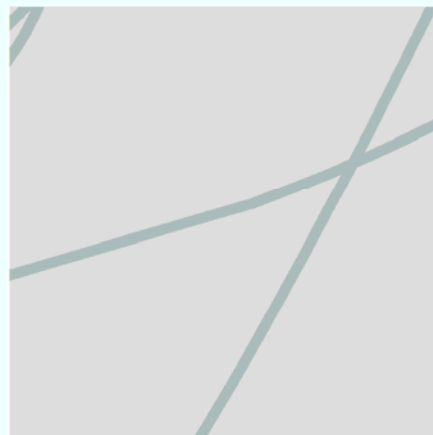


Didactische uitgangspunten en praktische docentenhandleiding

Geïntegreerd Science Onderwijs - 6087

Stanley Portier
Jasper Bedaux
Ruud van Damme
André Heck
Gijs Krijnen
Hans Mulder
Joop Temmink
Jeroen Verschuur

26 oktober 2006





Inhoudsopgave

1	Projectgegevens	4
2	Samenvatting	4
3	Didactisch ontwerp	5
	3.1 Uitgangspunten	5
	3.2 Domeinintegratie	6
	3.3 Werkvormintegratie	14
	3.4 Toetsing	16
	3.5 Verificatie van het didactisch ontwerp	16
4	Docentenhandleiding	17
	4.1 Analyse van de doelgroep en didactische randvoorwaarden	17
	4.2 Inventarisatie van knelpunten	18
	4.3 Opzetten van kennisgrafen	19
	4.4 Contentmapping	20
	4.5 Beschrijving en ontwikkeling leermaterialen	22
	4.6 Beschrijving van te hanteren werkvormen	23
	4.7 Ontwikkel taken en opdrachten met gebruikmaking van symbolisch-mathematische software	24
	4.8 Ontwerp toetsing	26
	4.9 Professionalisering en begeleiding van docenten	26
5	Projectteam	27
	5.1 Problemeigenaren	27
6	Bronnen	27
7	Opmerkingen en aanbevelingen reviewcommissie	29



Versiebeheer			
Versie	Datum	Veranderingen	Gewijzigde pagina's
0.5	180906	Conceptversie n.a.v. divers overleg en geleverde input door projectmedewerkers	Alle
0.9	200906	Aanvullingen / wijzigingen Andre Heck	Alle
0.95	111006	Bewerkingen naar aanleiding van opmerkingen reviewcommissie en aanvullend gesprek met Joop Temmink en Hans Mulder (Saxion)	H.2, § 3.1, 3.2, 3.2.1, 3.4 (nieuw), 3.5 (nieuw), H.4 algemeen deel, 4.7
1.0	261006	Vastgesteld in overleg met Michiel van Geloven. Behalve documentnaam en –nummering geen inhoudelijke wijzigingen	Titelblad (datum)

1 Projectgegevens

Projectnaam: Geïntegreerd Science Onderwijs
 Projectnummer: 6087
 Projectleider: Stanley Portier, Universiteit Twente, ITBE
 Programmamanager DU: Michiel van Geloven

Startdatum fase: 01-05-2006
 Geplande einddatum fase: 28-02-2007

Naam en Adres penvoerende instelling: Universiteit Twente, Postbus 217, 7500 AE Enschede
 Namen overige participerende instellingen: Universiteit van Amsterdam, Saxion Hogescholen

Soort project (aankruisen wat van toepassing is, slechts een mogelijk):

Domeinprogramma / project in een domeinprogramma	
Domeinoverstijgend ontwikkelproject	
Expertiseproject	
Risicodragend of verkennend project	
Implementatieproject	
Veranderproject	X

2 Samenvatting

Door wiskunde sterk te beschouwen als een apart vak, wordt de integratie c.q. transfer naar andere vakinhouden bemoeilijkt. Wiskundige technieken worden in hoge mate op fundamentele, meer abstracte wijze behandeld en zijn niet of onvoldoende ingebed in de betekenisvolle context van een ander vak. Daarnaast vraag men zich in toenemende mate af of het niveau waarop de wiskunde wordt behandeld wel voldoende is. Er wordt onvoldoende vooruitgeblikt naar contexten waar de geleerde wiskunde kan worden toegepast. Andersom vindt vanuit de contexten te weinig terugkoppeling plaats naar de meer abstracte, fundamentele wiskunde. De verschillende onderdelen worden onvoldoende gecombineerd, waardoor studenten oog voor de samenhang verliezen.

In vervolg op de definitiefase wordt in dit document een beschrijving gegeven van een **didactisch herontwerp** waarbij de integratie van (toegepaste) wiskunde in de context van fysicavakken moet worden verhoogd: vanuit de wiskunde wordt vooruitgeblikt naar mogelijk gebruik ervan in een toegepaste fysicacontext, vanuit de fysicavakken wordt teruggekoppeld naar meer abstracte wiskunde-elementen, zodat studenten beter in staat zijn om de samenhang te zien en een transfer naar andere onderdelen van het fysicavak wordt bevorderd. Het is van groot belang dat er expliciete aandacht aan deze terugkoppeling wordt besteed om de wiskundekennis goed te verankeren. Integratie wordt in dit project op twee manieren ingevuld: op basis van samenhang en afhankelijkheid tussen de verschillende domeinen en op basis van werkvormen.

Bij de *domeinintegratie* wordt voorzien dat er een contentmapping moet plaatsvinden tussen enerzijds het toegepaste wiskundedomein en anderzijds het corresponderende fysicadomein. Centrale vraag hierbij is welke elementen uit de wiskunde zijn benodigd c.q. worden toegepast in verschillende fysicavakken?



Bij de *werkvormintegratie* wordt gestreefd naar mogelijkheden om voorheen gescheiden werkvormen (hoorcollege, werkcollege, pc practicum) meer in elkaar te schuiven en naar mogelijkheden om via ICT applicaties een brug tussen domeinen te slaan. Zo kan bijvoorbeeld via een applicatie als Maple TA een arsenaal aan wiskundig oefenmateriaal worden aangeboden binnen de context van een vak als Engineering of Quantummechanica. Maple TA vormt dan als het ware het cement tussen de twee domeinen. Door werkvormen te verweven kunnen vakken zowel inhoudelijk als qua timing beter op elkaar afgestemd worden.

Tijdens twee teamsessies is aan een generiek didactisch ontwerp gewerkt, dat de basis moet gaan vormen voor het specifieke werk bij de verschillende partnerinstellingen. De uitdaging daarbij was om een gezamenlijke specificatie te vinden die voldoende ruimte bleef bieden voor specifieke wensen/eisen die vanuit de instelling of vanuit de domeinspecifieke kenmerken van het vak worden gesteld. Het ontwerp biedt daarom op een aantal punten keuzemogelijkheden waar je als vakdocent wel of geen gebruik van kunt maken.

De doelstelling van dit document is tweeledig:

1. Ten eerste om een generiek **didactisch ontwerp** te maken dat als uitgangspunt kan dienen voor de uit te voeren vaktransformaties per instelling. Dit deel is met name gericht op opleidingsdirecteuren, - coördinatoren en onderwijskundigen die worden betrokken bij de onderwijsontwikkeling.
2. Een tweede doel is om het generieke ontwerp te vertalen in een **praktijkgerichte handleiding** die docenten stap voor stap door het te volgen transformatieproces heen leidt. Dit deel is bedoeld voor individuele docenten en/of voor coördinatoren die met een docententeam verantwoordelijk zijn voor een aantal samenhangende vakken. Dit praktijkgedeelte wordt geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld van een vak dat in het kader van dit project is getransformeerd.

3 Didactisch ontwerp

3.1 Uitgangspunten

Zoals in de definitiefase van dit project al vastgesteld is het doel van de didactische ontwerpfase meerledig:

Een eerste, onderwijskundig doel is om een generiek **didactisch ontwerp** te ontwikkelen dat als basis voor een transformatie naar geïntegreerd science onderwijs kan dienen. Dit deel is met name gericht op **opleidingsdirecteuren, - coördinatoren, beleidsmedewerkers onderwijs en onderwijskundigen** die worden betrokken bij de onderwijsontwikkeling.

Dit ontwerp moet overtuigend zijn en bijna evident tot een verbetering van het huidige science onderwijs leiden. Het ontwerp is gericht op het bevorderen van de aansluiting/transfer van voorbereidende wiskundevakken – die vaak in het eerste deel van de bachelorfase worden aangeboden – naar vervolgvakken in het fysicadomein. Bij het didactische ontwerp is sprake van de volgende invalshoeken:

- *Domeinintegratie*. Wiskunde wordt sterker ingebed in de context van een sciencevak. Om dit te realiseren zullen de meer abstracte, fundamentele wiskunde-inhoud worden geïntegreerd met de contextuele inhoud van een aantal fysicavakken. Dat wil overigens niet zeggen dat er een verschuiving naar een puur contextgerichte benadering van de wiskunde wordt voorgestaan, maar dat het een *wisselwerking* tussen beide domeinen betreft. Vanuit een wiskundevak (bijv. bij Wiskunde B2) wordt vooruit geblikt naar mogelijke toepassing in een bepaalde context (bijv. Engineering). Andersom zal vanuit Engineering worden teruggekeken naar reeds behandelde onderdelen uit het wiskundevak om het zodoende in een abstracter perspectief te plaatsen. Het is van groot belang dat de docent hier expliciet aandacht aan besteedt om daadwerkelijke verankering te bewerkstelligen en transfer naar andere contexten te bevorderen.
- *Werkvormintegratie*. Dit aspect heeft betrekking op het punt dat voorheen gescheiden werkvormen (hoorcollege, werkcollege en computer practicum) meer met elkaar worden verweven. Tijdens een onderwijsbijeenkomst kunnen werkvormen worden afgewisseld, bijv. na 15 minuten hoorcollege volgt als oefening een deel computerpracticum waarbij studenten een aantal opdrachten moet oplossen. Hierdoor kan de transfer van theorie naar praktijk worden verbeterd, doordat studenten het geleerde direct in een opdracht of in een practicumsetting kunnen toepassen (activerend onderwijs). Bovendien kan hier de zojuist beschreven domeinintegratie vorm krijgen door in het practicumdeel van een natuurkundevak ook de relevante wiskundige onderwerpen aan te bieden. Een concreet voorbeeld is dat studenten naar aanleiding van een uitleg bepaalde oefeningen of opdrachten met Maple TA moeten uitvoeren. Dit kunnen voor een gedeelte oefeningen zijn die een beroep doen op de abstracte wiskundekennis. Deze



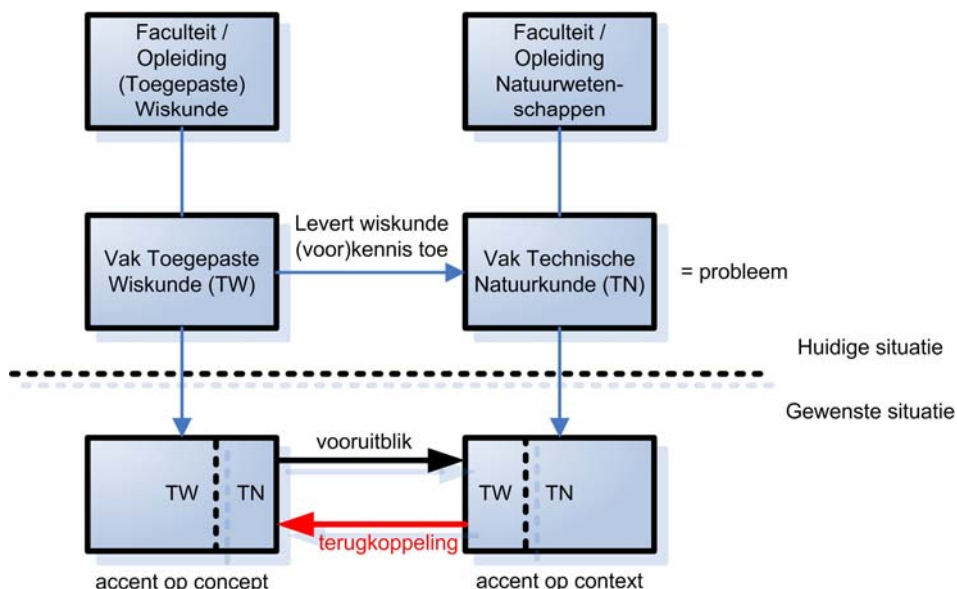
werkvormintegratie komt het beste tot zijn recht indien gebruik gemaakt kan worden van een multifunctionele leeromgeving zodat studenten zich niet tussentijds hoeven te verplaatsen. Voorbeelden hiervan zijn het multifunctionele studielandschap (Ruijter, 2005) van de Universiteit Twente (gebaseerd op werken met laptops) of de Studio Classroom (Brandts, 2005; Brouwer e.a., 2004) aan de Universiteit van Amsterdam waarbij studenten tijdens de instructie frontaal naar de docent zitten, maar door de stoel om te draaien onmiddellijk (in tweetallen) met de computer aan de slag kunnen.

Een tweede doel van dit document is om het didactische ontwerp te vertalen naar concrete aanbevelingen, best practises, te gebruiken instrumenten, tips en ruimte voor het aanbrengen van vakspecifieke nuances. Het voorliggende document bevat daarom als laatste deel een praktische docentenhandleiding die men grotendeels zelfstandig kan gebruiken en die ertoe moet bijdragen dat docenten op eenvoudige en pragmatische wijze een vergelijkbare transformatie in hun vak kunnen aanbrengen. Dit deel is bedoeld voor **individuele docenten** en/of voor **coördinatoren** die met een docententeam verantwoordelijk zijn voor een aantal samenhangende vakken. Zij kunnen desgewenst direct met hoofdstuk 4 aan de slag gaan en de rest van dit hoofdstuk als achtergrondinformatie c.q. naslagwerk beschouwen.

Naar onze mening is het didactische ontwerp zodanig opgezet dat het ook toepasbaar is voor een integratie tussen twee andere domeinen, bijvoorbeeld bij integratie van statistiek en methoden onderwijs met bepaalde psychologievakken.

3.2 Domeinintegratie

Het algemene idee van de domeinintegratie is dat er een betere beheersing van wiskunde technieken ontstaat door de wisselwerking met en inbedding in andere vakken. Het streven naar een zuiver contextgerelateerde benadering heeft als risico dat de transfer naar andere contexten wordt bemoeilijkt. Door uitsluitend voor een contextgerelateerde benadering te kiezen wordt de wiskunde met onvoldoende abstractieniveau aan de studenten overgebracht. Het basisidee is daarom dat er een wisselwerking moet ontstaan tussen de voorbereidende wiskundevakken (concept) en de fysicavakken (context, later in de opleiding) waar deze wiskunde moet worden toegepast. Deze wisselwerking is in het volgende model schematisch weergegeven (verder aangeduid als het GSO model):



Figuur 1: Basisprincipe van het Geïntegreerd Science Onderwijs (GSO) model

Volgens het GSO model¹ zullen zowel de voorbereidende wiskundevakken als de aansluitende fysicavakken een verandering moeten ondergaan². Dit betekent enerzijds dat in de meer fundamentele, abstracte wiskundevakken er meer ruimte voor een contextgerelateerde voortuitblik zal komen, onder andere door voorbeelden aan te reiken hoe een bepaald wiskundig onderwerp gebruikt wordt in de fysica of in andere contexten. Het accent blijft echter *concept*gerelateerd.

