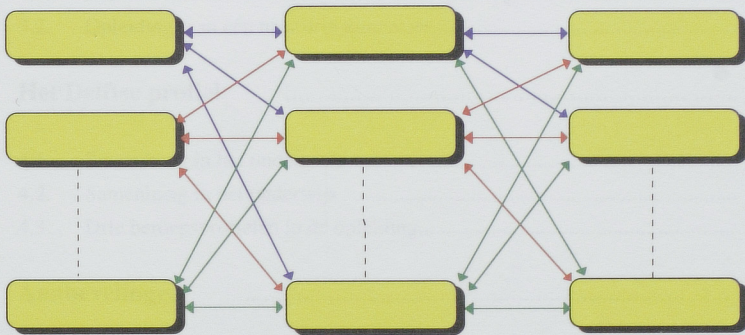


Naar een sterker profiel voor de technisch-wetenschappelijke opleiding

Prof.dr.ir. A.J. Berkhout
Oud voorzitter van de Adviesraad
Technologiebeleid TU Delft



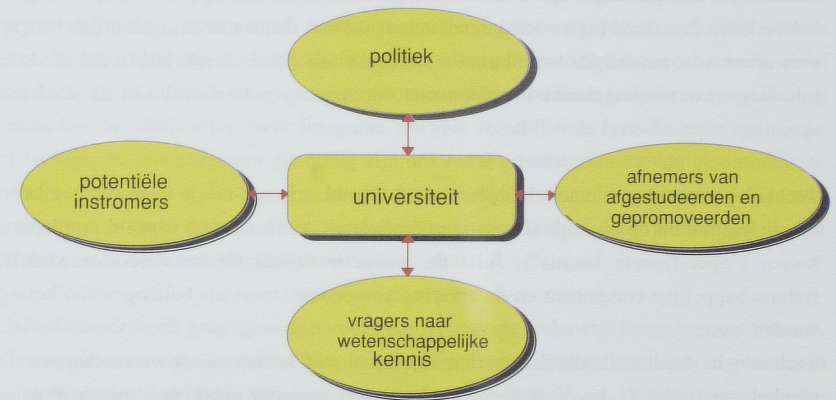
Inhoudsopgave

1. De Universitaire omgeving	19
1.1. Kennis, kennis, kennis	20
1.2. Samenhang, samenhang, samenhang	21
1.3. Simpel, simpel, simpel	22
2. Het kennissysteem op drie niveaus	25
2.1. Interactie op twee grensvlakken	25
2.2. Zichtbaar maken van kenniscombinaties	27
3. Kennisdifusie en kennisintegratie	29
3.1. Breedte: differentiatie naar kennis en toepassing.....	29
3.2. Opleiding: van één naar drie dimensies.....	31
4. Het Delftse profiel	33
4.1. Samenhang in het onderzoek	34
4.2. Samenhang in het onderwijs	37
4.3. Drie beroepsprofielen in de opleiding.....	38
5. Aanbevelingen	41
6. Referenties	45

1. De universitaire omgeving

In toenemende mate wordt het beleid van organisaties bepaald door hun *omgeving*. Ook universiteiten zijn geplaatst in een economische, sociale en politieke context, die - direct en indirect - hun koers mede bepaalt en soms zelfs sterker richt dan de *interne* lijst van bestuurlijke wensen [1].

Figuur 1 laat schematisch zien dat de universitaire omgeving vooral wordt bepaald door de potentiële instromers (de VWO'ers), door de afnemers van de afgestudeerden en gepromoveerden (de werkgevers), door de vragers naar wetenschappelijke kennis (de kennismarkt) en door de politiek. Meer dan ooit realiseren universiteiten zich dat scholieren op het VWO kritisch de toegevoegde waarde van de verschillende universitaire opleidingen trachten in te schatten [2]. Maar ook de eisen die bedrijven stellen aan de inzetbaarheid van (jonge) academici veranderen en universiteiten ontkomen er niet aan om ook daarmee ernstig rekening te houden [3].



Figuur 1: De omgeving van een universiteit.

Maar de meest essentiële ontwikkeling is wellicht het groeiende besef in de samenleving dat een belangrijk deel van het leerproces zich gaat afspelen *na* de formele opleiding, d.w.z. op de werkvloer: de integratie van leren en werken [4, 5]. Universiteiten¹ zullen er dus *ook* voor moeten zorgen academici zodanig op te leiden dat zij niet alleen in staat zijn om hun expliciete

¹ Uiteraard gaat dit niet alleen universitaire opleidingen aan.

academische kennis daadwerkelijk in de praktijk toe te passen, maar dat zij ook na hun opleiding in staat zijn nieuwe, veelal impliciete, kennis geordend tot zich te nemen door leren en werken optimaal te combineren.

De bovenstaande trends geven aan dat universitaire instellingen, meer dan in het verleden, een pro-actief beleid dienen te maken die, uitgaande van hun eigen missie en sterkte, effectief inspelt op de fundamentele veranderingen die zich in de maatschappij voltrekken.

1.1. Kennis, kennis, kennis

Kennis beheerst in toenemende mate ons leven. Zo is wetenschappelijke kennis een belangrijke voedingsbron geworden voor technische, economische en sociale innovatie. Kennis is echter niet synoniem met wetenschappelijke kennis [6, 7]; kennis is een breder begrip en omvat ook de in de dagelijkse praktijk verworven inzichten. In de werkomgeving zijn vele handelingen en beslissingen niet gebaseerd op wetenschappelijke modellen, maar op praktische ervaring vanuit het verleden (overlevering), voortdurend aangevuld met nieuwe ervaringen in het heden. Het verwerven van gevestigde en nieuwe ervaringskennis op de werkvloer werd reeds in de inleiding naar voren gehaald in relatie met veranderingen in de rol van de academische opleiding.

Technologie zou men kunnen definiëren als de combinatie van uit de wetenschap afkomstige (expliciete) en uit de praktijk afkomstige (impliciete) kennis om een bepaald probleem op te lossen ("operationele kennis"). Juist de *interactie* tussen de twee soorten kennis, de wetenschappelijke component en de ervaringscomponent, moet als buitengewoon belangrijk worden gezien.

Technologie wordt vaak alleen in verband gebracht met de *ingenieurs*-wetenschappen. Dat is niet helemaal juist. Technologie is een breder begrip en omvat ook kennis over werkwijzen in economische, juridische en sociale processen, waarbij het gaat om het samenstel van ervaringskennis en wetenschappelijke kennis uit de *gamma*-wetenschappen.

Het is interessant om te zien dat veel onderzoek erop gericht is om de wetenschappelijke component in technologie te vergroten. Zo hebben de ingenieurswetenschappen een veel sterkere wetenschappelijke inbedding gekregen en worden ook economische activiteiten op velerlei manieren gevoed vanuit de wetenschap.

Tenslotte, het toenemend belang van wetenschappelijke kennis voor de mens en zijn omgeving maakt dat wetenschappelijk onderzoek niet alleen meer een zaak is van wetenschappers. De samenleving zal in toenemende mate verwachten dat de wetenschap zich zal inzetten voor

maatschappelijke vraagstukken ten behoeve van welvaart en welzijn. Het zal een uitdaging zijn om deze praktische vraagstukken om te zetten in wetenschappelijke probleemstellingen, waaraan de beste onderzoekers willen werken.

