. De domeinen van het concept-examenprogramma vwo staan in tabel 4.2 (op pagina 56). De motieven achter de keuze voor deze domeinen worden in hoofdstuk 5 beschreven.

## 4.2 Praktijktest in pilotscholen

Het project Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo is gestart in 2005 en is afgerond in 2010. Na het opstellen van de globale eindtermen is tot de zomer van 2007 gewerkt aan het voorbereiden van de praktijktest in de klas. Deze pilot is uitgevoerd op in totaal vijftien scholen (zie bijlage 3, lijst met deelnemende scholen). Tijdens de pilotfase zijn op verschillende manieren evaluaties van de resultaten uitgevoerd.

Domeinen	Subdomeinen	
A. Vaardigheden		CE/SE
B. Communicatie	B1. Informatieoverdracht	CE
	B2. Medische beeldvorming	SE
C. Beweging en wisselwerking	C1. Kracht en beweging	CE
	C2. Energie en wisselwerking	CE
	C3. Gravitatie	CE
D. Lading en veld	D1. Elektrische systemen	CE
	D2. Elektrische en magnetische velden	CE
E. Straling en materie	E1. Eigenschappen van stoffen en materialen	SE
	E2. Elektromagnetische straling en materie	CE
	E3. Kern- en deeltjesprocessen	CE
F. Quantumwereld en relativiteit	F1. Quantumwereld*	SE
	F2. Relativiteitstheorie *	SE
G. Leven en aarde	G1. Biofysica*	SE
	G2. Geofysica*	SE
H. Natuurwetten		CE

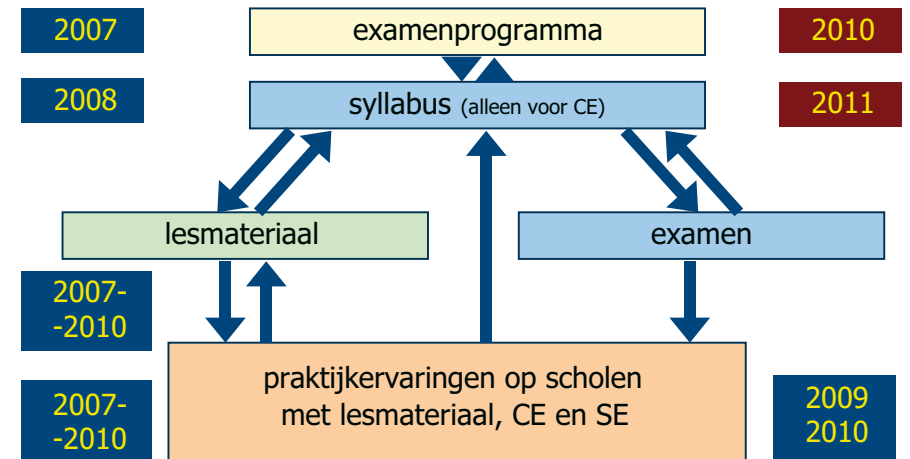
\* Keuzedomeinen: kies twee uit vier.

**Tabel 4.2** Domeinen en subdomeinen van het concept-examenprogramma nieuwe natuurkunde vwo 2006.

### Proces

Tot de opdracht van de commissie Nieuwe Natuurkunde behoorde het uitvoeren van een praktijktest met pilotscholen op basis van de experimentele examenprogramma's. De opzet van het experimenteeltraject had tot doel aan te tonen dat de voorgestelde examenprogramma's binnen de geldende condities in uitvoerbaar onderwijs konden worden uitgewerkt. De commissie NiNa heeft daarbij voor een 'levensecht' experiment gekozen, dat wil zeggen voor een experiment waarbij de deelnemende scholen, net als onder niet-experimentele omstandigheden, de verantwoordelijkheid voor de kwaliteit van het door hen geboden onderwijs hebben. Dat betekent onder andere dat de deelnemende docenten verantwoordelijk zijn geweest voor hun interpretatie van de eindtermen, de syllabi en de voorbeeldmodules. De leerlingen uit de pilotscholen zijn op de gebruikelijke wijze geëxamineerd in eigen landelijke eindexamens, naast de schoolexamens.

Diverse actoren waren bij dit proces betrokken: de projectgroep Nieuwe Natuurkunde (zie bijlage 2), voor de ontwikkeling van voorbeeldmateriaal; het College



**Afbeelding 4.1** Het experimenteeltraject nieuwe natuurkunde en de onderlinge verwevenheid van de activiteiten. De jaartallen in rood betreffen het voorliggende advies-examenprogramma en de voorziene syllabus daarbij.

voor Examens (CvE), als toezichthouder en opdrachtgever voor de syllabuscommissie natuurkunde en de examenmakers bij het Cito; de schooldirecties van de deelnemende scholen. De afstemming tussen deze verschillende actoren was de verantwoordelijkheid van de commissie Nieuwe Natuurkunde.

Gedurende het experimenteeltraject vonden er verschillende, onderling gerelateerde en dikwijls in de tijd samenvallende activiteiten plaats:

- ontwikkeling van conceptversies voor examenprogramma's
- ontwikkeling van lesmateriaal (modules)
- ontwikkeling van werkversies van syllabi
- ontwikkeling van examenopgaven en SE-toetsen
- uitvoering van het onderwijs in de lespraktijk
- afname van de examens
- evaluatie en bijstelling van de verschillende modules en documenten.

Afbeelding 4.1 laat zien hoe de verschillende activiteiten met elkaar vervlochten waren. Tijdens het project zijn allerlei materialen en documenten ontwikkeld. Alleen de examenprogramma's voor havo en vwo met de eindtermen, bijgesteld na de experimenteelfase, vormen het uiteindelijke advies aan de minister. De andere stappen en producten waren nodig om de examenprogramma's in een praktijkronde te evalueren.

### Syllabus, examens

Het College voor Examens (CvE) houdt toezicht op de centrale examinering en heeft de verantwoordelijkheid voor de ontwikkeling van syllabi voor het eindexamen, zowel bij reguliere examens als de examens in de pilot. Het CvE is bovendien verantwoordelijk voor de inrichting van het centraal schriftelijk eindexamen (CE).

Voor het examenprogramma nieuwe natuurkunde is op dezelfde wijze als voor het reguliere examenprogramma een syllabus ontwikkeld met een nadere specificatie van de eindtermen voor het CE. De CEVO, later het College voor Examens CvE, heeft daartoe een syllabuscommissie ingesteld. Die commissie heeft in goed overleg met de commissie NiNa een 'werkversie syllabus' opgesteld. Deze vormde voor de CE-subdomeinen het afstemmingsinstrument tussen auteurs van modules, docenten in de pilotklassen en de constructeurs van het Cito voor de CE-examenvragen. Voor de subdomeinen van het schoolexamen (SE) hebben de pilotdocenten toetsen gemaakt op basis van lesmateriaal en docentenhandleidingen.

De examens uit de experimenteerperiode (havo 2009, 2010; vwo 2010) zijn primair bedoeld om de pilotleerlingen een betrouwbaar en vergelijkbaar eindcijfer voor natuurkunde toe te kennen. Zij dienen tevens, net als de modules, als voorbeelden voor docenten, auteurs en examenconstructeurs in de toekomst, om hun een beeld te geven van wat de nieuwe programma's kunnen inhouden. In de praktijk is het CE voor docenten en methodeschrijvers een belangrijk richtend element.

### Lesmateriaal

Verreweg de meeste tijd en middelen van het project Nieuwe Natuurkunde zijn gaan zitten in het testen van concept-examenprogramma's aan de hand van pilotlesmateriaal voor gebruik in de scholen die deelnamen aan het experimenteertraject. Voor nagenoeg alle subdomeinen is lesmateriaal ontwikkeld dat goed aansluit bij die subdomeinen (zie [www.nieuwenatuurkunde.nl](http://www.nieuwenatuurkunde.nl)). Ook al gaat het soms om kleine verschillen, de meeste domeinen wijken teveel af van het vigerende programma om zonder problemen de conceptprogramma's te testen vanuit de bestaande natuurkundeboeken, al dan niet met gedeeltelijke vervangingen. In een paar gevallen is gebruik gemaakt van bestaand materiaal van uitgevers.

De commissie NiNa heeft ervoor gekozen de kwaliteit van het lesmateriaal voorrang te geven boven variëteit. Deze prioriteit was nodig omdat het project voor het vwo maar één testronde kende, voor het havo twee. De evaluatiegegevens moesten zoveel mogelijk betrekking hebben op de haalbaarheid van de gekozen subdomeinen en hun samenhang, en zo weinig mogelijk worden beïnvloed door

mogelijke kinderziektes in het lesmateriaal. Slechts een enkele pilotdocent was zelf auteur. Alle docenten in het NiNa-project zijn in professionaliseringsbijeenkomsten uitvoerig geconsulteerd over de lesvoorbereiding en uitvoering.

Het lesmateriaal is ontwikkeld door auteurteams, soms van docenten en specialisten op het gebied van het subdomein, vaker door teams van een schrijvende docent met steun van inhoudsdeskundigen, vakdidactici en andere leden van commissie NiNa en projectgroep (zie bijlage 2 voor de projectgroep en bijlage 5 voor auteurs en medewerkers aan de modules). De modules werden beoordeeld door een redactie die toezicht hield op inhoud, omvang, vormvereisten en aansluiting bij de syllabus voor zover het CE-onderdelen betrof. Alle modules zijn tijdens het proces minstens één keer herzien. De ontwikkelde modules zullen als voorbeeldmateriaal voor docenten en uitgevers beschikbaar blijven en zijn te downloaden van de website [www.nieuwenatuurkunde.nl](http://www.nieuwenatuurkunde.nl).

### 4.3 Interne evaluatie

Het pilotproces Nieuwe Natuurkunde is intern en extern geëvalueerd. Bij de interne evaluatie is per module aan docenten en leerlingen gevraagd naar hun ervaringen, beoordelingen en verbeter suggesties; deze evaluatie vond plaats onder regie van de projectgroep Nieuwe Natuurkunde.

#### Opzet

Tijdens de pilotfase zijn op verschillende manieren interne evaluaties uitgevoerd. Gedurende het schooljaar 2008-09 zijn per module vragenlijsten voor zowel docenten als leerlingen onder de pilotscholen verspreid. Tevens vonden gesprekken plaats op scholen zelf met zowel docenten als leerlingen. Vanaf 2009 zijn per module steeds aan twee à drie pilotdocenten van verschillende scholen vragenlijsten voorgelegd. Daarin werd helderheid gezocht over diverse aspecten van de lespraktijk waaronder:

- lesplanning
- didactische aanpak
- vormvereisten.

De pilotdocenten zijn ca. zes maal per schooljaar bijeengekomen. Vaste agendapunten ten behoeve van de evaluatie waren:

- terugblik op de modules die kort daarvoor aan de orde waren geweest in de klas
- vanaf 2009: presentatie en discussie van schriftelijke evaluatiegegevens en mogelijk daaruit volgende adviezen.

Daarnaast werden de nieuwe modules besproken, in de regel gepresenteerd door de auteur(s), en was er vaak een presentatie door een specialist over een natuurkundig onderwerp, aansluitend bij een van de modules met nieuwe vakinhoud (bijv. biofysica, weerkunde, beeldvormingstechnieken). Ook aan de orde kwamen besprekingen van gewenste syllabusuitsluitingen, nabesprekingen van examens, presentaties met discussie door de SLO-evaluatoren en presentaties van Cito-collega's. Hoewel geen onderdeel van de evaluatie in strikte zin, vormen deze scholingsactiviteiten en voorbereidingen op examens wel belangrijke onderdelen van een zo natuurgetrouw mogelijke pilot.

### Modules

De evaluatie van de modules geeft zicht op de concrete uitwerkingen in het lesmateriaal zelf. Per module werd uitgegaan van een omvang uitvoerbaar in ongeveer 15 lessen. Deze gegevens zijn voor het beoordelen van de concept-examenprogramma's minder van belang. Bij de invoering van de examenprogramma's kunnen die gegevens overigens wel een nuttige rol spelen, en ze zullen daarvoor ook beschikbaar zijn. De evaluatie geeft daarnaast ook een beeld van de oordelen over de domeinen zelf. In het overzicht hieronder geven we de meningen daarover weer, al zijn die niet geheel los te maken van de concrete uitwerkingen in het pilotlesmateriaal, dat na de invoering ook anders kan zijn.

#### Domeinen havo

- Het subdomein Informatieoverdracht (B1) past binnen 15 lessen als daarin niet ook muziekinstrumenten en daarmee samenhangende begrippen als staande golven en resonantie behandeld moeten worden, zoals de syllabus voorschrijft. De fysica is die van trillingen en golven, daarbinnen moet gekozen worden: tenminste informatieoverdracht óf tenminste muziekinstrumenten.
- De subdomeinen Medische beeldvorming (B2) en Zonnestelsel en heeal (E1) worden door docenten en leerlingen positief gewaardeerd. Zowel over vorm als over inhoud en omvang is men tevreden. Docenten en leerlingen vinden de onderwerpen interessant.
- Het onderwerp Materialen (D) wordt positief beoordeeld, de bijbehorende module werd als een voorbeeldige havo-module geprezen.
- Bij het subdomein Aarde en klimaat (E2) is men tevreden over de inhoud. De module bevatte te veel stof voor 15 lessen, een keuze uit de hoofdstukken was nodig.

- Voor het domein Menselijk lichaam (F) is inhoudelijke afstemming met NLT, scheikunde en biologie noodzakelijk vanwege de overlap met deze vakken. Als die niet mogelijk is, dan moet een beperkte keuze uit de mogelijke onderwerpen worden gemaakt, zodat er niet meer dan 15 lessen voor nodig zijn.
- Bij het subdomein Gebruik van elektriciteit (G1) zijn de docenten tevreden over omvang, vorm en inhoud wat betreft de basisstof. Dieper ingaan op domotica-achtige toepassingen lukt alleen goed in verbinding met het SE-subdomein Technische automatisering (G2).
- Het domein Natuurkunde en technologie (H) stuurt teveel aan op ontwerp-opdrachten die leerlingen snel afhandelen, en die te versnipperd zijn om bij te dragen aan inzicht in het ontwerpproces, of de verbondenheid van natuurkunde en technologie. Ontwerpen kan beter beperkt blijven tot wat er in de vaardigheidsdomeinen over wordt voorgeschreven, en dan getoetst worden in het SE. Technologische toepassingen van CE-domeinen kunnen in het CE aan de orde komen.
- Over het domein Beweging en energie (C) is geen specifiek oordeel beschikbaar.

#### Domeinen vwo

- Ook in het vwo is het subdomein Informatieoverdracht (B1) te omvangrijk voor 15 lessen als daarin ook muziekinstrumenten en daarmee samenhangend staande golven en resonantie behandeld moeten worden. Ook bij het vwo is het zaak te kiezen in contexten en bijpassende begrippen die de syllabus voorschrijft: tenminste informatieoverdracht óf tenminste muziekinstrumenten.
- Het subdomein Medische beeldvorming (B2) wordt door docenten en leerlingen positief gewaardeerd. Leerlingen kunnen er behoorlijk zelfstandig doorheen en vinden het een leuk onderwerp. Concepten uit dit subdomein komen ook elders voor, het is zaak dat docenten goed letten op de transfer daarvan naar andere onderwerpen. Docenten vinden het essentieel dat er bij het onderwerp Medische beeldvorming ook gebruik wordt gemaakt van een stralingspracticum. Dit kost echter extra tijd (1 à 2 dagdelen). De rest van het domein is wel in ongeveer 15 lessen te behandelen.

- Het domein Beweging en wisselwerking (C) omvat minder inhoud dan het onderdeel mechanica vanouds krijgt, met name in het onderdeel kinematica. Het blijkt voor module-auteurs zowel als docenten lastig daar de hand aan te houden. De docenten ervaren ook in de tweede ronde tijdsdruk.
- Het subdomein Elektrische systemen (D1) is goed te behandelen in 15 lessen, maar alleen als er weinig aandacht wordt besteed aan de context domotica.
- Elektrische en magnetische velden (D2) vraagt meer dan 15 lessen. De inhoud wordt door de docenten als waardevol beoordeeld. Zij stellen voor om niet in de inhoud te schrappen, maar de ruimte elders te zoeken. Wel hebben zij aanbevelingen ten aanzien van de vormgeving en het gebruik van contexten.
- Het subdomein Eigenschappen van stoffen en materialen (E1) wordt positief gewaardeerd en is te behandelen in ongeveer 15 lessen.
- Elektromagnetische straling en materie (E2) wordt positief gewaardeerd, zowel wat betreft inhoud als wat betreft omvang en vormgeving.
- Docenten en leerlingen zijn positief over Kern- en deeltjesprocessen (E3). Het onderwerp is te behandelen in 15 lessen, als extra stof buiten beschouwing wordt gelaten.
- De ‘moderne natuurkunde’-subdomeinen Quantumwereld (F1) en Speciale relativiteitstheorie (F2) worden positief gewaardeerd. De docenten zijn tevreden over de inhoud, vormgeving en omvang. Ten aanzien van speciale relativiteitstheorie wordt opgemerkt dat er behoefte is aan uitgebreide achtergrondinformatie voor docenten. Docenten bevelen aan om bij de behandeling extra aandacht te hebben voor NG-leerlingen. Voor beide onderwerpen wordt gevraagd om voorbeelden van toepassingen in de leefwereld.
- Het subdomein Biofysica (G1) is te behandelen in ongeveer 15 lessen.
- Het subdomein Geofysica (G2) is alleen met voldoende voorkennis van leerlingen over druk en gaswetten en met weinig aandacht voor experimenten in 15 lessen te behandelen. Er is behoefte aan achtergrondinformatie voor docenten.
- Bij beide subdomeinen van het domein Leven en aarde (G) zijn aanwijzingen voor proeven of onderzoek belangrijk, het zijn grotendeels nieuwe onderwerpen.
- Het onderwerp Natuurwetten (H) kon binnen de pilot maar door een paar docenten nabesproken worden. Het bevat hun goed, de voorgeschreven combinatie met andere examendomeinen maakt het tevens geschikt als herhaalstof.

### Lesplanning

De evaluatie van de lesplanning kreeg veel aandacht, omdat de eerste interne evaluaties, evenals de tussentijdse resultaten van de SLO-evaluatie (zie paragraaf 4.4), lieten zien dat er in het eerste uitvoeringscohort nog flink wat overlading werd geconstateerd. Nadere aandacht was dus nodig om de uitvoerbaarheid van het programma te toetsen. Voor modules die meer tijd kostten dan bevestigd werd, werd aan de NiNa-docenten gevraagd hoe deze binnen de tijd uitgevoerd zouden kunnen worden zonder aan de inhoud van de syllabus te hoeven tornen. Waar dat niet voldoende was, werd gevraagd wat er dan aan syllabus of eventueel examenprogramma zou moeten veranderen. Als men vond dat het onderwerp hoe dan ook die tijd nodig had, dan zou de extra tijd bij een ander onderwerp gehaald moeten worden. De mogelijke consequenties zijn enkele malen op docentenbijeenkomsten besproken. De adviezen over de examenprogramma's zijn meegenomen in de revisie van die programma's, en verwerkt in de toelichtingen op de onderdelen.

## 4.4 Externe evaluatie

In opdracht van het ministerie heeft SLO de programma's van de bèta vernieuwingsprojecten geëvalueerd, tegen de achtergrond van de doelstellingen die de commissies zelf hadden aangegeven [33].

De hoofdvragen luiden:

1. In hoeverre is de in gang gezette vernieuwing van het bètaonderwijs in de bovenbouw havo/vwo in overeenstemming met de voor die vernieuwing geformuleerde uitgangspunten en gepropageerde invullingen?
2. In hoeverre heeft de in gang gezette vernieuwing geresulteerd in voor docenten en leerlingen uitvoerbare programma's?

### Opzet

Het onderzoek van SLO is gebaseerd op gegevens uit vragenlijsten aan docenten en leerlingen, en jaarlijks verschillende schoolbezoeken waarbij interviews afgenomen zijn met pilotdocenten en leerlingen. Naast de vragenlijsten en schoolbezoeken zijn er gesprekken gevoerd en bijeenkomsten bijgewoond of georganiseerd met diverse actoren, met de commissie NiNa, maar ook met pilotdocenten, CvE en Cito. De commissie NiNa heeft bij de bijstelling van haar eerste-versie-programma's alleen gebruik kunnen maken van de resultaten van de eerste twee jaar van het evaluatieonderzoek, en van indicaties die uit een tweede ronde kwamen. De verwerkte resultaten betroffen de ervaringen van de eerste twee jaar van het eerste cohort, ofwel de eerste lichting vierde en vijfde

klassen. Pas later, na de zomer van 2010, kwamen de gegevens over vwo-6 (eerste cohort) en over het derde cohort havo-4 en vwo-4. De commissie NiNa kon deze slechts gebruiken ter verificatie van vermoedens.