¹ De benadering van domeinintegratie sluit goed aan bij de context-concept benadering die vernieuwingscommissies havo/vwo in natuurwetenschappen voor staan. Zie bijv. het rapport Natuurkunde leeft (2006).

² Het is voorstelbaar dat het GSO concept breder toepasbaar is, dat wil zeggen er ook gedacht kan worden aan aansluiting tussen andere domeinen. Denk bijvoorbeeld aan de relatie tussen statistiek en vakken in de gedragswetenschappen.



Anderzijds zullen bij de fysicavakken op een aantal plaatsen toegepaste wiskunde-elementen worden (bijv. een extra opdracht of voorbeeld) aangebracht. Deze elementen grijpen terug op een eerder gevolgde, meer fundamentele wiskundecursus, zodat het benodigde abstractieniveau alsnog kan worden aangebracht of wordt herhaald. Het accent is *context*gerelateerd. Met de rode terugkoppelingsspijl in het model willen we uitdrukken dat de terugkoppeling naar het wiskundedomein actief en expliciet moet zijn om consolidatie van wiskundeconcepten te bewerkstelligen en zodoende transfer naar andere contexten (bijvoorbeeld verderop in het curriculum) te bevorderen. Uit ervaring in het VO is gebleken dat leren in context niet vanzelf betekent dat de abstracte wiskundeconcepten worden verankerd. Je kunt als docent dus niet volstaan met het alleen maar noemen van het feit dat een concept al bij een vorig vak is behandeld. Er moet expliciete aandacht voor zijn door studenten actief met de wiskunde te confronteren, bijvoorbeeld aan de hand van een opdracht. Hetzelfde probleem zal zich anders later opnieuw manifesteren. Kort samengevat is de concept- versus contextbenadering als volgt te karakteriseren:

Concepten

- Basis
- Inzicht
- Abstract

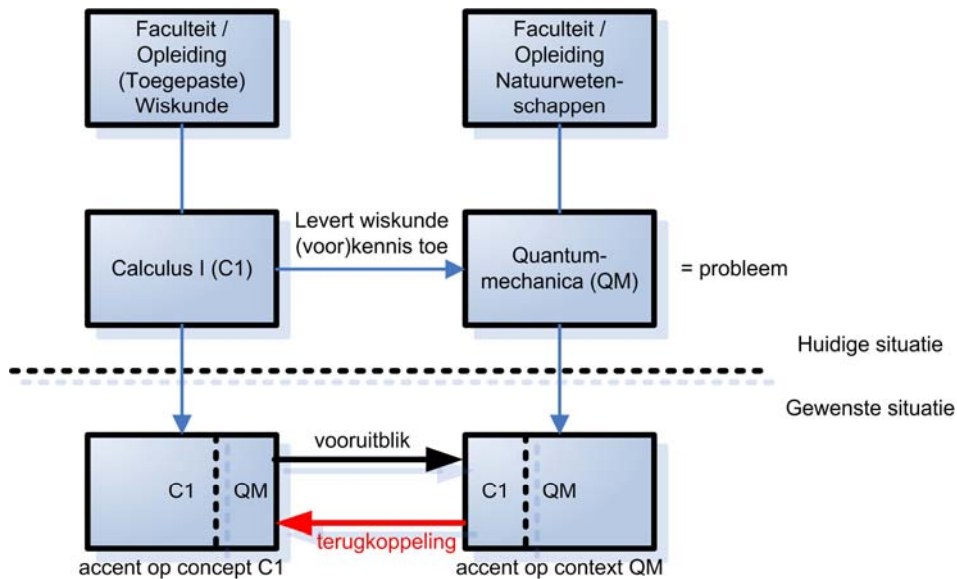
Samenhang van concepten

- Hoog abstractieniveau

Contexten

- Praktisch
- Illustratief
- Afleidend
- Consoliderend wat betreft denk- en werkwijze
- Kennis én vaardigheden

We illustreren het basisprincipe uit Figuur 1 aan de hand van een voorbeeld voor de vakken Calculus 1 en Quantummechanica. Het ingevulde GSO model ziet er dan als volgt uit:



Figuur 2: Integratie van Calculus 1 met Quantummechanica

Bij werkcolleges Calculus I wordt via Quantummechanica opdrachten of voorbeelden al voortuitgeblikt naar de context waarbinnen de concepten uit Calculus 1 kunnen worden toegepast. Andersom kunnen werkcolleges Quantummechanica worden verrijkt met meer abstracte wiskunde-opgaven om de terugkoppeling naar Calculus 1 expliciet te bevestigen en zodoende bij te dragen aan de consolidatie van de opgedane wiskunde. Er kan ook worden gedacht aan Maple TA opdrachten om te oefenen met de wiskunde die studenten binnen de context nodig hebben.

Een punt dat niet eenduidig in het ontwerp kan worden vastgelegd is waar het primaat voor de verandering moet komen te liggen, ofwel wat leidt tot de beste transfervverbetering? Moeten de accenten meer bij veranderingen in de fysicavakken worden gelegd, bij de wiskundevakken of is het min of meer gelijk verdeeld? Op basis van de vakken (zie definitiefaserapport) die bij het project zijn betrokken kan hier geen vaste richtlijn voor worden gegeven. Naar het model in Figuur 1 en Figuur 2 vertaald betekent dit dat de stippellijnen in de onderste twee rechthoeken kunnen



verschuiven, afhankelijk van de vakken waar je mee te maken hebt. Docenten kunnen dus zelf bepalen waar ze het primaat leggen. Het is evident dat hierbij een zwaarder beroep wordt gedaan op onderlinge afstemming tussen docenten en het voeren van multidisciplinair overleg. De ervaringen tot nu toe lijken aan te geven dat docenten het overleg als zodanig al als een stuk meerwaarde ervaren. Zo is er meer duidelijkheid wat in een reeks samenhangende vakken wordt behandeld en kan men bijvoorbeeld werken aan een common ground over te hanteren wiskundige notaties. In de praktijk blijkt namelijk dat vakdocenten bij de behandeling van de stof nog wel eens verschillende notatievormen en verschillend taalgebruik plegen te hanteren. Dit is voor studenten onnodig complicerend, omdat ze dan niet of onvoldoende in de gaten hebben dat het om hetzelfde concept gaat. Door afstemming van notaties (in feite ook een vorm van domeinintegratie) wordt bereikt dat de concepten eenduidiger naar studenten toe worden gecommuniceerd³.

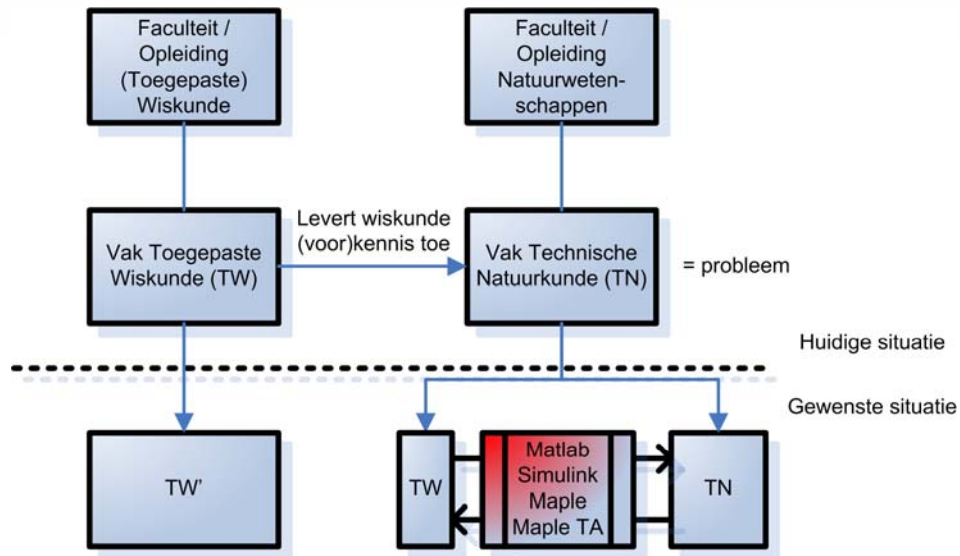
Het is overigens niet in alle gevallen zo dat er sprake is van verschillende docenten die onderling afstemming moeten zien te bereiken. Bij de Universiteit Twente zal Engineering (zowel het wiskundedeel als de fysicavakken) door één docent worden verzorgd. Het ligt voor de hand dat dit voordelen biedt voor de integratieproblematiek zoals hiervoor beschreven. Een docent die zelf alles geeft kan beter bewaken dat bijv. gebruikte notaties op elkaar worden afgestemd. We zullen hier verderop in het document nog op terugkomen.

Domeinintegratie is tot nu toe vooral besproken in termen van het afstemmen van vakinhouden, contentgericht dus. Een uitbreiding hierop is om één of meer ICT applicaties in te zetten die als brug tussen de verschillende kennisdomeinen kunnen fungeren. Een applicatie als Maple TA kan bijvoorbeeld uitstekend dienst doen om diagnostische wiskundetoetsen te ontwikkelen gericht op de onderwerpen die de student in de opeenvolgende fysicavakken nodig heeft. Door de snelle, geautomatiseerde terugkoppeling die het systeem kan geven, weten studenten direct waar hun kennis en vaardigheden achterblijven bij wat ze nodig hebben. Met Maple TA zijn al goede ervaringen opgedaan bij de ontwikkeling van digitale instaptoetsen (o.a. Heck, 2006; Heck & van Gastel, 2006; projectteam Mathmatch, 2005).

Naar het huidige project vertaald kan een applicatie als Maple TA een rol spelen bij het bevorderen van inzicht in de behandelde wiskunde ten behoeve van bijvoorbeeld een aantal Engineering vakken. Hierbij gaat het er niet zozeer om om met computerhulpmiddelen tot (numerieke) oplossingen te komen, maar dient deze in het bijzonder om analytische oplossingen - zoals door studenten gegenereerd - op de computer (verder) te verkennen. Het wordt daarmee een aanvullende oefenomgeving die studenten zelfstandig (en op afstand) kunnen gebruiken. Eventuele hints en meer of minder uitgebreide feedback zorgen ervoor dat er sprake is van een leereffect. De opgaven die worden aangeboden kunnen op verschillende abstractieniveaus zijn, waardoor naar keuze het accent meer op de concepten of juist op de context kan worden gelegd.

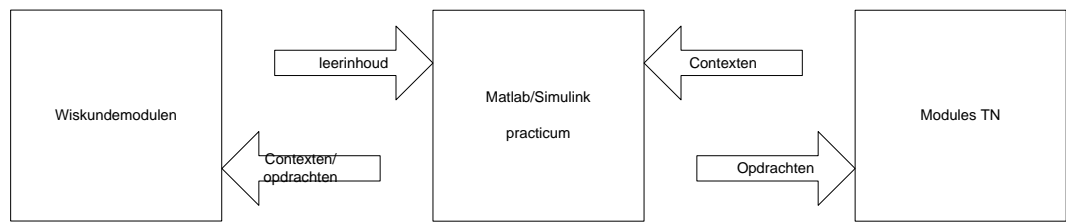
Een ander voorbeeld is het aanbieden van werkbladen voor Simulink of Mathematica. De structuur van de oplossingroute wordt gegeven, maar de student moet zelf materiaal (concepten) erbij halen om tot de oplossing (in context) te kunnen komen. Door het accent te leggen op het handelen, er actief mee omgaan dus, wordt de relatie concept-context extra versterkt en hebben de opdrachten toegevoegde waarde voor beide domeinen. Door een applicatie in te zetten kun je het speel- of oefenterrein enorm vergroten, samenhang bevorderen en zaken visualiseren. Je kunt je dan meer op de kern van de zaak concentreren omdat rekenproblemen worden vervangen door syntaxproblemen. Er zijn reeds goede ervaringen opgedaan met deze manier van werken binnen het Studio Classroom model (zie bijv. Brandts, 2005; Brouwer e.a., 2004) en in het Multifunctionele Studielandschap (Ruijter, 2005). Schematisch ziet deze opzet er als volgt uit:

³ Je kunt overigens een academische discussie voeren over de vraag of studenten in staat moeten zijn om ondanks verschillende notaties het abstracte concept te herkennen. Dit project heeft niet tot doel om deze discussie te voeren en/of een concrete aanbeveling hiervoor te doen. Er is om pragmatische redenen gekozen voor afstemming wat betreft notatie, zodat de vakken meer als een coherent geheel aan studenten worden gepresenteerd. De verwachting is dat dit een positief effect op de resultaten zal hebben.

