



Advies
examenprogramma
informatica havo/vwo:
inhoud en invoering

Prefinaal concept, december 2015

slo

nationaal
expertisecentrum
leerplan-
ontwikkeling

Verantwoording



2015 SLO (nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling), Enschede

Mits de bron wordt vermeld, is het toegestaan zonder voorafgaande toestemming van de uitgever deze uitgave geheel of gedeeltelijk te kopiëren en/of verspreiden en om afgeleid materiaal te maken dat op deze uitgave is gebaseerd.

Auteur: Vernieuwingscommissie informatica havo/vwo

Informatie

SLO

Afdeling: tweede fase

Postbus 2041, 7500 CA Enschede

Telefoon (053) 4840 661

Internet: www.slo.nl

E-mail: tweedefase@slo.nl

AN:

Inhoud

1. Inleiding
2. Toelichting op het examenprogramma: Algemeen
3. Toelichting op het examenprogramma: Vaardigheden
4. Toelichting op het examenprogramma: Kennisdomeinen kernprogramma
5. Toelichting op het examenprogramma: Kennisdomeinen keuzethema's
6. De invoering van het examenprogramma

Literatuur

Bijlage 1: Concept examenprogramma

Bijlage 2: Opdracht aan de Vernieuwingscommissie informatica

Bijlage 3: Samenstelling van de Vernieuwingscommissie

1 Inleiding

De vernieuwingscommissie presenteert in dit rapport een advies voor een nieuw examenprogramma voor het keuzevak Informatica in de bovenbouw havo en vwo.

Hieronder bespreken we beknopt de aanleiding voor het advies en gaan dan in op de werkwijze van de commissie.

Aanleiding

Sinds 2010 is er sprake van internationale onrust onder docenten en wetenschappers en in het bedrijfsleven. “*Europe cannot afford to miss the boat*” schreef een internationale werkgroep van Informatics Europe en de wereldwijde beroepsorganisatie ACM (Gander et al., 2013). Het is zorgelijk gesteld met ict in het Europese voortgezet onderwijs, betoogde de werkgroep, die onderscheid maakte tussen *digital literacy* (de vaardigheid in het gebruik van computergereedschap) en *informatics* (de onderliggende wetenschappelijke discipline).

Het is opmerkelijk dat de roep om vernieuwing van ict-onderwijs de afgelopen jaren juist ook *buiten* de kring van informatici te horen valt. Zowel in Groot-Britannië (Furber, 2012), Frankrijk (Académie des Sciences, 2013), Nederland (KNAW, 2012) en België (Samaey et al., 2014) pleiten wetenschappers ervoor op het onderwijs zodanig aan te passen dat leerlingen en studenten worden voorbereid op een maatschappij en een beroep waarin ict volledig vervlochten is. Een soortgelijke beweging zien we in de Verenigde Staten (Kaczmarczyk & Doplick, 2014). Het tekort aan professionals op het gebied van ict *zelf* is op zichzelf schrijnend, maar het probleem is veel breder: kennis over ict is van belang voor *alle* vakgebieden en beroepen.

Een dergelijk perspectief heeft gevolgen voor het onderwijs in brede zin: de rol van ict in de afzonderlijke vakdisciplines zal moeten worden gearticuleerd. Dat impliceert de noodzaak om te werken aan digitale vaardigheden van iedereen. Daarnaast is in het Nederlandse keuzevak Informatica de ict zelf object van studie. Deze twee perspectieven komen overeen met het onderscheid dat de Europese werkgroep maakte: het eerste met *digital literacy*, het tweede met *informatics*.

Diverse landen hebben inmiddels hun ict-onderwijs vernieuwd. Zo krijgt in Engeland elke leerling tussen 5 en 16 jaar sinds september 2014 les in informatica (*‘Computing’*). Daarnaast zijn er internationale extracurriculaire initiatieven op het gebied van informatica, zoals *Hour of Code*.

In opdracht van het ministerie van OCW verrichtten Tolboom, Krüger en Grgurina (2014) onderzoek naar de uitvoeringspraktijk van het Nederlandse keuzevak informatica. Op basis van literatuuronderzoek, docentinterviews, vragenlijst en deskundigenraadpleging doen de onderzoekers aanbevelingen voor maatregelen om het huidige informaticaonderwijs in havo en vwo te actualiseren. De vragenlijst onder informatiCADocenten is door 178 docenten van 169 scholen ingevuld. Dat is een percentage van ongeveer 59% van de totale populatie. Uitgaande van de standaardberekening voor de steekproefgrootte zou een aantal van 169 respondenten al een betrouwbaarheid van 95% hebben opgeleverd. De uitkomsten van de vragenlijst zijn dus representatief voor

de gehele populatie te noemen.

In het onderzoek werd bevestigd dat de situatie alarmerend is. Daarop besloot het ministerie van OCW tot vakvernieuwing van informatica in de bovenbouw havo en vwo.

Werkwijze

De commissie is begonnen met een brede oriëntatie aan de hand van nationale en internationale rapporten en referentiecurricula. De commissie nam direct na de start van haar werkzaamheden deel aan de internationale Lorentz workshop *Computing in Secondary Education*, waarin ideeën en ervaringen uit verschillende landen werden uitgewisseld.

Na een eerste inhoudelijke inventarisatie selecteerde de commissie een aantal kandidaat-kennisdomeinen voor het programma. De commissie sloot daarbij aan bij beschrijvingen van het (wetenschappelijke) vakgebied informatica door bijvoorbeeld de mondiale vakorganisatie ACM. Gegeven het internationale karakter van het vakgebied heeft de commissie ervoor gekozen om internationaal gangbare Engelstalige terminologie over te nemen in het examenprogramma.

Vervolgens verkende de commissie de mogelijke inhoud van deze domeinen, waarbij zo nodig externe deskundigen werden geraadpleegd. Dit leverde stapsgewijs een reeks concepten en leerdoelen. Deze uitgebreide beschrijving werd gebruikt als uitgangspunt voor het formuleren van eindtermen op het vereiste (globale) niveau van abstractie voor het examenprogramma. Overigens zijn de uitgebreidere beschrijvingen beschikbaar voor auteurs van een toekomstige Handreiking voor het schoolexamen; zie verderop.

De commissie benutte verschillende gelegenheden om met betrokkenen van gedachten te wisselen, zowel binnen als buiten Nederland. Buitenlandse experts werden geraadpleegd tijdens de Lorentz workshop, tijdens wetenschappelijke conferenties en tijdens de *studienamiddag* die de Koninklijke Vlaamse Academie van België voor Wetenschappen en Kunsten organiseerde en waaraan een commissielid op uitnodiging deelnam.

In Nederland werden ideeën en voorlopige concepten gepresenteerd tijdens de conferentie van vakvereniging i&i in november 2014, het Nederlands Informatica Onderwijs Congres (NIOC) in april 2015, een expertontmoeting in september 2015, een docentenraadpleging in september 2015, en tenslotte tijdens de i&i-conferentie in november 2015. Op deze bijeenkomsten sprak de commissie met docenten, ontwikkelaars van lesmateriaal, vakdidactici en betrokkenen vanuit de regionale steunpunten.

De discussies tijdens deze ontmoetingen en de feedback van de deelnemers werden zoveel mogelijk verwerkt. Aan de opsomming is te zien dat met alle belanghebbenden, inclusief docenten, uitgebreid is overlegd over de inhoud van het programma. De commissie is verheugd over de instemming die docenten betuigden tijdens de laatste bijeenkomsten in de reeks. In hun eerste reacties op het advies spraken ook buitenlandse deskundigen waardering uit voor de opzet en inhoud van het examenprogramma.

Tijdens het finaliseren van het concept-programma inventariseerde de commissie aan-

dachtspunten voor de invoering van het programma. Zij gebruikte daarvoor de gesignaleerde knelpunten uit het onderzoek van Tolboom et al. (2014) en de bevindingen uit de docentbijeenkomsten. Tijdens de i&i-conferentie van november 2015 legde de commissie de voorlopige conclusies en aanbevelingen voor aan een groep medewerkers van regionale steunpunten, ontwikkelaars van lesmateriaal en vakdidactici. Hun feedback werd verwerkt in het uiteindelijke invoeringsadvies waarmee dit rapport wordt afgesloten.

2 Toelichting op het examenprogramma: Algemeen

In dit hoofdstuk geeft de Vernieuwingscommissie informatica een toelichting op de opzet en structuur van het examenprogramma informatica.

Naar een duurzaam examenprogramma

Een belangrijk doel van dit examenprogramma is actueel blijven op de langere termijn. In het bijzonder voor een vakgebied als informatica is dat een uitdaging. Daarom is dit examenprogramma, in het kader van de zogenaamde concept-context benadering (Bruning & Michels, 2013), sterk *conceptueel* geformuleerd. De conceptuele inhoud van het vak is immers meer waardevast dan de in razend tempo veranderende *contexten*. Bij die contexten denken we bijvoorbeeld aan toepassingssituaties, professionele activiteiten, digitale omgevingen en ook aan andere vakgebieden die door informatica sterk zijn beïnvloed. Tegelijkertijd is het juist de dynamiek van de contexten die het vak informatica zo uitdagend maakt.

In het examenprogramma zelf staan dus voornamelijk concepten, naast de vaardigheden in domein A, die beschrijven wat een examenkandidaat informatica moet kunnen.

Het is de bedoeling dat in het definitieve programma deze contexten in generieke zin worden beschreven. In navolging van de concept-context benadering in het bètadomein onderscheiden we: maatschappelijke contexten (waaronder leefwereldcontexten), beroepscontexten en wetenschappelijke contexten. Voor de informatica zijn daarnaast andere vakgebieden (waarin informatica wordt toegepast) als context van belang.

Verder is het plan dat in een nog te ontwikkelen 'Handreiking schoolexamen informatica' ten behoeve van docenten en auteurs van lesmateriaal suggesties worden opgenomen voor concrete actuele en relevante contexten waarbinnen de in het examenprogramma opgenomen concepten operationeel worden gemaakt. Met deze contexten kan volgens de commissie worden gedifferentieerd naar profiel, bijvoorbeeld door inhoudelijk onderscheid te maken in sociale, economische, culturele en technische contexten, maar mogelijk ook naar havo en vwo.

Cross cutting concepts en fundamentele ideeën

Het examenprogramma informatica bestaat uit een domein A Vaardigheden en vijf (inhoudelijke) kennisdomeinen (zie verderop). De dwarsverbanden tussen de kennisdomeinen worden gevormd door de zogenaamde *cross cutting concepts* (National Re-

search Council, 2012). Iets soortgelijks beoogde Schwill (1994) door fundamentele ideeën te formuleren voor informatica als wetenschapsdomein.