### Tussentijdse evaluatie

De tussentijdse rapportage die medio 2009 beschikbaar kwam, over de ervaringen in de eerste groep uit de vierde klas en deels vijfde klas, was gebaseerd op de ervaringen van docenten en leerlingen met de ontwikkelde voorbeeldmodules. Deze modules waren de interpretatie van de examenprogramma's in lesmateriaal en deze zijn vervolgens getest in de lespraktijk van de docenten. Punten uit die rapportage zijn weergegeven in het kader hieronder.

#### Tussenevaluatie

Punten uit de rapportage van de tussenevaluatie, voorjaar 2009, gebaseerd op ervaringen van docenten en leerlingen in het eerste cohort, met de eerste versies van de modules

Hieronder zijn resultaten gebaseerd op vragen aan docenten weergegeven, tenzij anders aangegeven. Resultaten die hier niet zijn opgenomen hebben met name betrekking op kenmerken die specifiek zijn voor de pilot, zoals de vorm van de modules, of de ondersteuning tijdens de pilot.

#### Uitvoering

- Het eerste jaar nieuwe natuurkunde was een flinke uitdaging, die veel vraagt van docenten en veel voorbereidingstijd kost.
- De helft van de docenten geeft nieuwe natuurkunde met meer plezier dan het oude programma.
- Voor ruim de helft impliceert nieuwe natuurkunde geen flinke verandering in de manier van lesgeven.
- De meeste docenten vinden het nieuwe programma nodig als volgende stap in de ontwikkeling van het natuurkundeonderwijs.
- De meesten vinden dat zij voldoende zijn toegerust om nieuwe natuurkunde te kunnen geven.

#### Overladenheid en tijd

- Een ruime meerderheid vindt dat examenprogramma en syllabus niet in de beschikbare tijd uitvoerbaar zijn, maar ruim de helft vindt het examenprogramma op zich wel uitvoerbaar. Bijna de helft vindt de syllabus uitvoerbaar.

- Ruim de helft vindt dat de behandeling van concepten onvoldoende aandacht krijgt door het aanleren van contexten.
- Docenten behandelen stof die niet in de modules zit; de modules behandelen stof die niet in het examenprogramma zit.

#### Toetsing

- Goede voorbeeldtoetsen zijn schaars, wens: modules met goede voorbeeldtoetsen.

#### Context-conceptbenadering

- Het nieuwe van natuurkunde zit in nieuwe inhouden (59 %) en in nieuwe contexten (47 %), een minderheid vindt dat het nieuwe van natuurkunde in nieuwe didactiek zit (38 %).
- Een ruime meerderheid ziet de context-conceptbenadering als een geschikte manier om doelen en inhouden te ordenen.
- Een ruime meerderheid ziet contexten niet als doel op zich, maar als middel om leerlingen concepten te laten leren.
- Een ruime meerderheid vindt dat contexten bijdragen aan het verwerven van kennis en inzicht.
- Een derde vindt dat contexten de samenhang binnen de natuurkunde versterken.
- Ruim de helft vindt een onderscheid tussen leefwereld-, beroeps- en wetenschapscontexten zinvol.
- De context-conceptbenadering wordt breed gedragen door docenten.

#### Lespraktijk

Ten opzichte van de andere pilotbètavakken is er:

- meer klassikaal onderwijs, minder werken in kleine groepjes
- minder practicum (dan bij scheikunde)
- minder eigen onderzoeksprojecten (dan bij biologie en NLT)
- weinig gebruik van computers in de klas.

#### Relevantie

- Minder dan de helft van de docenten denkt dat leerlingen door de vernieuwing de relevantie van hun vak beter zien en door de vernieuwing een beter beeld hebben van hun vak.
- Leerlingen zijn zelf ook kritisch over de relevantie van de 'nieuwe' vakken. Wel leuk die aandacht, maar 'je gaat er buiten de school toch niet iets mee doen'.
- Heel weinig docenten (13 %) denken dat door de vernieuwing meer leerlingen/meisjes voor een bètastudie zullen kiezen.

### Kwaliteit en niveau

- Docenten verschillen van mening over de vraag of meisjes het erg goed doen (44 %), of juist niet (38 %).
- Docenten verschillen van mening over de vraag of er minder concepten zijn dan in het vorige programma. Er is geen tijd voor meer diepgang.
- Volgens docenten (44 %) vinden leerlingen natuurkunde erg moeilijk.
- Een kleine meerderheid van docenten (53 %) is tevreden over de prestaties van de leerlingen.

Verderop, onder ‘Conclusies uit de evaluaties’, gaan we verder in op de stappen die na deze constatering in 2009 gezet zijn, vooral door de uitvoerbaarheid in de tijd nader te onderzoeken en maatregelen te nemen.

Het eindrapport van de SLO-onderzoekers, november 2010 [33], bevestigt veel van de eerdere resultaten. Belangrijke nieuwe gegevens zijn in de tabel hieronder te vinden.

### Punten uit de eindrapportage van de SLO-evaluatie, aanvullend op de tussenevaluatie

- Ook docenten die met het derde cohort werkten (vierde klas havo en vwo in 2009) ervoeren nog teveel tijdsdruk.
- Docenten van het derde cohort gaven het nieuwe programma niet met meer plezier dan het oude, in tegenstelling tot de respons die zij gaven toen zij met het eerste cohort werkten.
- In 2009-2010 waren de leraren veel geruster over de aansluiting van de toetsen bij het onderwijs dan in de voorafgaande jaren.
- In 2009-2010 waren bijna alle leraren van mening dat zowel concepten als contexten in zowel CE als SE getoetst moeten worden; in de voorafgaande jaren maakte men daar meer onderscheid tussen: concepten meer CE, contexten meer SE.
- In het laatste jaar onderschrijven alle docenten de stelling dat het behandelen van concepten in contexten de aantrekkelijkheid van het vak bevordert.
- In 2009-2010 onderschrijven alle 4-havo/vwo-docenten de stelling dat de vernieuwing de relevantie van natuurkunde beter laat zien dan het oude programma.
- Meer dan driekwart van de 4-havo/vwo-docenten geeft in het laatste evaluatiejaar aan dat er voldoende samenhang is tussen de concepten in de programma’s van nieuwe natuurkunde.

### Evaluatie van examens

Sinds 2009 evalueerde het SLO-team ook de centrale eindexamens. Het keek daarbij naar:

- de procedure bij de ontwikkeling van de centrale examens, zoals toegepast in de pilotprojecten
- de prestaties van leerlingen van de pilotscholen op de centrale examens, in vergelijking met leerlingen van niet-pilotscholen
- de mate waarin het mogelijk is gebleken centrale examens te ontwikkelen die passen bij de concept-examenprogramma’s.

Uiteraard vormden de bijdragen van de commissie NiNa en de pilotdocenten belangrijke input voor de examenevaluatie, naast de examens zelf. De resultaten van deze evaluatie zijn echter maar zeer ten dele relevant voor de hoofdtaak van de commissie NiNa, omdat de ontwikkelprocedures voor examens daar geen deel van uitmaken. De resultaten van de leerlingen zijn wel van belang, maar het bleek niet mogelijk andere valide constatering daarover te doen dan dat de pilotleerlingen redelijk goed scoorden op de pilotexamens. Een valide vergelijking met de reguliere examens bleek niet mogelijk, deels door de kleine populatiegrootte, maar vooral door het feit dat de examenprogramma’s verschillen in omvang: het CE-deel van het NiNa-programma is door de 60/40-verhouding 20 % kleiner dan dat van het vigerende programma, hetgeen in combinatie met het inbrengen van enkele nieuwe elementen tot flinke verschillen leidt, ook in de overlappende onderwerpen.

Tegelijk kunnen we constateren, ook uit gesprekken met de docenten in de eigen bijeenkomsten, dat de eindexamens goed aansloten bij het onderwijs in de pilotscholen, en over het algemeen goed recht deden aan het streven natuurkundige concepten in allerlei contexten te gebruiken. Ook zijn in de pilotexamens meer conceptuele vragen (inzichtvragen) gesteld dan men gewend was, om zo recht te doen aan het streven van de commissie NiNa om natuurkunde verder te ontwikkelen als het *begrijpen* van de natuur met behulp van formules, en niet als het *invullen* van de juiste formules.

Hoofdstuk 6 gaat nader in op de toetsing in het centraal examen en het schoolexamen.

## 4.5 Conclusies uit de evaluaties

De commissie NiNa streefde een aantal doelen na, zoals beschreven in hoofdstuk 3.

- Het examenprogramma moet voor leerlingen relevant zijn, de vakinhoud moet eigentijds zijn in contexten uit de maatschappij van vandaag.
- Het examenprogramma moet een brede doelgroep van N-leerlingen aanspreken en tevens recht doen aan verschillen tussen leerlingen.
- Het examenprogramma moet diepgang en niveau hebben, afgemeten aan de door leerlingen verworven kennis, inzicht en vaardigheden.
- Het examenprogramma moet uitvoerbaar en toetsbaar zijn.

De realisering daarvan werd in beide evaluaties tegen het licht gehouden.

Uit beide evaluaties konden tijdens het proces verbetervoorstellen worden afgeleid, die deels ook nog tijdens de pilot konden worden uitgevoerd. De evaluatieresultaten zijn mede gebruikt als basis om de concept-examenprogramma's bij te stellen. Daarmee kunnen de examenprogramma's *evidence informed* genoemd worden, binnen de grenzen in tijd en middelen. Hieronder een aantal belangrijke conclusies.

### Positief en negatief

De onderdelen van de nieuwe programma's die het in de pilot goed deden waren:

- aandacht voor de eigentijdse praktijk van de natuurkunde, door gebruik van concepten in contextgebieden die daar zicht op bieden
- aandacht voor de samenhang van natuurkunde met andere bètadisciplines – ook hier speelt de keuze van contextgebieden een rol – en van concepten die daarin relevant zijn
- het combineren van voldoende breedte voor alle leerlingen (*science literacy*) met voldoende diepgang voor wie in een exact vak verder wil
- voldoende eigen karakter van het havo-programma
- de mogelijkheid voor docenten met plezier les te geven, al stond dat onder druk door het gebrek aan tijd dat er zeker in de eerste ronde was.

Bij drie thema's die de commissie NiNa belangrijk vond, werd in de evaluaties van de eerste cohorten te weinig winst geconstateerd. Het ging om:

- uitvoerbaarheid in de tijd
- aandacht voor praktisch werk
- meer enthousiasme voor natuurkunde bij meisjes.

De eerste twee thema's bleken sterk samen te hangen: de docenten wendden het tekort aan tijd in het eerste cohort af op het practicum en onderdelen van het SE. De tegenvallende inzet van practica had ook als oorzaak een te beperkte uitwerking van practica in het pilotlesmateriaal. Dat laatste compenseerden docenten met het inzetten van eigen practica, maar het viel toch tegen dat in het

totaal van de pilotmodules zo weinig domeinspecifieke practica waren ontwikkeld. In het laatste jaar is dat deels gerepareerd, maar de resultaten konden niet in de evaluatie betrokken worden.

Het probleem van tijdgebrek is voor de commissie NiNa aanleiding geweest voor een nadere analyse en een plan van aanpak. Door de projectgroep is in detail geanalyseerd waar de oorzaken van dit probleem konden liggen. Als instrument werd daarbij een lesplanningsformulier gebruikt dat door de NiNa-docenten in onderling overleg voor alle domeinen in het examenprogramma is ingevuld. De opdracht was een 'uitvoerbare' lesplanning op te stellen die laat zien wat in de beschikbare lessen realistisch behandeld kan worden en welke leerling-activiteiten daarin kunnen plaatsvinden. Vooral van belang was welke rol de syllabus en de examenprogramma's daarin speelden, omdat die het kader vormen waarmee auteurs en docenten in de toekomst verder moeten. Op de diagnoses en verbeteringen van de uitvoerbaarheid gaan we hieronder in.

### Uitvoerbaarheid

Het tekort aan behandelingsduur (overladenheid) kon voor een groot deel verklaard worden uit mechanismen die bij iedere pilot spelen: onzekerheid in de interpretatie van de eindtermen leidt tot een ruime uitwerking in het lesmateriaal en een ruime behandeling van dat lesmateriaal voor de klas. Ook gaven docenten aan dat ze soms uit gewoonte op onderwerpen ingingen die niet meer in het nieuwe programma stonden. De optelsom van die mechanismen speelde een belangrijke rol. Dat bleek uit een vergelijking met de oordelen later in de pilot, toen alles zich meer gezet had.

In het tweede cohort gaven de havo-docenten in de besprekingen aan dat er geen uitsluitingen uit de syllabus meer nodig waren, en dat de domeinen in de beschikbare tijd behandeld konden worden. Bij het vwo bleef het te vol. Voor beide schooltypen is in de laatste twee pilotjaren per onderwerp bekeken waar de uitvoerbaarheid binnen de gestelde tijd vast zou lopen. Dat leidde tot suggesties die bij de herziening van de examenprogramma's zijn gebruikt in de vorm van werkversies voor leerplannen. Die leerplannen zijn met de docenten besproken, zodat zij konden aangeven wat er in de programma's, c.q. in de syllabus, zou moeten veranderen om uitvoerbare leerplannen mogelijk te maken.

De oorzaken van overladenheid bij de invoering van een nieuw programma zijn eerder geanalyseerd [35]. De kern van de analyse is dat overladenheid een systeemkenmerk van vernieuwing is en tot stand komt doordat verschillende actoren achtereenvolgens eigen interpretaties en uitwerkingen aan regelgeving en lesmateriaal geven. Het gaat om een keten van beslissingen die uiteindelijk tot

	Factoren
Examenprogramma	Te veel omvattende eindtermen Knellend aantal lesuren t.o.v. het aantal slu
Syllabus en lesmateriaal	Te ruime uitwerking eindtermen in de syllabus Te ruime uitwerking van auteurs
Vorbereiding	Te ruime interpretatie van de stof door docent Onderschatting van de benodigde tijd voor uitvoering
Uitvoering	Afwijking van de lesplanning door docent Niet voldoende tijd voor leerling-activiteiten

**Tabel 4.3** Factoren die bijdragen aan tijdgebrek in de lessituatie.

overladenheid in de klassenpraktijk leiden. Een overzicht van de belangrijkste factoren staat in tabel 4.3.

Zo ontstaat in de klassenpraktijk een tekort aan tijd om alle stof te behandelen, of liever gezegd de stof door leerlingen te laten verwerken.

In de interviews in de SLO-evaluatie kwam nog een effect naar voren dat vermoedelijk ook voor de natuurkunde van het reguliere programma geldt. Veel docenten noemden een tekort aan feitelijke contacturen als beperking van uitvoerbaarheid. Docenten en leerlingen gaven aan dat veel onderdelen van het vak natuurkunde zich niet lenen voor zelfwerkzaamheid, terwijl hun school bij de omrekening van studielasturen naar contacttijd een gelijke sleutel voor alle vakken hanteert. Scholen met meer contacttijd per studielastuur dan de gemiddelde sleutel die NiNa hanteerde, namelijk één klokuur per twee slu, gaven overladenheid minder als probleem aan dan de andere scholen.

Specifiek voor nieuwe natuurkunde speelt nog een ander effect, namelijk dat natuurkunde nu voor het eerst met de 60/40-verdeling over CE en SE werkt. De andere natuurwetenschappelijke vakken hanteren die verdeling al in de reguliere programma's, bij de reguliere natuurkunde is die nog 75/25. De CE-specifieke uitwerkingen voelen dat het hardst: de syllabus en de centrale examens. Ook in dat licht verbaast het niet dat in de interne evaluatie op diverse plekken juist de syllabus als mogelijkheid genoemd wordt om de inhoud te beperken.

### Les voor het invoeringstraject

De analyse hierboven verklaart voor een belangrijk deel de overladenheid die zich tijdens de pilot voordeed, als gevolg van een complex van factoren. Het is verleidelijk te denken dat de overladenheid vooral gelegen is in de wijze waarop

de curriculumontwikkeling in de pilot is verlopen en dat deze voorkomen had kunnen worden door een betere procesbeheersing. De belangrijkste conclusie van de analyse is echter dat deze knelpunten onvermijdelijk zijn. Onderwijs is een complex systeem met allerlei gekoppelde actoren en invloeden dat niet vanuit één centraal orgaan aangestuurd kan worden. Deze dynamiek is ook van belang bij landelijke invoering, al kunnen daarbij nu bepaalde valkuilen vermeden worden. Voor dat doel zullen ook de evaluatiegegevens uit de pilot over modules en ondersteuning van docenten beschikbaar zijn voor wie bij de invoering betrokken zijn.

### Meisjes

Over de betrokkenheid van meisjes is uitvoerig met de docenten gesproken. Blijkbaar heeft het opnemen van domeinen met contextgebieden in de gezondheidszorg, sport, aarde en klimaat en het zonnestelsel onvoldoende effect. Al waren er individuele docenten die juist met die domeinen positieve ervaringen hebben, zoals bijvoorbeeld beschreven in het NVOX-interview met docenten Jel Klaassen en Harm Meek [36]. Algemeen was de verklaring dat de meisjes-onvriendelijkheid van de natuurkunde buiten de specifieke onderwerpskeuze gezocht moet worden. Docenten noemden stereotype beelden die ook in onderzoek naar het profielkeuzegedrag van meisjes en hun affiniteit voor bèta en techniek worden beschreven [21]. Zij noemden processen in de klas, waar meisjes in gemengde groepen niet uit de verf komen. Sommige docenten wezen op het rommelige karakter van een pilot, waar meisjes over het algemeen meer last van hebben dan jongens. Ook wezen de docenten op het feit dat de vragen die in de evaluaties gesteld waren, niet ook aan leerlingen met een regulier programma waren voorgelegd. Er is dus geen nulmeting om het oordeel van meisjes over het vak natuurkunde op de NiNa-scholen tegen af te zetten.

Alles bij elkaar kunnen we constateren dat er te weinig aanwijzingen zijn om te oordelen of de NiNa-programma's over het algemeen geslaagd zijn in hun doelstelling de meisjes enthousiaster te krijgen dan in reguliere programma's – een paar positieve individuele ervaringen daargelaten. Het is ook te optimistisch van een examenprogramma alleen te verwachten dat daarin de oplossing ligt van een hardnekkig cultureel probleem. Het examenprogramma kan slechts condities bieden die bevorderend kunnen werken voor de oplossing van dit probleem. Maar de sleutel moet toch vooral gezocht worden in de leeromgeving en het ouderlijk milieu [21].

### Uitvoerbaarheid per domein

De uitvoerbaarheid per domein is intensief geanalyseerd door de projectgroep NiNa, die – getriggerd door de tussenresultaten van de externe evaluatie begin

2009 – groepen docenten per domein naar een gedifferentieerd oordeel heeft gevraagd. Proces en uitkomsten zijn al beschreven in het gedeelte over interne evaluatie hierboven. Hieronder staan de belangrijkste conclusies.

### Examenprogramma havo

De eindtermen van de (sub)domeinen B2 (Medische beeldvorming), E (Aarde en heeal), F (Menselijk lichaam) en G (Meten en regelen) lijken haalbaar en worden door de docenten als zinvol ervaren. De evaluaties hebben geen aanwijzingen opgeleverd van overladenheid van het programma. Wel dienen docenten bij de (sub)domeinen E2 (Aarde en klimaat) en F (Menselijk lichaam) vooraf keuzes te maken. Deze SE-domeinen zijn nog niet in specificaties omschreven en bieden ruimte aan allerlei mogelijke uitwerkingen; het voorbeeldmateriaal had daarin te weinig afgebakend. Verder is het subdomein G1 (Gebruik van elektriciteit) niet goed contextrijk te behandelen zonder de combinatie met keuzesubdomein G2 (Technische automatisering). Ook het subdomein B1 (Informatieoverdracht) biedt weinig tijd voor de bedoelde contexten, maar dat kan verholpen worden door alles rond resonantie uit de syllabus weg te laten – een keuze, die ten koste van muziekinstrumenten als context gaat.

In de docentenbijeenkomsten is bevestigd dat het programma binnen de beschikbare uren uitvoerbaar is. Er waren vanaf het tweede pilotexamenjaar geen uitsluitingen uit de syllabus meer nodig. De overladenheid die in het eerste uitvoeringscohort was geconstateerd, kon worden toegeschreven aan kinderziektes in het eerste-versie-materiaal en onwennigheid bij de uitvoering. De docenten wilden in principe nog wel meer ruimte, voor meer practicum en meer inspelen op actuele contexten, maar de discussie over wat er dan verder uit het programma verwijderd zou moeten worden leverde geen resultaten op.

Bij het domein H (Natuurkunde en technologie) is voorgesteld, het CE-deel ervan te beperken en de rest als onderdeel van het schoolexamen te toetsen. Het motief hiervoor was niet het terugdringen van tijdsoverschrijding, maar een betere uitsplitsing van inzicht in de samenhang tussen natuurkunde en techniek enerzijds, en ontwerpactiviteiten anderzijds.