1.2. Samenhang, samenhang, samenhang

De wetenschap is onderverdeeld in vijf wetenschapsgebieden (geesteswetenschappen, maatschappijwetenschappen, levenswetenschappen, natuurwetenschappen en technische wetenschappen), elk wetenschapsgebied is weer onderverdeeld in disciplines en elke discipline bestaat weer uit een aantal specialisaties. Door de sterke nadruk op *specialisatie* in de afgelopen decennia is er een tendens ontstaan waarbij het onderzoek in de vele, vaak zeer nauwe, kennisgebieden een eigen leven is gaan leiden. Voor universiteiten betekent dit ondermeer weinig of geen inhoudelijke contacten tussen (sub)faculteiten en tussen vakgroepen [1].

Echter, de vele, onderling vaak sterk verschillende, aspecten van exogene vraagstellingen kunnen niet apart worden uitbesteed, maar behoren in hun onderlinge *samenhang* te worden aangepakt. Bij deze systeemaanpak moeten meestal een groot aantal kennisgebieden worden ingezet. Voorbeelden zijn de integratie van vele, elkaar beïnvloedende, mechanische en/of elektronische en/of software componenten tot economisch beheersbare technische systemen met gewenste functiespecificaties, en de integratie van vele verschillende fysische en/of chemische en/of biologische processtappen die nodig zijn om vanaf grondstoffen tot een eindproduct te komen met gewenste eigenschappen. In vele onderzoekprogramma's wordt juist de grootste vooruitgang verwacht door gerichte samenwerkingsprocessen op gang te brengen op het *grensvlak* van de deelnemende disciplines.

Het bovenstaande heeft grote gevolgen voor het toekomstige onderwijs en onderzoek. Immers, het louter *doceren* van "losse stukken kennis" via een traditioneel college en practicum curriculum voldoet niet meer. Het gaat er nu ook om de veelheid aan kenniscomponenten te ordenen en met elkaar in verband te brengen. Het ontdekken van overeenkomsten tussen ogenschijnlijk totaal verschillende modellen en processen moet gezien worden als één van de belangrijkste onderdelen van de academische opleiding. Het aldus stimuleren van 'lateraal denken' zou *van het begin af aan* een wezenlijke component in het universitaire onderwijs dienen te zijn.

Hetzelfde kan gezegd worden van het universitaire onderzoek: het louter *genereren* van "losse stukken kennis" via een traditionele onderzoekopdracht voldoet niet meer. Het gaat er nu ook om het onderzoek zichtbaar vanuit een systeemconcept aan te sturen, zodat studenten via hun monodisciplinaire onderzoek (diepte) tevens geleerd wordt dat hun specialistische resultaten zullen moeten bijdragen aan een groter geheel (breedte).

De bèta-opleidingen hebben in het verleden te weinig aandacht besteed aan het ontschotten van de vele soorten specialistische kennis. Dit zou één van de belangrijkste redenen kunnen zijn dat de bèta-opleidingen door de huidige generatie van VWO'ers minder gunstig wordt beoordeeld².

1.3 *Simpel, simpel, simpel*

Een belangrijke doelstelling van wetenschappelijk onderzoek is om ingewikkeld lijkende zaken toegankelijk en doorzichtig te maken. Een theorie die ingewikkeld is, laat zien dat er iets essentieels ontbreekt en dat er nog heel wat nagedacht moet worden. Juist in de academische opleiding zou studenten moeten worden geleerd dat ingewikkeldheid niet met knapheid verward mag worden.

Maar het gaat natuurlijk niet alleen om helderheid in de formulering van wetenschappelijke resultaten. Het gaat er ook om de *bestuurlijke* aspecten rond onderwijs en onderzoek zo transparant mogelijk te houden. Op dit gebied hebben universiteiten met hun vele besturen, raden en commissies helaas geen goed 'track record'. De omgeving vindt universitaire instellingen zeer ontoegankelijk door hun ondoorzichtige organisatiestructuur. Het gaat hierbij niet alleen om onduidelijkheden over het 'wie en waar' achter bepaalde kennis en het 'wie en wat' achter bepaalde verantwoordelijkheden, maar het gaat ook om onduidelijke doelstellingen en ingewikkelde voorwaarden rond de verschillende geldstromen.

Echter, aan de TU Delft zijn in de afgelopen jaren grote veranderingen in gang gezet [8]. Bovendien, in staat gesteld door nieuwe wetgeving (MUB), heeft het College van Bestuur recentelijk besloten haar universiteitsraad te vervangen door een ondernemingsraad met daarnaast een apart functionerende studentenraad. Dit lijkt een zeer goede beslissing omdat enerzijds ondernemingsraden bewezen hebben de belangen van het *personeel*, als onderdeel van de totale organisatie, goed te kunnen behartigen en anderzijds *studenten* zich nu volledig kunnen concentreren op zaken die primair voor hen van belang zijn: de kwaliteit van de opleiding. Hierdoor is in Delft een heldere situatie ontstaan. Dat laatste geldt overigens ook voor het herstellen van de samenhang tussen bestuur en beheer: integraal management van de primaire en secundaire processen.

Er ligt nu een grote uitdaging voor ons om de uitvoeringsaspecten van de geformuleerde strategische vernieuwingen zo eenvoudig mogelijk te houden. Dat gaat niet vanzelf. Immers, regelingen worden in de loop van het ontwerpproces altijd ingewikkelder. Er is creatief management, wilskracht en inzicht nodig om ingewikkeldheid buiten de deur te houden. De

² Het is jammer dat de discussie over de onvoldoende instroom in de bèta-opleidingen dreigt te verengen tot een discussie over de wenselijkheid van een 5-jarige opleiding.

Adviesraad voor het Technologiebeleid van de TU Delft (ARTD) heeft een inspirerend voorbeeld gegeven door, in nauwe samenwerking met het College van Bestuur, een transparante en onderzoekersvriendelijke regeling op te stellen die *multidisciplinair* onderzoek tussen de Delftse faculteiten stimuleert, financiert en evalueert. De contouren van dit grensverleggende TUD beleid zullen in hoofdstuk 4 worden toegelicht.

Een universiteit moet meer zijn dan de som van haar faculteiten. De grote uitdaging voor het universitaire management is om een samenhangend geheel uit de losse delen te smeden.

2. Het kennissysteem op drie niveau's

De rol van kennis in product(ie)innovatie is in het verleden veelal beschreven met éénvoudige lineaire modellen: "van fundamenteel onderzoek via toegepast onderzoek naar productontwikkeling". Deze modellen suggereren dat het innovatietraject als een seriëel, estafette-achtig proces kan worden voorgesteld. Dat is een te grote simplificatie van de werkelijkheid. In de praktijk blijkt het immers altijd om parallele, cyclische interacties te gaan. Figuur 2 representeert een systeembenadering van de kennisketen op drie niveau's van abstractie, waarbij de complexe interacties tussen de deelsystemen centraal worden gesteld. Figuur 2a laat het hoogste abstractie-niveau zien; het werd gebruikt door de Overlegcommissie Verkenningen in haar eindrapportage [9]. In het volgende zullen de gedetailleerde versies in de figuren 2b en 2c nader worden toegelicht [7, 10].

