

Het natuurkunde-onderwijs-veld over de CE-syllabi

Eindverslag 18 juni 2019

Ervaringen met, opmerkingen over, en suggesties en ideeën voor de syllabi voor het vak natuurkunde in de bovenbouw van het havo en vwo

Een verkenning uitgevoerd voor het College voor Toetsen en Examens (CvTE)

Op basis van inbreng door:

- Docenten natuurkunde havo en vwo
- Docenten HBO
- Docenten WO
- Lerarenopleiders Natuurkunde

Uitgevoerd en gerapporteerd door:

- Harrie Eijkelhof (voorzitter)
- Ed van den Berg (secretaris)

Projectleider College voor Toetsen en Examens:

- Jacqueline Wooning

Inhoudsopgave

Doel	1
Deelname en Werkwijze	1
Dit verslag	2
Vragen van tevoren en agenda	2
Persoonlijke doelen voor natuurkunde onderwijs	2
Vorm van de syllabus	2
Syllabusgebruik	3
Punten van discussie voor havo en vwo	3
Syllabus havo	4
<i>Domein A Vaardigheden</i>	4
<i>Domein B Beeld- en geluidstechniek</i>	5
<i>Domein C Beweging en energie</i>	6
<i>Domein D Materialen</i>	7
<i>Domein E Aarde en heelal</i>	8
<i>Domein G Meten en regelen</i>	8
<i>Domein H Natuurkunde en technologie</i>	8
Syllabus vwo	9
<i>Domein A Vaardigheden</i>	9
<i>Domeinen B – H: Kennis en begrip</i>	9
HBO, WO, en lerarenopleidingen over de CE syllabi	11
<i>Vaardigheden</i>	11
<i>Kennis havo</i>	12
<i>Vaardigheden vwo</i>	12
<i>Kennis vwo</i>	12
Overleg van biologie, natuurkunde, en scheikunde	13
<i>Het A domein: vaardigheden</i>	13
<i>Beheersingsniveau/handelingstermwoorden</i>	14
<i>Vakinhoudelijke overlap</i>	14
<i>Leerlingvriendelijkheid</i>	15
<i>Concepten en contexten</i>	15
<i>Tenslotte</i>	15
Bronnen	15

Bijlage A: VRAGENLIJST HAVO	16
Bijlage B: VRAGENLIJST VWO	17

Het natuurkunde-onderwijs-veld over de CE-syllabi

Doel

In Nederland stelt de minister examenprogramma's vast op hoofdlijnen voor een lange periode. Het College voor Toetsen en Examens (CvTE) publiceert jaarlijks een syllabus met een toelichting op het Centraal Examen (CE) deel van het examenprogramma. De huidige CE-syllabi voor Natuurkunde havo en vwo zijn ingevoerd in klas 4 van havo en vwo in het schooljaar 2013/14 en zijn toegepast in het CE vanaf 2015 (havo) en 2016 (vwo) met minimale jaarlijkse aanpassing. Inmiddels is voldoende ervaring opgedaan met de syllabi om die kritisch tegen het licht te houden. Het CvTE wil graag wensen en ideeën van docenten inventariseren voor verbetering van de syllabi. Na de eindrapportage zal een syllabuscommissie aan de slag gaan om de suggesties te verwerken in een aangepaste syllabus voor toekomstige examens.

Deelname en Werkwijze

Alle scholen werden aangeschreven en bovenbouw docenten natuurkunde werden uitgenodigd deel te nemen aan overleg op 6 regionale locaties (Tabel 1). In een 1^{ste} consultatieronde werden ideeën en suggesties geïnventariseerd (tussenverslag van 20 maart 2019). In een 2^{de} ronde reageerden dezelfde docenten op het tussenverslag, werden argumenten voor en tegen voorstellen geïnventariseerd en werden na discussie meningen gepeild over de meest populaire voorstellen van de eerste ronde via vragenlijsten (Bijlagen A en B) voor de havo en vwo syllabi. Tussen de 1^{ste} en de 2^{de} ronde was er ook consultatie met docenten uit HBO, WO en met lerarenopleiders Natuurkunde. Parallel aan dit traject voor natuurkunde vonden soortgelijke consultaties plaats voor biologie en scheikunde.

Tabel 1 De havo en vwo-bijeenkomsten en deelname

Plaats	Datums	Aantal deelnemers 1 ^{ste} ronde	Aantal deelnemers 2 ^{de} ronde
Amsterdam (havo)	3-12-18 en 25-3-19	8	7
Amsterdam (vwo)	4-12-18 en 26-3-19	6	6
Rotterdam (havo/vwo)	11-12-18 en 1-4-19	9 + 2 schriftelijke reacties	11
Nijmegen (havo/vwo)	18-12-18 en 2-4-19	8	7
Breda (havo/vwo)	23-1-19 en 8-4-19	8	9
Utrecht	28-1-19 en 9-4-19	5	4
Zwolle	30-1-19 en 15-4-19	11 + 2 schriftelijke reacties	11

Er was een grote variatie aan deelnemers: van nieuwe docenten die 1 of 2 jaar examenervaring hadden tot zeer geroutineerde docenten met meer dan 20 jaar ervaring met examens voor zowel havo als vwo. Er waren docenten met een 2^{de} graad hogeschoolkwalificatie gevolgd door een hogeschool Master en 1^{ste} graad bevoegdheid, docenten met een traditionele universitaire 1^{ste} graad, en zij-instromers o.a. via Natk4all en soortgelijke trajecten.

De atmosfeer tijdens de 14 docentenbijeenkomsten was zeer constructief. Natuurlijk waren er verschillende meningen (zie de opiniepeilingen in bijlagen A en B) maar er werd productief en plezierig samengewerkt om verbeteringen te suggereren.

Dit verslag

Eerder werd een tussenverslag¹ uitgebracht met een spectrum aan opmerkingen van docenten over doelen voor natuurkunde onderwijs, syllabus gebruik, en details over de vorm en inhoud van de syllabus. Dit eindverslag herhaalt enkele hoofdpunten uit het tussenverslag en presenteert vervolgens resultaten van een tweede ronde discussies met docenten over voorstellen voor aanpassing van de CE-syllabus.

Vragen van tevoren en agenda

Docenten werden voor de tweede ronde gevraagd tevoren het tussenverslag te lezen inclusief de bijlagen met verslagen van de gesprekken met HO en WO. Gezien de vele reacties, ook op de bijlagen, werd het tussenverslag doorgaans van A tot Z gelezen.

Na agendapunten 1&2 werd een lijst van onderwerpen gemaakt die docenten nader wilden bespreken. Rond die onderwerpen werden kleine groepjes gevormd met 3 of 4 deelnemers per groepje. Na ruim ½ uur rapporteerden de groepjes en was er een plenaire discussie waarbij ook tijd was voor enkele van de overige onderwerpen. Tenslotte werden vragenlijsten ingevuld over de havo en vwo CE syllabi. De vragen gingen over de meest voorgestelde suggesties in de 1^{ste} ronde als kwantitatieve peiling van steun voor de diverse suggesties. Docenten hadden de vragenlijsten al in het tussenverslag gezien, maar vulden die pas na de 2^{de} ronde discussie in.

Agenda:

1. Toelichting op de bedoeling van deze bijeenkomst.
2. Indrukken van het verslag van de eerste consultatieronde.
3. Inventarisatie van de voornaamste onderwerpen om te bespreken.
4. Bespreking in groepjes van de onderwerpen die het meest genoemd worden.
5. Korte pauze.
6. Plenaire bespreking van de resultaten van de groepjes.
7. Invullen van de vragenlijsten voor havo en vwo.
8. Afronding.

