



Vernieuwd examenprogramma gestart

Dit schooljaar zijn de leerlingen in 4 havo en 4 vwo gestart met de vernieuwde examenprogramma's natuurkunde. De programma's omvatten meer actuele natuurkunde dan voorheen en er is meer aandacht voor conceptueel begrip, voor onderzoeken, ontwerpen en modelvorming. Het doel is het natuurkundeonderwijs voor leerlingen uit de profielen Natuur en Gezondheid en Natuur en Techniek inhoudelijk te actualiseren, met aandacht voor vervolgonderwijs en beroepspraktijk. De regionale bètasteunpunten, waarin scholen, hbo en universiteiten samenwerken, spelen een belangrijke rol in de professionalisering van de leraren.

Maarten Pieters, Jos Paus en Chris van Weert

480

De nieuwe examenprogramma's zijn in de jaren 2005 tot en met 2010 ontwikkeld door de Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo (Commissie NiNa) en in 2012 vastgesteld door de Minister. De programma's zijn voor het centraal examen in syllabi van specificaties voorzien door het College voor Examens (CvE). Voor het schoolexamen heeft het Nationaal Expertisecentrum voor Leerplanontwikkeling (SLO) handreikingen ontwikkeld. De programma's omvatten meer actuele natuurkunde dan voorheen, en er is meer aandacht voor concep-

tuueel begrip, voor onderzoeken, ontwerpen en modelvorming. Het doel is het natuurkundeonderwijs voor leerlingen uit de profielen Natuur en Gezondheid en Natuur en Techniek inhoudelijk te actualiseren, met aandacht voor vervolgonderwijs en beroepspraktijk.

Nieuwe en vernieuwde onderwerpen

De meeste van de natuurkundige concepten en vaardigheden die de nieuwe examenprogramma's voorschrijven, hebben al jaren een plaats in het voortgezet onderwijs. Maar er is ook een aantal nieuwe concepten en onderwerpen bijgekomen. Daarnaast is een nieuwe indeling gemaakt in domeinen, die natuurkundige concepten en vaardigheden in verband brengen met onderzoeks- of toepassingsgebieden. Een overzicht van de (sub)domeinen staat in tabellen 1 en 2. Sommige (sub)domeinen staan voor het eerst in het examenprogramma. Dit zijn voor havo: *Materialen, Aarde en heelal* en de keuzedomeinen *Aarde en*

klimaat en Menselijk lichaam; voor vwo: *Quantumwereld* en de keuzedomeinen *Biofysica, Geofysica en Relativiteitstheorie*. *Astrofysica* is als context in meerdere domeinen expliciet benoemd. Er zijn twee overkoepelende domeinen *Natuurkunde en technologie* voor havo en *Natuurwetten en modellen* voor vwo (zie kader *Overkoepelende domeinen*).

Andere subdomeinen bevatten veel natuurkunde die ook in de oude programma's te vinden was, maar die nadrukkelijker aan bepaalde contexten uit onderzoek, technologie of leefwereld wordt gekoppeld. Een voorbeeld: de syllabus bij het havo-examenprogramma noemt bij het subdomein *Energieomzettingen* dat leerlingen bewegingen

Maarten Pieters was secretaris van de Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo en projectleider voor de pilot. Sinds 2011 is hij projectleider voor de invoering van de nieuwe examenprogramma's voor de natuurwetenschappen bij het Nationaal Expertisecentrum voor leerplanontwikkeling SLO.



m.pieters@slo.nl

Jos Paus is docent natuurkunde aan het Bonhoeffercollege in Enschede en leerplanontwikkelaar bij het Nationaal Expertisecentrum voor leerplanontwikkeling SLO.



Domein		Subdomein		CE	SE
A	Vaardigheden	A1 - A15	Vaardigheden	x	x
B	Beeld- en geluidstechniek	B1	Informatieoverdracht	x	
		B2	Medische beeldvorming	x	
		B3	Optica		k*
C	Beweging en energie	C1	Kracht en beweging	x	
		C2	Energieomzettingen	x	
D	Materialen	D1	Eigenschappen van stoffen en materialen	x	
		D2	Functionele materialen		x
E	Aarde en heelal	E1	Zonnestelsel en heelal	x	
		E2	Aarde en klimaat		k*
F	Menselijk lichaam				k*
G	Meten en regelen	G1	Gebruik van elektriciteit	x	
		G2	Technische automatisering		k*
H	Natuurkunde en technologie			x	
I	Onderzoek en ontwerp	I1	Experiment		x
		I2	Modelstudie		x
		I3	Ontwerp		x

Tabel 1 Verdeling leerstof voor Centraal examen en Schoolexamen (CE en SE). Verdeling van het examenprogramma havo in domeinen en subdomeinen. k*: uit deze vier (sub)domeinen worden er twee gekozen. D2 en I zijn verplicht voor het SE.