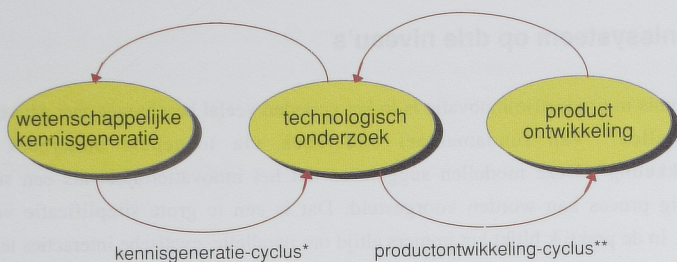
2.1 Interactie op twee grensvlakken

Bij productontwikkeling bestaan de actoren uit grote en kleine ondernemingen, ontwerp bureaus en adviesorganisaties³. In technologisch onderzoek spelen technologische instituten en bedrijfslaboratoria de belangrijke rol. In het genereren van wetenschappelijke kennis nemen de universiteiten alsmede de wetenschappelijke onderzoeksinstituten een centrale positie in. De interactie tussen deze drie soorten van actoren in het kennissysteem is tweezijdig, waarbij technologie een onmisbare *brugfunctie* vervult.

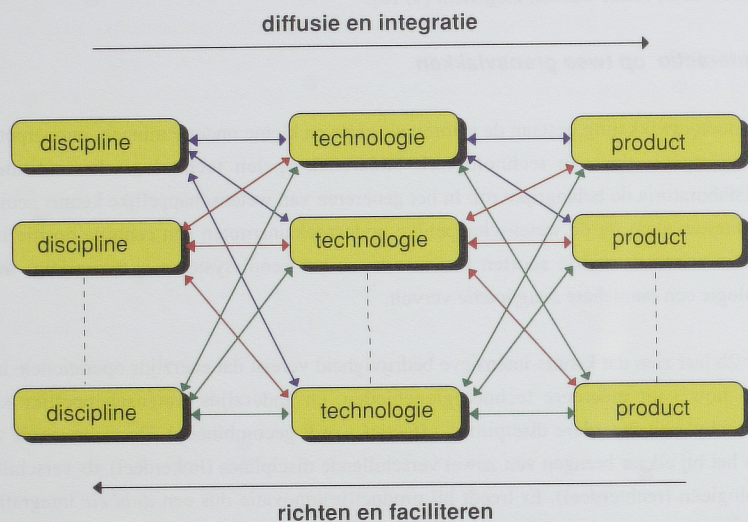
Figuur 2b laat zien dat kennis-intensieve bedrijvigheid vereist dat enerzijds operationele kennis ('know how') uit meerdere technologiegebieden, en anderzijds wetenschappelijke kennis ('know why') uit meerdere disciplines, effectief wordt gecombineerd. De meerwaarde zit nu juist in het bij elkaar brengen van zowel verschillende disciplines (linkerdeel) als verschillende technologieën (rechterdeel). Er treedt bij product(ie)innovatie dus een *dubbele* integratie op, enerzijds op het niveau van de wetenschap en anderzijds op het niveau van de technologie.

In het linkerdeel van figuur 2b is weergegeven dat de wetenschap via verschillende disciplines kan bijdragen aan de ontwikkeling van een bepaalde technologie. Bovendien kunnen nieuwe technologieën het onderzoek in de disciplines richten (terugkoppeling vanuit het technologisch onderzoek) en faciliteren (utilisatie van nieuwe technologie in het wetenschappelijk onderzoek). In het rechterdeel van figuur 2b is aangegeven dat verschillende technologieën

³ Door de moderne werkwijze van toeleveren en uitbesteden kan productontwikkeling uitgroeien tot een zeer ingewikkeld proces.



Figuur 2a: De interactie tussen wetenschappelijke kennisgeneratie, technologisch onderzoek en productontwikkeling op een hoog abstractieniveau. Zie ook: 'Een vitaal kennisstelsel, Nederlands onderzoek in toekomstig perspectief' (Overlegcommissie Verkenningen, juni 1996).



Figuur 2b: De interactie tussen wetenschappelijke kennisgeneratie, technologisch onderzoek en productontwikkeling. Bron: 'Van wetenschappelijk excelleren tot kennisintensief concurreren' (Berkhout, maart 1996).

* Kennis wordt hier gebruikt in de brede zin van het woord: zowel in expliciete als impliciete zin.

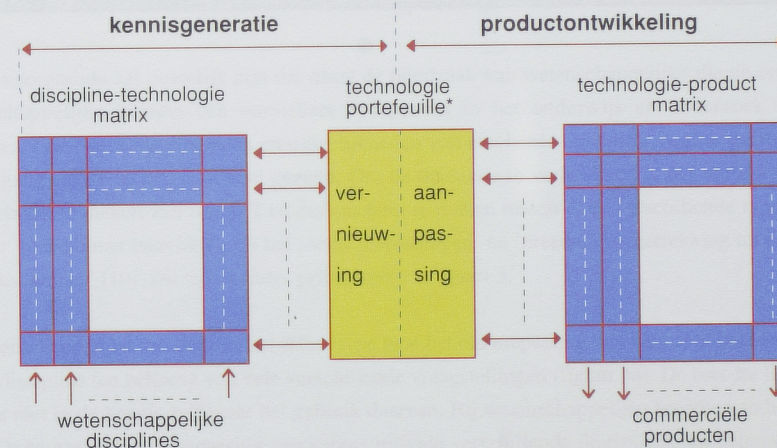
** Productontwikkeling wordt hier gebruikt in de brede zin van het woord: het geheel van activiteiten gericht op het ontwerpen, implementeren en op de markt brengen van nieuwe producten en diensten.

nodig zijn voor het ontwikkelen en vervaardigen van een bepaald product. Bovendien kunnen nieuwe producten het onderzoek in de technologieën sturen (terugkoppeling vanuit de productontwikkeling) en faciliteren (utilisatie van nieuwe producten in het technologisch onderzoek).

Figuur 2b heeft een belangrijke ondersteunende rol gespeeld bij de discussies in de Adviesraad voor het Technologiebeleid van de TU Delft (ARTD) over het te formuleren technologiebeleid [1].

2.2. Zichtbaar maken van kenniscombinaties

In het voorgaande hebben we met behulp van figuur 2b de wisselwerking tussen wetenschap en technologie (linkerdeel), en de wisselwerking tussen technologie en productontwikkeling (rechterdeel) schematisch weergegeven. In figuur 2c wordt dit beeld verder gedetailleerd. De complexe interacties worden nu zichtbaar gemaakt met behulp van de discipline-technologie-matrix (links) en de technologie-productmatrix (rechts). In de discipline-technologie-matrix stellen de kolommen verschillende wetenschappelijke disciplines voor; elke rij geeft aan welke disciplines bijdragen aan het onderzoek in één technologiegebied. In de technologie-productmatrix stellen de rijen verschillende technologiegebieden voor; elke kolom geeft aan welke technologieën bijdragen aan de ontwikkeling van één product [10].