Persoonlijke doelen voor natuurkunde onderwijs

In de eerste ronde is gevraagd naar de persoonlijke motivatie om natuurkunde onderwijs te geven, kwam men zelden met “leerlingen voorbereiden op examen en vervolgonderwijs”, maar met kritisch leren denken, leren probleem oplossen, systematisch leren denken en redeneren, de schoonheid van natuurkunde leren zien, verwondering oproepen, kritisch leren denken over maatschappelijke problemen met een natuurkunde component, en fake news leren onderscheiden.

Vorm van de syllabus

Men was in de eerste ronde over het algemeen heel tevreden over de vorm en volledigheid van de syllabus: goede structuur, mooie samenvatting, formules en specificaties, netjes, af en toe wordt aangegeven dit wel en dat niet. Natuurlijk zijn er suggesties voor verbetering van punten, die komen in dit verslag uitgebreid aan bod.

Een veel genoemde suggestie is om een syllabusversie voor leerlingen te maken eventueel met internetlinks naar voorbeelden, oefenopgaven, etc. Dit kan een interessante taak zijn voor

¹ Het tussenverslag is op te vragen bij het CvTE.

instanties zoals de SLO, de NVON en natuurkunde.nl en men kan daarbij gebruik maken van voorbeelden van docenten die zelf een leerling versie gemaakt hebben.

Syllabusgebruik²

Syllabusgebruik varieert zeer sterk van een jaarlijkse check op veranderingen in het Examenblad tot actief gebruik van de syllabus met leerlingen. Eén docent gebruikt bij opgaven regelmatig domein A (vaardigheden) om leerlingen te laten zien wat ze moeten *kunnen* met illustratie in de betreffende opgave. Andere docenten letten hoofdzakelijk op de kennisdomeinen. Eén docent had een geheel eigen programma ontwikkeld met eigen lesmateriaal uitgaande van de syllabus. Daarbij kon hij veel ruimte creëren want leerboeken bleken nogal wat extra stof te behandelen die niet gespecificeerd stond in de syllabus. Een lijst van overige opmerkingen over syllabus gebruik is opgenomen in tabel 2.

Tabel 2 Opmerkingen over syllabus gebruik	
<p>De docent:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nooit gebruikt • Een tijd niet naar gekeken • Jaarlijks veranderingen checken • Samen bekijken met de docenten biologie en scheikunde • Alleen bij twijfel raadplegen • Check aan eind van ieder hoofdstuk • Bij het maken van het PTA • Gebruik bij het maken van toetsen • Verwerken in de studiewijzer • Gebruiken om ruimte voor mijzelf te creëren • Gebruik bij het ontwikkelen van een leerlijn • Gebruiken bij examentraining (bijv. als uittreksel). <p>De leerlingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leerlingen verwijzen naar de syllabus • Als toelichting op de studiewijzer 	<ul style="list-style-type: none"> • Om overzicht te creëren bij leerlingen • Voorbeelden laten zien aan de leerlingen • Examenwerkwoorden en formules bespreken • Vaardigheden uit domein A regelmatig illustreren met voorbeelden uit opgaven. Wat moeten ze kunnen! • Uitreiken aan de leerlingen om als checklist te gebruiken • Koppelen aan de leerdoelen van een les • Verbindingen leggen tussen hoofdstukken in toetsen • Verschil laten zien tussen SE en CE-stof. <p>De methode:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bij beoordelen van de methode (aan te schaffen of in gebruik) • Verwarrend dat de methoden de syllabus zo verschillend interpreteren.

Punten van discussie voor havo en vwo

Punten van discussie voor zowel havo als vwo waren model denken en modelleren, onderzoeken en ontwerpen, gebruik van wiskundige vaardigheden en het verschil tussen wiskunde A en B leerlingen, aandacht voor optica, aanpassing in de beschrijving van MRI, inpassen (of niet) van de energietransitie, en inwisselen van de geleidbaarheidsformule voor de $1/R$ formule voor parallelle schakelingen. We bespreken deze onderwerpen onder zowel de syllabus havo als vwo. Dat zal leiden tot enige duplicatie maar maakt de bespreking van elk van deze syllabi compleet.

² Deze sectie stond ook in het tussenverslag.

Syllabus havo

Algemeen werd in de eerste ronde opgemerkt dat er een goede aansluiting is tussen syllabus en Centraal Eindexamen en dat het havo-programma nu een eigen karakter heeft. Een ruime meerderheid van docenten (bijlage A, vraag 1) vond dat het havo natuurkunde programma goed voorbereid op technische, medische en andere bèta vervolgstudies in het HBO. De kritiek van HBO betreft voornamelijk een tekort aan basisvaardigheden in het schatten, rekenen en redeneren met formules, en algebraïsche uitwerking. Dit lijkt meer een probleem van didactiek en oefening dan een syllabus probleem. Wat inhoud betreft, misten de HBO docenten in onze bijeenkomst vooral de geometrische optica die bijvoorbeeld nodig is in het werken met scheikunde apparatuur.

De deelnemers aan de 2^{de} ronde hadden het tussenverslag en de bijlagen zorgvuldig gelezen gezien hun reacties op details uit het verslag. Men herkende de eigen 1^{ste} ronde discussies in het verslag en kon zich goed vinden in de samenvatting daarvan. Men vond de variatie in discussiepunten van andere locaties interessant en vond ook dat er goede argumenten waren voor toevoegen en schrappen van onderdelen, maar men was bezorgd dat deelnemers veel meer willen toevoegen dan schrappen.

De meeste aandacht in de 2^{de} ronde discussies ging uit naar de subdomeinen A7 Modelvorming, C1 en C2 Mechanica en de energietransitie, D Materialen, en G Meten en regelen.

Domein A Vaardigheden

A5 en A6 Onderzoeken en ontwerpen

Het zou prettig zijn als de syllabus ook voorbeelden gaf van CE vragen over onderzoeken en ontwerpen. M.b.t. ontwerpen vroeg men zich af of er ooit op een CE vragen gesteld zouden worden over het niet grijze deel van de syllabus. Ontwerpen (A6) geheel aan SE overlaten? Door enkelen werd opgemerkt dat subdomein D2 Technische Automatisering (SE) voor havo-leerlingen een prachtig toepassingsgebied is voor de vaardigheid ontwerpen en dit wordt op sommige scholen enthousiast gedaan, o.a. met Arduino onder grote belangstelling van leerlingen.

A7 Modelvorming/Modelleren bij havo: *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.*

De docenten stellen voor duidelijker verschil te maken tussen *denkmodellen* (zoals atoommodel, een visualisatie van verdampen/condenseren, een formule, grafiek of analogie) en *computermodellen*, en dus tussen *denken en redeneren met modellen* en *denken en redeneren met computermodellen*. De nadruk zou meer moeten zijn op het begrijpen van natuurkunde aan de hand van modellen dan het aanleren van een computertaal.

De CE-syllabus moet dus duidelijker aanscherpen wat er wel en niet met modelvorming/modelleren wordt bedoeld en wat leerlingen op dat gebied moeten kunnen, ingedeeld in CE en SE. Daarbij moet onderscheid worden gemaakt tussen *denken en redeneren met modellen* en *denken en redeneren met computermodellen*. Wat moet een leerling zelf kunnen met een computermodel? Moeten ze een numeriek model kunnen snappen? Toetsen alleen op SE of toch ook in CE? Het zou wenselijk zijn daarbij ook

voorbeelden te geven van potentiële CE vragen. In de enquête (vraag 3) kozen de meeste docenten voor de stelling dat modelleren alleen in het SE moet worden geëxamineerd.