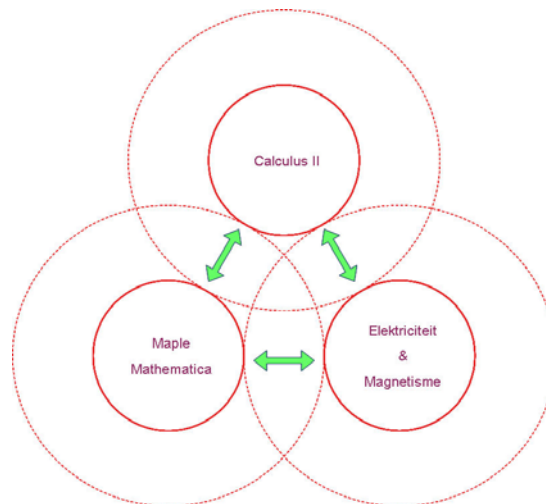


Figuur 3: ICT applicaties als brug tussen kennisdomeinen

Het wiskundedomein levert de wiskundige leerinhouden, het fysicadomein de contexten waar deze wiskunde bij benodigd is. In de applicatie worden deze samengebracht tot geïntegreerde opdrachten waarbij het accent de ene keer meer op de abstracte wiskunde ligt, de andere keer op de toepassing in het fysicadomein:



De schematische weergaves van Figuur 1 en Figuur 3 vormen beide twee dimensies van het GSO model. Als we beide aspecten verenigen ziet dit er aan de hand van een voorbeeld voor Elektriciteit & Magnetisme als volgt uit:



Figuur 4: Verenigde dimensies van het GSO Model

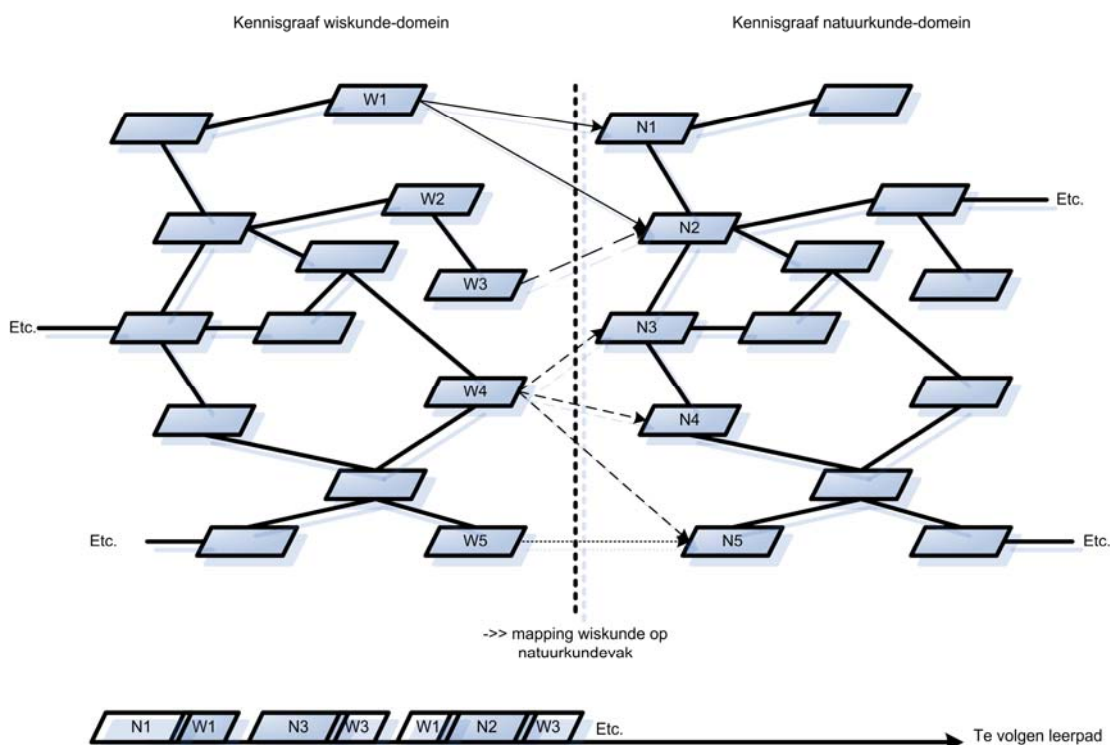
De domeinintegratie kan dus enerzijds plaatsvinden via aanpassingen van de betrokken vakken, anderzijds door applicaties zoals Maple, Mathematica, etc. een brugfunctie te geven. Zo kunnen werkbladen voor Mathematica worden ontwikkeld waarin een structuur voor de oplosroute wordt gegeven. Studenten kunnen zelf materiaal hergebruiken. Ze kijken bijvoorbeeld terug op aangebrachte concepten uit Calculus II om dit bij E&M in te zetten.



Bij de keuze voor (een) bepaalde applicatie(s) wordt aanbevolen om aan te sluiten bij de beroepspraktijk. Saxion Hogescholen heeft om die reden bijvoorbeeld gekozen voor gebruik van Matlab in plaats van Derive. Matlab is onderwijskundig gezien meer beperkt dan Derive, maar in de toekomstige beroepspraktijk wordt vooral Matlab gebruikt.

3.2.1 Kennisgraaf en contentmapping

Zoals in voorgaande paragraaf besproken is een kernpunt van het ontwerp het versterken van de samenhang tussen de meer abstracte concepten en de praktische context waarin ze worden toegepast; concepten en context worden meer met elkaar vervlochten. Het behoeft geen betoog dat de juiste dwarsverbanden moeten worden gelegd. In de praktijk blijkt hiervan echter maar een globaal beeld te bestaan, waardoor de kans op 'verkeerde' of onvolledige integratie aanwezig is. Er is daarom een noodzaak om dit op gestructureerde wijze aan te pakken. Een methode die hiervoor gebruikt kan worden is die van de zogeheten *contentmapping*. Zowel het wiskundedomein als het natuurkundedomein worden eerst via een kennisgraaf in kaart gebracht⁴ (zie ook: Zwaneveld, 1999). Hiermee worden ten eerste de kennisinhoud en de onderlinge relaties en afhankelijkheden tussen de kennisinhouden in kaart gebracht. De kennisgraaf wordt gemaakt binnen beide domeinen. De contentmapping betreft het proces waarbij de relaties tussen domeinen in kaart wordt gebracht; zo kan worden bepaald welke elementen uit het wiskundedomein benodigd c.q. voorwaardelijk zijn voor elementen uit het natuurkunde- of scheikundedomein. Het principe van contentmapping via kennisgrafieën is in Figuur 5 weergegeven.



Figuur 5: Contentmapping van twee domeinen via kennisgrafieën

Een kennisgraaf geeft aan welke elementen zich in een bepaald domein bevinden, maar zegt in veel gevallen nog niets over de volgorde waarin dit in het kader van een onderwijssetting aangeboden moet worden. In een aantal gevallen zal er sprake zijn van conditionele relaties tussen elementen. Bijvoorbeeld voorkennis W2 is vereist om W3 te kunnen volgen. De volgorde wordt dan op natuurlijke wijze bepaald. In andere gevallen hebben elementen geen conditionele relatie met elkaar en is meer flexibiliteit mogelijk. Bij de contentmapping zal vooral sprake zijn van conditionele relaties met elementen uit het andere domein. De centrale vraag is: welk(e) wiskundig(e) concept(en) is (zijn) benodigd om toe te kunnen passen in een bepaalde natuurkundecontext? Zo kunnen we bijvoorbeeld voor een natuurkundevak een te volgen (aanbevolen) leerpad definiëren (zie Connexions Approach). Binnen zekere vrijheidsgraden zou je kunnen komen tot een volgorde N1, N3, N2. De wiskundige concepten die je hiervoor nodig hebt zijn minder vrijblijvend en volgen

⁴ In het project zal de uitwerking van de kennisgraaf worden beperkt tot die delen uit het wiskunde- en natuurkundedomein die zijn benodigd in relatie tot de gekozen vakken.



uit de contentmap. Zo zien we uit de illustratie in Figuur 5 dat concept W1 voorwaardelijk is en dus in combinatie met N1 dient te worden aangeboden.

Zo is bijvoorbeeld voor het vak Elektronica (binnen Engineering I) dat circuit analyse, basiselementen, spanning, stroom, vermogen en energie de eerste sciencethema's zijn die worden behandeld. Hiervoor is echter voorwaardelijk dat de wiskundige concepten getallen, algebra, geometrie plus lineaire en kwadratische functies worden beheerst.

Bij dit proces moet overigens worden gewaakt voor **atomisering**: te kleine content-elementen (leerstofeenheden) zullen tot onoverzichtelijke kennisgrafen leiden, waardoor het erg moeilijk zal worden om een goede contentmapping toe te passen. Bovendien wordt het daarna lastig om een logisch samenhangend leerpad te definiëren. Dit risico heeft zowel betrekking op de ontwikkelaar die er veel te veel tijd voor nodig zal hebben, maar ook voor de student die in een te sterk geatomiseerde indeling zijn weg nog maar moeilijk zal kunnen vinden. Volgens de klassieke methode voor het opstellen van een kennisgraaf wordt de leerstof eerst verdeeld in eenheden met gebruik van een (uitputtende) onderwerpenlijst. Daarbij worden de gekozen items van een zo laag mogelijk niveau gehouden. Daarna worden de gevonden eenheden geclusterd, die in het onderwijsmateriaal als aaneengesloten stukken voorkomen. Deze clustering wordt gerelateerd aan de indeling van het onderwijsmateriaal. Wil je de methode voor het opstellen van een kennisgraaf helemaal volgen dan is dat een nogal bewerkelijk proces (zie ook: Kaper, Heck & Tempelaar, 2005).

Een eerste verkenning door het projectteam geeft aan dat het opdelen in hoofdonderwerpen als pragmatische, werkbare methode wordt gezien. Hoofdonderwerpen zijn veelal ook herkenbaar als hoofdstukken in het te gebruiken tekstboek. In bepaalde gevallen bevat een hoofdstuk verschillende hoofdonderwerpen, meestal herkenbaar op paragraafniveau. Het kan uiteraard voorkomen dat een hoofdonderwerp over verschillende hoofdstukken is verdeeld. Het kiezen van een hoofdstukindeling is daarom een logisch vertrekpunt, maar het is uiteindelijk aan de inhoudsdeskundige wat hij/zij precies als hoofdonderwerp in de kennisgraaf wenst op te nemen.

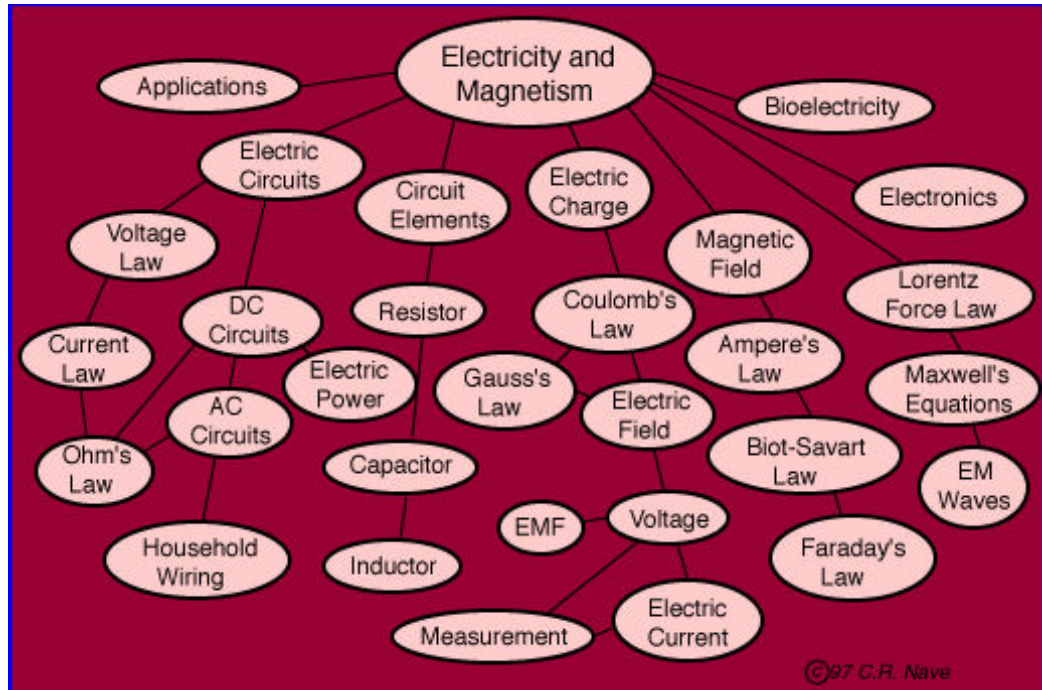
Er worden soms vraagtekens geplaatst wat de meerwaarde van kennisgrafen en de daaraan gerelateerde contentmaps is. Eerste gesprekken met betrokken docenten dreigen wel eens in atomisering uit te monden (wat je dus niet wil). Bovendien voelt men niet altijd de noodzaak om een kennisgraaf 'op papier' uit te gaan werken, terwijl men die impliciet toch al in het hoofd heeft zitten. Op het moment dat er ook nog eens sprake is van één docent die een aantal samenhangende vakken verzorgt, vervalt ogenschijnlijk nog een reden om met kennisgrafen en contentmaps te gaan werken. Om een aantal redenen is echter aan te bevelen om juist wel met kennisgrafen te werken:

- Eenheden en onderlinge relaties worden expliciet gemaakt
- De kennisgraaf heeft een documentatiefunctie, ten behoeve van:
 - overdracht naar andere docenten in het team
 - overdracht aan docenten in hogere jaren (zodat zij weten hoe bepaalde onderwerpen behandeld zijn)
 - een eventuele opvolger
- Via contentmapping kunnen knelpunten goed geïdentificeerd en geanalyseerd worden. Indien de tijd beperkt is kun je besluiten om je in eerste instantie alleen op de grootste knelpunten te concentreren en deze gericht aan te pakken.

Het is voorstelbaar dat niet alle docenten even goed in staat zijn om zelfstandig kennisgrafen te ontwikkelen. Een goede werkwijze is om dit in teamverband te doen. Samen erover praten en knelpunten proberen op te lossen werkt vaak inspirerend. Een coördinator kan een goede rol vervullen door de hoofdlijnen te bewaken en te zorgen dat atomisering wordt tegengegaan. Eventueel kan worden gedacht aan coaching van het team of de individuele docent door een onderwijskundige of een vakdidacticus. Op deze wijze kan worden bereikt dat docenten het gevoel krijgen dat de gevolgde aanpak de moeite loont en uiteindelijk tot de oplossing van een aantal knelpunten zal leiden.

Om kennisgrafen op te stellen kan je gebruik maken van specifieke tools zoals Microsoft Visio of MicroGrafx Flowcharter. Eventueel zijn flowcharts ook te creëren met de standaard functies in Word, maar dit is minder eenvoudig. Voor wie geen grafische weergave van een kennisgraaf wil maken is een alternatieve oplossing om dit tekstueel – in de vorm van tabellen - te doen. De hoofdonderwerpen worden dan in verschillende tabelkolommen in Word of in Excel geplaatst. Dit gaat op zich goed zo lang er vooral sprake is van enkelvoudige relaties tussen elementen uit de verschillende kennisgrafen. Is dat niet zo dan wordt een tabel al snel onoverzichtelijk. Voor complexere kennisgrafen c.q. contentmaps is daarom aan te bevelen om met een grafische tool te werken.

De volgende afbeelding toont een kennisgraaf voor Elektriciteit & Magnetisme, die tevens als navigatie-instrument dient: de gebruiker kan klikken op de elementen van de kennisgraaf en krijgt dan de bijbehorende inhoud te zien.



Figuur 6: Interactieve kennisgraaf Elektriciteit & Magnetisme (Bron: Hyperphysics⁵)

Lorentz Force Law

Both the [electric field](#) and [magnetic field](#) can be defined from the Lorentz force law:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

Electric force
Magnetic force

The electric force is straightforward, being in the direction of the electric field if the charge q is positive, but the direction of the magnetic part of the force is given by the [right hand rule](#).

Electric force qE

Electric Field

Magnetic Field

Magnetic force of magnitude $qvB\sin\theta$ perpendicular to both v and B , away from viewer.

