

Positie van het vak informatica in havo/vwo

Bert Zwaneveld
Ruud de Moor Centrum, Open Universiteit Nederland

Jacob Perrenet
Eindhoven School of Education, Technische Universiteit Eindhoven

Nico van Diepen
Technische Universitaire Lerarenopleiding, Universiteit Twente

Samenvatting

De vraag van dit artikel is: hoe moet het verder met het vak informatica in de bovenbouw van havo en van vwo? Deze vraag is relevant om een aantal redenen. Enerzijds gaat het om een tamelijk marginaal vak; slechts ongeveer 60% van de scholen biedt informatica aan. Anderzijds is er een discussie op gang aan het komen over de positie van het vak. Zo zijn er mensen die zich afvragen of informatica in de huidige vorm moet blijven bestaan, maar ook mensen die vinden dat de maatschappelijke relevantie van informatica zo groot is dat de positie ervan versterkt moet worden. In dit artikel geven we na een beschrijving van de huidige positie van het schoolvak informatica vooral argumenten pro het laatste standpunt en hoe dat vorm kan krijgen.

1 Huidige positie van informatica in het voortgezet onderwijs

Historisch perspectief

Informatica is als discipline nog een betrekkelijk jong vak. Als schoolvak in de bovenbouw van havo/vwo, sinds 1998, is dat zeker het geval, in ieder geval in vergelijking met de meeste andere schoolvakken. De eerstegraads lerarenopleiding informatica is echt jong; zij bestaat pas sinds september 2006. Deze lerarenopleiding heeft een bescheiden voorganger gehad: het Consortium Omscholing Docenten Informatica (CODI) dat van 1998 tot 2006 de omscholing van zittende eerstegraads leraren tot leraar informatica heeft verzorgd (Zwaneveld et al., 2007). Bij het ontwerpen van de huidige lerarenopleiding heeft de bij die omscholing opgebouwde expertise een belangrijke rol gespeeld (Van Diepen et al., 2007). De in 2006 gestarte eerstegraads lerarenopleidingen, die masteropleidingen zijn, hebben het doen van onderzoek in relatie tot het informaticaonderwijs als een van de onderdelen, wat niet het geval was voor de CODI-scholing. Het laten uitvoeren van onderzoek door de CODI-cursisten hoorde niet tot de taak van CODI.

Formele positie

De formele situatie rond het schoolvak informatica is nog steeds het best te karakteriseren met de term 'beperkt'. Het is een keuzevak. Voor het profiel Natuur en Techniek is informatica een profielkeuzevak en voor de andere drie profielen een keuzevak in de vrije ruimte. Het kent geen centraal examen, maar wordt afgesloten met een schoolexamen.

Scholen zijn niet verplicht het aan te bieden. Informatica is dan ook geen vak dat voorbereidt op een informaticastudie in het wetenschappelijk onderwijs of een ict-opleiding in het hoger beroepsonderwijs, maar een algemeen vormend vak. Ongeveer 60% van de scholen voor voortgezet onderwijs biedt het vak daadwerkelijk aan. De door CODI omgeschoolde leraren – en zij verzorgen momenteel bijna al het informaticaonderwijs op havo/ vwo – hebben maar een beperkte vakinhoudelijke scholing gehad. De status van de informaticaleraar is beperkt in vergelijking met die van andere bètavakken. Hoewel de relevantie van informatica voor het vak Natuur, Leven en Techniek (NLT) wordt onderkend, krijgt de informaticadocent voor dat vak (nog) geen formele bevoegdheid voor NLT. Het aantal studenten dat voor de lerarenopleiding informatica kiest is vooralsnog eveneens beperkt, voornamelijk omdat er heel goede beroepsperspectieven in de ict-sector zijn. En dientengevolge is ook het aantal docenten vakdidactiek, respectievelijk onderzoekers dat zich met het vakdidactisch onderzoek vanuit de eerstegraads lerarenopleiding informatica bezig kan houden, beperkt. Tenslotte is er ook internationaal slechts heel beperkt onderzoek naar informatica in het voortgezet onderwijs gedaan. Op dit laatste komen we nog terug.

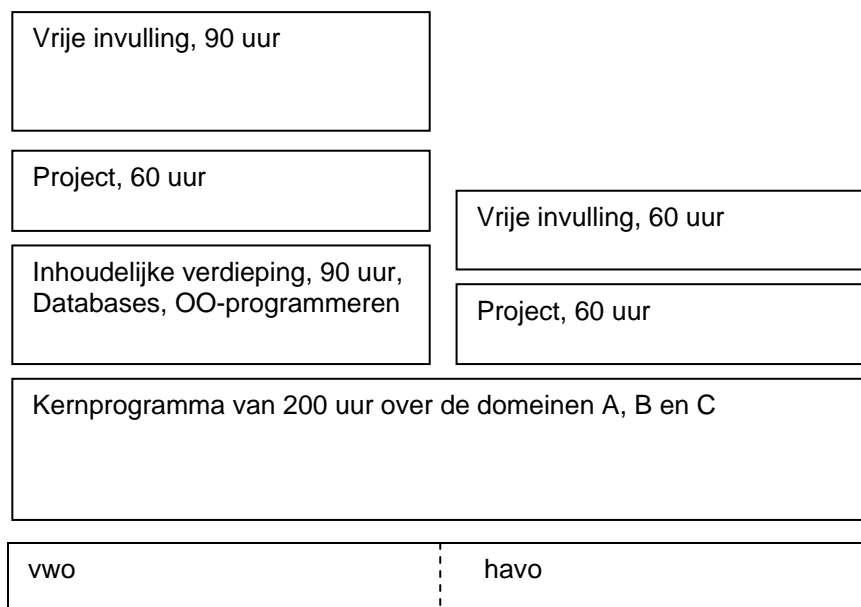
Examenprogramma

Bij de ontwikkeling van het eindexamenprogramma voor informatica is voor een breedtebenadering gekozen, dit in tegenstelling tot wat in veel curricula voor informatica in het voortgezet onderwijs in

andere landen het geval is (Grgurina en Tolboom, 2007). Elders ligt veelal de nadruk op programmeren. Afhankelijk van het schooltype bestaat er in de praktijk een discrepantie tussen het formele leerplan en het door de docent uitgevoerde leerplan. Uit het vakdossier 2007 Informatica (Schmidt, 2007) blijkt namelijk dat, getotaliseerd over de achttien subdomeinen, op havo de docenten fors minder doen dan wat het programma voorschrijft terwijl op vwo de docenten een beetje meer doen. De eindtermen in het examenprogramma van informatica voor de bovenbouw van havo en vwo zijn in de volgende vier domeinen geclusterd. (Zie bijvoorbeeld: http://www.slo.nl/downloads/archief/examenprogramma_informatica_DEFINITIEF.pdf):

- A Informatica in perspectief, gespecificeerd in wetenschap en technologie, maatschappij, studie- en beroepsomgeving en het individu
- B Basisbegrippen en vaardigheden, gespecificeerd in gegevensrepresentatie in een computer, hardware (namelijk werking van de computer en randapparatuur), software (namelijk eenvoudige datatypen, programmastructuren en programmeertechnieken) en organisaties (namelijk een globaal beeld van hoe bedrijven zijn georganiseerd, bekendheid met de karakteristieken van een projectorganisatie en waarom bij grote aanpassingen van een informatiesysteem er voor een projectmatige aanpak wordt gekozen)
- C Systemen en hun structurering, gespecificeerd in communicatie en netwerken, besturingssystemen, systemen in de praktijk, informatiesysteemontwikkeling, informatiestroom, informatieanalyse, relationele databases, mens-machine-interactie, systeemontwikkeltraject
- D Gebruik in context, gespecificeerd in projectmanagement en het gebruik daarvan bij systeemontwikkeling.