A9 Waarderen en oordelen: In de enquête (vraag 6) sprak een meerderheid van docenten zich uit voor examinering beperken tot SE. Voorbeelden voor SE vragen zijn welkom. Het voorstel is dus om A9 in de syllabus geheel grijs te maken en dus alleen in het SE te examineren. Dit kan gezien worden als een kleine wijziging die direct implementeerbaar is en niet op een syllabuscommissie hoeft te wachten.

A11 Technische-instrumentele vaardigheden: Voorgesteld wordt de instrumentenlijst te updaten (bv afvoeren van de luchtkussenbaan) en de formulering aan te passen. Voor CE gaat het om het *herkennen* van de functie van instrumenten en het *kunnen toepassen* daarvan in CE opgaven. Voor het SE gaat het om het *kunnen gebruiken* van de instrumenten voor metingen. Een toevoeging (in grijs) van meetinstrumenten en apparaten waarmee leerlingen zelf kunnen meten is belangrijk om practicum te stimuleren.

A12 rekenkundige en wiskundige vaardigheden: Goniometrie staat gespecificeerd in domein A van de CE syllabus maar niet bij de inhoudelijke domeinen. Voorstel is gebruik van goniometrie niet te verplichten vanwege wiskunde A leerlingen, maar correct gebruik wel toe te laten bij examens en dus wiskunde B leerlingen niet te verplichten tot grafische methoden als het met goniometrie sneller kan. Bij “bepalen” zou je dan dus ook mogen “berekenen”.

Zijn reken- en redeneervaardigheid in balans op het examen? Bedenk dat de syllabus specificeert (pagina 6): *Bij het maken van het centraal examen wordt ernaar gestreefd dat 50% van het totaal aantal scorepunten dat door de kandidaat behaald kan worden, afkomstig is van vragen waarbij voor de beantwoording een expliciete berekening noodzakelijk is.* Een SLO evaluatie van de eerste twee NiNa havo examens (2015 en 2016) constateerde dat dit voor 70% van de vragen het geval was. Een analyse van het CE van 2018 door een van de discussiedeelnemers vond dat 66% “bepaal” of “bereken” was. In het CE van 2019 was dit 58%. In onze enquête (vraag 2, afgenomen in maart/april vóór het 2019 examen) vonden 31 docenten dat de syllabus een goede balans heeft tussen redeneer- en rekenvaardigheid, 6 docenten vonden van niet, en 6 antwoordden neutraal.

Er is zware kritiek op het vaardigheden niveau in het werken met en begrijpen van formules door eerstejaars studenten in HBO opleidingen natuurwetenschappen (zie de discussie op pagina 15). Oplossingen zullen voornamelijk gezocht moeten worden in didactiek en oefening, maar wellicht kan de syllabus helpen door explicietere formulering van vaardigheden met formules.

Domein B Beeld- en geluidstechniek

In het subdomein B1.6 is informatieoverdracht geëlimineerd en een grote meerderheid van geconsulteerde docenten steunt dat. Zou dit ruimte geven voor een beperkte CE geometrische optica toevoeging, eventueel een combinatie van *bekend verondersteld* uit de onderbouw en enige *oefening* daarvan in optische beeldvorming? HBO docenten vonden dat geometrische optica meer aandacht moet krijgen, o.a. vanwege de rol van geometrische optica in scheikunde instrumenten. Docenten zijn overigens verdeeld (vraag 7): ongeveer de helft steunde het idee stralenoptica weer enige aandacht te geven in het CE, de andere helft is tegen.

In het SE is er een keuze subdomein optica (B3). Docenten (of leerlingen) kiezen twee van de vier keuzemodules. Een meerderheid was het *niet* eens met een voorstel het doppler effect toe

te voegen (vraag 8). Een ruime meerderheid wil de formule $E=hf$ opnemen, maar die staat al in de syllabus.

Het onderwerp MRI geeft problemen: in hoeverre moeten de details zoals de rol van spin wel of niet beheerst worden (vraag 9)? Een meerderheid van 22 docenten stelde voor MRI te elimineren in de CE syllabus. Uit vraag 10 blijkt dat ook 22 docenten vonden dat gespecificeerd moest worden welke biologische en fysische details van MRI wel of niet gekend moeten worden. Kortom, er zijn twee alternatieven:

- 1) Elimineren van MRI, of
- 2) Handhaven van MRI maar specificeren welke biologische en fysische details wel/niet gekend moeten worden.

Domein C Beweging en energie

C1: Kracht en beweging

Is kracht te begrijpen zonder impuls en zonder de derde wet van Newton? Uit studies blijkt dat een belangrijke misconceptie rond krachten de verwarring met impuls is (de neiging een resultante kracht in richting van beweging te tekenen³, wat getekend wordt is dan impuls, niet kracht!). Hoofddoel van toevoeging van impuls moet dan zijn de verduidelijking van het krachtbegrip en niet het oplossen van opgaven over botsingen. Echter, een kleine meerderheid van docenten (vraag 12) is *tegen* toevoegen van impuls in de havo terwijl een meerderheid van dezelfde docenten wel stemt voor toevoegen van impuls in de vwo-syllabus.

Men vond het wel vreemd dat de derde wet van Newton niet in het programma staat terwijl die fundamenteel is voor het krachtbegrip. Een grote meerderheid van docenten stemde bij vraag 13 voor toevoegen van de derde wet. Het voorstel is dus een nieuwe C1.6 in te voegen: *de derde wet van Newton uitleggen en toepassen*. De huidige C1.6 schuift dan op en wordt C1.7.

Herformuleer C1.3 zo dat leerlingen die dat kunnen, ook goniometrie mogen gebruiken bij het samenstellen en ontbinden van krachten. Gebruik van goniometrie moet mogen bij het examen, maar mag niet vereist worden vanwege wiskunde A leerlingen.

C2 Energieomzettingen

Op bijna alle locaties was er discussie over de energietransitie: het natuurkundeprogramma zou daar meer aandacht aan moeten besteden. In de enquête sprak bij vraag 14 een meerderheid van docenten zich uit voor aanpassing van subdomein C2 vanwege de energietransitie. Verder vinden veel docenten dat leerlingen op zijn minst enige kennis moeten hebben van kernenergie (vraag 15).

De meningen over hoe de energietransitie in de CE syllabus geïntegreerd kan worden variëren sterk. Voor een deel van de docenten biedt het huidige programma voldoende mogelijkheden om de belangrijkste aspecten van de energietransitie te behandelen, zij het dat deze aspecten verspreid zijn over verschillende domeinen. Andere docenten vinden juist dat de energietransitie geïntegreerd moet worden in één domein. Enkele havo docenten maakten een ruwe schets van hoe dat zou kunnen in het havo domein D Materialen. Nog weer andere docenten vinden de energietransitie het meest geschikt voor een SE project. Deze standpunten kunnen worden samengevat in 4 alternatieven:

1. Identificeren van de belangrijkste energietransitie begrippen en deze matchen met relevante domeinen (havo C, D, G) met eventueel kleine aanpassingen. De context

³ Op het CE van 2019 werd opgave 10 precies hierover “dramatisch gemaakt” volgens het verslag van de landelijke examenbespreking en feedback van de NVON kringen.

verkeer bij mechanica (C2.2) kan veranderd worden in de context *energietransitie*. Vervolgens kan men SLO of anderen een docentengids laten maken met voorbeelden voor energietransitie lessen die goed passen binnen de CE syllabus.

