

Adviesraad
Technologiebeleid
TU Delft

Op weg naar de 21e eeuw

Op weg naar de 21e eeuw

TR
2981342



710067

2024579

TR 2981342

ARTD ADVIES

'Op weg naar de 21e eeuw'



De Adviesraad voor het Technologiebeleid van de TU Delft (ARTD) is een adviesorgaan van het College van Bestuur van de Technische Universiteit. De Raad is ingesteld op 14 juni 1994 bij CvB/Besluit/940614/CvB/6 en in werking getreden op 1 juli 1994.

Het College van Bestuur zegt in haar besluit d.d. 14 juni 1994 over de taak van de Raad ondermeer het volgende:

Het College van Bestuur te adviseren door keuzes te maken uit toekomstverkenningen naar middellange- en lange-termijn technologische en maatschappelijke ontwikkelingen voor door de TU Delft uit te voeren fundamenteel en strategisch onderzoek.

De Raad is als volgt samengesteld:

Prof. dr.ir. A.J. Berkhout (TU Delft), voorzitter

Externe leden:

- Prof. dr.ir. J.A.M. Bleeker,
directeur (NWO)-Stichting Ruimteonderzoek Nederland (SRON), tevens deeltijd-
hoogleraar RU Utrecht;
- Dr. A. Huijser,
directeur Philips Natuurkundig Laboratorium, tot 1/2/96;
- Ir. A.B.M. van de Plas,
secretaris-generaal Ministerie van Verkeer en Waterstaat;
- Prof. dr.ir. A.W. Veenman,
lid van de Raad van Bestuur Stork, tevens deeltijdhoogleraar TU Delft.

Interne leden:

- Prof. dr. J.C. Arnbak (Et/TB);
- Prof. dr.ir. M. de Bruin (IRI), tot 1/12/95;
- Prof. dr. ir. E. van der Giessen (WBTM), per 01-03-'96;
- Prof. dr.ir. P.M. Dewilde (Et/DIMES);
- Prof. dr.ir. G.M. van Rosmalen (STM).

Tijdelijk toegevoegde interne leden:

- Prof. dr.ir. J. Blaauwendraad (CT),
lid van de voormalige Voortgangscommissie voor de Onderzoekprofilering en de
Stimuleringsruimte;
- Prof. ir. C.J. Hoogendoorn (TN),
voorzitter van de voormalige Adviescommissie Onderzoekscholen TU Delft.

ARTDsecretariaat:

- Dr. K.W. Maring (O&O)
- Drs. G.J. Scheurwater (O&O)

Samenvatting

De TU Delft is geplaatst in een *veranderende* economische, maatschappelijke en culturele context ('de omgeving') die een belangrijke invloed dient te hebben op de door haar te volgen koers. De grote veranderingen in de maatschappij 'dwingen' de TU Delft nieuwe impulsen te geven aan het onderwijs en onderzoek om zodoende tijdig in te spelen op de grote uitdagingen die in de komende jaren op ons afkomen.

De ARTD is van mening dat de traditioneel scherpe scheidslijnen tussen faculteiten geen positieve bijdrage leveren aan een gezonde technologische ontwikkeling van de TU Delft. Zowel in het onderwijs als in het onderzoek zullen aanpak en organisatie moeten worden aangepast om de intrinsieke *verwevenheid* van de disciplines in Delft beter tot uiting te laten komen. Op deze manier wordt de breedte van de TU Delft (13 faculteiten) omgezet in sterkte. Een rode draad door het advies is het vergroten van de *samenhang* zowel tussen onderwijs en onderzoek als tussen de activiteiten van de faculteiten ('ontschotting').

Voor wat betreft het *onderwijs* stelt de ARTD dat ingenieurs niet alleen abstract moeten kunnen denken, maar ook dat ze abstract moeten kunnen denken *op verschillende niveau's*. De TU Delft zou 'systems engineering' als kernvak voor alle jaren en alle faculteiten moeten introduceren.

Gezien de sterk uiteenlopende functies waarin Delftse ingenieurs terechtkomen, adviseert de ARTD om de eindstudie te oriënteren op drie beroepsprofielen: de ingenieur als ontwerper, de ingenieur als onderzoeker en de ingenieur als manager van technische processen. Bij het eerste en het laatste profiel zou interfacultair afstuderen een belangrijke rol moeten spelen om de integrerende en communicatieve vaardigheden van deze aankomende ingenieurs te versterken.

Voor wat betreft het *onderzoek* stelt de ARTD dat in Delft de rol van het type onderzoek, waarbij de grenzen van de 'klassieke' technische disciplines worden overschreden, moet worden versterkt. Om dit te bereiken kiest de ARTD voor Delftse Interfacultaire Onderzoekcentra (DIOC's) die in de Delftse organisatie als *bruggen* tussen de faculteiten komen te staan (fig. 2 van deel II, p. 19). DIOC's moeten de 'kraamkamers' worden van werkelijke technologische vernieuwing. Het onderzoek van een DIOC is derhalve gericht op de voorkant van een technologische life-cycle.

De ARTD adviseert om de activiteiten in elke DIOC te focuseren op één technologiethema; er worden acht thema's voorgesteld:

- * *Winning, conversie en gebruik van energie*
- * *Winning, beheer en kwaliteit van water*
- * *Observatie van het aardoppervlak en de ondergrond*
- * *Infrastructuren voor communicatie- en informatievoorziening*
- * *Signaalbehandeling, informatieverwerking en kennisrepresentatie*
- * *Model-gebaseerde optimalisering van industriële processen*
- * *Duurzaam-gebouwde omgeving*
- * *Mobiliteit van personen en goederen*

De ARTD-keuze speelt niet alleen in op de brede kennisbasis van de gezamenlijke Delftse faculteiten, het onderzoek in de thema's ondersteunt ook de strategie van de TU Delft om het maatschappelijk engagement van de instelling daadwerkelijk te realiseren.

Binnen een technologiethema worden één of meer multidisciplinaire programma's geformuleerd. Het onderzoek in een DIOC wordt op deze wijze programma-gestuurd uitgevoerd. De leider van een programma is de 'trekker'; hij is *persoonlijk* verantwoordelijk voor de gang van zaken binnen zijn programma. De programmaleider wordt ondersteund door projectleiders. Bij meer dan één programma binnen een DIOC fungeert één van de programmaleiders als het aanspreekpunt van de betreffende DIOC.

De ARTD 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). De ARTD meent dat met faculteiten, DIOC's en onderzoekscholen het organisatorische plaatje van de primaire processen aan de TU Delft rond is (fig. 3, deel II, p. 21).

De ARTD adviseert om ook de *ontwerp*sopleidingen een sterk interfacultair karakter te geven. DIOC's zouden derhalve tevens ruime aandacht moeten geven aan thema-gericht ontwerpen. De ARTD ziet interessante nieuwe mogelijkheden indien in Delft de ontwerpopleiding en de onderzoekersopleiding meer op elkaar worden afgestemd: samenhang tussen ontwerpen en onderzoeken.

Tenslotte, de ARTD is van mening dat de gang van zaken binnen een DIOC direct dient te worden gerapporteerd aan het College van Bestuur. Dit betekent dat, *bestuurlijk gezien*, de activiteiten in de Delftse kolommen (Faculteiten) en de Delftse rijen (DIOC's) op centraal niveau bij elkaar komen.

• Winning con
• Winning
• Ch...

ARTD ADVIES

'Op weg naar de 21e eeuw'

Deel I: Beleid en strategie

Delft, oktober 1995

INHOUD, DEEL I

Voorwoord 5

I. De universitaire omgeving 6

II. Missie en doelstellingen van de TU DELFT en haar faculteiten 15

III. Beleid en strategie voor het Delftse onderwijs 18

IV. Beleid en strategie voor het Delftse onderzoek 20

V. Conclusies 23

VI. Referenties 24

Voorwoord

De moderne samenleving wordt gekarakteriseerd door een grote mate van *dynamiek*. Alles verandert in een steeds sneller tempo en organisaties die 'mee willen blijven doen' moeten zich voortdurend afvragen of zij nog wel adequaat functioneren. Dat geldt met name voor universiteiten, die juist voorop zouden moeten lopen bij de innovatieprocessen in de maatschappij.

Helaas moet geconstateerd worden dat de huidige universiteiten deze rol niet overtuigend spelen. In-zichzelf-gekeerdheid en gebrek aan interne samenhang moeten als de hoofdoorzaken worden aangewezen. Mede hierdoor is het maatschappelijk en politiek draagvlak van universiteiten verontrustend klein geworden, ook in vergelijking met andere landen.

De ARTD heeft zich in haar rapport dan ook gericht op drie zaken die zij onmisbaar acht voor het realiseren van een toonaangevende Delftse universiteit: de formulering van een helder *zelfbeeld*, waarin expliciet tot uitdrukking komt wat de TU Delft met haar faculteiten inhoudelijk denkt te kunnen bijdragen aan de grote technologische vraagstukken in de samenleving, het creëren van een grote mate van *samenhang* tussen de faculteiten, zowel in het onderwijs als in het onderzoek, en het opstellen van een ambitieus, voor de omgeving duidelijk herkenbaar, *profiel*.

Het rapport bestaat uit twee delen. Deel I start met een korte schets van de Delftse omgeving; aan de hand van enkele belangrijke knelpunten wordt de noodzaak van een kritische omgevingsanalyse voor de TU Delft onderstreept (hoofdstuk I). In hoofdstuk II worden, aan de hand van de conclusies in hoofdstuk I, de missie en doelstellingen aangescherpt om tot een 'eigen' Delftse koers te komen. Vervolgens wordt het ARTD voorstel voor het toekomstige technologiebeleid van de TU Delft in de hoofdstukken III (onderwijs) en IV (onderzoek) behandeld. *Conceptueel* te leren denken en *interdisciplinair* te leren werken staan in deze hoofdstukken centraal.

In deel II van het advies komt de ARTD tot gerichte aanbevelingen.

I. De universitaire omgeving

Inleiding

Als we praten over geïntegreerd technologiebeleid¹, dan hebben we het vooral over het functioneren van de keten 'wetenschap-technologie-bedrijvigheid' en in het bijzonder over de wisselwerking tussen de verschillende actoren, die daarin actief zijn. De grote uitdagingen in deze keten zijn maximale *vernieuwing* vanuit de wetenschap, optimale *aansturing* vanuit de vraag en effectieve *aansluiting* tussen de onderdelen. Hieruit volgt onder andere dat wetenschapsbeleid niet meer los gezien kan worden van technologiebeleid en dat, zeker voor een technische universiteit, technologiebeleid vooral gericht zal moeten worden op de belangrijke trends, zowel maatschappelijk als economisch, in de samenleving ('de omgeving').

Dwingende trends in de wereld

Elke universiteit is geplaatst in een economische, maatschappelijke en culturele context die - direct en indirect - haar koers mede, en vaak zelfs sterker, bepaalt dan het intern en extern gevoerde bestuurlijke beleid (denk bijvoorbeeld aan de invloed van de onvoorspelbare en moeilijk stuurbare studiekeuzen van middelbare scholieren). Aan het eind van de twintigste eeuw tekent zich een aantal duidelijke en dwingende trends in de wereld af, die niet het minst een *technologisch*-georiënteerde universiteit tot strategische bezinning noopt. In vervolg op de Strategienota van de TU Delft [1] noemt de ARTD de volgende, met elkaar min of meer samenhangende trends:

1. Het bereiken van de grenzen van de belastbaarheid van het milieu en de natuurlijke hulpbronnen. *Duurzaamheid* is derhalve geen franje, maar een eerste prioriteit geworden in technologiebeleid.
2. De urgente noodzaak om de steeds ingewikkelder vraagstellingen in de maatschappij te benaderen vanuit een *systeemconcept*. Met name de veelal nog onbegrepen complexe interactie van menselijke activiteiten met onze natuurlijke omgeving vraagt om een effectieve bundeling van disciplines bij het zoeken naar nieuwe wetenschappelijke inzichten en verbeterde ontwerpmethoden.

¹ Onder technologie wordt hier verstaan de integratie van wetenschappelijke en vóórwetenschappelijke kennis voor praktische doeleinden.

3. De steeds verdergaande *informatisering* van onze maatschappij, waardoor informatie-inwinning, -verwerking en -presentatie van toenemende betekenis wordt bij alle ontwikkelingen in de samenleving.
4. De *mondialisering*² van de economie, waardoor landsgrenzen een steeds meer ondergeschikte rol spelen in de economie, deels als gevolg van wereldwijde of regionale internationale verdragen (GATT, EU), deels door de technologische ontwikkeling zelf (versneld fysiek transport, telecommunicatie) en deels ook door het zinvol 'opknippen' van het productieproces in losse deelactiviteiten die in verschillende landen kunnen worden uitgevoerd
5. De trend naar *uitbesteding* aan gespecialiseerde toeleveranciers of goedkopere producenten in binnen- en buitenland van competenties, die niet centraal staan in de bedrijfsvoering van een industrie of organisatie.
6. De sterk *verkorte ontwikkelingscyclus* van opeenvolgende generaties van industriële goederen, waardoor de commerciële nadruk in veel hoogtechnologische sectoren, zoals (consumenten-)elektronica en fijnchemie, op kortere-termijn innovaties toeneemt. Hierdoor verschuiven de langere-termijn researchvragen naar publieke onderzoek-instellingen of blijven onbeantwoord.
7. De immense *produktiviteitsverhoging* in de moderne maak- en procesindustrie, waardoor de werkgelegenheid geen gelijke tred houdt met de economische output van kapitaal- en consumentengoederen. Bijvoorbeeld, in Nederland steeg de industriële productie tussen 1900 en 1980 met een factor 20, veel meer dan de gelijktijdige stijging van de industriële werkgelegenheid. Sinds 1960 is het totale arbeidsvolume nauwelijks gestegen in Nederland, alleen anders verdeeld tussen de burgers en over de sectoren. Sinds 1989 verloor Nederland netto 110.000 arbeidsplaatsen in de industrie³.

