



Concept advies examenprogramma informatica havo/vwo

Raadpleging deskundigen, 30 september 2015, Utrecht

September 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

Voorwoord

Het concept advies examenprogramma dat op 30 september door het brede veld van informaticadeskundigen van commentaar wordt voorzien is als volgt opgebouwd:

1. Inleiding
2. Toelichting Vaardigheden
3. Toelichting Kennisdomeinen: kernprogramma
4. Toelichting Kennisdomeinen: keuzethema's

Literatuur

Bijlage 1: Concept examenprogramma

Bijlage 2: Opdracht aan de Vernieuwingscommissie informatica

Bijlage 3: Samenstelling van de Vernieuwingscommissie informatica

1 Inleiding

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' suggesties worden opgenomen voor concrete actuele en relevante contexten waarbinnen de in het examenprogramma opgenomen concepten operationeel worden gemaakt ten behoeve van docenten en auteurs van lesmateriaal. 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. Suggesties voor dergelijke contexten zijn bijzonder welkom.

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

In de toekomstige 'Handreiking schoolexamen informatica' gaan wij verder in op wat de *cross cutting concepts* en karakteristieke denk- en werkwijzen van de informatica zijn en hoe 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 ingenieursvak) is het ontwikkelen van dergelijke digitale artefacten. 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 kernprogramma, 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 meerdere 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 User experience
Domein P	Keuzethema Individuele en maatschappelijke invloed van informatica
Domein Q	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 zullen gebruikt worden bij het construeren van de 'Handreiking schoolexamen informatica'.

Het doel van de vakvernieuwingscommissie was een balans zien te vinden tussen richting geven en ruimte bieden. Het vorige examenprogramma gaf volgens de informaticadocenten (Tolboom, Krüger & Grgurina, 2014) te weinig richting. Daarom heeft het hier voorgestelde examenprogramma vrij veel eindtermen, namelijk 59. Dat komt mede door de 13 eindtermen in domein A Vaardigheden en de 31 eindtermen die de keuzethema's beschrijven. Het kernprogramma bevat 15 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 ‘doenende 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.

2 Toelichting 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 motive- rend.

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 (navigatiesyste- men, games, gezichtsherkenning in je fotoverzameling), veiliger te laten zijn (robots, botsingsdetectie) en om nieuwe mogelijkheden te scheppen (spraakherkenning, kunst- matige 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 ontwik- keling, daarbij technische factoren, omgevingsfactoren en menselijke fac- toren 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 maat- schappelijke impact en kwaliteitsaspecten zoals gebruikersinteractie, correctheid, ef- ficiëntie en security. Het keuzedeel (G–Q) biedt verdiepings- en verbredingsmogelijk- heden.

Digitale artefacten zijn tegenwoordig nog maar zelden monolitische bouwwerken die *from scratch* worden geprogrammeerd, maar zijn veeleer opgebouwd uit samenwer- kende programmacomponenten. Daarom zal ‘implementeren’ de ene keer neerkomen op *programmeren* van zo’n component, de andere keer op het listig *samenstellen* van een bouwwerk uit bestaande componenten, en nog een andere keer uit een combina- tie 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 vrijheids- graden om te komen tot een ‘doelstelling voor ontwerp en ontwikkeling’. De com- missie 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,
- zijn eigen handelen expliciet vergelijken met ethische richtlijnen, en
- zijn eigen handelen kritisch analyseren en relateren aan ethische dilemma's (vwo).

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 G tot en met Q voor zover aanwezig in het schoolexamen, genoemde concepten ten minste gebruiken in wetenschappelijke contexten (vwo), in beroepscontexten en in maatschappelijke 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.

3 Toelichting 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 gemaakt. 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 berekeningen 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.

Talen en berekeningen

De kandidaat kan grammatica's en eindige automaten hanteren als hulpmiddelen voor karakterisering van talen en berekeningen.

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).

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.

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 *debugging* 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 op het individu (met name *privacy*). Deze drie perspectieven bieden goede aanknopingspunten voor de socio-technische kant van security.

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.

4 Toelichting Kennisdomeinen: keuzethema's

Het programma bevat de volgende keuzethema's.

Groep 1

- Keuzethema Algoritmie, berekenbaarheid en logica,
- Keuzethema Databases,
- Keuzethema Cognitive computing,
- Keuzethema Programmeerparadigma's,
- Keuzethema Computerarchitectuur,
- Keuzethema Netwerken,
- Keuzethema Physical computing,
- Keuzethema Security,

Groep 2

- Keuzethema User experience,
- Keuzethema Individuele en maatschappelijke 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 commissie bestudeert nog mogelijkheden om de lijst met keuzethema's periodiek (zeg eens per 3 jaar) bescheiden te kunnen uitbreiden aan de hand van ontwikkelingen in het vakgebied.