Figuur 2c: De processen in kennisgeneratie en productontwikkeling, zichtbaar gemaakt met behulp van de discipline-technologie-matrix en de technologie-productmatrix. Zie ook: 'Technologie voor de Maatschappij van Morgen' (Berkhout et al., maart 1997).

* Technologie wordt hier gebruikt in de brede zin van het woord: operationele bèta-, gamma- en alfa-kennis, waarbij kennis een combinatie is van expliciete en impliciete kennis.

Een effectieve discussie over hoe in een kennis-intensieve economie technologisch onderzoek (links) en productontwikkeling (rechts) nu werkelijk plaatsvindt, vereist gedetailleerde informatie over de structuur van de twee matrices, alsmede grondige kennis over de twee integratieprocessen die daarin een beslissende rol spelen.

Tenslotte, als we het begrip technologie gebruiken in de brede zin van het woord (zie sectie 1.1), dan gaat het hier ook om kennis over werkwijzen die gericht zijn op de markt [11]. Dit betekent dat de kolommen in de discipline-technologiematrix van figuur 2c ook disciplines bevatten uit de gamma-wetenschappen, en dat de rijen in de technologie-productmatrix ook technologieën bevatten met betrekking tot het optimaal sturen van economische, juridische en sociale processen.

De twee systeem-matrices van het gepresenteerde kennissysteem (figuur 2c) visualiseren de strategische informatie voor het maken van product(ie)keuzen, voor het versterken van de technologieportefeuille en vervolgens voor het in kaart brengen van de gewenste strategische allianties bij zowel de kennisinfrastructuur (links) als het bedrijfsleven (rechts).

3. Kennisdifusie en kennisintegratie

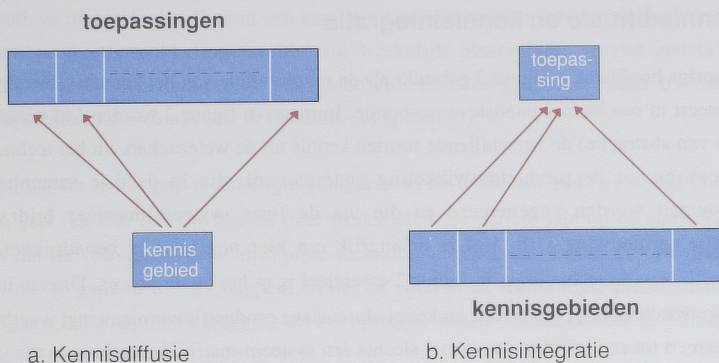
In het vorige hoofdstuk is figuur 2 gebruikt als de representatie van het kennissysteem zoals dat functioneert in een kennis-intensieve economie. Immers, in figuur 2 worden (op verschillende niveaus van abstractie) de verschillende soorten kennis uit de wetenschap, uit het technologisch onderzoek en uit de productontwikkeling geadresseerd, die in de drie samenhangende deelsystemen worden gegenereerd en die via de twee systeem-matrices bijdragen tot product(ie)vernieuwing [10]. Het is belangrijk om hier nog eens te benadrukken dat de *brugfunctie* van de technologie in figuur 2 essentieel is in het totale proces. Directe interactie tussen wetenschappelijk onderzoek en kennis-intensieve product(ie)vernieuwing, waarbij figuur 2 degenereert tot een kennissysteem met slechts één systeem-matrix, is een brug te ver vanwege het grote verschil in cultuur tussen links en rechts, en leidt wederzijds tot frustraties!

Zoals reeds eerder gesteld, de meest kritische processen spelen zich af op de *grensvlakken* van de deelsystemen. Daar ontstaan geheel nieuwe mogelijkheden door het bij elkaar brengen van complementaire kennis en vaardigheden. Maar daar liggen ook de grootste problemen, omdat succesvolle integratie bepaald wordt door een complex sociaal proces, waarbij de vaardigheid van het communiceren een grote rol speelt. In hoofdstuk 4 zal hier op worden teruggekomen.

3.1. Breedte: differentiatie naar kennis en toepassing

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn dat naast de noodzaak van wetenschappelijke diepte ook wetenschappelijke breedte een onmisbare component in het onderwijs en onderzoek is geworden. Over de wenselijkheden en mogelijkheden van een brede opleiding, zonder daarbij de diepgang aan te tasten, is al veel gezegd. Om de discussie te verhelderen is het nuttig om weer gebruik te maken van figuur 2 en onderscheid te maken tussen twee verschillende typen breedte: 'breedte met betrekking tot het aantal toepassingen' en 'breedte met betrekking tot het aantal disciplines' [10]. Dit wordt nader geïllustreerd in figuur 3.

Bij wetenschappelijke breedte van het eerste type gaat het om toepassing van kennis binnen één enkele discipline ten behoeve van vele verschillende vraagstellingen (figuur 3a). De breedte ligt hier dus niet in de kennis zelf maar het gebruik daarvan. Bij wetenschappelijke breedte van het tweede type gaat het om toepassing van kennis uit vele verschillende disciplines ten behoeve van één enkele vraagstelling (figuur 3b). De breedte ligt hier dus niet in de vraagstelling maar in de kennis. Het belang van deze differentiatie ligt vooral besloten in het feit dat kennis-



Figuur 3: De twee verschillende typen breedte met betrekking tot kennisdiffusie (één kennisgebied draagt bij aan de vooruitgang in vele toepassingen) en kennisintegratie (vele kennisgebieden dragen bij aan de vooruitgang in één toepassing).

werkers achter deze begrippen zeer verschillend zijn. Bij breedte van het eerste type gaat het om onderzoekers die geleerd hebben “lateraal te denken” en de vaardigheid bezitten om met hun gespecialiseerde kennis essentiële bijdragen te leveren aan het oplossen van een groot aantal verschillende problemen. Bij breedte van het tweede type gaat het om onderzoekers die geleerd hebben “systeem te denken” en de vaardigheid bezitten om een maatschappelijke of economische vraagstelling te vertalen in een wetenschappelijk onderzoekprogramma met een groot aantal discipline-gerichte projecten, en die bij de uitvoering van het programma een sterke mate van samenhang en synergie tussen de projecten weten te bereiken.

Als wetenschappers het over breedte hebben dan bedoelen ze meestal type 1. Als het bedrijfsleven het over breedte heeft, wordt meestal type 2 bedoeld. Een goede communicatie tussen vraag en aanbod van kennis vraagt om *beide* typen kenniswerkers. Dit stelt extra voorwaarden aan de academische opleiding, zowel wat betreft inhoud als organisatie (zie hoofdstuk 4).

Toepassingsgerichte onderzoekscholen zouden zich vooral moeten concentreren op wetenschappelijke breedte van het eerste type: het tijdig beschikbaar stellen van hun specifieke wetenschappelijke kennis voor zoveel mogelijk verschillende technologie-programma's: brede *kennisdiffusie*.

Bij DIOC's⁴ zou het vooral moeten gaan om wetenschappelijke breedte van het tweede type: het effectief kunnen inzetten van zoveel mogelijk verschillende kennisgebieden bij het uitvoeren van hun gerichte technologieprogramma: brede *kennisintegratie*.