Mede als gevolg van deze onomkeerbare trends is voor de maak- en procesindustrie in alle 25 lidstaten van de OECD nu een beeld ontstaan die veel lijkt op de eerdere ontwikkeling in de moderne landbouw: de productie neemt steeds toe, mede door de verhoogde kennis- en kapitaalintensiteit per werkplaats, waardoor de produktiviteit groeit en de marktprijs van het eindproduct afneemt. Bijgevolg nam in de periode 1970 - 1990 de relatieve bijdrage aan het BNP van de maak- en procesindustrie in elk van de 25 lidstaten (inclusief Japan en de VS)

² Veelal aangeduid met de niet zo gelukkige term 'globalisering'.

³ Industrie wordt hier gebruikt zoals gedefinieerd door het CBS.

gestaag af, tot minder dan 30% van het Bruto Binnenlands Produkt in de meest op fabricage en productie gerichte landen (Duitsland, Japan) en nog 5-10% lager in de meer op zakelijke diensten of handel gerichte landen (de VS, Nederland).

Uiteraard betekenen dergelijke ontwikkelingen niet - evenmin als voor de agrarische sector - dat materiële producten van de industrie minder belangrijk zijn geworden in ons bestaan. De trends geven wel voeding aan de moderne economische en cultuurfilosofische overwegingen die tot de slotsom leiden dat wij in een een zogenaamde postindustriële samenleving zijn aangeland, met als belangrijk kenmerk dat het grootste aandeel van de economische bijdragen tot onze welvaart nu *elders* moet worden opgebracht. Juist voor de strategievorming en keuze tussen activiteiten en competenties in een grote technische universiteit, zoals de TU Delft, kan dit niet onbesproken blijven - ten minste niet als deze universiteit haar vooraanstaande positie en haar brede engagement in een snel veranderende context wil handhaven.

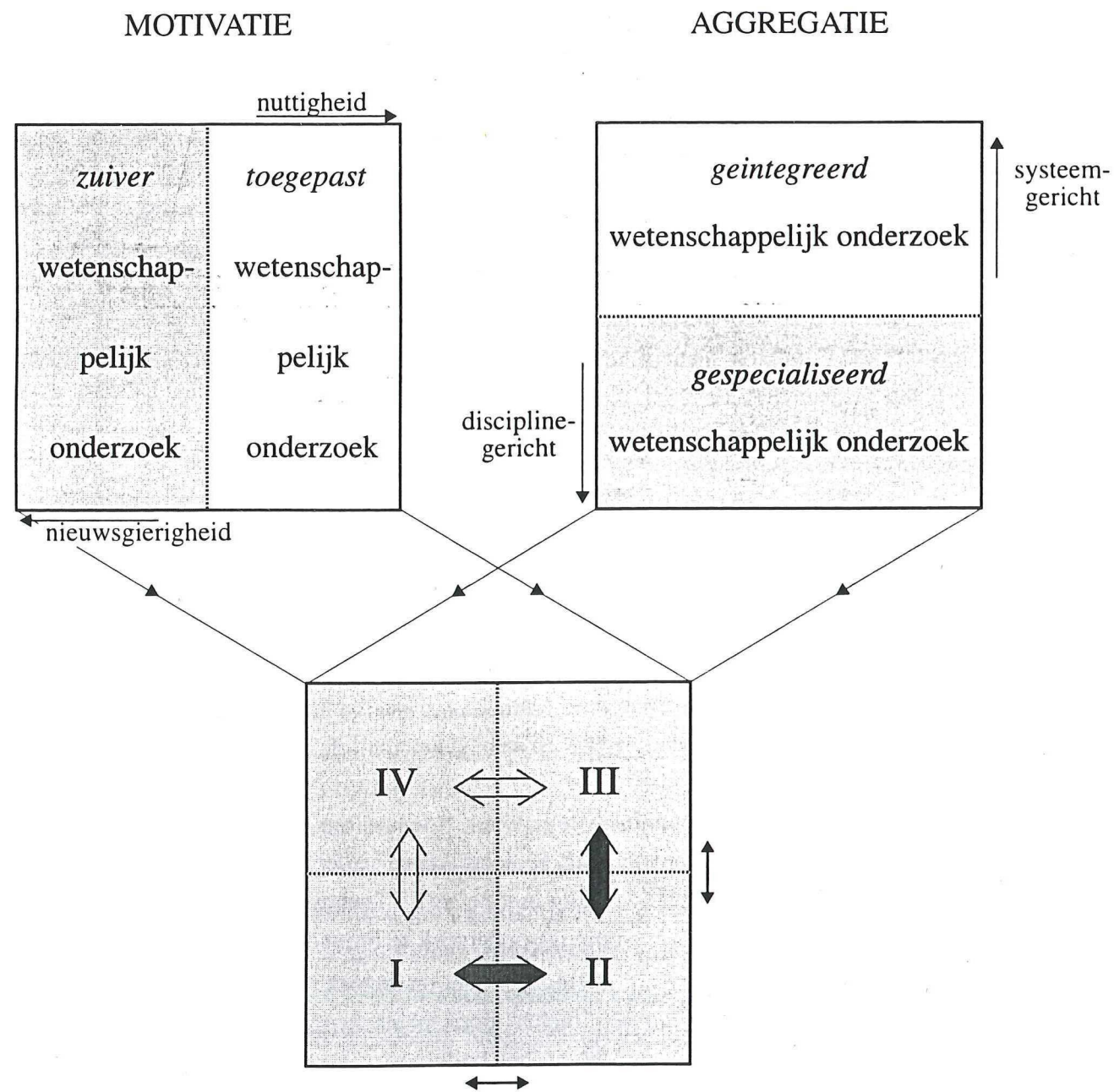
Veranderingen in de wetenschap

Het maatschappelijk rendement van investeringen in het "fundamentele" onderzoek staat in Nederland evenals in vele andere landen ter discussie. Een kritische vraagstelling die in internationaal verband steeds vaker onder de aandacht wordt gebracht, kan als volgt worden samengevat: waarom zou een land nog grote bedragen investeren in fundamenteel onderzoek als de directe relatie met zijn nationale welvaart en welzijn niet duidelijk is?

Traditioneel wordt 'fundamenteel' tegenover 'toepassingsgericht' gezet. Deze één-dimensionale voorstelling is te eenvoudig en bemoeilijkt een heldere discussie. Het Forum voor Techniek en Wetenschap, in samenwerking met de sectie Technische Wetenschappen van de KNAW, heeft getracht het wetenschappelijke onderzoek te ordenen in een twee-dimensionale ruimte⁴ [2]. Dit wordt gevisualiseerd in figuur 1. Het onderzoek "links" wordt gedreven door wetenschappelijke *nieuwsgierigheid*, "rechts" door maatschappelijk-economisch *nut*; het onderzoek "onder" is *discipline-gericht* en het onderzoek "boven" is *systeem-gericht*. Zo ontstaan vier kwadranten die vier soorten van onderzoek definiëren. Uiteraard zijn de grenzen niet scherp, de schalen moeten als glijdend worden gezien. Belangrijke beleidsaspecten voor een onderzoekorganisatie zijn: de gewenste *inspanning* in de verschillende kwadranten en de gewenste *wisselwerking* tussen de verschillende kwadranten.

Indien we fundamenteel onderzoek definiëren als het onderzoek, waarmee de *fundamenten* van wetenschappelijke kennis worden gelegd, verstevigd en uitgebreid, dan betekent dit dat fundamenteel onderzoek de kwadranten I en II omvat ("de onderbalk"). Fundamenteel onderzoek volgens deze opvatting gedefinieerd, bevat zowel een zuiver wetenschappelijke component als een toepassingsgerichte component. Fundamenteel onderzoek kan derhalve

⁴ Deze ordening wordt ook gebruikt in de beleidsnota van NWO [3].



Figuur 1 : Wetenschapsbeleid vereist ondermeer een **ordering** van de grote verscheidenheid aan wetenschappelijke onderzoeksactiviteiten. Belangrijke aspecten zijn: de **inspanning** in de verschillende kwadranten en de **wisselwerking** tussen de verschillende kwadranten. Merk op dat de fundamentele van wetenschappelijke kennis worden gelegd, versterkt en uitgebreid in de kwadranten I en II ('de onderbalk').

worden geïnspireerd door wetenschappelijke *nieuwsgierigheid* (kwadrant I) maar ook door gewichtige *maatschappelijk-economische* vraagstukken (kwadrant II).

Uit het voorafgaande volgt dat maatschappelijk-economische vraagstukken ook fundamentele aspecten kennen, die in het fundamentele onderzoek dienen te worden opgelost. Deze opvatting is zeker niet vanzelfsprekend. Bij fundamenteel onderzoek wordt veelal slechts aan het zuiver wetenschappelijk onderzoek in kwadrant I (links-onder) gedacht: nieuwe inzichten vanuit de wetenschappelijke theorievorming of vanuit het wetenschappelijke experiment. Uit het verleden is duidelijk geworden dat het door nieuwsgierigheid gedreven fundamentele onderzoek ('links') niet vanzelf leidt tot vernieuwing van de technologie. Veel vraag naar fundamenteel onderzoek zal juist in kwadrant II (rechts-onder) komen te liggen. Hierbij gaat het niet alleen om onderzoek binnen de bestaande disciplines; veel vernieuwend onderzoek in kwadrant II zal zich juist *tussen* de disciplines afspelen (en zal het ontstaan van nieuwe disciplines tot gevolg kunnen hebben).

Zoals reeds in het voorafgaande gesteld, wetenschappelijk onderzoek zal zich in toenemende mate moeten richten op complexe *systemen*. Dat wil zeggen, in de termen van figuur 1, veel toekomstig onderzoek zal zich in de bovenbalk afspelen. Hierbij gaat het in de praktijk om een veelheid aan wetenschappelijke disciplines die in *samenhang* worden ingezet (multi-disciplinaire programma's). De fundamentele vraagstukken die men daarbij tegenkomt moeten veelal worden overgelaten aan de gespecialiseerde onderzoekers in de onderbalk: fundamentele wetenschap geïnspireerd door het systeem-gerichte onderzoek. Een actueel voorbeeld is de procestechologie. Onderzoek naar vaak zeer ingewikkelde procestechische systemen gebeurt in de multi-disciplinaire bovenbalk; fundamentele fysische en/of chemische- en/of biologische deelproblemen worden opgelost in de discipline-gerichte onderbalk.

Gezien het mondialiseringseffect bij het toeleveren van kennis, zullen alleen de kwalitatief beste onderzoekorganisaties in aanmerking komen voor het toeleveren van fundamenteel onderzoek aan systeem-gericht onderzoek in de bovenbalk. De internationale concurrentie bij het toeleveren van fundamentele kennis kan derhalve alleen maar toenemen.

Dubbele integratie

Zoals reeds eerder genoemd in dit inleidende hoofdstuk, de maatschappelijke en economische vraagstukken, waar we in een steeds sneller tempo een oplossing voor moeten vinden, vereisen in toenemende mate een systeemgerichte benadering. Immers, een systeemaanpak brengt de onderlinge *afhankelijkheid* van de deelsystemen aan het licht en geeft bovendien de *prioriteiten* tussen de verschillende deelproblemen aan. Stand-alone

oplossingen passen niet meer in deze tijd!

Systeemgericht werken vraagt om vernieuwingen in bestaande werkwijzen en organisatievormen. Moderne organisaties streven naar een sterke *koppeling* tussen de verschillende deelactiviteiten. Dat zou dan ook moeten gelden voor onderwijs- en onderzoekorganisaties.

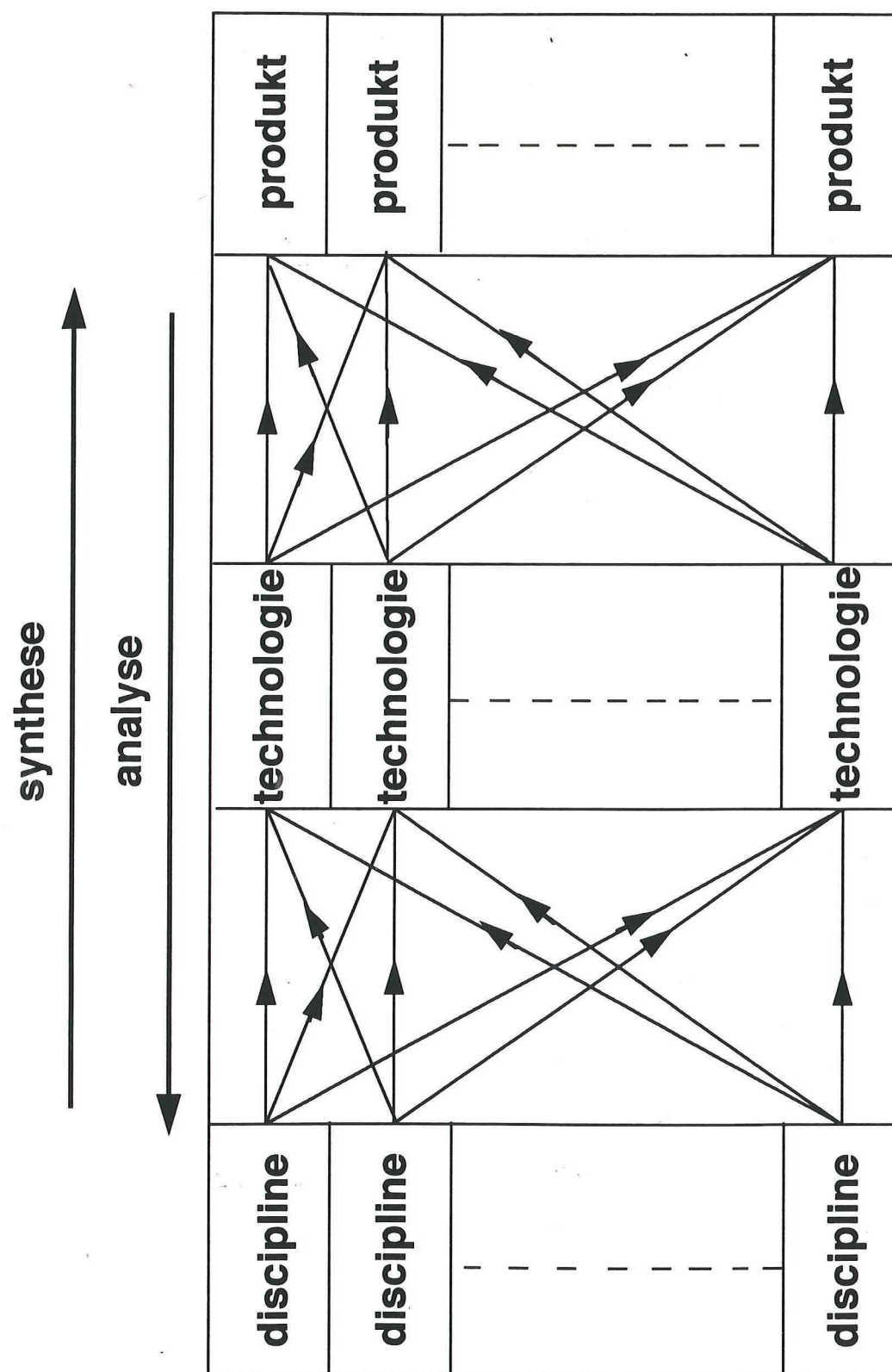
In figuur 2 wordt gevisualiseerd dat elk produkt of (produktie)proces of dienst gebruik maakt van vaardigheden in een aantal technologiegebieden en dat elk technologiegebied weer gebruik maakt van de kennis in een aantal wetenschappelijke disciplines. Bij vernieuwing van produkten/processen/diensten gaat het dus om een *dubbele* integratie, op disciplineniveau en op technologieniveau:

- nieuwe technologieën zijn gebaseerd op een *combinatie* van wetenschappelijke disciplines;
- nieuwe produkten/processen/diensten zijn gebaseerd op een *combinatie* van technologiegebieden.

Uit het bovenstaande mag men concluderen dat sterke wetenschappelijke disciplines een noodzakelijke voorwaarde zijn om goed technologisch onderzoek te doen, maar het is zeker niet voldoende. Er is ook visie en leiderschap nodig om wetenschappers vanuit verschillende disciplines, met vaak geheel verschillende ambities, doelgericht te laten samenwerken.

Bij de ontwikkeling van nieuwe produkten/processen/diensten moet men zich dus niet alleen concentreren op het 1e traject (disciplines naar technologieën); het 2e traject (technologieën naar produkten/processen/diensten) moet ook succesvol zijn om tenslotte over een goed *rendement* van R&D te kunnen spreken.

Het discipline-gerichte 1^e traject ligt primair op het bord van de technische universiteiten (kwadrant II van figuur 1). Echter, gezien de groeiende urgentie om grote vraagstukken systeem-gericht aan te pakken, zullen de technische universiteiten in toenemende mate ook actief moeten zijn in het multidisciplinaire 2^e traject (kwadrant III van figuur 1). Zoals reeds eerder aangegeven, vraagt deze belangrijke ontwikkeling om vernieuwingen in bestaande werkwijzen binnen de technische universiteit. Tevens vraagt deze belangrijke ontwikkeling om een nieuwe rolverdeling tussen technische universiteiten en technologische instituten. Daarbij zullen technische universiteiten zich vooral moeten richten op *grensverleggende* oplossingen, niet alleen bij het wetenschappelijke onderzoek maar ook bij het technisch ontwerpen.



Figuur 2: Een produkt of (produktie)proces of dienst maakt gebruik van vaardigheden in een aantal technologiegebieden, en elk technologiegebied weer gebruik van de kennis in een aantal wetenschappelijke disciplines. Bij produkt/proces/dienst-innovatie gaat het dus om een dubbele integratie.

Naar meer samenhang binnen de universiteit

Uit de voorgaande omgevingsanalyse volgt dat de sterke internationale concurrentie de Nederlandse samenleving 'dwingt' om zich steeds meer toe te leggen op *kennis-intensieve* bedrijvigheid met een hoge mate van *dynamiek*. Hoogwaardige kennis zal niet alleen nodig zijn in de maak- en procesindustrie, maar vooral ook in de groeiende dienstensector. Door de afname van het risico-volle lange-termijn onderzoek in het bedrijfsleven, zullen universiteiten zich steeds meer moeten toelagen op het toeleveren van *samenhangende wetenschappelijke* kennis gericht op *complexe* vraagstellingen vanuit de maatschappij. Het gaat hierbij niet alleen om het toeleveren van kennis maar vooral ook om het afleveren van kennisdragers. Universiteiten zullen academici moeten opleiden die *breed inzetbaar* zijn, niet alleen direct na hun afstuderen maar ook nog vele jaren daarna.

Een *toonaangevende* universiteit moet dus succesvol zijn zowel in het toeleveren van wetenschappelijke kennis als in het afleveren van breed-inzetbare kennisdragers. In de Strategienota van de TU Delft "Naar een nieuw engagement" [1] wordt gesteld dat de TU Delft één van de toonaangevende technische universiteiten van Europa, zowel op het gebied van het onderwijs als op het gebied van het onderzoek, wenst te zijn. Tevens wordt hierin geconstateerd dat de TU Delft een 'eilandenrijk' is. Dit is volgens de ARTD niet alleen een correcte waarneming, de Delftse onsamenhangendheid vormt nu juist de grootste belemmering om als toonaangevende technische universiteit te kunnen functioneren! Hierbij slaat het beeld van een 'eilandenrijk' naar de mening van de ARTD niet alleen op de relaties tussen faculteiten onderling; het betreft in veel gevallen *ook* de samenhang van de vakgroepen binnen de faculteiten (incoherentie op twee niveau's). Het ontbreken van interne samenhang draagt in belangrijke mate bij aan het in standhouden van onoverkomelijk lijkende scheidslijnen of rivaliteit tussen de faculteiten onderling en tussen de vakgroepen binnen de faculteiten. Potentieel vruchtbare samenwerking binnen faculteiten en tussen faculteiten onderling komt hierdoor niet echt van de grond.

Uit externe rapporten die in de afgelopen jaren over de organisatie van het onderwijs en onderzoek van de TU Delft zijn verschenen, komt naast waardering ook niet mis te verstane kritiek naar voren⁵. Die kritiek kan en mag door de TU Delft niet worden genegeerd. Eén van

⁵ De Verkenningcommissie voor de faculteit Wiskunde en Technische Informatica (1992), de VSNU Visitatie-commissies voor de faculteiten Mijnbouwkunde en Petroleumwinning (1992), Scheikundige Technologie en Materiaalkunde (1993), het vergelijkende onderzoek "International Programme Review Electrical Engineering" (IPR-EE, 1992), het ABET rapport "Dutch Engineering Programs in a European Context" (1993), de "Enquête Ingenieursopleidingen" van de Raad van Centrale Ondernemingsorganisaties (RCO, 1993), het AWT rapport "Technici en Onderzoekers: Kwantiteit en Kwaliteit" van de Adviesraad voor het Wetenschaps- en

de belangrijkste oorzaken van deze kritiek is dat het bij veel faculteiten ontbreekt aan een helder *zelfbeeld* omtrent het eigen functioneren in de samenleving. Veel faculteiten zijn te sterk 'naar binnen gericht'; zij zijn zich te weinig bewust van de grote dynamiek in hun omgeving.

Het ontbreken van het zelfbeeld kan als een belangrijke factor worden gezien van de daling van de studentenstroom: potentiële studenten weten onvoldoende wat zij van de TU Delft kunnen verwachten. Maar ook op het gebied van het onderzoek wrekt zich het ontbreken van visie. Faculteiten zijn onvoldoende bezig met wat de dynamiek in hun omgeving hen kan bieden of van hen vraagt. Hierbij refereert het begrip 'omgeving' niet alleen aan de andere faculteiten van de TU Delft, maar ook naar de bredere maatschappelijke context in een snel veranderend Europa. Het staat veel faculteiten in onvoldoende mate voor ogen wat de meerwaarde is van hun bijdrage (onderwijs, onderzoek) aan de oplossing van de belangrijke vraagstukken. Hierdoor kunnen faculteiten niet alleen aan andere faculteiten, maar ook aan het bedrijfsleven en de overheid moeilijk op een heldere manier aangeven wat zij voor elkaar kunnen betekenen.

In het advies van de ARTD wordt een voorstel gedaan voor het toekomstige technologiebeleid, en de daarmee verbonden strategie, van de TU Delft. Het advies is gebaseerd op de hiervoor geschetste veranderingen in de samenleving ('de omgeving') en de kansen die er volgens de ARTD voor de TU Delft ('faculteiten en vakgroepen') liggen om daarin een toonaangevende rol te spelen.

Technologiebeleid (AWT, 1993), het rapport van het KIVI over "De Kwaliteit van de Ingenieursopleiding" (1993) en het rapport van de CvD-Adviescommissie Interne Kwaliteitszorg voor het Onderwijs (AIKOW, 1994).

II. Missie en doelstellingen van de TU DELFT en haar faculteiten

Na kennis genomen te hebben van het missie-statement, zoals geformuleerd in de strategische visie '*Naar een nieuw engagement*', stelt de ARTD voor de missie van de TU Delft minder algemeen te formuleren en als volgt aan te scherpen voor de specifieke Delftse situatie:

De TU Delft wenst te functioneren als een internationaal toonaangevende *technologische* universiteit ('University of Technology'), zowel op het gebied van onderwijs als op het gebied van onderzoek. Zij streeft ernaar actief te zijn op een *breed* terrein van technologie-gebieden en beoogt daarbij de *samenhang* tussen deze gebieden te versterken.

De TU Delft engageert zich aan de belangrijkste actuele en toekomstige technisch-wetenschappelijke vraagstellingen in de maatschappij, zowel nationaal als *internationaal*. Zij draagt bij aan de oplossingen hiervan en wenst daar ook op te worden aangesproken.

In de aangescherpte missieformulering worden, evenals in de oorspronkelijke versie, de drie maatschappelijke functies van de universiteit, "onderwijs, onderzoek en maatschappij-gerichte dienstverlening", naar voren gehaald. Echter, het missie-statement geeft nu ook expliciet aan dat de TU Delft zich wil profileren als een universiteit, waarbij *technologie* centraal staat. Bij maatschappij-gerichte vraagstukken (zowel economisch als maatschappelijk) zal de TU Delft, als onderdeel van een groter geheel, zich derhalve toeleggen op in hoeverre de technologie zou kunnen bijdragen om tot een oplossing te komen. Het gaat hierbij niet uitsluitend om het genereren van nieuwe technologie, maar ook om het inzetten van bestaande technologie voor de ontwikkeling van innovatieve producten, (productie)processen en diensten. Uiteraard is de ARTD zich ervan bewust dat er vaak meer nodig is dan technologie alleen; zo spelen bij het oplossen van de energie- en milieuproblematiek ook de gamma-wetenschappen een belangrijke rol. De ARTD is derhalve van mening dat de traditioneel scherpe scheidslijn tussen bèta's en gamma's geen positieve bijdrage levert aan een gezonde technologische ontwikkeling. Hij vindt echter wel dat de TU Delft zich in haar missie beperkingen moet opleggen en slechts aan die gamma-disciplines moet bijdragen, die een essentieel onderdeel uitmaken van het technologisch ontwerpproces (economie van de infrastructuur; maatschappelijke acceptatie nieuwe technologie; normalisatie en andere regelgeving).

Het missie-statement geeft ook aan dat de TU Delft zich wil profileren als een universiteit met een *brede* technologiemix, waarbij de Delftse studenten een keuze kunnen maken uit een breed aanbod van technische studierichtingen en waarbij de Delftse multidisciplinaire weten-

schappelijke programma's vanuit de instelling breed ondersteund kunnen worden door sterke technisch-wetenschappelijke monodisciplines. Echter, zonder samenhang levert breedte geen meerwaarde op. De ARTD acht het derhalve van cruciaal belang dat de *samenhang* tussen faculteiten onderling en vakgroepen binnen de faculteiten sterk wordt verbeterd.

Tenslotte geeft het missie-statement aan dat de TU Delft zich wil profileren als een universiteit, die vooral ook *internationaal* opereert en effectief samenwerkt met de allerbeste technische universiteiten in het buitenland.

Uit de aangescherpte missie van de TU Delft kan een aantal concrete doelstellingen worden afgeleid, die door de ARTD als volgt zijn geformuleerd:

1. Opleiden van vakkundige ingenieurs die *breed-inzetbaar* zijn in uiteenlopende functies (ontwerpen, management) binnen verschillende sectoren (industrie, dienstverlening) en die de motivatie hebben meegekregen *innovatief* te werk te gaan.

Uit de eerste doelstelling volgt dat de TU Delft ernaar streeft ingenieurs en onderzoekers af te leveren, die goed zijn in zowel *analyse* als *synthese*, en die daardoor structureel een uitstekende positie hebben op de internationale arbeidsmarkt. Tevens streeft de TU Delft er naar academici af te leveren die goed kunnen communiceren en die, door hun ondernemingszin, met (bestaande) technologie zelf ook nieuwe werkgelegenheid kunnen creëren.