2. Identificeren van de belangrijkste energietransitie begrippen en die concentreren in domein C2. Eventueel aanverwante begrippen verhuizen van andere domeinen naar C2. Evenals bij alternatief 1, de context *verkeer* veranderen in de context *energietransitie*.
3. Een derde alternatief voor havo werd geformuleerd door deelnemers in Nijmegen. Ze stellen het volgende voor:
Integreer de energietransitie in domein D Materialen. Behoud D1.2 en D1.3 en breid uit richting energietransitie. D1.4 eventueel schrappen. D1.6 schrappen. D2 Functionele materialen (SE) eventueel schrappen.
O.a. de volgende begrippen opnemen: warmte, warmtetransport, soortelijke warmte, warmtepomp, opslag, wind en zon, kerncentrales, kernfusie, energiebalans, transitie, materialen, duurzaamheid. Geef vrijheid aan docenten en leerlingen om ook in het SE programma tijd te besteden aan een energietransitie project.
4. Geen veranderingen in de CE syllabus of marginale aanpassingen en creëren van ruimte in het SE voor een verplichte module die ruimte geeft voor energieprojecten van leerlingen. Dit laatste zou een aanpassing van het examenprogramma vereisen.

Ter overweging: Welke kennis levert de meest generieke basis voor denken en handelen in de energietransitie? Is dat kennis van apparaten zoals windmolens en warmtepompen, of is dat basiskennis over energie, thermodynamica, en elektromagnetisme die misschien minder motiverend is voor leerlingen maar hen wel in staat stelt toekomstige apparaten te begrijpen. Uitgaande van een generieke benadering komen er onderwerpen als: 1^{ste} en 2^{de} hoofdwet (beperkt tot spreiding -dissipatie- en degradatie van energie na “gebruik”/omzetting zoals de chemische energie die in een auto wordt omgezet uiteindelijk terecht komt in de omgeving), energiesoorten/vormen, warmte en arbeid als energie in transitie/conversie, warmtecapaciteit en soortelijke warmte, rendement, elektromagnetisme, elektromotor.

Domein D Materialen

De eerste ronde liet zien dat er gemengde gevoelens waren bij docenten over domein D. Velen vonden bijvoorbeeld spanning en rek niet zo interessant, maar er waren ook fervente voorstanders en docenten die het onderwerp wilden uitbreiden. Over de vraag of spanning en rek geëlimineerd moesten worden (vraag 17), waren de docenten verdeeld.

Enkele docenten vroegen zich af of in de praktijk van examenopgaven voldoende terecht kwam van “*verklaren met behulp van atomaire en moleculaire modellen*”. Een docent zei: “*Als werktuigbouwkundige vond ik dit onderwerp leuk, maar het wordt niet natuurkundig gedaan, er is geen aandacht voor waarom*”. Waarschijnlijk sloeg dit meer op de leerboeken dan op de syllabus, maar het leidt wel tot de vraag of er noodzaak is de syllabus beschrijvingen aan te passen om dit aspect meer te stimuleren?

In Nijmegen werd voorgesteld om domein D in dienst te stellen van de energietransitie en het verregaand aan te passen, dit vanwege de aandacht in domein D voor warmte en temperatuur, begrippen die ook centraal staan in de energietransitie. Zie boven voor details.

Overige opmerkingen:

- D1.1 Er zijn nog andere termen voor fase overgangen zoals rijpen en vervluchtigen die vanwege dagelijks taalgebruik aan de vaktermen zouden moeten worden toegevoegd.
- Formule $P = \lambda A (\Delta T) / d$ wel of niet in CE?
- De tekst van specificaties in D1 verwijst nergens naar de formules $\sigma = F/A$, $\varepsilon = \Delta l/l$, en $E = \sigma/\varepsilon$.

Domein E Aarde en heelal

Er wordt verschillende gedacht over dit domein. Aan de ene kant hoorden we de opmerking *Sterk dat Zonnestelsel en Heelal in het programma zit zodat havo natuurkunde niet beperkt is tot verschijnselen uit het dagelijks leven*. Aan de andere kant werd tijdens de bijeenkomst met HBO docenten opgemerkt dat dit domein kon worden afgeschaft want het speelt geen rol in voorbereiding op het HBO. We hebben de meningen over afschaffen of behouden niet gepeild in de enquête, wel enkele deelonderwerpen.

Tijdens de eerste ronde gesprekken hoorden we regelmatig dat de wet van Wien zou moeten worden geschrapt, maar bij de enquête (vraag 18) stemden ongeveer evenveel docenten voor (19) als tegen (20) afschaffing.

Men stelde toen ook voor de wet van Hubble toe te voegen om de astrofysica compleet te maken, maar een grote meerderheid van docenten stemde tegen toevoeging (vraag 16).

Discussies over domein E en de vragenlijst lieten zien dat er verdeeldheid is over wat er wel/niet in dit domein van de syllabus moet worden opgenomen.

Domein G Meten en regelen

Het onderwerp G1 Gebruik van Elektriciteit vindt men nogal traditioneel, waar zijn de LEDs en andere moderne componenten? Kleine veranderingen in de syllabus kunnen zijn: diode en gelijkrichter schakeling erin, trafo kan eruit want alle adapters hebben geen trafo meer. Bij gebruik van RGB LEDs als lampjes kan ook optica gedaan worden. Het is handig de schuifweerstand/potmeter terug te brengen want die wordt gebruikt bij sensoren. Neem de werking van sensoren op.

Suggestie voor de lange termijn: In een project zou men kunnen werken aan een moderne benadering met LEDs en Arduino etc. in voorbereiding op een nieuwe invulling van elektrische schakelingen en technische automatisering over een jaar of vijf. Voorlopig kan die modernisering aangeboden worden in het SE subdomein G2 Technische Automatisering. Denk ook aan de mogelijkheden om dit onderwerp te combineren met ontwerpen (A6). Zoals eerder vermeld zijn er mooie voorbeelden van scholen die in G2 ontwerpprojecten uitvoeren met systeemborden, Arduino of andere hulpmiddelen en die veel enthousiasme genereren onder leerlingen.

Een grote meerderheid van docenten pleit voor het schrappen van geleidbaarheid uit de syllabus (vraag 19). 31 Docenten stemden voor “*verwijder geleidbaarheid uit de syllabus en voeg $1/R = 1/R_1 + 1/R_2$ toe*”, 6 docenten stemden tegen, 5 hadden geen voorkeur. De bezwaren richten zich niet op het begrip geleidbaarheid (als inverse van weerstand) maar op het voorschrijven van de formule $G_{\text{tot}} = G_1 + G_2 + \dots$ voor een parallelschakeling. Men geeft de voorkeur aan de gebruikelijke formule $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$

Elektromagnetisme komt in veel vervolgstudies voor en bovendien speelt het een grote rol in de energietransitie (elektrische auto, windmolens). Maar een grote meerderheid van docenten stemde tegen toevoeging van elektromagnetisme (vraag 20).

Domein H Natuurkunde en technologie

Over het nut van domein H wordt verschillend gedacht. Wat voor vragen kun je stellen op het CE? Maar zegt iemand, je kunt redeneervragen maken van het type Jan zegt I, Piet zegt II en leerlingen de fysische juistheid van redeneringen laten beoordelen.

Voor havo lijkt het zinvol om het begrip duurzaamheid toe te voegen.