In de toekomstige ‘Handreiking schoolexamen informatica’ zullen de *cross cutting concepts* en karakteristieke denk- en werkwijzen van de informatica nader uitgewerkt moeten worden, met daarbij aandacht voor de manier waarop zij de diverse kennisdomeinen van het examenprogramma doorsnijden zowel als verbinden.

Digitale artefacten

In het examenprogramma wordt regelmatig gesproken over ‘digitale artefacten’. Met deze verzamelnaam duiden wij producten aan die ontworpen en/of ontwikkeld en/of gefabriceerd zijn op basis van informaticakennis, dus programma’s, computersystemen, interfaces, enzovoort.

Het doel van het vak informatica vanuit maak-perspectief (informatica als construerende discipline) is het ontwikkelen van dergelijke digitale artefacten. Dit perspectief spreekt de creativiteit van leerlingen aan en maakt het, in combinatie met passende contexten, tot een vak voor *alle* leerlingen. Het vak informatica vanuit denk-perspectief bestudeert de onderliggende concepten van digitale artefacten in hun onderlinge verband en probeert het ontwikkelproces ervan te systematiseren.

Internationaal perspectief

In het ontwerpproces van het conceptadvies examenprogramma informatica heeft de commissie zich georiënteerd op internationale ontwikkelingen binnen het informatica-onderwijs. Er zijn verschillende curricula bestudeerd, de leerdoelen in de context van hun land geplaatst en met elkaar vergeleken op geschiktheid voor de Nederlandse situatie. Een startpunt hiervoor was de internationale workshop *Computing in Secondary Education* aan het Lorentz Center in Leiden, in september 2014.

De commissie heeft dankbaar gebruik gemaakt van het werk van Tim Steenvoorden, masterstudent informatica van de Radboud Universiteit. Steenvoorden bezocht alle vergaderingen van de vernieuwingscommissie tot september 2015. In zijn scriptie (Steenvoorden, 2015) onderzoekt hij informaticacurricula uit verschillende landen, beschrijft hij welke fundamentele ideeën aan deze curricula ten grondslag liggen en doet hij een voorstel hoe informatica kan worden ingebed in een breed curriculum van ‘science, technology, engineering, mathematics’ (STEM).

Structuur van het programma

Vaardigheden

De algemene vaardigheden en een deel van de wetenschappelijke en technische vaardigheden in domein A zijn opgenomen met het oog op symmetrie met examenprogramma’s van de bètavakken. In domein A zijn ook specifieke informaticavaardigheden opgenomen. Daarnaast zijn er kennisdomeinen, die zijn verdeeld over een kern-

programma, dat verplicht is voor alle leerlingen, en keuzethema's, die naar inzicht van de school, docent of de leerling kunnen worden gekozen.

De vaardigheden worden alleen getoetst in samenhang met één of meer kennisdomeinen.

Kernprogramma

Het kernprogramma bevat de volgende domeinen:

Domein A	Vaardigheden
Domein B	Grondslagen
Domein C	Informatie
Domein D	Programmeren
Domein E	Architectuur
Domein F	Interactie

Keuzethema's

In het examenprogramma zijn de volgende domeinen gewijd aan keuzethema's:

Domein G	Keuzethema Algoritmie, berekenbaarheid en logica
Domein H	Keuzethema Databases
Domein I	Keuzethema Cognitive computing
Domein J	Keuzethema Programmeerparadigma's
Domein K	Keuzethema Computerarchitectuur
Domein L	Keuzethema Netwerken
Domein M	Keuzethema Physical computing
Domein N	Keuzethema Security
Domein O	Keuzethema Usability
Domein P	Keuzethema User experience
Domein Q	Keuzethema Maatschappelijke en individuele invloed van informatica
Domein R	Keuzethema Computational science

Eindtermen

Nederlandse examenprogramma's worden geformuleerd in de vorm van een verzameling eindtermen, dat wil zeggen in termen van handelingen die de examenkandidaat beheerst. Dit past bij het Nederlandse gebruik om van overheidswege alleen het 'wat' van het onderwijs te bepalen, en het 'hoe' over te laten aan het onderwijsveld.

Het is gebruikelijk elk van de eindtermen globaal, op een hoog niveau van abstractie, te formuleren. Om te komen tot deze globale eindtermen heeft de Vernieuwingscommissie de vaardigheden en kennisdomeinen in meer detail verkend. De resultaten van deze verkenning kunnen gebruikt worden bij het construeren van de 'Handreiking school-examen informatica'.

Het doel van de vakvernieuwingscommissie was een balans zien te vinden tussen richting geven en ruimte bieden. Het vorige examenprogramma gaf volgens de informati-

cadocenten (Tolboom et al., 2014) te weinig richting. Daarom heeft het hier voorgestelde examenprogramma vrij veel eindtermen, namelijk 64. Dat komt mede door de 13 eindtermen in domein A Vaardigheden en de 34 eindtermen die de keuzethema's beschrijven. Het kernprogramma bevat 17 eindtermen. Hiermee meent de commissie de beoogde balans tussen richting geven en ruimte bieden te hebben gevonden.

Differentiatie havo-vwo

In het algemeen is het verschil tussen havo- en vwo-scholieren bij het vak informatica lastig te typeren. Iedere informatica docent heeft in haar of zijn havo-klassen wel een leerling zitten die ook in de corresponderende vwo-klas zou uitblinken. Om toch tot een kenschets van de curricula te komen beschouwt de vakvernieuwingscommissie havo-scholieren in het vak informatica als 'denkende doeners' terwijl de vwo-scholieren eerder 'doende denkers' zijn. De commissie stelt daarbij vast dat bij informatica het verschil tussen havo- en vwo-klassen soms kleiner is dan het verschil tussen leerlingen uit het CM-profiel en leerlingen uit het NT-profiel. Toch moet dit examenprogramma de basis zijn voor informaticaonderwijs dat voor alle leerlingen, havo en vwo, in alle profielen aantrekkelijk is. Wij denken dat de hiervoor benodigde differentiatie vooral is vorm te geven via de keuzethema's en de contexten waarbinnen de concepten tot leven worden geroepen.

Nadere toelichting

In de volgende drie hoofdstukken lichten we de onderdelen van examenprogramma toe: eerst het domein Vaardigheden, dan de kennisdomeinen van het kernprogramma en ten slotte de kennisdomeinen behorend bij de keuzethema's. Teksten uit het examenprogramma zijn steeds gemarkeerd via grijze tekstkaders. Het volledige concept-examenprogramma is te vinden als bijlage.

3 Toelichting op het examenprogramma: Vaardigheden

De commissie beschouwt drie vaardigheden cruciaal en karakteristiek voor het schoolvak informatica: (1) ontwerpen en ontwikkelen, (2) informatica als perspectief, en (3) samenwerken en interdisciplinariteit. We bespreken deze drie kernvaardigheden allereerst. Vervolgens gaan we in op de overige eindtermen in domein A: Vaardigheden.

Ontwerpen en ontwikkelen

Informatica wordt door velen gezien als een 'construerende discipline': een vakgebied waarin het *maken* van dingen centraal staat. Die 'dingen' zijn in het algemeen digitale artefacten. In deze visie levert het wetenschapsgebied informatica kennis over zulke artefacten en het maakproces. Deze kennis bestaat uit een conceptuele basis en typische denk- en werkwijzen.

Het ‘maakperspectief’ is een aantrekkelijk uitgangspunt voor het schoolvak. Het geeft informatica een herkenbaar en dynamisch gezicht en zorgt voor een prettig contrast met andere vakken die meer analytisch van aard zijn. Bovendien heb je voor het maken van digitale dingen geen ingewikkeld fysiek gereedschap of materiaal nodig: meestal volstaat de computer. Daardoor hoeft het niet bij het *bedenken* van een product te blijven, maar kunnen leerlingen het ook echt realiseren. Door docenten wordt bovendien vaak op de *fun factor* gewezen: het maken van digitale producten is leuk en motiveerend.

Het maken van digitale artefacten is veel meer dan een technische aangelegenheid. Informatica dient immers niet alleen voor automatisering van bestaande en bekende processen. De wereld om ons heen is doordrongen van informaticatoepassingen die ook dienen om het dagelijks leven makkelijker of leuker te maken (navigatiesystemen, games, gezichtsherkenning in je fotoverzameling), veiliger te laten zijn (robots, botsingsdetectie) en om nieuwe mogelijkheden te scheppen (spraakherkenning, kunstmatige intelligentie). Bij ontwerp en ontwikkeling zijn contexten en gebruikers dan ook het vertrekpunt. Die contexten bieden mogelijkheden om aan te sluiten bij de belangstelling en het profiel van leerlingen, en ook om ontwerpen en ontwikkelen een creatieve uitdaging te laten zijn, meer dan het oplossen van een hapklare opdracht voor het schrijven van een computerprogramma.

Ontwerpen en ontwikkelen

De kandidaat kan

- in een context mogelijkheden zien voor het inzetten van digitale artefacten,
- deze mogelijkheden vertalen tot een doelstelling voor ontwerp en ontwikkeling, daarbij technische factoren, omgevingsfactoren en menselijke factoren betrekken,
- wensen en eisen specificeren en deze op haalbaarheid toetsen,
- een digitaal artefact ontwerpen,
- bij het ontwerp van een digitaal artefact keuzes afwegen via onderzoeken en experimenteren,
- een digitaal artefact implementeren, en
- de kwaliteit van digitale artefacten evalueren,

en deze vaardigheden in samenhang inzetten voor het ontwikkelen van digitale artefacten.

De kennisdomeinen in het kernprogramma (B–F) leveren kennis en gereedschap voor het uitvoeren van ontwikkelactiviteiten. Programmeren hoort hierbij, maar ook maatschappelijke impact en kwaliteitsaspecten zoals gebruikersinteractie, correctheid, efficiëntie en security. Het keuzedeel (G–Q) biedt verdiepings- en verbredingsmogelijkheden.

Digitale artefacten zijn tegenwoordig nog maar zelden monolitische bouwwerken die *from scratch* worden geprogrammeerd, maar zijn veeleer opgebouwd uit samenwerkende programmacomponenten. Daarom zal ‘implementeren’ de ene keer neerkomen op *programmeren* van zo’n component, de andere keer op het *samenstellen* van een

bouwwerk uit bestaande componenten, en nog een andere keer uit een combinatie van die twee mogelijkheden. Een digitaal artefact kan overigens vele gedaanten hebben: ook een gebruikersinterface zien wij bijvoorbeeld als zo'n digitaal artefact.