Domein		Subdomein		kan in CE	moet in SE
A	Vaardigheden	A1 - A15	Vaardigheden	x	x
B	Golven	B1	Informatieoverdracht	x	
		B2	Medische beeldvorming	x	
C	Beweging en wisselwerking	C1	Kracht en beweging	x	
		C2	Energie en wisselwerking	x	
		C3	Gravitatie	x	
D	Lading en veld	D1	Elektrische systemen	x	
		D2	Elektrische en magnetische velden	x	
E	Straling en materie	E1	Eigenschappen van stoffen en materialen		x
		E2	Elektromagnetische straling en materie	x	
		E3	Kern- en deeltjesprocessen		k*
F	Quantumwereld en relativiteit	F1	Quantumwereld	x	
		F2	Relativiteitstheorie		k*
G	Leven en aarde	G1	Biofysica		k*
		G2	Geofysica		k*
H	Natuurwetten en modellen			x	
I	Onderzoek en ontwerp	I1	Experiment		x
		I2	Modelstudie		x
		I3	Ontwerp		x

Tabel 2 Verdeling leerstof voor Centraal examen en Schoolexamen (CE en SE). Verdeling van het examenprogramma vwo in domeinen en subdomeinen. k*: beperkte keus: uit deze vier (sub)domeinen worden er twee gekozen. E1 en I zijn verplicht voor het SE.

minimaal moeten kunnen analyseren in de contexten van 'energiegebruik en energiebesparing in het verkeer' en van 'de bewegende mens'. In dit voorbeeld worden toepassingscontexten expliciet

in de leerstof opgenomen, in andere subdomeinen blijft dat open. Domeinen als *Beweging en wisselwerking* (vwo) of *Beweging en energie* (havo) zijn voorbeelden waarvoor het exa-

menprogramma geen andere inhoud voorschrijft dan al eerder de gewoonte was, maar minder uitgebreid om plaats te maken voor de nieuwe onderwerpen.

Overkoepelende domeinen

Het havo-domein H *Natuurkunde en technologie* heeft als eindterm “De kandidaat kan in voorbeelden van technologische ontwikkeling (...) natuurkundige principes en wetmatigheden herkennen, benoemen en toepassen.” Deze eindterm benadrukt de toepassingsgerichtheid van de natuurkunde voor de havoleerlingen.

Het vwo-domein H *Natuurwetten en modellen*, luidt: “De kandidaat kan in voorbeelden (...) fundamentele natuurkundige principes en wetmatigheden herkennen, benoemen en toepassen. Ook kan de kandidaat een model hanteren en de grenzen van de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van een bepaald model voor een fysisch verschijnsel beoordelen.”

In zowel havo als vwo wordt expliciet aandacht gevraagd voor experimenteren, modelleren en ontwerpen. Deze activiteiten zijn karakteristiek voor elke natuurwetenschap. Zij worden genoemd bij de natuurwetenschappelijke, wiskundige en technische vaardigheden die op bètaprofielniveau gelden, en zo ook in de examenprogramma's voor de andere bètavakken staan. De aard van onderzoeken, ontwerpen en modelleren laat toetsing in het CE vaak niet toe. Het natuurkundeprogramma benadrukt in een speciaal domein I *Onderzoek en ontwerp* dat deze activiteiten ook in contexten uit CE-subdomeinen in het SE getoetst moeten worden.

11 Maak deze zinnen compleet door het juiste alternatief te kiezen en de zinnen af te maken.

1 Bij het afremmen **neemt de remkracht toe / neemt de remkracht af / blijft de remkracht gelijk**, want:

2 Bij het afremmen **neemt het vermogen van de remmen toe / neemt het vermogen van de remmen af / blijft het vermogen van de remmen gelijk**, want:

Maak deze zin compleet door de juiste alternatieven te kiezen.

3 De remmen van de wielen worden zeer heet omdat er **meer/minder** energie per seconde aan de remmen wordt **toegevoerd/afgevoerd** dan er per seconde door de remmen wordt **opgenomen/afgestaan** aan de omgeving.

Figuur 1 Een opdracht uit het centraal examen natuurkunde-pilot 2012 (tweede tijdvak) voor havo. Hij illustreert de toegenomen nadruk op conceptuele kennis.