[HyperPhysics****Electricity and Magnetism](#) R Nave

Figuur 7: Ontsluiten van content via de kennisgraaf (Bron: Hyperphysics)

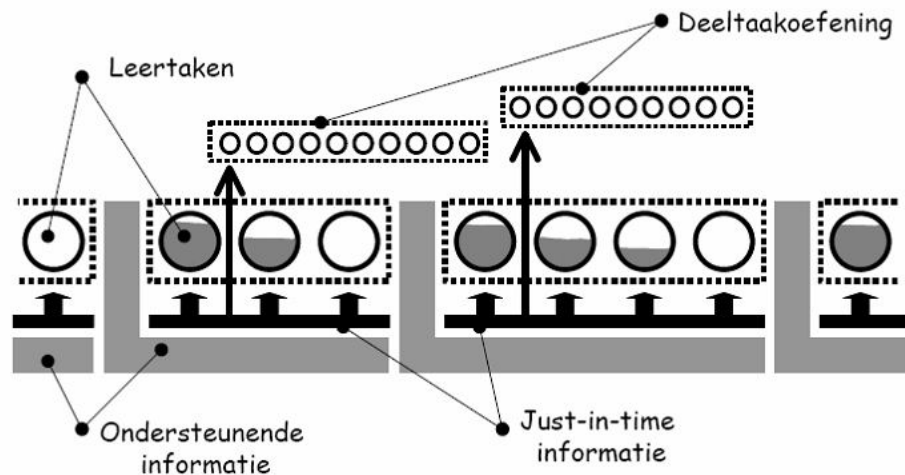
3.2.2 Taakanalyse op basis van 4C-ID

Het ordeningsprincipe dat in de vorige paragraaf is besproken is contentdriven. Er wordt uitgegaan van de concepten uit de verschillende domeinen die uiteindelijk in een leerpad worden geordend. Het leerpad vormt daarmee de ruggengraat van het vak en in het verlengde daarvan vormt een verzameling leerpaden de ruggengraat van de opleiding. Een ander ordeningsprincipe wordt aangereikt door het inmiddels zeer bekende 4C-ID model (Van Merriënboer, 1997; Janssen & Van

⁵ <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>



Merriënboer, 2002). Dit model geeft handvatten voor het ontwerpen van een leeromgeving die gericht is op het stimuleren van complex leren, integreren van leren en werken en het bieden van ingebouwde ondersteuning. Het is onlangs succesvol toegepast bij een groot herontwerpproject van alle techniekopleidingen aan de Hanzehogeschool Groningen (Cremers e.a., 2006).



Figuur 8: Het 4C-ID model

Het 4C-ID model, gericht op het aanbrengen / trainen van complexe vaardigheden c.q. competenties stelt de *leertaken* centraal in het instructie ontwerp. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de hoeveelheid begeleiding die is benodigd gedurende de leertaak afneemt (in de figuur tot uitdrukking gebracht door een afnemende vulling van de grote cirkels). Binnen de competentiegerichte benadering die het uitgangspunt vormt van het 4C-ID model is behalve het trainen van vaardigheden (te oefenen in leertaken) het aanbrengen van de benodigde declaratieve en procedurele kennis minstens zo belangrijk. Dit gebeurt door het aanreiken van *ondersteunende informatie*. De ondersteunende informatie betreft onder andere de (abstracte) concepten die nodig zijn om de taken te kunnen verrichten. De informatie kan worden aangereikt via boeken, readers, instructie door de docent, via de elektronische leeromgeving of in de vorm van multimediale inhoud. Ondersteunende informatie is beschikbaar gedurende de hele taak. Een variant hierop betreft de zogeheten *just-in-time informatie*. Zoals de naam al aangeeft is dit specifieke informatie die gegeven de status van een taak wordt gegeven. Dit kan bijvoorbeeld een coach zijn die gedurende de uitvoering van de taak sturende informatie geeft die de student verder helpt. Als je in ICT toepassingen denkt, dan gaat het bijvoorbeeld om contextgevoelige help of intelligent agents die op basis van handelingen van de gebruiker bepaalde informatie verstrekken. De vierde en laatste component betreft de *deeltaakoefeningen*. Dit heeft betrekking op onderdelen van de hoofdtak en kan veelal in drill & practice vorm worden verstrekt. De computer kan hier een goede rol bij spelen in verband met de mogelijkheid om snelle feedback te verstrekken.

Hoe verhouden de ideeën van het 4C-ID model zich tot de aanpak van domeinintegratie zoals die in eerdere paragrafen van dit document is geschetst? Teruggrijpend op de concept- versus contextgerelateerde benadering dan is deze goed op het 4C-ID model te projecteren. Het conceptgerelateerde deel zit dan met name in de ondersteunende informatie, het contextgerelateerde deel in de leertaken. De toepassing van applicaties zoals Maple TA, Matlab, etc. is vooral een invulling van het aspect deeltaakoefening. De student oefent bepaalde onderdelen en krijgt snelle feedback via de computer. Bij wat meer uitgebreide opdrachten die via een voorgestructureerd werkblad worden aangeboden kan de student op zoek naar de specifieke informatie die nodig is voor het oplossen van de werkbladopdracht. Hier is sprake van het vinden van just-in-time informatie in functie van de opdracht. Uitgebreide en geïntegreerde werkbladopdrachten kunnen in termen van 4C-ID als leertaak worden beschouwd.

Het 4C-ID model dient in het kader van dit project niet als harde designrichtlijn te worden opgevat, maar biedt veel meer een kader waarbinnen zekere vrijheidsgraden mogelijk blijven. Er is dan eerder sprake van een oplossing die 'geïnspireerd' is op het 4C-ID model (zie: Janssen, 2006). Ofschoon het model met name geschikt is voor het gestructureerd ontwerpen van een competentiegerichte opleiding kunnen accenten worden aangebracht in de balans tussen kennis, vaardigheden en attitude die nodig is om de eindtermen te behalen. Van Merriënboer stelt dat het zeer wel mogelijk is om eerst de abstracte, fundamentele kennis aan te brengen om daarna te werken aan contextgerelateerde leertaken.



Afhankelijk van de kenmerken van het vak is het model meer of minder geschikt om te gebruiken. Afgaande op de discussies in de projectgroep en voorbeelden die in de literatuur kunnen worden gevonden (o.a. Janssen, 2006) lijkt het 4C-ID model beter te passen bij transformaties waarbij het accent op de contextbenadering ligt. Voor vakken die zich vooral richten op het aanbrengen van abstracte concepten is een probleemgestuurde benadering minder gewenst of van toepassing. In dat geval wordt de zogenaamde ondersteunende informatie eerder als de kern van het vak gezien in plaats van de reeks opeenvolgende taken die de student dient te verrichten. De taken zijn dan ondersteunend voor de concepten, doordat ze een praktijktoepassing van het concept demonstreren. In die zin wordt het model dus in een afwijkende volgorde toegepast.

Het is opvallend dat gerapporteerde implementatie-ervaringen van 4C-ID vooral in het hogere beroepsonderwijs zijn terug te vinden. Indien er belangstelling vanuit universitaire opleidingen is, komt die meestal vanuit opleidingen met een meer beroepsgericht karakter. Voorbeelden zijn (technische) geneeskunde, bestuurskunde, industrieel ontwerpen en rechten. Competentiegerichte leermodellen zijn daar al breder geaccepteerd dan wel sterk in opkomst, wat bijvoorbeeld tot uitdrukking komt in het implementeren van vormen van projectonderwijs. Volgens van Merriënboer is 4C-ID bruikbaar voor meer academische domeinen, mits je erin slaagt real-life taken te vinden die kenmerkend zijn voor de werkzaamheden zoals die na de studie kunnen worden uitgevoerd. Een goede illustratie hiervan is dat de opleiding Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente kiest voor een onderwijsmodel waarin 'leren in professionele context aan de hand van complexe taken' bepalend is (Ruijter, 2006). Hieraan zou je nog kunnen toevoegen dat de toepasbaarheid van 4C-ID toeneemt naarmate men zich verder in de opleiding bevindt. Bij mastervakken zal de oriëntatie op de periode na de studie sterker zijn dan bij vakken die in het 1^e bachelorjaar worden gegeven. Een concreet voorbeeld van een academische implementatie van 4C-ID betreft een aantal psychologie docenten in het psychologiecurriculum van de Open Universiteit. Zij waren aanvankelijk zeer sceptisch over de mogelijkheden van competentiegericht onderwijs en 4C-ID. Nadat drie competenties gedefinieerd waren (onderzoek doen, diagnosticeren en behandelen) bleek het toch goed mogelijk om beroepstaken te identificeren en daarop leertaken te baseren. Goede begeleiding van de docenten bleek daarbij essentieel.

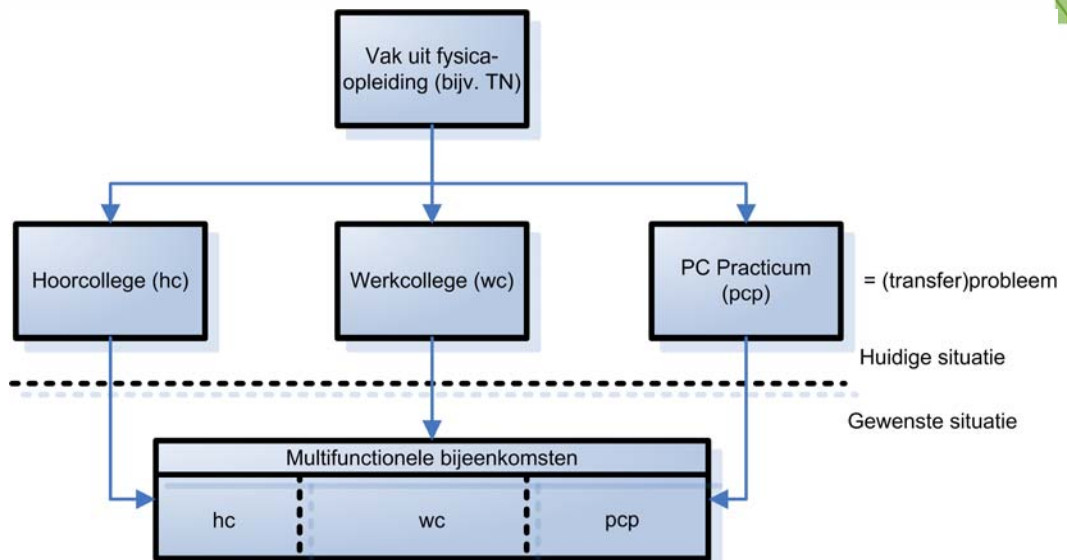
In het project zien we het onderscheid HBO-WO naar voren komen in de zin dat in het bijzonder Saxion Hogescholen inzet op de ontwikkeling van werkbladen voor Simulink en Matlab als kern van de nieuwe opzet, om daarmee het wiskunde- en natuurkundedomein sterker met elkaar te verbinden c.q. te integreren. De reeks Matlab/Simulink opdrachten vormt de rode draad en kan worden gezien als een reeks leertaken in de betekenis van 4C-ID. Bij het ontwerpen van de opdrachten (werkbladen) kunnen de inzichten van het 4C-ID model bijna 1 op 1 worden toegepast. Bij de academische partners is relatief sterke aandacht voor de rechtstreekse contentmapping tussen de domeinen, waarbij het aanbrengen van meer abstracte wiskunde concepten een hoge prioriteit houdt.

Samenvattend kan over de toepasbaarheid van het 4C-ID model in het kader van dit project het volgende worden gesteld:

- Vooral geschikt voor contextgerelateerde onderdelen waar real-life taken/opdrachten een centraal staan krijgen; (abstracte) concepten worden aangereikt in functie van het oplossen van de leertaak;
- Model biedt voldoende flexibiliteit om andere accenten aan te brengen en schrijft niet alles voor;
- De plek in de opleiding (bachelor of master) is mede van invloed op de bruikbaarheid van 4C-ID;
- 4C-ID lijkt minder geschikt indien het aanbrengen van abstracte, meer fundamentele concepten centraal staat, maar is wel bruikbaar als opstap naar uit te voeren taken, in ons geval toepassing van wiskunde concepten in fysica context; de laag van de ondersteunende informatie wordt dan in feite tot kern verheven;
- Lijkt vooralsnog makkelijker toepasbaar in het HBO, hoewel ook WO opleidingen zich meer en meer op competentiegerichte leermodellen gaan richten. Er zijn eerste ervaringen bekend van 4C-ID in academische domeinen.

3.3 Werkvormintegratie

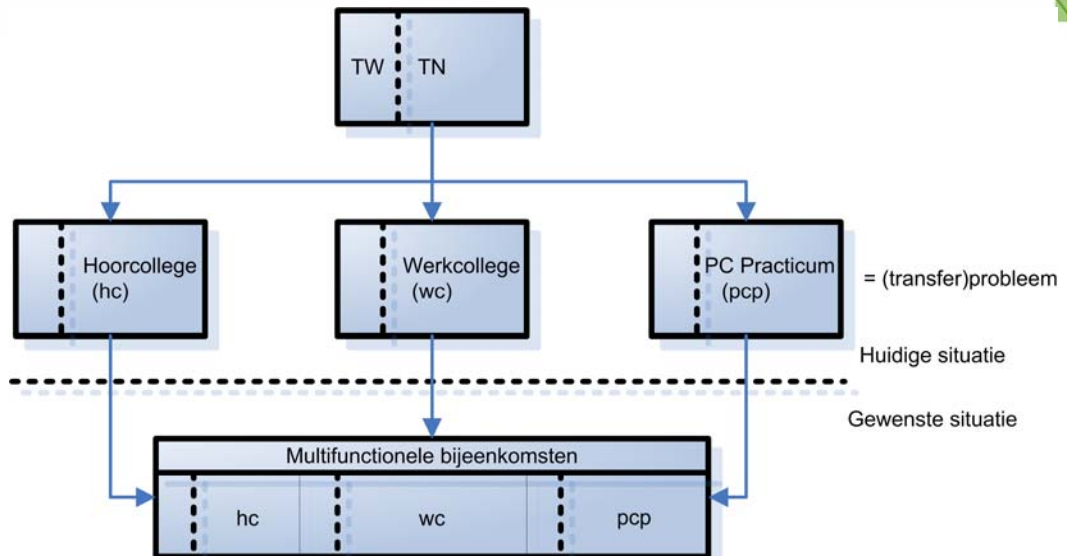
Zoals in paragraaf 3.1 geïntroduceerd heeft dit aspect met name betrekking op het punt dat voorheen gescheiden werkvormen (hoorcollege, werkcollege en computer practicum) meer met elkaar worden verweven en in ieder geval inhoudelijk en qua timing beter op elkaar afgestemd worden.