Syllabus vwo

De VO- docenten hebben kennisgenomen van het tussenverslag met daarin het verslag van de discussies in de eerste ronde met VO-docenten, alsmede de verslagen van de bijeenkomsten met HBO- en WO-vertegenwoordigers. Met name de opmerkingen van de HO-vertegenwoordigers over vaardigheden maakten indruk en speelden een rol tijdens de discussies in de tweede ronde. De meeste aandacht in de tweede ronde ging bij de VO-docenten uit naar Modelvorming (A7), Rekenkundige en wiskundige vaardigheden (A12), Quantumwereld (F1) en het thema Energietransitie. Vrijwel alle vragen die gesteld waren in de vragenlijst vwo kwamen aan bod in de discussies. We bespreken de inbreng van de VO-docenten aan de hand van de subdomeinen en verwijzen naar de nummering van vragen uit de vragenlijst.

Domein A Vaardigheden

A7 Gezien het antwoord op vraag 1a uit de vragenlijst gaat de voorkeur uit naar het examineren van dit subdomein in het SE. Men vindt de schriftelijke toetsbaarheid lastig en in het SE kan de computer met verschillende soorten software worden ingezet. Mochten delen van dit subdomein toch in het CE geëxamineerd worden (bij voorkeur specificaties 1 t/m 3) dan moet dat deel beter worden beschreven dan nu het geval is (vraag 1b). Zo moet er beter onderscheid worden gemaakt tussen het modelbegrip (verschillende soorten modellen, de rol van modellen in de geschiedenis van natuurkunde) en programmeren van modellen. De nadruk zou meer uit moeten gaan naar het begrijpen van natuurkunde aan de hand van modellen (denken met modellen) dan naar het leren van een modelleertaal. Men vindt in ruime meerderheid dat modelleren bij alle inhoudsdomeinen moet kunnen worden bevraagd (vraag 1c), maar vraagt zich af of dit zowel in de domeinen A als H genoemd moet worden. A9 Een meerderheid (vraag 2) vindt dat waarderen en oordelen alleen in het SE geëxamineerd moet worden.

A12 Vrijwel alle docenten (vraag 3) vinden dat in A12 meer aandacht moet worden gegeven aan het kwalitatief interpreteren van en redeneren met (ook onbekende) formules. Dit lijkt voornamelijk beïnvloed te zijn door de opmerkingen van de HO-vertegenwoordigers. Ook de inbreng van de laatsten leidde tot discussies over de mate waarin rekening moet worden gehouden met leerlingen die niet wiskunde B maar wiskunde A in hun pakket hebben. Sommigen vinden dat alle leerlingen cosinus en sinus moeten kunnen toepassen. Anderen pleitten er voor dat leerlingen de keuze moeten hebben relevante wiskunde (zoals gonio, differentiëren en integreren) te gebruiken, d.w.z. dat je bij 'bepalen' ook mag 'berekenen'. Uiteraard kunnen wiskunde B leerlingen ook in de les gestimuleerd worden hun wiskunde B vaardigheden te gebruiken.

Domeinen B – H: Kennis en begrip

B1 Bij de bespreking van F1 is voorgesteld in dit domein meer aandacht te geven aan interferentie van golven bij een dubbelspleet, ter voorbereiding op het onderwerp quantum. Ruimte hiervoor is aanwezig door het schrappen van het onderwerp informatieoverdracht (B1.6).

B2 Vanuit het WO is voorgesteld het onderwerp beeldvorming te verbreden en dus niet te beperken tot de medische context. Een kleine meerderheid is het daar niet mee eens (vraag 7), met als argument dat de medische context voor een brede groep leerlingen relevant is. Het voorstel om MRI te schrappen in de syllabus (vraag 7) vanwege de complexiteit wordt door

een ruime meerderheid niet gedeeld, maar men vindt wel dat de vereiste fysische en biologische achtergrondkennis (vraag 9) beter moet worden gespecificeerd in de syllabus.

C1 In de eerste ronde werd voorgesteld de bewegingsvergelijking $x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$ toe te voegen (vraag 10) en een meerderheid is het daarmee eens. Een veel grotere meerderheid wenst, net als de WO-vertegenwoordigers, impuls op te nemen in C1 (vraag 11), deels met het oog op het inzicht in krachten, deels als voorbereiding op quantum (F1). Maar men vindt dat de aard van de opgaven met impuls moet worden ingeperkt (geen ingewikkelde botsingen). Sommigen vinden dat de hefboomwet moet worden toegevoegd, anderen zijn van mening dat die bekend moet worden verondersteld vanuit de onderbouw.

C2 Een grote meerderheid van de docenten is van mening dat dit subdomein over Energie aangepast moet worden met het oog op de aanstaande energietransitie (vraag 12). Dat zou bijvoorbeeld kunnen door in dit subdomein minder aandacht te geven aan de context verkeer of die zelfs te vervangen door de context energietransitie, en het inmiddels weer actuele onderwerp kernenergie (vraag 13) en de beroemde formule $E = mc^2$ (vraag 22) toe te voegen. Docenten zijn verdeeld over het toevoegen van soortelijke warmte (vraag 14). Sommigen pleiten voor het toevoegen van de warmtegeleidingsformule (zoals in de havo syllabus D1), analoog aan elektrische geleiding.

C3 Sommige docenten zijn van mening dat de cirkelbeweging nu ten onrechte wordt beperkt tot de gravitatie context (het heelal).

D1 Een grote meerderheid van docenten pleit voor het schrappen van geleidbaarheid uit de syllabus (vraag 15). Daarbij zijn wel een aantal kanttekeningen geplaatst. De bezwaren richten zich niet op het begrip geleidbaarheid (als inverse van weerstand) maar op het voorschrijven van de formule $G_{\text{tot}} = G_1 + G_2 + \dots$ voor een parallelschakeling. Men geeft de voorkeur aan de gebruikelijke formule $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$. In de discussies bleek een voorkeur de wet van Kirchhoff te schrappen: meestal niet nodig in schakelingen en als dat wel zo is: te lastig.

E2 De meningen zijn verdeeld over het toevoegen van de uitdijing van het heelal en de wet van Hubble aan de syllabus (vraag 16). Dat geldt ook voor het verwijderen van enkele sterrenkundige begrippen uit de syllabus om ruimte te maken voor energietransities (vraag 18). Een zeer grote meerderheid wil de wet van Wien niet uit de syllabus halen (vraag 17).

F1 Zoals verwacht kwam het subdomein Quantumwereld uitgebreid aan de orde. Een grote meerderheid wil dit subdomein handhaven in de syllabus (en dus in het CE) (vraag 19): het is te fundamenteel voor veel vakgebieden en van belang voor alle leerlingen. Wel dient de syllabus grondig herzien te worden. Men is het veelal eens met de suggestie vanuit het WO om meer aandacht te geven aan de noodzaak van klassiek naar quantum denken over te schakelen. Verder zou er meer conceptueel redeneren gevraagd moeten worden en minder het kunnen maken van opgaven en het louter reproduceren van kennis. Een grote meerderheid wil de onzekerheidsrelatie van Heisenberg beperken tot kwalitatief interpreteren (vraag 20) en een wat kleinere meerderheid wil het Pauli verbod toevoegen gezien de relevantie voor atoombouw (vraag 21). Over het handhaven van het foto-elektrisch effect zijn de meningen verdeeld: historisch relevant als indicatie voor kwantisatie van stralingsenergie (Einstein) en relevant voor zonnecellen maar volgens sommigen toch niet belangrijk genoeg. Door sommige onderwerpen meer aandacht te geven in andere domeinen (zoals interferentie en impuls) worden leerlingen beter voorbereid op dit onderwerp. Er wordt voor gepleit het tunneleffect te handhaven vanwege praktische toepassingen (zoals STM) en radioactiviteit.