2. Nieuwe wetenschappelijke *inzichten* en nieuwe *technologie* ontwikkelen die de maatschappij in staat stelt knelpunten op te lossen, innovatieve producten en produktiesystemen (integratie) te maken en nieuwe diensten te leveren. Bij de academische vorming en opleiding speelt wetenschappelijk onderzoek een essentiële rol. Omdat de technologie in Delft centraal staat (zie missie-statement), moet het onderzoek toepassings-gericht zijn, waarbij samenhangende multidisciplinaire wetenschappelijke programma's worden ondersteund door sterke monodisciplines met een hoge kwaliteit. De TU Delft moet alert zijn op belangrijke mondiale ontwikkelingen en zij moet er naar streven om, voor een aantal belangrijke lange-termijn knelpunten en kansen, te komen met originele technisch-wetenschappelijke oplossingen, daarbij de noodzaak van duurzaamheid in acht nemend.

Uit de tweede doelstelling volgt dat onderzoekers aan de TU Delft zich, bij het opstellen van hun onderzoekprogramma, vooral ook moeten laten inspireren door de lange-termijn vraagstukken in de maatschappij (het 'wat'). Hiermee komt het maatschappelijk engagement tot uitdrukking. Echter, zij zullen wel de vrijheid moeten krijgen om de uitvoering (het 'hoe') grotendeels naar eigen inzicht te kunnen doen. Immers, bij het

universitaire onderzoek moet men de ambitie hebben geheel nieuwe wegen in te slaan om innovatieve oplossingen te vinden: geen volger maar trendsetter.

3. Het verlenen van maatschappelijke *diensten* met behoud van de academische vrijheid en onafhankelijkheid.

De TU Delft dient haar onderzoekers te inspireren om gevraagde en ongevraagde adviezen steeds ongebonden en vanuit *deskundigheid* uit te brengen, daarbij ook ethisch-evaluatieve overwegingen in aanmerking nemend. Zij dient haar onderzoekers ervan te doordringen dat zij veelal als representanten van de TU Delft zullen worden gezien, wanneer zij vanuit hun professie spreken.

Een te sterke financiële afhankelijkheid van één enkele commerciële opdrachtgever zou vermeden moeten worden.

III. Beleid en strategie voor het Delftse onderwijs

Het is reeds eerder gesteld, de veranderingen in de maatschappij verlopen steeds sneller. Het wordt dan ook steeds lastiger om criteria op te stellen voor een goede academische opleiding. Toch ziet de ARTD drie belangrijke beleidselementen om de onderwijsdoelstelling (doelstelling 1, hoofdstuk II) te realiseren.

Het eerste beleidselement richt zich op het feit dat nauwe specialismen in de Delftse opleiding niet meer verantwoord zijn. De pas-afgestudeerde moet niet alleen afhankelijk zijn van de, op dat moment aanwezige, werkgelegenheid in zijn specifieke afstudeerrichting, maar hij moet ook in korte tijd op *vele andere plaatsen* (ook later in zijn carrière) kunnen worden ingezet. Uiteraard past hierin ook het starten van een eigen onderneming.

Het tweede beleidselement richt zich op de noodzaak om vernieuwend te kunnen en willen opereren. *Innovatief* omgaan met kennis om knelpunten op te lossen en nieuwe mogelijkheden te creëren, dat heeft onze samenleving meer dan ooit nodig. De TU Delft moet in haar opleiding studenten de motivatie meegeven om de motor te zijn van technologische vernieuwingen in hun omgeving.

Het derde beleidselement is gericht op het toenemend belang om effectief te kunnen *samenwerken* met collega's die hun opleiding hebben genoten in andere wetenschappelijke disciplines. Werken aan oplossingen in multidisciplinaire (onderzoek-, ontwerp-, management-) teams wordt steeds belangrijker in de toekomst; het systeem-gericht denken speelt hierin een onmisbare rol. Er is een toenemende vraag naar academici die in staat zijn goed te kunnen communiceren en integrerend te kunnen werken.

Samenvattend, de ARTD is van mening dat een brede fundamentele kennisbasis, een innovatieve instelling en een mentaliteit om effectief te kunnen samenwerken, de drie hoofdelementen moeten zijn in het onderwijsbeleid van de TU Delft.

De ARTD adviseert het CvB hiervoor de volgende strategie te volgen:

1. Verplicht alle faculteiten tot *equivalente* kernprogramma's in de propaedeuse, waarin alle technisch-wetenschappelijke basisdisciplines (de 'fundamenten' van de technische wetenschappen) in samenhang en op een hoog niveau worden gedoceerd. Gebruik de propaedeuse als selectie- en verwijismiddel, zoals in de wet is voorzien. In Delft zou ook *interne* verwijzing ruime aandacht moeten krijgen (onderdeel van het Delfts profiel).
2. Stimuleer de zelfwerkzaamheid en het probleem-oplossendvermogen van studenten. Stel hoge eisen aan de *studiediscipline* (onderdeel van het Delfts profiel), vooral wat betreft het regelmatig werken, het zelfstandig studeren en het actiever deelnemen aan de onderwijsactiviteiten.

3. Continueer de hoge kwaliteit van het studieprogramma in de D-1 fase door naast de fundamentele aanpak ook te stimuleren om meer systematisch aandacht te besteden aan het leren *conceptueel* te denken, waardoor in de Delftse studie zowel diepgang als breedte wordt bereikt.
4. Verzorg de *specialisatie* pas in de D-2 fase. Beperk hierin het aantal afstudeerrichtingen (goed kiezen) en laat elke afstudeerrichting zich breed opstellen bij het kiezen van de afstudeeronderwerpen⁶.
Verzorg de opleiding voor technische wetenschappers in de promotie-fase. Promotie-onderwerpen kunnen zowel discipline-gericht (Figuur 1, rechts-onder) als systeem-gericht (Figuur 1, rechts-boven) zijn.
Breng een koppeling aan tussen de Delftse ontwerpers- en de Delftse onderzoekers opleidingen.
5. Verifieer de kwaliteit van de afstudeerders door nauw contact te onderhouden met de afnemers (terugkoppeling).

In deel II van dit advies worden een aantal concrete aanbevelingen gedaan hoe tot een snelle en effectieve uitvoering te komen.

⁶ De ARTD vindt het van groot belang dat in Delft afstudeeropdrachten met grote *diepgang* worden uitgevoerd. Het woord 'breed' slaat derhalve op de keuze van vraagstellingen die een afstudeerrichting kan aanpakken.

IV. Beleid en strategie voor het Delftse onderzoek

Onderzoek aan de TU Delft heeft een essentiële functie bij het opleiden van ingenieurs en technische wetenschappers. Juist in de onderzoekfase van de studie kan de student de motivatie worden meegegeven zijn wetenschappelijke kennis daadwerkelijk in te zetten om, samen met anderen, nieuwe oplossingen te ontwerpen. Maar onderzoek aan de TU Delft is ook gericht op het verwerven van nieuwe wetenschappelijke inzichten en het ontwikkelen van nieuwe technologieën, inspelend op maatschappelijke behoeften.

De ARTD onderscheidt twee soorten van onderzoek die *beide* van groot belang zijn voor de TU Delft:

1. Monodisciplinair onderzoek, dat gericht is op het onderhouden, versterken en vernieuwen van technisch-relevante kennis in de (deel)disciplines van de Delftse faculteiten.
2. Multidisciplinair onderzoek, waarbij de grenzen van de 'klassieke' disciplines worden overschreden.

Het eerste type onderzoek is van groot belang om de bestaande kennisbasis in de (deel)disciplines te verstevigen en nieuwe wetenschappelijke inzichten toe te voegen; immers er kan geen sterk multidisciplinair onderzoek worden gedaan zonder excellente monodisciplines. Het valt in principe onder de verantwoordelijkheid van de faculteiten.

Het tweede type onderzoek maakt een sterke groei door; hier liggen vele mogelijkheden. Immers, het gaat bij multidisciplinair onderzoek zowel om *gespecialiseerd* onderzoek dat tussen de bestaande disciplines ligt (interdisciplinair onderzoek) als om *geïntegreerd* onderzoek dat gericht is op het begrijpen, ontwerpen en beheersen van complete processen (systeem-gericht onderzoek). Echter, in een onderzoekorganisatie die traditioneel werkt met onafhankelijke discipline-gerichte onderzoeksgroepen is het realiseren van multidisciplinaire wetenschappelijke programma's geen eenvoudige zaak. De ARTD acht het daarom noodzakelijk om juist voor dit type onderzoek ambitieus te werk te gaan en stelt voor om het Delftse multidisciplinaire onderzoek in de toekomst op programma-niveau uit te voeren; daartoe wordt een gericht instrument voorgesteld: Delftse IOC's of, kortweg, DIOC's (Delftse Interfacultaire Onderzoek-Centra). Een DIOC is een (organisatorisch) eenvoudig en (in samenstelling en in tijd) flexibel opererend *multidisciplinair* orgaan, waarin één of meer grensverleggende wetenschappelijke programma's worden uitgevoerd onder leiding van toonaangevende Delftse hoogleraren ('trekkers'), en waarvoor ruime financiële middelen beschikbaar zijn gesteld.

DIOC's moeten worden *afgerekend* op technisch-wetenschappelijke vernieuwing, multidisciplinariteit en maatschappelijk-economisch belang.

Zoals reeds eerder gesteld, de veranderingen om ons heen voltrekken zich in een steeds sneller tempo en organisaties zullen steeds meer dynamiek moeten vertonen om zich aan te passen aan de nieuwe omstandigheden. Immers, een organisatie is altijd een middel en mag nooit het doel worden. De ARTD is van mening dat de snelle veranderingen grote kansen scheppen voor de TU Delft mits zij daar tijdig en goed op inspeelt:

Met behulp van DIOC's kunnen unieke combinaties van excellente discipline-gerichte kennis worden ingezet op Delftse technologiethema's; DIOC's moeten snel kunnen inspelen op nieuwe kansen, maar moeten ook tijdig gewijzigd of beëindigd kunnen worden als dat opportuun is.

DIOC's initiëren derhalve het actief inspelen op de dynamiek in de omgeving van onze faculteiten en bevorderen het uitwerken van kansen die op het snijvlak van de Delftse disciplines naar voren kunnen komen; verwacht mag worden dat DIOC's de zo noodzakelijke samenhang tussen de faculteiten succesvol tot stand kunnen brengen. DIOC's kunnen echter ook witte plekken in de Delftse disciplines signaleren en zodoende richting geven aan het discipline-gerichte onderzoek en zodoende nieuwe impulsen geven aan het hooglerarenbeleid. Ook mag verwacht worden dat DIOC programma's een duidelijke indicatie zullen geven welke de Delftse 'sleutel disciplines' zijn. Tenslotte, DIOC's zouden ook een extra impuls kunnen geven aan de interfacultaire ontwerpopleidingen door niet alleen thema-gericht *onderzoeken*, maar ook thema-gericht *ontwerpen* in een DIOC onder te brengen.

De ARTD adviseert het CvB de volgende onderzoekstrategie te volgen:

1. Gegeven de missie en doelstellingen van de TU Delft, laat de faculteiten een helder *zelfbeeld* formuleren, waarin tot uitdrukking komt wat zij in de naaste toekomst inhoudelijk denken te kunnen bijdragen (onderwijs, onderzoek) aan het oplossen van de grote technologische vraagstukken in de samenleving. Het zelfbeeld moet zodanig duidelijk geformuleerd worden dat studenten beter weten wat ze kunnen verwachten en faculteiten beter weten wat ze voor elkaar kunnen betekenen.
2. Kies een beperkt aantal, voor de toekomst belangrijke, technologiethema's, waarin Delft uitblinkt en/of wenst uit te blinken: de Delftse technologiethema's. Het komen tot die keuze is uiteraard geen éénmalige zaak, maar is een *continu* dynamisch proces. Voorstellen kunnen zowel 'top-down' als 'bottom-up' gegenereerd worden.
3. Laat het onderzoek in elk van de Delftse technologiethema's uitvoeren door een DIOC. Een DIOC wordt derhalve opgericht op basis van een ambitieus multidisciplinair wetenschappelijk *programma* (dus geen verzameling van losse projecten).

4. Streef ernaar dat DIOC's zich manifesteren als vernieuwende multidisciplinaire centra met experimentele topfaciliteiten, alwaar ook wetenschappers uit het bedrijfsleven graag toeven. Hiervoor is het nodig dat DIOC's op basis van hun *programma* gefinancierd worden.
5. Zorg dat met de instelling van DIOC's een aanzienlijke hoeveelheid nieuw onderzoekgeld kan worden aangetrokken door ook het bedrijfsleven bij de programmering te betrekken.

DIOC's moeten de *dynamiek en samenhang* in het technologiebeleid van de TU Delft gaan uitstralen en zij zouden daarmee het imago van de TU Delft aanzienlijk kunnen versterken.

Tenslotte, de DIOC komt *niet* in plaats van de onderzoekschoolorganisatie. Delftse onderzoeksgroepen die deel uitmaken van een DIOC zullen veelal tevens onderdeel zijn van een KNAW-erkende onderzoekschool en/of elk ander - mogelijk internationaal - samenwerkingsverband. Hierdoor zullen DIOC's de positie van de TU Delft binnen inter-universitaire samenwerkingsverbanden, aanzienlijk kunnen versterken, zonder wijzigingen aan te brengen in bestaande personele allocaties.

In deel II van dit advies worden een aantal concrete aanbevelingen gedaan hoe tot een snelle en effectieve uitvoering te komen.

VI. Referenties

- [1] Naar een nieuw engagement, een strategische visie voor de TU Delft: College van Bestuur, 1994.
- [2] Naar een betere benutting van kennis in de industrie: Nederlands Forum voor Techniek en Wetenschap, 1994.
- [3] Kennis verrijkt: Beleidsnota NWO 1996 - 2001: Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek, 1995.
- [4] Onderzoek is mensenwerk: ruimte voor management van human resources: Adviesraad voor het Wetenschaps- en Technologiebeleid, 1995.
- [5] Kennis in Beweging, over kennis en kunde in de Nederlandse Economie: Nota van de Ministers van Economische Zaken, Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 1995.