Figuur 9: Ontwerp van multifunctionele bijeenkomsten

De algemene idee is dat verschillende werkvormen binnen het tijdsbestek van een onderwijsbijeenkomst worden afgewisseld. Nu is het in sommige vakken al praktijk dat hoorcollege en computerpracticum elkaar binnen een sessie afwisselen. Studenten moeten dan tussentijds opdrachten uitvoeren, waarbij de docent of een studentassistent als begeleider rondlopen. Het idee is dat de transfer (theorie <-> praktijk) tussen verschillende leeractiviteiten wordt verbeterd. Studenten kunnen het geleerde in een practicumsetting toepassen (activerend onderwijs). Om een en ander soepel te laten verlopen is het gebruik van een multifunctionele ruimte (Studielandschap of Studio Classroom) een belangrijke randvoorwaarde. Laptops of desktop PC's zijn in deze omgevingen vanzelfsprekend een geïntegreerd hulpmiddel. Het voordeel van laptops is dat alle studenten hun eigen computer ter beschikking hebben. Hierdoor wordt voorkomen dat er te snel een taakverdeling ontstaat (bijv. als je in tweetallen werkt) waarbij bepaalde studenten (dat zijn in de praktijk vaak degenen die er al goed in zijn) het computerwerk voor hun rekening nemen (Ruijter, 2005). Bovendien kan iedere student gemakkelijker applicaties op een eigen laptop installeren en thuis nog een bekijken ten opzichte van een situatie met desktop PC's. Als je in een klassieke collegezaal zonder computers zit, is het lastig om afwisseling te creëren. Indien je als organisatie multifunctionele bijeenkomsten wilt organiseren stelt dat dus eisen aan de beschikbare onderwijsruimtes en aan de verroostering.

Het invoeren van multifunctionele onderwijsbijeenkomsten gebeurt tot nu toe vooral binnen de context van een enkel vak. Met behulp van de domeinintegratie-aanpak zoals die in de vorige paragraaf is beschreven is het mogelijk om hier een volgende stap te zetten. Op basis van de contentmapping is op enig moment bekend welke (abstracte) wiskundevoorkennis is benodigd voor het fysicavak dat studenten volgen. Het 'practicumdeel' binnen een multifunctionele bijeenkomst kan naar onze opvatting ook ingezet worden om juist deze voorkennis opnieuw te activeren. Als voorbeeld kun je denken aan een Maple TA practicum binnen een Engineering vak, waarbij teruggerepen wordt op voorkennis die is opgedaan bij een vak als Wiskunde B2. Indien de benodigde voorkennis niet of onvoldoende aanwezig is, kan een remediatieprogramma worden aangeboden waarmee studenten hun kennishiaat kunnen opvullen.



Figuur 10: Domeinintegratie bij multifunctionele bijeenkomsten

In Figuur 10 is afgebeeld hoe domeinintegratie een rol kan spelen bij multifunctionele bijeenkomsten. Voor de doelstellingen van dit project kan zelfs gesteld worden dat het verwezenlijken van domeinintegratie belangrijker is dan sec het organiseren van multifunctionele bijeenkomsten. Dat laatste gebeurt nu al in zekere mate en voegt daarom weinig toe aan de huidige onderwijspraktijk.

3.4 Toetsing

Met de transformatie naar een geïntegreerde aanpak van wiskunde en fysicavakken zal ook de wijze van toetsing opnieuw bekeken moeten worden. Als de toetsing blijft uitgaan van de klassieke scheiding tussen vakken kan niet worden gemeten of de integratie daadwerkelijk gerealiseerd is. De toetsing zal derhalve meer een competentiegericht karakter moeten krijgen in de zin dat voor het kunnen oplossen van de toetsopdrachten er een beroep wordt gedaan op kennis en vaardigheden die in verschillende vakken is opgedaan en integraal samenkomen in de toetsopdracht. Zo is voorstelbaar dat een van de toetsopdrachten bijvoorbeeld met Maple kan worden uitgevoerd, waarbij studenten zowel met de wiskundige concepten als met de natuurkundige context worden geconfronteerd. De relatie tussen de gehanteerde onderwijsvorm en de wijze van toetsen wordt daarmee versterkt en daarmee ook de geloofwaardigheid van het model. Zodra bekend is dat studenten toch niet worden getoetst op hun integrale kennis en vaardigheden, zullen ze ook tijdens het geïntegreerd onderwijs daar weinig moeite meer voor doen. Ze maken weer geïsoleerde toetsen op kleine deelgebieden, maar verwerven geen inzicht over de dwarsverbanden tussen deze gebieden. Het transferprobleem zal uiteindelijk niet worden opgelost als de toetsing geen onderdeel vormt van de geïntegreerde aanpak.

3.5 Verificatie van het didactisch ontwerp

Het didactisch ontwerp zoals in de vorige paragrafen beschreven bevat een aantal ingrediënten die naar onze mening bijdragen aan de oplossing van een urgent probleem. Het wiskunderesultaat gaat steeds verder achteruit. Dit ontwerp en bijbehorende docentenhandleiding geeft een handvat om er praktisch mee aan de slag te gaan. Er is goed gekeken naar eerdere ervaringen op dit gebied en verbeteringsuggesties die daaruit zijn voortgekomen zijn meegenomen in dit ontwerp. Concreet voorbeeld is de aanbeveling dat de terugkoppeling naar de abstracte wiskunde expliciet en actief moet gebeuren om de beoogde en zo gewenste verankering van de wiskundige kennis voor elkaar te krijgen. Het is plausibel dat de geïntegreerde aanpak werkt en dat het de moeite loont. Studenten worden door de voorgestelde aanpak beter voorbereid op de beroepspraktijk (denk aan de keuze van applicaties die in het beroepsveld worden gebruikt), zodat de aansluiting daar hopelijk ook beter gaat verlopen.

We realiseren tegelijkertijd dat het ontwerp in de praktijk geverifieerd zal moeten worden. Op dit moment (oktober 2006) vinden de eerste implementaties plaats in het kader van het project. Bij de evaluatie zal in elk geval worden gekeken naar de concrete verbeteringen die de nieuwe opzet heeft opgeleverd, de benodigde tijdsbesteding en welke (extra) hulp nodig was bij het ontwerpen. Verder zal bij elk van de deelnemende instellingen een klankbordgroep worden geraadpleegd naar aanleiding van de eerste ervaringen die zijn opgedaan. Indien de evaluatie en de reacties van de klankbordgroep daar aanleiding toe geeft zal het ontwerpdocument op bepaalde punten worden bijgesteld. Uiteindelijk zal het ontwerpdocument een status krijgen dat



het gevalideerd is in de praktijk en dat aanbevelingen die worden gedaan daadwerkelijk tot de gewenste verbetering leiden. Naarmate het ontwerp kan worden verrijkt met 'bewijslast' dat het in de praktijk werkt zal de belangstelling en de behoefte toenemen om het bij andere vakken - en wellicht ook andere domeinen - toe te passen. Het spreekt voor zich dat disseminatie in de vorm van vakpublicaties of presentaties tijdens seminars of conferenties daar een bevorderende rol in kunnen spelen.

Tot slot is het van belang om te benadrukken dat het ontwerp als inspiratiebron moet worden gezien en geen keurslijf in de zin dat alle stappen exact in de voorgeschreven volgorde moeten plaatsvinden. Het is voorstelbaar dat een opleiding (eerst) kiest om alleen domeinintegratie toe te passen en geen werkvormintegratie. Die ruimte is aanwezig. Het is dan echter een vraag in hoeverre de effecten van de integratie even sterk zullen zijn.

4 Docentenhandleiding

Dit hoofdstuk vormt de praktische uitwerking van hoofdstuk 3 en heeft tot doel om docenten(teams) stapsgewijs door het proces heen te leiden. De handleiding is enerzijds bedoeld voor de docentcoördinatoren die de inzet van een docententeam aansturen, anderzijds op de individuele docent die zijn onderwijs moet gaan verzorgen op basis van het GSO model.

Er zijn verschillende modellen denkbaar afhankelijk van een situatie waarin je als individuele docent verantwoordelijk bent voor een integratieproces versus een situatie waarin je lid bent van een docententeam. De noodzaak om alle stappen (zie hieronder) te doorlopen is het grootst in een teamsituatie, omdat de output van elke stap een documentatie- en een communicatiefunctie heeft. Een individuele docent zou in eerste instantie de stappen 3 en 4 over kunnen slaan. De domeinkennis en integratiemogelijkheden zitten vaak impliciet in het hoofd van de docent. Zeker bij ervaren docenten zal dit het geval zijn. Aangezien stap 3 en 4 bewerkelijke processen betreft, is voorstelbaar dat een docent versneld tot een tastbaar resultaat komt door van stap 2 gelijk naar stap 5 te gaan. We willen echter nadrukkelijk wijzen op de documentatie- c.q. kennismanagementfunctie van stap 3 en 4. Er bestaat altijd risico op uitval (bijv. als gevolg van ziekte of verandering van baan), waardoor het onderwijs door een collega moet worden overgenomen. Het behoeft geen betoog dat dit eenvoudiger gaat naarmate de gevolgde stappen gedocumenteerd zijn. Daarnaast bieden kennisgraf en contentmaps het voordeel dat je gestructureerd en systematisch te werk kunt gaan. Je kunt in de contentmap bijvoorbeeld eerst die afhankelijkheden beschrijven waar de grootste knelpunten liggen en dan meteen de vervolgstappen doorlopen. Vervolgens een tweede serie knelpunten, etc. Een iteratieve werkwijze is makkelijker als eerdere stappen gedocumenteerd zijn. Onze aanbeveling is om altijd te documenteren, bij voorkeur gelijk. Als het door tijdgebrek of het feit dat je alleen werkt niet meteen gebeurt, doe dit dan zo snel mogelijk achteraf. Een risico hiervan is dat het dan helemaal niet meer gebeurt, omdat de urgentie dan verdwenen is (het vak wordt pas een jaar later opnieuw gegeven).

De volgorde van de te nemen stappen is in hoofdlijnen dezelfde als die in hoofdstuk 3 is gehanteerd. Dit maakt het makkelijk om achtergrondinformatie te raadplegen. Waar mogelijk zullen de beschreven stappen worden geïllustreerd met concrete voorbeelden op basis van werk dat al in de projectgroep is verricht. Sommige voorbeelden zijn grafisch, andere geven in de vorm van tekstuele beschrijvingen de aanpak die men heeft gevolgd c.q. wil gaan volgen. De tekstvoorbeelden zullen in *cursief* te herkennen zijn.

In de te volgen aanpak kunnen de volgende stappen worden onderscheiden:

1. Analyseer de doelgroep en didactische randvoorwaarden
2. Inventarisatie van knelpunten
3. Beschrijf de inhoud van vakken in kennisgraf
4. Beschrijf de afhankelijkheden tussen wiskunde- en fysicavakken door middel van contentmapping
5. Beschrijf welke (aanvullende) (oefen)materialen benodigd zijn
6. Beschrijf de werkvormen die gehanteerd gaan worden
7. Ontwikkel taken en opdrachten met gebruikmaking van symbolisch-mathematische software
8. Ontwerp toetsing
9. Professionalisering en begeleiding van docenten

4.1 Analyse van de doelgroep en didactische randvoorwaarden

Voordat daadwerkelijk met het herontwerp wordt begonnen is het belangrijk om eerst een aantal randvoorwaarden te inventariseren.



4.1.1 Plaats in het curriculum

- Bekijk voor het (de) vak(ken) waarvoor u verantwoordelijk bent de plaats in het curriculum
- Analyseer de samenhang met andere vakken en bepaal welke voorkennis u verwacht c.q. welke kennis en vaardigheden u met uw vak aanbrengt ten behoeve van vakken die verderop in het curriculum worden gegeven.
- Entameer overleg met collega-docenten (of doe dit via de opleidingscoördinator) om de samenhang tussen de verschillende onderdelen / vakken globaal in kaart te brengen.
- Bepaal wederzijds welke knelpunten u ervaart.
- Maak een keuze of het vak door verschillende docenten kan worden gegeven of door één docent. Het voordeel van werken met verschillende docenten is dat je mensen met de grootste affiniteit in een van de deelaspecten kunt inzetten. Nadeel is dat tijdens de uitvoering van het vak continu overdracht nodig is om integratie te bewerkstelligen. Uit ervaring blijkt het voor studenten erg moeilijk om in een dergelijke situatie het overzicht te behouden.
- Een opzet waarbij het vak door één docent wordt gegeven lijkt te prefereren. Dit geeft weliswaar een hogere belasting voor die docent, maar heeft als grote voordeel dat er veel vrijelijker tussen de onderdelen kan worden gesprongen wat de integratie zal ondersteunen en het generalistische aspect versterkt. Het is wel aan te bevelen om ter ondersteuning en verbetering van het wiskundeonderdeel een (toegepast) wiskundige te betrekken om de aanpak en vorm van de onderdelen te bekijken evenals naar de mogelijkheden om hierbij ondersteunende software in te zetten. De ontwikkeling van (onderdelen) van een vak kan gebaat zijn bij een ontwikkelteam dat bestaat uit personen met verschillende relevante achtergrond in kennis en vaardigheden.
- Maak met het oog op de doelgroep en de specifieke kenmerken van het vak een keuze voor meer context- dan wel conceptgerelateerde werkvormen. Als het primaat ligt bij het aanbrengen van veel abstracte, fundamentele concepten zal het accent meer op hoor- en werkcollege liggen. Ligt het accent meer op context, dan zullen er relatief meer praktische taken en opdrachten nodig zijn, die studenten in het kader van werkcollege en/of computerpracticum moeten uitvoeren.

“De opleiding Advanced Technology (AT) is een recentelijk gestarte bachelors opleiding aan de Universiteit Twente (UT) die beoogt een brede engineering kennis over te dragen op haar studenten. Het programma bevat o.a. chemische, fysische, elektrotechnische en werktuigbouwkundige onderdelen plus de benodigde mathematische onderbouw hiervan evenals ondersteunende relevante maatschappelijke en economische vakken. Binnen deze setting wordt er in het eerste jaar van de opleiding een drietal "Introduction to Engineering" vakken aangeboden. Deze vakken beogen klassieke mechanica (wetten van Newton, behoudswetten, rotaties, oscillatoren), werktuigbouwkundige (statica en onderdelen uit stijfheid en sterkte), elektrotechnische (netwerkanalyse en eenvoudige componenten) met elkaar en met de benodigde wiskunde te verbinden.”