De formulering van specificatie 5 dient te worden aangepast: voor de kans op tunnelen is niet de *hoogte* maar het *energieverschil met de top van de barrière* relevant. Opgemerkt is dat de twee verschillende formules voor E_n (een met $1/n^2$ en de ander met n^2 in de teller) voor leerlingen verwarrend zijn. Maar dit is een mooie kans voor modelbegrip. Bepaalde objecten (quantumdots, kleurstofmoleculen) laten zich goed beschrijven met deeltje-in-does en energieniveaus evenredig met n^2 . Bij andere objecten (zoals atomen met bolvormige symmetrieën) geeft dat rechthoekige doosje verkeerde resultaten en is een ander model nodig dat leidt tot energieniveaus die schalen met $1/n^2$.

H Een grote meerderheid wil de wet van behoud van impuls en $E = mc^2$ toevoegen (vraag 22). Sommigen pleiten voor het verschuiven van specificatie H3 naar het SE.

HBO, WO, en lerarenopleidingen over de CE syllabi

Vaardigheden

Zowel HBO als WO waren zeer kritisch over de vaardigheden van hun studenten. HBO opmerkingen waren afkomstig van HBO docenten natuur- en scheikunde en waren gebaseerd op hun ervaringen met studenten in diverse opleidingen natuurwetenschappen waarvan mogelijk sommigen zonder havo/vwo natuurkunde⁴. WO opmerkingen waren voornamelijk gebaseerd op ervaringen met studenten natuurkunde en/of sterrenkunde of technische natuurkunde die dus zeker vwo natuurkunde hadden gedaan. Men noemde o.a. de volgende problemen in het werken met formules:

- *random formula shopping*, dat is een toevallige formule gebruiken waarin enkele gegeven variabelen voorkomen, dus gebruik van formules zonder begrip;
- *werken met eenheden*, er wordt niet gecontroleerd of de juiste eenheden eruit komen;
- *algebraïsche bewerking* van formules, bewerkingen gaan fout en studenten (en leerlingen) vullen te snel getallen in;
- *beperkte rekenvaardigheid*;
- *notaties* zijn niet gedisciplineerd aangeleerd en als symbolen eens anders zijn dan studenten gewend zijn, dan geeft dat problemen;
- *redeneren* met formules is een probleem;
- *onrealistische uitkomsten* worden vaak niet gecheckt op realiteitsgehalte, schattend rekenen om onrealistische resultaten te voorkomen, is onderontwikkeld.

De oorzaak van deze problemen ligt meer in oefening in de klas dan in de CE syllabus waar de vaardigheden duidelijk vermeld worden en ook op het examen worden geëxamineerd. Met een mix van motiverende context en werkvormen, en afdwingen zouden resultaten wellicht veel beter kunnen worden.

Er wordt ook geklaagd over gebrekkige apparatuur vaardigheden, alsof veel leerlingen maar weinig of geen ervaring hebben in het werken met apparatuur en practicum. Een WO docent merkte op dat hij ervaringen met apparatuur en nauwkeurig meten belangrijker vindt dan de algemene onderzoeksvaardigheden van de CE syllabus.

⁴ Veel techniekopleidingen in het hbo) laten leerlingen toe met havo-NT of havo-NG + natuurkunde of nlt. Dat garandeert dus niet dat leerlingen over kennis en vaardigheden beschikken op examenniveau. Zie <https://wetten.overheid.nl/BWBR0035059/2019-01-01#BijlageB>

Kennis havo

HBO scheikunde docenten missen in hun studenten kennis van geometrische optica die vereist is in het werken met scheikundige instrumenten. In de bijeenkomst met vakdidactici natuurkunde werd opgemerkt dat optica kennis uit de onderbouw tijdens selecties voor de natuurkunde Olympiade al heel ver weggezakt lijkt. Bekend veronderstellen vanuit de onderbouw zou voldoende stimulans kunnen zijn om deze kennis niet te laten wegzakken vooral indien aangevuld met een beperkte herhaling + oefening. Een oplossing kan dus zijn om voorkennis te vereisen van geometrische optica en in plaats van het geschrapte onderdeel B1.6 (havo en vwo) enkele optica begrippen op te nemen. Havo docenten die kiezen voor de keuzemodule optica, kunnen dat in de keuzemodule doen.

Vaardigheden vwo

Naast de reeds genoemde problemen in het werken met formules noemden WO docenten ook:

- Ethische aspecten, zoals bronvermelding en voorkomen van (vormen van) plagiaat, worden niet genoemd in de syllabus (A1/2).
- Reflectie op leren is zwak, zelfstandig leren non-existent.
- Studenten kunnen geleerde wiskunde niet toepassen in natuurkunde (dit geldt voor vwo en WO). Dat heeft wellicht te maken met in de natuurkundelessen veelal rekening wordt gehouden met wiskunde A leerlingen, terwijl natuurkundeopleidingen juist wiskunde-B vragen en er op rekenen dat de wiskunde-B kennis kan worden toegepast op natuurkunde.
- Basaal differentiëren en integreren zou goed zijn, hoeft niet diepgaand te gebeuren.
- Het vertalen van een fysisch probleem naar een mathematische formulering.
- Het wiskunde B cijfer heeft meer voorspellende waarde voor een natuurkunde studie dan het natuurkunde cijfer.

Kennis vwo

Algemeen

Enkele algemene opmerkingen waren:

- Eventueel een deel van de CE syllabus grondiger doen, meer wiskundig, en een deel meer “expository” zoals bijvoorbeeld geschiedenis. Bijvoorbeeld een deel als in universitaire natuurkunde leerboeken zoals die van Knight of Giancoli of Young/Freedman en een deel zoals in Conceptual Physics van Hewitt.
- Laat praktisch belang voor de samenleving meer zien zoals in Macaulay’s “The way things work” of Bloomfield’s “How things work”.
- Sommige basisconcepten en simpele gevolgen ervan zijn soms verrassend afwezig, zoals wet van Archimedes, thermische energie (Brownse beweging, $\frac{1}{2} kT$ energie per vrijheidsgraad), warmtecapaciteit en andere thermodynamische grootheden.

Domein B Golven

- Doe beeldvorming in plaats van medische beeldvorming, het is te specifiek medisch, medische beeldvorming is oververtegenwoordigd. Waarom geen AFM, TEM, of telescoop?

Dit is een suggestie die we niet steunen. Veel vwo leerlingen zijn geïnteresseerd in medische beroepen. De medische context is motiverend. Een van de onderwijsdirecteuren wijst er ook op dat voor vrijwel exacte opleidingen in het WO natuurkunde als toelatingseis geldt en derhalve moet ook rekening worden gehouden met leerlingen die andere exacte opleidingen ambiëren.

- Stralenoptica is helemaal verdwenen, het is een speels onderwerp, je adresseert heel andere vaardigheden dan met andere natuurkunde onderdelen en er zijn veel mogelijkheden dit met het dagelijks leven te verbinden.

Domein C Beweging en wisselwerking

- Het begrip impuls mist in domein C en dat is schandalig.
- Belang voor dagelijks leven zou best meer benadrukt mogen worden.
- Energie, milieu, energieopslag, etc. moet meer aandacht krijgen.
- Waarom zijn bewegingsvergelijkingen verdwenen?

Domein E: straling en materie

- Waarom zijn E en F gesplitst, je zou E2 en F moeten combineren en Moderne Natuurkunde noemen.