ARTD ADVIES

'Op weg naar de 21e eeuw'

Deel II: Uitvoeringsaspecten

Delft, maart 1996

INHOUD, DEEL II

I.	INLEIDING	3
II.	ONDERWIJS	8
III.	ONDERZOEK	12
IV.	CONCLUSIES	23
V.	REFERENTIES	26

Appendix A: Aanvullende suggesties voor het onderwijs

Appendix B: Motivaties voor de Delftse technologiethema's

Appendix C: Samenvatting inventarisatie

I. INLEIDING

I.1. Kernpunten ARTD Advies deel I

In het ARTD Advies *Op weg naar de 21e eeuw, deel I: Beleid en Strategie* is een kader geschetst voor het toekomstige technologiebeleid van de TU Delft.

In het eerste deel worden 'dwingende' maatschappelijk-economische trends aangegeven die aanleiding zijn voor de TU Delft om nieuwe impulsen te geven aan het onderwijs en onderzoek om zo meer effectief te kunnen inspelen op uitdagingen die in de komende jaren op ons af komen. Voorts zijn de missie en doelstellingen van de TU Delft aangescherpt om tot een 'eigen' koers te komen, waarbij *technologie* nadrukkelijk centraal wordt geplaatst (zie figuur 2 in deel I). Ten slotte wordt een voorstel geformuleerd voor het toekomstige technologiebeleid van de TU Delft. Een rode draad door het advies is het vergroten van de *samenhang* tussen onderwijs en onderzoek enerzijds en tussen de activiteiten van de faculteiten anderzijds ('ontschotting').

Opleiding

In het eerste deel van het ARTD Advies is met nadruk gesteld dat de TU Delft primair een technologisch georiënteerde universiteit moet zijn. Voor de uitvoeringsfase betekent dit dat in Delft technisch-wetenschappelijke *ontwerpvaardigheden* een centrale plaats moeten innemen in zowel het onderwijs als het onderzoek. En ontwerpvaardigheden vereisen, naast het vermogen te kunnen analyseren, vooral ook het vermogen om te kunnen *synthetiseren*.

Ter verduidelijking, met 'analyse' wordt de wetenschappelijke activiteit bedoeld om structuur aan te brengen in waarnemingen en om wetmatigheden te ontdekken in een ogenschijnlijk toevallige en ongeordende werkelijkheid. Hierbij gaat het dus primair om het verwerven van inzicht: het beschrijven en verklaren van verschijnselen door het formuleren en toetsen van theoretische modellen. En met 'synthese' wordt hier de activiteit bedoeld om vraagstukken op te lossen door bestaande inzichten uit (veelal verschillende) disciplines bij elkaar te brengen en vervolgens tot een samenhangend geheel ('systeem') te integreren dat aan bepaalde externe eisen voldoet. In een technisch-wetenschappelijke omgeving gaat het in de analyse en synthese altijd om verschijnselen in ingewikkelde systemen die niet alleen begrepen moeten

worden (theorievorming), maar vooral ook beheerst dienen te worden (technologieontwikkeling).

Zoals gezegd, het aanleren van technisch-wetenschappelijke ontwerpvaardigheden is voor een technologisch georiënteerde universiteit zoals de TU Delft een wezenlijke component in haar onderwijs en onderzoek. Immers, de activiteiten van ingenieurs hebben niet alleen te maken met het verklaren van problemen (analyse-gericht), maar hebben vooral als doel om op basis van de via analyse verworven wetenschappelijke inzichten, en binnen het kader van veelal tegenstrijdige maatschappelijke-economische randvoorwaarden, oplossingen te ontwerpen (synthese-gericht). Essentieel hierbij is dat in de praktijk *tijdig* naar adequate oplossingen gezocht dient te worden, ook indien de wetenschappelijke inzichten nog onvoldoende ontwikkeld zijn. Dit laatste is wellicht het meest karakteristiek voor de vaardigheden van een ingenieur.

Samenvattend, door het centraal zetten van ontwerpvaardigheden in het onderwijs en onderzoek onderscheidt de TU Delft zich duidelijk van de algemene universiteiten. Immers bij technische universiteiten is de opleiding recentelijk met een jaar verlengd juist om meer aandacht te besteden aan de integrerende vaardigheden die onmisbaar worden geacht bij het systeem-gerichte ontwerpproces; hierin ligt ook de meerwaarde en het 'eigene' van technische universiteiten. Dit betekent dat systeemaanpak een essentieel element bij de inrichting van de ingenieursopleiding moet zijn en als uitgangspunt moet gelden voor de focus van het technisch-wetenschappelijke onderzoek.

Het begrijpen, creatief ontwerpen en competent beheersen van complexe systemen¹, gebaseerd op een combinatie van excellente analytische en synthetiserende bekwaamheden, loopt als een rode draad door dit tweede deel van het ARTD Advies.

Onderwijs

Kern van het onderwijsgerichte deel van het ARTD advies is het formuleren van drie beleidselementen die van groot belang worden geacht voor de Delftse opleiding. Ten eerste wordt aangegeven dat nauwe specialismen in de opleiding niet meer verantwoord zijn; dit impliceert dat de opleiding zodanig moet worden opgezet dat de Delftse ingenieur, goed geëquipeerd met technisch-wetenschappelijke basiskennis, kan worden ingezet op een *breed* terrein van kennis-intensieve werkzaamheden. Ten tweede dient de opleiding zo te worden ingericht, dat geleerd wordt om in de praktijk *innovatief* om te gaan met bestaande en nieuwe kennis; dit om beter te kunnen bijdragen aan het oplossen van knelpunten en het tijdig benutten van kansen. Ten derde wordt het noodzakelijk geacht dat de opleiding meer wordt

¹ Systemen in de meest algemene zin van het woord.

gericht op het leren *samenwerken*, aangezien het werken in multidisciplinaire teams in de toekomst steeds belangrijker zal worden.

Onderzoek

Kern van het onderzoekgerichte deel van het ARTD advies is het stimuleren van *multidisciplinair* onderzoek, waarbij de grenzen van de 'klassieke' disciplines worden overschreden. De ARTD heeft in deel I reeds 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).

De ARTD constateert met genoegen dat binnen de TU Delft reeds sprake is van multidisciplinair onderzoek dat gemeenschappelijk door monodisciplinaire groepen wordt uitgevoerd. Maar ze stelt ook vast dat nog een te groot deel van de onderzoekorganisatie van de TU Delft gebaseerd is op onafhankelijke discipline-gerichte groepen.

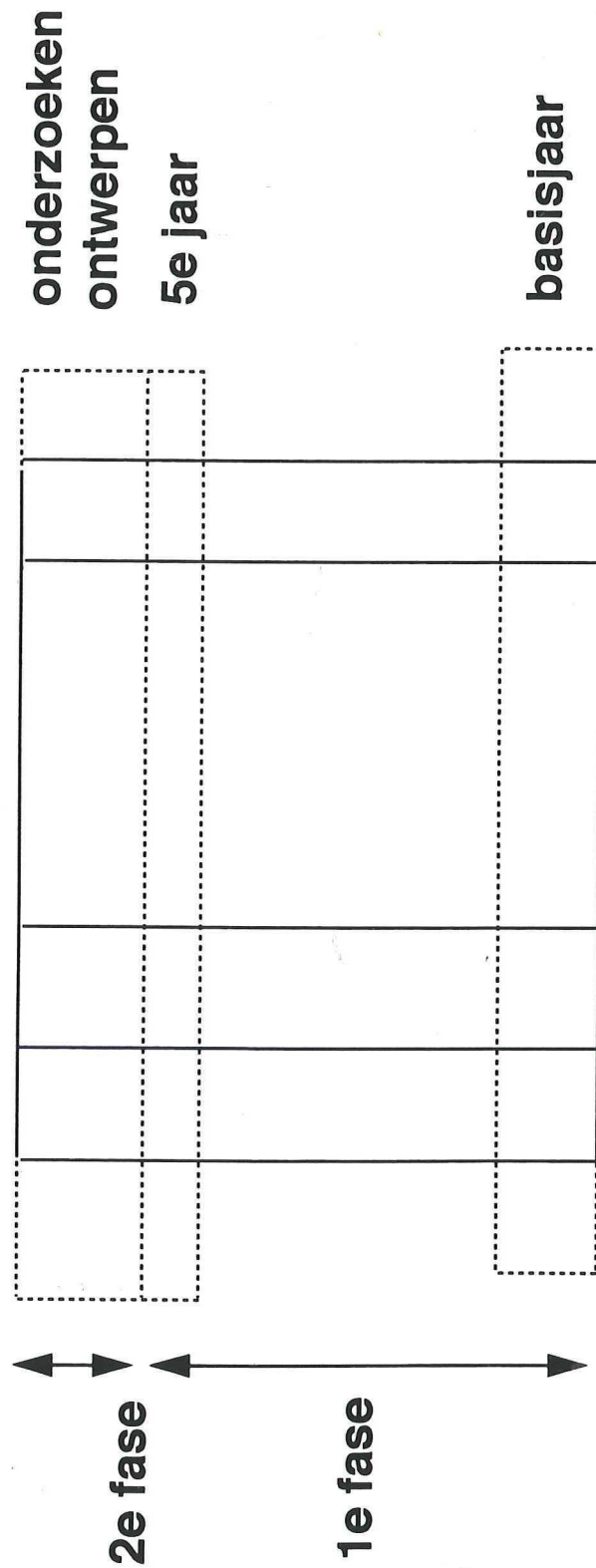
Het multidisciplinaire onderzoek zou moeten worden uitgevoerd in wetenschappelijke programma's, waar discipline-gerichte onderzoeksgroepen in samenwerken.² De ARTD stelt voor dit te realiseren door het laten ontstaan van een aantal Delftse Interfacultaire Onderzoek-Centra (DIOC's), die gericht zijn op zorgvuldig gekozen Delftse technologiethema's. Hierdoor wordt inhoudelijke samenhang en qua doelstelling meer focus van de Delftse onderzoek- en de daarmee samenhangende ontwerp-activiteiten verwacht. Het *programma-gestuurde* onderzoek in DIOC's moet een aanzienlijke bijdrage gaan leveren aan het profiel en de dynamiek van de TU Delft.

Het profileren van het TU Delft onderzoek door middel van DIOC's stelt de universiteit in staat op te treden als een sterke partner bij samenwerking met andere universiteiten en externe instituten.

I.2. Opbouw van het ARTD Advies deel II

Figuur 1 vat in schematische vorm het eerste deel van het ARTD advies samen: aanzienlijk meer samenhang tussen de faculteiten in het 1e jaar (equivalente basisvakken), het 5e jaar (interfacultair afstuderen), het 6e en 7e jaar (interfacultaire ontwerpopleidingen) en het 6e - 9e jaar (interfacultair onderzoek). In dit tweede deel van het advies wordt ingegaan op een nadere concretisering van de ARTD voorstellen.

² Hierbij gaat het zowel om *gespecialiseerd* onderzoek dat tussen de bestaande disciplines ligt (interdisciplinair onderzoek) als om *geïntegreerd* onderzoek dat gericht is op complete processen (systeem-gericht onderzoek).



Figuur 1: In deel I van het ARTD advies wordt gepleit voor aanzienlijk meer samenhang tussen de faculteiten in het 1e jaar (equivalente basisvakken), het 5e jaar (interfacultair afstuderen), het 6e en 7e jaar (interfacultaire ontwerpsopleidingen) en het 6e - 9e jaar (interfacultair onderzoek).

In hoofdstuk II worden de uitvoeringsaspecten aangegeven voor het Delftse onderwijs. Hierin staat het leren werken met conceptuele modellen centraal; tevens wordt de invoering van de drie beroepsprofielen bij het afstuderen in hoofdlijnen uitgewerkt. In hoofdstuk III wordt ingegaan op het Delftse onderzoek. Hierin staat het keuzevoorstel van voor Delft relevante technologiegebieden centraal; tevens wordt een voorstel gedaan betreffende de inhoudelijke en procedurele randvoorwaarden voor DIOC's en de organisatorische inbedding van de DIOC's.

Tenslotte, ter voorbereiding van zijn advisering heeft de ARTD het van groot belang geacht om over een inventarisatie te beschikken van de kennisportfolio van de TU Delft. Het doel hiervan is om feitelijke informatie te leveren over de nationale en Europese prioriteiten van het technisch-wetenschappelijk onderzoek, zoals deze buiten de TU Delft zijn of worden geformuleerd. Binnen dit kader is tevens aangegeven wat de relatieve positie van de TU Delft is, en wat haar toekomstmogelijkheden op de relevante gebieden zijn.

Het College van Bestuur heeft in mei 1995 aan TNO Beleidsstudies en Advies de opdracht verstrekt om deze inventarisatie uit te voeren. Dit heeft geresulteerd in het rapport 'Opties voor Technologiebeleid en Profilering voor de TU Delft' (november 1995). Hierbij trad voormalig Rector Magnificus Prof. P.A. Schenck van de zijde van de TU Delft als coördinator op; dit in nauwe samenwerking met de Dienst Onderwijs en Onderzoek.

De ARTD acht deze inventarisatie zeer waardevol, en beschouwt het als belangrijke, aanvullende informatie bij de tot standkoming van het ARTD advies. De ARTD wijst er evenwel op dat het rapport geen onderdeel uitmaakt van het voorliggende ARTD Advies.

II. ONDERWIJS

II.1. Inleiding

Het Delftse onderwijs is sterk in beweging. Tal van initiatieven op zowel facultair als centraal niveau zijn gericht op het verbeteren van zowel de inhoud als de uitvoering van het Delftse onderwijs [1].

De ARTD gaat in dit advies niet *separaat* in op de onderwerpen 'duurzaamheid', 'milieu' en 'ethische aspecten van de ingenieurswetenschappen'. 'Duurzaamheid' en 'milieu' dienen naar de mening van de ARTD volledig te worden geïntegreerd met technisch-wetenschappelijke ontwerpmethodologieën. Ten aanzien hiervan wil de ARTD aansluiten bij het project 'Ontwerpen' [2]. De ARTD sluit zich voor wat betreft het onderwerp 'ethische aspecten van de ingenieurswetenschappen' aan bij de recente initiatieven van de Commissie Richtlijnen Ethiek [3].