De formulering van de eindterm laat wat speelruimte voor het kiezen van de vrijheidsgraden om te komen tot een 'doelstelling voor ontwerp en ontwikkeling'. De commissie ziet hierin een geschikte differentiatiemogelijkheid. Zo zal een open situatie, waarin het formuleren van een passende doelstelling nadere afweging en onderzoek vergt, zich vooral lenen voor het vwo, terwijl een concrete gegeven ontwikkeldoelstelling een typisch uitgangspunt voor het havo lijkt. Tussen deze twee uitersten is veel variatie mogelijk, bijvoorbeeld afhankelijk van de complexiteit van de context. De commissie ziet in dit subdomein dan ook af van het formuleren van een strikt onderscheid tussen havo en vwo.

Informatica als perspectief

Naast het maakperspectief heeft informatica ook een analytische kant: met kennis van zaken kunnen we verschijnselen in het dagelijks leven en de maatschappij duiden en redeneringen en oplossingen op waarde schatten. In een wereld waarin informatica zo in elk facet is doorgedrongen, is een dergelijke vaardigheid onontbeerlijk. Een leerling die het schoolvak heeft afgesloten, zal niet alleen trefzeker kunnen redeneren over mogelijke oorzaken van het haperen van het wifi-netwerk in huis, maar ook kunnen uitleggen of we ons zorgen moeten maken over ons banktegoed als een site voor internetbankieren plat is vanwege een *DDoS*-aanval.

Informatica als perspectief

De kandidaat kan in contexten

- verschijnselen duiden, uitleggen en verklaren in termen van informatica,
- informatica-concepten herkennen en met elkaar in verband brengen, en
- mogelijkheden en beperkingen van digitale artefacten inschatten en berekenen in vaktermen.

Deze eindterm bevat elementen van *computational thinking*. Deze term werd in 2006 geïntroduceerd door Jeanette Wing om een verzameling mentale gereedschappen aan te duiden die nodig zijn om computers effectief in te kunnen zetten. Hiertoe behoren *analytische vaardigheden* om problemen zodanig kunnen formuleren dat we computers en andere gereedschappen kunnen gebruiken om ze te helpen oplossen, en ook *probleemoplossend vermogen* zoals het zoeken van oplossingen in termen van algoritmen en gegevens. Wing en vele anderen zien *computational thinking* als een basisvaardigheid naast lezen, schrijven en rekenen.

In 'Informatica als perspectief' worden informaticaconcepten gebruikt als 'bril' om naar de wereld te kijken. Dit subdomein past daarom bij het analytische aspect van *computational thinking*, terwijl onze invulling van 'Ontwerpen en ontwikkelen' aansluit bij het aspect van probleemoplossen.

Samenwerken en interdisciplinariteit

Een informaticus werkt zelden alleen. Het maken van digitale producten gebeurt meestal in een team: enerzijds omdat die producten vaak groot zijn (vele handen maken licht werk) en anderzijds omdat het ontwikkelen de bijdrage van verschillende specialismen vergt.

De commissie wil deze laatste vorm van samenwerking nadrukkelijk mogelijk maken, overigens zonder deze af te dwingen. Het kerndeel van het examenprogramma (met name domeinen B–F) is zodanig samengesteld dat alle leerlingen tenminste kunnen communiceren met collega-leerlingen die zich hebben gespecialiseerd via een bepaald keuzethema. Zo weet elke leerling genoeg over mens-machine interactie (kernprogramma, domein F) om effectief samen te kunnen werken met een teamlid dat geleerd heeft user interfaces te ontwerpen (keuzethema, domein O). Op deze wijze kunnen leerlingen met verschillende expertise samenwerken in een ontwikkelteam.

Kunnen werken in teamverband is een essentiële vaardigheid. De informatica (met name het deelgebied *software engineering*) heeft allerlei methoden opgeleverd om gestructureerd in een ontwikkelteam te werken. De commissie vindt het belangrijk dat leerlingen tenminste één zo'n gestructureerde werkwijze kunnen hanteren, maar ziet af van het voorschrijven van een specifieke variant. Ook vindt de commissie het niet noodzakelijk dat leerlingen een groter repertoire van ontwikkelmethoden overzien en hieruit een keuze kunnen maken.

Tot dusver ging het over samenwerking tussen informatici onderling. Een tweede vorm van samenwerking zien we tussen informatici en specialisten uit een toepassingsgebied. Informatica is immers zo doorgedrongen tot andere vakgebieden (zoals geneeskunde, kunst, taalwetenschap) dat samenwerken met vakmensen uit andere gebieden dikwijls noodzakelijk is voor het welslagen van een ontwikkelproject.

Samenwerken en interdisciplinariteit

De kandidaat kan

- bij het ontwerpen en ontwikkelen van digitale artefacten op een gestructureerde wijze samenwerken in een team, en
- samenwerken met mensen afkomstig uit een toepassingsgebied.

Overige informaticaspecifieke vaardigheden

Bij toepassing van informatica en het ontwikkelen van digitale artefacten spelen ethische normen (zoals beroepscode) en ethische dilemma's een rol. Het programma bevat een kennismaking met deze ethische aspecten. De commissie differentieert tussen vwo en havo.

Ethisch handelen

De kandidaat kan

- beschrijven welke ethische normen en waarden een rol spelen bij het gebruik en de ontwikkeling van digitale artefacten,
- het eigen handelen expliciet vergelijken met ethische richtlijnen, en
- **(vwo:)** het eigen handelen kritisch analyseren en relateren aan ethische dilemma's.

Informatici zijn naast makers ook vaardige gebruikers van digitale hulpmiddelen. In het subdomein 'Informatica-instrumentarium' wordt deze digitale vaardigheid beschreven, evenals het hanteren van informaticaspecifieke termen en formalismen. Dit subdomein is een informatica-specifieke variant van soortgelijke subdomeinen in de bètavakken waarin bijvoorbeeld laboratoriumvaardigheden en formulegebruik worden beschreven.

Informatica-instrumentarium

De kandidaat kan voor de informatica relevante gereedschappen hanteren, waar nodig met aandacht voor risico's en veiligheid; daarbij gaat het om (computer)apparatuur, besturingssystemen, applicaties, vaktaal, vakconventies en formalismen.

De commissie verwacht dat leerlingen informaticaconcepten in diverse maatschappelijke contexten leren gebruiken. Ook beroepscontexten zijn belangrijk, waarbij voor vwo en havo goed kan worden aangesloten bij beroepen waarvoor een wetenschappelijke respectievelijk een beroepsopleiding is vereist. Vwo'ers komen tevens in aanraking met wetenschappelijke contexten.

Contexten

De kandidaat kan de in domein A genoemde vaardigheden en de in domeinen B tot en met F, en in de gekozen domeinen uit G tot en met R, genoemde concepten ten minste gebruiken in beroepscontexten, in maatschappelijke contexten en **(vwo:)** in wetenschappelijke contexten.

De commissie adviseert in de beoogde 'Handreiking bij het schoolexamen' voor docenten en auteurs concrete voorbeelden van contexten te geven. Naast het *functionele* onderscheid maatschappelijk–beroep–wetenschappelijk kan daarin de *inhoudelijke* dimensie van contexten (technisch, sociaalmaatschappelijk, economisch, cultureel, enzovoorts) worden uitgewerkt.

Overige vaardigheden

Uit oogpunt van symmetrie en volledigheid heeft de commissie algemene vaardigheden en wetenschappelijke vaardigheden (vrijwel ongewijzigd) overgenomen uit de examenprogramma's van de bètavakken. Voor deze vaardigheden verwijzen we naar

de volledige tekst van het concept-examenprogramma in de bijlage. Vanuit overwegingen van vergelijkbaarheid staan ze als eerste subdomeinen in de opsomming genoemd.

4 Toelichting op het examenprogramma: Kennisdomeinen Kernprogramma

Het kernprogramma bestaat uit vijf kennisdomeinen:

- Grondslagen,
- Informatie,
- Programmeren,
- Architectuur,
- Interactie.

Grondslagen

In dit domein worden digitale artefacten op een abstracte manier bekeken, dat wil zeggen onafhankelijk van een concrete implementatie. Een groot voordeel van werken met algoritmen, bijvoorbeeld, is dat we kunnen redeneren over de efficiëntie van een oplossing nog vóór er een programma in een concrete programmeertaal is geschreven. Ook het redeneren over een bestaand programma wordt gemakkelijker als we abstraheren van de implementatiedetails en kijken naar het achterliggende algoritme.

Naast algoritmen komen in dit domein ook datastructuren, talen en automaten aan de orde. Het onderwerp formele logica is onderdeel van een keuzethema, waarin deze invalshoek tevens toegepast wordt.

Algoritmen

De kandidaat kan

- een oplossingsrichting voor een probleem uitwerken tot een algoritme,
- daarbij standaardalgoritmen herkennen en gebruiken, en
- de correctheid en efficiëntie van digitale artefacten onderzoeken via de achterliggende algoritmen.

Datastructuren

De kandidaat kan verschillende abstracte datastructuren met elkaar vergelijken op elegantie en efficiëntie.

Automaten

De kandidaat kan eindige automaten gebruiken voor de karakterisering van bepaalde algoritmen.

Grammatica's

De kandidaat kan grammatica's hanteren als hulpmiddel bij de beschrijving van talen.

De achterliggende gedachten voor het opnemen van automaten en grammatica's zijn als volgt. Met automaten (toestandsovergangssystemen) zijn artefacten vaak elegant en simpel te beschrijven of ontwerpen zonder direct in programmacode te vervallen. Verder geven grammatica's structuur (en daarmee eenvoud) in beschrijvingen van (programmeer)talen. Het is dus de bedoeling om deze twee modellen instrumenteel te gebruiken en niet om er allerlei diepe theorie mee te bedrijven. Eventueel kan een geïnteresseerde leerling wat dieper gaan via een keuzethema.

Informatie

Dit domein gaat over informatie en concrete gegevens (*data*). Het identificeren en representeren van gegevens vormen de kern van het domein. Speciale aandacht is er voor representatie van getallen (bijvoorbeeld binair, decimaal) en representatie van media zoals tekst, beeld en geluid (bijvoorbeeld via coderen, comprimeren, gebruik van vectoren). Het raadplegen van (bestaande) databestanden komt van pas bij toepassingen in diverse contexten. Het gaat hier om (potentieel) *grote* verzamelingen gestructureerde data, waarbij databases een rol spelen en eenvoudige oplossingen zoals spreadsheets niet toereikend zijn.