Een technische universiteit zou in haar hooglerarenbeleid moeten streven naar *beide* typen kenniswerkers.

3.2. Opleiding: van één naar drie dimensies

Uit het voorgaande mag de conclusie worden getrokken dat excellent wetenschappelijk onderzoek in strategische kennisgebieden een noodzakelijke voorwaarde is voor maatschappelijke/economische vooruitgang; maar uit het voorgaande volgt ook dat er *meer* nodig is dan dat. Immers, het op elkaar afstemmen en combineren van kennis uit verschillende kennisgebieden is een cruciale stap in het totale proces van product(ie)vernieuwing. Daarvoor zijn extra vaardigheden nodig die reeds in de opleiding moeten worden aangeleerd.

Rekeninghoudend met de bovengenoemde omgevingsanalyse, zou een technisch-wetenschappelijke opleiding die bij de allerbeste wil behoren, de volgende coördinaten moeten bevatten:

Analytisch denkvermogen

Grondige kennis van de meest recente technisch-wetenschappelijke methoden en gereedschappen, gericht op nauwkeurig waarnemen en kritisch analyseren, zal het fundament dienen te blijven van elke technisch-wetenschappelijke opleiding: het diepte-aspect.

Integrerende vaardigheden

Naast het wetenschappelijk *bestuderen* (waarnemen en analyseren) van, veelal ingewikkelde, processen gaat het in de technisch-wetenschappelijke opleiding echter ook om het kunnen *oplossen* van, veelal ingewikkelde, vraagstellingen: het breedte-aspect. Dit betekent derhalve niet alleen het kunnen toepassen van bovengenoemde meet- en analysetechnieken op een specifiek probleem, het betekent ook het ontwerpen van een oplossingsmethode waarvan de uitkomst voldoet aan voorafgestelde functiespecificaties en randvoorwaarden. Hiervoor is het noodzakelijk om vanuit een *systeemconcept* vele soorten gespecialiseerde kennis op elkaar af te stemmen en met elkaar te combineren (synthese).

Dit is de reden dat de ARTD een indringend pleidooi heeft gehouden om in Delft het vak 'systems engineering' in alle jaren een hoofdrol toe te kennen, zodat het technisch-

⁴ DIOC is een acroniem voor Delft Interfacultair Onderzoek Centrum (zie hoofdstuk 4).

wetenschappelijke instrumentarium voor zowel analyse als synthese *in samenhang* kan worden onderwezen.

Innovatieve werkhouding

Het nauwkeurig kunnen waarnemen en kritisch kunnen analyseren, het maximaal op elkaar kunnen afstemmen en optimaal met elkaar kunnen combineren, formuleren academische kwaliteiten die beide nodig zijn om goedwerkende oplossingen te creëren. Dat zijn geen geringe eisen, maar toch is het nog niet voldoende!

Juist in deze dynamische tijd, waarbij alles sneller, beter en goedkoper moet en de levenscyclus van producten steeds korter is geworden, wordt de vraag naar *innovatieve* oplossingen steeds urgenter. Academics dienen dan ook de ambitie te bezitten om voortdurend naar nieuwe aflossingsmethoden te zoeken en zij dienen over een attitude te beschikken om bestaande procedures voortdurend kritisch tegen het licht te houden. Deze innovatieve werkhouding zou in de opleiding al vroeg moeten worden meegegeven, zowel bij het onderwijs als bij het onderzoek.

Het bovenstaande karakteriseert de ingenieursopleiding in een meer-dimensionale ruimte, waarbij analytisch denkvermogen, integrerende vaardigheden en innovatieve werkhouding de coördinaten zijn.

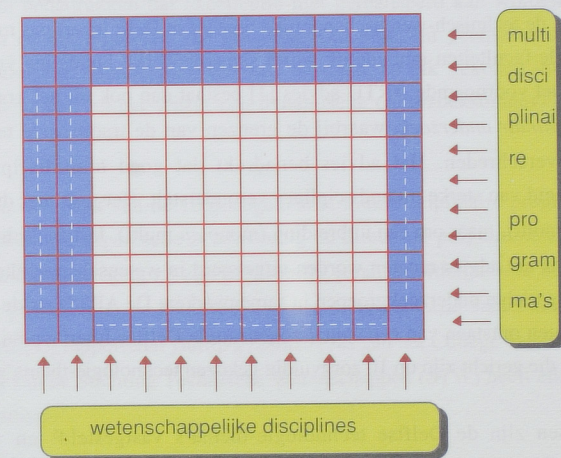
Van de huidige ingenieur wordt verwacht dat hij/zij bij het onderzoeken, ontwerpen, bouwen, onderhouden en ontmantelen van technische systemen *analyserend, integrerend en innoverend* te werk gaat, waarbij kosten en veiligheid (interactie met de mens), en milieu en duurzaamheid (interactie met de natuur) steeds belangrijker randvoorwaarden zijn geworden.

Deze hoge eisen die door de moderne maatschappij aan de ingenieur worden gesteld, rechtvaardigt dan ook ten volle een 5-jarige opleiding.

4. Het Delftse Profiel

In [10] wordt geconcludeerd dat de brede context waarin kennis moet worden toegepast, economische (tijd, kosten) en organisatorische (focus, samenhang) eisen toevoegt aan de academische criteria van wetenschappelijke kwaliteit. De gewijzigde kennismarkt stelt dus nieuwe eisen aan de organisatie van, vooral technische, universiteiten. Deze zijn nog steeds grotendeels gebaseerd op een indeling naar disciplines, tot uiting komend in de opbouw van inhoudelijk onafhankelijk-opererende faculteiten. De verschuiving naar het systeem- en probleemgerichte onderzoek zet deze traditionele onderverdeling sterk onder druk.

In figuur 2b, c hebben we laten zien dat de *matrix-organisatie* een zeer geschikte vorm is om, op flexibele wijze, gerichte multidisciplinaire activiteiten uit te voeren. Figuur 4 illustreert dit nader voor het wetenschappelijk onderzoek.



Figuur 4: Basisschema van een matrix-organisatie voor het multidisciplinaire wetenschappelijke onderzoek.

Door het technisch-wetenschappelijke onderzoek niet meer alleen op de monodisciplinaire facultaire kolommen te organiseren, maar haar tevens te richten op multidisciplinaire vraagstellingen, worden ook dwarsverbanden gecreëerd die gemakkelijk zichtbaar kunnen

worden gemaakt. De Adviesraad voor het Technologiebeleid van de TU Delft (ARTD) heeft in haar advies van maart 1996 [1] de matrix-organisatie voorgesteld voor het realiseren van het multidisciplinaire onderzoek in Delft. In deze, voor universiteiten, nieuwe organisatievorm zijn de activiteiten in de kolommen 'dienend' aan de doelstellingen in de rijen.

4.1. Samenhang in het onderzoek

In juni 1994 is door het College van Bestuur van de TU Delft de "Adviesraad Technologiebeleid TU Delft (ARTD)" ingesteld. De ARTD adviseert het College van Bestuur over het maken van strategische keuzen op het gebied van het Delftse technisch-wetenschappelijk onderzoek. De auteur van dit schrijven was voorzitter van de ARTD tussen 1 juni 1994 - 1 september 1997.