Domein F: Quantumwereld

- De grenzen van klassiek denken inzien en wanneer quantum denken noodzakelijk is; diepgang is niet zo belangrijk. Onderwerp wel handhaven.
- Meer vanuit de historie, vanuit welke problemen in de klassieke fysica kom je in kwantum terecht, waarom werkt de klassieke fysica dan niet meer?

Overleg van biologie, natuurkunde, en scheikunde

Het A domein: vaardigheden

Tijdens gezamenlijk overleg bleek dat in alle vakken en alle locaties docenten problemen hadden met de formuleringen in domein A, vooral de sub-domeinen A5 onderzoeken, A6 ontwerpen, A7 modelleren, en A9 waarderen en oordelen. Men vraagt om een duidelijkere formulering van wat leerlingen op het CE moeten kunnen, heroverweging van de verdeling tussen CE en SE, en voorbeelden van CE-vragen.

Een goede werkwijze voor herziening lijkt ons om eerst potentiële voorbeeld CE vragen te maken en vervolgens de beschrijvingen te produceren. Dan wordt direct duidelijk wat bevroegbaar is op het CE. Nadat er duidelijke beschrijvingen zijn opgeleverd door CvTE kunnen meer voorbeelden worden geproduceerd voor een handreiking uit te geven door een instelling als SLO. Voorbeelden van procedurele en epistemische A5 CE-vragen kunnen worden gevonden in gepubliceerde PISA items die ontwikkeld werden voor 15-jarigen en dus zeker bewerkt kunnen worden voor bovenbouw havo/vwo. Ook trainingsmateriaal voor de Amerikaanse scholastic aptitude toetsen als ACT (American College Testing) en SAT (Scholastic Assessment Test) bevatten veel voorbeelden van toetsing van onderzoeksvaardigheden.

De beschrijvingen voor de subdomeinen A5,6 en 7 kunnen bestaan uit een algemeen BioNatkSk deel eventueel aangevuld met een vakspecifiek deel. Wat voorbeelden betreft graag vooral voorbeelden per vak geven in plaats van alleen overkoepelend.

Opmerkingen per subdomein

A5 onderzoeken: de huidige beschrijving is eigenlijk beperkt tot experimenteel onderzoek, maar ook andere soorten onderzoek zoals beschrijvend onderzoek zijn belangrijk voor elk van onze vakken. Dat geldt ook voor het interpreteren van onzekerheid en waarschijnlijkheid van resultaten. Daarom valt te overwegen de items A5.11 en A5.12 van de vwo biologie syllabus toe te voegen aan natuurkunde vwo en A5.11 (zonder A5.12) ook toevoegen aan de natuurkunde havo syllabus.

A6 Ontwerpen is het meest relevant voor natuurkunde en veel minder voor biologie en misschien scheikunde. Biologie docenten lijken niet te weten wat ze met ontwerpen aan moeten in de klas. Past ontwerpen wel in een biologieprogramma? Natuurkunde docenten vragen zich af hoe ontwerpen kan worden geëxamineerd in het CE (voorbeelden!) en of het niet beter is ontwerpen alleen in het SE te toetsen.

A7 Modelvorming zou idealiter twee componenten hebben:

1. Denken en redeneren met modellen (zoals visualisaties en deeltjesmodellen, analogieën, grafieken, formules), begrijpen van natuurwetenschap met modellen;
2. Denken en redeneren met computermodellen.

De nadruk zou meer uit moeten gaan naar het begrijpen van natuurkunde aan de hand van modellen (denken met modellen) dan naar het leren van een modelleertaal. Maar de huidige beschrijving lijkt vooral gefocust op 2 en moet dan worden aangepast op 1 en 2.

Docenten willen meer duidelijkheid over wat er wel/niet gevraagd kan worden op het CE met voorbeelden.

Een meerderheid van natuurkunde docenten voor zowel havo als vwo wil graag dat Modelvorming in het SE wordt geëxamineerd, daarbij dachten ze vooral aan denken en redeneren met computermodellen. Toetsing is dan o.a. afhankelijk van computers en lokaal gebruikte software.

A9 waarderen en oordelen lijkt heel moeilijk te toetsen op het CE. Een grote meerderheid van de docenten natuurkunde stelt voor dit alleen te toetsen op het SE. Voorbeelden zijn gewenst.

Beheersingsniveau/handelingstermwoorden

De biologie en natuurkunde syllabi hebben elk een bijlage met examenwerkwoorden. Scheikunde had dat bij het vorige curriculum maar nu nog niet. De bijlage is zeer nuttig en bij natuurkunde examenbesprekingen wordt vaak gerefereerd aan de examenwerkwoorden. We stellen de volgende acties voor:

- a) Reduceer de lijst tot een minimaal aantal werkwoorden (bij biologie is er wat overlap tussen de eerste 4 soorten werkwoorden in de vwo 2020 syllabus, p. 39).
- b) Gebruik dezelfde werkwoorden en definities voor biologie, natuurkunde, scheikunde.
- c) Pas die werkwoorden ook toe in het hoofddeel van de syllabus en met dezelfde betekenis.

Vakinhoudelijke overlap

De biologie en scheikunde syllabi geven aan welke natuurkunde kennis wordt voorondersteld. De natuurkunde syllabus specificeert geen biologie of scheikunde voorkennis en maakt vrijwel geen gebruik van *bekend verondersteld*. Probleem is dat sommige van de door biologie/scheikunde vereiste natuurkunde begrippen niet voorkomen in de natuurkunde CE syllabi, dat andere begrippen niet correct worden gebruikt (bijvoorbeeld gezond gewicht met kg als eenheid terwijl natuurkunde er op hamert dat de eenheid Newton is), en dat er meer voorkennis verondersteld wordt dan expliciet is aangegeven (bijvoorbeeld geometrische optica voor de werking van het oog bij biologie en aspecten van warmte en temperatuur bij scheikunde).

Aanbevelingen zijn:

- a) Natuurkunde moet meer gebruik maken van *bekend verondersteld*. Voor vwo is dat o.a. geometrische optica, temperatuur en warmte en $Q=mc\Delta T$, dichtheid, druk en $p=F/A$.

- b) De vooronderstelde natuurkunde kennis voor biologie en scheikunde moet in overleg met de natuurkunde syllabus commissie⁵ worden vastgesteld opdat de terminologie eenduidig wordt gebruikt.
- c) Er zijn soortgelijke synchronisatieproblemen tussen scheikunde en biologie, vooral met betrekking tot DNA die dus ook door overleg van de betrokken syllabus commissies moeten worden opgelost.

Leerlingvriendelijkheid

De wens van natuurkunde, scheikunde en biologie docenten is de syllabi meer leerling vriendelijk te maken. Met name het taalgebruik speelt hier een belangrijke rol in. De redenen die docenten hierbij aangeven zijn a) de leerlingen krijgen zo meer inzicht in het examenprogramma en kunnen beter nagaan of zij alle onderdelen goed genoeg beheersen voor het examen en b) binnen het onderwijs gaat er steeds meer gewerkt worden met leerdoelen en leerlingen krijgen meer eigen verantwoordelijkheid. Daarnaast kan men denken aan een aparte (niet-officiële) leerling syllabus, bijvoorbeeld geproduceerd in beheer van SLO of natuurkunde.nl of scheikunde.nl met hyperlinks naar voorbeelden en examenopgaven en een duidelijk verschil tussen wat leerlingen moeten kennen (kennis) en wat ze daarmee moeten kunnen (vaardigheden), mogelijk in een soort van tabelvorm. Er zijn voorbeelden van docentgemaakte leerling syllabi in omloop.