In 2007 heeft een beperkte uitbreiding van de beschikbare uren voor informatica en een beperkte globalisering van de eindtermen plaats gevonden. Daarbij is informatica een profielkeuzevak in het profiel Natuur en Techniek en een keuzevak in de vrije ruimte van de overige profielen geworden, terwijl het daarvoor een keuzevak in de vrije ruimte van alle profielen was. Figuur 1 brengt een en ander globaal in beeld.



Figuur 1. Opzet informatica (Schmidt, 2007)

Vergelijken we dit examenprogramma met het in de bijlage opgenomen curriculum van de BSc-opleidingen informatica, dan is het eerste dat opvalt dat voor de BSc-opleidingen niet met de beschrijving van de vakinhoudelijke domeinen wordt begonnen maar met algemene doelen die over de opleiding heen bereikt moeten worden en die eerder als competenties dan als kennis en vaardigheden te kwalificeren zijn. Die laatste, in feite langetermijndoelen, ontbreken in het eindexamenprogramma van informatica in het voortgezet onderwijs. In het algemeen is het curriculum van een schoolvak in het voortgezet onderwijs in meer of mindere mate afgeleid van de inhoud van het betreffende vak in het hoger onderwijs. Dat geldt ook voor het vak informatica in de bovenbouw van het Nederlandse voortgezet onderwijs; zie de domeinen B, C en D van het Nederlandse curriculum:

programmeren, gegevensbanken, systeemontwikkeling, met daarnaast aandacht voor de toepassingen en nieuwe ontwikkelingen, zoals het bouwen en vullen van websites. Het risico van deze relatie tussen het hoger onderwijs en het voortgezet onderwijs is een veelheid aan onderwerpen die oppervlakkig behandeld worden. Vanuit de BSc-opleidingen bekeken valt dit toch nog wel mee; alleen de domeinen 2, 4 en 5 van de BSc-opleidingen komen voor in het examenprogramma.

De informaticaleraren

In de bovenbouw van havo en vwo wordt het informaticaonderwijs voor het overgrote deel verzorgd door eerstegraders met in eerste instantie een onderwijsbevoegdheid in een ander vak dan informatica die vervolgens door CODI zijn omgeschoold. De oorspronkelijke bevoegdheden variëren van een moderne vreemde taal tot wiskunde en van lichamelijke oefening tot economie. Aangenomen mag worden dat hun houding en opvattingen ten opzichte van informatica (als discipline, als hulp bij het oplossen van problemen) zeer uiteen zullen lopen, wat tot grote differentiatie zal leiden in de resultaten van dit onderwijs op wat langere termijn.

Door de aan CODI opgelegde kaderstelling was het CODI-omscholingstraject veel meer op (beperkte) vakinhoud dan op de informaticadidactiek gericht. Daarbij moet men wel bedenken dat de CODI-docenten wel impliciet geselecteerd waren door hun belangstelling voor informatica. De meesten hadden al in meer of mindere mate informaticakennis opgedaan. Vrijwel geen enkele CODI-cursist was 'blanco'. Desondanks valt er nog veel te doen om tot kwalitatief hoogwaardig informaticaonderwijs in het voortgezet onderwijs te komen. Als eerste ligt nascholing (waarvoor de middelen maar zeer beperkt zijn) voor de hand, maar daarnaast ook het opleiden van nieuwe docenten via de eerstegraads lerarenopleiding en vakdidactisch onderzoek.

2 De twee posities

Gegeven de beschreven beperkte positie van informatica in het voortgezet onderwijs worden nu twee posities ingenomen ten aanzien van het schoolvak. De ene positie is dat wordt voorgesteld om informatica in het voortgezet onderwijs af te schaffen met als belangrijkste argument dat de huidige leraren informatica te weinig vakinhoudelijke kennis hebben om het vak goed te geven, zodat leerlingen zich zo weinig gestimuleerd voelen dat zij niet voor informatica als vervolgonderwijs kiezen. Deze opvatting wordt met name bij de universitaire informaticaopleidingen aangehangen en is door de voorzitter van de informaticakamer van de VSNU verwoord (Groote, 2008). Zoals verwacht mag worden heeft deze positie tot veel onrust onder zittende leraren geleid.

De andere positie die door de auteurs van dit artikel wordt ingenomen, is dat informatica maatschappelijk zo belangrijk is dat het vak zeker niet moet worden afgeschaft, nee integendeel, vanuit de huidige beperkte positie moet worden versterkt zodat het zijn maatschappelijke functie beter kan waarmaken. Voor ons blijft het uitgangspunt doorslaggevend dat informatica niet voorbereidt op een studie informatica in het hoger onderwijs, maar dat het gaat om kennis en vaardigheden die voor elke (hoger) opgeleide Nederlandse burger relevant zijn, zoals verwoord bij de start van informatica als schoolvak (Hartsuijker, 1996). Deze positie verhindert overigens niet dat op termijn, bijvoorbeeld als er meer eerstegraads leraren informatica zijn die zijn afgestudeerd bij de opleiding Master of Science in Computer Science Education, ook meer werk van het voorbereiden van leerlingen op een informaticaopleiding in het hoger onderwijs wordt gemaakt. Gedacht kan worden aan een vak Informatica B.

Over de argumentatie bij de eerste positie kan opgemerkt worden dat inderdaad vanuit de meeste eerstegraads bevoegde leraren informatica over beperkte vakkennis beschikken. In hoeverre dat leidt tot de geringe instroom in de BSc-opleidingen informatica is de vraag. Het is in ieder geval niet onderzocht.

In wat volgt onderbouwen we op een aantal manieren onze positie. We doen dat vanuit de doelen die informatica als schoolvak heeft of in onze ogen moet hebben. Maar eerst gaan we in op de vraag of er vanuit onderzoek naar informaticaonderwijs iets over de (langetermijn-)doelen van informaticaonderwijs te zeggen valt.