De TU Delft is een brede universiteit: er zijn niet minder dan 12 technische faculteiten (figuur 5)! Echter, de technisch-wetenschappelijke breedte in Delft levert pas meerwaarde op, indien er tussen de faculteiten inhoudelijk wordt samengewerkt: bundeling van de disciplines. De kern van het voornoemde ARTD advies [1] bestaat dan ook uit het krachtig stimuleren van *multidisciplinair onderzoek*, waarbij de grenzen van de traditionele technische disciplines worden overschreden. Het advies benadrukt dat goed multidisciplinair onderzoek de aanwezigheid van sterke monodisciplines veronderstelt. Het gaat hier dus niet om een keuze (mono of multi), maar om een uitbreiding (mono en multi). Het multidisciplinaire onderzoek zou volgens het advies moeten worden uitgevoerd in wetenschappelijke programma's, waar discipline-gerichte onderzoekgroepen in samenwerken. De ARTD stelde voor dit te realiseren door het laten ontstaan van een aantal zogenaamde Delftse Interfacultaire Onderzoek Centra (DIOC's), die gericht zijn op 10 zorgvuldig gekozen technologie-thema's [1].

Ondertussen zijn de Delftse technologie-thema's vastgesteld⁵ en zijn er 12 DIOC-programma's goedgekeurd. Hierin gaat de TU Delft in de komende jaren (1997 - 2001) niet minder dan 70 Mf investeren (1e geldstroom). De matrixpresentatie in figuur 6a laat de Delftse thema's zien met de faculteiten die daarin actief zijn.

⁵ De keuze van de 10 thema's is tot stand gekomen op grond van een inventarisatie van de kennisbasis die *binnen* de TU Delft (potentieel) aanwezig is: eigen sterkten en mogelijkheden. Bovendien zijn systematisch prioriteiten nagegaan op het gebied van technisch-wetenschappelijk onderzoek, zoals die *buiten* de TU Delft zijn geformuleerd en gerealiseerd: sterkten en mogelijkheden elders.

Eveneens hebben verkenningen, zoals die onder andere door de Overlegcommissie Verkenningen (OCV) in de afgelopen jaren zijn gepubliceerd, in dit keuzeprocess een rol gespeeld.

Technische Natuurkunde (TN)	Scheikundige Technologie en Materiaalkunde (STM)
Technische Wiskunde en Informatica (TWI)	Electrotechniek (ET)
Technische Aardwetenschappen (TA)	Geodesie (GE)
Bouwkunde (BK)	Civiele Techniek (CT)
Industrieel Ontwerpen (IO)	Werktuigbouw en Maritieme Techniek (WBTM)
Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek (LR)	
Technologie, Beleid en Management (TBM)	

Figuur 5: De faculteiten van de Technische Universiteit Delft ⁶.

De thema's formuleren de gebieden waarin de TU Delft de komende jaren wil excelleren. Het is belangrijk hier te benadrukken dat excellentie niet gerealiseerd kan worden zonder het maken van keuzen en het bundelen van krachten. Dat betekent geenszins dat er na het keuzeprocess een statische situatie mag (en zal) ontstaan. In elk gekozen thema gebeurt wereldwijd ontzettend veel en het vraagt een dynamische onderzoeksomgeving om hierop tijdig in te spelen.

Figuur 6b geeft een overzicht van de 12 goedgekeurde multidisciplinaire programma's met hun programmaleiders. De organisatie is eenvoudig en direct: de programmaleiders hebben een verregaand mandaat gekregen; zij zijn *persoonlijk* verantwoordelijk voor de goede gang van zaken in hun programma, de kwaliteit van het onderzoek, de samenhang tussen de projecten en, bovenal, zij rapporteren jaarlijks *rechtstreeks* aan het College van Bestuur. Naar het voorbeeld van de Stichting Technische Wetenschappen (STW) heeft elk programma een gebruikerscommissie⁷.

⁶ De faculteiten 'Technische Bestuurskunde (TB)' en 'Wijsbegeerte en Technische Maatschappijwetenschappen (WTM)' worden hier gepresenteerd als één faculteit (TBM).

⁷ STW is een stichting van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO), die gericht is op de financiering van goed technisch-wetenschappelijk onderzoek aan de universiteiten (2e geldstroom). STW bevordert de kennisoverdracht door tijdens het onderzoek wetenschappers en potentiële gebruikers bij elkaar te brengen in *gebruikerscommissies*. Dit unieke concept blijkt zeer goed te werken.

Na 4 jaar wordt elk programma beoordeeld door een externe wetenschappelijke commissie en de gebruikerscommissie. Alleen een uitstekende beoordeling zal leiden tot voortzetting. Naast goede programma-resultaten zullen ook het aantrekken van extra middelen uit de 2e geldstroom (met name STW) en de 3e geldstroom (met name het bedrijfsleven) een belangrijke indicatie zijn voor de wetenschappelijke excellentie, respectievelijk maatschappelijke relevantie van het programma: synergie tussen de 1e, 2e en 3e geldstroom.

FACULTEITEN	T	S	T	E	G	T	B	C	I	WB	L	T	
TECHNOLOGIETHEMA'S	N	T	W	T	E	A	K	T	O	MT	R	B	M
ENERGIE													5
WATER													
AARDOBSERVATIE													7
FYSIEKE INFRASTRUCTUREN													6
MOBILITEIT EN TRANSPORT													7
DUURZAAM BOUWEN													6
BETROUWBAARHEID VAN CONSTRUCTIES													4
INFORMATIE EN COMMUNICATIE													5
MEDISCHE INSTRUMENTATIE													7
INDUSTRIELE PROCESSEN													6
	5	5	6	7	3	2	2	6	2	5	4	6	53

Figuur 6a: Interfacultaire samenwerkingsrelaties die in 1997 binnen de 10 Delftse technologie-thema's gerealiseerd zijn.

Technologietheema's	DIOC-programma's	Programmaleiders
Energie	- Het gedecentraliseerd produceren en opbergen van elektriciteit	Prof. Dr J. Schoonman
Water	"in voorbereiding"	
Aardobservatie	-Bewegingen van het aardoppervlak -Imaging van de ondiepe ondergrond	Prof. Dr R.A.P. Klees Prof. Ir C.P.J.W. van Kruisdijk
Fysieke Infrastructuren	-Strategie voor ontwerp en beheer	Prof. Dr Ir M.P.C. Weijnen
Mobiliteit en Transport	- Multimodale mobiliteit - Automatisch vrachtransport	Prof. Dr Ir P.H.L. Bovy Prof. Dr Ir H. Priemus
Duurzaam Bouwen	- De ecologische stad	Prof. Dr Ir C.F. Hendriks
Betrouwbaarheid van Constructies	-Opschaling van micro-mechanische eigenschappen voor optimaal macro-gedrag	Prof. Dr Ir S. van der Zwaag
Informatie en Communicatie	-Mobiele Communicatiesystemen -Intelligente diagnostiek op moleculair niveau	Dr Ir E. Deprettere Prof. Dr I.T. Young
Medische Instrumentatie	-Minimaal-invasieve chirurgie	Prof. Dr Ir H.G. Stassen
Industriële Processen	-Regeling op moleculaire schaal	Prof. Dr Ir H.E.A. van den Akker

Figuur 6b: De goedgekeurde DIOC-programma's met hun programmaleiders. Voor een beschrijving van deze programma's, zie Website: www.tudelft.nl.