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. We beperken de toelichting hieronder tot enkele voorbeelden.

Keuzethema Algoritmiek, berekenbaarheid en logica

Complexiteit van algoritmen

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

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

Vraagopdracht

De kandidaat kan een informatiebehoefte omzetten naar een opdracht in een vraagtaal voor een database.

Informatiemodellering

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

Databasemanagementsysteem

De kandidaat kan de kenmerken en aspecten van databasemanagementsystemen beschrijven en voor specifieke systemen benoemen en gebruiken. (vwo)

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 ict-systemen 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, 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 logica

De kandidaat kan rekenen met formules in Booleaanse logica.

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.

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

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

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 de vormen van samenwerking en verdeling van functies en gegevens die door netwerken mogelijk zijn beschrijven.

Netwerksecurity

De kandidaat kan de 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 de keuze 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 User experience

Gebruikersinteractie

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

Gebruikersonderzoek

De kandidaat kan gebruikersinterfaces van digitale artefacten evalueren via gebruikersonderzoek.

Interfaces

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 Individuele en maatschappelijke 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 de juridische aspecten van de toepassing van informatica in de samenleving analyseren.

Privacy

De kandidaat kan het effect 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 wetenschap modelleren in computationele termen.

Simuleren

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

Literatuur

- Bruning, L. & Michels, B. (2013). *Concept-context venster: Zicht op de wisselwerking tussen concepten en contexten in het bèta-onderwijs*. Enschede: SLO.
- 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, cross-cutting concepts, and core ideas*. National Academies Press.
- 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.

Bijlage 1 Het examenprogramma informatica havo/vwo

Examenprogramma en eindexamen

Examenprogramma

Het examenprogramma informatica bestaat uit twee delen:

- Het kernprogramma, bestaande uit de domeinen A tot en met F. Dit kernprogramma is verplicht voor alle leerlingen die het vak informatica volgen.
- Verdiepende en verbredende keuzethema's, bestaande uit de domeinen G tot en met Q.

Het examenprogramma bestaat uit de volgende domeinen:

Domein A Vaardigheden

Domein B Grondslagen

Domein C Informatie

Domein D Programmeren

Domein E Architectuur

Domein F Interactie

Domein G Keuzethema Algoritmiek, 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 User experience

Domein P Keuzethema Individuele en maatschappelijke invloed van informatica

Domein Q Keuzethema Computational science

Schoolexamen

Het eindexamen bestaat uit het schoolexamen. Het schoolexamen heeft betrekking op:

- het gehele domein A in combinatie met:
 - de domeinen B tot en met F;
 - een keuze van één uit de domeinen G tot en met N en een keuze van één uit de domeinen O tot en met R; daarbij kan het bevoegd gezag deze keuze maken, dan wel de keuze aan de kandidaat laten; (**havo**)

- een keuze van vier uit de domeinen G tot en met Q, waarvan minimaal één uit de domeinen G tot en met N en minimaal één uit de domeinen O tot en met Q; daarbij kan het bevoegd gezag deze keuze maken, dan wel de keuze aan de kandidaat laten; (**vwo**)
- en, indien het bevoegd gezag daarvoor kiest, andere vakonderdelen, die per kandidaat kunnen verschillen.

Kernprogramma informatica

Structuur kernprogramma

Het kernprogramma informatica is opgebouwd uit zes domeinen, waarvan er één specifiek op vaardigheden is gericht. De andere vijf domeinen zijn gericht op een bepaald aspect van informatica als kennisdomein. Dat levert de volgende domeinen op:

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

Het domein A Vaardigheden zal alleen getoetst worden in samenhang met onderwerpen uit minstens één van de vijf kennisdomeinen.

Hieronder zal de inhoud van de zes domeinen door middel van vaardigheidsbeschrijvingen worden bepaald.

Domein A Vaardigheden

Wanneer het vak informatica in een breder perspectief wordt geplaatst dan zal het, in de ogen van de commissie, door het ingenieurskarakter een bètavak zijn. Het domein vaardigheden is geformuleerd analoog aan de vaardigheden voor de natuurwetenschappelijke vakken, als gegeven in de examenprogramma's Natuurkunde, Scheikunde, Biologie en NLT.

Algemene vaardigheden

Subdomein A1: Informatievaardigheden gebruiken

De kandidaat kan

1. doelgericht informatie zoeken, beoordelen, selecteren en verwerken.

Subdomein A2: Communiceren

De kandidaat kan

2. adequaat schriftelijk, mondeling en digitaal in het publieke domein communiceren over informatica gerelateerde onderwerpen.