Uiteraard is er nog een positie mogelijk, namelijk alles bij het oude laten. Wat ons betreft kunnen we hier kort over zijn: dat is geen optie. Informatica verandert inhoudelijk nog steeds, wat zeker tot veranderingen van het examenprogramma zal leiden. Verder begint nu pas de didactiek van het informaticaonderwijs en het onderzoek ernaar enigszins op gang te komen. De kennis en ervaringen die hierdoor gegenereerd worden, dienen in het informaticaonderwijs in het voortgezet onderwijs hun plaats te krijgen.

3 Over doelen van informaticaonderwijs en onderzoek daarnaar

Het langetermijndoel dat informatica een bijdrage moet leveren aan 'wat elke Nederlander van informatica moet weten' betekent voor ons dat het huidige examenprogramma, dat afgeleid lijkt te zijn van de inhoud van het informaticaonderwijs in het hoger onderwijs, heroverweging behoeft. De kritiek op het definiëren van de inhoud van een schoolvak als afgeleide van de betreffende discipline – vaak wordt dit het 'theezakjesmodel' genoemd waarbij het schoolvak een (slap) aftreksel van de discipline is – is vaker geformuleerd. Voor informatica is dat bijvoorbeeld door Mead en Gray (2006) en Dreyfus en Dreyfus (1986) gedaan met hun kritiek op het informaticaonderwijs waarbij de vakstructuur bepalend is en niet de langetermijndoelen. Het zou goed zijn als we deze kritiek nog verder zouden kunnen onderbouwen met recent onderzoek waarin bijvoorbeeld informaticaonderwijs geëvalueerd wordt vanuit langetermijndoelen. Helaas is dergelijk onderzoek er nauwelijks. Er is internationaal gezien wel enig onderzoek gedaan naar de centrale begrippen en bruikbare didactische methoden voor het onderwijs in de informatica. Randolph (2007) concludeerde echter, op grond van een overzichtsstudie van het onderzoek in het informaticaonderwijs in de jaren 2000-2005, dat:

'what computer science educators have so far been great at is generating a large number of informed research hypotheses, based on anecdotal experience or on poorly designed investigations. However they have not systematically tested these hypotheses.' Randolph, 2007, p. 176.

Al eerder hebben Holmboe et al. (2001) opgemerkt dat de toenmalige stand van zaken rond onderzoek naar informaticaonderwijs tamelijk 'dun' is. In een overzicht van de door hen bekeken literatuur komen ze tot de volgende inventarisatie. Artikelen gaan over nieuwe maar niet getoetste ideeën, rapporten worden geschreven vanuit de loopgraven – dus met vooringenomen standpunten, er lopen discussies over de epistemologische theorie, over computerondersteund leren en over intelligente systemen, er worden expert-noviceverschillen geconstateerd en empirische studies zijn meestal gericht op het oplossen van een specifiek probleem, vaak op het gebied van het programmeeronderwijs.

We moeten dus, enigszins noodgedwongen, onze positie onderbouwen door middel van een nadere uitwerking van het langetermijndoel dat het gaat om 'wat elke Nederlander van informatica moet weten', door middel van een ontwerpgerichte benadering. We nemen daarbij 'enculturatie' van de leerling in het vakgebied als uitgangspunt en de rol van de informaticaleraren daarbij. We beginnen echter met aan te geven waar het wat ons betreft bij het langetermijndoel omgaat. Daarbij hanteren we de novice-expert-benadering.

4 Versterking van informatica

Over de langetermijndoelen van informatica

Een mogelijke manier om vanuit langetermijndoelen tot onderwijsinhoud en bijbehorende didactiek te komen is de novice-expert-benadering, zie bijvoorbeeld Schoenfeld (1985, 1992) en Glaser (1992). Een expert beschikt over veel vakkennis, maar is daarnaast heel goed in staat de mogelijkheden en beperkingen van informatica en van hemzelf (in theorie is dat natuurlijk ook haarzelf, maar in de huidige praktijk vrijwel altijd hemzelf) bij bepaalde problemen in te schatten. Voor de novice geldt dat hij bereid is van alles te leren, maar manieren om een probleem aan te pakken nog niet kent, de mogelijkheden en beperkingen daarvan nog nauwelijks kan overzien. Dat moet hij immers juist leren. Daarbij kan nog opgemerkt worden dat de expert aan het eind van het voortgezet onderwijs van een ander niveau is dan de expert aan het eind van de BSc-opleiding informatica. En dat laatste niveau is zeker nog niet het eindniveau. Want daarna is er nog de MSc-informatica met een eigen niveau. Afgestudeerde bachelors en masters met een aantal jaren ervaring in het toepassen van hun kennis in de praktijk of in onderzoek hebben nog weer een ander en hoger expertniveau. Als we hier nog een langetermijndoel aan toevoegen, namelijk dat iedereen een leven lang moet leren juist op het terrein van informatica, dan moge duidelijk zijn dat het eindniveau van informatica in het voortgezet onderwijs vooralsnog niet goed is vast te stellen.

De in paragraaf 1 (Formele positie) genoemde inhouden en de daaruit af te leiden doelen, met name voor de lange termijn, geven het volgende beeld. Informatica op havo/vwo is een breed vak dat in allerlei situaties kan worden gebruikt (clusters A en D) en waarvoor een behoorlijk groot aantal kenniselementen en bijbehorende vaardigheden nodig is (kortetermijndoelen, clusters B en D). Het lijkt er echter op dat er geen keuze is gemaakt tussen een breedtebenadering (van alle clusters een beetje) en een dieptebenadering (van de meeste clusters weinig, van één cluster veel). Zie ook Grgurina en Tolboom (2007), dit in tegenstelling tot wat er in veel andere landen gebeurt. Daar ligt meestal de nadruk op één aspect van de dieptebenadering, namelijk het leren programmeren. Uit figuur 1 blijkt overigens dat de dieptebenadering wel mogelijk is, zij het in beperkte mate. Dit niet-

kiezen in het programma betekent meestal dat de leraar de keuze tussen de breedte of de diepte zelf zal maken. Daarbij spelen uiteraard de persoonlijke voorkeuren, opvattingen en opleidingsachtergrond een belangrijke rol. Aangezien het overgrote deel van de leraren geen achtergrond in informatica heeft, mag worden aangenomen dat bij het maken van deze afweging argumenten die aan het (belang van het) vakgebied informatica ontleend kunnen worden hierbij ten onrechte geen belangrijke rol spelen.