4.2 Inventarisatie van knelpunten

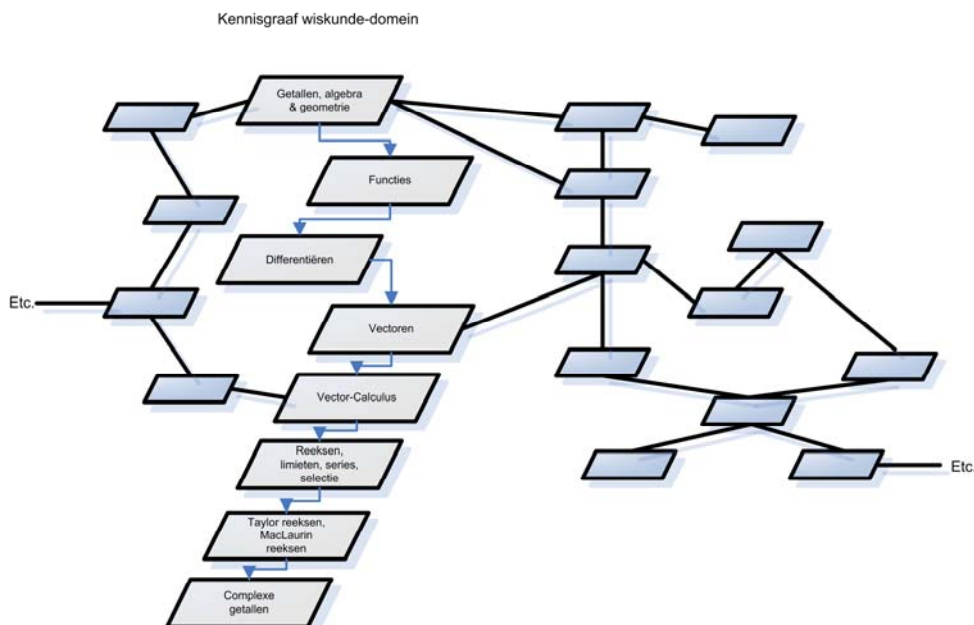
Het ontwikkelen van geïntegreerd science onderwijs is ingegeven door de probleemstelling dat wiskunde en sciencevakken teveel als aparte vakken worden beschouwd, waardoor de onderlinge transfer onvoldoende is. Vakonderdelen worden niet gecombineerd, waardoor studenten oog voor de samenhang verliezen.

Om knelpunten aan te kunnen pakken zijn de volgende stappen van belang:

- Inventariseer de (wiskundige) kennis en vaardigheden die bij de start van de cursus van een sciencevak onvoldoende worden beheerst door de studenten. Dit kan op basis van recente vakevaluaties of door het inzetten van tools als Maple TA, waarmee de voorkennis bij instroom kan worden getoetst.
- Inventariseer of er boeken of methoden bestaan die onderdelen uit de verschillende domeinen met elkaar combineren. Sommige uitgevers (o.a. Prentice Hall) bieden tegenwoordig mogelijkheden om zelf boeken samen te stellen uit een reeks te kiezen hoofdstukken. Op deze wijze kan domeinintegratie mede vorm krijgen via de ondersteunende tekstboeken. Nadeel van dit model is dat er lay-out verschillen tussen opeenvolgende hoofdstukken kunnen optreden en dat heen- en terugverwijzingen lastig te realiseren zijn.
- Ga na of er verschillende notaties worden gehanteerd over de verschillende onderdelen. Maak afspraken over welke notatie te hanteren. Als dat niet kan, besteed expliciet aandacht aan de verschillen en maak via extra uitleg meer inzichtelijk waarom twee notaties die er ogenschijnlijk verschillend uitzien toch betrekking op hetzelfde concept kunnen hebben.
- Bepaal waar het primaat voor het herontwerp moet komen te liggen. In beginsel zal zowel aan de kant van de (abstracte) wiskunde als aan de kant van de fysicavakken een transformatie nodig zijn. Het kan echter zijn dat het knelpunt meer bij het ene



Strikt genomen is dit echter nog geen goed voorbeeld van een kennisgraaf. Kenmerkend voor een kennisgraaf is de weergave in een netwerkstructuur. Elementen (of knopen) in de kennisgraaf kunnen relaties met verschillende andere elementen hebben. Bovendien kun je het type relatie specificeren, bijv. 'is onderdeel van', 'is voorwaardelijk voor' etc. Een kennisgraaf biedt meer flexibiliteit om elementen uiteindelijk in verschillende volgorde (leerpaden) aan te bieden.



Figuur 13: Thema's uit Wiskunde voor Engineering in een kennisgraaf

In Figuur 13 zien we dezelfde thematische indeling als in de tabel van Figuur 12, maar nu weergegeven via een kennisgraaf. De kennisgraaf laat zien dat er behalve de lineaire ordening mogelijk nog andere leerpaden zijn te definiëren. Het feit dat bepaalde hoofdstukken uit het boek worden overgeslagen geeft aan dat er ruimte is voor verschillende ordeningen. Keuzes voor een bepaalde ordening kunnen bovendien zijn ingegeven door het feit dat de kennisgraaf bij de volgende stap gerelateerd moet worden aan de kennisgraaf van een ander domein, de zogeheten contentmapping. Het is daarom aan te bevelen om het opstellen van de kennisgraaf in teamverband te doen, zodat de contentmapping eenvoudiger wordt.

Een goed uitgewerkte kennisgraaf kan overigens mede behulpzaam zijn om de uiteindelijke studielast te kunnen bepalen. Elk element uit de kennisgraaf representeert een bepaalde hoeveelheid leermateriaal met bijbehorende leeractiviteiten. Maak per element een inschatting van de bijbehorende studielast, bij voorkeur al tijdens het inventariseren van te behandelen thema's. Door dit bij te houden in een spreadsheet wordt onmiddellijk zichtbaar als de studielast voor het totaal uit de hand dreigt te lopen. Aangezien het opzetten van een goed doordachte kennisgraaf bewerkelijk is, is aan te bevelen om de geschatte studielast op voorhand te berekenen.

Tenslotte: kies de thema's die in de kennisgraaf komen niet te klein. Dit is onnodig bewerkelijk, is moeilijker te onderhouden en maakt het koppelen via de contentmapping eveneens veel complexer. Zoals in Figuur 13 afgebeeld door middel van de kleiner weergegeven eenheden, zou je naast de hoofdthema's eventueel nog met maximaal twee niveaus subthema's kunnen werken.

4.4 Contentmapping

Bij de vorige stap heeft u (en de betrokken collegadocenten) door middel van kennisgraaf zo goed mogelijk in kaart gebracht welke (sub)thema's aan de orde moeten komen en in welke volgorde. In deze stap wordt de domeinintegratie daadwerkelijk tot stand gebracht doordat thema's uit het ene domein worden verbonden met één of meer thema's uit het andere domein. U gaat nu bepalen welke wiskundige leerinhoud(en) op welke plek is/zijn benodigd en andersom naar welke fysicacontexten u vanuit de wiskunde vooruit kunt blikken.

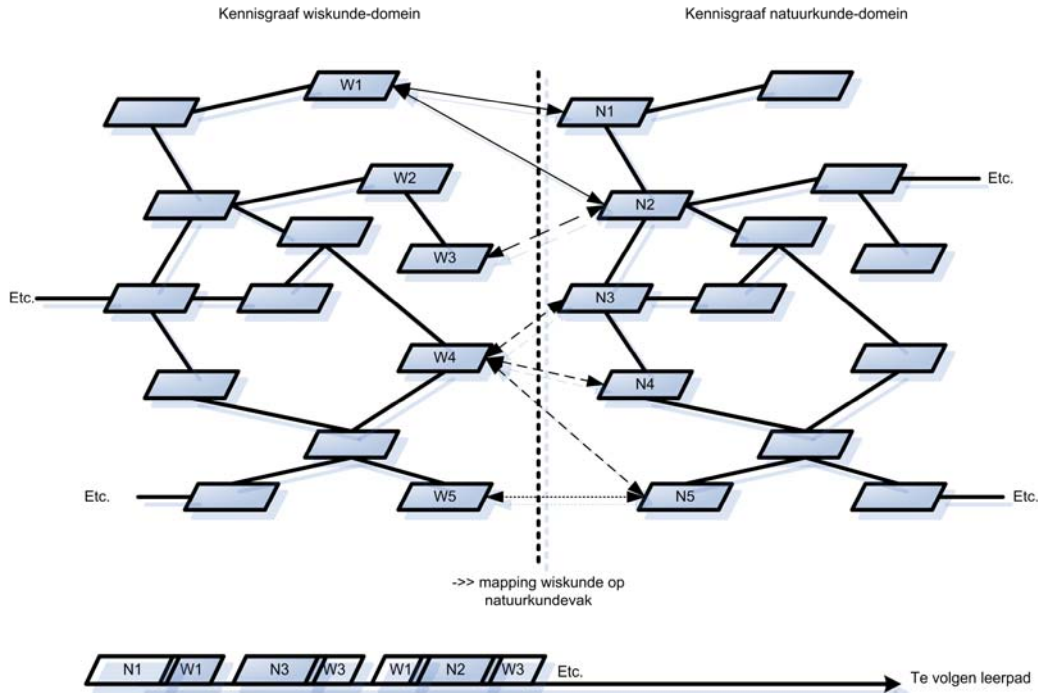
Bij stap 3 hebben we geadviseerd om al bij het opstellen van de kennisgraaf regelmatig teamoverleg te voeren. Zo kan een ieder bepalen welke thema's hij/zij van belang acht binnen zijn domein en belangrijker nog hoe men de relatie met het andere domein ziet. Het eenvoudigste voorbeeld is afstemming te bereiken over welke wiskunde voorkennis men verondersteld aanwezig te zijn bij aanvang van een fysicavak. Nu zit het veelal in de hoofden van betrokken docenten. Door



contentmapping maken we de relaties expliciet en wordt gedocumenteerd hoe we de domeinintegratie vormgeven.

“We willen de wiskundige inhoud van Structuur der Materie, Quantumchemie en Calculus 1 in kennisgrafen beschrijven en deze in samenhang met de VWO-B1 lesstof aan elkaar relateren via contentmapping”.

Om de contentmapping inzichtelijk te maken is een grafische representatie aan te bevelen. Belangrijk voordeel is dat multiple relaties tussen contentelementen op het niveau van thema's snel inzichtelijk gemaakt kunnen worden. Gezien het belang van deze stap grijpen we terug op Figuur 5:



Figuur 14: Contentmapping is tweerichtingsverkeer

Ten opzichte van Figuur 5 is een belangrijke toevoeging gedaan in de zin dat de verbindingspijlen tussen de twee domeinen allen tweerichtingspijlen zijn. Het GSO model gaat er namelijk vanuit dat bij de uitwerking in de thema's uit beide domeinen het een en ander zal moeten gebeuren om de integratie mogelijk te maken.

Bij ontbreken van de benodigde tools is contentmapping eventueel ook mogelijk door tabellen naast elkaar af te beelden en de onderlinge dwarsverbanden aan te geven. In het voorbeeld van Figuur 15 zien we een vorm van contentmapping op hoofdstukniveau van twee verschillende boeken. Uit de afbeelding wordt duidelijk dat bijvoorbeeld hoofdstuk 1 en 2 uit Engineering Mathematics behandeld moeten zijn, vóórdat hoofdstuk 1 uit de Klassieke Mechanica aan bod komt. Dit is echter een vrij grofmazige vorm van contentmapping. Beter is om in elk geval van een thematische indeling uit te gaan (zie bijv. Figuur 12) en hier vervolgens de relevante verbindingen te leggen.



oefenmateriaal te kunnen dienen (en dus ook de lesstof die daarin aan bod komt niet te buiten gaan)".

Aangezien dit project een veranderproject is, wordt als uitgangspunt gehanteerd dat de ontwikkeling van nieuw materiaal relatief beperkt blijft. Juist door samenwerking en uitwisseling van materialen met collega-docenten kan de integratie veelal worden bewerkstelligd door reeds beschikbare materialen 'simpelweg' op een andere plek in het curriculum aan te bieden (zie de quote in voorgaande alinea).

4.6 Beschrijving van te hanteren werkvormen

In paragraaf 3.3 is uiteengezet hoe de keuze voor te hanteren werkvormen een aanvullende bijdrage kan leveren aan de integratie van de verschillende domeinen. Vertrekkend vanuit een situatie dat de samenhangende vakken verspreid over de tijd worden gegeven zijn de volgende verbeteropties mogelijk:

- Invoering van blokonderwijs
- Invoering van geïntegreerde werkvormen

4.6.1 Invoering van blokonderwijs

De vakken waar transfer tussen wordt voorzien worden in de vorm van blokonderwijs gegeven. Studenten zijn gedurende een aantal opeenvolgende weken uitsluitend met deze vakken bezig, waardoor de transfer wordt bevorderd door het minimaliseren van tijdsintervallen:

Dinsdag		Woensdag	
Omschrijving		Omschrijving	Stof
Functies, inleiding, definities	W: 2.1 - 2.2 (58 - 76)	Fysica, grootheden, eenheden, nauwkeurigheid, dimensionele analyse	D: 1.1 - 1.5 (1 - 14)
Functies, inleiding, definities	W: 2.1 - 2.2 (58 - 76)	Fysica, grootheden, eenheden, nauwkeurigheid, dimensionele analyse	D: 1.1 - 1.5 (1 - 14)
Functies, inleiding, definities	W: 2.1 - 2.2 (58 - 76)	Fysica, grootheden, eenheden, nauwkeurigheid, dimensionele analyse	D: 1.1 - 1.5 (1 - 14)
Review Toets inleiding functies	W: 2.1 - 2.2 (58 - 76)	Circuit analyse, spanning, stroom, basis elementen, vermogen en energie	E: 1.1 - 1.6 (1-18)
Functies, Lineaire, kwadratische functies	W: 2.1 - 2.3 (58 - 86)	Circuit analyse, spanning, stroom, basis elementen, vermogen en energie	E: 1.1 - 1.6 (1-18)
Functies 2.2.2, 2.2.6, 2.3.4	W: 2.1 - 2.3 (58 - 86)	Circuit analyse, spanning, stroom, basis elementen, vermogen en energie	E: 1.1 - 1.6 (1-18)
Functies 2.2.2, 2.2.6, 2.3.4	W: 2.1 - 2.3 (58 - 86)	Circuit analyse, spanning, stroom, basis elementen, vermogen en energie	E: 1.1 - 1.6 (1-18)
Maple & Matlab Spelen met en visualiseren van functies, kennismaking met de software	M: 1.2 M: 16 - 21	Maple & Matlab Spelen met en visualiseren van functies, kennismaking met de software	E: 1.1 - 1.6 (1-18)

Figuur 16: Programmering van blokonderwijs voor Engineering I

In Figuur 16 zien we de programmering van twee opeenvolgende dagen voor een drietal samenhangende vakken die samen Engineering I vormen. Wiskunde, Dynamica, Elektronica en Computerpractica worden gedurende de hele dag afgewisseld. Wel is het zo dat de reguliere werkvormen (hoorcollege, werkcollege, practicum, zelfstudie) in het normale collegerooster is geprogrammeerd. De transformatie beperkt zich in die zin dat alles wordt samengeperst in een aantal weken waarin studenten met niets anders bezig zijn dan Engineering I. Daarnaast kan transformatie worden versterkt door het blokonderwijs door één docent te laten verzorgen. Deze kan de transfer tussen de verschillende onderdelen dan zelf bewaken, maar vergt voor de



betreffende docent wel een behoorlijke belasting. Aan de invulling van de bijeenkomsten zelf hoeft in deze situatie niet veel te veranderen, het is hoofdzakelijk een kwestie van andere verrooftering. Op het moment dat we de grenzen tussen verschillende werkvormen gaan doorbreken en er binnen een tijdseenheid zowel hoorcollege, werkcollege als practicum wordt gegeven is sprake van geïntegreerde werkvormen. Hier gaan we in de volgende paragraaf verder op in.