Doelstellingen

De kandidaat kan doelstellingen voor informatie- en gegevensverwerking onderscheiden, waaronder 'zoeken' en 'bewerken'.

Identificeren

De kandidaat kan informatie en gegevens identificeren in contexten, daarbij rekening houdend met de doelstelling.

Representeren

De kandidaat kan gegevens representeren in een geschikte datastructuur, daarbij rekening houdend met de doelstelling en kan daarbij verschillende representaties met elkaar vergelijken op elegantie, efficiëntie en implementeerbaarheid.

Standaardrepresentaties

De kandidaat kan standaardrepresentaties van numerieke gegevens en media gebruiken en aan elkaar relateren.

Gestructureerde data

De kandidaat kan een informatiebehoefte vertalen in een zoekopdracht op een verzameling gestructureerde data.

Programmeren

Het domein Programmeren betreft zowel het ontwikkelen van programma's als het begrijpen en aanpassen van programma's. We verwachten dat de leerlingen in het schoolvak vaardig worden in het hanteren van een imperatieve programmeertaal. De commissie laat de keuze voor zo'n taal over aan docenten en auteurs.

In de toelichting bij ‘Ontwerpen en ontwikkelen’ werd al opgemerkt dat software veelal modulair is opgebouwd en bestaat uit samenwerkende componenten. In de formulering van de eindterm gebruiken we daarom de aanduiding ‘programmacomponent’ in plaats van de klassieke term ‘programma’.

Ontwikkelen

De kandidaat kan, voor een gegeven doelstelling,

- programmacomponenten ontwikkelen in een imperatieve programmeertaal,
- daarbij programmeertaalconstructies gebruiken die abstractie ondersteunen, en
- programmacomponenten zodanig structureren dat ze door anderen gemakkelijk te begrijpen en te evalueren zijn.

Inspecteren en aanpassen

De kandidaat kan

- structuur en werking van gegeven programmacomponenten uitleggen, en
- zulke programmacomponenten aanpassen op basis van evaluatie of veranderde eisen.

Vanzelfsprekend komen basis-programmeerconstructies zoals toekenning, opeenvolging, herhaling en keuze aan de orde. Verder zijn constructies die abstractie ondersteunen, zoals functies met parameters, essentiële mechanismen. In het ontwikkelproces hanteren leerlingen *testen* en *debuggen* als werkwijzen.

Architectuur

In het kernprogramma ligt de nadruk op het *begrijpen* van bouw en werking van digitale artefacten. Enkele keuzethema's verderop bieden verdiepingsmogelijkheden waarin ook *ontwerpen* op architectuurgebied aan de orde komt.

Als beschrijvingsmiddel voor architectuuraspecten hanteren we de het klassieke lagenmodel, van de *fysieke laag* (hardware: werkgeheugen, processor, achtergrondgeheugen, rand- en netwerkapparaten, verbindingen) via de *logische laag* (operating system, talen/compilers, DBMS, netwerk) tot de *toepassingslaag* (toepassingsprogramma's, databases, web-diensten).

Architectuurelementen vormen een goede kapstok voor security-aspecten, voorzover ze *technische* risico's en maatregelen betreffen. *Menselijke* factoren rond security zijn onderdeel van het kerndomein Interactie, zie verderop.

Decompositie

De kandidaat kan de structuur en werking van digitale artefacten uitleggen aan de hand van architectuurelementen, dat wil zeggen in termen van de niveaulagen

fysiek, logisch en toepassingen, en in termen van de componenten in deze lagen en hun onderlinge interactie.

Security

De kandidaat kan enkele security-bedreigingen en veelgebruikte technische maatregelen benoemen en relateren aan architectuurelementen.

Interactie

Dit subdomein betreft de verbinding tussen informatica en de omgeving. De commissie heeft in het kernprogramma drie perspectieven opgenomen: de interactie tussen digitaal artefact en gebruiker (*usability*), de impact van informatica op de maatschappij en de impact van informatica op het individu (met name *privacy*). Deze drie perspectieven bieden tevens goede aanknopingspunten voor de socio-technische kant van security, als aanvulling op de meer technische aspecten onder het domein Architectuur.

Usability

De kandidaat kan

- gebruikersinterfaces van digitale artefacten evalueren aan de hand van heuristieken, en
- vuistregels van ‘goed ontwerp’ met betrekking tot interfaces toepassen bij ontwerp en ontwikkeling van digitale artefacten.

Maatschappelijke aspecten

De kandidaat kan de invloed van digitale artefacten op sociale interactie en persoonlijke levenssfeer herkennen en in historisch perspectief plaatsen.

Privacy

De kandidaat kan redeneren over de gevolgen van de veranderende mogelijkheden van digitale artefacten op de persoonlijke vrijheid.

Security

De kandidaat kan enkele security-bedreigingen en veelgebruikte socio-technische maatregelen benoemen en deze relateren aan sociale en menselijke factoren.

5 Toelichting op het examenprogramma: Kennisdomeinen keuzethema's

Het programma bevat de volgende keuzethema's.

Groep 1

- Keuzethema Algoritmiek, berekenbaarheid en logica,
- Keuzethema Databases,

- Keuzethema Cognitive computing,
- Keuzethema Programmeerparadigma's,
- Keuzethema Computerarchitectuur,
- Keuzethema Netwerken,
- Keuzethema Physical computing,
- Keuzethema Security,

Groep 2

- Keuzethema Usability,
- Keuzethema User experience,
- Keuzethema Maatschappelijke en individuele invloed van informatica,
- Keuzethema Computational science.

Het idee is dat havo-leerlingen 2 van deze thema's kiezen en vwo-leerlingen 4. Voor zowel vwo als havo geldt de voorwaarde dat zowel uit groep 1 als uit groep 2 elk (minimaal) één keuzethema gekozen wordt.

De voorgestelde keuzethema's sluiten aan bij verschillende domeinen uit het kernprogramma en vormen volgens de commissie een aantrekkelijke verzameling. De keuzethema's lenen zich bij uitstek om aan verschillende contexten te koppelen, te kiezen aan de hand van de actualiteit en af te stemmen op de persoonlijke interesse en het profiel van de leerlingen.

De formulering van de meeste keuzethema's is globaler dan die van het kernprogramma. De commissie heeft dit bewust gedaan om richting te geven maar tegelijkertijd docenten en auteurs enige vrijheid te geven voor de concrete invulling.

Keuzethema Algoritmie, berekenbaarheid en logica

Complexiteit van algoritmen

De kandidaat kan

(havo:) van gegeven algoritmen de complexiteit vergelijken, en kan klassieke 'moeilijke' problemen herkennen en benoemen.

(vwo:) het verschil tussen exponentiële en polynomiale complexiteit uitleggen, kan algoritmen op basis hiervan onderscheiden, en kan klassieke 'moeilijke' problemen herkennen en benoemen.

Berekenbaarheid

De kandidaat kan berekeningen op verschillende abstractieniveaus karakteriseren en relateren, en kan klassieke 'onberekenbare' problemen herkennen en benoemen.

Logica

De kandidaat kan eigenschappen van digitale artefacten uitdrukken in logische formules.

Voorbeelden van modellen voor het karakteriseren van berekeningen op verschillende niveaus zijn: fundamenteel-conceptueel, eindige automaten, Turingmachines, lambda-calculus, machinemodel, digitale schakelingen, machinecyclus, en instructies in assembleertaal en hogere programmeertalen. Deze voorbeelden hoeven niet alle aan de orde te komen.

Keuzethema Databases

Informatiemodellering

De kandidaat kan een informatiemodel opstellen voor een eenvoudige praktische situatie en aan de hand hiervan een database definiëren.

Database paradigma's

De kandidaat kan naast het relationele paradigma tenminste één ander database-paradigma beschrijven en kan voor een concrete toepassing de geschiktheid van de betreffende paradigma's afwegen.

Linked data

De kandidaat kan in een toepassing data uit verschillende databases (data-bronnen) met elkaar in verband brengen.

Een voorbeeld van een factor die bij de afweging van paradigma's een rol speelt is de mate van *distributie* van een database.

Keuzethema Cognitive computing

Intelligent gedrag

De kandidaat kan de processen die nodig zijn voor 'intelligent' gedrag beschrijven en kan analyseren hoe deze processen in de informatica ingezet kunnen worden bij het ontwikkelen van digitale artefacten.

Kenmerken cognitive computing

De kandidaat kan de belangrijkste kenmerken van cognitive computing-systemen uitleggen, en het verschil met traditionele digitale artefacten aangeven en kan van een probleem aangeven of de oplossing ervan zich leent voor een cognitive computing-aanpak.

Toepassen van cognitive computing

De kandidaat kan een eenvoudige toepassing realiseren met één of meer van de methodes en technologieën uit de cognitive computing.

Bij deze methodes kan gedacht worden aan: semantisch web, probabilistisch redeneren, *user modelling*, natuurlijke-taalverwerking, *machine learning*.

Keuzethema Programmeerparadigma's

Alternatief programmeerparadigma

De kandidaat kan van minimaal één extra programmeerparadigma de kenmerken beschrijven en kan programma's volgens dat paradigma ontwikkelen en evalueren.

Keuze van een programmeerparadigma

De kandidaat kan voor een gegeven probleem een afweging maken tussen paradigma's voor het oplossen ervan.

Voorbeelden van mogelijke paradigma's zijn: functioneel, logisch, objectgeoriënteerd.

Keuzethema Computerarchitectuur

Booleaanse algebra

De kandidaat kan rekenen met formules in Booleaanse algebra.

Digitale schakelingen

De kandidaat kan eenvoudige digitale schakelingen op bit-niveau construeren.

Machinetaal

De kandidaat kan een eenvoudig programma in machinetaal schrijven aan de hand van de beschrijving van een instructieset-architectuur.

Variatie in computerarchitectuur

De kandidaat kan variatie in computerarchitectuur verklaren in termen van technologische ontwikkelingen en toepassingsdomeinen.

In Booleaanse formules kan de leerling bijvoorbeeld de wetten van De Morgan toepassen.

Voorbeelden van digitale schakelingen zijn: opteller, multiplexer en flipflop, op basis van *and*, *or*, *not*, *nand*.

Het verkrijgen van machinetaalprogramma's zou aangepakt kunnen worden door programma's in een hogere programmeertaal om te zetten naar een programma in machinetaal, via schematische vertalingen van programmeerconstructies in termen van de betreffende machinetaal-instructieset.