Wij stellen tegenover de criticasters van informatica in het voortgezet onderwijs dat niet de zwakten van een vak doorslaggevend zijn, maar dat het gaat om de langetermijndoelen en hoe die gerealiseerd kunnen worden. In onze visie betekent dat dus, zoals gezegd, versterking. Wat niet of nauwelijks uit het examenprogramma is af te leiden is welke langetermijndoelen men voor ogen had bij het formuleren ervan. Voor het voortgezet onderwijs lijkt dat te zijn: elke afgestudeerde van havo of vwo krijgt in zijn vervolgopleiding, beroep of als burger te maken met informatica. Daarop moet in het voortgezet onderwijs worden voorbereid door enerzijds iets van die 'vervolgwereld' en de rol van informatica daarin te laten zien en anderzijds door op een aantal concepten die daarbij een rol spelen nader in te zoomen. Of alle, onder de domeinen B en C genoemde concepten daarbij noodzakelijk zijn (en andere, niet-genoemde niet) is niet duidelijk.

Misschien kunnen examenprogramma's niet gebruikt worden om er de langetermijndoelen uit te destilleren. Maar voor onderwijs in een vak dat door zijn positie van keuzevak in ieder geval niet als langetermijndoel kan hebben het voorbereiden van de leerlingen op een studie in het betreffende vak, is een doordenking van wat een havo- of vwo-abituriënt na de afsluiting op school aan informatica moet overhouden en met name wat voor houding hij tegenover informatica kan aannemen, absoluut noodzakelijk. Als een schoolvak met een positionering als informatica twee langetermijndoelen heeft, enerzijds voor alle leerlingen duidelijk maken wat de kernbegrippen zijn, hoe die functioneren en wat hun mogelijkheden en beperkingen zijn, en anderzijds leerlingen voorbereiden op een studie informatica/ict in het hoger onderwijs, dan moet dat in de opzet en het programma tot uitdrukking worden gebracht.

Door het ontbreken van een degelijke onderzoekscultuur naar het informaticaonderwijs en door het ontbreken van een heldere focus in het examenprogramma zijn we voor een niet onbelangrijk deel gedwongen van onze eigen opvattingen over informatica uit te gaan. Voor ons is een belangrijk aspect van de langetermijndoelen voor informatica in het voortgezet onderwijs: het leren onderkennen wanneer en hoe en waarom welke informatica kan worden gebruikt bij het aanpakken en oplossen van allerlei problemen. Voor ons is een vanzelfsprekend onderdeel hiervan dat leerlingen sommige problemen ook echt met hulpmiddelen uit de informatica moeten aanpakken en oplossen. Anders geformuleerd: de afgestudeerde leerlingen moeten daarvoor geschikte problemen met behulp van informatica kunnen aanpakken en oplossen. Dat houdt in, zie ook Zwaneveld (2005):

- zicht hebben op de (on)mogelijkheden van informatica,
- herkennen of een probleem zich voor een informatica-aanpak leent,
- informatica-aanpakken, zoals analyseren, schematechnieken en prototyping toepassen (ontwerpen),
- methoden ontwikkelen en tot voor concrete problemen bruikbare oplossingsmethoden brengen,
- begrip hebben van en inzicht hebben in de betekenis, mogelijkheden en beperkingen van de toe te passen informatica-aanpakken,
- de rol van de gebruiker hierbij een centrale plaats geven, inclusief de maatschappelijke en ethische aspecten.

Op deze manier geformuleerd lijkt het erop dat wij informatica vooral als een bètavak zien. Dat is geenszins het geval. Informatica heeft ook alfa-aspecten (denk aan de taalaspecten) en gamma-aspecten (denk aan de rol van ict in het dagelijks leven, in vervolgopleidingen en beroepen; denk aan de opkomst van zaken als Web 2.0). Zie ook Mulder (2002) die informatica ziet als een nieuw type discipline (delta), naast alfa-, bèta- en gammadisciplines.

De door ons hiervoor geformuleerde novice-expert-benadering betekent dat ieder die een bepaald onderdeel heeft afgesloten, schoolvak informatica, BSc-opleiding informatica, MSc-opleiding informatica, op het eindniveau van die opleiding een expert is. In de literatuur is daarvoor de aanpak door middel van enculturaties beschreven.

Enculturaties in informatica

Booth (2001) heeft de observatie gedaan dat voor (professioneel) functioneren in het informaticadomein niet alleen de 'harde' kennis en vaardigheden van belang zijn, maar dat daarnaast ook het soort gemeenschap van vakbeoefenaren met de bijbehorende cultuur bepalend is voor de manier waarop nieuwkomers centrale fenomenen uit een vakgebied, zoals concepten en principes, werkwijzen en situaties bezien, begrijpen of ervaren. Uiteraard vertegenwoordigt in de schoolse situatie de leraar die gemeenschap. Booth onderscheidt drie van dergelijke gemeenschappen, die zij

overigens cultures noemt. Als eerste noemt zij de *academic datalogical culture*: mensen, structuren en artefacten rond onderzoek en ontwikkeling zoals uitgevoerd in het hoger onderwijs en de R&D-afdelingen van de computerindustrie. Bij programmeren gaat het om wiskundige uitdrukkingen, programmastructuren, computerarchitecturen, abstracte modellen van informatica en mensmachine-interactie waarbij probleemoplossen en wiskundige bewijzen de uitgangspunten zijn. In deze cultuur worden studenten in informatica in het hoger onderwijs ingeleid. Vaak brengt dit bij hen een cultuurschok teweeg omdat informatica dan 'heel anders' (b)lijkt te zijn dan op school. Haar tweede cultuur is die van de *Professional datalogical culture*: hier gaat het om mensen die als ict-professional in de praktijk werken, denk aan (universitair of hbo-geschoolde) ingenieurs. De nadruk ligt meer op computers en hun structuur dan op wiskunde en logica. Zij citeert Denning (2001) die heeft opgemerkt dat twee soorten kennis voor een professional van belang zijn:

'A person's professional competence is measured mostly by embodied skills demonstrated in action. ... Professional knowledge is different from the conceptual knowledge we learn in most classrooms. It comes from experience, apprenticeship to more competent professionals, and lots of practice. IT professionals need to understand and appreciate both kinds of knowledge and maintain a balance between the two.'

Ten slotte noemt zij de *Informal datalogical culture*: deze cultuur bestaat buiten het hoger onderwijs en de industrie, maar is minstens even serieus in haar bedoelingen. Het gaat bijvoorbeeld om hobbyisten die webpagina's en games maken, soms zelfs een bijdrage leveren aan het ontwikkelen van Linux, mensen die voor hun bedrijfje Excel en Access gebruiken en zelfs om mensen die voor het plezier of de destructie hacken. De nadruk ligt dus op gebruiken en toepassen. In dit verband is de fluency gap relevant, dat is de kloof tussen de mensen die wel toegang tot computers hebben en ermee kunnen omgaan, maar te weinig notie van de achtergrond hebben om dat ook fluent te kunnen en de mensen die wel die kennis hebben. Hier citeert Booth Resnick (2001):

'If computers are truly to transform our lives in the future, we must treat computational fluency on a par with reading and writing.'