### Examenprogramma vwo

De eindtermen van de geëvalueerde domeinen lijken haalbaar en worden door de docenten als zinvol ervaren. Wel dient er voor de uitvoerbaarheid in de tijd op syllabusniveau opnieuw gekeken te worden naar de uitwerking van de domeinen C (Beweging en wisselwerking) en D (Lading en veld). Ook hier de kanttekening dat B1 (Informatieoverdracht) en D1 (Elektrische systemen) op syllabusniveau zoveel concepten bevatten, dat er niet veel ruimte meer is voor de



bedoelde contexten. In het algemeen bleken de voorstellen die in de docentenbijeenkomsten naar voren kwamen om overladenheid te voorkomen zich vooral op het niveau van de syllabus te bevinden, in de zin van reductie van het aantal concepten. Verder hebben pilotdocenten voorgesteld het subdomein E3 (Kernen deeltjesprocessen) te verplaatsen van het CE naar het SE, en tegelijk van het subdomein F1 (Quantumwereld) een CE-onderwerp te maken. De commissie NiNa heeft dit voorstel overgenomen. Er zijn ook een aantal kleinere wijzigingen aangebracht die verder in hoofdstuk 5 worden besproken.

De docenten wilden ook voor het vwo nog wel meer ruimte, maar ook hier leverde de discussie over wat er dan verder uit het programma verwijderd zou moeten worden geen resultaten op. Een terugkerend dilemma was bijvoorbeeld de vraag: willen we minder informatica-achtige toepassingen of minder concepten rond elektromagnetisme (met name inductie)?

## 4.6 Externe communicatie

Niet direct bij het project betrokken docenten en andere geïnteresseerden zijn op diverse wijzen geïnformeerd over de ontwikkelingen. Dat heeft tot verschil-

lende reacties en adviezen geleid. De volgende platforms hebben daarin een rol gespeeld:

- een klankbordgroep, die op initiatief van de commissie NiNa is ingesteld om reacties te verzamelen uit de wereld van onderzoek, technologie, politiek, bedrijfsleven en onderwijsverzorging (de samenstelling ervan staat in bijlage 4)
- het veld van natuurkundedocenten, waarmee op diverse manieren is gecommuniceerd:
  - in veldconsultaties over het visiedocument, georganiseerd door de commissie NiNa
  - in veldconsultaties over de voortgangresultaten, georganiseerd door de sectie natuurkunde van de Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen (NVON)
  - op de jaarlijkse conferenties van de Werkgroep Natuurkunde Didactiek (WND)
  - via het tijdschrift *NVOX* van de NVON
- de Nederlandse natuurkundigen, via de jaarlijkse Fysica-conferentie en het *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde (NTvN)*
- onderwijsdirecteuren natuurkunde en geneeskunde in het wo en organisaties voor science-onderwijs in het hbo.

Daarnaast was er structureel overleg met de vernieuwingscommissies en stuurgroepen van de andere bètavakken (het bèta5-overleg), zowel over organisatorische zaken als rond inhoudelijke afstemming.

### Klankbordgroep

De klankbordgroep is vier keer bij elkaar gekomen. Op de agenda stond in 2005 vooral het concept-visiedocument, in 2006 de concept-examenprogramma's, in 2007 de werkversie van de syllabus en enige voorbeelden van testmodules, en in 2010 de herziene examenprogramma's en de adviezen over de invoering.

Naast praktische discussies en concrete tips op onderdelen kwamen de volgende meer fundamentele overwegingen aan de orde.

- Moeten eindtermen zich tot basiskennis beperken die docenten verder naar eigen inzicht uitwerken, of moeten ze ook toepassingsgebieden benoemen waarin die basiskennis gebruikt moet worden?
- Natuurkunde is tegenwoordig in hoge mate een *enabling science* ten behoeve van andere natuurwetenschappen, in het onderzoek vervagen de grenzen daarmee. Er is discussie over de vraag hoever de eindtermen om die reden de aansluiting met andere natuurwetenschap moeten voor-

schrijven, en vooral of dat niet ten koste zou kunnen gaan van het beeld van natuurkunde als zelfstandig vak.

- Benadruk dat de kwaliteit van het natuurkundeonderwijs staat of valt met voldoende leraren van voldoende niveau; een goed examenprogramma kan faciliteren, maar is machteloos bij een lerarentekort.
- Splits het programma niet in varianten voor NG en NT, veel scholen zijn daar te klein voor. Keuzedomeinen in het SE-deel kunnen NG- en NT-leerlingen tegemoet komen.
- Keuzestof kan ten koste gaan van de informatie die het vervolgonderwijs heeft over de vooropleiding natuurkunde, maar als die keuzestof in het SE-deel zit, is dat effect beperkt.
- De eindtermen moeten naar hun aard ruim geformuleerd zijn, maar daardoor is er geen bescherming tegen overladenheid bij de uitvoering. De verantwoordelijkheid voor de uitvoerbaarheid verschuift daardoor voor een deel naar de syllabuscommissie.
- Wees erop bedacht dat docenten verwijderde onderwerpen niet vanzelf weglaten als zij passen in een nieuw domein dat lijkt op een bestaand domein.

### Consultaties en discussies met natuurkundedocenten

In de eerste jaren overheerste onder natuurkundedocenten de zorg dat de commissie Nieuwe Natuurkunde het veld een nieuwe didactiek zou willen voorschrijven. In de loop van de jaren kon de commissie NiNa deze zorg goeddeels wegnemen. Daarbij speelde een rol dat de samengestelde opdracht aan de commissie NiNa tot verwarring leidde, die niet snel genoeg herkend is. Die opdracht is immers een combinatie van de ontwikkeling van adviesregelgeving, de examenprogramma's, en de taak om van die examenprogramma's de uitvoerbaarheid in de praktijk te toetsen. Voor die praktijktest moesten lessenseries worden ontwikkeld. Die spraken uiteraard meer tot de verbeelding dan abstracte eindtermen. Auteurs en pilotdocenten gaven hun ervaringen ook weer in het blad *NVOX* en tijdens WND-conferenties. Dat voedde het beeld dat de moduleboeken het natuurkundeonderwijs van straks gingen worden. In de discussies met docenten, tijdens consultaties en in de tijdschriften, is consequent aangegeven dat het, wat de beoogde wetgeving betreft, uitsluitend om de examenprogramma's gaat.

Een tweede punt van zorg in het veld was dat de context-conceptbenadering die ook in de opdracht aan de commissie NiNa wordt genoemd, een specifieke didactische benadering is die bovendien tot in de verplichte examenprogramma's zou doordringen. De discussie leidde tot een duidelijk onderscheid bij de commissie NiNa tussen:



- *contextgebieden* die om inhoudelijke redenen gewenst zijn in de doelstellingen van het natuurkundeonderwijs, en om die redenen in de examenprogramma's zijn opgenomen: de natuurkunde van levende systemen, van aarde en atmosfeer, van zonnestelsel en heelal, van medische toepassingen, van informatieoverdracht
- *contexten* zoals die in de lespraktijk gebruikt worden om natuurkundige begrippen en modellen 'aan het werk' te zien, zoals een verkeerssituatie, de beweging van een komeet, een golfbak, een buigingsrooster; zulke contexten zijn van didactisch belang om leerlingen te interesseren, en ze zijn van kennistheoretisch belang omdat ze laten zien hoe fysische concepten in uiteenlopende contexten kunnen worden gebruikt; ze maken geen deel uit van de examenprogramma's en daarmee niet van de wetgeving.

In het voorbeeldmateriaal zijn uiteraard keuzes gemaakt voor bepaalde contexten. Maar net als de andere kenmerken van dat materiaal zijn die keuzes niet verplichtend voor het veld, alleen maar illustratief. Dat neemt niet weg dat de commissie NiNa er in de discussies met het veld voor is blijven pleiten de wend-

baarheid van fysische concepten als kenmerk zichtbaar te maken voor leerlingen, en met hen te oefenen, juist door die concepten in verschillende contexten aan de orde te laten komen. Daarover is overeenstemming met het veld, en ook over het feit dat het niet aan de commissie NiNa is, voor te schrijven om welke contexten het dan zou moeten gaan, maar aan de docent.

Een derde punt van zorg betreft de reductie van het aantal natuurkundige concepten dat voor het CE verplicht is. Deze zorg bleek bij analyse goed te herleiden tot het feit dat het aantal *uren* voor natuurkunde dat met ingang van 2007 geldt, wordt vergeleken met die voor natuurkunde 1 en 2 in het 1998-programma. In die vergelijking is er sprake van een reductie (in vergelijking met natuurkunde 1 is er een toename). Verder is het percentage eindtermen voor het CE teruggebracht van 75 % tot 60 %. Veel docenten vrezen dat SE-eindtermen niet dezelfde serieuze behandeling krijgen als de CE-eindtermen, en dat leidt tot een verlies van het aantal begrippen dat serieuze behandeling krijgt. Deze inkrimping wordt sterk gevoeld door constructeurs van centrale examens, omdat zij nu met een veel beperktere hoeveelheid begrippen dan voorheen examens van dezelfde omvang als vroeger moeten maken. De commissie NiNa heeft aangegeven deze zorg goed te begrijpen, maar zij kan er binnen haar mandaat niets aan veranderen, het zit in de randvoorwaarden die nu ook voor het vak natuurkunde gelden. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de consequenties van deze regelgeving.

Als vierde punt noemen we de discussie over de werkversie van de syllabus, die sommige docenten, met name examenconstructeurs, maar ook pilotdocenten en NiNa-auteurs, op bepaalde punten onduidelijk vinden, of te beperkend. Deze discussie heeft deels al tot bijstellingen van de werkversie van de syllabus geleid, vastgesteld door de syllabuscommissie, in goed overleg met de commissie NiNa, het CvE, het Cito en de pilotdocenten. Andere punten worden door de syllabuscommissie meegenomen in de ontwikkeling van een nieuwe versie van de syllabus, die ook aansluit bij de advies-examenprogramma's voorgesteld in deze rapportage.

### Consultaties van en discussies met natuurkundigen

Vanuit de natuurkundegemeenschap heeft de NNV-onderwijscommissie de volgende wensen geuit met betrekking tot de nieuwe programma's:

- zorg bij het vak natuurkunde voor voldoende wiskundige basis wat betreft wiskunde als gereedschap én wiskunde als taal
- hou het aantal onderwerpen beperkt ten gunste van de diepgang; de gevolgen van een overladen programma zullen de interesse van leerlingen in negatieve zin beïnvloeden bij gebrek aan afwisseling en diepgang
- zorg voor meer practica

- zorg voor voldoende professionaliseringsmogelijkheden voor docenten, vanwege de nieuwe onderwerpen
- besteed aandacht aan golfeigenschappen van licht.

Positief oordeelde de onderwijscommissie NNV over de volgende punten:

- de voorgestelde vernieuwing sluit meer aan bij moderne natuurkunde, dat past in het perspectief van de NNV
- het programma biedt zicht op een voldoende breed spectrum van studies en beroepen waar natuurkunde een belangrijke rol in speelt
- het programma is redelijk gebalanceerd binnen de ruimte die er is
- er is een duidelijk verschil tussen havo en vwo
- het is goed dat NiNa geen specifieke didactiek voorschrijft
- terecht constateert de commissie NiNa dat de docent het verschil maakt.

Of het examenprogramma voldoende geprofileerd is om leerlingen te interesseren voor een natuurkunde-studie valt niet goed te beoordelen. Dat hangt af van de uitwerking in lesmateriaal en vooral van de kwaliteit van docenten. Ook de afwisseling in het onderwijsaanbod en de ruimte die daarbij geboden wordt voor experimenteel onderzoek en ontwerp zullen van invloed zijn. Gewezen werd ten slotte op de negatieve gevolgen van een overladen programma op de interesse van leerlingen.

### KNAW

De Raad voor Technische Wetenschappen, Wiskunde en Informatica, Natuur- en Sterrenkunde en Scheikunde van de KNAW (de TWINS-Raad) heeft niet naar de separate vakprogramma's gekeken. De Raad heeft in september 2010 positief geadviseerd over het kader voor samenhang tussen de bètavakken zoals de taakgroep van het overleg van vernieuwingscommissies dat had opgesteld.

### Adviezen van vervolgopleidingen

De Onderwijscommissie Geneeskunde (OCG) geeft de volgende reacties op het naar aanleiding van de pilot herziene examenprogramma:

- Het voorgestelde adviesexamenprogramma natuurkunde biedt een goede aansluiting op de opleiding geneeskunde.
- Het programma biedt zover de OCG dit kan beoordelen, voldoende zicht op wat van een beginnend student in deze opleiding, die het profielvak natuurkunde gevolgd heeft, aan kennis en vaardigheden verwacht mag worden.
- Het nieuwe profielvak natuurkunde zal, net als nu het geval is, zeker een toegangseis zijn voor de studie geneeskunde.

De opleidingsdirecteuren natuurkunde van de universiteiten geven onderstaande punten als reactie.

- Het NiNa-programma geeft vwo-scholieren een veel beter beeld van de natuurkunde en de sterrenkunde dan het oude programma; voor havo-scholieren zal dat ook gelden en in die zin mag verwacht worden dat het NiNa-programma instroomverhogend zal werken.
- De NiNa-aanpak 'concepten vanuit contexten' is aantrekkelijk voor de brede havo/vwo-populatie, maar is niet geheel congruent met het universitaire natuurkundeonderwijs; van aansluitproblemen op de universiteit voor de eerste lichting NiNa-vwo-ers is hun echter niets bekend.
- Voor de natuur- en sterrenkunde-opleidingen gelden de attitude en de wiskundige vaardigheden zoals die op het vwo aan bod komen als belangrijke voorspellers van studiesucces. Met name die vaardigheden staan nu al onder druk in het reguliere programma. Uitgevers en docenten die straks het NiNa-programma moeten vormgeven, doen er goed aan voldoende aandacht aan die vaardigheden te besteden.
- Onderschreven wordt de visie van de commissie Nieuwe Natuurkunde dat invoering van het nieuwe programma in de jaren 2011-2013 slechts kan slagen bij voldoende monitoring en kwaliteitsbewaking door ter zake kundigen, in samenwerking tussen voortgezet en wetenschappelijk onderwijs.
- Bepleit wordt in het invoeringstraject de component wiskundige vaardigheden aandacht te geven in een afstemmingstraject met het te ontwikkelen nieuwe wiskunde-examenprogramma, en te voorzien in adequate funding van dit invoeringstraject.

Van overige vervolgopleidingen zijn nog geen reacties op de voorstellen binnen. Zij zullen beschikbaar zijn voor de betrokkenen bij de invoeringsactiviteiten.

# 5 Examenprogramma's havo en vwo

## *The context of physics is science*

Hoofddoel van het schoolvak natuurkunde is het begrijpen en verklaren van natuurkundige verschijnselen, met inbegrip van de daarvoor vereiste technische en wetenschappelijke competenties. De commissie Nieuwe Natuurkunde heeft ervoor gekozen meer dan voorheen nadruk te leggen op *science literacy*, en te werken vanuit de visie dat het schoolvak natuurkunde een beeld moet geven van het vak natuurkunde in het geheel van de natuurwetenschappen en de maatschappelijke toepassingen in de moderne samenleving. In dit hoofdstuk wordt deze visie uitgewerkt in advies-examenprogramma's voor havo en vwo.

## 5.1 Keuze van eindtermen

### Kernconcepten

In de concept-contextbenadering vormen concepten de geabstraheerde, breed toepasbare basis in het kennismodel. Bij die kennis gaat het zowel om procedurele kennis (bijvoorbeeld de eisen te stellen aan een goed ontwerp of experiment), als om abstracte natuurkundige kennis die in één of meer concepten kan worden uitgedrukt. De gekozen concepten dienen gezamenlijk de breedte van de leerstof goed te overdekken en in een verscheidenheid van contexten toegepast te kunnen worden. Daarbij moet het aantal concepten niet te groot zijn, maar de concepten moeten ook weer niet te globaal zijn en daarmee onbruikbaar voor indeling van de leerstof. Criteria waaraan een concept voor de keuze in een examenprogramma moet voldoen zijn:

- een brede verklarende en/of organiserende functie
- deel van het essentiële vocabulaire van de natuurkunde
- betekenis in een breed scala van contextgebieden.

Om de conceptuele samenhang tussen de natuurwetenschappelijke disciplines tot uitdrukking te brengen, hebben de vernieuwingscommissies een aantal

### Natuurwetenschappelijke kernconcepten

Systeem	Materie
Schaal	Ruimte
Verandering	Tijd
Energie	Wisselwerking

**Tabel 5.1** Gemeenschappelijke kernconcepten biologie, natuurkunde, scheikunde, en NLT.

gemeenschappelijke kernconcepten geïdentificeerd [26]. Daarbij is een onderscheid gemaakt tussen overkoepelende kernconcepten, die in alle vakken expliciet gehanteerd worden, en funderende kernconcepten; zie tabel 5.1. Deze lijst van gemeenschappelijke kernconcepten wordt door de vernieuwingscommissies gezien als een conceptuele basis voor typering van eigenheid van en samenhang tussen de natuurwetenschappelijke disciplines.

Concepten zoals hier bedoeld, bijvoorbeeld het concept energie, kunnen niet in een simpele definitie gevangen worden. Bovendien, deze concepten staan niet op zichzelf maar vormen een raamwerk voor inzicht in een heel kennisdomein. De betekenis wordt gaandeweg duidelijk door gebruik in diverse contexten, ingebed in een doordacht didactisch kader. Daaruit volgt ook dat leerlingen niet op een bepaald moment toe zijn aan bepaalde concepten maar dat leerlingen in de lesopbouw toegroeien naar inzicht in deze abstracte begrippen. De leerlingen moeten leren appreciëren dat deze concepten verbeeldingen van de menselijke geest zijn en niet vooraf door de natuur gegeven, of te vatten in een eenvoudig voorschrift voor het gebruik.

### Kennisdomeinen en contextgebieden

Omdat de meeste natuurkundige concepten te abstract zijn om te dienen als ordening voor onderwijs, heeft de commissie Nieuwe Natuurkunde de inhoud van de examenprogramma's geordend in kennisdomeinen en contextgebieden. Denken op het niveau van concepten is een noodzakelijke voorwaarde voor het verwerven van inzicht in een kennisdomein. Concepten krijgen anderzijds betekenis in contexten. Op het niveau van het curriculum gaat het daarbij om een samenhangend geheel van situaties, aangeduid als contextgebieden, die verbonden zijn met één of meer kennisdomeinen. Vanuit de in hoofdstuk 3 omschreven visie en op grond van de ervaringen in de pilot zijn deze kennisdomeinen en contextgebieden geselecteerd op grond van hun funderende én functionele belang.

Contextgebieden havo	Contextgebieden vwo
Aarde en klimaat	Astrofysica
Energieomzettingen	Biofysica
Informatieoverdracht	Energieomzettingen
Materialen	Geofysica
Medische beeldvorming	Informatieoverdracht
Menselijk lichaam	Medische beeldvorming
Zonnestelsel en heelal	Quantumwereld

**Tabel 5.2** Contextgebieden in de advies-examenprogramma's nieuwe natuurkunde.

In de opzet van het advies-examenprogramma heeft de commissie Nieuwe Natuurkunde ervoor gekozen om een aantal nieuwe onderwerpen op te nemen, in contextgebieden uit de maatschappij en de wetenschap van vandaag. Voorbeelden daarvan in het voorgestelde advies-examenprogramma zijn: astrofysica, informatieverwerking, (bio)medische en geofysische toepassingsgebieden en specifiek voor havo: materiaalkunde. Gelet op het belang voor het vervolgonderwijs, zowel in de exacte vakken als daarbuiten, en het belang van algemene natuurkundige vorming, worden deze contextgebieden om inhoudelijke redenen voorgeschreven in de examenprogramma's.

De gekozen contextgebieden weerspiegelen de snelle ontwikkeling van kennis in de kennissamenleving en laten zien wat de maatschappelijke betekenis is van het vak natuurkunde. In bijvoorbeeld het contextgebied Energieomzettingen kan natuurkundige kennis gekoppeld worden aan duurzaamheid en energiebesparing. Voor leerlingen kunnen contextgebieden relevantie geven aan de te behandelen stof en de motivatie verhogen [33]. De relatie met wat de beroepsbeoefenaren van een discipline doen wordt ook duidelijker voor leerlingen. Het geeft een zekere legitimatie van de keuze van leerstof als deze gekoppeld is aan een bestaande en actuele handelingspraktijk [37].