In appendix A wordt tevens een aantal specifieke zaken, die in het eerste deel van het ARTD Advies over het Delftse onderwijs zijn genoemd, in hoofdlijnen uitgewerkt.

Gelet op het gegeven dat onderwijs en onderzoek sterk met elkaar zijn verweven, en gezien het feit dat ontwerpen een essentieel kenmerk moet zijn van het Delftse onderwijs en onderzoek, acht de ARTD zich genoodzaakt om vanuit dit referentiekader een aantal zaken aan de orde te stellen die, naast de bestaande initiatieven en maatregelen, voor de heroriëntatie van het Delftse onderwijs van groot belang worden geacht: het leren formuleren en gebruiken van conceptuele modellen en de ontwikkeling van drie beroepsprofielen.

II.2. Werken met conceptuele modellen

In het eerste deel van het ARTD Advies wordt gepleit voor zowel breedte als diepte van de Delftse opleiding. Dat lijkt een tegenstrijdigheid en derhalve niet praktisch realiseerbaar. Echter het aanleren van conceptuele vaardigheden is de sleutel om in de Delftse opleiding breedte *en* diepte in harmonie te realiseren. Onder een conceptueel model wordt hier verstaan een stelsel van samenhangende begrippen met een onderlinge hiërarchie, dat in staat is verschijnselen in systemen op verschillende abstractieniveau's te beschrijven. Naarmate het abstractieniveau van het model hoger is kunnen meer systemen door hetzelfde model gerepresenteerd worden en is het toepassingsbereik dus groter. En omgekeerd, naarmate het

abstractieniveau lager is, zal het model minder generiek worden; het toepassingsbereik zal derhalve specifieker zijn.

Uit het bovenstaande volgt dat het werken met conceptuele modellen niet alleen vereist dat men abstract kan denken maar het vereist bovendien dat men abstract kan denken op verschillende niveau's. Voor het onderzoeken en/of ontwerpen en/of ontwikkelen van complexe systemen is dat van grote waarde: men is in staat zowel integrerend (breed) als specialistisch (diep) actief te zijn. Omdat er grote behoefte is aan een dergelijke flexibiliteit, zal juist deze eigenschap de brede inzetbaarheid van Delftse ingenieurs garanderen.

Op basis van conceptuele vaardigheden kan ook beter worden aangegeven wat in de opleiding te doen voor een hoog *innoverendvermogen* van Delftse ingenieurs in de praktijk. Immers, veel innovatie ontstaat door het onderkennen van de bruikbaarheid van een succesvolle oplossing bij andere probleemstellingen (lateraal denken). De conceptuele vaardigheid verhoogt het vermogen om een bestaande oplossing te gebruiken bij een nieuw probleem door vraagstellingen op een hoger abstractieniveau met elkaar in verband te brengen [4].

Op basis van conceptuele vaardigheden kan ook het begrip '*interdisciplinair leren werken*' helder worden ingevuld: het in praktijk brengen van de conceptuele vaardigheid door op verschillende niveau's van abstractie (generiek-specifiek) te kunnen communiceren met de omgeving om juist op de *grensvlakken* effectief te kunnen denken en handelen. Hierbij gaat het niet alleen om collega's uit andere disciplines, maar het gaat ook om een effectieve communicatie met niet 'ingewijden' zoals opdrachtgevers, beleidsmakers en gebruikers.

Samenvattend, het kunnen formuleren en gebruiken van conceptuele modellen zou met een hoge prioriteit moeten worden geïntegreerd in de Delftse opleiding met als doel:

- * Brede *inzetbaarheid* van Delftse ingenieurs, zowel direct na het afstuderen als tijdens hun verdere loopbaan;
- * Hoog *innoverendvermogen* van Delftse ingenieurs door het aanleren van 'laterale vaardigheden';
- * *Communiceren* op verschillende niveaus van abstractie met zowel collega's uit dezelfde en andere technische-wetenschappelijke disciplines als met beleidsmakers en gebruikers;
- * Grote *samenhang* van het Delftse curriculum door het conceptueel leren denken systematisch te integreren over de volle breedte van de ingenieursopleiding.

Tenslotte, het leren denken in conceptuele modellen op verschillende niveau's van abstractie, kan aan de TU Delft het beste geschieden door het systeem-gericht formuleren een centrale plaats in de opleiding te geven. *Systems engineering* zou een belangrijk kernvak moeten zijn. Immers, in systems-engineering worden ontwerpgeredenschappen aangereikt, waarbij ook de 'life-cycle' analyse van producten wordt betrokken. Op deze manier worden belangrijke zaken als duurzaamheid en milieu niet in isolatie behandeld maar op een logische manier geïntegreerd in het gehele Delftse curriculum.

II.3. Drie beroepsprofielen

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, vindt de ARTD het nodig om het Delftse curriculum te oriënteren op drie beroepsprofielen, te weten:

- * ingenieur als ontwerper
- * ingenieur als onderzoeker
- * ingenieur als technisch manager.

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 fundament en op het principe van ontwerpen. In de kopstudie (het 4e en 5e jaar) vindt differentiatie plaats. De student die als ontwerper de praktijk in wil gaan, zal zich verder ontwikkelen in die richting. Hij moet leren hoe zijn theoretische kennis te gebruiken om een technisch probleem op te lossen, uitgaande van verworven inzichten in de onderliggende vakgebieden. Een student die als onderzoeker verder wil gaan, zal in het 5e jaar veel dieper op de technisch-wetenschappelijke fundamenten kunnen ingaan: hij heeft vaak nog vier jaar voor de boeg en het is zijn taak om tot *nieuwe* inzichten in zijn onderzoekgebied te komen. Bij de student die zich voelt aangetrokken tot het management van technische processen ligt het weer anders. Hij zal in de praktijk leiding geven aan het voortbrengingsproces van producten en systemen. Het zoeken van de technisch-wetenschappelijke oplossing van een ontwerpogave en de implementatie ervan vormen

steeds meer een samenhangend en integraal proces, met veel spelers. Dit totale voortbrengingsproces verandert van serieel in parallel (concurrent engineering) en vraagt bij grote ingewikkelde systemen en werken om professionele aansturing. Dit roept om ingenieurs met belangstelling voor en vaardigheden in organisatie en management.

Met name voor de ontwerp- en managementrichtingen zou interfacultair afstuderen tot de mogelijkheden moeten behoren.

Aanbevelingen voor het onderwijs

De ARTD adviseert het College van Bestuur op grond van het bovenstaande voor het volgende:

- * Het Delftse onderwijs dient over de volle breedte gericht te worden op het aanleren van *conceptuele* vaardigheden. Door in de opleiding theoretische modellen op verschillende niveaus van abstractie te presenteren kan meer aandacht worden besteed aan de overeenkomsten tussen de verschillende disciplines. Systeem-gerichte formuleringen zijn hierbij onontbeerlijk.
- * *Ontwerpvaardigheden* dienen te worden geleerd door de gehele opleiding heen, bij voorkeur te beginnen in de propaedeuse. Gelet op het grote belang van een systeembenadering daarbij, wordt bepleit om 'systems engineering' als een belangrijk Delfts kernvak te positioneren.
- * *Interdisciplinair* leren werken dient gestimuleerd te worden door het ontwikkelen van interfacultaire afstudeerrichtingen.
- * De Commissie Onderwijs van het College van Dekanen zou verzocht moeten worden om een voorstel te maken hoe tijdig tot de implementatie van de drie *beroepsprofielen* (ontwerper, onderzoeker, technisch manager) te komen in de Delftse afstudeerfase.

Tenslotte, in appendix A heeft de ARTD nog een aantal aanvullende suggesties voor het onderwijs geformuleerd.

III. ONDERZOEK

III.1. Inleiding

De TU Delft wil zich profileren als een universiteit waar *technologie* een wezenlijke component is in het onderwijs en het onderzoek (University of Technology). Bij ingewikkelde vraagstukken zal de TU Delft, als onderdeel van haar omgeving, zich moeten realiseren hoe zij kan bijdragen aan de oplossing hiervan. Hierbij gaat het niet alleen om het genereren van nieuwe kennis, maar ook om het integreren van bestaande kennis voor het begrijpen, ontwerpen en/of beheersen van complexe systemen³. Interdisciplinaire samenwerking op basis van sterke monodisciplines is hierbij onontbeerlijk om tot werkelijke vernieuwingen te komen. Het is dus van vitaal belang dat enerzijds het *zelfbeeld* van de Delftse faculteiten helder wordt neergezet⁴ en anderzijds de *samenhang tussen* de Delftse faculteiten effectief wordt gestimuleerd.

In dit hoofdstuk draagt de ARTD adviezen aan op welke wijze het Delftse disciplinegerichte onderzoek *versterkt, gebundeld* en mede *gericht* kan worden door het stimuleren van technologie-gericht multidisciplinair onderzoek op een aantal kansrijke gebieden. Doel hiervan is het vergroten van de samenhang en de dynamiek van het onderzoek enerzijds (het interne functioneren), en de herkenbaarheid en het maatschappelijk draagvlak van de TU Delft anderzijds (de externe uitstraling). De TU Delft is daardoor ook een krachtige partner voor samenwerking met andere universiteiten en niet-universitaire instituten.

De ARTD is de 'rechtsoptvolger' van de in 1988 ingestelde Voortgangscommissie voor de Onderzoekprofilering en de Stimuleringsruimte (Commissie-Beek) en de in 1990 ingestelde Adviescommissie Onderzoekscholen TU Delft (Commissie-Hoogendoorn). Beide commissies hebben in de afgelopen jaren veel en goed werk verricht om de onderzoekswaarte-punten van de TU Delft te stimuleren en zichtbaar te maken.

De ARTD is van oordeel dat moet worden voortgebouwd op de resultaten van de commissies Beek en Hoogendoorn. Het accent dat de ARTD wil aanbrengen is het prioriteren van grensverleggend onderzoek in technologiethema's. Technologie-gerichtheid en vernieuwing staan in de benaderingswijze van de ARTD centraal. De ARTD acht het noodzakelijk om het Delftse technologie-gerichte onderzoek in de toekomst op *programma-niveau* uit te voeren; daartoe wordt een gericht instrument voorgesteld: DIOC's.

³ Systemen in de meest algemene zin van het woord.

⁴ Onder het zelfbeeld van een faculteit wordt verstaan de specifieke rol die zij voor zichzelf ziet in het onderwijs en onderzoek, gelet op de ontwikkelingen in haar omgeving.

Kenmerken van een DIOC

Een DIOC is een typisch Delfts instrument om *thema-gericht* en *programma-gestuurd* onderzoek te ondersteunen dat de grenzen van de individuele Delftse disciplines overschrijdt. Een DIOC dient te functioneren als de 'kraamkamer' van werkelijke vernieuwingen in een technologiethema. Een DIOC onderzoekprogramma concentreert zich dus op de *voorkant* van een technologische life-cycle en is dus per definitie *risico-vol*. Een DIOC is wel typisch Delfts, maar directe samenwerking met niet-Delftse groepen is uiteraard gewenst, indien hiermede het Delftse technologie-programma wordt versterkt; het zwaartepunt en de sturing dient echter Delfts te blijven.

Uit het bovenstaande volgt dat DIOC's niet verward moeten worden met onderzoekscholen. Immers, de onderzoekprogramma's en de organisatievorm van DIOC's worden door de TU Delft bepaald, beoordeeld en gefinancierd (het Delftse karakter van DIOC's). Bovendien, meer dan onderzoekscholen worden DIOC's *afgerekend* op technisch-wetenschappelijke vernieuwing, multidisciplinariteit en maatschappelijk-economisch belang.

Delftse groepen die onderdeel zijn van een (veelal multi-universitaire) onderzoekschool, kunnen uiteraard een belangrijke rol spelen in DIOC programma's. Zoals eerder gesteld, zij kunnen hiermede de Delftse rol in het nationale en internationale onderzoek versterken.

III.2. Keuze van de Delftse technologiethema's

De ARTD ziet grote kansen voor de TU Delft om haar technisch-wetenschappelijke kennis met succes in te zetten op twee maatschappelijk-economisch belangrijke aandachtsgebieden:

- * Begrijpen, beheersen en benutten van *natuurlijke* systemen⁵.
- * Ontwerpen, samenstellen en onderhouden van complexe *technische* systemen⁵.

De natuurlijke systemen om ons heen bepalen de aardse bestaansbronnen, de aardse ruimte, het aardse milieu en de aardse risico's. Door de toenemende interactie van het menselijk handelen met de natuurlijke systemen dreigen ernstige verstoringen te ontstaan. Leefklimaat en duurzaamheid zijn in de 20e eeuw uitermate belangrijke knelpunten geworden, die nu met een hoge urgentie aangepakt dienen te worden. De TU Delft heeft hier veel te bieden.

Technische systemen worden steeds complexer. Dit komt enerzijds omdat steeds grotere *kwantitatieve* prestaties van technische systemen worden verwacht (sneller, kleiner,

⁵ Natuurlijke systemen zijn systemen die de processen in de natuur definiëren; technische systemen zijn systemen die de mens zelf ontwerpt en bouwt.

nauwkeuriger, krachtiger, goedkoper enz.), maar ook omdat technische systemen *kwalitatief* veranderen en steeds "intelligenter" worden. Automatisering gaat in een hoog tempo verder in de processen van het ontwerpen, het produceren, het verwerken en het interpreteren. Dat geldt zowel voor industriële processen als voor processen in de dienstensector. Hier liggen grote kansen voor de TU Delft.