Over dit cultuuraspect het volgende interessante. Uit het onderzoek van Perrenet en Taconis (2008, 2009) naar het encultureren van BSc-studenten wiskunde blijkt dat zij hun meestal beperkte, op hun schoolervaringen gebaseerde visie op wiskunde als een 'in beton gegoten' gesloten vak bijstellen naar een veel opener en tot creativiteit aanzettende bezigheid tengevolge van het deelnemen aan de academische wiskundecultuur. Het inbrengen van die cultuur in de schoolwiskunde zou wel eens tot een grotere keuze voor wiskunde kunnen leiden. Het is zeker de moeite waard voor informatica uit te zoeken of zich daar een soortgelijke situatie voordoet. Een inmiddels eerste Nederlandse verkenning door Perrenet (2009a) wijst in de richting dat ook informaticastudenten aan de BSc beginnen met opvattingen die ze gaandeweg bijstellen (enculturatie), bijvoorbeeld met betrekking tot de opvatting dat informatici hun tijd grotendeels aan programmeren zouden besteden en de opvatting dat het niet uit zou maken hoe een programma geconstrueerd is, als het goed werkt.

In de huidige opvattingen over leren spelen deze cultuurgemeenschappen of Communities of Practice (CoP's) een belangrijke rol. Zij vormen meer en meer een noodzakelijk onderdeel van het levenlang leren dat uiteraard thuis en op school begint (Lave en Wenger, 1991). Ter voorkoming van misverstanden merken we op dat dergelijke gemeenschappen niet alleen maar digitale CoP's zijn. Lave en Wenger gebruiken naast de term *situated learning*, waarmee ze het leren in of via dergelijke gemeenschappen bedoelen, de term *legitimate peripheral participation* om aan te geven dat de deelname van een nieuwkomer in een degelijke gemeenschap in de ogen van de al aanwezige deelnemers gewettigd (*legitimate*) is, dat het om een nieuwkomer gaat die in eerste instantie in de periferie opereert (*peripheral*), maar dat diens doel is om wel degelijk een volwaardige deelnemer (*participation*) te worden. De ideeën van Lave en Wenger en van Booth zijn naar voren gekomen als alternatieven voor of minstens aanvullingen op de cognitieve benadering van leren. Ben-Ari (2004) bouwt hierop voort en op het werk van Hakkarainen et al. (2002), die hebben laten zien dat noch een cognitieve noch een sociale benadering alleen tot expertise kan leiden. Hij geeft als voorbeeld van de beperkingen van *situated learning* dat de software-ontwikkeling van vliegtuigbouwers als Boeing of Airbus niet plaats kan vinden in een open digitale CoP. Toch meent ook hij dat onderdelen van *situated learning* relevant zijn voor het informaticaonderwijs. Het gaat dan om een analyse van wat er werkelijk in CoP's gebeurt en om vervolgens leeractiviteiten te ontwerpen die zulke taken zo goed mogelijk simuleren binnen de beperkingen van de school. Het zijn dan niet zozeer projecten als wel de activiteiten die karakteristiek zijn voor een CoP en die een geïntegreerde plaats krijgen in cursorisch

onderwijs. Ekaterini et al. (2003) geven hiervan een onderbouwing in hun onderzoek naar de opvattingen van leerlingen in informatica in het secundair onderwijs bij een probleemgestuurde onderwijsvorm.

Voor het informaticaonderwijs en de didactiek daarvan is er overigens nog een vierde relevante gemeenschap, de CoP van het informaticaonderwijs, waarin informatici, informaticaleraren en onderzoekers van informaticaonderwijs participeren. Lewis en Smith (2005) hebben opgemerkt dat als de vraag over de inhoud van een informaticacurriculum aan alleen de informatici wordt overgelaten, de neiging bestaat dat een van de volgende drie groepen de overhand krijgt: de 'segregationisten', dat zijn de mensen die alleen de traditionele onderwerpen aan bod willen laten komen, de 'integrationisten' die juist willen vernieuwen, en de 'synergisten' die traditionele en nieuw onderwerpen willen integreren. Doyle en Lister (2007) illustreren dit met het debat over de vraag of Unix in een bachelorprogramma moet worden opgenomen.

Er is een tendens in het informaticaonderwijs, naast 'harde' kennis ontleend aan de academische of professionele cultuur, ook plaats in te ruimen voor de vaak niet geëxpliciteerde kennis van de informele cultuur van 'hobbyistische' gebruikers. De aangehaalde onderzoeken (Booth 2001, Resnick 2001, Lave en Wenger 1991, Hakkarainen et al. 2002, Ben-Ari 2004, Ekaterini et al. 2003, Lewis en Smith 2005 en Doyle en Lister 2007) ondersteunen het belang van deze benadering, maar evidence-based is het (nog) niet.

Schoolvak informatica en enculturatie

Het informaticaonderwijs in het voortgezet onderwijs is, gezien het hiervoor beschreven begrip 'enculturatie', te positioneren als onderwijs dat weliswaar in beperkte mate onderdelen bevat die tot de academische en professionele cultuur horen, maar dat toch vooral gericht is op het gebruiken van informatica in de informele cultuur. Deze positionering wordt vooral bepaald door het feit dat voor de leerlingen informaticacultuur bestaat uit wat zijzelf met ict doen (de informele cultuur) en uit wat vooral de eigen informaticaleeraar vertegenwoordigt. En omdat die leraar vrijwel altijd een door CODI omgeschoolde leraar is, heeft die maar heel beperkt zicht op hoe het er met name in de andere academische en professionele cultuur toegaat.

Voor ons is, zoals gezegd, vanzelfsprekend dat leerlingen sommige problemen ook echt met hulpmiddelen uit de informatica kunnen aanpakken en oplossen. Daarbij speelt de geëxpliciteerde kennis van de academische en professionele cultuur een rol, maar ook de niet-geëxpliciteerde kennis van de informele cultuur. De kennis van de eerste twee culturen moet in ieder geval tot het domein van de leraar behoren. De kennis van de laatste cultuur zal vaak door leerlingen ingebracht kunnen worden.

5 De rol van de informaticaleraren bij de novice-expert-benadering

Misschien dat de novice-expert-benadering nog niet eens zoveel verschil voor de inhoud van het informaticaonderwijs zal uitmaken, voor de didactiek ervan wel degelijk. Immers, onderwijs dat zich hoofdzakelijk op de afzonderlijke kenniselementen en bijbehorende vaardigheden richt zal de door ons geformuleerde langetermijndoelen tot het eind van de opleiding uitstellen. En hiermee komen we onontkoombaar bij de leraren die het informaticaonderwijs verzorgen.

We geven een voorbeeld. Onder docenten informatica circuleert het volgende anekdotische verhaal van een collega die zijn leerlingen op internet een programmeercursus laat zoeken, en zonder zich van de kwaliteit ervan te vergewissen de cursusdocumentatie laat doornemen als invulling van de programmeerdoelstellingen in het examenprogramma (Schmidt, 2007, p. 9).