4.6.2 Geïntegreerde werkvormen

Het belangrijkste veranderdoel bij de realisatie van geïntegreerde werkvormen is dat vormen van klassikale overdracht en zelfstandig werken hand in hand gaan binnen de tijdseenheid (veelal 45 – 50 minuten) van een bijeenkomst. De gangbare overdracht van wekelijks een aantal hoorcolleges, werkcollege en een apart computerpracticum wordt verlaten en met elkaar vermengd. Een typisch voorbeeld van een geïntegreerde aanpak is dat er gedurende een aantal minuten (max. 20) een vorm van klassikale overdracht plaatsvindt ('hoorcollege') ter oriëntatie en activering van voorkennis. Daarna krijgen studenten een beperkt aantal opdrachten die ze al dan niet met behulp van speciale software (zie volgende paragraaf) zelf moeten oplossen. Naar keuze kan het ook om een groepsopdracht gaan. De docent (evt. geassisteerd door een student-assistent) verleent hulp indien daar aanleiding dan wel behoefte toe bestaat. Op basis van de vragen en geconstateerde problemen last de docent op enig moment vijf minuten in voor een plenaire toelichting. Daarna kan weer verder worden gegaan met de opdrachten. Op het moment dat alle opdrachten zijn voltooid kan de cyclus worden herhaald. Er ontstaat een iteratieve cyclus met als belangrijkste kenmerk dat activiteiten elkaar voortdurend en met een hogere frequentie afwisselen dan bij het blokonderwijs dat in de vorige paragraaf is beschreven.

Binnen de domeinen die in dit project centraal staan, is het gebruik van symbolische-mathematische software een belangrijk uitgangspunt, waarmee studenten een veel rijkere oefenomgeving krijgen aangeboden. Om optimaal gebruik te maken van geïntegreerde werkvormen is het wenselijk om een multifunctionele ruimte te gebruiken. Voorbeelden zijn de Studio Classroom (UvA) met desktop PC's, maar tegelijkertijd met goede mogelijkheden voor plenaire instructies of het multifunctionele studielandschap (UT) met laptops. De laatstgenoemde vorm biedt meer mogelijkheden voor groepswork, maar vereist van de docent meer organisatievermogen om het herschikken van meubilair enigszins soepel te laten verlopen. Er zijn docenten die het rondit chaotisch vinden of te rumoerig.

Wilt u gebruik maken van multifunctionele onderwijsruimtes dat is het evident dat deze binnen de organisatie aanwezig moeten zijn dan wel dat ze beschikbaar zijn voor reservering. Het voordeel van laptops is dat het geïntegreerd onderwijs eventueel in een gewone werkcollegezaal kan worden gegeven. Beschikken studenten niet over laptops en zijn er geen multifunctionele ruimtes in de zin zoals hierboven genoemd dan zijn tussenvormen mogelijk door bijvoorbeeld tijdens een klassiek pc practicum te beginnen met een plenaire theoretische uitleg en pas daarna de computeropdrachten te verstrekken.

Wat verder centraal staat bij de werkvormintegratie is dat deze samen zou moeten gaan met de domeinintegratie. Er is sprake van inhoudelijk en qua timing betere afstemming. Na afloop van een inleiding over wiskundige functies is het bijvoorbeeld denkbaar dat er opdrachten uit een dynamica context worden aangeboden. Verschillende integratieprincipes grijpen op deze manier dus in elkaar.

“De vakken Calculus en Elektriciteit en Magnetisme zouden zich prima kunnen lenen voor geïntegreerde werkvormen. Korte orale sessies worden afgewisseld door zelfwerksessies op basis van de werkbladen. Onderdelen kunnen worden afgesloten met een orale samenvatting. De aanpak sluit aan bij een professionele inzet van laptops in een wireless omgeving die flexibel werken mogelijk maakt”.

“Het werkcollege van Calculus 1 voor scheikundestudenten wordt uitgebreid zodat er meer tijd is om te oefenen, sommen met studenten te bespreken, en aandacht te geven aan chemiegerelateerde of chemiegemotiveerde opdrachten”.

“Wij gaan de cursus Matlab/Simulink uitbreiden met contexten uit de modules conform de symboliek en methodiek van de basismodulen. Binnen deze cursus besteden we specifiek aandacht aan transfer”.

4.7 Ontwikkel taken en opdrachten met gebruikmaking van symbolisch-mathematische software

Gebruik van symbolisch-mathematische software ter bevordering van inzicht in de behandelde wiskunde. Hierbij gaat het er niet zozeer om met computerhulpmiddelen tot (numerieke)



oplossingen te komen, maar dient deze in het bijzonder om analytische oplossingen - zoals door studenten gegenereerd - op de computer (verder) te verkennen.

Een praktische uitwerking van deze aanpak kan worden gerealiseerd door het maken van elektronische werkbladen (bijv. in Mathematica of Maple), waarin de structuur van een concept of probleem wordt opgezet, en waarin de studenten de uitwerking moeten realiseren.

Als globale werkwijze voor het inzetten van dergelijke werkbladen kan een getrapte invoering worden gehanteerd via de stappen: schatten, runnen, inzoomen.

- Bij *schatten* moeten de studenten op basis van inzicht globaal aangeven wat de oplossing van het probleem is.
- Bij *runnen* gebruiken ze de software om de verschillende aspecten van het probleem door te rekenen.
- Bij *inzoomen* wordt ingegaan op deelaspecten van de structuur, waarbij van belang is om de abstracte wiskunde die wordt gebruikt expliciete aandacht te geven en desgewenst deeloefeningen aan te reiken.

Bij het opzetten van deze werkbladen kan het 4C-ID model prima als hulpmiddel worden gebruikt. Janssen (2006) heeft het model in 10 praktische stappen uiteengegemaakt, die eventueel ook in een andere volgorde doorlopen kunnen worden. Zo kunt u bijvoorbeeld vertrekken vanuit de ondersteunende informatie en daar vervolgens de leertaken bij ontwikkelen. Voordeel van het starten met de leertaak is dat u vertrekt vanuit een geïntegreerde benadering. Ondersteunende informatie is zowel vanuit het wiskunde- als vanuit het fysicadomein te betrekken.

De 10 stappen uit 4C-ID:

Leertaken	Formuleer (acceptabele) uitvoering van de taak Stel de volgorde van de taakklassen vast Ontwerp de leertaak
Ondersteunende informatie (theorie, abstract)	Analyseer mentale modellen Analyseer cognitieve strategieën Ontwerp ondersteunende informatie
Just-in-time informatie (to the point, context)	Analyse regels en procedures Analyseer vereiste kennis Ontwerp just-in-time informatie
Deeltaakoefening	Ontwerp deeltaakoefening

We zullen elke stap kort toelichten.

4.7.1 Formuleer uitvoering van de taak

Bepaal aan welke criteria de uitvoering van de taak moet voldoen, zodat deze acceptabel is in vergelijking met een mogelijke real-life uitvoering van deze taak.

4.7.2 Stel de volgorde van de taakklassen vast

Uitgaande van het gebruik van samengestelde taken is van belang dat u hier de verschillende taakklassen bepaalt en de juiste volgorde kiest. Bijv. kies onderzoeksvraag, bepaal steekproef, stel enquête op, verzamel data, analyseer data, interpreteer resultaten.

4.7.3 Ontwerp de leertaak

Op basis van de vorige twee stappen ontwerpt u de volledige leertaak. In de context van dit project is de concrete output een werkblad dat de student voor Mathematica of Simulink kan gebruiken.

4.7.4 Analyseer mentale modellen

In deze stap bepaalt u welke kennis componenten studenten nodig kunnen hebben om tot een oplossing van de leertaak te komen. Deze componenten kunnen zowel thema's uit het fysicadomein als uit het wiskundedomein betreffen.

4.7.5 Analyseer cognitieve strategieën

Analyseer welke strategieën gehanteerd kunnen worden om tot een oplossing van de taak te komen. Afhankelijk van de gekozen strategie is mogelijk andere ondersteunende informatie nodig.



4.7.6 Ontwerp ondersteunende informatie

Deze informatie heeft de student nodig als basis (achtergrondinformatie). Kennis- en vaardighedencomponenten die nodig zijn voor de leertaak worden hier bij elkaar geplaatst. Volgens de domeinintegratie aanpak kan het zowel (abstracte) wiskunde concepten als meer concrete fysicacontexten betreffen. De ondersteunende informatie heeft betrekking op de hele taak.

4.7.7 Analyseer regels en procedures

Vanaf deze stap wordt ingezoomd op de kleinere taakklassen. Welke regels en procedures dienen te worden gevolgd om een deeltaak uit te voeren? Bijvoorbeeld: waar moet je allemaal op letten als je een onderzoekssteekproef wilt trekken, gelet op de onderzoeksvraag.

4.7.8 Analyseer vereiste kennis

Hier brengt u in kaart welke kennis is vereist om de regels en procedures juist toe te passen. In aansluiting op het vorige voorbeeld kan de vereiste kennis bijvoorbeeld betrekking hebben op een onderwerp als "populatie en steekproef".

4.7.9 Ontwerp just-in-time informatie

Hier ontwerpt u de informatie die specifiek nodig is bij een bepaalde deeltaak. Kenmerkend is dat deze onmiddellijk kan worden toegepast in de situatie waar de student op dat moment mee bezig is. Informatie of hij wel of niet een aselechte steekproef moet trekken, heeft de student nodig op het moment dat hij zijn respondenten moet gaan zoeken.

4.7.10 Ontwerp deeltaakoefening

Bij de 10^e en laatste stap ontwerpt u deeltaakoefeningen die studenten kunnen doen als extra ondersteuning. Deeltaakoefening concentreert zich op een klein aspect van de leertaak en leent zich in veel gevallen ook voor uitvoering op de computer. Voor de uitvoering van een deeltaak kan het bijvoorbeeld nodig zijn om op enig moment het nulpunt van een bepaalde functie uit te moeten rekenen. Door deeltaakoefeningen (met feedback) te ontwerpen kunnen studenten dit aspect gericht oefenen, bijvoorbeeld met inzet van Maple TA.

"Een aantal elementen Matlab/Simulink ontwikkelen om binnen de basismodulen en eventueel het practicum te laten uitvoeren als praktische opdracht".

"Bij Structuur der materie bestaat al een verzameling wiskundig oefenmateriaal voor bij de cursus (als pre- en posttoetsen) die oorspronkelijk in QuestionMark Perception geïmplementeerd waren. Deze opdrachten worden omgezet in Maple T.A. formaat en uitgebreid met nieuwe sommen die het computeralgebra-gebaseerde toetsstelsel mogelijk maken".

"Bij Quantumchemie wordt het arsenaal van wiskundig oefenmateriaal met Maple T.A. uitgebreid en verbeterd met betrekking tot de feedback naar studenten. Hiermee kan het accent meer op oefenen en blijven oefenen van wiskunde en haar toepassing in het eerste jaar van scheikundestudenten komen te liggen opdat ze toch het verlangde niveau bereiken".

4.8 Ontwerp toetsing

In de voorgaande stappen heeft u gewerkt aan de (domein)integratie van wiskunde- en fysicavakken. Hiertoe zijn de wederzijdse afhankelijkheden geëxpliciteerd en zijn vakken getransformeerd naar een nieuwe opzet. Via geïntegreerde werkvormen zijn de domeinen meer met elkaar verweven en zijn inhoudelijk en qua timing beter op elkaar afgestemd. Met de transformatie van de vakken zal ook het ontwerp van de toetsing opnieuw bekeken moeten worden. Als de toetsing nog steeds uitgaat van de klassieke scheiding tussen vakken kan niet worden gemeten of de integratie daadwerkelijk gerealiseerd is. De toetsing zal derhalve meer een competentiegericht karakter moeten krijgen in de zin dat voor het kunnen oplossen van de toetsopdrachten er een beroep wordt gedaan op kennis en vaardigheden die in verschillende vakken zijn opgedaan en integraal samenkomen in de toetsopdracht. Bij samengestelde toetsopdrachten is voorstelbaar dat er een deel is dat zich op de toetsing van de benodigde wiskunde richt en een deel waarin deze wiskunde wordt ingezet in een bepaalde context. Op deze manier wordt zowel de contextbenadering als de conceptbenadering getoetst.

4.9 Professionalisering en begeleiding van docenten

Het is aan te bevelen om docenten die bij een transformatieproject worden betrokken door middel van workshops en/of via individuele begeleiding te coachen. Dit betreft onder andere de nieuwe manier van onderwijsontwikkeling, het omgaan met afwisselende werkvormen tijdens een



bijeenkomst of het op een goede wijze inzetten van symbolisch-mathematische software. Behalve dat docentcompetenties daarmee worden bevorderd zal het ook de acceptatie verhogen als docenten het gevoel hebben dat ze voldoende ondersteund worden.

Professionalisering vindt ook plaats door te werken met docententeams. Door verschillende expertises samen te brengen, gezamenlijk knelpunten te tackelen, elkaar van materiaal te voorzien ontstaat een werkomgeving die veel inspirerender is in vergelijking met de situatie dat je alleen met je eigen vak bezig bent. Uiteindelijk help je elkaar door beter op elkaar aan te sluiten en zodoende de kwaliteit van de gehele opleiding te verbeteren.

5 Projectteam

In onderstaande tabel staan de mensen die in het projectteam actief zijn dan wel een rol in de reviewcommissie hebben. Gehanteerde rollen zijn: projectmedewerker (PM), projectleider (PL), deelprojectleider (DPL), lid reviewgroep (RV).