In de advies-examenprogramma's zijn de contextgebieden niet nader gespecificeerd. Dat wordt overgelaten aan de syllabuscommissie (voor zover het de examendomeinen van het CE betreft), de methodeschrijvers en de docenten. Binnen de contextgebieden kunnen verschillende aspecten van het vak natuurkunde worden uitgewerkt in contexten die zijn ontleend aan de actualiteit van vandaag. Geordend naar situaties waar contexten zich op richten kan onderscheid gemaakt worden tussen leefwereldcontexten, beroepscontexten, toepassingsgerichte en technologische contexten, en onderzoekscontexten. Deze

Typering contexten	
Leefwereld	Situaties uit het dagelijks leven die aansluiten bij de belevingswereld van leerlingen.
Beroep	Situaties ontleend aan een maatschappelijke functie waarbij natuurkundige kennis wordt gebruikt om producten en diensten te leveren.
Toepassing en technologie	Situaties waarin de toepassingen van de natuurkunde in andere wetenschappen en de technologie centraal staan. Deze contexten en de daarmee geassocieerde handelingspraktijken zijn met name functioneel voor het havo-onderwijs.
Onderzoek	Situaties die zijn verbonden met de wetenschappelijke disciplines waaruit de natuurwetenschappelijke schoolvakken zijn afgeleid. Doel is dat leerlingen een beeld krijgen van het huidige natuurkundige onderzoek. Deze contexten kunnen laten zien dat natuurkundig onderzoek spannend is en volop in beweging.

**Tabel 5.3** Typering van contexten naar verschillende situaties waarin natuurkunde een rol kan spelen.

typen contexten zijn niet voor alle leerlingen in dezelfde mate van belang, en het belang is ook afhankelijk van het schooltype en van de fase in hun schoolloopbaan. De leraar kan hierin een keuze maken die aansluit bij de interesses van de leerlingen.

### Samenhang natuurvakken

Een aantal contextgebieden, zoals Materialen en Biofysica, maken het mogelijk om de samenhang binnen en tussen de natuurwetenschappelijke vakken te versterken. Veel interessante toepassingsgebieden zijn bijna per definitie multidisciplinair, want in de praktijk worden situaties zelden compleet beschreven door een enkele discipline. De vernieuwingscommissies voor de natuurwetenschappelijke vakken vinden afstemming tussen de nieuwe examenprogramma's van groot belang, omdat zo een kader ontstaat waarbinnen samenhangend natuurwetenschappelijk onderwijs tot stand kan komen. Het stelt leerlingen in de gelegenheid zich bewust te worden van overeenkomsten in natuurwetenschappelijke kennis en vaardigheden en faciliteert transfer van kennis en vaardigheden tussen de verschillende vakken. Ook kunnen interdisciplinaire contextgebieden een actueel beeld geven van de rol van natuurwetenschappen en technologie in de samenleving en van de daarmee gelieerde beroepen. De concept-contextbenadering is daarmee een manier om samenhang binnen en tussen de nieuwe examenprogramma's te realiseren.

Door de vernieuwingscommissies zijn afspraken gemaakt over het kader waarbinnen de samenhang tussen de nieuwe examenprogramma's voor de natuurwetenschappelijke vakken zichtbaar wordt gemaakt. In dit kader zijn contextgebieden gegroepeerd in een aantal maatschappelijke en wetenschappelijke thema's die zijn gekozen uit situaties waarin natuurwetenschappen en techniek een rol spelen en die voor het dagelijks leven van belang zijn. De samenhang kan op scholen op module- of lesniveau verder worden uitgewerkt in een aantal concrete onderwerpen. In het advies hierover van de vernieuwingscommissies wordt een relatie gelegd tussen deze thema's met de contextgebieden in het advies-examenprogramma natuurkunde en worden mogelijke voorbeelden van een uitwerking gegeven [26].

### Hands on

Traditioneel legt het natuurkundecurriculum meer nadruk op begrippen en principes die gebruikt worden in de vakdiscipline en de vereisten die de vervolgstudies in bèta en techniek stellen, dan inzicht in het wetenschappelijke proces. Bij de doelstelling van *science literacy* gaat het niet alleen om kennis en toepassing van die kennis, maar ook om inzicht in de manier waarop natuurwetenschappelijke kennis tot stand komt in onderzoek en hoe de betrouwbaarheid van deze kennis beoordeeld kan worden. De uitkomst van het onderwijsproces zou moeten zijn dat leerlingen kennis verwerven over de begrippen en principes die gebruikt worden in de vakdiscipline (*learning science*), over de methoden die gebruikt worden bij het uitvoeren van wetenschappelijk onderzoek (*doing science*), en dat leerlingen inzicht verwerven in vragen die te maken hebben met de aard en betekenis van wetenschap voor henzelf en de maatschappij (*learning about science*) [38, 39].

Inzicht krijgen in de manier waarop wetenschap werkt en hoe wetenschappelijke verklaringen tot stand komen, betekent dat leerlingen de gelegenheid krijgen de voor de natuurwetenschappen karakteristieke denk- en werkwijzen toe te passen binnen de grenzen die een schoolcurriculum daaraan stelt. Leerlingen moeten de belangrijkste kenmerken van wetenschappelijk onderzoek leren herkennen en ze moeten zich een voorstelling kunnen maken van de soort van antwoorden die men kan verwachten van de wetenschap. Dat vereist inzicht in de manier waarop onderzoeksgegevens verzameld worden door waarnemingen, modelstudies en experimenten, gebruikt worden voor het opstellen van theorieën en modellen, en het toetsen van verklaringen. Verklaringen kunnen weer verworpen worden als die niet met de waargenomen feiten kloppen.

Het nieuwe natuurkundeonderwijs biedt leerlingen op havo en vwo meer dan tot nu toe ruimte om de natuurkunde te leren door deze te beoefenen; dat kan

Actieve exploratie	Theoretische reflectie
Waarnemen	Redeneren
Meten	Reduceren
Experimenteren	Analyseren
Berekenen	Ordenen
Simuleren	Interpreteren
Modelleren	Benaderen
Ontwerpen	Schatten
Rapporteren	Hypothetiseren

**Tabel 5.4** Vaardigheden die centraal staan in de natuurkunde.

experimenteren zijn, voorspellen met modelstudies, of iets ontwerpen om zich zo de denk- en werkwijze van de natuurkunde eigen te maken. Hoe dit vorm krijgt in het schoolcurriculum is geen zaak van het examenprogramma en wordt daarin niet geregeld. Het goed kunnen uitvoeren van deze activiteiten vereist echter een aantal kernvaardigheden van de natuurkunde die wel in het advies-examenprogramma zijn vastgelegd. Er is een apart domein Onderzoek en ontwerp opgenomen dat inhoudelijk verbonden is met de andere examendomeinen. Hierdoor wordt duidelijk gemaakt dat activiteiten als onderzoeken, met modellen werken [40] en ontwerpen geen aparte status hebben, maar een integraal onderdeel zijn van alle domeinen die tot het examen behoren; *knowing the discipline is knowing the practice*.

### Onderscheid tussen havo en vwo

De havo- en vwo-examenprogramma's zijn twee onderscheiden programma's met een verschillende inhoud. Het onderscheid tussen de twee examenprogramma's wordt bepaald door het verschil tussen havo- en vwo-leerlingen en het verschil in nadruk van de hbo- en wo-vervolgopleidingen: beroepsgericht versus wetenschappelijk. Voor leerlingen op havo en vwo weerspiegelen deze verschillen in gerichtheid zich ook in verschillen in motivatie. Vwo-leerlingen worden veelal gemotiveerd door nieuwsgierigheid, het werken met generalisaties, het ontwikkelen van modellen en de wens een fundamenteel begrip te verwerven van de wereld om hen heen. Havo-leerlingen laten zich in het algemeen motiveren door doen, het gebruiken van modellen, het plezier van dingen creëren en de wens om praktische oplossingen uit te werken voor concrete (menselijke) problemen. De havo-leerling gebruikt wiskunde vooral als gereedschap, voor de vwo-er is wiskunde ook een taal. Dit verschil in motivatie tussen havo- en vwo-leerlingen zal aandacht moeten krijgen bij elk facet van de nieuwe examenprogramma's.

Op het niveau van doelstellingen zijn de examenprogramma's voor havo en vwo gebaseerd op dezelfde uitgangspunten. In de eindtermen moet het verschil tussen het havo- en vwo-programma tot uitdrukking komen in de mate van uitdaging voor leerlingen en de aard van de gekozen contexten. Ook de balans tussen de aandacht voor toegepaste en fundamentele contexten en concepten kan verschillen. Zowel havo- als vwo-leerlingen hebben baat bij contextgebieden die hen aanspreken op hun respectievelijke kwaliteiten. Naast beroepsgerichte contextgebieden voor beide groepen kunnen de contextgebieden in het havo-examenprogramma meer maatschappelijk en toepassingsgericht zijn en voor vwo meer fundamenteel en onderzoeksgericht. Dit verschil tussen havo- en vwo-orientatie zal ook aandacht moeten krijgen bij de nadere uitwerking van de examenprogramma's in syllabi, handreikingen en de didactiek [41, 42].

### Kennisdomeinen havo

De advies-examenprogramma's nieuwe natuurkunde worden beschreven in globale domeinen en eindtermen die de nadere uitwerking door de syllabuscommissie, examenmakers, methodeschrijvers en docenten veel vrijheid bieden. Hieronder wordt bij ieder domein een korte beschrijving van de centrale gedachte gegeven. Niet alle (onderdelen van de) domeinen zijn verplicht; zie paragraaf 5.2.

Voor het havo-examenprogramma zijn de kennisdomeinen met hun beschrijving weergegeven in tabel 5.5. In vergelijking met het huidige programma (zie voor een uitgebreid overzicht paragraaf 5.3) is er meer nadruk op actuele contextgebieden. Bijvoorbeeld, in het domein Beeld- en geluidstechniek wordt een verband gelegd tussen natuurkundige principes en de dagelijkse wereld van de communicatie. Hierdoor kunnen leerlingen een beeld krijgen van de ontwikkeling en toepassing van natuurkundige kennis in de leefwereld en technologische beroepssectoren. Doordat leerlingen in deze contextgebieden betekenisvolle activiteiten uitvoeren, raken zij vertrouwd met relevante handelingspraktijken. De maatschappelijke toepassingen en implicaties van techniek worden zichtbaar gemaakt in de contextgebieden en in het domein Natuurkunde en technologie.

Bij Beweging en energie wordt een meer conceptuele leerlijn beoogd met toepassingen in meerdere contextgebieden. Het domein Aarde en heelal sluit deels aan bij het toenmalige ANW-domein Zonnestelsel en heelal en geeft havo-leerlingen een inzicht dat in het heelal dezelfde natuurkundige principes van toepassing zijn als op aarde. Het domein Menselijk lichaam geeft ruimte aan een uitwerking in het contextgebied Sport waar veel lesmateriaal voor beschikbaar is.

Havo-domein	Omschrijving
B. Beeld- en geluidstechniek	<ul style="list-style-type: none"> <li>Het gaat om fysische en technische aspecten van communicatie door golven in de context van informatieoverdracht. De leerlingen doen praktische ervaring op met signaalverwerking en data-analyse. De brede toepasbaarheid wordt geïllustreerd met voorbeelden uit de biomedische praktijk. Praktische aspecten van radioactiviteit en het gebruik van ioniserende straling komen daarbij aan de orde. Leerlingen kunnen hun kennis verdiepen in het keuzeonderdeel Optica.</li> </ul>
C. Beweging en energie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Het kwantitatieve verband tussen kracht en beweging in diverse toepassingen komt aan de orde voor constante krachten. Energie en arbeid worden behandeld in de context van energieomzettingen. Leerlingen gebruiken wiskundige en computervaardigheden bij het weergeven en berekenen van krachten, bewegingen en energieomzettingen.</li> </ul>
D. Materialen	<ul style="list-style-type: none"> <li>In dit domein worden de fysische eigenschappen van stoffen en materialen behandeld in de context van technische en maatschappelijke toepassingen. In voorbeelden wordt geïllustreerd hoe resultaten van fundamenteel materiaalonderzoek nieuwe toepassingen mogelijk maken. De leerlingen onderzoeken eigenschappen van materialen met behulp van practicumexperimenten.</li> </ul>
E. Aarde en heelal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geofysische verschijnselen en processen komen aan de orde als voorbeelden van deels uit andere domeinen bekende verschijnselen en processen, maar nu op de schaal van kilometers. De invloed die de zon heeft op tal van geofysische verschijnselen en processen wordt verbonden met de bestaansvoorwaarden voor leven op aarde.</li> <li>De centrale rol van gravitatie en van energie komt aan de orde in de context van het ontstaan en de structuur van het zonnestelsel en het heelal. De kanteling in het wereldbeeld naar heliocentrisch, evenals later naar een beeld waarin het heelal geen centrum kent, krijgt aandacht. Leerlingen kunnen hun kennis verdiepen door eigen waarnemingen en modelstudies.</li> </ul>
F. Menselijk lichaam	<ul style="list-style-type: none"> <li>Het gaat hier om fysische eigenschappen en processen die van belang zijn voor de werking van het menselijk lichaam. Prestaties van het menselijke lichaam worden in verband gebracht met fysische kenmerken en de invloed van omgevingsfactoren op gezondheid en veiligheid. Leerlingen kunnen door ontwerp- en modelleeropdrachten hun kennis verdiepen.</li> </ul>

Havo-domein	Omschrijving
G. Meten en regelen	• De basisprincipes van de elektriciteitsleer komen aan de orde in de context van moderne toepassingen. Leerlingen ontwerpen en construeren een meet-, regel- of stuursysteem.
H. Natuurkunde en technologie	• Leerlingen analyseren aan de hand van voorbeelden, die in de boven beschreven kennisdomeinen vallen, de rol van natuurkundige begrippen en modellen in de ontwikkeling van technologie enerzijds, en de betekenis van technologie voor de ontwikkeling van natuurkundige kennis, anderzijds.
I. Onderzoek en Ontwerp	• De praktische activiteiten van leerlingen, waaronder experimenteren, modelleren en een ontwerp maken, zijn geïntegreerd met kennisdomeinen zoals hierboven omschreven.

**Tabel 5.5** Beschrijving van de kennisdomeinen van het advies-examenprogramma havo.

### Kennisdomeinen vwo

Voor het vwo-examenprogramma zijn de kennisdomeinen weergegeven in tabel 5.6. Niet alle (onderdelen van de) domeinen zijn verplicht; zie paragraaf 5.2. Vier van de vwo-domeinen zijn gerelateerd aan de traditionele funderende deelgebieden van de natuurkunde, te weten Mechanica, Elektriciteit en magnetisme, Warmte en temperatuur, Atoom- en kernfysica. De eerste drie domeinen zijn de klassieke deelgebieden van de natuurkunde. Het laatste deelgebied, dat ook wel als 'moderne natuurkunde' wordt aangeduid, omvat theorieën en experimenten over de deeltjesstructuur van de materie die de laatste 100 jaar gemeengoed zijn geworden. Het is nadrukkelijk niet de bedoeling dat deze traditionele deelgebieden in hun volledigheid aan de orde komen binnen het bestek van het profielvak natuurkunde.

In vergelijking met het huidige programma zijn er in het adviesprogramma meer concepten opgenomen die aansluiten bij de natuurkunde van na 1900. Het nieuwe onderwerp Quantumwereld wordt door pilotdocenten gezien als een verrijking ten opzicht van het nu bestaande programma. Dit domein bouwt voort op de ervaring met het Project Moderne Natuurkunde dat van 1997 tot 2009 is uitgevoerd op meer dan zestig vwo-scholen [43]. Het onderwerp Relativiteit is een keuzeonderdeel. In de contextgebieden bij domeinen kunnen leerlingen een beeld krijgen van de ontwikkeling en toepassing van natuurkundige kennis op velerlei gebied. Ook het maatschappelijke werkveld van natuurkundigen wordt zichtbaar gemaakt. Bij een aantal domeinen, in het bijzonder Beweging en wisselwerking en Straling en materie, zijn sterrenkunde en astrofysica voorgeschre-

ven contextgebieden. Het domein Quantumwereld en relativiteit is voornamelijk conceptueel, maar Quantumwereld biedt ook het inzicht dat de abstracte quantumeigenschappen van de materie talloze zeer praktische toepassingen kennen. Het keuzedomein Leven en aarde weerspiegelt de actuele ontwikkelingen in de biofysica en geofysica waarvan verwacht mag worden dat deze NG-leerlingen zullen interesseren.

Vwo-domein	Omschrijving
B. Golven	• Het gaat hier om fysische aspecten van communicatie door golven in de context van informatieoverdracht. De leerlingen doen praktische ervaring op met signaalverwerking en data-analyse. De brede toepasbaarheid wordt geïllustreerd met voorbeelden uit de sterrenkunde en de biomedische praktijk. Praktische aspecten van radioactiviteit en het gebruik van ioniserende straling komen daarbij aan de orde.
C. Beweging en wisselwerking	• Het kwantitatieve verband tussen kracht als uiting van wisselwerking en beweging in een en twee dimensies komt in toepassingen aan de orde voor diverse krachten. Energie en arbeid worden behandeld in de context van energieomzettingen. Leerlingen gebruiken wiskundige, computer- en modelleervaardigheden bij het berekenen van krachten, bewegingen en energieomzettingen.
D. Lading en veld	• Elektromagnetische velden en krachten zijn van fundamentele betekenis in de natuurkunde voor het verklaren van de bindingskrachten tussen geladen deeltjes in atomen en moleculen en van elektromagnetische straling. In dit domein komen basisprincipes van het elektromagnetisme aan de orde, gerelateerd aan een aantal belangrijke natuurverschijnselen en toepassingen uit de techniek. Leerlingen doen eenvoudige proeven of waarnemingen aan elektromagnetische verschijnselen.
E. Straling en materie	• Er wordt een verband gelegd tussen micro en macro door vanuit het atomaire model van de materie een aantal macroscopische eigenschappen van materie te verklaren als gemiddelden over een groot aantal deeltjes. De fundamentele wisselwerking tussen licht en materie wordt beschreven als emissie en absorptie van fotonen door atomen en moleculen in de context van de astrofysica. Behoudswetten en de equivalentie van massa en energie worden gebruikt om een aantal reactie- en vervalprocessen te analyseren.

Vwo-domein	Omschrijving
F. Quantum-wereld en relativiteit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Op atomaire schaal is het gedrag van materie en licht zeer verrassend. Fotonen, elektronen en andere deeltjes vertonen zowel golfgedrag als deeltjesgedrag. In dit domein komt aan de orde hoe dit uitgangspunt heeft geleid tot de quantumtheorie voor atomaire en subatomaire verschijnselen, maar ook tot allerlei alledaagse maatschappelijke toepassingen. Leerlingen kunnen door demonstratie-experimenten en modelstudies hun kennis verdiepen.</li> <li>• De relativiteitstheorie van Albert Einstein is gebaseerd op twee eenvoudige principes, de constante lichtsnelheid en het relativiteitsprincipe. De uitkomsten zijn echter verreikend en lijken tot paradoxen te leiden. In dit domein worden de principes uitgelegd waarin de begrippen gelijktijdigheid, ruimte-tijd, lengtekrimp en tijdsdilatare een centrale rol spelen. Leerlingen leren vragen stellen en beantwoorden met behulp van ruimte-tijddiagrammen.</li> </ul>
G. Leven en aarde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fysische processen in de levende cel worden behandeld en gerelateerd aan eigenschappen van organismen. Moderne fysische technieken om de structuur van de cel en informatie-transport in het lichaam waarneembaar en modelleerbaar te maken komen aan de orde. Leerlingen kunnen door experimenten en modelleeropdrachten hun kennis verdiepen.</li> <li>• Bij het onderwerp Aarde gaat het om fysische begrippen en processen die een rol spelen in het beschrijven en verklaren van weer en klimaat. Gas- en stromingswetten spelen daarin een belangrijke rol. In de context van de energiebalans van het aarde-zonsysteem worden het broeikas-effect en consequenties daarvan behandeld. Leerlingen kunnen door eigen waarnemingen en modelleeropdrachten hun kennis verdiepen.</li> </ul>
H. Natuurwetten en modellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leerlingen analyseren de betekenis van natuurkundige begrippen en verbanden aan de hand van voorbeelden die vallen binnen boven omschreven kennisdomeinen. Het doel is dat leerlingen samenhang zien in de natuurkundige redeneerwijze en de grenzen van de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van natuurkundige modellen kunnen beoordelen.</li> </ul>
I. Onderzoek en ontwerp	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De praktische activiteiten van leerlingen, waaronder experimenteren, modelleren en een ontwerp maken, zijn geïntegreerd met kennisdomeinen zoals hierboven omschreven.</li> </ul>

**Tabel 5.6** Beschrijving van de kennisdomeinen van het advies-examenprogramma vwo.

Het nieuwe domein Natuurwetten en modellen moet een beeld geven van het wetmatige karakter van natuurkundige verklaringen van verschijnselen op alle schaalniveaus in de natuur. Deze wetmatigheden krijgen een wiskundige formulering in modellen en behoudswetten. Dit zijn overkoepelende principes van algemene aard die domeinen van kennis over de gehele natuurwetenschap met elkaar verbinden. Door het invoeren van dit domein krijgen leerlingen beter zicht op de principes van de natuurkunde en de specifieke werkwijze van de natuurkundige. Dit domein schrijft geen nieuwe leerstof voor, maar heeft de bedoeling de leraar ruimte te bieden om (eventueel op een hoger wiskundig niveau) stof te herhalen en conceptueel te verankeren.