Tenslotte, bij het creëren van een duurzaam evenwicht tussen het menselijk handelen en de natuur speelt de *interactie* tussen technische en natuurlijke systemen een beslissende rol. Door de breedte van de TU Delft zouden juist deze interactie-aspecten een wezenlijk onderdeel moeten zijn bij het effectief aanpakken van de milieu- en duurzaamheidsvraagstukken in het ontwerpproces.

Bij de keuze van de specifieke technologiethema's in de bovengenoemde aandachtsgebieden heeft de ARTD zich laten leiden door (a) de grote mondiale technologische en economische trends zoals die door velen uitgebreid zijn beschreven [5] en door de ARTD zijn samengevat in deel I, (b) door de keuze van 'maatschappelijk engagement' als leidraad in het Delftse instellingsbeleid, (c) door de inventarisatie van de technologie-gerichte activiteiten via een externe organisatie [6] en door het al of niet sterk aanwezig zijn van deze activiteiten in Delft.

Alles afwegende, adviseert de ARTD om in het aandachtsgebied van de 'natuurlijke systemen' de volgende drie technologiethema's te kiezen (zie voor de motivatie appendix B):

- Winning, conversie en gebruik van energie

Gezien de hoge energie-intensiteit van de Nederlandse economie, is energie van groot strategisch belang voor Nederland. Verspreid over een groot aantal faculteiten beschikt de TU Delft zowel ten aanzien van de exploratie en produktie van fossiele energiedragers, als op het gebied van de conversie en het industriële gebruik van fossiele energiedragers over een sterke kennispositie. Het interfacultaire onderzoekprogramma van het Van Lier Centrum voor Energie en Industrie (i.o.) heeft als doel een belangrijk deel van deze kennisgebieden te bundelen met behulp van een systeem-gerichte aanpak. Naast het grote belang van schone/efficiënte energieconversie en energiebesparing, is ook de ontwikkeling van duurzame (hernieuwbare) energiebronnen hierbij een belangrijke prioriteit. De TU Delft wordt in staat geacht om een breed en samenhangend energieprogramma van de grond te tillen.

- Winning, beheer en kwaliteit van water

De groei van de wereldbevolking en de industriële expansie leidt tot een toenemende behoefte aan geschikt water voor industrieel gebruik en huishoudens. De (drink)watervoorziening is voor dichtbevolkte landen een toenemende bron van zorg.

Internationale conflicten om water vormen inmiddels een reële bedreiging. Nieuwe oplossingen vragen om een geïntegreerde benadering van de disciplines hydraulica, hydrologie, geologie, geotechniek, numerieke simulatie, meten en verwerken, geografische informatica en risico-analyse.

De TU Delft heeft al deze disciplines binnen haar organisatie en wordt in staat geacht vernieuwend multidisciplinair onderzoek uit te voeren dat gericht is op de grote watervraagstukken.

- Observatie van het aardoppervlak en de ondergrond

De TU Delft participeert via twee instituten vanuit de technisch-wetenschappelijke invalshoek in dit belangrijke maatschappelijk-economische onderzoeksveld. Het multidisciplinaire onderzoek in de onderzoekschool Centre for Technical Geoscience (CTG) is gericht op het observeren van de ondergrond vanaf het aardoppervlak. Het onderzoek in het instituut (i.o.) Delft Institute for Earth-Oriented Space Research (DEOS) richt zich op het observeren van de aarde vanuit de ruimte. Beide programma's zijn complementair. De grote meerwaarde van een gecombineerd programma is enerzijds dat metingen vanaf het aardoppervlak geïntegreerd kunnen worden met metingen vanuit de ruimte, en anderzijds dat metingen met een groot verschil in schaal in samenhang kunnen worden onderzocht. Dit zal leiden tot nieuwe wetenschappelijke inzichten in de steeds verder gaande interactie van het menselijk handelen met systemen in de natuur.

De ARTD adviseert om in het aandachtsgebied van 'technische systemen' de volgende drie technologietheema's te kiezen:

- Infrastructuur voor communicatie- en informatievoorziening

Het snel groeiende mondiale informatie- en communicatieverkeer - mede als gevolg van het ontstuwige aanbod en de dalende prijzen van stand-alone kapitaalgoederen gestoeld op steeds krachtiger micro-elektronica - heeft geleid tot de behoefte aan een betrouwbare informatie-infrastructuur. Dit betekent dat integrale ontwerpmethodieken voor toegankelijke opslag (databases, servers) opgenomen in ruimtelijk gedistribueerde, openbare verkeersnetten, en genormaliseerde technieken voor multimodaal gebruik (multimedia) noodzakelijk zijn. De regeling van de (on)voorspelbaarheid van de dynamische systeembelasting door actieve gebruikers speelt een cruciale rol. Hierbij dient men zich niet te beperken tot het construeren van materiële middelen, maar men dient ook het infrastructurele ontwerp methodisch af te kunnen stemmen op de topografie en het verwachte verkeer in de bediende gemeenschap. De TU Delft biedt verspreid over vele faculteiten en onderzoekscholen een rijke en brede kennisbasis om meer stelselmatig te werken aan moderne informatie- en communicatiestructuren.

- Signaalbehandeling, informatieverwerking en kennisrepresentatie

Informatie is de grondstof voor de 'vierde' industriële revolutie en vormt de basis voor zowel industrietakken als sectoren in de dienstverlening. Nederland beschikt over een internationaal gerenommeerde industrie in de sector signaal- en informatieverwerking. Uit het oogpunt van werkgelegenheid is deze sector van bijzonder groot belang. Aan de 'onderkant' van de informatieverwerkingsketen wordt de elektronica als technisch-wetenschappelijke discipline geconfronteerd met belangrijke fundamentele vraagstukken, zoals het verder verbeteren van sensoren en actuatoren, de ontwikkeling van 'nano-scale computing' en ontwerpen van complete 'systemen' op één chip. Ook aan de 'bovenkant' van deze keten kunnen tal van vraagstukken worden gesignaleerd. De enorme toename van de informatie-uitwisseling en de capaciteit van computersystemen leiden tot de behoefte aan 'intelligentie', bescherming van de 'privacy', gebruikersvriendelijke programmatuur, mens-machine interactie, multi-mediabehandeling, visualisering en het inspelen op de communicatie-omgeving. Het bijdragen aan de oplossingen van dergelijke vraagstukken veronderstelt een interdisciplinaire benadering op tal van gebieden die juist in Delft sterk aanwezig zijn.

- Model-gebaseerde optimalisering van complexe industriële processen

Moderne industriële productieprocessen (mechanisch, fysisch, chemisch, biologisch) kennen een hoge mate van complexiteit. Dit maakt het noodzakelijk om deze processen als een samenhangend systeem te optimaliseren ten aanzien van de productiefunctie. Dit optimaliseren bestrijkt de fasen van ontwikkeling, ontwerpen en procesvoering. De wijzen van optimaliseren en de fundamentele kennis van verschijnselen die hiervoor nodig is, laten zich uitdrukken in (formele) modellen. De economische vitaliteit van de industrie staat en valt met het vermogen om duurzame productieprocessen voor hoogwaardige producten te ontwikkelen. Duurzaamheid vereist een overgang van open naar gesloten stofkringlopen en een uitstekende beheersing van productieprocessen. Daarnaast moet rekening worden gehouden met grotere diversiteit van grondstoffen, waarbij de kwaliteit van sommig aanbod verder zal afnemen. De TU Delft beschikt - verspreid over een groot aantal faculteiten - over de sterke kennispositie die noodzakelijk is om bij te dragen aan het oplossen van dit vraagstuk.

De ARTD adviseert om op het grensvlak van de twee voornoemde aandachtsgebieden de volgende twee technologietheema's te kiezen:

- Duurzaam-gebouwde omgeving

De gebouwde omgeving betreft de droge en natte infrastructuur, woningen en gebouwen. Criteria voor de kwaliteit van de gebouwde omgeving zijn het voldoen aan de beoogde

functie, het bieden van veiligheid en duurzaamheid. Onder andere door de toenemende bevolkingsconcentraties, de ontoereikendheid van harde infrastructuur (wegen, rail e.d.) in Nederland en de eisen die worden gesteld aan het realiseren van een duurzaam leefmilieu, wordt de kwaliteit van de gebouwde omgeving bedreigd. De kennispositie van de TU Delft biedt de mogelijkheid om op dit gebied funderend onderzoek te doen, zoals het ontwikkelen van nieuwe duurzame bouwconcepten, het ontwikkelen van high-performance materialen, het revolutionair wijzigen van de procesorganisatie en het integreren van informatietechnologie in ontwerp en uitvoering. Om dit te realiseren is integratie van de Delftse disciplines (bouw)materialen, constructieleer, geotechniek, bouwfysica numerieke simulatie, monitoring, geografische- en procesinformatica, risico-analyse een absolute noodzaak.

- Mobiliteit van personen en goederen

Mobiliteit van personen en goederen vraagt om infrastructurele voorzieningen met logistieke efficiëntie. De infrastructurele voorzieningen voor het transport en de logistieke efficiëntie zijn van vitaal belang voor de internationale concurrentiepositie van de Nederlandse economie. Nieuwe technologische mogelijkheden komen voort uit het gecombineerd toepassen van de telematica, technieken voor automatisering van het fysieke transport en nieuwe technieken voor procesbesturing. De complexiteit van het vraagstuk veronderstelt sterke multidisciplinaire interactie. Samenwerking tussen disciplineclusters zoals de techniek van verkeer en infrastructuur, techniek van transportmiddelen, (technische) bestuurs- en bedrijfswetenschappen en besturing van transport en logistieke systemen is derhalve noodzakelijk. De TU Delft heeft een sterke kennisbasis om vernieuwend lange-termijn onderzoek op het gebied van mobiliteit uit te voeren.

Tenslotte, bovengenoemde keuzen functioneren vooral als middel om tot werkelijke vernieuwing te komen in maatschappelijk-economisch belangrijke technologiegebieden (doel). De thema's hebben dus geen eeuwigheidswaarde. Thema's waar geen acceptabele onderzoekprogramma's (meer) voor binnenkomen, dienen te worden verlaten. Ook kunnen enkele nieuwe thema's overwogen worden die uit 'het veld' worden voorgesteld.

III.3. Keuze van de Delftse technologieprogramma's

Het onderzoek binnen elk technologiethema vindt plaats in een DIOC en wordt gedefinieerd door één of meer technisch-wetenschappelijke programma's. Een DIOC kan dus een aantal wetenschappelijke programma's bevatten, die samenhangen via het gemeenschappelijke

technologiethema. De ARTD stelt de *programma's* zelf niet vast, maar laat het veld vrijelijk programmeren om daarmee zoveel mogelijk 'bottom-up' initiatieven te stimuleren. Selectie van de ingediende programma's geschiedt volgens minimum eisen:

1. De doelstelling dient te passen binnen de doelstellingen van het technologiethema; er is een programmaleider ('trekker') die de verantwoordelijkheid op zich neemt voor het gehele programma. Het onderzoekprogramma dient te bestaan uit een aantal op elkaar afgestemde projecten, geleid door, met naam te noemen, projectleiders.
2. Het programma dient zich te richten op risico-vol onderzoek, dat een *doorbraak* beoogt in het onderhavige technologie-thema.
3. Het programma moet geen 'platte sommatie' zijn van een aantal discipline-gerichte projecten; *interactie* op de grensvlakken tussen de disciplines zal in het voorstel overtuigend moeten worden gepresenteerd.
4. Bij de selectie wordt kritisch gekeken naar
 - nieuweidswaarde en interdisciplinaire samenhang
 - wetenschappelijke kwaliteit van programma en onderzoekers
 - maatschappelijk-economische belang.
5. Toekenning hangt af van de toegekende rangorde en de beschikbare middelen.

De ARTD stelt voor om een internationale, thema-gerichte, jury de ingediende programma's te laten beoordelen; de ARTD stelt vervolgens de rangorde vast. De ARTD stelt ook voor dat een programma 5 jaar duurt; toekenning van verlengingsaanvragen wordt wederom bepaald door de rangorde die de aanvraag krijgt.

III.4. Organisatie van de Delftse technologiecentra (DIOC's)

Randvoorwaarde bij de nieuwe benadering van de ARTD zijn de bestaande organisatievormen. De *faculteiten* (met hun nationale en internationale samenwerkingsverbanden) blijven de essentiële organisatorische eenheden in de Delftse opleiding. In het advies wordt het accent gelegd op het stimuleren van inhoudelijke samenwerking *tussen* de faculteiten met als doel betere onderwijsproducten (kennisdragers) en betere onderzoekproducten (kennis). De centrale vraag hierbij is op welke wijze de kenniscoördinatie en -ontwikkeling binnen de TU Delft effectief kan worden vormgegeven. Immers, zoals ook in deel I is benadrukt, het effectief organiseren van multidisciplinair onderzoek is geen vanzelfsprekende zaak. Dit betekent een verruiming van het perspectief op onderzoekmanagement en heeft geleid tot het voorstel om Delftse Interfacultaire Onderzoekcentra (DIOC's) te introduceren.