In de eindterm over variatie kunnen fysieke en economische overwegingen aan de orde komen. Een voorbeeld van een bepalende factor is de geheugenhiërarchie: van registers via een aantal niveaus van caching tot het primaire en secundaire geheugen. Een 'onhandig' gebruik van deze hiërarchie vertaalt zich direct in slecht presterende programma's. De organisatie van berekeningen is een ander voorbeeld: zo is de kloksnelheid de laatste jaren nauwelijks toegenomen, maar is de snelheidsverbetering vooral een gevolg van parallelisme (bijvoorbeeld meerdere cores). Voorbeelden van toe-

passingsdomeinen zijn: video games, netwerk servers, desktop computers, mobiele apparaten en embedded systemen.

Keuzethema Netwerken

Netwerkcommunicatie

De kandidaat kan de manier waarop netwerkcomponenten met elkaar communiceren beschrijven en analyseren, en kan schalingseffecten bij communicatie herkennen, er voorbeelden van geven en de gevolgen ervan uitleggen.

Internet

De kandidaat kan de basisprincipes van het internet als netwerk uitleggen en aangeven welke gevolgen dit heeft voor toepassingen en voor gebruikers.

Distributie

De kandidaat kan vormen van samenwerking en verdeling van functies en gegevens in netwerken beschrijven.

Netwerksecurity

De kandidaat kan gevaren van inbreuk op gedistribueerde functies en gegevens analyseren, en maatregelen adviseren die deze inbreuk tegengaan.

De communicatie in een netwerk kan onder meer gekarakteriseerd worden via de concepten *protocol* en *adressering*.

Keuzethema Physical computing

Sensoren en actuatoren

De kandidaat kan sensoren en actuatoren waarmee een computersysteem de fysieke omgeving kan waarnemen en aansturen herkennen en functioneel beschrijven.

Ontwikkeling physical computing componenten

De kandidaat kan fysieke systemen en processen modelleren met het oog op *real time* besturingsaspecten en kan met behulp van deze modellen, sensoren en actuatoren een computersysteem ontwikkelen om fysieke systemen en processen te bewaken en besturen.

In dit keuzethema zouden embedded systems of robotica uitstekend aan de orde kunnen komen.

Keuzethema Security

Risicoanalyse

De kandidaat kan risico's, bedreigingen en kwetsbaarheden in een ict-toepassing analyseren en kan daarbij zowel technische als menselijke factoren betrekken.

Maatregelen

De kandidaat kan keuzen voor technische en organisatorische maatregelen ter vergroting van de security verklaren.

De analyses kunnen zowel voorspellingen en verklaringen betreffen. Risico's, bedreigingen en kwetsbaarheden kunnen worden beschreven in termen van de concepten *vertrouwelijkheid*, *integriteit* en *beschikbaarheid*.

Voorbeelden van security-maatregelen zijn: toepassing van symmetrische en asymmetrische versleuteling en het gebruik van wachtwoorden.

Keuzethema Usability

Gebruikersinterfaces

De kandidaat kan de werking van gebruikersinterfaces beschrijven en verklaren aan de hand van cognitieve en biologische modellen.

Gebruikersonderzoek

De kandidaat kan gebruikersinterfaces van digitale artefacten evalueren via gebruikersonderzoek.

Ontwerp

De kandidaat kan elementen van een gebruikersinterface ontwerpen.

In de cognitieve en biologische modellen kunnen aan de orde komen: aandacht, geheugen, verwachtingen, kleurherkenning, ergonomie, enzovoorts.

Het gebruikersonderzoek betreft *usability testing*, waarbij diverse methoden aan de orde kunnen komen (observatie, hardop denken, interview, vragenlijst, *eye tracking*, enzovoorts).

Keuzethema User experience

Analyse

De kandidaat kan de relatie tussen ontwerpkeuzes van een interactief digitaal artefact en de verwachte cognitieve, gedragsmatige en affectieve veranderingen of ervaringen verklaren.

Ontwerp

De kandidaat kan voor een digitaal artefact de gebruikersinteractie vormgeven, de ontwerpbeslissingen verantwoorden en voor een eenvoudige toepassing implementeren.

Dit keuzethema gaat over digitale artefacten waarin het vormgeven van gebruikersinteractie meer omvat dan het ontwerp van een gebruikersinterface. Daarmee gaat het een stap verder dan het keuzethema usability. Mogelijke voorbeelden zijn interactieve artefacten zoals games, en toepassingen die de interactie met gebruikers benutten om betrokkenheid (*engagement*) van gebruikers te vergroten, zoals *gamification* van bestaande applicaties. Bij user experience kunnen naast de directe interactie ook andere modaliteiten een rol spelen, zoals beeld (animatie, video) en geluid (muziek).

Keuzethema Maatschappelijke en individuele invloed van informatica

Maatschappelijke invloed

De kandidaat kan positieve en negatieve effecten van informatica en de genetwerkte samenleving op individueel en sociaal leven verklaren en voorspellen.

Juridische aspecten

De kandidaat kan juridische aspecten van de toepassing van informatica in de samenleving analyseren.

Privacy

De kandidaat kan effecten van technische, juridische en sociale maatregelen voor privacy-gerelateerde kwesties onderzoeken.

Cultuur

De kandidaat kan redeneren over de invloed van informatica op culturele uitingen.

Keuzethema Computational science

Modelleren

De kandidaat kan aspecten van een andere wetenschappelijke discipline modelleren in computationele termen.

Simuleren

De kandidaat kan modellen en simulaties construeren en gebruiken voor het onderzoeken van verschijnselen in die andere wetenschap.

6 De invoering van het examenprogramma

De vernieuwingscommissie is gevraagd te adviseren over de invoering van het voorgestelde examenprogramma. We doen dat hieronder door een aantal aandachtspunten te bespreken met bijbehorende aanbevelingen. De aandachtspunten zijn ontleend aan het onderzoek van Tolboom et al. (2014) en de gesprekken tijdens veldraadplegingen en andere consultaties. We belichten hieronder eerst de acties op korte termijn en bespreken dan de noodzakelijke maatregelen om de continuïteit van het vernieuwde schoolvak informatica te garanderen.

Implementatie van het examenprogramma

Vertaling van het examenprogramma naar onderwijsinhoud

Om de duurzaamheid van het examenprogramma te bevorderen is dit programma globaal en in termen van *conceptuele* inhoud beschreven. De vertaling van het examenprogramma naar lesmateriaal en de onderwijspraktijk vergt naast concretisering van de vakinhoud ook de koppeling met *contexten*. Door aan te sluiten bij informaticatoepassingen die leerlingen om zich heen zien, biedt de gekozen concept-context benadering de wendbaarheid om het schoolvak actueel en aantrekkelijk te maken. Bovendien geven contexten de mogelijkheid om aan te sluiten bij de verschillende profielen.

De benodigde concretisering en contextualisatie is voor auteurs en docenten niet vanzelfsprekend. Bij de laatste raadpleging spraken de deelnemers waardering uit voor de gekozen conceptuele inhoud, maar hadden vooral vragen met betrekking tot het gebruik van contexten.

De commissie adviseert om een *Handreiking voor het schoolexamen informatica* te laten maken waarin het examenprogramma wordt vertaald naar richtlijnen en voorbeelden voor de invulling van het programma. Zo'n handreiking biedt zo het houvast waaraan docenten en ontwikkelaars van lesmateriaal behoefte hebben. Het is belangrijk dat de handreiking in interactie met vakexperts en het onderwijsveld wordt ontwikkeld.

Implementatie van de nieuwe onderwijsinhoud in de onderwijspraktijk

In de raadplegingen van de commissie is een consistent beeld naar voren gekomen: het voorgestelde examenprogramma wordt breed ondersteund, zowel door docenten, methode-auteurs, de vakvereniging en het vervolgonderwijs. De betrokkenen willen het liefst zo snel mogelijk aan de slag met het nieuwe programma. Tegelijkertijd maken vo-docenten zich zorgen over het bijspijkeren van de eigen vakinhoudelijke en vakdidactische kennis en over de omvang van het te ontwikkelen onderwijsmateriaal en de daarvoor benodigde expertise.

De commissie adviseert dan ook om samen met de docenten en ontwikkelaars de implementatie direct ter hand te nemen en deze groepen gericht te ondersteunen via bijscholing en hulp bij de ontwikkeling van materiaal. Een langdurige pilot is volgens de commissie niet nodig.

Voor deze ondersteuning kan de bestaande infrastructuur van regionale VO-HO-netwerken ingezet worden. Deze netwerken, elk met een regionaal steunpunt als centrum, verbinden VO-scholen met informatici op universiteiten en hogescholen, met vakdidactici en met het bedrijfsleven. De VO-HO-netwerken zien een rol voor zichzelf weggelegd.

In de VO-HO-netwerken kunnen professionaliseringsactiviteiten worden opgezet, variërend van inhoudelijke bijscholing tot collegiale ondersteuning bij het invoeren van nieuw onderwijs via professionele leergemeenschappen (PLG's) van docenten. SLO kan deze regionale steunpunten vanuit de tweede lijn voeden en ondersteunen.

Ontwikkelaars van lesmateriaal hebben behoefte aan advies en hulp door vakdeskundigen. Met hulp van de VO-HO-netwerken kan een ontwikkelpraktijk van *co-creatie* worden vormgegeven, door groepen te vormen van ontwikkelaars, domeindeskundigen uit het HO, vakdidactici, leerplanontwikkelaars en VO-docenten. Bovendien gaat van zo'n ontwikkelpraktijk een professionaliserende werking uit.

De commissie adviseert om aan de VO-HO-netwerken middelen ter beschikking te stellen om deze bijscholing en materiaalontwikkeling te ondersteunen.

Vanwege de structuur van het examenprogramma met een kerndeel en keuzethema's ligt het voor de hand om *modulair* lesmateriaal te ontwikkelen. Zo'n modulaire vorm past bovendien bij onderwijs dat moet kunnen differentiëren in een vakgebied waarin met grote snelheid ontwikkelingen plaatsvinden. Er zijn op dit moment drie commerciële uitgevers van informaticamethoden actief. Gezien de marktgrootte en het aantal te ontwikkelen keuzemodulen is het onwaarschijnlijk dat een enkele commerciële partij zich zal wagen aan materiaalontwikkeling voor de complete set van keuzethema's. De commissie constateert een behoefte aan afstemming rond de ontwikkeling van onderwijsmateriaal tussen ontwikkelaars van de commerciële uitgevers onderling en tussen commerciële en niet-commerciële initiatieven zoals producten van docenten of VO-HO netwerken.