## 5.2 Subdomeinen CE en SE

### Verhouding CE en SE

Sinds 2007 wordt een deel van de examenprogramma's in de bovenbouw van havo en vwo niet meer in het centraal examen (CE) getoetst, maar alleen in het schoolexamen (SE). Voor het huidige examenprogramma natuurkunde is de omvang van de leerstof die in het centraal examen wordt geëxamineerd 75 %. Omdat de overheid docenten en scholen meer ruimte wil geven voor een eigen invulling is voor het nieuwe examenprogramma vastgesteld dat nog slechts 60 % van de leerstof op het centraal examen wordt getoetst. Voor havo is de centraal te examineren studielast in het nieuwe examenprogramma ongeveer 240 sluis en voor vwo 290 sluis, tegenover 300 sluis en 360 sluis in het huidige. Alle examenonderwerpen dienen te worden onderwezen, maar voor de onderwerpen die onder het schoolexamen vallen wordt de invulling overgelaten aan het onderwijsveld. De omschrijving van de subdomeinen die zijn toegewezen aan het CE wordt nader uitgewerkt in de syllabus van het College voor Examens (CvE).

De commissie Nieuwe Natuurkunde heeft een indeling gemaakt van het examenprogramma in subdomeinen die ofwel aan het CE ofwel aan het SE zijn toegewezen. De overweging van de commissie hierbij is geweest dat de funderende domeinen in het algemeen centraal getoetst worden en in het schoolexamen de domeinen die verbonden zijn met een specifiek contextgebied of waarvan de inhoud zich minder goed leent voor centrale toetsing. Om reden van continuïteit is waar mogelijk aansluiting gezocht bij de verdeling in het huidige examenprogramma. De beperking van de omvang van het centraal examen heeft in dat opzicht echter wel consequenties. De keuzen die de commissie NiNa heeft gemaakt worden in de paragrafen hieronder nader toegelicht. Hoofdstuk 6 gaat nader in op de functies die CE en SE moeten vervullen.

### Praktisch werk en keuzeruimte

Een van de belangrijke doelstellingen in het nieuwe natuurkundeprogramma is ruimte te scheppen voor praktisch werk als een belangrijk onderdeel van het schoolexamen. Daarom zijn de subdomeinen Experiment, Modelstudie en Ontwerp expliciet benoemd. De commissie NiNa is ervan uitgegaan dat het wenselijk is ongeveer 40-50 % van de tijd van het schoolexamen hieraan te besteden, gezien het belang dat docenten en leerlingen hieraan hechten [17, 23]. Het aantal lessen natuurkunde in de lestabel en de voorzieningen op scholen staan soms echter op gespannen voet met deze wens; zie hoofdstuk 4. In het schoolexamen is ook ruimte voor keuze uit enkele onderwerpen waardoor de leraar flexibel in kan spelen op eigen interesse en die van de leerlingen. Deze keuzeruimte omvat ongeveer 30 % van het schoolexamen.

Enkele van de keuzedomeinen in de advies-examenprogramma's havo en vwo betreffen interdisciplinaire onderwerpen die ook aan de orde komen in de modules die ontwikkeld zijn voor het vak natuur leven en technologie (NLT). Hier lijkt een niet-functionele overlap te ontstaan. Er valt echter op te merken dat NLT een zelfstandig keuzevak is dat én niet op alle scholen wordt onderwezen én lang niet altijd gevolgd wordt door leerlingen die het vak natuurkunde in hun profiel hebben; minder dan 20 % van de natuurkundeleerlingen volgt NLT. Bovendien is er veel keuze in de NLT-modules, zodat overlap alleen ontstaat als dit een bewuste keuze van de docent is. Daarvoor kunnen goede redenen zijn, bijvoorbeeld dat de NLT-module verdieping geeft aan al eerder bij de natuurkunde behandelde stof. Er zijn diverse NLT-modules die uitstekend aansluiten bij domeinen in de natuurkunde-adviesprogramma's. Anderzijds hebben leraren op scholen die NLT aanbieden de mogelijkheid bepaalde keuzedomeinen uit het natuurkundeprogramma binnen het vak NLT te onderwijzen. In dat opzicht hebben docenten veel vrijheid om een goede afstemming van het vak NLT met het profielvak natuurkunde te bereiken, en ook met de andere profielvakken biologie en scheikunde.

### Toewijzing CE en SE voor havo

Het advies-examenprogramma havo bestaat uit de (sub)domeinen in tabel 5.7. Het aantal subdomeinen dat is toegewezen aan CE en SE weerspiegelt de verhouding 60/40, conform de aanwijzing van het ministerie van OCW. De keuze voor de CE-subdomeinen werd bepaald door een combinatie van het funderende karakter van de subdomeinen, eenduidigheid voor het vervolgonderwijs (zoals geneeskunde), centrale examineerbaarheid en beschikbare uren. De beperking van het CE-deel in vergelijking met het huidige programma is zichtbaar in het feit dat Regelsystemen en signaalverwerking nu onderdeel is van het SE-subdomein Technische automatisering en dat geometrische optica als CE-onderdeel

Domeinen Subdomeinen	Centraal/School Examen
A. Vaardigheden	CE/SE
B. Beeld- en geluidstechniek	
B1. Informatieoverdracht	CE
B2. Medische beeldvorming	CE
B3. Optica*	SE
C. Beweging en energie	
C1. Kracht en beweging	CE
C2. Beweging en energie	CE
D. Materialen	
D1. Eigenschappen van stoffen en materialen	CE
D2. Functionele materialen	SE
E. Aarde en heelal	
E1. Zonnestelsel en heelal	CE
E2. Aarde en klimaat*	SE
F. Menselijk lichaam*	SE
G. Meten en regelen	
G1. Gebruik van elektriciteit	CE
G2. Technische automatisering*	SE
H. Natuurkunde en technologie	CE
I. Onderzoek en ontwerp	
I1. Experiment	SE
I2. Modelstudie	SE
I3. Ontwerp	SE

\* Keuzedomeinen: kies twee uit vier

**Tabel 5.7** Subdomeinen van het adviesprogramma havo en toewijzing aan CE en SE.

is vervallen. In het SE kan dit echter desgewenst aan de orde komen in het domein Menselijk lichaam bij behandeling van de werking van zintuigen, of in het keuzedomein Optica. Een verschil met het huidige havo-programma is ook dat het SE-domein Analyse van en reflectie op natuurwetenschap en techniek is vervangen door het CE-domein Natuurkunde en technologie vanuit de overweging dat voor havo-leerlingen het kunnen herkennen, benoemen en toepassen van natuurkundige principes in de context van technologie een wezenlijk onderdeel is van hun competenties.

In het schoolexamen is de ruimte voor praktisch werk expliciet gemaakt in het domein Onderzoek en ontwerp. De eindtermen voor dit domein zijn een nadere specificatie van de vaardigheden benoemd in het vaardighedendomein A in relatie tot de kennisdomeinen die in het CE worden getoetst.

Domeinen Subdomeinen	Centraal/School Examen
A. Vaardigheden	CE/SE
B. Golven	
B1. Informatieoverdracht	CE
B2. Medische beeldvorming	CE
C. Beweging en wisselwerking	
C1. Kracht en beweging	CE
C2. Energie en wisselwerking	CE
C3. Gravitatie	CE
D. Lading en veld	
D1. Elektrische systemen	CE
D2. Elektrische en magnetische velden	CE
E. Straling en materie	
E1. Eigenschappen van stoffen en materialen	SE
E2. Elektromagnetische straling en materie	CE
E3. Kern- en deeltjesprocessen*	SE
F. Quantumwereld en relativiteit	
F1. Quantumwereld	CE
F2. Relativiteitstheorie*	SE
G. Leven en aarde	
G1. Biofysica*	SE
G2. Geofysica*	SE
H. Natuurwetten en modellen	CE
I. Onderzoek en ontwerp	
I1. Experiment	SE
I2. Modelstudie	SE
I3. Ontwerp	SE

\* Keuzedomeinen: kies twee uit vier

**Tabel 5.8** Subdomeinen van het adviesprogramma vwo en toewijzing aan CE en SE.

### Toewijzing CE en SE voor vwo

Het advies-examenprogramma vwo bestaat uit de (sub)domeinen in tabel 5.8. Het aantal subdomeinen dat is toegewezen aan CE en SE weerspiegelt de verhouding 60/40, conform de aanwijzing van het ministerie van OCW. De verschuiving die is aangebracht in het vwo-programma betreft het vervallen van Licht als apart domein. Daarvoor is het nieuwe domein Quantumwereld in de plaats gekomen waarin de eigenschappen van licht wel een belangrijke plaats hebben, evenals in het CE-domein Straling en materie. De eigenschappen van straling en radioactiviteit zijn gekoppeld aan de toepassing in het actuele con-

textgebied Medische beeldvorming. Door deze verschuiving is het accent meer komen te vallen op de moderne natuurkunde, zowel fundamenteel als toegepast. Dat accent kan door de keuzeruimte in het SE nog verder versterkt worden.

In het schoolexamen is de ruimte voor praktisch werk expliciet gemaakt in het domein Onderzoek en ontwerp. De eindtermen voor dit domein zijn een nadere specificatie van de vaardigheden benoemd in het vaardighedendomein A in relatie tot de kennisdomeinen die in het CE worden getoetst.

### 5.3 Vergelijking met het huidige examenprogramma

Ten opzichte van de huidige examenprogramma's havo en vwo zijn in de advies-examenprogramma's nieuwe natuurkunde drie belangrijke verschuivingen aangebracht:

- De stof die getoetst wordt in het CE is teruggebracht van 75 % naar 60 %, zoals dat nu al het geval is bij de vakken biologie en scheikunde. Dit heeft uiteraard als consequentie dat er evenredig minder tijd beschikbaar is voor CE-onderwerpen. Door de commissie NiNa is ervoor gekozen om een zekere diversiteit van onderwerpen te handhaven.
- Traditioneel is de mechanica het meest omvangrijke domein in de CE-stof. In de voorstellen van de commissie NiNa is dat nog steeds zo, maar de commissie NiNa is voorstander van een meer evenwichtige spreiding van de tijd over de verschillende onderwerpen.
- De uitbreiding van het SE is gebruikt om twee keuzedomeinen in de advies-examenprogramma's op te nemen. De keuze die wordt geboden is uit vier onderwerpen die deels verdiepend, en deels contextverbredend zijn.

Voor de NiNa-pilot heeft de syllabuscommissie een werkversie-syllabus opgesteld zowel voor havo als vwo [44]. Hieronder worden de verschillen met het huidige examenprogramma nader geanalyseerd op basis van een vergelijking van deze werkversie met de huidige syllabi [45, 46]. Het is belangrijk op te merken dat de definitieve syllabus pas in het voorjaar van 2011 door de syllabuscommissie wordt vastgesteld.

#### Nadere vergelijking havo

In deze paragraaf wordt per (sub)domein een nadere toelichting gegeven op de nieuwe indeling van de stof en de inhoudelijke verschillen met het huidige havo-examenprogramma.

### A. Vaardigheden

De subdomeinen zijn te onderscheiden in drie groepen

- algemeen: profieloverstijgend
- natuurwetenschappelijk, wiskundig en technisch: bètaprofielniveau
- natuurkundig.

In grote lijnen wijken de vaardigheden niet af van die in het reguliere programma, sommige zijn verder uitgesplitst, andere samengevoegd. Op profielniveau is in de reeks van ontwerpen en onderzoeken nu ook modelvorming opgenomen (op profielniveau), en het gebruiken van natuurwetenschappelijke informatie in oordeelsvorming. De ANW-vaardigheden zijn in de A-subdomeinen gedekt.

Om onderzoeken, ontwerpen en modelvorming zo concreet mogelijk in de context van CE-domeinen te stimuleren, en als uitdrukking van de 'hands on'-aard van de natuurkunde, verwijst domein I expliciet naar deze activiteiten in relatie tot de CE-domeinen.

### B. Beeld- en geluidstechniek

In het subdomein Informatieoverdracht komt veel terug uit het huidige domein Licht en geluid. De focus ligt meer op informatieoverdracht en signaalverwerking. Dit subdomein legt een relatie tussen de actuele leefwereld van leerlingen en de basisprincipes van de natuurkunde. Staande golven krijgen vooral conceptueel aandacht. Dit vraagt meer van leerlingen, maar dat wordt door NiNa-docenten als een verbetering gezien.

In het subdomein Medische beeldvorming is de fysica en technologie van diagnostische technieken die in de medische wereld worden gebruikt het centrale thema. Daarbij komen ook ioniserende straling, radioactiviteit en veiligheid aan de orde. Dit vervangt het subdomein Straling, gezondheid en kernenergie van het huidige programma. Het onderwerp kernenergie is gespecificeerd in het subdomein G1 in de context van opwekking van elektrische energie in een (kern)centrale.

Na zorgvuldige overweging is door de commissie NiNa besloten het subdomein Licht van het huidige havo-examenprogramma, met daarin de geometrische optica, niet meer als apart CE-subdomein op te nemen. Dit wordt door veel docenten in het veld betreurd, maar de reductie van het aantal uren voor het CE betekent onvermijdelijk dat er onderwerpen uit het huidige CE-examenprogramma moeten verdwijnen. De commissie NiNa gaat ervan uit dat veel leerlingen het onderwerp geometrische optica al kennen vanuit de onderbouw. Bovendien, binnen het schoolexamen kan nog steeds aandacht gegeven worden aan de werking van lenzen, bijvoorbeeld in de context van de werking van het oog bij het keuzedomein Menselijk lichaam of in het keuzedomein Optica in

het SE. In de bovenbouw wil de commissie NiNa meer aandacht geven aan andere aspecten van licht. Het kleur- en energiespectrum van licht komen aan de orde in het CE-domein Zonnestelsel en heelal, en in het keuzedomein Optica hebben ook de golfeigenschappen van licht een plek gekregen; hierop is aangedrongen door de vervolgoopleidingen.

### C. Beweging en energie

In dit domein zijn enkele verschuivingen aangebracht. In de syllabus nieuwe natuurkunde is een groter accent gelegd op de dynamica en een verminderd accent op de kinematica. De cirkelbeweging komt aan de orde in het nieuwe subdomein Zonnestelsel en heelal. Hierbij wil de commissie NiNa benadrukken dat het vooral van belang is dat leerlingen concepten leren en dat de moeilijkheidsgraad niet gezocht moet worden in het construeren van opgaven waarin voornamelijk gerekend moet worden.

### D. Materialen

Dit domein gaat over de verklaring van de eigenschappen van stoffen en materialen met behulp van atomaire en moleculaire modellen. Dit domein omvat deels stof die in het oude programma onder het SE-domein Materie en energie viel, maar nu met de nadruk op materiaaleigenschappen. Het domein is opgenomen vanwege het fysische en technologische belang van materialen. De technologische aspecten kunnen verder uitgewerkt worden in het SE-domein Functionele materialen. Hier kan ook een verbinding worden gelegd met het scheikunde-examenprogramma.

### E. Aarde en heelal

Het subdomein Zonnestelsel en heelal bevat deels ANW-inhoud, en biedt daarnaast havo-leerlingen enerzijds een context voor toepassing van de mechanica van voorwerpen onderworpen aan de zwaartekracht, en anderzijds het inzicht hoe in de sterrenkunde de eigenschappen van elektromagnetische straling worden gebruikt voor waarnemingen en onderzoek van het zonnestelsel en het heelal. Dit laatste is een nieuw onderwerp in het examenprogramma. Er is minder nadruk op rekenen met formules en meer op de concepten en hoe die zich in de loop van de eeuwen hebben ontwikkeld. De onderwerpen in dit subdomein worden door leerlingen interessant gevonden.

### G. Meten en regelen

Dit domein komt goed overeen met het domein Elektrische processen in het huidige examenprogramma. Wel is het subdomein Technische automatisering geplaatst in het SE. De onderwerpen 'opwekking' en 'transport' zijn toegevoegd aan het CE in de context van energiebesparing.

## H. Natuurkunde en technologie

Dit domein omvat geen nieuwe stof. Het doel is om in voorbeelden, die vallen binnen een van de bovengenoemde subdomeinen van het centraal examen, fysische principes toe te passen in technologische contexten. Dit domein expliciteert wat reeds nu de praktijk is in examenvragen waarin de kandidaat gevraagd wordt om fysische eigenschappen te relateren aan een bepaalde toepassing. Het borgt deze praktijk als onderdeel van het streven de verwevenheid van technologie en natuurkunde te accentueren. Het advies-examenprogramma besteedt ook aandacht aan ontwerpen, naast de meer gebruikelijke aandacht voor onderzoeken. Dit past bij wat natuurkundigen en andere bèta's doen in veel industriële beroepen. Het praktische werk hierbij is, net als voor Onderzoek en Modelleren, in domein I geplaatst.

In tabel 5.9 zijn de belangrijkste wijzigingen van het havo-examenprogramma nog eens kort samengevat.

### Uitvoerbaarheid havo

Voor de NiNa-pilot is zowel voor havo als vwo door de projectgroep een voorbeeldleerplan opgesteld met daarin een richtlijn voor het aantal beschikbare studielasturen per subdomein. Voor de CE-onderwerpen in het havo-programma is het relatieve gewicht weergegeven in tabel 5.10. Aan deze percentages kan geen absolute waarde worden toegekend omdat er geen leerplan is voorgeschreven voor de bovenbouw van het VO; afhankelijk van de gevolgde methode en de voorkeur van de docent kunnen deze percentages anders uitvallen. Ook de NiNa-docenten waren niet gebonden aan het leerplan; het voorbeeldleerplan diende uitsluitend om bij de planning van de lessen en de voorbereiding op het examen enig houvast te hebben. Een leerplan zal ook niet voorgeschreven worden als het nieuwe examenprogramma wordt ingevoerd.

Leerplan havo CE 240 slu	%
Mechanica	35
Elektriciteitsleer	20
Golven en straling, incl. ioniserende straling en radioactiviteit	30
Materialen	15
<b>Totaal</b>	<b>100</b>

**Tabel 5.10** Het relatieve gewicht van CE-onderdelen volgens het NiNa-voorbeeldleerplan voor havo.

(sub)domein	vergeleken met huidig examenprogramma
B1. Informatie-overdracht	meer focus op informatieoverdracht en signaalverwerking dan in het huidige domein Licht en geluid; staande golven conceptueel
B2. Medische beeldvorming	vervangt het subdomein Straling en gezondheid; kernenergie kan behandeld worden bij subdomein G1 Gebruik van elektriciteit, of bij het domein C2 Beweging en energie
B3. Optica*	keuzedomein (SE), met hierin geometrische optica en golfeigenschappen van licht. Werking van lenzen kan binnen dit keuzedomein behandeld worden of in keuzedomein F Menselijk lichaam
C. Beweging en energie	groter accent op dynamica, verminderd accent op kinematica; cirkelbeweging in subdomein E1 Zonnestelsel en heelal
D. Materialen	deels stof uit het huidige SE-domein Materie en energie; nadruk op materiaaleigenschappen
E1. Zonnestelsel en heelal	deels ANW-inhoud; toepassing mechanica van voorwerpen onderworpen aan zwaartekracht; toepassing eigenschappen elektromagnetische straling voor waarnemingen en onderzoek zonnestelsel en heelal
E2. Aarde en klimaat*	keuzesubdomein (SE)
F. Menselijk lichaam*	keuzedomein (SE); werking van lenzen kan hierin behandeld worden
G1. Gebruik van elektriciteit	komt overeen met huidige subdomein Elektriciteit; inclusief de onderwerpen Opwekking en Transport
G2. Technische automatisering*	keuzesubdomein (SE)
H. Natuurkunde en Technologie	in andere domeinen behandelde fysische principes toepassen in technologische contexten; geen nieuwe stof (CE)
I. Onderzoek en ontwerp	praktisch werk: Experiment, Modelstudie, Ontwerp (SE); benoemd in relatie tot de CE-subdomeinen

\* Keuzedomeinen: kies twee uit vier

**Tabel 5.9** Vergelijking examenprogramma nieuwe natuurkunde havo met het huidige examenprogramma.

onderwerp	maatregel
optica	toegewezen aan SE
technische automatisering	toegewezen aan SE
alle deelonderwerpen	lesmateriaal en specificaties in de syllabus aanpassen aan de reductie van de omvang van het CE met indicatie van beheersingsniveau

**Tabel 5.11** Maatregelen ter verbetering uitvoerbaarheid examenprogramma havo.

Het belang van het voorbeeldleerplan was om met de NiNa-docenten de consequenties van de reductie met 20 % van het aantal studielasturen getoetst in het CE te kunnen analyseren. Deels is deze reductie opgevangen door het onderwerp optica en het subdomein Technische automatisering aan het SE toe te wijzen. Een vermindering is ook bereikt door in de werkversie van de syllabus de specificaties van deelonderwerpen aan te passen en een indicatie te geven van het beheersingsniveau dat van de kandidaat wordt verwacht. Op basis van het leerplan en de syllabus zijn in de pilot per subdomein door de NiNa-docenten realistische lestabelen gemaakt in overeenstemming met de beschikbare tijd. Dit dossier is ter beschikking van de syllabuscommissie en uitgevers.