Dit verhaal kan vanuit verschillende perspectieven bekeken worden: vanuit een onderwijskundig-beroepsmatig perspectief (hoe oefent deze leraar zijn beroep uit?, met als mogelijk antwoord: deze leraar maakt zich er wel heel gemakkelijk van af) en vanuit een doelstellingsperspectief (met het oog op welk langetermijndoel handelde deze leraar zo?). Om het vanuit dit laatste perspectief goed te kunnen analyseren zouden we over meer informatie moeten beschikken. Maar de volgende redenering op basis van een aantal veronderstellingen is niet onredelijk. Veronderstel dat de leerlingen een applicatie moeten maken die een concreet probleem aanpakt. Dat is het kortetermijndoel. Langetermijndoelen hierbij kunnen zijn:

- de leerlingen moeten ervaren hoe een dergelijk proces verloopt, zodat zij zich aspecten bewust worden, zoals herkennen of een probleem zich voor een informatica-aanpak leent,
- de leerlingen moeten leren welke aspecten of kenmerken van informatica bij het aanpakken en oplossen van een probleem relevant zijn zodat zij zich bewust worden van de mogelijkheden en beperkingen van informaticatoepassingen,
- de leerlingen moeten zich de rol van de gebruiker bij het gebruiken van de applicatie realiseren zodat ze daarmee in de ontwikkelfase rekening kunnen houden.

Het zoeken van een programmeercursus en het doornemen van de cursusdocumentatie kan dan een bijdrage leveren aan het realiseren van deze langetermijndoelen. Bij de veronderstelling dat het om het maken van een applicatie bij een concreet probleem gaat, zal ook (leren) programmeren een onderdeel van het onderwijs zijn. Ook bij dat leren programmeren zijn langetermijnaspecten te onderscheiden. Voor leerlingen van havo/vwo is het op zijn minst een aandachtspunt of alle leerlingen wel echt feitelijk moeten leren programmeren. Daarbij spelen afwegingen als beperkte beschikbare tijd en complexiteit van dat programmeren een rol, naast de vraag of dit past bij het langetermijndoel dat het om informaticakennis gaat waarover elke Nederlander moet beschikken.

In het algemeen wordt het werk van de informaticus meestal gerepresenteerd met de trits 'ontwerpen, ontwikkelen en implementeren', waarbij nog allerlei verfijningen optreden, bijvoorbeeld modelleren, specificeren, programmeren en testen. Bij elk van deze activiteiten horen specifieke informaticahulpmiddelen die gebaseerd zijn op theoretische concepten. Voorbeelden zijn: modelleertechnieken gebaseerd op bepaalde schematiseringen, informatieverwerking (opslag, aanpassen, zoeken) met behulp van gegevensbanken, algoritmen, enzovoorts. In de praktijk werkt de expert echter niet, althans niet precies, op deze manier. Door zijn expertise is hij in staat het geheel te overzien, in te zoomen op relevante deelaspecten en door zijn ervaring weet hij op welke wijze hij de problemen van deze deelaspecten het best kan aanpakken. De belangrijkste reden dat er in het onderwijs niet volstaan kan worden met het presenteren van deze expertwerkwijze is dat een novice geen ervaring heeft met (het totaal van) deze activiteiten en dus niet of nauwelijks in staat is bij een voor hem nieuw probleem deze activiteiten uit te voeren. Verder beschikt de novice nog niet over mogelijkheden om in te grijpen als het proces stagneert. Om de novice in diens ontwikkeling te ondersteunen kan deelname aan een relevante gemeenschap een goede bijdrage leveren.

6 Een kader voor het vormgeven van het versterkte schoolvak informatica

In de huidige praktijk van het informaticaonderwijs staan de deelaspecten van de expertbenadering centraal, terwijl het er ook, of misschien beter vooral, om gaat het informaticaonderwijs zo vorm te geven dat de onervaren novice geleidelijk aan steeds competentere wordt in het aanpakken en oplossen van problemen met behulp van hulpmiddelen en concepten die in de informatica ontwikkeld zijn.

Uit vakdidactisch onderzoek bij wiskunde is bekend dat het niet, in ieder geval onvoldoende, werkt novicen voor te schrijven hoe er gewerkt moet worden, door te verwijzen naar het werken van de expert. Zie onder andere Schoenfeld (1985). Bij het oplossen van wiskundige problemen door studenten merkte hij dat Pólya's aanpak (Pólya, 1945) met de stappen: begrijp het probleem, stel een plan op, voer dat uit en controleer het resultaat, pas begon te functioneren nadat zijn studenten al redelijk wat ervaring met wiskundig probleemoplossen hadden opgedaan, en dus in feite al geen novicen meer waren. Er zijn genoeg gegevens in de onderzoeksliteratuur die dit bevestigen voor allerlei domeinen. Zie bijvoorbeeld Graham (1994). Er zijn geen redenen om aan te nemen dat dit voor informatica anders ligt.

Schoenfeld (1985, 1992) heeft vervolgens op basis van zijn observaties over hoe zijn studenten het oplossen van wiskundige problemen aanpakten zijn eigen kader ontwikkeld waarmee hij in staat blijkt te begrijpen wat er gebeurt, niet alleen bij het aanpakken en oplossen van wiskundige problemen, maar meer in het algemeen bij cognitief-complexe, resultaat- of doelgeoriënteerde taken als probleemoplossen, lesgeven, onderzoek opzetten en uitvoeren. In Schoenfeld (te verschijnen) beschrijft hij zijn kader als volgt: iemand betreedt een specifieke context met een specifieke hoeveelheid kennis (feiten, algoritmen, vaardigheden, heuristieken), doelen en oriëntaties (opvattingen, (voor)oordelen, waarden, voorkeuren). In een oriëntatie worden stukjes informatie en kennis opgeroepen en geactiveerd. Precieze doelen worden (bij)gesteld. Beslissingen worden, bewust en onbewust, genomen. In het geval van een bekende situatie zal dit veelal onbewust en relatief automatisch gebeuren. Is de situatie (relatief) nieuw dan worden beslissingen op basis van allerlei afwegingen genomen. Dan begint de uitvoering. Bij die uitvoering wordt de voortgang, effectief of niet, voortdurend gevolgd. Dit is een cyclisch proces op allerlei niveaus. Zo kunnen routinematige handelingen subroutines hebben met hun eigen doelen. Doelen kunnen worden bijgesteld via het nemen van beslissingen. Als het proces onderbroken wordt, bijvoorbeeld doordat het niet goed verloopt of anders dan gewenst, komt er weer een moment om beslissingen te nemen. Monitoring en zelfregulering, als onderdeel van de metacognitie, spelen hierbij een belangrijke rol.