4.2. Samenhang in het onderwijs

In het voorgaande is vanuit verschillende invalshoeken betoogd dat in de komende jaren de grootste vooruitgang mag worden verwacht door in de kennisgeneratie-cyclus (figuur 2) verschillende soorten kennis op elkaar af te stemmen en te combineren. Met name in het technisch-wetenschappelijke onderzoek is het autonoom genereren van losse stukken kennis niet meer van deze tijd. Daarom kan het multidisciplinaire onderzoek in de DIOC's als een belangrijke eerste stap worden gezien om het Delftse technisch-wetenschappelijke onderzoek wereldwijd breed in de voorste geleerden te brengen.

Maar wat geldt voor het onderzoek, geldt ook voor het onderwijs. Een onderwijsprogramma dat slechts losse stukken kennis doceert en vervolgens aan de studenten zelf overlaat om deze losse stukken aan elkaar te lijmen, houdt geen rekening met het belangrijke feit dat juist de

samenhang een grote meerwaarde oplevert en daarom in "studeerbaar onderwijs" veel aandacht behoeft. Dat laatste wordt nog moeilijker (voor docent en student) indien breedte ten onrechte wordt ingevuld door nog meer verschillende vakken in het curriculum te stoppen.

Zoals er een matrix-organisatie voor het Delftse multi-disciplinaire onderzoek is ontworpen, zo zou dat ook voor het onderwijs kunnen geschieden. Voor elke ingenieursstudie zou de "onderwijsmatrix" de totale studie goed zichtbaar kunnen maken (voor docent en student), waarbij de kolommen de verschillende stukken kennis en vaardigheden aangeven en waarbij de rijen de jaarprogramma's voorstellen.

In termen van de onderwijsmatrix zou vernieuwing van het technisch-wetenschappelijk onderwijs dus vooral betekenen het aanbrengen van inhoudelijke samenhang tussen de verschillende componenten in één rij.

Zoals een DIOC-programmaleider verantwoordelijk is voor de inhoudelijke samenhang tussen de verschillende onderdelen in één rij van de *onderzoekmatrix*, zo zou de onderwijsdirecteur verantwoordelijk moeten worden voor de inhoudelijke samenhang tussen de verschillende onderdelen in één rij van de *onderwijsmatrix*.

4.3. Drie beroepsprofielen in de opleiding

Gezien de sterk uiteenlopende functies waarin Delftse ingenieurs terecht komen, en het streven om de herkenbaarheid van de Delftse opleiding bij werkgevers en studenten aanzienlijk te vergroten, heeft de ARTD voorgesteld het Delftse curriculum te oriënteren op drie beroepsprofielen, te weten [1]:

de ingenieur als ontwerper

de ingenieur als manager

de ingenieur als onderzoeker.

Bij dit voorstel wordt ervan uitgegaan dat in het curriculum dezelfde technisch-wetenschappelijke kernvakken worden gebruikt. De variatie is gelegen in de eindfase van de studie en het type van afstudeeropdrachten.

Per opleiding is de basisstudie (de eerste 3 jaar) gemeenschappelijk voor alle studenten (profielonafhankelijk) en is de opleiding primair gericht op een goed technisch-wetenschappelijk fundament⁸. In de eindstudie (het 4e en 5e jaar) vindt de differentiatie plaats. De student die als *ontwerper* de praktijk in wil gaan, zal zich verder ontwikkelen in die

⁸ De ARTD heeft voorgesteld om de *verschillen* tussen de facultaire propaedeutische curricula (de onderwijsprogramma's van het eerste studiejaar) grotendeels op te heffen [1].

richting. Hij moet leren hoe zijn theoretische kennis integrerend te gebruiken om een technisch probleem op te lossen, uitgaande van verworven inzichten in de onderliggende vakgebieden. Bij de student die zich voelt aangetrokken tot het *management* van complexe processen (veelal met een sterke technische component) ligt het anders. Hij zal in de praktijk leiding gaan geven aan het voortbrengingsproces van producten en systemen. Het zoeken van de technisch-wetenschappelijke oplossing van een ontwerp-opgave en de implementatie ervan vormen steeds meer een samenhangend proces, met vele diverse problemen en vele diverse spelers. Dit *totale* voortbrengingsproces (ontwerpen, optimaliseren, produceren) verandert van serieel in parallel ('concurrent engineering') en vraagt bij grote ingewikkelde systemen en diensten om ingenieurs met extra vaardigheden in management.

Tenslotte, een student die als onderzoeker verder wil gaan, zal in het 5e jaar dieper op de technisch-wetenschappelijke fundamenteën kunnen ingaan: hij zal nog een aantal jaren bij de universiteit blijven (de promotie) en het is zijn taak om tot *nieuwe* wetenschappelijke inzichten in zijn onderzoekgebied te komen.

De studie voor "ingenieur als ontwerper" zal in de 5-jarige studieduur volledig moeten worden gerealiseerd. Met de voorgestelde differentiatie zou dat goed moeten kunnen. Overwogen moet worden om aan de 5-jarige studie voor "ingenieur als manager" een vervolg te koppelen. De TU Delft zou, bij voorkeur in samenwerking met de nabijgelegen EU Rotterdam, een gerichte MBA-opleiding kunnen opstarten en de allerbesten die het Delftse managementprofiel hebben gevolgd, een samenhangende verbreding kunnen aanbieden. Deze optie zou de aantrekkelijkheid van de Delftse ingenieursstudie, ook internationaal gezien, aanzienlijk kunnen verhogen.

Tenslotte, de studie voor "ingenieur als onderzoeker" zal, zoals dat ook nu het geval is, na de 5-jarige ingenieursstudie worden vervolgd met een technisch-wetenschappelijke promotie. Overwogen moet worden om de promotietijd van de Delftse ingenieur naar 3 jaar terug te brengen. Met de voorgestelde differentiatie zou dat ook goed moeten kunnen.

Een universitair onderwijsprogramma dat slechts losse stukken kennis doceert en aan de studenten zelf overlaat deze losse stukken aan elkaar te lijmen, gaat voorbij aan een steeds belangrijker wordend aspect van de academische opleiding: het leren ontdekken en gebruiken van samenhang.

Een nieuw initiatief op het gebied van de "studeerbaarheid" moet niet gezocht worden in een nog verdere verschooning van de individuele onderwijscomponenten, maar moet zich juist richten op het aanbrengen van samenhang tussen die componenten.

5. Aanbevelingen

Samenhang in de opleiding

In de komende jaren zal de grootste uitdaging in de academische opleiding zijn om de *samenhang* tussen de verschillende stukken kennis in zowel het onderwijs (doceren van kennis) als het onderzoek (genereren van kennis) te vergroten. Samenhang ontdekken en gebruiken is niet alleen nodig om systeem-gericht te kunnen werken, maar is ook nodig om nieuwe kennis (in de opleiding en op de werkvloer) snel en effectief te kunnen absorberen. Wellicht wordt de essentie van het zo in de belangstelling staande concept 'leren om te leren' gegeven door de individuele vaardigheid nieuwe kennis snel en kritisch te vergelijken met de kennis die men reeds bezit, om daar vervolgens die nieuwe kennis selectief, geordend en relationeel aan toe te voegen: individueel kennismanagement.