De organisatie van bijscholing en materiaalontwikkeling vraagt een centrale regie, die de kwaliteit bewaakt en zorgt dat de activiteiten op een efficiënte manier worden uitgevoerd. De commissie adviseert daartoe een landelijk orgaan te faciliteren dat deze regierol vervult via afstemming met de VO-HO-netwerken, de vakvereniging, de uitgevers, leerplanontwikkelaars en andere partijen. De manier waarop modules zijn ontwikkeld voor het vak Natuur, Leven en Technologie (NLT) en de kwaliteitszorg daaromheen kunnen een inspiratiebron zijn.

Aanbevelingen rond de implementatie van het examenprogramma

Samengevat komt de commissie tot de volgende aanbevelingen.

Aanbeveling 1. *Geef SLO opdracht tot het ontwikkelen van een Handreiking voor het schoolexamen informatica.*

Aanbeveling 2. *Stel middelen beschikbaar voor de VO-HO netwerken om bijscholing van docenten en ontwikkeling van onderwijsmateriaal te ondersteunen.*

Aanbeveling 3. *Faciliteer een nieuw te vormen landelijk regieorgaan dat bijscholing en materiaalontwikkeling aanstuurt en de kwaliteit ervan bewaakt.*

Voorwaarden voor continuïteit

Voldoende docenten

Wellicht de grootste bedreiging voor de toekomst van het schoolvak is het kleine aantal bevoegde en bekwame docenten. Het tekort aan informaticadocenten is nijpend: in 2015 kan aan 31% van de vraag naar bevoegde docenten niet worden voldaan. Geschat wordt dat dit in 2020 zal zijn opgelopen tot 68%¹. Er is zelfs sprake van een neerwaartse spiraal: scholen schaffen het vak af als ze geen docent kunnen vinden, en studenten kiezen niet voor de lerarenopleiding als ze geen (substantiële) baan kunnen krijgen.

De instroom in universitaire eerstegraads lerarenopleidingen is onvoldoende. Voor docenten die hun tweedegraads bevoegdheid uit willen breiden tot een eerstegraads is het traject te weinig flexibel en te langdurig. Hetzelfde geldt voor zij-instromers die een achtergrond in informatica hebben. Het ontbreken van een deeltijd-mogelijkheid is een extra barrière.

De commissie adviseert om in te zetten op het opleiden van bevoegde en bekwame nieuwe docenten. Daartoe dienen hbo en wo samen te werken in het aanbieden van eerstegraads opleidingen die flexibeler zijn en meer gericht op de vraag van potentiële studenten. Flexibilisering van de route naar de lerarenopleiding (zoals bijvoorbeeld beoogd in een project als *inf4all*) is nodig om de situatie te veranderen. Een tijdelijke verruiming van de instroomvereisten is de moeite van het onderzoeken waard.

Periodieke inhoudelijke evaluatie

Informatica is een wetenschapsgebied met een stevige fundamenteel-conceptuele kennisbasis. Het nieuwe examenprogramma sluit daar goed op aan. Omdat de conceptuele ontwikkelingen in het wetenschapsgebied minder snel verlopen dan de toepassingen van informatica, biedt de gekozen formulering voor langere tijd een bruikbaar kader voor het schoolvak. Met name het kernprogramma bevat fundamentele concepten die al jarenlang tot de kern van de kennisbasis worden gerekend en herkenbaar zijn als stabiele factor in opeenvolgende edities van internationale referentiecurricula.

Toekomstige conceptuele ontwikkelingen zijn vooral te verwachten rond de keuzethema's van het programma. Zulke ontwikkelingen zijn veeleer als evolutionair dan als revolutionair aan te merken, maar gaan in de informatica toch iets sneller dan in andere wetenschapsgebieden. De commissie adviseert dan ook om periodiek de aansluiting het examenprogramma bij de ontwikkelingen van het vakgebied te evalueren, waarbij de frequentie voor het kernprogramma naar verwachting lager kan zijn dan die voor de keuzethema's. Voor regelmatige evaluatie en zo nodig bijstelling kan met een

¹De toekomstige arbeidsmarkt voor onderwijspersoneel po, vo en mbo (Update oktober 2014) CEN-TERdata. Met dank aan dr. ir. W.J. Bonestroo en dr. I. Breyman (Universiteit Twente).

lichte procedure worden volstaan, die past in de systematiek van *periodieke herijking* die mogelijk ingevoerd wordt.

Kwaliteitszorg

Het onderzoek van Tolboom et al. (2014) laat zien dat er in het schoolvak informatica sprake is van een diffuse uitvoeringspraktijk. Sommige docenten geven aan onzeker te zijn over de kwaliteit van beschikbaar materiaal buiten de gangbare methodes. Bovendien wordt vaak gewezen op de sterk uiteenlopende invulling van de schoolexamens. In internationaal onderzoek wordt gewezen op een handelingsverlegenheid van informaticadocenten met betrekking tot toetsing, met name met betrekking tot conceptuele inhoud (Barendsen et al., 2015; Yadav, Burkhart, Moix & Snow, 2015). Nederlandse docenten geven aan behoefte te hebben aan ondersteuning bij de inrichting van schoolexamens, bijvoorbeeld in de vorm van landelijke kwaliteitscriteria of collegiale consultatie. Deze ondersteuning zou naar het oordeel van de commissie voor een deel binnen de VO-HO-netwerken kunnen plaatsvinden.

De commissie meent dat kwaliteitszorg een cruciale factor is voor de continuïteit van het schoolvak en adviseert de regie van deze kwaliteitszorg landelijk te organiseren door het eerder genoemde landelijke regieorgaan daarvoor te faciliteren.

Doorlopende professionalisering van docenten

Informaticadocenten zijn professionals die zich dus regelmatig moeten bijscholen. Voor de huidige groep informaticadocenten is ook na de invoering van het examenprogramma een structuur van kwalitatief goede bijscholing, regionaal en landelijk, noodzakelijk. Het bijscholingsaanbod dient aan kwaliteitscriteria te voldoen, docenten moeten gestimuleerd worden aan erkende bijscholingsactiviteiten deel te nemen, en schoolleidingen moeten het belang van goede vakinhoudelijke bijscholing voor informaticadocenten erkennen en faciliteren.

Uit ervaringen in andere landen blijkt dat de vorming van een docenten-*community* een fundamentele stap is naar een duurzame professionaliseringspraktijk. Het Engelse *Computing at School* (CAS) initiatief is een inspirerend voorbeeld van zo'n community. Door CAS worden zogenaamde *hubs* van docenten gefaciliteerd, waarbinnen deze docenten zich verder bekwamen.

De commissie adviseert om de regionale VO-HO-netwerken structureel te ondersteunen in hun bijscholingsrol. De vereniging i&i zou als verbindend element van een Nederlandse community van informaticadocenten kunnen fungeren.

Doorlopende leerlijnen

Parallel aan de vernieuwing van het keuzevak informatica loopt een proces van heroverweging van de kerndoelen van de onderbouw met in het verlengde daarvan het initiatief *Onderwijs 2032*. Verwacht mag worden dat aspecten als digitale geletterdheid en *computational thinking* een rol zullen gaan spelen in het onderbouwprogramma. Om-

dat de uitkomst van de heroverweging nog niet vast staat, heeft de commissie geen expliciete verbindingen kunnen aangeven met de eventueel vernieuwde kerndoelen. Het voorgestelde examenprogramma biedt voldoende diepgang en flexibiliteit om aan te sluiten bij een onderbouwprogramma dat een basis van informatica-denken biedt. Het keuzevak bevat veel aspecten van de *21st century skills* zoals ontwerpen en ontwikkelen, samenwerken (zie het domein Vaardigheden), creativiteit, en probleemoplossend vermogen. Het is zowel een maak-vak als een denk-vak. Het keuzevak informatica belicht de achterliggende wetenschappelijke discipline en biedt zo voor geïnteresseerde leerlingen verdieping en verbreding, evenals mogelijk een oriëntatie op een vervolgopleiding.

Op programmaniveau is de aansluiting naar verwachting in orde, maar in de lespraktijk en de ontwikkeling van materiaal verdient de afstemming aandacht. De commissie adviseert om na afronding van de plannen voor de onderbouw te bewaken dat het onderwijs in de onderbouw aansluit op het keuzevak informatica. Wellicht kan het nodig zijn om ook in de bovenbouw onderwijs in te bouwen rond digitale geletterdheid en de rol van ict binnen andere disciplines, voor *alle* leerlingen.

Onderzoek

Informatica is als wetenschappelijke discipline nog jong. Onderzoek naar de didactiek van de informatica is in opkomst, maar is nog kleinschalig. Dergelijk onderzoek verdient versterking teneinde te kunnen bijdragen aan een *evidence based* (of misschien beter: *research informed*) praktijk.

De commissie adviseert om vakdidactisch onderzoek op het gebied van de informatica te versterken. Onderzoeksfinancierders zoals NWO en NRO zouden onderzoekers moeten stimuleren om dit soort onderzoek uit te voeren. Onderzoek dat wordt opgezet en uitgevoerd volgens het paradigma van *Educational Design Research* kan er bovendien voor zorgen dat docenten een natuurlijke en noodzakelijke rol in dat onderzoek spelen.

Er bestaat een landelijk netwerk van vakdidactisch onderzoekers in de informatica, waaraan diverse universiteiten deelnemen. Via het voorgestelde regie-orgaan kunnen de activiteiten van dit netwerk worden afgestemd met de vernieuwingsactiviteiten in het schoolvak.

Aanbevelingen rond voorwaarden voor continuïteit

Samengevat komt de commissie tot de volgende aanbevelingen.

Aanbeveling 4. *Bevorder de opleiding van voldoende nieuwe docenten door flexibilisering van de lerarenopleiding. Draag hbo- en wo-lerarenopleidingen op om samen te werken. Maak gebruik van de potentie van de vereniging i&i voor de vorming van een community van docenten.*

Aanbeveling 5. *Sta voor het examenprogramma informatica eens per drie jaar klein onderhoud toe.*

Aanbeveling 6. *Voorzie de VO-HO-netwerken structureel van middelen om bijscholing*

en kwaliteitszorg te ondersteunen. Faciliteer het landelijk regieorgaan (zie aanbeveling 3) om deze activiteiten aan te sturen.