Wat ons betreft geldt Schoenfeld's kader ook voor de ontwikkeling van informaticanovice tot informatica-expert en zouden leraren en docenten zich hiervan bewust moeten zijn. Dat betekent voor leraren dat zij onderzoeken met welke kennis (feiten, algoritmen, vaardigheden, heuristieken), doelen en oriëntaties (opvattingen, (voor)oordelen, waarden, voorkeuren) leerlingen bij het vak Informatica binnenkomen en dat zij daarop bij hun onderwijs aansluiten, en dat zij dat in de loop van het onderwijs

herhalen. En als consequentie hiervan betekent dit in de praktijk dat leraren meer gebruik moeten maken van wat de leerlingen – op hun niveau – al weten en minder moeten uitleggen hoe – volgens de ‘wetten’ van de informatica – de wereld in elkaar zit, maar dat pas moeten doen als de leerlingen daaraan toe zijn. Op deze manier krijgen de leerlingen de ruimte om zelf hun doelen en oriëntaties te stellen, zelf om de benodigde informatie te vragen en in te passen en zelf meer en meer verantwoordelijkheid te nemen voor hun eigen leerprocessen.

Een concreet idee om deze verandering te bewerkstelligen is de ontwikkeling van een nascholingsaanbod voor met name de CODI-geschoolden. Deze cursus zou uit twee componenten moeten bestaan, een informaticadidactische en een informaticaculturele component. De eerste component zou verzorgd moeten worden door didactici en gericht op het overbrengen van het belang en de toepassing van de didactische zienswijzen, zoals hiervoor beschreven met betrekking tot de novice-expert-benadering en enculturatie. Een geschikt aangrijpingspunt zou kunnen zijn het verklaren en aanpakken van typische leerling-fouten, misconcepties en naïeve concepties (zie bijvoorbeeld Kolikant, 2008, betreffende het begrip ‘correctheid van een programma’ en Perrenet, 2009b, betreffende het begrip ‘algoritme’). In de tweede component zouden academische en bedrijfsinformatici over hun vak en de cultuur daaromheen kunnen vertellen. Een optie voor de opzet van het geheel is de zogeheten wiskundezomercursussen als voorbeeld te nemen. Meer direct op de leerlingen gericht zou informatica betrokken moeten worden bij de aansluitingsactiviteiten die tussen voortgezet en hoger onderwijs steeds sterker vorm krijgen voor exacte vakken in de vorm van masterclasses, steunpunten, profielwerkstukondersteuning en dergelijke.

7 Tot slot

Zoals eerder opgemerkt heeft het examenprogramma zoals weergegeven in figuur 1 een opdeling in een kernprogramma en verdieping. Deze opdeling biedt de mogelijkheid om met name in het kernprogramma versterking aan te brengen door meer werk van enculturatie en de novice-expertbenadering te maken, gericht op het langetermijndoel ‘wat elke Nederlander van informatica moet weten’. Het verdiepingsdeel kan dan meer gericht worden op het voorbereiden van leerlingen op de BSc-opleiding informatica. Om een dergelijke transitie te realiseren moet een aantal voorwaarden vervuld worden. De eerste is een goede doordenking van de inhoud van een dergelijk kernprogramma en verdiepingsprogramma door onderwijzers van het voortgezet onderwijs en het hoger onderwijs en van de ict-sector. Op basis van dit vernieuwde programma moet een adequaat scholingsprogramma ontwikkeld en uitgevoerd worden. Parallel hiermee moet een aantal scholen dit programma uitvoeren. Na een goede evaluatie kan dit programma als het nieuwe examenprogramma worden ingevoerd. Tegelijk met de invoering van dat nieuwe programma moet dan een gefundeerde beslissing genomen worden over een bestaand heet hangijzer, een Centraal Schriftelijk Eindexamen.

Bijlage : het curriculum van de bacheloropleidingen informatica aan de Nederlandse universiteiten

Om het in paragraaf 1 (Formele positie) beschreven examenprogramma van het schoolvak informatica in een wat bredere context te plaatsen geven we hier de volgende informatie over de BSc-programma's informatica.

Uit het laatste visitatierapport van de QANU (2007) blijkt waarop de universitaire bacheloropleidingen informatica beoordeeld worden. Allereerst zijn er de algemene Dublin-descriptoren voor bacheloropleidingen, zie: <http://www.minocw.nl/documenten/dublin-descriptoren-beschrijving-20060608.pdf> Kort gezegd komen die er op neer dat de afgestudeerde bachelor:

- aantoonbare vakkennis heeft,
- die kennis kan toepassen,
- zijn werk kan beoordelen op sociaal-maatschappelijke, wetenschappelijke en ethische aspecten,
- zijn kennis kan overbrengen op vakbroeders en leken,
- leervaardigheden heeft verworven voor autonome verdieping.

Voor informatica in het bijzonder baseert de QANU zich op het rapport van de Joint Task Force, een gezamenlijk initiatief van ACM (Association for Computing Machinery, met als motto Advancing Computing as a Science & Profession), IEEE Computer Society ('s werelds leidende organisatie van computerprofessionals) en AIS (Association for Information Systems, de wereldwijde organisatie voor academici die zich in informatiesystemen specialiseren) om te komen tot een overzicht van opleidingen op het gebied van computer science, te weten Computer Engineering, Computer Science, Information Systems, Information Technology en Software Engineering, zie:

http://www.acm.org/education/curric_vols/CC2005-March06Final.pdf.

Deze Joint Task Force heeft tien vakgebieden beschreven en van elk van de vijf bovengenoemde studierichtingen beschreven in hoeverre die gebieden gedekt moeten zijn. De genoemde gebieden zijn:

1. Grondslagen, abstract of toegepast.
2. Concepten en vaardigheden op gebied van programmeren:
 - algoritmieken
 - grondige programmeervaardigheid
 - software engineering principes
3. Mogelijkheden en onmogelijkheden van de technologie (software, hardware en netwerken):
 - wat kan wel en wat niet met de huidige stand van technologie?
 - grenzen van berekeningen, waaronder het onderscheid tussen datgene wat intrinsiek niet berekend kan worden en datgene wat nog niet berekend kan worden met de huidige technieken
 - impact van technologie op individu, organisatie en maatschappij.
4. Lifecycle (de fasen planning, ontwikkeling, ingebruikname, evolutie) bij alle computergelateerde systemen als software, hardware, human computer interface, en de relatie tussen kwaliteit en lifecycle management.
5. Wezenlijke kenmerken van processen:
 - computerprocessen, zoals het uitvoeren van programma's en besturingsprocessen
 - processen bij de beroepsuitoefening, zoals de relatie tussen de kwaliteit van een product en de mate van inzet van menselijke processen bij het ontwikkelen van die producten.
6. Geavanceerde onderwerpen om kennis te nemen van moderne wetenschappelijke ontwikkelingen in de discipline.
7. Algemene vaardigheden als interpersoonlijke communicatie, teamwork, managementvaardigheden.
8. Ervaring met toepassingen die theorie en praktijk verbinden.
9. Aandacht voor legale en ethische aspecten van het professioneel handelen.
10. Integratie van kennis en vaardigheden in een meesterproef.