Subdomein A3: Reflecteren op leren

De kandidaat kan

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

Subdomein A4: Studie en beroep

De kandidaat kan

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

Wetenschappelijke en technische vaardigheden

Subdomein A5: Onderzoeken

De kandidaat kan

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

Subdomein A6: Modelleren

De kandidaat kan

6. 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

De kandidaat kan

7. 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.

Informaticaspecifieke vaardigheden

Subdomein A8: Ontwerpen en ontwikkelen

De kandidaat kan

8. in een context mogelijkheden zien voor het inzetten van digitale artefacten, deze mogelijkheden vertalen tot een doelstelling voor ontwerp en ontwikkeling, wensen en eisen specificeren, een digitaal artefact ontwerpen, bij het ontwerp van een digitaal artefact keuzes afwegen via onderzoeken en experimenteren, een digitaal artefact implementeren, de kwaliteit van digitale artefacten evalueren, en deze vaardigheden in samenhang inzetten voor het ontwikkelen van digitale artefacten.

Subdomein A9: Informatica als perspectief

De kandidaat kan

9. 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: Samenwerking en interdisciplinariteit

De kandidaat kan

10. 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

De kandidaat kan

11. beschrijven welke ethische normen en waarden een rol spelen bij het gebruik en de ontwikkeling van digitale artefacten, zijn eigen handelen expliciet vergelijken met

ethische richtlijnen, en zijn eigen handelen kritisch analyseren en relateren aan ethische dilemma's (**vwo**).

11. beschrijven welke ethische normen en waarden bij de ontwikkeling en bij het gebruik van informatica een rol spelen en zijn eigen handelen expliciet vergelijken met ethische richtlijnen (**havo**).

Subdomein A12: Informatica-instrumentarium

De kandidaat kan

12. 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

De kandidaat kan

13. de in domein A genoemde vaardigheden en de in domeinen B tot en met F, en G tot en met Q voor zover aanwezig in het schoolexamen, genoemde concepten ten minste gebruiken in wetenschappelijke contexten (**vwo**), in beroepscontexten en in maatschappelijke contexten.

Kennisdomeinen

Domein B Grondslagen

Subdomein B1: Algoritmen

De kandidaat kan

14. 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

De kandidaat kan

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

Subdomein B3: Talen en berekeningen

De kandidaat kan

16. grammatica's en eindige automaten hanteren als hulpmiddelen voor karakterisering van talen en berekeningen.

Domein C Informatie

Subdomein C1: Doelstellingen

De kandidaat kan

17. doelstellingen voor informatie- en gegevensverwerking onderscheiden, waaronder 'zoeken' en 'bewerken'.

Subdomein C2: Identificeren

De kandidaat kan

18. informatie en gegevens identificeren in contexten, daarbij rekening houdend met de doelstelling.

Subdomein C3: Representeren

De kandidaat kan

19. 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 C5: Standaardrepresentaties

De kandidaat kan

20. standaardrepresentaties van numerieke gegevens en media gebruiken en aan elkaar relateren.

Domein D Programmeren

Subdomein D1: Ontwikkelen

De kandidaat kan

21. 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

De kandidaat kan

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

Domein E Architectuur

Subdomein E1: Decompositie

De kandidaat kan

23. 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 E3: Security

De kandidaat kan

24. enkele security-bedreigingen en veelgebruikte technische maatregelen benoemen en relateren aan architectuurelementen.

Domein F Interactie

Subdomein F1: Usability

De kandidaat kan

25. gebruikersinterfaces van digitale artefacten evalueren aan de hand van heuristieken, en vuistregels van 'goed ontwerp' met betrekking tot interfaces toepassen in ontwerp en ontwikkeling van digitale artefacten.

Subdomein F3: Maatschappelijke aspecten

De kandidaat kan

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

Subdomein F4: Privacy

De kandidaat kan

27. redeneren over de gevolgen van de veranderende mogelijkheden van digitale artefacten op de persoonlijke vrijheid.

Subdomein F5: Security

De kandidaat kan

28. 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

De kandidaat kan

29. van gegeven algoritmen de complexiteit vergelijken, en kan klassieke 'moeilijke' problemen herkennen en benoemen. (**havo**)
29. De kandidaat kent het verschil tussen exponentiële en polynomiale complexiteit, kan algoritmen op basis hiervan onderscheiden, en kan klassieke 'moeilijke' problemen herkennen en benoemen. (**vwo**)

Subdomein G2: Berekenbaarheid

De kandidaat kan

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

Subdomein G3: Logica

De kandidaat kan

31. eigenschappen van digitale artefacten uitdrukken in logische formules.