Hiermee is niet gezegd dat docenten geen problemen zien bij de uitvoerbaarheid; zie de evaluatie van het havo-programma besproken in hoofdstuk 4. De combinatie van de reductie van uren voor het CE met een vernieuwing van de inhoud van het examenprogramma impliceert voor docenten een ingrijpende verandering in de lespraktijk. Ook het niet meer terugkeren van onderwerpen die jarenlang deel uitmaakten van het CE is een proces van aanpassing. Een constatering is dat zich gedurende de pilot nog geen gevestigde praktijk kon ontwikkelen om deze ingrijpende veranderingen uit te lijnen tussen docenten, de opstellers van de syllabus, de module-auteurs en de examenmakers. Er was onzekerheid bij de docenten over de interpretatie van de syllabus bij gebrek aan getoetste examenvoorbeelden en bewezen lesmateriaal. Bij havo werd dit ook in de hand gewerkt door de relatief grote overeenkomst tussen de eerste NiNa-examens en de reguliere examens en het feit dat de bij de examens behaalde resultaten op vergelijkbare onderdelen beneden het landelijk gemiddelde lagen.

De gedetailleerde invulling van de CE-onderdelen van het definitieve examenprogramma is de verantwoordelijkheid van de syllabuscommissie ingesteld door het CvE. De uitkomsten van de evaluatie wijzen erop dat bij het verdere invoeringstraject de afstemming van de komende examens en syllabus op elkaar veel

aandacht moet krijgen. De commissie NiNa adviseert dat het CvE en SLO dit probleem gezamenlijk adresseren als een belangrijk aandachtspunt bij de invoering van de nieuwe examenprogramma's.

### Nadere toelichting vwo

Hieronder wordt per (sub)domein een nadere toelichting gegeven op de indeling van de stof in andere (sub)domeinen en de inhoudelijke verschillen met het huidige vwo-examenprogramma.

#### A. Vaardigheden

De subdomeinen zijn te onderscheiden in drie groepen:

- algemeen: profieloverstijgend
- natuurwetenschappelijk, wiskundig en technisch: bètaprofielniveau
- natuurkundig.

In grote lijnen wijken de vaardigheden niet af van die in het reguliere programma, sommige zijn verder uitgesplitst, andere samengevoegd. Op profielniveau is in de reeks van ontwerpen en onderzoeken nu ook modelvorming opgenomen (op profielniveau), en het gebruiken van natuurwetenschappelijke informatie in oordeelsvorming.

Om onderzoeken, ontwerpen en modelvorming zo concreet mogelijk in de context van CE-domeinen te stimuleren, en als uitdrukking van de 'hands on'-aard van de natuurkunde, verwijst domein I expliciet naar deze activiteiten in relatie tot de CE-domeinen.

#### B. Golven

In het nieuwe subdomein Informatieoverdracht komt veel terug uit het oude domein Trilling en golf. De focus ligt meer op golfverschijnselen en informatieoverdracht. Staande golven krijgen vooral conceptueel aandacht.

In het subdomein Medische beeldvorming is de fysica en technologie van diagnostie technieken die in de medische wereld worden gebruikt het centrale thema. Daarbij komen ook de eigenschappen van radioactieve straling en de veiligheid aan de orde. Dit vervangt het subdomein Radioactiviteit in het huidige programma. Nucleaire reacties en toepassing van kernsplijting en kernfusie zijn geplaatst in het SE-keuze domein Kern- en deeltjesprocessen.

Evenals bij havo heeft de commissie NiNa besloten het subdomein Licht van het huidige vwo-examenprogramma, met daarin de geometrische optica, niet meer als CE-subdomein op te nemen. De nadruk valt nu meer op de golfaspecten van licht in het domein Straling en materie. De commissie gaat ervan uit dat veel

leerlingen het onderwerp geometrische optica al kennen vanuit de onderbouw. Bovendien, binnen het schoolexamen kan nog steeds aandacht gegeven worden aan de werking van lenzen, bijvoorbeeld in de context van de werking van het oog bij het keuzedomein Biofysica.

### C. Beweging en wisselwerking

Dit domein omvat veel van de mechanica zoals dat ook in het huidige syllabus is opgenomen. In de werkversie van de syllabus nieuwe natuurkunde is in sommige specificaties een beperking aangebracht. Bijvoorbeeld, voor de middelpuntzoekende kracht geldt in het nieuwe programma dat slechts één kracht de rol van middelpuntzoekende kracht mag spelen. Ook de hoeksnelheid is niet opgenomen. Per specificatie wordt een indicatie gegeven van het beheersingsniveau dat van de kandidaat wordt verwacht. Hierbij wil de syllabuscommissie benadrukken dat het vooral van belang is dat leerlingen concepten aanleren en dat de moeilijkheidsgraad niet gezocht moet worden in het construeren van gezochte opgaven waarin ook vaak veel gerekend moet worden. Er is voor gekozen om de grootte impuls in het programma op te nemen en daarbij dus ook de behoudswet voor impuls. De momentenwet en daarmee ook de grootte moment is echter niet opgenomen.

### D. Lading en veld

Dit domein dekt het overgrote deel van het domein Elektriciteit en magnetisme van het huidige programma. Ook hier zijn de zijn vernieuwingscommissie en syllabuscommissie van mening dat het om de concepten gaat en niet om het kunnen oplossen van problemen die gekoppeld zijn aan ingewikkelde schakelingen. Voor inductieverschijnselen geldt dat het vooral gaat om het inzicht wat inductie is en hoe een inductiespanning ontstaat.

### E2. Elektromagnetische straling en materie

Bij dit domein wordt in het advies-examenprogramma het contextgebied van de astrofysica genoemd. Dit betekent dat in de syllabus een aantal astrofysische toepassingen gespecificeerd wordt, bijvoorbeeld de levensloop van sterren en afstandsbepaling van sterren. De grootte luminositeit (totale lichtkracht) is daarbij van belang. Onderwerpen als energieniveau en spectraallijn, verschuivingswet van Wien, kwadratenwet en Planck-kromme zijn opgenomen in de werkversie van de syllabus.

### F1. Quantumwereld

In dit domein komen twee aspecten van de quantummechanica aan de orde. Het ene aspect is de alom aanwezige praktische context die wordt gedemonstreerd door de talloze toepassingen zoals digitale camera's, lasers, elektronenmicro-

scopen, etc. Daarmee heeft de quantumfysica tevens een hechte relatie met de biomedische wetenschap en praktijk. Aan de andere kant is het belangrijk dat vwo-leerlingen zich realiseren dat de quantummechanica de fundamentele beschrijving is van licht en materie op de allerkleinste schaal. Dat gaat samen met de vreemde aspecten zoals de golf-deeltjesdualiteit en de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg. Niemand begrijpt de quantummechanica maar iedereen kan die toepassen [47]. Dit is voor veel vwo-leerlingen een intrigerende combinatie.

Dit nieuwe domein was onderdeel van de NiNa-pilot als SE-domein. Na consultatie van de NiNa-pilotdocenten over de resultaten is naar de mening van de commissie NiNa inmiddels voldoende ervaring opgedaan om opname van dit onderwerp in het CE te rechtvaardigen. In de besluitvorming speelde mede de ervaring met het Project Moderne Natuurkunde (PMN) een belangrijke rol.

In tabel 5.12 zijn de belangrijkste wijzigingen van het vwo-examenprogramma nog eens kort samengevat.

#### Project Moderne Natuurkunde

In het Project Moderne Natuurkunde is van 1996-2009 met steun van OCW gewerkt aan het ontwikkelen van eindtermen voor het domein Moderne natuurkunde in het vwo-programma voor natuurkunde N2. Doel was te onderzoeken of het mogelijk was om het onderwerp quantumtheorie op een leerbare, doceerbare en toetsbare manier te onderwijzen. Daartoe is lesmateriaal ontwikkeld en getest op scholen. Daarnaast is uitgebreid ervaring opgedaan met het ontwikkelen van toetsmateriaal, zowel voor het SE als voor het CE [43].

Aanvankelijk werd gewerkt met slechts enkele scholen. Teneinde het draagvlak en de consequenties voor een bredere invoering te testen, is het aantal scholen in de loop van de jaren uitgebreid tot 35 (2007/2008). Meer dan 3000 leerlingen en bijna 80 docenten hebben hieraan meegewerkt. In de context van het project zijn in totaal 64 excursies georganiseerd naar CERN in Genève, en andere grote onderzoeksinstellingen in Duitsland, Engeland, Frankrijk en Nederland. Daaraan hebben ruim 2000 leerlingen en circa 50 docenten deelgenomen. De inhoud van de lessen en de studiereizen, voorbereid in de lessen natuurkunde, bleken motiverend voor leerlingen en docenten.

(sub)domein	vergeleken met huidig examenprogramma
B1. Informatie-overdracht	meer focus op golfverschijnselen en informatieoverdracht dan in het huidige subdomein Trilling en golf; staande golven conceptueel
B2. Medische beeldvorming	inclusief eigenschappen van radioactieve straling en veiligheid (in plaats van huidige subdomein Radioactiviteit); nucleaire reacties en toepassing kernsplijting en kernfusie in keuzesubdomein E3 Kern- en deeltjesprocessen
C. Beweging en wisselwerking	bevat veel van de mechanica uit de huidige syllabus met beperkingen van sommige specificaties; nadruk op concepten, niet op rekenopgaven; inclusief grootheid impuls en behoudswet voor impuls; momentenwet en grootheid moment vervallen
D. Lading en veld	bevat het overgrote deel van het huidige domein Elektriciteit en magnetisme; nadruk op concepten; inductie: nadruk op inzicht wat inductie is en hoe inductiespanning ontstaat
E1. Eigenschappen van stoffen en materialen	subdomein SE
E2. Elektromagnetische straling en materie	atoomfysica met contextgebied astrofysica
E3. Kern- en deeltjesprocessen*	keuzesubdomein (SE)
F1. Quantumwereld	praktische context van toepassingen als digitale camera's, lasers, elektronenmicroscopen, etc; daarnaast quantummechanica als fundamentele beschrijving van licht en materie met aspecten als golf-deeltje-dualiteit, onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg
F2. Relativiteitstheorie *	keuzesubdomein (SE)
G1. Biofysica *	keuzesubdomein (SE)
G2. Geofysica *	keuzesubdomein (SE)
I. Onderzoek en ontwerp	praktisch werk: Experiment, Modelstudie, Ontwerp (SE); benoemd in relatie tot de CE subdomeinen

\* Keuzedomeinen: kies twee uit vier

**Tabel 5.12** Vergelijking examenprogramma nieuwe natuurkunde vwo met het huidige examenprogramma.

Onderwerpen vwo CE 290 slu	%
Mechanica	35
Elektromagnetisme	25
Golven en straling, incl. ioniserende straling en radioactiviteit	20
Moderne natuurkunde	20
<b>Totaal</b>	<b>100</b>

**Tabel 5.13** Het relatieve gewicht van CE-onderdelen volgens het NiNa-voorbeeldleerplan voor vwo.

### Uitvoerbaarheid vwo

Voor de NiNa-pilot op de vwo-scholen zijn lestabellen en een voorbeeldleerplan opgesteld om na te gaan of de boven beschreven CE-onderwerpen in het beschikbare aantal studielasturen gedaan zouden kunnen worden. De lestabellen en het leerplan zijn geen voorschrift maar een slechts een hulpmiddel bij het plannen van de lessen door de NiNa-docenten. Voor de CE-onderwerpen in het vwo-advies-examenprogramma is het relatieve gewicht weergegeven in tabel 5.13.

In de interne evaluatie van de NiNa-pilot is nagegaan hoe deze planning overeenkomt met de feitelijke lestabellen die zijn opgesteld door de NiNa-docenten (zie hoofdstuk 4). De relatieve reductie van 20 % van de stof getoetst in het CE is deels opgevangen door het feit dat de geometrische optica in het adviesprogramma geen CE-domein meer is. Het gewicht van elektriciteit en magnetisme is relatief gegroeid, maar blijft in uren ongeveer de huidige omvang houden. De specificaties voor de onderwerpen golven en straling in de werkversie van de syllabus zijn minder uitgebreid dan in de huidige syllabus. Een vermindering is ook bereikt door in de werkversie van de syllabus de specificaties van deelonderwerpen aan te passen en een indicatie te geven van het beheersingsniveau dat van de kandidaat wordt verwacht. In de syllabusspecificaties ligt het accent meer op concepten en minder op rekenopgaven.

Het belangrijkste knelpunt dat in de vwo-pilot naar voren is gekomen betreft de mechanica. Hiervoor is binnen de reductie van de uren voor het CE minder tijd ter beschikking. De commissie heeft er bewust voor gekozen om de omvang van mechanica in het NiNa-leerplan te verminderen ten gunste van de moderne natuurkunde. In de NiNa-lestabel is minder uren ingepland voor kinematica, om de dynamica goed aan bod te laten komen. Het domein I2 Modelstudie biedt de

ruimte (ook in uren) om dynamische problemen, zoals beweging met wrijving te modelleren. Het krachtmoment en de momentenwet zijn niet opgenomen.

Een alternatief zou zijn voor mechanica meer tijd in te ruimen. De commissie is hier geen voorstander van. De mechanica heeft al relatief veel gewicht in vergelijking met vergelijkbare buitenlandse examenprogramma's, zoals van International Baccalaureate [48] en het Britse Advancing Physics programme [49]. Dit standpunt is ook in lijn met het TIMSS-onderzoek waarin de verhouding van de toetsvragen over de verschillende gebieden zich verhoudt als Mechanica (incl. mechanische trillingen en golven) 30 %, Elektriciteit en magnetisme (incl. elektromagnetische golven) 30 %, Warmte en temperatuur 20 %, Moderne natuurkunde 20 % [50]. Bovendien is er vanuit wetenschappelijk en maatschappelijk perspectief geen reden waarom de mechanica fundamenteeler zou zijn dan andere funderende gebieden van de natuurkunde. Historisch gezien is het relatief grote gewicht van de mechanica in het Nederlandse onderwijs terug te voeren tot het feit dat mechanica in het verleden op de HBS een apart vak was, nauw verwant aan de wiskunde. Gegeven de beperking van het CE is de commissie NiNa van mening dat de mechanica daarin een evenredig aandeel moet nemen.

Het opstellen van de gedetailleerde specificaties voor het definitieve examenprogramma is de verantwoordelijkheid van de syllabuscommissie ingesteld door het CvE. De uitkomsten van de evaluatie wijzen erop dat bij het verdere invoeringstraject de afstemming van de komende examens en syllabus veel aandacht moet krijgen. De commissie NiNa adviseert dat het CvE en SLO dit probleem gezamenlijk adresseren als een belangrijk aandachtspunt bij de invoering van de nieuwe examenprogramma's.

## 5.4 Afstemming wiskunde

Om tot afstemming te komen tussen de nieuwe examenprogramma's natuurkunde en wiskunde is in 2006 de werkgroep Afstemming wiskunde-natuurkunde (hierna kortweg de werkgroep genoemd) ingesteld op initiatief van de vernieuwingscommissies wiskunde cTWO en NiNa. Hieronder een korte beschrijving van de aanbevelingen in het rapport van de werkgroep [51].

### Werkgroep afstemming

De werkgroep had de taakopdracht:

1. het beschrijven van noodzakelijke wiskundige basisinzichten en -vaardigheden die bij natuurkunde een rol spelen

onderwerp	Maatregel
geometrische optica	niet opgenomen als CE-domein
mechanica	reductie subdomeinen van vier naar drie; krachtmoment en de momentenwet zijn niet opgenomen; reductie uren binnen CE (met name kinematica)
golven en straling	minder uitgebreide specificaties in syllabus
radioactiviteit	geen apart CE-domein; toepassingen beperkt binnen het subdomein Medische beeldvorming (CE)
alle deelonderwerpen	lesmateriaal en specificaties in de syllabus aanpassen aan de reductie van de omvang van het CE met indicatie van beheersingsniveau

**Tabel 5.14** Maatregelen ter verbetering uitvoerbaarheid examenprogramma vwo.

2. het beschrijven van een traject dat leidt tot deze vaardigheden en inzichten
3. het schetsmatige ontwerp van een basismodule die bij dat traject kan worden gebruikt.

Het eerste punt betreft een inventarisatie van de noodzakelijk geachte basisvaardigheden. Een aandachtspunt daarbij is ook het verantwoord kiezen van en omgaan met natuurkundige contexten in de wiskunde. Bij de beschrijving van het traject gaat het om:

- de verschillende manieren om met een wiskundig begrip om te gaan;
- het onderscheiden van fasen in de begripsontwikkeling van leerlingen;
- hoe afstemming hierover tussen wiskunde en natuurkunde gerealiseerd kan worden.

Bij het schetsmatig ontwerp gaat het om zaken als begripsomschrijving, nomenclatuur, notatie, fasering en attitude bij wiskunde én natuurkunde. Voorbeeldmateriaal hiervoor is ontwikkeld in het kader van het SaLVO!-project [52].

De werkgroep heeft voor een zestal thema's de afstemmingsproblematiek concreet gemaakt. De werkgroep heeft thema's gekozen waarbij de natuurkunde duidelijk behoefte heeft aan de wiskunde, zoals evenredigheid, vectoren en differentiëren; daarnaast is gekozen voor thema's waarbij deze vakken elk op hun eigen manier gebruikmaken van dezelfde hulpmiddelen, zoals algebraïsche vaardigheden, diagrammen en grafieken, en modelleren. Gedetailleerde aanbevelingen voor deze thema's zijn uitgewerkt in het eindverslag van de werkgroep.

Samenhang en afstemming tussen wiskunde en natuurkunde zou expliciet in de leerboeken tot uitdrukking moeten komen. De indruk is dat wat betreft de wiskundige inhoud van natuurkundeboeken vanuit schoolwiskundig oogpunt niet precies genoeg wordt geformuleerd. De benadering bij natuurkunde is voornamelijk kwalitatief. Samenhang en afstemming met wiskunde is niet zichtbaar. De werkgroep heeft bij een korte inventarisatie opgemerkt dat er tussen wiskunde- en natuurkundeboeken op het gebied van gebruik van concepten, eenheden, grafieken en tabellen, conventies van notaties etc. grote diversiteit bestaat.

### Algemene aanbevelingen

De werkgroep ziet de ontwikkeling van afstemming en samenhang tussen de vakken wiskunde en natuurkunde als een langdurig proces. Het is gemakkelijk gezegd dat beide vakken binnen school samen moeten werken en dat docenten samenhangend onderwijs moeten geven. Voor dit alles moeten echter voorwaarden aanwezig zijn binnen school maar ook daarbuiten, liefst ondersteund door voorbeelden van *good practice* [52]. Samenhang en afstemming komen niet vanzelf en docenten daartoe verplichten zal niet werken. De school is echter wel de plek waar samenhang uiteindelijk gestalte moet krijgen en concreet gemaakt moet worden. De school zal een professionele visie op samenhangend onderwijs moeten ontwikkelen, die onder meer in het Programma voor Toetsing en Afsluiting (PTA) tot uitdrukking komt.

Om aan deze ontwikkeling richting te geven, heeft de werkgroep drie algemene aanbevelingen geformuleerd die de commissie Nieuwe Natuurkunde overneemt:

#### 1. Bèta-afstemmingsdocument

De vaktaal moet op elkaar worden afgestemd, zoals begrippen, notaties, synoniemen; een gemeenschappelijke nomenclatuur zou wenselijk zijn. De werkgroep beveelt aan dat een bèta-afstemmingsdocument wordt ontworpen dat als uitgangspunt kan dienen voor lesmateriaal te gebruiken in de klas en bij examens vanaf 2013. De werkgroep stelt voor dit document te doen ontwerpen door een nomenclatuurcommissie van wiskundigen en natuurkundigen in te stellen op gezamenlijk initiatief van van de Nederlandse Vereniging van Wiskundeleraren (NVvW) en Nederlandse Vereniging voor het onderwijs in de Natuurwetenschappen (NVON).

#### 2. Syllabuscommissies

De syllabi voor wiskunde en natuurkunde moeten op elkaar worden afgestemd en samenhang moet worden aangebracht. Met het oog op de gewenste en noodzakelijke afstemming beveelt de werkgroep aan om wiskunde te betrekken bij

de uitwerking van de syllabi voor natuurkunde en omgekeerd natuurkunde bij de syllabi voor wiskunde. Daarbij zou een adviesgroep ingesteld door NVvW en NVON ondersteuning kunnen geven.