Aanbeveling 7. *Bewaak de aansluiting van toekomstig onderwijs rond digitale geletterdheid met het keuzevak informatica.*

Aanbeveling 8. *Stimuleer vakdidactisch onderzoek op het gebied van de informatica.*

CONCEPT

Literatuur

- Académie des Sciences. (2013). *L'enseignement de l'informatique en France: Il est urgent de ne plus attendre*. (Retrieved from http://www.academie-sciences.fr/activite/rapport/rads_0513.pdf, August 2013)
- Barendsen, E., Mannila, L., Demo, B., Grgurina, N., Izu, C., Mirolo, C., ... Stupurienè, G. (2015). Concepts in K–9 computer science education. In *ITiCSE'15*. ACM Digital Library.
- Bruning, L. & Michels, B. (2013). *Concept-context venster: Zicht op de wisselwerking tussen concepten en contexten in het bèta-onderwijs*. Enschede: SLO.
- Furber, S. (2012). *Shut down or restart? The way forward for computing in UK schools*. London: The Royal Society.
- Gander, W., Petit, A., Berry, G., Demo, B., Vahrenhold, J., McGettrick, A., ... Meyer, B. (2013). *Informatics education: Europe cannot afford to miss the boat*. Op August 2013 verkregen van <http://www.informatics-europe.org/images/documents/informatics-education-europe-report.pdf> (Report of the joint Informatics Europe & ACM Europe Working Group on Informatics Education)
- Kaczmarczyk, L. & Dopplick, R. (2014). Preparing students for computing workforce needs in the US. *ACM SIGCSE Bulletin*, 46(2), 8–8.
- KNAW. (2012). *Digitale geletterdheid in het voortgezet onderwijs: vaardigheden en attitudes voor de 21ste eeuw*. Amsterdam: Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen.
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press.
- Samaey, G., Van Remortel, J., Bersini, H., Bruynseraede, Y., Dekelver, J., Laender, F. D., ... wyffels, F. (2014). *Informaticawetenschappen in het leerplichtonderwijs*. Brussel: Koninklijke Vlaamse Academie van België voor Wetenschappen en Kunsten.
- Schwill, A. (1994). Fundamental ideas of computer science. *Bulletin of the European Association for Theoretical Computer Science*, 53, 274–274.
- Steenvoorden, T. (2015). *Characterizing fundamental ideas in international computer science curricula*. Masterscriptie, Radboud University, The Netherlands.
- Tolboom, J., Krüger, J. & Grgurina, N. (2014). *Informatica in de bovenbouw havo/vwo: Naar aantrekkelijk en actueel onderwijs in informatica*. Enschede: SLO.
- Yadav, A., Burkhart, D., Moix, D. & Snow, E. (2015). *Sowing the seeds: A landscape study on assessment in secondary computer science education*. New York, NY: Computer Science Teachers Association.

Bijlage 1: Concept Examenprogramma Informatica havo/vwo

Kernprogramma

Domein A: Vaardigheden

Algemene vaardigheden

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 informatica gerelateerde onderwerpen.

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 informatica-kennis in studie en beroep wordt gebruikt en kan mede op basis daarvan de eigen belangstelling voor studies en beroepen onder woorden brengen.

Wetenschappelijke vaardigheden

Subdomein A5: Onderzoeken

5. De kandidaat kan
 - (vwo:) 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.
 - (havo:) in contexten instructies voor onderzoek op basis van vraagstellingen uitvoeren en conclusies trekken uit de onderzoeksresultaten. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen.

Subdomein A6: Modelleren

6. 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.

Subdomein A7: Waarderen en oordelen

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

Informatica-specifieke vaardigheden

Subdomein A8: Ontwerpen en ontwikkelen

8. De kandidaat kan in een context mogelijkheden zien voor het inzetten van digitale artefacten, deze mogelijkheden vertalen tot een doelstelling voor ontwerp en ontwikkeling, daarbij technische factoren, omgevingsfactoren en menselijke factoren betrekken, wensen en eisen specificeren en deze op haalbaarheid toetsen, een digitaal artefact ontwerpen, bij het ontwerp van een digitaal artefact keuzes afwegen via onderzoeken en experimenteren, een digitaal artefact implementeren, en de kwaliteit van digitale artefacten evalueren, en deze vaardigheden in samenhang inzetten voor het ontwikkelen van digitale artefacten.

Subdomein A9: Informatica als perspectief

9. De kandidaat kan in contexten verschijnselen duiden, uitleggen en verklaren in termen van informatica, informatica-concepten herkennen en met elkaar in verband brengen, en mogelijkheden en beperkingen van digitale artefacten inschatten en beredeneren in vaktermen.

Subdomein A10: Samenwerken en interdisciplinariteit

10. De kandidaat kan bij het ontwerpen en ontwikkelen van digitale artefacten op een gestructureerde wijze samenwerken in een team, en samenwerken met mensen afkomstig uit een toepassingsgebied.

Subdomein A11: Ethisch handelen

11. De kandidaat kan beschrijven welke ethische normen en waarden een rol spelen bij het gebruik en de ontwikkeling van digitale artefacten, het eigen handelen expliciet vergelijken met ethische richtlijnen, en (vwo:) het eigen handelen kritisch analyseren en relateren aan ethische dilemma's.

Subdomein A12: Informatica-instrumentarium

12. De kandidaat kan voor de informatica relevante gereedschappen hanteren, waar nodig met aandacht voor risico's en veiligheid; daarbij gaat het om (computer)apparatuur, besturingssystemen, applicaties, vaktaal, vakconventies en formalismen.

Subdomein A13: Contexten

13. De kandidaat kan de in domein A genoemde vaardigheden en de in domeinen B tot en met F, en in de gekozen domeinen uit G tot en met R, genoemde concepten ten minste gebruiken in beroepscontexten, in maatschappelijke contexten en (vwo:) in wetenschappelijke contexten.

Domein B: Grondslagen

Subdomein B1: Algoritmen

14. De kandidaat kan een oplossingsrichting voor een probleem uitwerken tot een algoritme, daarbij standaardalgoritmen herkennen en gebruiken, en de correctheid en efficiëntie van digitale artefacten onderzoeken via de achterliggende algoritmen.

Subdomein B2: Datastructuren

15. De kandidaat kan verschillende abstracte datastructuren met elkaar vergelijken op elegantie en efficiëntie.

Subdomein B3: Automaten

16. De kandidaat kan eindige automaten gebruiken voor de karakterisering van bepaalde algoritmen.

Subdomein B4: Grammatica's

17. De kandidaat kan grammatica's hanteren als hulpmiddel bij de beschrijving van talen.

Domein C: Informatie

Subdomein C1: Doelstellingen

18. De kandidaat kan doelstellingen voor informatie- en gegevensverwerking onderscheiden, waaronder 'zoeken' en 'bewerken'.

Subdomein C2: Identificeren

19. De kandidaat kan informatie en gegevens identificeren in contexten, daarbij rekening houdend met de doelstelling.

Subdomein C3: Representeren

20. De kandidaat kan gegevens representeren in een geschikte datastructuur, daarbij rekening houdend met de doelstelling en kan daarbij verschillende representaties met elkaar vergelijken op elegantie, efficiëntie en implementeerbaarheid.

Subdomein C4: Standaardrepresentaties

21. De kandidaat kan standaardrepresentaties van numerieke gegevens en media gebruiken en aan elkaar relateren.

Subdomein C5: Gestructureerde data

22. De kandidaat kan een informatiebehoefte vertalen in een zoekopdracht op een verzameling gestructureerde data.

Domein D: Programmeren

Subdomein D1: Ontwikkelen

23. De kandidaat kan, voor een gegeven doelstelling, programmacomponenten ontwikkelen in een imperatieve programmeertaal, daarbij programmeertaalconstructies gebruiken die abstractie ondersteunen, en programmacomponenten zodanig structureren dat ze door anderen gemakkelijk te begrijpen en te evalueren zijn.

Subdomein D2: Inspecteren en aanpassen

24. De kandidaat kan structuur en werking van gegeven programmacomponenten uitleggen, en zulke programmacomponenten aanpassen op basis van evaluatie of veranderde eisen.

Domein E: Architectuur

Subdomein E1: Decompositie

25. De kandidaat kan de structuur en werking van digitale artefacten uitleggen aan de hand van architectuurelementen, dat wil zeggen in termen van de niveaulagen *fysiek*, *logisch* en *toepassingen*, en in termen van de componenten in deze lagen en hun onderlinge interactie.

Subdomein E2: Security

26. De kandidaat kan enkele security-bedreigingen en veelgebruikte technische maatregelen benoemen en relateren aan architectuurelementen.

Domein F: Interactie

Subdomein F1: Usability

27. De kandidaat kan gebruikersinterfaces van digitale artefacten evalueren aan de hand van heuristieken, en vuistregels van ‘goed ontwerp’ met betrekking tot interfaces toepassen bij ontwerp en ontwikkeling van digitale artefacten.

Subdomein F2: Maatschappelijke aspecten

28. De kandidaat kan de invloed van digitale artefacten op sociale interactie en persoonlijke levenssfeer herkennen en in historisch perspectief plaatsen.

Subdomein F3: Privacy

29. De kandidaat kan redeneren over de gevolgen van de veranderende mogelijkheden van digitale artefacten op de persoonlijke vrijheid.

Subdomein F4: Security

30. De kandidaat kan enkele security-bedreigingen en veelgebruikte socio-technische maatregelen benoemen en deze relateren aan sociale en menselijke factoren.

Keuzethema's

Domein G: Keuzethema Algoritmiek, berekenbaarheid en logica

Subdomein G1: Complexiteit van algoritmen

31. De kandidaat kan
- (havo:)** van gegeven algoritmen de complexiteit vergelijken, en kan klassieke ‘moeilijke’ problemen herkennen en benoemen.
 - (vwo:)** het verschil tussen exponentiële en polynomiale complexiteit uitleggen, kan algoritmen op basis hiervan onderscheiden, en kan klassieke ‘moeilijke’ problemen herkennen en benoemen.

Subdomein G2: Berekenbaarheid

32. De kandidaat kan berekeningen op verschillende abstractieniveaus karakteriseren en relateren, en kan klassieke ‘onberekenbare’ problemen herkennen en benoemen.

Subdomein G3: Logica

33. De kandidaat kan eigenschappen van digitale artefacten uitdrukken in logische formules.

Domein H: Keuzethema Databases

Subdomein H1: Informatiemodellering

34. De kandidaat kan een informatiemodel opstellen voor een eenvoudige praktische situatie en aan de hand hiervan een database definiëren.

Subdomein H2: Database paradigma's

35. De kandidaat kan naast het relationele paradigma tenminste één ander database-paradigma beschrijven en kan voor een concrete toepassing de geschiktheid van de betreffende paradigma's afwegen.