Leraren gaan het vormgeven

Het papier waarop de eindtermen, syllabuspecificaties en handreikingen geschreven zijn, is geduldig. Maar

Chris van Weert was voorzitter van de commissie vernieuwing natuurkunde-onderwijs havo/vwo (commissie NiNa). Nu is hij voorzitter van de Stichting Innovatie Onderwijs in Bètawetenschappen en Technologie (IOBT) die namens de beroepsverenigingen KNCV, NIBI, NNV en NVON betrokken is bij de invoering van de nieuwe examenprogramma's.



nu zijn leraren en leerlingen hiermee vanaf september 2013 ook daadwerkelijk aan de slag gegaan. De leraren hebben daarbij de keus uit maar liefst zes vernieuwde of nieuwe lesmethodes die door de educatieve uitgever op de markt zijn gebracht. Daarnaast kunnen ze werken met materiaal uit de pilotperiode of materiaal dat zij zelf hebben gemaakt. Voor meer informatie, zie www.betanova.nl/lesmateriaal.

De invoering van de vernieuwde programma's is aanleiding om veel aandacht aan professionalisering te besteden, zoals nascholing in de nieuwe onderwerpen. Natuurkundeleraren worden daar-

bij ondersteund vanuit de natuurkundesteunpunten bij universiteiten en hogescholen. Deze natuurkundesteunpunten maken, samen met steunpunten voor andere bètavakken, deel uit van het landelijke netwerk van Brede regionale steunpunten, waarin scholen, hbo-instellingen en universiteiten regionaal samenwerken. Het Sectorplan natuur- en scheikunde en het Platform Bèta Techniek zorgen voor medefinanciering van de steunpunten.

De steunpunten hebben een drievoudige doelstelling: professionalisering van de docenten, doorontwikkelen van de vakken en zorgen voor een goede aansluiting van het voortgezet onderwijs met het hoger onderwijs. Zij willen bovendien een schakel zijn tussen de actuele, universitaire en toegepaste natuurkunde en het voortgezet onderwijs. Zo zijn de steunpunten een natuurlijke partner bij de invoering van bètavakvernieuwing en haar ambities: meer actualiteit, doorgaande professionalisering van leraren, doorgaande ontwikkeling van curricula. Het artikel van Onne Slooten in dit nummer beschrijft het praktijkvoorbeeld van het steunpunt Amsterdam. De sectie Onderwijs en Communicatie van de NNV, onder voorzitterschap van Wouter van Joolingen, coördineert landelijk de activiteiten van de natuurkundesteunpunten.

Op veel plaatsen zijn docentontwikkelteams (DOT's) gevormd, waarin docenten uit voortgezet en hoger onderwijs samenwerken aan verdere uitwerking en vormgeving van onderdelen uit de nieuwe programma's, in het bijzonder de onderwerpen die vallen

Vershil centraal eindexamen en schoolexamen

In het globaal geformuleerde examenprogramma staat de leerstof van het centraal examen (CE) en het schoolexamen (SE) beschreven.

Voor het CE is het programma uitgewerkt in een syllabus, opgesteld door een syllabuscommissie onder de verantwoordelijkheid van het College voor Examens (CvE). Een syllabus specificiert de onderdelen van het examenprogramma verder, de specificaties zijn voorschrijvend. Voorzitter van de syllabuscommissie natuurkunde is Edgar Groenen. De syllabi zijn te vinden op www.betanova.nl/examenprogramma/syllabus.

Voor het SE gelden geen andere voorschriften dan de eindtermen uit het examenprogramma. Wel worden hier in de *Handreiking schoolexamens* suggesties voor gedaan.

De *Handreiking* is gemaakt onder de verantwoordelijkheid van SLO. Vindplaats: www.slo.nl/organisatie/recentepublicaties/handreikingschoolexamennatuurkunde.

De leerstofverdeling CE-SE was in het natuurkundeprogramma sinds 2007: 75%-25%, en is nu gelijkgetrokken met die van andere vakken: 60%-40%. Leraren hebben daarbij meer vrijheid gekregen om het programma zelf in te richten.

onder het schoolexamen (SE). De verdeling tussen leerstof geëxamineerd in het centraal schriftelijk examen (CE) en dat voor het SE is 60%-40% (zie kader *Vershil centraal eindexamen en schoolexamen*). Voor het SE zijn de eindtermen slechts globaal geformuleerd. Dat geeft leraren en scholen veel vrijheid om deze onderwerpen zelf in te vullen. Maar docentontwikkelteams kunnen de komende jaren ook bijdragen aan een verdere ontwikkeling van de CE-onderwerpen en waar nodig aanpassing van specificaties in de syllabus.

De website www.betasteunpunten.nl geeft een overzicht van het aanbod van de steunpunten, per regio, per vak en per periode.