Concepten en contexten

De consensus is dat de organisatie van een syllabus het helderst is als dit gebeurt op basis van vakbegrippen en niet van contexten. Bij natuurkunde is dit reeds het geval tot volle tevredenheid van docenten. Bij scheikunde geven docenten aan de syllabus te willen herschikken op grond van vakbegrippen.

Tenslotte

Bij de afsluiting van dit verslag willen we onze dank uitspreken voor de uiterst plezierige samenwerking en onze grote waardering voor de professionaliteit en inzet van alle betrokken docenten uit VO, HBO en WO.

Bronnen

CvTE (juni 2018): Natuurkunde havo-syllabus centraal examen 2020.

https://www.examenblad.nl/examenstof/syllabus-2020-natuurkunde-havo/2020/f=/natuurkunde_havo_2_versie_2020.pdf

CvTE (juni 2018): Natuurkunde vwo syllabus centraal examen 2020.

https://www.examenblad.nl/examenstof/syllabus-2020-natuurkunde-havo/2020/f=/natuurkunde_havo_2_versie_2020.pdf

SLO (april 2018): Centrale examens als drager van de bètavakvernieuwing.

<http://downloads.slo.nl/Repository/centrale-examens-als-drager-van-de-betavakvernieuwing.pdf>

Hoekzema, D.J. (2017). Quantummechanica: van Project Moderne Natuurkunde naar Nieuwe Natuurkunde – Deel 1. NVOX, 42(4), 208-209. Deel 2: NVOX, 42(5), 326-327.

⁵ Of door een “paraplu” commissie met leden uit de afzonderlijke biologie, natuurkunde, scheikunde syllabus commissies.

Bijlage A: VRAGENLIJST HAVO

Instructie: zet een X in de gekozen kolom, eventueel toelichting op achterkant. GV: Geen Voorkeur

Vragen	JA	NEE	GV
1. Biedt de huidige syllabus voldoende voorbereiding voor (eventueel toelichten op achterkant): a) Technische vervolgstudies? b) Medische vervolgstudies? c) Overige bèta studies (laboratorium, lerarenopleiding, ..)?	30 29 30	5 5 2	7 8 10
2. De syllabus (en CE) heeft een goede balans tussen redeneer- en rekenvaardigheid	31	6	6
3. Modelleren moet: a) Alleen in het SE worden geëxamineerd. b) Voor CE beter worden beschreven. c) Bij alle inhoudsdomeinen kunnen worden bevraagd.	30 19 15	9 15 25	4 7 6
4. (A12, C1) Geleerde goniometrie moet kunnen worden toegepast, bijvoorbeeld bij ontbinden van krachten.	27	13	2
5. (A12) Toevoegen: formules kwalitatief kunnen interpreteren.	32	4	6
6. A9: waarderen en oordelen moet in de syllabus grijs gemaakt worden (dus niet examineren bij CE).	25	9	8
7. (B) Stralenoptica (geometrische optica) weer aandacht geven	15	17	9
8. (B1) Dopplereffect toevoegen	13	19	10
9. (B2.4) MRI-scan elimineren	22	14	6
10. (B2.4) Specificeren van vereiste fysische en biologische achtergrondkennis voor genoemde beeldvormingstechnieken (bv wel/geen kennis van spin bij MRI)	22	16	6
11. (B2) E=hf toevoegen	24	14	4
12. (C1) Impuls toevoegen (om kracht te begrijpen)?	16	21	5
13. (C1) 3de wet van Newton toevoegen (om kracht te begrijpen)?	34	3	6
14. (C2) Sub-domein C2 aanpassen vanwege energie transitie	26	8	8
15. (C2) Kernenergie toevoegen	23	10	8
16. (E1.5) Wet van Hubble toevoegen aan uitdijning (kwalitatief)	8	25	9
17. (D1.6) Spanning en rek JA of NEE in de CE-syllabus?	19	18	5
18. (E1.6) Wet van Wien uit het programma halen	19	20	3
19. (G1.2) Verwijder geleidbaarheid uit de syllabus en voeg $1/R=1/R_1 + 1/R_2$ toe	31	6	5
20. (G) Elektromagnetisme opnemen in de CE of SE-syllabus Ten koste van: _____	7	26	7
21. Noem drie of meer onderdelen die geschrapt kunnen worden: <i>Alleen onderwerpen die minstens 3x genoemd werden: Spanning en rek 13x, geleidbaarheid 10x, SE D2 functionele materialen 4x, E1 Zonnestelsel en Heelal 4x, B1.6 informatie overdracht 4x, ontwerpen 3x, modelleren 3x, Wien 3x, D1.4 3x</i>			

Bijlage B: VRAGENLIJST VWO

Instructie: zet een X in de gekozen kolom, eventueel toelichting op achterkant. GV: Geen Voorkeur

Vragen	Ja	Nee	GV
1. (A7) Modelleren moet:	27	16	4
a) Alleen in het SE worden geëxamineerd.	24	13	10
b) Voor CE beter worden beschreven.	29	10	8
c) Bij alle inhoudsdomeinen kunnen worden bevraagd.			
2. A9: waarden en oordelen moet in de syllabus grijs gemaakt worden (dus niet examineren bij CE).	24	12	11
3. (A12) toevoegen: formules kwalitatief kunnen interpreteren	44	3	2
4. (B) Stralenoptica weer enige aandacht geven	15	18	14
5. (B1) Dopplereffect toevoegen (kwalitatief)	27	9	11
6. (B1) Informatieoverdracht is geschrapt, maar het is de naam van sub-domein B1. Suggesties voor modernere invulling van informatieoverdracht: <i>hier gaven deelnemers vooral een nieuwe titel i.p.v. informatieoverdracht, en dus niet een nieuwe invulling ervan.</i>			
7. (B2) Beeldvorming niet beperken tot medisch	15	21	9
8. (B2) MRI elimineren	12	29	6
9. (B2) Vereiste fysische en biologische achtergrondkennis voor MRI specificeren	30	8	9
10. (C1) Bewegingsvergelijking toevoegen	27	9	11
11. (C1) Impuls toevoegen (om kracht te begrijpen)	37	6	4
12. (C1) Sub-domein C2 aanpassen vanwege energie transitie	32	5	9
13. (C2) Kernenergie toevoegen	30	6	10
14. (C2.2) Soortelijke warmte toevoegen	18	18	11
15. (D1.3) Verwijder geleidbaarheid uit de syllabus en voeg $1/R=1/R_1 + 1/R_2$ toe	32	11	4
16. (E2.2) Wet van Hubble en uitdijing toevoegen	20	19	8
17. (E2.3) Wet van Wien uit de syllabus halen	3	39	5
18. (E2) Verwijderen enkele sterrenkundebegrippen om ruimte te maken voor energietransitie	18	20	7
19. (F) Quantumwereld examineren in SE in plaats van CE	8	32	7
20. (F4) Heisenberg beperken tot kwalitatief	34	9	5
21. (F4) Pauli verbod toevoegen en relevantie voor atoom/molecuulbouw	25	10	12
22. (H) Wet van behoud van impuls en $E=mc^2$ toevoegen	36	5	4
23. Noem drie of meer onderdelen die geschrapt kunnen worden: <i>Alleen onderwerpen die minstens 3x worden genoemd: Kirchhoff 23x, geleidbaarheid + formule 9x, astrofysics 7x, tunneling 4x, Herzsprung-Russell 3x.</i>			