Naam	Rol	Instelling	Taak / Verantwoordelijkheid
Joop Temmink	PM/DPL	Saxion	Inhoudsdeskundige; contactpersoon Saxion
Hans Mulder	PM	Saxion	Inhoudsdeskundige
Jeroen Verschuur	PM/DPL	UT	Inhoudsdeskundige; contactpersoon UT
Ruud van Damme	PM	UT	Inhoudsdeskundige
Gijs Krijnen	PM	UT	Inhoudsdeskundige
Andre Heck	PM/DPL	UvA	Inhoudsdeskundige; contactpersoon UvA
Jasper Bedaux	PM	UvA	Inhoudsdeskundige
Chris van Weert	RV	UvA	Lid reviewgroep; Fysica
Bert Zwaneveld	RV	OUNL	Lid reviewgroep; Wiskunde, Informatica
Rob Martens	RV	UniLeiden	Voorzitter reviewgroep; Onderwijskunde
Stanley Portier	PL/PM	UT	Projectleider / onderwijskundige

5.1 Probleemeigenaren

Naam	Functie	Instelling
Ir. Johan de Jong	Manager Onderwijs Innovatie	Saxion Hogescholen
Prof. Dr. Chris van Weert	Onderwijsdirecteur Exacte Wetenschappen	Universiteit van Amsterdam
Dr. Clemens Pouw	Opleidingsdirecteur Technische Natuurwetenschappen	Universiteit Twente

6 Bronnen

Brandts, J. (2005). Studio Course in Studio Classrooms. *NAW 5/6*, 3, pp. 244-246.

Brouwer, N., Engelbarts, M., Heck, A., Hoof, J. van, Kaper, W., Bemmels, H. van, Klumpers, K., & Hees, F. van (2004). *Interactief bètaonderwijs: Ervaringen uit de praktijk*. Utrecht: SURF Publicaties.

Coburn, W.W. (1993). Contextual constructivism: The impact of culture on the learning and teaching of science. In K. G. Tobin (Ed.) *The practice of constructivism in science education* (pp. 51-69). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Commissie Vernieuwing Natuurkunde Onderwijs (2006). *Natuurkunde leeft*. Amsterdam: Nederlandse Natuurkundige Vereniging (www.nnv.nl).

Cremers, P, Eggink, J., & Hoetink, F. (2006). 4C/ID: De puzzel past steeds beter. *Onderzoek van Onderwijs*, 35, 9-14.

Cummings, K., Marx, J., Thornton, R., & Kuhl, D. (1999). Evaluating innovation in studio physics. *Physics Educational Research, American Journal of Physics (Supplement)*, 67, S38-S44.



- Engelbarts, M., & Brouwer, N. (2004). *Interactieve Bètaleeromgeving: Eindrapportage*. Universiteit van Amsterdam, Universiteit Utrecht.
- Enns, R.H. & McGuire, G.C. (2001). *Computer Algebra Recipes: A Gourmet's Guide to the Mathematical Models of Science*. New York: Springer.
- Essen, G. van & Surink, H. (2004). *Pilot laptopproject LED, opleiding IPO: Plan van aanpak*. Saxion Hogescholen.
- Finkelstein, N. F. (2003). Coordinating instruction in physics and education. *Journal of College Science Teaching*, 33, 37–41.
- Finkelstein, N. F. (2005). Learning Physics in Context: A study of student learning about electricity and magnetism. *International Journal of Science Education*, 27, 1187–1209.
- Hake, R.R., Wakeland, R., Bhattacharya, A., & Sirochman, R. (1994). Assessment of individual student performance in an introductory mechanics course. *AAPT Announcer*, 24–4, 76.
- Hake, R.R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 64–74.
- Heck, A. (2006). *Diagnostisch toetsen met Maple TA*. Presentatie tijdens de conferentie Wiskunde voorkennis voor het hoger onderwijs, 9 maart 2006.
- Heck, A. & Gastel, L. van (2006). Diagnostic Testing with Maple TA. *Electronic proceedings of WebALT 2006*. (<http://webalt.math.helsinki.fi/content/results/docs/proceedings2006/>).
- Heck, A., & Gastel, L. van (in press). Mathematics on the threshold. *International Journal of Mathematical Education in Science & Technology*.
- Hoellwarth, C., Moelter, M.J., & Knight, R.D. (2005). A direct comparison of conceptual learning and problem solving ability in traditional and studio style classrooms. *American Journal of Physics*, 73, 459–462.
- Kaper, W., Heck, A., & Tempelaar, D. (2005). *Webspijkereen: beschrijving van kennis in twee dimensies, geïllustreerd aan twee cursussen aan de UM en UvA*. Kwartaalrapportage SURF.
- Janssen, A.M.B. (2006). Hoe praktisch is het Vier Componenten Instructieontwerpmodel? *Onderzoek van Onderwijs*, 35(2), 24-27.
- Janssen, A.M.B. & Merriënboer, J. J.G. van (2002). *Innovatief Onderwijs Ontwerpen: Via leertaken naar complexe vaardigheden* (Hoger Onderwijs Reeks). Groningen: Wolters Noordhoff.
- McDermott, L.C. (1991). Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned—Closing the gap. *American Journal of Physics*, 59, 301–315.
- McDermott, L.C. (1993). Guest Comment: How we teach and how students learn—A mismatch? *American Journal of Physics*, 61, 295–298.
- Meltzer, D.E. (2002). The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: A possible "hidden variable" in diagnostic pretest scores. *American Journal of Physics*, 70, 1259-1268.
- Merriënboer, J.J.G. van (1997). *Training complex cognitive skills*. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.
- Meyer, C., & Jones, T. B. (1993). *Promoting active learning: Strategies for the college classroom*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Outhuis, H. (2003). *ICT Beleidsplan 2004-2007*. Saxion Hogescholen.
- Portier, S., Bedaux, J., Damme, R. van, Heck, A., Krijnen, G., Mulder, J., Temmink, J. & Verschuur, J. (2006). *Geïntegreerd Science Onderwijs*. Definitiestudie. Utrecht: Digitale Universiteit.



Portier, S.J., Pouw, C., Jong, J.A. de, & Weert, Ch. Van (2005). *Geïntegreerd Science Onderwijs*. DU Projectoutline, 18-10-2005.

Projectteam MathMatch (2005). *MathMatch: Aansluitingsmodule wiskunde*. Definitiestudie. Utrecht: Digitale Universiteit.

Redish, E. F. (1994). Implications of cognitive studies for teaching physics. *American Journal of Physics*, 62, 796–803.

Ruijter, C.T.A. (2005). Inrichting van een leeromgeving: het multifunctionele studielandschap bij Industrieel Ontwerpen (UT). In: Mirande, M., Veen, J. van der & Wende, M. van der (Red.), *Van trend naar transformatie: ICT-innovaties in het hoger onderwijs*. Groningen/Houten: Wolters-Noordhoff.

Simons, R.J., Linden, J. van der, & Duffy, T. (2000). *New Learning*. Deventer: Kluwer Academic Publishers.

Soest, S. van, Beusekamp, M. & Veen, J.T. van der (2004). *ICTO-voorzieningen in nieuwe TNW huisvesting*. ITBE adviesrapport.

The Connexions Approach. <http://www.cnx.org/aboutus/philosophy>. Laatst geraadpleegd op: 20-09-2006.

Thoresen, M.J. & Gross, C.M. (2000). Factors contributing to success in college physics. *AAPT Announcer*, 30~4, 128.

Verslag kick-off bijeenkomst Geïntegreerd Science Onderwijs d.d. 19-01-2006.

Van der Wende, M.C. e.a. (2003). *UT Campus Blend: Strategische oriëntatie op differentiatie en flexibiliteit in het onderwijs aan de UT en de rol van ICT hierbij*. Notitie van de Stuurgroep ICT in het Onderwijs.

Wilson, J.M. & Jennings, W.C. Studio courses: How information technology is changing the way we teach, on campus and off. *P IEEE 2000*, 88 (1): 72-80. Zie ook www.JackMWilson.com

Zwaneveld, G. (1999). *Kennisgrafien in het wiskundeonderwijs*. Academisch Proefschrift Open Universiteit. Maastricht: Shaker Publishing BV.

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>. Laatst geraadpleegd op: 20-09-2006.

<http://www.matheverywhere.com/mei>. Laatst geraadpleegd op: 09-09-2006.

<http://www.mathworks.com> (Matlab & Simulink). Laatst geraadpleegd op: 11-10-2006.

7 Opmerkingen en aanbevelingen reviewcommissie

Op 26 september 2006 is dit document (0.9 versie) besproken met de reviewcommissie. De commissie is qua samenstelling ongewijzigd ten opzichte van de definitiefase en kon zich daarom een goed oordeel vormen over de ontwikkeling van het project.

Ten opzichte van de definitiefase zijn er twee belangrijke aandachtspunten die van belang zijn: Naar aanleiding van de definitiefase is met goedkeuring van de Digitale Universiteit besloten tot een geïntegreerde ontwerp- en realisatiefase. Dit betekent dat het ontwerpdocument niet samenvalt met een formele faseovergang, maar meer dient als inhoudelijke voortgangsrapportage. Aanbevelingen van de reviewcommissie zullen zoveel mogelijk worden verwerkt in het definitieve ontwerpdocument.

De commissie heeft expliciet verzocht om te kunnen spreken met leden van de projectgroep. Dit met als doel om rechtstreeks van hen te vernemen hoe zij de ontwerpspecificatie in hun specifieke situatie denken te gaan gebruiken. De projectleider heeft erop toegezien dat elke deelnemende instelling was vertegenwoordigd, zodat een representatief beeld ontstaat met betrekking tot de (gedeelde) visie van de projectgroep.

In het resterende deel van dit hoofdstuk wordt een puntsgewijze samenvatting gegeven van de opmerkingen / aanbevelingen die de commissie gedaan heeft. Deze samenvatting is op 2-10-2006 per e-mail door alle leden van de reviewcommissie geaccordeerd. Indien een aandachtspunt tot een wijziging in dit document heeft geleid, is dit in *cursief* toegelicht.



Aanwezig

Reviewcommissie: Rob Martens (vz.), Bert Zwaneveld en Chris van Weert

Projectteam: André Heck (UvA), Gijs Krijnen (UT), Hans Mulder (Saxion), Stanley Portier (UT, pl)

- Het ontwerpdocument vormt een goede aanzet ter ondersteuning van de realisatie van geïntegreerd science onderwijs. Er is waardering voor het **enthousiasme** en de **inspirerende** sfeer die de projectgroep uitdraagt.
- Maak duidelijk voor welke doelgroep(en) het document bedoeld is.

Tekstaanpassingen in hoofdstuk 2 (samenvatting) en § 3.1, met vermelding van verschillende doelgroepen. Voor docenten tevens te gebruiken als leeswijzer: ga verder met hoofdstuk 4 als je alleen maar met de praktische aanbevelingen aan de slag wilt.

- Besteed bij de uitwerking voldoende aandacht aan **kwaliteitsborging**: hoe weet je dat de dingen die je doet ook daadwerkelijk tot verbetering zullen leiden?. Probeer al tijdens de uitvoering te kijken welke verbeteringen worden behaald en zonodig bij te sturen. Let op de afstemming van je **leerdoelen** met de wijze van **toetsing**. Een geïntegreerde benadering volgen en daarna toch gesegmenteerd toetsen doet geen recht aan het doel dat je wilde nastreven.

Nieuwe § 3.4 toegevoegd met betrekking tot toetsing.

Nieuwe § 3.5 toegevoegd met betrekking tot verificatie van het ontwerp bij de realisatiefase.

Opgedane ervaringen zullen waar nodig tot bijstelling van het ontwerpdocument leiden (versie 2.0).

- Besteed aandacht aan **overtuigingskracht** (in dit document, maar ook later) om anderen deze opzet / aanbevelingen ook te laten gebruiken. Het probleem is urgent, maar maak nog duidelijker waarom en onder welke specifieke omstandigheden deze oplossing werkt? Kan ook via vormen van disseminatie.

Tekstaanpassingen in § 3.2.1, alinea over de meerwaarde van contentmapping als methode om (grootste) probleemgebieden te identificeren en gericht aan te pakken.

Nieuwe § 3.5 toegevoegd met betrekking tot verificatie van het ontwerp bij de realisatiefase.

Opgedane ervaringen zullen waar nodig tot bijstelling van het ontwerpdocument leiden (versie 2.0).

- Wat is de meerwaarde van **contentmapping**? De reviewcommissie signaleert risico's van atomisering en het feit dat dit een bewerkelijk proces is. Kunnen docenten dit en zo ja, gaan ze het ook doen. Maak duidelijker of je contentmapping als aanbeveling doet of niet.

Tekstaanpassingen in § 3.2.1, alinea over de meerwaarde van contentmapping.

- Let op de **consolidatie** van de wiskunde: de 'terugkoppelingspijl' (Figuur 1 in ontwerpdocument) vanuit de context naar de abstracte wiskunde verdient **expliciete** aandacht van de docent. Het gebeurt niet vanzelfsprekend, waardoor je het doel van transfer naar vakken die verderop in het curriculum zitten niet haalt.

Tekstaanpassingen in hoofdstuk 2 (samenvatting), § 3.1 en 3.2. Figuur 1 en 2 zijn gewijzigd met kleuraccent op de terugkoppelingspijl.

- De commissie merkt op dat er **verschillende modellen** denkbaar zijn voor situaties waarin je werkt met 1 docent of met meer docenten. Werk je met meer docenten dan heeft contentmapping meerwaarde in de documentatie / overdracht.

Tekstaanvulling bij hoofdstuk 4 (algemeen deel).

- Besteed gedurende de uitvoering aandacht aan **disseminatie**: klankbordbijeenkomsten per instelling, Innovatium 2007, publicatie in vakblad.
 - *Aan elk van de drie instellingen zal minimaal één klankbordbijeenkomst (zie planning in definitiefasedocument) worden georganiseerd op het moment dat het project aan de hand van een concreet resultaat kan worden gepresenteerd. Deze bijeenkomst dient enerzijds om informatie over het project te dissemineren, anderzijds om feedback van de klankbordgroep te krijgen, zodat de resultaten mogelijk verbeterd kunnen worden. Als spin-off kan een enthousiasmerende bijeenkomst met een*



klankbordgroep een eerste aanzet tot verbreding geven. Bijvoorbeeld in de zin dat het GSO model ook bij andere vakken toegepast gaat worden.

- *Het projectteam is voornemens een bijdrage aan Innovatium 2007 te leveren.*
- *Het projectteam overweegt – mist het resultaat daartoe aanleiding geeft – een publicatie in een vakblad voor te bereiden. Als alternatief wordt aan een eindconferentie gedacht, gericht op vakgenoten in de domeinen wiskunde en science.*

De commissie verklaart zich bereid om op toekomstige versies van dit document of resultaatbeschrijvingen te reflecteren.

Als ultieme disseminatie wordt de suggestie geopperd om het project af te sluiten middels een eindconferentie. Dan breng je het resultaat nog eens groots onder de aandacht van vakgenoten die zich met deze problematiek bezighouden. Aangezien in het DU project verder geen formele bijeenkomsten met een reviewcommissie meer zijn zal de commissie in elk geval voor deze eindconferentie worden uitgenodigd.