### 3. Samenhang

Er moeten docentenprogramma's ontwikkeld worden waarmee natuurkundigen en wiskundeleraars enige deskundigheid gaan verwerven in het andere vak. Het is sterk aan te bevelen dat wiskunde- en natuurkundeleraars, liefst van dezelfde school en liefst gezamenlijk aan deze programma's deelnemen. In die programma's moet de nadruk liggen op de samenhang tussen de vakken natuur- en wiskunde.

Om tot samenhang en afstemming te komen, zou idealiter ook de ontwikkeling van de curricula in samenhang moeten plaats vinden. Tussen het ontwikkeltraject van de examenprogramma's nieuwe natuurkunde en wiskunde is echter een groot faseverschil ontstaan. Dit maakt het niet meer mogelijk dat de vernieuwingscommissies na 2010 het initiatief voor afstemming nemen. De aanbeveling is dat SLO de coördinatie hiervan onderdeel maakt van het invoeringsplan.

## 6 Examens

### *Onderwijsgericht toetsen, niet toetsgericht onderwijzen*

In dit hoofdstuk gaan we nader in op de toetsing in het centraal examen en het schoolexamen. Deze twee componenten zijn onlosmakelijk verbonden met het examenprogramma omdat de feitelijk afgenomen examens in belangrijke mate bepalen wat er in het onderwijs gebeurt. Hieronder wordt uiteengezet waarom we inspanningen bepleiten om tot kwaliteitsborging van het schoolexamen te komen.

### 6.1 Verdeling over CE en SE

#### Kenmerken van CE en SE

De natuurkundige vaardigheden van leerlingen worden deels beoordeeld met door docenten zelf in te vullen toetsing, zijnde het schoolexamen (SE), en deels een centraal georganiseerde toetsing, zijnde het centraal schriftelijk examen (CE).

#### De algemene functies die het CE moet vervullen zijn:

- waarborgen van een landelijke standaard voor de kwaliteit van het onderwijs
- zorgen voor landelijke cohesie in de te behandelen stof, mede belangrijk als referentiepunt voor vervolgopleidingen waarvoor voorkennis van de natuurkunde vereist is
- geven van een indicatie voor de geschiktheid van een leerling voor een bètastudie.

#### De algemene functies die het SE moet vervullen zijn:

- toetsen van kennis en vaardigheden die niet landelijk voorgeschreven zijn; het kan daarbij om verbredende of verdiepende stof gaan
- toetsen van kennis en vaardigheden die niet (goed) centraal schriftelijk kunnen worden getest
- bieden van gelegenheid om gedifferentieerd te toetsen door aan te sluiten bij activiteiten die specifiek zijn voor de school, de klas of de leerling.

De functies van het CE zijn extra van belang nu het SE een groter gewicht krijgt. Vervolgopleidingen willen graag duidelijkheid over de kennis en vaardigheden waarmee studenten instromen, zodat zij daarop kunnen aansluiten in het eerste jaar van de opleiding. In het verleden was de garantie daarvoor dat de kernleerstof voor 100 % centraal werd geëxamineerd. Sinds de invoering van het studiehuis in 1998 wordt er landelijk ervaring opgedaan met het gedeeltelijk toetsen van stof in het CE; de rest van het programma wordt alleen in het SE getoetst. Nu een deel van de kernleerstof buiten het CE valt, is het voor de opleidingen belangrijk dat het SE-deel van de leerstof ook op niveau is getoetst.

#### De verhouding 60/40

Voor het NiNa-experiment is door de overheid een verhouding vastgelegd van 60 % van de stof die in het CE wordt getoetst en 40 % van de stof die alleen in het SE getoetst wordt. In het huidige examenprogramma natuurkunde is deze verhouding meer in het voordeel van de CE-stof (75 % versus 25 %). Het hogere percentage SE-stof is ingevoerd om docenten in het VO meer ruimte te geven om hun eigen onderwijs te kunnen ontwikkelen en differentiatie mogelijk te maken. Daarom werd in het NiNa-experiment expliciet naar de ervaringen van NiNa-docenten met de 60/40-verhouding gekeken.

Uit verschillende evaluerende bijeenkomsten met NiNa-docenten komt het volgende naar voren:

- docenten ervaren het CE als waarborg van het eindniveau natuurkunde
- lestijd voor SE-stof werd vaak gebruikt om het CE-deel extra aandacht te geven; dat had deels te maken met een gevoel van overladenheid (versterkt door extra tijd die nodig is wanneer onderwerpen voor het eerst worden onderwezen), deels door het maatschappelijk effect en de status van het CE; in de lespraktijk van het NiNa-experiment werd om die twee redenen de 60/40-verhouding niet gehaald
- docenten zien het SE als een ruimte om het niveau per onderdeel te variëren
- docenten willen graag een keuzeruimte binnen het SE houden, zoals voorgesteld in het advies-examenprogramma
- docenten vinden dat sommige onderdelen in ieder geval in de SE-ruimte moeten worden geplaatst, zoals praktische vaardigheden en technisch ontwerpen
- docenten vinden dat de verhouding 60/40 niet principieel onjuist is, maar dat een grotere rol voor het SE sterk samen zou moeten hangen met de waarborging van de kwaliteit van het SE; docenten zijn van mening dat de waarborging van het SE op dit moment niet goed genoeg is om 60/40 te kunnen verantwoorden.

Voorstellen die kunnen bijdragen aan een betere borging van het SE worden besproken in paragraaf 6.4, maar de verwachting vanuit het NiNa-experiment is dat de ontwikkeling hiervan enige tijd zal kosten.

## 6.2 Examinering CE

### Toetscriteria

Een nieuw examenprogramma bevat niet alleen nieuwe inhoud, maar vraagt ook om een beschouwing over het toetsen van deze nieuwe inhoud. De rol van de centrale examens in de vernieuwing is groot en daarom is in het NiNa-experiment veel aandacht besteed aan een passende vernieuwde examinering van het voorgestelde NiNa-programma. Zo is er vanaf het begin veel overleg geweest tussen de vernieuwingscommissie en vertegenwoordigers van de instituties betrokken bij de examinering, te weten het College voor Examens (CvE), Cito en SLO. Gedurende het project zijn leden van de commissie NiNa lid geworden van de syllabuscommissie en de CvE-vakcommissie, en hebben NiNa-docenten geparticipeerd in de Cito-constructiegroepen voor het maken van examenvragen. Daarnaast hebben onafhankelijke deskundigen namens de commissie NiNa conceptexamens ingezien, en opmerkingen meegegeven aan de Cito-constructiegroepen.

Het CE concentreert zich op begrippen die een brede toepasbaarheid hebben. Van de kandidaat mag verwacht worden dat hij bij het CE de betreffende kennis ook in andere contexten en situaties kan toepassen, mits de bij een vraag aangeboden informatie voldoende houvast biedt voor een correcte beantwoording van die vraag. Leerlingen moeten dus expliciet leren hoe concepten toe te passen in een nog onbekende context. Dit vraagt van leerlingen dat zij een verband kunnen leggen met principes en begrippen en een probleem kunnen oplossen door de juiste elementen te combineren. Op dit punt kunnen aan vwo-leerlingen hogere eisen worden gesteld dan aan havo-leerlingen.

Naast het toepassen van kennis moet in het CE ook ruimte zijn voor het toetsen van de competenties beschreven in hoofdstuk 5. Dit impliceert dat diverse vaardigheden (zoals redeneren, combineren, schatten, berekenen) getoetst moeten worden. Daartoe kan een grotere variëteit van vraagformuleringen worden ingezet, bijvoorbeeld korte kennis- en inzichtvragen, rekenvragen, kwalitatieve redeneervragen en complexe vragen. Voor de experimentele examens is hiertoe een criteriumtabel opgesteld door de commissie NiNa in overleg met diverse deskundigen, waarin is aangegeven welke aspecten van kennis, vaardigheden en conceptueel begrip in het CE dienen te worden getoetst.

### Onwikkeltraject

Tijdens het experiment is door verschillende betrokkenen een analyse gemaakt van de reguliere examens om deze te kunnen vergelijken met de criteriumtabel nieuwe natuurkunde. Uit de analyse komt een beeld naar voren dat de huidige examens al voor een deel aansluiten bij de NiNa-toetsingscriteria:

- dekking van de stof van het examenprogramma en niveau waarop getoetst wordt
- redeneervragen; vragen waarin de leerling een kwalitatieve redenering moet opzetten
- inzichtvragen; vragen waarbij een probleem moet worden opgelost en vragen die het analytisch-kritisch denken toetsen
- verschil tussen havo en vwo in keuze van de context
- verschil tussen havo en vwo in het gebruik van wiskunde.

Criteria waar nog aandacht aan moet worden besteed zijn:

- het toetsen van feitelijke kennis, o.a. door korte kennisvragen die beantwoord kunnen worden na bestudering van de basisstof
- vragen waarbij de leerling een schatting moet geven
- vragen die refereren aan verschillende aspecten van onderzoek, technisch ontwerpen en modelleren
- het kunnen toepassen van geleerde concepten in nieuwe contexten.

Tijdens het NiNa-experiment is een begin gemaakt met de aanpassing van de examens in de boven geschetste richting. Verschillende factoren belemmeren echter een snelle aanpassing van de reguliere examens:

- Het ontwerpen van een examen kost ongeveer drie jaar. Inzichten zoals hierboven genoemd hebben zich gedurende het NiNa-project gevormd. Als deze worden meegenomen in de ontwikkeling van een nieuw examen, dan komen die op zijn vroegst pas drie jaar na de ontwikkeling van die ideeën in de openbaarheid.
- Zowel docenten als leerlingen hebben voorbeeldexamens nodig om zich voor te bereiden op een (nieuw type) examen. Nieuwe ideeën die worden geïmplementeerd in een examen vragen dus niet alleen om een aanpassing van die nieuwe examens, maar ook om ontwikkeling van voorbeeldexamens.

Om de hierboven genoemde redenen is de enige praktische uitwerking van een vernieuwing van examens er een van geleidelijke evolutie. De afgenomen en af te nemen NiNa-examens ontwikkelen zich over een reeks van jaren tot reguliere examens en dekken steeds meer aspecten van de criteriumtabel. Deze evolutie zou bevorderd moeten worden door middel van een ontwikkelproject, uit te

Pilotexamen	Uit regulier examen	Aangepast uit regulier examen	Nieuwe opgave
havo 2009-I	61 %	10 %	28 %
havo 2010-I	60 %	0 %	40 %
vwo 2010-I	54 %	4 %	42 %

**Tabel 6.1** Percentages van totaal aantal punten van pilotexamens gegeven voor opgaven uit het reguliere examen, aangepaste opgaven uit het reguliere examen, en volledig nieuwe opgaven.

voeren door het Cito in samenwerking met de vakcommissie natuurkunde van het CvE.

### Examenexperiment

Op moment van dit verslag zijn er twee rondes havo-examens gerealiseerd, en één ronde vwo-examens. De hierboven genoemde wenselijke ontwikkeling is bij deze examens terug te zien. Een principeafpraak tussen de commissie NiNa en Cito was een globale verdeling:

- een derde van het NiNa-examen gelijk aan het reguliere examen (nodig om beide groepen gelijkwaardig te kunnen becijferen)
- een derde een aanpassing van de opgaven in het reguliere examen
- een derde nieuwe opgaven.

Het eerste havo-examen voldeed hier nog niet aan; een groter deel van het NiNa-examen was gelijk aan het reguliere examen. In de eerste tijdvakexamens afgenomen in 2010 was al meer verschil te zien (zie tabel 6.1).

De NiNa-docenten oordelen over het algemeen positief over de NiNa-examens die tot nu toe zijn afgenomen. Er wordt door NiNa-docenten en andere betrokkenen gesteld dat een aantal meerkeuzevragen in het examen wenselijk is. Het probleem dat de beoordeling van open kwalitatieve vragen lastig betrouwbaar te maken is kan hierdoor ondervangen worden. Wel is het minstens zo moeilijk om goede meerkeuzevragen te ontwerpen als kwantitatieve vragen. De kwaliteit van toetsing mag niet lijden onder een toename van gebruik van meerkeuzevragen.

Een kanttekening die moet worden gemaakt bij een vergelijking van de reguliere examens met NiNa-examens is dat de resultaten per onderwerp niet vergelijkbaar zijn. Ook als leerlingen dezelfde stof in het examenprogramma hebben

staan, en dus ook aan dezelfde vragen op het examen kunnen worden onderworpen, kunnen de resultaten niet zonder voorbehoud op dezelfde wijze worden geëvalueerd. Evident is dat de reductie van het CE-deel van 75 % naar 60 % van de stof, die met ingang van het nieuwe programma geëist wordt, een groot verschil uitmaakt voor de resultaten op gelijksoortige opgaven. In het NiNa-programma is bijvoorbeeld minder tijd aan mechanica besteed dan in het vigerende natuurkundeprogramma. Scores die lager uitvallen zouden hiervoor gecorrigeerd moeten worden. Ook binnen het CE-deel liggen accenten anders, zodat de leerlingen tijdens de lessen die aan CE-onderwerpen besteed worden deels andere vaardigheden leren dan de leerlingen die het vigerende programma doen.

## 6.3 Syllabus

### Voorkennis

Sinds 2007 worden de exameneisen niet meer in één enkel examenprogramma beschreven, maar in een kort omschreven examenprogramma en een bijbehorende syllabus. De idee is dat het examenprogramma voor een langere periode wordt vastgesteld door de minister en dat de syllabus gedurende de jaren kan worden aangepast. In de praktijk geeft het examenprogramma richting aan de syllabus, de syllabus richting aan het examen, en het examen voor een groot deel richting aan het onderwijs van de docent en het leren van de leerling.

Voor het examenexperiment NiNa is door het CvE een syllabuscommissie ingesteld. Deze commissie heeft een werkversie van de syllabus opgesteld die gebruikt is voor de pilotexamens [44]. In deze werkversie is op voorstel van de commissie NiNa een duidelijke rol toebedeeld aan de voorkennis vanuit de derde klas middels een lijst van voorkenniselementen. Doel was om in de bovenbouw niet met een losstaand natuurkundeprogramma te werken, maar dit meer in een leerlijn van onderbouw naar bovenbouw te plaatsen. Belangrijke argumenten hierbij zijn:

- de huidige kerndoelen voor de onderbouw zijn erg algemeen geformuleerd en bieden weinig concrete aanknopingspunten voor wat men aan het begin van de bovenbouw aan kennis en vaardigheden mag verwachten
- het ontbreken van collectieve voorkennis kan leiden tot uiteenlopende startposities en minder leerprogressie dan wenselijk en mogelijk is
- ook voor de andere bètavakken is het nuttig uit te kunnen gaan van specifieke voorkennis van natuurkunde
- het maakt een betere verdeling mogelijk van de onderwerpen over de verschillende leerjaren.

Vanuit de NiNa-klankbordgroep was er veel bijval voor dit initiatief. Ook de bij het NiNa-experiment betrokken docenten zijn voor handhaving van een (eventueel aangepaste) lijst met voorkenniselementen. Wel moet bij het opstellen van een definitieve lijst aandacht worden besteed aan het laten terugkomen van de lijst met vereiste voorkennis in de eindtermen van de syllabus. De constatering is dat nu sommige onderwerpen niet (genoeg) door de onderbouwboeken worden gedekt. Het invoertraject geeft schrijvers de gelegenheid om de onderbouwboeken aan te passen aan de voorkenniseisen van het nieuwe examen. In de definitieve syllabus moet volgens de docenten ook wiskundige voorkennis een inhoudelijk aandachtspunt zijn.

### Niveau-aanduiding

Een ander vernieuwend element binnen de conceptsyllabus was het gebruik van een alternatieve niveaubeschrijving. Er werd gebruikgemaakt van zowel een opdeling in kwalitatieve en kwantitatieve eisen, alsook een schaal in moeilijkheidsgraad en te behalen leerniveau. De idee was dat door een deel van de concepten op een lager niveau dan gebruikelijk te toetsen een mogelijke overladenheid van het programma kon worden tegengegaan. Het argument om het karakter van toetsing met de benaming kwalitatief – kwantitatief nader te benoemen was om meer duidelijkheid te creëren over mogelijke manieren van toetsing van de verschillende onderwerpen. Sommige onderwerpen zijn geschikt om meer kwalitatief, meer kwantitatief, dan wel op beide manieren te worden getoetst. Voorheen werd dat niet expliciet benoemd, maar bleek dit in de examenpraktijk. Voorbeeldexamens werden in het verleden gebruikt om de docent inzicht te geven in hoe bepaalde onderwerpen worden getoetst.

Vooraf gaandeweg het project was er veel discussie over het idee om kwalitatief en kwantitatief als niveau-aanduiding in de syllabus te gebruiken. Onder andere werd genoemd dat kwalitatief en kwantitatief niet een niveau-aanduiding inhoudt, maar een manier van natuurkunde bedrijven, en dus van toetsen. Er kan zowel op een lager dan wel hoger niveau kwalitatief natuurkunde worden onderwezen en getoetst, en dat geldt ook voor kwantitatief. Deze woorden kunnen dus niet één op één aan een niveau-aanduiding worden gekoppeld.

Dit neemt niet weg dat natuurkundekennis op zich zowel kwalitatief als ook kwantitatief kan worden benaderd en getoetst. Niet alleen wordt dit al in het visiedocument betoogd, dit wordt ook door betrokkenen onderstreept. Het lijkt beter om de beschrijving kwalitatief – kwantitatief los te koppelen van de niveau-aanduiding. Daarnaast geeft ook het benoemen van natuurkundige formules in de syllabus een mogelijkheid voor onderscheid van kwalitatief en

kwantitatief. Het gaat erom dat leerlingen formules kunnen gebruiken als een rekenvoorschrift (kwantitatief), en formules kunnen uitleggen als een verband tussen fysische grootheden (kwalitatief).

### Voorwaarden

In examens zijn altijd al verschillende domeinen op verschillende niveaus getoetst. Een domein als Mechanica wordt al sinds jaar en dag diepgaander getoetst dan bijvoorbeeld het domein Straling. Een streven van de commissie NiNa is om inhoudelijk een meer evenwichtig niveau van toetsing van verschillende onderwerpen te krijgen. Daarnaast kan de niveau-indeling worden ingezet om het verschil tussen de verschillende onderwerpen te objectiveren om zo een instrument te geven aan alle betrokkenen bij het examen waarmee de overladenheid van het onderwijsprogramma kan worden aangepakt.

Op grond van de gevoerde discussie kunnen een aantal voorwaarden benoemd worden waaraan een niveau-aanduiding moet voldoen:

- zorg dat docenten en examenmakers begrijpen wat er bedoeld wordt
- neem toepasbaarheid van concepten als categorie op
- benoem een niveau-aanduiding in overleg met de andere vakken
- geef bij een niveau-aanduiding voorbeeldopgaven
- kies maximaal één dimensie van niveau-aanduiding.

Tussen de vernieuwingscommissies onderling en met de syllabuscommissie is veel overleg geweest over een alternatieve niveau-aanduiding. De commissie NiNa heeft voorkeur voor een niveau-indeling in drieën: kennen, toepassen, redeneren. Dit sluit aan bij de in het internationale TIMSS-onderzoek gebruikte indeling (*knowing, applying, reasoning*) [50]. Deze niveaus kunnen uitgewerkt worden in handelingswerkwoorden en voorbeelden. Op deze manier kan de betekenis van de niveaus verder geoperationaliseerd worden.

## 6.4 Examinering SE

### NiNa-experiment

Door de experimentele scholen werd op verschillende manieren ervaring opgedaan met het schoolexamen binnen het NiNa-programma. Schoolexamens bieden mogelijkheden voor toetsvormen die zich niet voor het CE lenen, maar wel belangrijk zijn omdat zij vaardigheden toetsen die in het examenprogramma zijn opgenomen, zoals op het gebied van onderzoek, ontwerpen en modelleren. In het NiNa-programma onderscheidt het SE zich ook omdat het gaat over leerstof die een contextgebonden, dan wel verdiepend karakter heeft.

Een meerderheid van de scholen (acht van de elf ondervraagde scholen) nam het SE voornamelijk af in het examenjaar. Er was aan de andere kant ook een school die de hele bovenbouw SE's afnam over de stof die niet op het CE werd getoetst. De stof die wel op het CE werd getoetst telde op deze school alleen mee voor het rapportcijfer. Als bron voor de schriftelijke SE's werden door alle ondervraagde scholen oude examens genoemd. Een meerderheid van de docenten vond vernieuwende opgaven in het experimentele lesmateriaal (64 %), en/of creëerde deze zelf met gebruik van (kranten-)artikelen (64 %). Enkelen noemden als bron het interne digitale uitwisselplatform (de surfgroep) van het NiNa-project en de SE-handreiking van SLO. Slechts weinig docenten gaven overigens aan gebruik te hebben gemaakt van de SLO-handreiking als informatiebron voor het opzetten van schoolexamens.