Subdomein H3: Linked data

36. De kandidaat kan in een toepassing data uit verschillende databases (data-bronnen) met elkaar in verband brengen.

Domein I: Keuzethema Cognitive computing

Subdomein I1: Intelligent gedrag

37. De kandidaat kan de processen die nodig zijn voor 'intelligent' gedrag beschrijven en kan analyseren hoe deze processen in de informatica ingezet kunnen worden bij het ontwikkelen van digitale artefacten.

Subdomein I2: Kenmerken cognitive computing

38. De kandidaat kan de belangrijkste kenmerken van cognitive computing-systemen uitleggen, en het verschil met traditionele digitale artefacten aangeven en kan van een probleem aangeven of de oplossing ervan zich leent voor een cognitive computing-aanpak.

Subdomein I3: Toepassen van cognitive computing

39. De kandidaat kan een eenvoudige toepassing realiseren met één of meer van de methodes en technologieën uit de cognitive computing.

Domein J: Keuzethema Programmeerparadigma's

Subdomein J1: Alternatief programmeerparadigma

40. De kandidaat kan van minimaal één extra programmeerparadigma de kenmerken beschrijven en kan programma's volgens dat paradigma ontwikkelen en evalueren.

Subdomein J2: Keuze van een programmeerparadigma

41. De kandidaat kan voor een gegeven probleem een afweging maken tussen paradigma's voor het oplossen ervan.

Domein K: Keuzethema Computerarchitectuur

Subdomein K1: Booleaanse algebra

42. De kandidaat kan rekenen met formules in Booleaanse algebra.

Subdomein K2: Digitale schakelingen

43. De kandidaat kan eenvoudige digitale schakelingen op bit-niveau construeren.

Subdomein K3: Machinetaal

44. De kandidaat kan een eenvoudig programma in machinetaal schrijven aan de hand van de beschrijving van een instructieset-architectuur.

Subdomein K4: Variatie in computerarchitectuur

45. De kandidaat kan variatie in computerarchitectuur verklaren in termen van technologische ontwikkelingen en toepassingsdomeinen.

Domein L: Keuzethema Netwerken

Subdomein L1: Netwerkcommunicatie

46. De kandidaat kan de manier waarop netwerkcomponenten met elkaar communiceren beschrijven en analyseren, en kan schalingseffecten bij communicatie herkennen, er voorbeelden van geven en de gevolgen ervan uitleggen.

Subdomein L2: Internet

47. De kandidaat kan de basisprincipes van het internet als netwerk uitleggen en aangeven welke gevolgen dit heeft voor toepassingen en voor gebruikers.

Subdomein L3: Distributie

48. De kandidaat kan vormen van samenwerking en verdeling van functies en gegevens in netwerken beschrijven.

Subdomein L4: Netwerksecurity

49. De kandidaat kan gevaren van inbreuk op gedistribueerde functies en gegevens analyseren, en maatregelen adviseren die deze inbreuk tegengaan.

Domein M: Keuzethema Physical computing

Subdomein M1: Sensoren en actuatoren

50. De kandidaat kan sensoren en actuatoren waarmee een computersysteem de fysieke omgeving kan waarnemen en aansturen herkennen en functioneel beschrijven.

Subdomein M2: Ontwikkeling physical computing componenten

51. De kandidaat kan fysieke systemen en processen modelleren met het oog op *real time* besturingsaspecten en kan met behulp van deze modellen, sensoren en actuatoren een computersysteem ontwikkelen om fysieke systemen en processen te bewaken en besturen.

Domein N: Keuzethema Security

Subdomein N1: Risicoanalyse

52. De kandidaat kan risico's, bedreigingen en kwetsbaarheden in een ict-toepassing analyseren en kan daarbij zowel technische als menselijke factoren betrekken.

Subdomein N2: Maatregelen

53. De kandidaat kan keuzen voor technische en organisatorische maatregelen ter vergroting van de security verklaren.

Domein O: Keuzethema Usability

Subdomein O1: Gebruikersinterfaces

54. De kandidaat kan de werking van gebruikersinterfaces beschrijven en verklaren aan de hand van cognitieve en biologische modellen.

Subdomein O2: Gebruikersonderzoek

55. De kandidaat kan gebruikersinterfaces van digitale artefacten evalueren via gebruikersonderzoek.

Subdomein O3: Ontwerp

56. De kandidaat kan elementen van een gebruikersinterface ontwerpen.

Domein P: Keuzethema User Experience

Subdomein P1: Analyse

57. De kandidaat kan de relatie tussen ontwerpkeuzes van een interactief digitaal artefact en de verwachte cognitieve, gedragsmatige en affectieve veranderingen of ervaringen verklaren.

Subdomein P2: Ontwerp

58. De kandidaat kan voor een digitaal artefact de gebruikersinteractie vormgeven, de ontwerpbeslissingen verantwoorden en voor een eenvoudige toepassing implementeren.

Domein Q: Keuzethema Maatschappelijke en individuele invloed van informatica

Subdomein Q1: Maatschappelijke invloed

59. De kandidaat kan positieve en negatieve effecten van informatica en de genetwerkte samenleving op individueel en sociaal leven verklaren en voorstellen.

Subdomein Q2: Juridische aspecten

60. De kandidaat kan juridische aspecten van de toepassing van informatica in de samenleving analyseren.

Subdomein Q3: Privacy

61. De kandidaat kan effecten van technische, juridische en sociale maatregelen voor privacy-gerelateerde kwesties onderzoeken.

Subdomein Q4: Cultuur

62. De kandidaat kan redeneren over de invloed van informatica op culturele uitingen.

Domein R: Keuzethema Computational Science

Subdomein R1: Modelleren

63. De kandidaat kan aspecten van een andere wetenschappelijke discipline modelleren in computationele termen.

Subdomein R2: Simuleren

64. De kandidaat kan modellen en simulaties construeren en gebruiken voor het onderzoeken van verschijnselen in die andere wetenschap.

CONCEPT

Bijlage 2: Opdracht aan de vernieuwingscommissie

Aanleiding

In aansluiting op het rapport *Digitale geletterdheid in het voortgezet onderwijs* (KNAW, 2012) van de KNAW heeft SLO onderzoek gedaan naar het functioneren van het huidige examenprogramma informatica (Tolboom et al., 2014). Dit onderzoek wees uit dat het wenselijk is om op een aantal punten tot verbeteringen te komen. Zie hiervoor de samenvatting van dit onderzoek.

Opdracht

- De vernieuwingscommissie heeft de opdracht een nieuw examenprogramma te ontwerpen voor het vak (profiel)keuzevak informatica in de tweede fase van havo en vwo;
- Doel van de nieuwe examenprogramma's is de kwaliteit van het vak te verhogen door de eindtermen te actualiseren en te moderniseren;
- De examenprogramma's moeten globaal worden geformuleerd, zodanig dat het voor docenten duidelijk is wat met het examenprogramma inhoudelijk wordt beoogd en er voor scholen ruimte is om een eigen invulling te geven aan het programma;
- De examenprogramma's voor havo en vwo kennen voldoende onderscheid, zonder dat er sprake is van twee totaal verschillende programma's.
- Ieder examenprogramma bestaat uit enkele kerndelen en keuzedelen. De keuzedelen sluiten aan bij de karakteristieken van de vier profielen in de tweede fase. Ze zijn toegankelijk voor alle leerlingen die informatica hebben gekozen, ongeacht in welk profiel ze examen afleggen.
- De examenprogramma's zijn opgesteld op basis van de context-/conceptbenadering (Bruning & Michels, 2013).

Randvoorwaarden

De VC moet bij de formulering van het nieuwe examenprogramma rekening houden met de volgende randvoorwaarden:

1. Het examen informatica bestaat uit een schoolexamen.
2. De examenprogramma's sluiten zo veel mogelijk aan bij nog te ontwikkelen plannen voor de onderbouw van havo en vwo.
3. De huidige studielast voor informatica blijft gehandhaafd op 440 uur (vwo) en 320 uur (havo).
4. Overladenheid van het programma moet worden voorkomen, het programma moet in de beschikbare tijd kunnen worden uitgevoerd.
5. Het examenprogramma dient didactisch neutraal te zijn. Het 'wat' wordt voorgeschreven, niet het 'hoe'.
6. Het nieuwe examenprogramma moet kunnen rekenen op draagvlak onder de leraren. In dat verband is communicatie met de vakvereniging i&i essentieel.

7. Houd uitgevers op de hoogte van de ontwikkelingen. Methodes moeten af zijn op het moment dat het nieuwe programma wordt ingevoerd.

Rapport

Eind 2015 levert de vernieuwingscommissie een rapport op met daarin:

- Explicitering van de inhoudelijke uitgangspunten van de commissie.
- Een concept-examenprogramma voor havo en vwo (de globale eindtermen).
- Een toelichting op de gemaakte keuzes.
- Een verantwoording van de wijze waarop draagvlak is gecreëerd onder de docenten.
- De resultaten van de veldraadplegingen.
- Een advies over de mogelijke invoering van het programma, in het bijzonder met betrekking tot kwaliteitsborging van de onderwijspraktijk en het daarbij wenselijke tijdsfad. Belangrijk punt daarbij is de mate van wenselijkheid voor het uitvoeren van (deel)pilots van het vernieuwde examenprogramma, voordat dit landelijk wordt ingevoerd.

Bijlage 3: Samenstelling van de Vernieuwingscommissie

Voorzitter	Erik Barendsen	<i>Hoogleraar vakdidactiek informatica Open Universiteit, tevens verbonden aan de Radboud Universiteit</i>
Secretaris	Jos Tolboom	<i>Leerplanontwikkelaar wiskunde en informatica SLO</i>
Secretaris	Victor Schmidt	<i>Leerplanontwikkelaar wiskunde en informatica SLO</i>
Lid	Martin Bruggink	<i>Vakdidacticus informatica, Technische Universiteit Delft</i>
Lid	Sjoerd Crans	<i>Toetsdeskundige wiskunde, Cito</i>
Lid	Eelco Dijkstra	<i>Vakvereniging i&i, Bètapartners Amsterdam</i>
Lid	Nataša Grgurina	<i>Docent informatica, OSG Sevenwolde, tevens vakdidacticus informatica, Rijksuniversiteit Groningen</i>
Lid	Johan Jeuring	<i>Hoogleraar Softwaretechnologie voor leren en onderwijs, Universiteit Utrecht, tevens verbonden aan de Open Universiteit</i>
Lid	Stephan van Keulen	<i>Docent informatica, Krimpenwaardcollege</i>
Lid	Miranda Valkenburg	<i>Onderwijsmanager van de opleidingen Informatica en Technische Informatica, Hogeschool Rotterdam</i>