English summary

The question this article poses, is: how to continue the course of informatics in the last years of secondary school (havo and vwo)? A number of reasons make this question a relevant one. On the one hand it is a fairly marginal course; no more than around 60% of the schools offer courses in informatics. On the other hand a discussion is starting to develop about the position of the course. There are people who question the future existence of informatics in its present form, but there are also people who feel that the social relevance of informatics is large enough to strengthen its position. After an outline of the current position of the field of informatics in schools, in this article we will mainly give arguments in favor of the latter viewpoint, and how that can be implemented.

Literatuur

- Ben-Ari, M. (2004). Situated Learning in Computer Science Education. *Computer Science Education* 14, 85-100.
- Booth, S. (2001). Learning to program as entering the datalogical culture: a phenomenographic exploration. *9th European Association for Research on Learning and Instruction Conference*. Fribourg, Switzerland.
- Denning, P.J. (2001). The Profession of IT. Crossing the Chasm. *Communications of the ACM*, 44(4), 21-25.
- Diepen van, N., Perrenet, J. & Zwaneveld, B. (2007). Ontwikkelingen in de lerarenopleiding informatica. *TINFON, Tijdschrift voor informaticaonderwijs*, 16(3), 85-87.
- Doyle, B. & Lister, R. (2007). Why Teach Unix? *Ninth Australasian Computing Company Education Conference*. Ballarat, Victoria, Australia.
- Dreyfus, H. & Dreyfus, S. (1986). *Mind over Machine: The Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the Computer*. New York: Free Press.
- Ekaterini, G., Spyros, B., Panagiotis, G. (2003). Teaching IT in Secondary Education through Problem-Based Learning Could be Really Beneficial. *ACM SIGCSE Bulletin*, 35(3), 243.
- Glaser, R. (1992). Learning, cognition, and education: Then and now. In: H. L. Pick, Jr., P. van den Broek & D. C. Knill (eds.), *Cognition: Conceptual and methodological issues*, 239–265. Washington DC: American Psychological Association.
- Graham, T. (1994). Motivating the Modelling Cycle through a Real, Real Problem. *Teaching Mathematics and its Applications* 13(3), 112-115.
- Groote, J.F. (2008). Schaf informatica op middelbare school af. *Automatiseringsgids*, 36.
- Grgurina, N. & Tolboom, J. (2007). The Dutch Secondary School Informatics Curriculum - Another 'Polder Model', Broad in Scope, But not Too Deep? *Proceedings Joint Conference of IFIP/WG3.1 & WG3.5*. Boston: IFIP & College of Computer and Information Science, North Eastern University. (Ook beschikbaar op cd.)
- Hakkarainen, K., Palonen, T. & Paavola, S. (2002). Three perspectives of studying expertise. *The fifth international conference of learning sciences*. Seattle.
- Hartsuijker, A. (1996). Informatica en ICT in de vernieuwde tweede fase voortgezet onderwijs. *TINFON, Tijdschrift voor informaticaonderwijs*, 5(1), 4-9.
- Holmboe, C., McIver, L. & George, C. (2001). Research Agenda for Computer Science Education. *13th Workshop of the Psychology of Programming Interest group*. Bournemouth.
- Kolikant, Y.B.-D. (2008). Computer-Science Education as a Cultural Encounter: A Sociocultural Framework for Articulating Learning Difficulties. *Paper gepresenteerd op de conferentie over Innovation and Technology in Computer Science Education in Madrid*, juni-juli 2008.
- Lave, J. & Wenger, E. (1991). *Situated Learning. Legitimate peripheral participation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lewis, T. & Smith, W. (2005). The Computer Science Debate: It's a matter of Perspective. *ACM SIGCSE Bulletin*, 37(2), 80-84.
- Mead, J. & Gray, S. (2006). A Cognitive Approach to Identifying Measurable Milestones for Programming Skill Acquisition. *ACM SIGCSE Bulletin*, 38(4).

Mulder, F. (2002). INFORMATICA: van BÈTA- naar DELTA-discipline. *TINFON, Tijdschrift voor Informaticaonderwijs*, 11(2), 48.

Perrenet, J. (2009a). Differences in Beliefs and Attitudes About Computer Science Among Students and Faculty of the Bachelor Program. *Paper gepresenteerd op de conferentie over Innovation and Technology in Computer Science Education in Parijs*, juli 2009.

Perrenet, J. (2009b). Levels of Thinking in Computer Science: Development in Bachelor Students' Conceptualization of Algorithm. *Education and Information Technologies*. DOI 10.1007/s10639-009-9098-8; gepubliceerd online 2 juni 2009 op <http://www.springerlink.com/content/100163/?k=perrenet> (laatst geraadpleegd 24 november 2009).

Perrenet, J. & Taconis, R. (2008). Aansluiting en Bètabelangstelling door een Andere Bril. *Euclides* 84(2), 64–66.

Perrenet, J. & Taconis, R. (2009). Mathematical enculturation from the students' perspective: Shifts in problem-solving beliefs and behaviour during the bachelor programme. *Educational Studies in Mathematics*, 71, 181–198.

Pólya, G. (1945). *How to solve it*. Princeton: Princeton University Press.

QANU (2007). *Onderwijsvisitatie Informatica*. Utrecht: QANU.

Randolph, J.J. (2007). *Computer Science Education Research at the Crossroads: a Methodological Review of Computer Science Education: 2000-2005*. Dissertation. Utah State University, Logan, Utah.

Resnick, M. (2001). Closing the fluency gap. *Communications of the ACM*, 44(3), 144–145.

Schmidt, V. (2007). *Vakdossier 2007. Informatica*. Enschede: Stichting Leerplanontwikkeling (SLO).

Schoenfeld, A.H. (1985). *Mathematical Problem Solving*. Academic Press Inc.: Orlando, Florida.

Schoenfeld, A. H. (1992). Learning to think mathematically: Problem solving, metacognition, and sense-making in mathematics. In: D. Grouws (ed.), *Handbook for Research on Mathematics Teaching and Learning*, 334-370. New York: MacMillan.

Schoenfeld, A. H. (2010). A Theory of Teaching. In: R. Sternberg & D. Preiss (eds), *From Genes to Context: New discoveries about Learning from Educational Research and their Applications*. London: Springer.

Zwaneveld, B. (2005). *Wiskunde en informatica: innovatie en consolidatie*, intreerede, 32– 33. Heerlen: Open Universiteit Nederland.

Zwaneveld, B., Van Dijk, B., Timmers, J. & Heil, I. (2007). Acht jaar CODI, van omscholen naar opleiden. *TINFON, Tijdschrift voor informaticaonderwijs*. 16(3), 62–63.