Een vergelijking door docenten van de gemiddelde cijfers van hun eigen leerlingen voor het SE met die voor het CE laat voor de experimentele scholen geen duidelijk verschil zien. Enkele scholen geven aan dat ze met hun SE-cijfers enkele tienden boven het CE cijfer zitten, maar daartegenover scoren ook enkele experimentele scholen enkele tienden lager op het SE in vergelijking met het CE. Scholen die lager op het SE scoren geven als mogelijke verklaring dat zij met het onderwijs, en dus het SE, dieper op de stof ingaan.

Op het eerste gezicht hebben de docenten binnen het NiNa-experiment dus geen problemen gehad met een verschil in waardering tussen SE en CE. Gelijke becijfering mag echter niet direct gelijk gesteld worden met een gelijke inhoud of niveau van SE en CE. Zoals wettelijk bepaald, en ook door NiNa wenselijk geacht, beoordeelt het SE (deels) andere kennis en vaardigheden dan het CE. Op leerling-niveau zal er dus zeker verschil zijn tussen de resultaten voor beide vormen van toetsing. Het is echter zaak om beide vormen van toetsing bij het becijferen zo te beoordelen dat op groepsniveau CE en SE ongeveer gelijk worden becijferd. Een andere discussie is wat precies de inhoud van het SE moet zijn.

### Borging SE

Zoals gesteld in paragraaf 6.1 werd er tijdens de discussie over verhouding CE/SE een onderliggend probleem ervaren dat de wenselijke verhouding SE/CE beïnvloedt, namelijk de borging van het SE. Op dit moment hebben docenten, ook in het NiNa-experiment, het gevoel dat de inhoud, diepgang en moeilijkheidsgraad van het SE erg kunnen afhangen van factoren buiten het examenprogramma om. Dit zien we in de evaluaties terug in bijvoorbeeld de geringe inzet van practicum in het lesprogramma op de NiNa-scholen. Door docenten wordt gepleit voor een betere borging van het niveau van SE en het invoeren van

(keuze)domeinen die binnen het SE worden getoetst, zoals dat in dit rapport in navolging van [27] wordt voorgesteld.

Ideeën en oplossingen die door de docenten werden genoemd om het SE te waarborgen zijn:

- een netwerk van docenten in de regio (*peer reviews*)
- toetsing van de kwaliteit door HO-docenten (*expert reviews*)
- beschikbaarheid van voorbeeldtoetsen voor het SE
- het ontwerpen van een syllabus voor de SE-onderwerpen
- een combinatie van opties, bijvoorbeeld van voorbeeldtoetsen en *peer reviews*
- geen systeem voorschrijven maar scholen verplichten aan te geven hoe ze de kwaliteit van de schoolexamens borgen.

Vanuit de docenten kwam vooral een voorkeur naar voren om naast het ontwerpen van een syllabus voor de SE-stof voorbeeldtoetsing in te zetten. Bij het Project Moderne Natuurkunde zijn al goede ervaringen met voorbeeld-SE's opgedaan. Er werd ook verwezen naar bijvoorbeeld de luistertoetsen bij talen, en de al oudere praktische Cito-toetsen. In deze gevallen verspreidde het Cito in het verleden elk jaar nieuw toetsmateriaal, dat nog steeds op sommige scholen wordt gebruikt om respectievelijk luister- of praktische vaardigheden te toetsen.

Het waarborgen van het SE is niet alleen van invloed op de gewenste verhouding SE/CE. Daarnaast is er een grote wens om de rol van practica en onderzoek te versterken in het curriculum. In het advies-examenprogramma is daarom een nieuw domein Onderzoek en ontwerp benoemd als SE-domein. Door naast schriftelijke voorbeeld-SE's ook praktische voorbeeld-SE's te ontwikkelen kan ook de rol van practica en onderzoek in het NiNa-programma worden versterkt.

## Referenties

- 1 Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo, *Natuurkunde leeft* (2006).
- 2 Onderwijsraad, *Stand van educatief Nederland* (2009).
- 3 Ministerie van OCW, *Deltaplan Bèta Techniek* (2003).
- 4 Platform Bèta Techniek, *Bètatechniek Agenda 2011-2016* (2009).
- 5 Aanbeveling van het Europees Parlement en de Raad, *Sleutelcompetenties voor een leven lang leren* (2007).
- 6 J. van der Veer, We hebben bèta's nodig, doe er wat aan, *NRC* (2010)
- 7 [www.betamentality.nl](http://www.betamentality.nl)
- 8 PBT Bètakrant 2008, *Nieuws over de bètavakken* (2008).
- 9 Commissie Actieplan Natuurkunde, *Fysica voor de toekomst* (2007).
- 10 Platform Bèta Techniek, *Verduurzamen* (2009).
- 11 Advies Commissie Breimer, *Implementatie sectorplan Natuur- en Scheikunde* (2010).
- 12 Cito, *Resultaten PISA-2009 in vogelvlucht* (2010).
- 13 Universiteit Twente, Vakgroep Onderwijsorganisatie en -management, *Nederland in TIMSS-Advanced* (2009).
- 14 Cito, *Nederlandse 15-jarigen en de natuurwetenschappen* (2010).
- 15 Webmagazine CBS, *Leerlingen in het vwo kiezen steeds vaker natuurprofiel* (2009).
- 16 [www.vhto.nl/cijfers-trends.html](http://www.vhto.nl/cijfers-trends.html)
- 17 Stichting Leerplanontwikkeling, *Vakdossiers Biologie Natuurkunde Scheikunde* (2002, 2003, 2006).
- 18 PlatformPocket 22, *Van leerjaar 3 naar leerjaar 4 in een natuurprofiel* (2010).
- 19 PlatformPocket 25, *Vijfdeklassers in een natuurprofiel. Profielervaringen, studiekeuze en speciale programma's* (2010).
- 20 Ch.G. van Weert, *Makkelijker kunnen we het niet maken, wel leuker* (2007).
- 21 PlatformPocket 11, *Wat bepaalt de keuze voor een natuur-profiel?* (2009).
- 22 K. Hooyman e.a., *Nieuwe Natuurkunde begint in de onderbouw*, *NVOX* (2007).
- 23 Rapport Hiteq centrum voor innovatie, *Kenmerkend havo en vwo* (2010).
- 24 Stichting Axis, *Een basis voor SONaTe. Voorbeelden van inhoudelijke samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken en wiskunde in de tweede fase havo/vwo* (2003).
- 25 Nuffield Foundation, *Science Education in Europe* (2008).
- 26 Bèta5, *Samenhang in het natuurwetenschappelijk onderwijs voor havo en vwo* (2010).
- 27 Commissie Parlementair Onderzoek Onderwijsvernieuwingen, *Tijd voor onderwijs* (2008).
- 28 McKinsey & Company, *How the world's best-performing school systems come out on top* (2007).
- 29 R. Sikkes, *Schoolprestaties lager door lerarentekort*, *het Onderwijsblad* (2010).
- 30 W. Kuiper, *Curriculumevaluatie en verantwoorde vernieuwing van bètaonderwijs* (2009).
- 31 Onderwijsraad, *Leraarschap is eigenaarschap* (2007).
- 32 Onderwijsraad, *Examinering: draagvlak en toegankelijkheid* (2006).
- 33 Curriculumevaluatie Bètaonderwijs Tweede Fase. Deelrapport: *Evaluatie Examenpilot Nieuwe Natuurkunde havo/vwo 2007-2010*. Conceptversie november 2010. Enschede, SLO (2010).
- 34 Stichting Leerplanontwikkeling, *Invoeringsplan nieuwe bèta-examenprogramma's* (2010).
- 35 K.Th. Boersma, *Moet er meer dan er kan? Is het biologieprogramma overladen?*, *Niche* (2002).
- 36 C. Biemans, "Faciliteer de docent bij de invoering van vernieuwde bètavakken", *NVOX* (2010).
- 37 P. Lijnse, *NiNa op haar kop?* *NVOX* (2007).
- 38 D. Hodson, *Re-thinking old ways: towards a more critical approach to practical work in school science*, *Studies in Science Education* (1993).
- 39 OECD, *PISA 2009 Assessment Framework* (2009).
- 40 Elwin Savelsbergh e.a., *Modelleren en computermodellen in de  $\beta$ -vakken, Advies aan de gezamenlijke  $\beta$ -vernieuwingscommissies* (2008).
- 41 PlatformPocket 20, *Tien didactische aandachtspunten voor de bètavakken op de havo* (2010).
- 42 H. Lindeman, *Hoe havodocenten de keuze voor de natuurprofielen kunnen bevorderen*, *APS* (2009).
- 43 [www.cdbeta.uu.nl/subw/mn/](http://www.cdbeta.uu.nl/subw/mn/)
- 44 Cevo, *Werkversie syllabus natuurkunde havo en vwo bij het examenprogramma van Nieuwe Natuurkunde* (2008).
- 45 Cevo, *Natuurkunde HAVO Syllabus centraal examen 2011* (2009).
- 46 Cevo, *Natuurkunde VWO Syllabus centraal examen 2011* (2009).
- 47 Gerard Nienhuis, *Niemand begrijpt de quantummechanica, maar iedereen kan die toepassen*, *Academische Boekengids* (2010).
- 48 The International Baccalaureate Organization, *Physics Guide* (2007).
- 49 Oxford, Cambridge and RSA Examinations, *Specification Advancing Physics* (2009).
- 50 TIMSS & PIRLS International Study Center, *TIMSS Advanced 2008 Assessment Frameworks* (2006).
- 51 C. van der Giessen e.a. *Eindverslag van Werkgroep Afstemming Wiskunde-Natuurkunde* (2008).
- 52 [www.cdbeta.uu.nl/subw/salvo/](http://www.cdbeta.uu.nl/subw/salvo/)

## Bijlage 1 Samenstelling Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo

- prof. dr. Chris van Weert, emeritus hoogleraar basisonderwijs natuurkunde, Universiteit van Amsterdam, voorzitter
- prof. dr. Peter Barthel, hoogleraar astrofysica Rijksuniversiteit Groningen; lid van de KNAW Raad voor Technische Wetenschappen, Wiskunde en Informatica, Natuur- en Sterrenkunde en Scheikunde (TWINS), en de KNAW Commissie Basis- en Voortgezet Onderwijs
- prof. dr. Marileen Dogterom, hoogleraar biofysica Universiteit Leiden; groepsleider FOM Instituut AMOLF Amsterdam
- prof. dr. Robbert Dijkgraaf, hoogleraar mathematische fysica Universiteit van Amsterdam (lid commissie tot 1 september 2009)
- dr. Jos van Haaren, Senior Director Philips Research Eindhoven
- dr. Anneke de Leeuw, lerares natuurkunde, NLT en ANW St. Michaël College te Zaandam; waarnemer Raad voor Natuurkunde en Sterrenkunde van de KNAW, tot 2008
- dr. ir. Henk Pol, docent natuurkunde en ANW Augustinus College te Groningen; docent UCLO Rijksuniversiteit Groningen; vanaf 2009 vakdidacticus aan Instituut ELAN, Universiteit Twente
- ir. Ruud Sniekers, teamleider opleiding technische natuurkunde, Saxion
- ir. Wim Sonneveld, leraar natuurkunde en NLT GSG Randstad te Rotterdam; vakdidacticus TULO Technische Universiteit Delft

## Bijlage 2 Samenstelling projectgroep Nieuwe Natuurkunde

- drs. Maarten Pieters, projectmanager AMSTEL Instituut, Universiteit van Amsterdam, projectmanager, secretaris van de commissie
- prof. dr. Harrie Eijkelhof, hoogleraar Natuurkundedidactiek, Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education, Universiteit Utrecht, projectcoördinator
- dr. Ed van den Berg, vakdidacticus natuurkunde, AMSTEL Instituut, Universiteit van Amsterdam (tot augustus 2008)
- dr. Peter Dekkers, vakdidacticus natuurkunde Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education, Universiteit Utrecht (vanaf april 2006)
- drs. Paul Feldbrugge, docent natuurkunde Hanzehogeschool, onderzoeker Instituut voor Didactiek en Onderwijsontwikkeling, Rijksuniversiteit Groningen (vanaf september 2008)
- dr. ir. Koos Kortland, vakdidacticus natuurkunde Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education, Universiteit Utrecht (vanaf oktober 2008)
- drs. Guus Mulder, docent natuurkunde Visser 't Hooft Lyceum, Leiden (vanaf september 2008)
- drs. Rob Ouwerkerk, docent natuurkunde Stedelijk Gymnasium Haarlem; wetenschapsjournalist
- dr. Elwin Savelsbergh, vakdidactisch onderzoeker, Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education, Universiteit Utrecht
- drs. Onne Slooten, docent natuurkunde OSG West-Friesland te Hoorn (vanaf september 2008)
- Loran de Vries, student natuurkunde Universiteit van Amsterdam, docent natuurkunde
- dr. ir. Marjolein Vollebregt, vakdidacticus natuurkunde IVLOS, Universiteit Utrecht (vanaf september 2008)
- drs. Theo van Welie, voormalig docent natuurkunde (tot 2007, † 2010)
- drs. Fleur Zeldenrust, promovendus computational neuroscience, Swammerdam Institute for Life Sciences, Universiteit van Amsterdam

### Bijlage 3 Pilotscholen en -docenten

Sommige docenten in onderstaande lijst zijn gedurende de gehele periode betrokken geweest bij de pilot, andere een deel ervan.

School	Plaats	School-type	Docenten
Praedinius Gymnasium	Groningen	vwo	Joost de Bruijn, Martin Mug, Kirsten Stadermann, Mathijs de Vroome, Jan Wubs
Maartens College	Haren	havo/ vwo	Jolle Bouw, Sieberen Idzenga, Michael Lubbinge, Remko te Velde, Bas Wijnen
CSG Dingstede	Meppel	havo/ vwo	Soraya de Gier, Jan Huurnink, Berend Tiesinga
Twents Carmelcollege, loc. De Thij	Oldenzaal	havo/ vwo	Jel Klaassen, Harm Meek, Frits Rabbering
CSG De Heemgaard	Apeldoorn	havo	Jos Engelbert, Pier Siersma, Henk Vroon
Stedelijk Gymnasium	Nijmegen	vwo	Jan Paul Borgonjen, Peter van den Borne, Cor Heesbeen, Ad Nijenhuis, Peter Rennspies, Arian Verbrugge
Raayland College	Venray	vwo	Ger Hermsen, Jan van Riswick
KSG Etten-Leur	Etten-Leur	havo/ vwo	Chris Lambert, Rene Mathot, Kees van den Nieuwenhuizen, Joop Peeters
Herbert Vissers College	Nieuw-Vennep	havo/ vwo	Piet Dees, Roland Meijerink, Ad Mooldijk, Pier Siersma
Hervormd Lyceum Zuid	Amsterdam	vwo	Dick Hoekzema
Coornhert Gymnasium	Gouda	vwo	Jakob Gillissen, Tom Kooij, Wim Wensink
Stedelijk Gymnasium De Passie	Utrecht	vwo	Nico Bosman, Maarten Kleijne
Christelijk Lyceum	Utrecht	havo/ vwo	Wim Janssen, Evert Wind
Christelijk Lyceum	Veenendaal	havo	Leo van Berkel, Karsten Köhler, Jannes van der Meulen
Rembrandt College	Veenendaal	havo	Lieke Heimel

### Bijlage 4 Samenstelling klankbordgroep

Onderstaande lijst omvat de namen van mensen of functies die op enig moment lid van de klankbordgroep zijn geweest, niet ieder heeft in elke fase deelgenomen.

- drs. Hubert Biezeveld, docent natuurkunde VO, co-auteur van *Scoop* en *Stevin* (opgevolgd door Ruud Brouwer)
- prof. dr. ing. Dave Blank, hoogleraar Technische Natuurwetenschappen UT, hoofdredacteur natuurkunde.nl
- ir. Robert Bouwens, docent natuurkunde VO, CEVO
- drs. Ruud Brouwer, docent natuurkunde VO, constructeur eindexamens natuurkunde-havo, (opvolger van H.N. Biezeveld)
- drs. Lucia Bruning, leerplanontwikkelaar natuurwetenschappen SLO
- drs. Cristien van Dijk, projectmanager havo/vwo Landelijk expertisebureau meisjes/vrouwen en bèta/techniek (VHTO)
- dr. Han Heijmans, directeur Techniek Museum Delft, Vereniging van Science Centra
- ir. Gerard Jacobs, Senior Manager Employability / Jet-Net, Philips Electronics Nederland B.V.
- drs. Arnout Jaspers, eindredacteur Natuurwetenschap & Techniek
- ir. Henk van der Kooij, coördinator Exacte Vakken CEVO, curriculumontwikkelaar Freudenthal Instituut, UU
- ir. Diederik Samsom, lid Tweede Kamer, kernfysicus
- Frank Seller, lid projectgroep Onderbouw-VO
- prof. dr. ir. Pieter Kruit, TU Delft
- drs. Chiel Renique, beleidsmedewerker Onderwijs VNO-NCW
- voorzitter Vereniging Studenten Physica in Nederland (SPIN), wisselend

## Bijlage 5 Auteurs en medewerkers aan modules

module	auteurs en medewerkers
Atmosfeer en aarde, havo	Onne van Buuren Karsten Köhler Henk Vroon
Communicatie, havo, vwo	Cor van Huis David Fokkema Tom Kooij Pier Siersma
Deeltjes en hun interacties, vwo	Frans van Liempt Hans van Bemmell Marten van der Lee
Domotica, havo, vwo	Onne van Buuren Ed van den Berg Cor de Beurs Hans van Dijk Kees van Loon Piet Molenaar Peter Over
Eigenschappen van stoffen en materialen, vwo	Maarten Huijbregtse Joost van der Schee Jos Seldenthuis Ineke Frederik Matthieu van de Kragt Adri Moerdijk Bart van de Straat Jos Thijssen
Elektromagnetische straling en materie, vwo	Paul Feldbrugge Peter Barthel
Elektrische en magnetische velden, vwo	Maarten Huijbregtse Joost van der Schee Ineke Frederik Lodewijk Arntzen Matthieu van de Kragt Adri Moerdijk Jos Thijssen Bart van de Straat Jos Seldenthuis

module	auteurs en medewerkers
Leven en natuurkunde, vwo	Marileen Dogterom Aartjan van Pelt Fleur Zeldenrust Michiel Müller Piet Tom Smit Loran de Vries
Materialen, havo	Hans van Bemmell Kees de Lange Rob van Haren
Medische beeldvorming, havo, vwo	Bart Lindner Kees Hooyman Henk van Lubeck Hans van Bemmell Saskia Blom
Menselijk lichaam, havo	Aartjan van Pelt Cor van Huis Guus Mulder
Natuurwetten, vwo	Hans van Bemmell Dick Hoekzema
Practica	Jakob Gillissen Tom Kooij Karel Langendonk Guus Mulder
Quantumwereld, vwo	Hans van Bemmell
Relativiteit, vwo	Sander Bais Bart Rijkenberg Rob Ouwerkerk Onne Slooten Loran de Vries
Technisch ontwerpen	Henry van Bergen Wim Sonneveld Nord-Jan Vermeer
Weer en natuurkunde, vwo	Aart Groenewold
Wisselwerking en beweging, vwo	Peter Dekkers Kees Hooyman Marjolein Vollebregt Koos Kortland Roeland Boot Kees Klaassen Rob Ouwerkerk
Zonnestelsel en heelal, havo	Theo van Welie Kees Hooyman

## Afkortingen

CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
CE	Centraal schriftelijk eindexamen
Cito	Instituut voor Toetsontwikkeling
cTWO	Commissie Toekomst WiskundeOnderwijs
CvE	College voor Examens
HO	Hoger onderwijs
IOBT	Stichting Innovatie Onderwijs in Bètawetenschappen en Technologie
KNAW	Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen
KNCV	Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging
NIBI	Nederlands Instituut voor Biologie
NiNa	Nieuwe Natuurkunde
NG	Natuur en Gezondheid
NLT	Natuur, Leven en Technologie
NNV	Nederlandse Natuurkundige Vereniging
NT	Natuur en Techniek
NTvN	Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde
NVON	Nederlandse Vereniging voor het onderwijs in de Natuurwetenschappen
NVOX	Periodiek van de NVON
NVvW	Nederlandse Vereniging van Wiskundeleraren
OCW	Onderwijs, Cultuur en Wetenschap
OESO	Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling
OGC	Onderwijscommissie Geneeskunde
PBT	Platform Bèta Techniek
PISA	Programme for International Student Assessment
PMN	Project Moderne Natuurkunde
PTA	Programma voor Toetsing en Afsluiting
SE	Schoolexamen
SLO	Nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling
SLU	Studielastuur
TIMSS	Trends in International Mathematics and Science Study
VO	Voortgezet onderwijs
WND	Werkgroep Natuurkunde Didactiek