Meer informatie

Het advies van de commissie NiNa is te downloaden van de website www.nieuwenatuurkunde.nl. Het Nationaal Expertisecentrum Leerplanontwikkeling SLO coördineert de invoering van de nieuwe programma's. Voor documentatie daarover, zie www.betanova.nl. SLO ondersteunt, samen met de NNV, de NVON, de Stichting IOBT (waarin de bètaverenigingen samenwerken op onderwijsgebied) en het Platform Bèta Techniek de steunpunten met informatie over de curriculumvernieuwingen. SLO bevordert voor de steunpunten ook de communicatie met leraren, en levert een organisatorische bijdrage aan de samenwerking per vak en in de overkoepelende Steunpuntenraad.

Noot

- 1 Eerdere publicaties in het NTvN over het nieuwe programma, toen nog

T 5 Biofysica: de natuurkunde van het leven

Biofysisch onderzoek heeft veel kennis over de zweepstaartmotor opgeleverd. Een aantal cijfers:

- Bij elke omwenteling van de motor stromen circa 1200 protonen de cel binnen, onder invloed van een potentiaalverschil van 150 mV.
- Het toerental van de motor varieert onder natuurlijke omstandigheden van 0 tot 200 Hz (omwentelingen per seconde).
- De motor levert onder deze omstandigheden een moment van $4 \cdot 10^{-19}$ Nm, onafhankelijk van het toerental.
- Het rendement van de motor is erg hoog, 90-100%, bij toerentalen tot 200 Hz. Bij hogere toerentalen neemt het rendement sterk af.

Biased random walking
Een bacterie kan maar enkele seconden rechtuit zwemmen. Dat komt doordat de bacterie omringd wordt door moleculen die steeds tegen hem aanbotsen. Soms komen er toevallig meer moleculen vanuit de ene richting dan vanuit de andere, en dan wordt de bacterie uit zijn koers geslagen. Op de schaal waarop een bacterie leeft, worden deze toevallige fluctuaties niet 'uitgemiddeld', zoals dat op menselijke schaal wel gebeurt.

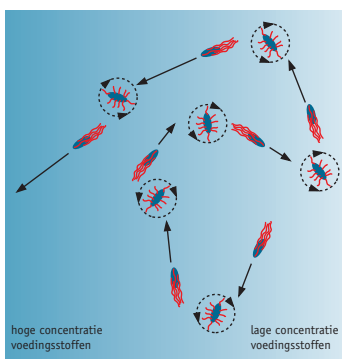
Een *E. coli* bacterie beweegt via een grillig traject, zoals in afbeelding 19 is weergegeven. Met behulp van een microscoop en een camera is de plaats van de bacterie vastgelegd met

tussenruimtes van 0,1 s. De bacterie zwemt steeds 1 à 2 seconden min of meer rechtuit, en tuimelt daarna circa 0,1 s lang. Na een tuimeling zwemt de bacterie weg in een nieuwe richting. De bacterie kan die richting niet zelf kiezen: die is helemaal van het toeval afhankelijk.

Toch beweegt een bacterie al zwemmend en tuimelend wel één bepaalde kant op. Dat komt doordat de bacterie de lengte van de zwemperiode afstemt op de kwaliteit van zijn omgeving. Als de concentratie gunstige stoffen toeneemt of de concentratie schadelijke stoffen afneemt, zwemt de bacterie zo lang mogelijk door. Als het omgekeerde het geval is, stopt hij al gauw met zwemmen en probeert een – willekeurige – nieuwe richting uit. Hierdoor beweegt de bacterie geleidelijk in de richting waar de omstandigheden voor hem het beste zijn (afbeelding 20).

Het resultaat is een traject dat wiskundigen een *biased random walk* noemen: een toevalswandeling met een voorkeursrichting. Bij een echte *random walk* wordt alles aan het toeval overgelaten: de richtingsverandering en de lengte van elke zwemperiode. Bij een *biased random walk* krijgt één richting een voorkeursbehandeling.

► Experiment 2: Simulatie van een *biased random walk*



▲ afbeelding 19
biased random walk van een *E. coli* bacterie

▲ afbeelding 20
Zo beweegt een bacterie onder invloed van een concentratieverschil.

168

Figuur 2 Een bladzij uit het 4-vwo-deel van *Nova-natuurkunde* (uitgever Malmberg, 2012), hoofdstuk over biofysica. Het nieuwe subdomein *Biofysica* wordt alleen in het schoolexamen getoetst. De eindterm schrijft voor dat de kandidaat in de context van levende systemen fysische verschijnselen en processen moet kunnen beschrijven, analyseren en verklaren. Dat laat veel ruimte aan docenten en auteurs om hun eigen uitwerking te kiezen. De andere uitgeverij zullen met hun biofysica-uitwerkingen in de 5-vwo-boeken komen.

in wording, zijn te lezen op www.nieuwenatuurkunde.nl/documentatie/7/publicaties.