Domein H Keuzethema Databases

Subdomein H1: Vraagopdracht

De kandidaat kan

32. een informatiebehoefte omzetten in een opdracht in een vraagtaal voor een database.

Subdomein H2: Informatiemodellering

De kandidaat kan

33. een informatiemodel opstellen voor een eenvoudige praktische situatie en aan de hand hiervan een database definiëren.

Subdomein H3: Databasemanagementsysteem

De kandidaat kan

34. de kenmerken en aspecten van databasemanagementsystemen beschrijven en voor specifieke systemen benoemen en gebruiken. (**vwo**)

Domein I Keuzethema Cognitive computing

Subdomein I1: Intelligent gedrag

De kandidaat kan

35. 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

De kandidaat kan

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

Subdomein I5: Toepassen van cognitive computing

De kandidaat kan

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

5.1.1 Domein J Keuzethema Programmeerparadigma's

Subdomein J1: Alternatief programmeerparadigma

De kandidaat kan

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

Subdomein J2: Keuze van een programmeerparadigma

De kandidaat kan

39. voor een gegeven probleem een afweging maken tussen paradigma's voor het oplossen ervan.

Domein K Keuzethema Computerarchitectuur

Subdomein K1: Booleaanse logica

De kandidaat kan

40. rekenen met formules in Booleaanse logica.

Subdomein K2: Digitale schakelingen

De kandidaat kan

41. eenvoudige digitale schakelingen op bit-niveau construeren.

Subdomein K3: Machinetaal

De kandidaat kan

42. een eenvoudig programma in machinetaal schrijven aan de hand van de beschrijving van een instructieset-architectuur.

Domein L Keuzethema Netwerken

Subdomein L1: Netwerkcommunicatie

De kandidaat kan

43. 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

De kandidaat kan

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

Subdomein L3: Distributie

De kandidaat kan

45. de vormen van samenwerking en verdeling van functies en gegevens die door netwerken mogelijk zijn beschrijven.

Subdomein L4: Netwerksecurity

De kandidaat kan

46. de 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

De kandidaat kan

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

Subdomein M2: Ontwikkeling physical computing componenten

De kandidaat kan

48. 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

De kandidaat kan

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

Subdomein N2: Maatregelen

De kandidaat kan

50. de keuze voor technische en organisatorische maatregelen ter vergroting van de security verklaren.

Domein O Keuzethema User experience

Subdomein O1: Gebruikersinteractie

De kandidaat kan

51. gebruikersinteractie beschrijven en verklaren aan de hand van cognitieve en biologische modellen.

Subdomein O2: Gebruikersonderzoek

De kandidaat kan

52. gebruikersinterfaces van digitale artefacten evalueren via gebruikersonderzoek.

Subdomein O3: Interfaces

De kandidaat kan

53. elementen van een gebruikersinterface ontwerpen.

Domein P Individuele en maatschappelijke invloed van informatica

Subdomein P1: Maatschappelijke invloed

De kandidaat kan

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

Subdomein P2: Juridische aspecten

De kandidaat kan

55. de juridische aspecten van de toepassing van informatica in de samenleving analyseren.

Subdomein P3: Privacy

De kandidaat kan

56. het effect van technische, juridische en sociale maatregelen voor privacy-gerelateerde kwesties onderzoeken.

Subdomein P4: Cultuur

De kandidaat kan

57. redeneren over de invloed van informatica op culturele uitingen.

Domein Q Keuzethema Computational science

Subdomein Q1: Modelleren

De kandidaat kan

58. aspecten van een andere wetenschap modelleren in computationele termen.

Subdomein Q2: Simuleren

De kandidaat kan

59. modellen en simulaties construeren en gebruiken voor het onderzoeken van verschijnselen in die andere wetenschap.

Bijlage 2 De opdracht van het ministerie van OCW aan de Vernieuwingscommissie informatica

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 tijdspad. 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 informatica

Voorzitter	Erik Barendsen	Hoogleraar informaticadidactiek OU, tevens verbonden aan RU
Secretaris	Jos Tolboom	Leerplanontwikkelaar wiskunde en informatica SLO
Secretaris	Victor Schmidt	Leerplanontwikkelaar wiskunde en informatica SLO
Lid	Martin Bruggink	Informaticadidacticus, TU delft
Lid	Sjoerd Crans	Toetsdeskundige wiskunde, Cito
Lid	Eelco Dijkstra	Bestuur vakvereniging i&i
Lid	Nataša Grgurina	Informaticadidacticus RUG
Lid	Johan Jeuring	Hoogleraar softwaretechnologie UU
Lid	Stephan van Keulen	Docent informatica, Krimpenerwaardcollege
Lid	Miranda Valkenburg	Voorzitter HBO-i