In dit schrijven is een warm pleidooi gehouden de simpele en flexibele matrixorganisatie niet alleen te hanteren om meer samenhang in het onderzoek aan te brengen, maar ook om de samenhang in het onderwijs te versterken. Een niet onbelangrijk gevolg van deze aanbeveling is dat programmaleiders en onderwijsdirecteuren parallelle doelstellingen zouden moeten nastreven: samenhang in de rijen.

Ik nodig de nieuw te benoemen onderwijsdirecteuren uit hier concrete voorstellen voor uit te werken.

Verbreding vanuit samenhang

De broodnodige verbreding van de technisch-wetenschappelijke opleiding moet niet worden aangepakt door het aantal verschillende vakken in het curriculum zo maar te vergroten. Immers, het doceren van meer losse stukken kennis beklijft niet en het lost ook niets op. Met brede kennis kan pas wat zinvol gedaan worden indien de losse stukken in elkaar passen.

Verbreding van de opleiding moet derhalve gebaseerd worden op het aanbrengen van meer *samenhang* tussen de gedoceerde componenten, waarbij elke component zijn wetenschappelijke diepgang dient te behouden. Het gaat hier dus niet om een keuze (breedte of diepte), maar om een uitbreiding (breedte *en* diepte).

Het ordenen van en verbanden leggen tussen de verschillende vakken in een brede opleiding is lastig en kan zeker niet alleen aan studenten worden overgelaten ("studeerbaarheid"). Hier ligt in de komende jaren een grote uitdaging voor docenten en studenten.

Ik nodig de nieuwe studentenraad uit deze belangrijke kwestie met een hoge prioriteit op de agenda te zetten.

Integrerend management

De bovengenoemde aanbevelingen voor een verdere versterking van de Delftse primaire processen betekent een verregaande inhoudelijke 'ontschotting' van de Delftse faculteiten, zowel in het onderwijs als in het onderzoek.

Maar bovengenoemde aanbevelingen creëren ook nieuwe kansen voor een verdere versterking van de secundaire processen met betrekking tot kwaliteit en eenvoud [12]. Zo zullen de structuur en dynamiek van de Delftse onderwijs- en onderzoekmatrices een schat van strategische gegevens opleveren over gewenste en ongewenste ontwikkelingen binnen de instelling. Nu al leveren de DIOC-programma's buitengewoon interessante informatie op over de gerealiseerde samenwerkingspatronen, de verschillen in kwaliteit (van de aanvragen) en de verschillen in cultuur (van de aanvragers).

Deze strategische informatie zou niet alleen gebruikt moeten worden om de secundaire processen aan te scherpen, het zou ook gebruikt moeten worden om richting te geven aan het personeelsbeleid en, vooral ook, om richting te geven aan de externe presentatie van de instelling.

Ik nodig het College van Bestuur uit de hier geschetste fundamentele veranderingen in onderwijs en onderzoek als rode draad te gebruiken bij het versterken van de secundaire processen.

Synergie tussen de geldstromen

Het Delftse technologiebeleid gaat er vanuit dat een groeiend deel van de eerste geldstroominkomsten wordt gebruikt voor het versterken van het eigen profiel. Met de keuze van de 10 Delftse technologiethema's in 1996 en het opstarten van 12 DIOC-programma's in 1997 is voor de komende 5 jaar een totaal bedrag van 70 Mf uitgetrokken. Een belangrijk streven is om dit bedrag te vermeerderen met nog eens 70 Mf uit de 2e geldstroom (met name via STW) en nog eens 70 Mf uit de 3e geldstroom (met name het bedrijfsleven). Op deze manier zou er in de komende jaren een ongekende synergie tot stand kunnen komen tussen de drie geldstromen.

Kijkend naar de toekomst, zou de TU Delft moeten streven naar gemiddeld twee programma's per technologiethema; dit ambitieuze voorstel betekent dat er over enkele jaren in totaal 20 DIOC-programma's tegelijk zullen worden uitgevoerd. Indien de TU

Delft jaarlijks 1 Mf per programma uit eigen middelen zou financieren, dan komt dat neer op een verplichting van 20 Mf per jaar (1e geldstroom). Indien dezelfde bedragen kunnen worden aangetrokken vanuit de 2e en 3e geldstroom (20, 20), betekent dit dat in de DIOC's totaal jaarlijks 60 Mf wordt geïnvesteerd (20, 20, 20). Dit lijkt een realistische doelstelling.

Ik nodig de programmaleiders uit om gerichte initiatieven te ontwikkelen deze extra financiering uit de 2e en 3e geldstroom (20, 20) daadwerkelijk te realiseren.

De bèta-opleidingen hebben in het verleden veel te weinig aandacht besteed aan het 'ontschotten' van de vele soorten specialistische kennis. Dit zou één van de belangrijke redenen kunnen zijn dat de bèta-opleidingen door de huidige generatie van VWO'ers minder gunstig wordt beoordeeld.

Overwogen moet worden om de 'instroomproblematiek' in eerste instantie aan te pakken door de *laterale samenhang* in het bèta-onderwijs en bèta-onderzoek aanzienlijk te versterken, en vervolgens vanuit die samenhang de opleidingen te *verbreden*.

6. Referenties

- [1] Op weg naar de 21 eeuw; Adviesraad Technologiebeleid TU Delft, deel I oktober 1995 en deel II maart 1996.
- [2] Een verkenning van de oorzaken en gevolgen van de sterke daling van het aantal studenten in de natuur- en technische wetenschappen; rapport Overlegcommissie Verkenningen, mei 1997.
- [3] Naar een betere benutting van kennis in de industrie; Forum voor Techniek en Wetenschap, april 1994.
- [4] H.L. Beckers, Weg van school, lang leven het leven; diesrede uitgesproken ter gelegenheid van het twaalfjarig bestaan aan de Open Universiteit, september 1996.
- [5] Een werkzaam leven lang leren; AWT-advies nr. 28, juli 1997.
- [6] Nonaka, L., and Takeuchi, H., The knowledge creating company; how Japanese companies create the dynamics of innovation, 1995.
- [7] Berkhout, A.J., Van wetenschappelijk excelleren tot kennisintensief concurreren; in: De markt voor wetenschappelijk onderzoek, Lemma B.V., Utrecht, maart 1996.
- [8] Naar een nieuw engagement, een strategische visie voor de TU Delft; College van Bestuur, april 1994.
- [9] Een vitaal kennissysteem, Nederlands onderzoek in toekomstig perspectief; Eindrapport Overlegcommissie Verkenningen, juni 1996.
- [10] Berkhout, A.J., Wouters, P.F. en Schaffers, H., Technologie voor de Maatschappij van Morgen; rapport in opdracht van de Overlegcommissie Verkenningen, maart 1997.
- [11] Bulthuis, K., How industry is managing its knowledge resources; presentation at the Triple Helix Conference, Amsterdam, January 1996.
- [12] NEDAP, Jaarverslag 1996, p.1.