Faculteiten en DIOC's

TU Delft

	Fac.1	Fac.2	Fac.3	Fac.4	Fac.5	Fac.6	Fac.7	Fac.8	Fac.9	Fac.10	Fac.11	Fac.12	Fac.13
Energie													
Water													
Aard-observatie													
Informatie-voorziening													
Signaal-verwerking													
Industriële processen													
Gebouwde omgeving													
Mobiliteit													

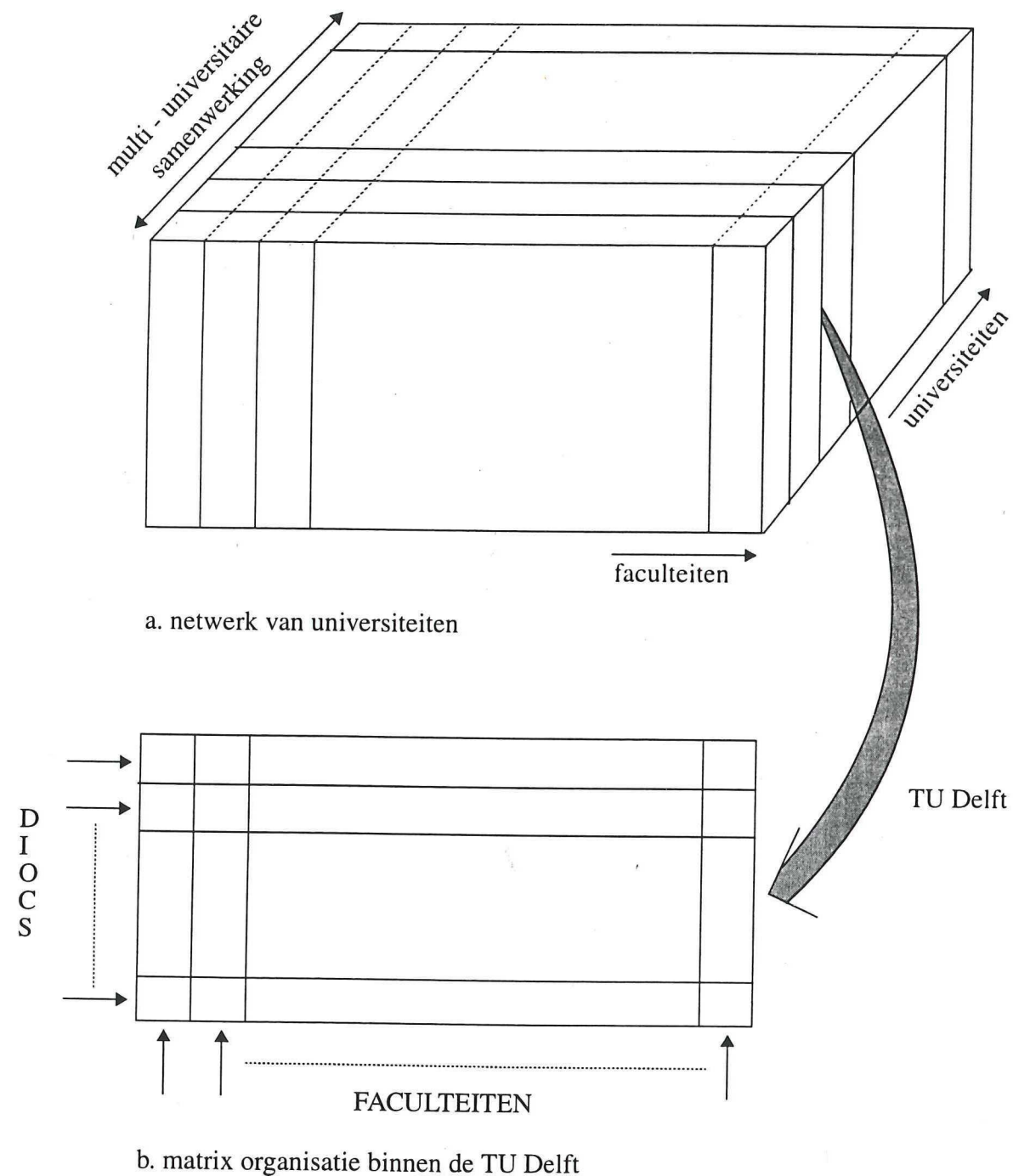
Figuur 2: Faculteiten zijn de discipline-gerichte onderwijs- en onderzoekorganisaties (de kolommen); DIOC's zijn multidisciplinaire onderzoekcentra die georganiseerd zijn rond de Delftse technologie-thema's (de rijen). Faculteiten en DIOC's rapporteren direct aan het CvB.

Zoals in het eerste deel van het ARTD advies is aangegeven wordt onder een DIOC een technologie-gericht multidisciplinair onderzoekcentrum verstaan, dat wetenschappelijk steunt op excellente monodisciplines, effectief wordt geleid en dat flexibel opereert (in personele samenstelling en in tijd). Binnen een DIOC worden één of meer multidisciplinaire programma's - gericht op *vernieuwing* in één van de Delftse technologiethema's - uitgevoerd onder leiding van toonaangevende Delftse hoogleraren ('trekkers'). Hierdoor worden unieke *combinaties* van excellente disciplinegerichte kennis gecreëerd en kan, sneller dan thans het geval is, worden ingespeeld op nieuwe kansen die door het technologiethema worden geboden (toegevoegde waarde van DIOC's).

Figuur 2 geeft als denkmodel aan dat de relatie tussen de multidisciplinaire DIOC's en de overwegend discipline-gerichte Delftse faculteiten via een technologie-discipline matrix zichtbaar gemaakt kan worden (zie ook figuur 2 in deel I). De Faculteiten zijn de *kolommen*; de DIOC's worden gevormd uit de *rijen*. Elk matrix element geeft een specifiek vakgebied van een faculteit aan, waarvan onderzoekers participeren in een DIOC. De Delftse technologie-discipline matrix zou, als ordeningsinstrument, een centrale plaats moeten innemen in het Delftse technologiebeleid. Juist het programma-gestuurde onderzoek in de rijen zou de output-gerichtheid van het Delftse onderzoek aanzienlijk kunnen verhogen. DIOC's zouden derhalve een belangrijke positieve invloed kunnen hebben op de dynamiek van het Delftse onderzoek.

Tenslotte, merk op dat de kolommen een vaste plaats innemen in de TUD organisatie; kolommen zijn primair verantwoordelijk voor de kwaliteit van de discipline-gerichte activiteiten in Delft. De invulling van de rijen is meer tijdelijk van aard (programmaduur, themaduur); rijen zijn primair verantwoordelijk voor de multidisciplinaire activiteiten in Delft. De ARTD is van mening dat deze verschillen in verantwoordelijkheid helder tot uiting moeten komen in de Delftse organisatie.

Gestreefd moet worden om de financiering van het onderzoek in DIOC's een zo breed mogelijke basis te geven: TU Delft (centraal budget) - Overheid (2e en 3e geldstroom) - Bedrijfsleven (3e geldstroom). De ARTD verwacht dat bij het opzetten van technisch-wetenschappelijk uitdagende DIOC programma's de overheid en het bedrijfsleven bereid zijn significant bij te dragen; tevens wordt goed ingespeeld op grote nationale en internationale stimuleringsprogramma's. Op deze manier kan via DIOC's op een indirecte manier veel *extra* onderzoekgeld voor de faculteiten worden geworven (nieuwe geldstroom via de rijen)!



Figuur 3 : DIOC's hebben alleen betrekking op de *interne* gang van zaken bij de TU Delft. Echter, de ARTD verwacht dat DIOC's ook de Delftse rol in multi-universitaire samenwerkingsverbanden zullen versterken.

DIOC's en de ontwerpersopleidingen

Zoals reeds eerder geformuleerd in dit advies, technisch-wetenschappelijke *ontwerpvaardigheden* dienen een centrale rol te spelen in de Delftse opleiding. Maar, zoals ook eerder aangegeven, ontwerpvaardigheden zijn multidisciplinair van aard. Dat betekent dat veel van wat is gezegd over de multidisciplinaire onderzoekersopleiding, ook geldt voor de ontwerpersopleiding.

DIOC's zouden dus niet alleen aandacht moeten schenken aan de onderzoekopleiding, maar zij zouden ook aandacht moeten besteden aan de ontwerpersopleiding in de onderhavige thema's. Met name biedt onderzoek aan een geavanceerd ontwerp en vice versa interessante nieuwe mogelijkheden, die bij de realisatie van DIOC's moeten worden meegenomen.

Inbedding DIOC's binnen de TUD-organisatie

De DIOC's moeten een doorzichtig, licht en wendbaar instrument zijn om het onderzoek in de rijen optimaal te faciliteren. Zoals eerder gesteld, het gaat bij DIOC's om *programma-gestuurd* onderzoek dat gekarakteriseerd wordt door technisch-wetenschappelijke vernieuwing, multidisciplinariteit en maatschappelijk-economisch belang. Dat betekent noodzakelijkerwijze een aangepaste organisatievorm, waarbij grote verantwoordelijkheid dient te worden gelegd bij de programmaleiders (een programmaleider fungeert als 'de trekker' en is verantwoordelijk voor de uitvoering van een programma). Regelmatig inhoudelijk overleg met potentiële gebruikers over de voortgang zou een essentieel onderdeel moeten uitmaken van rapportage. Eén van de programmaleiders dient te functioneren als *het* aanspreekpunt van een DIOC.

De ARTD is van mening dat de gang van zaken binnen een DIOC direct dient te worden gerapporteerd aan het College van Bestuur. Dit betekent dat, bestuurlijk gezien, de activiteiten in de kolommen en de rijen pas op *centraal* niveau bij elkaar komen.

Tenslotte, figuur 3 illustreert dat DIOC's alleen betrekking hebben op de *interne* gang van zaken bij de TU Delft. Echter, de ARTD verwacht dat DIOC's ook de Delftse rol in multi-universitaire samenwerkingsverbanden zullen versterken.

IV. Conclusies

1. Algemeen

Ingenieurs moeten niet alleen problemen kunnen *verklaren*, maar ze moeten die problemen ook kunnen *oplossen*. Immers, in de praktijk moeten vaak tijdig oplossingen worden gecreëerd, waarvoor (een deel van de) wetenschappelijke kennis nog niet beschikbaar is. De ARTD acht deze situatie karakteristiek voor de ingenieursberoepspraktijk.

2. Opleiding

Faculteiten moeten de belangrijkste organisatorische eenheden voor de Delftse opleiding blijven. Daarom moeten de faculteiten een helder *zelfbeeld* opstellen, waarin hun rol in de totale opleiding op een, voor de omgeving, zo duidelijk mogelijke wijze wordt neergezet.

De ARTD acht het van essentieel belang voor de Delftse ingenieursopleiding dat faculteiten in aanzienlijke mate met elkaar gaan samenwerken in onderwijs en onderzoek (figuur 1):

- a. Er dient in het eerste jaar een grote overeenkomst te komen tussen de stof in de basisvakken; de ARTD ziet het liefst één of twee *internationale* tekstboeken per basisvak voor alle faculteiten.
- b. De ARTD onderstreept dat ingenieurs moeten beschikken over uitnemende integrerende en communicatieve vaardigheden. Daarom moeten er meer mogelijkheden worden geboden om interfacultair af te studeren.
- c. Tevens dienen de voortgezette ontwerpersopleidingen (6e, 7e jaar) herkenbare interfacultaire componenten te bevatten en moeten er interfacultaire onderzoek-programma's komen (6e - 9e jaar).

3. Onderwijs

De ARTD is van mening dat ingenieurs niet alleen abstract moeten kunnen denken, maar dat ze abstract moeten kunnen denken *op verschillende niveau's*. De TU Delft zou 'systems engineering' als kernvak voor alle jaren en alle faculteiten moeten introduceren. Het leren 'systeem-denken' moet een belangrijke doelstelling zijn in het Delftse ingenieurscurriculum.

Gezien de sterk uiteenlopende functies waarin Delftse ingenieurs terechtkomen, adviseert de ARTD om de eindstudie te oriënteren op drie beroepsprofielen: de ingenieur als ontwerper, de ingenieur als onderzoeker en de ingenieur als manager van technische processen. Bij het eerste en laatste profiel zou *interfacultair* afstuderen een belangrijke rol moeten spelen in de opleiding.

4. Keuze van de Delftse technologiethema's

De ARTD heeft haar keuzen van de Delftse technologiethema's gebaseerd op grond van gewichtige maatschappelijke- en economische vraagstukken waar de (potentiële) technisch-wetenschappelijke bijdrage van de TU Delft hoog wordt ingeschat (appendix B):

- * *Winning, conversie en gebruik van energie*
- * *Winning, beheer en kwaliteit van water*
- * *Observatie van het aardoppervlak en de ondergrond*
- * *Infrastructuren voor communicatie- en informatievoorziening*
- * *Signaalbehandeling, informatieverwerking en kennisrepresentatie*
- * *Model-gebaseerde optimalisering van industriële processen*
- * *Duurzaam-gebouwde omgeving*
- * *Mobiliteit van personen en goederen*

Bovenstaande technologiethema's spelen niet alleen in op de brede kennisbasis van de gezamenlijke Delftse faculteiten, het onderzoek in de thema's ondersteunt ook de strategie van de TU Delft om het maatschappelijk engagement van de instelling daadwerkelijk te realiseren. Thema's waarvoor het niet lukt goede programma's te formuleren, moeten worden verlaten. Ook kunnen in de toekomst nieuwe thema's overwogen worden die vanuit het veld worden voorgesteld.

5. Keuze van de Delftse technologieprogramma's

Het onderzoek binnen elk technologiethema wordt uitgevoerd in één of meer samenhangende multidisciplinaire programma's, waarin gestreefd wordt naar risico-vol voortraject-onderzoek, dat een doorbraak beoogt in het onderhavige technologiebeleid. De ARTD wil de programma's binnen elk thema niet zelf vaststellen, maar de programmering aan het veld overlaten om daarmee zoveel mogelijk gerichte 'bottom-up' initiatieven te stimuleren.

De ARTD adviseert om een internationale, thema-gerichte, jury de ingediende programma's te laten beoordelen. Toekenning hangt vervolgens af van rangorde en beschikbare middelen.

6. Organisatie van de Delftse technologiecentra

De ARTD stelt voor om de technologieprogramma's binnen elk technologiethema onder te brengen in een DIOC (Delfts Interfacultair Onderzoek-Centrum). In termen van figuur 2, een DIOC is een instrument om de activiteiten in de 'rijen' van de Delftse discipline-technologiematrix via samenhangende technisch-wetenschappelijke programma's te focuseren op uitdagende en ambitieuze doelstellingen in het, bij de DIOC behorende, technologiethema. De ARTD is van mening dat juist het *programma-gestuurde* onderzoek in de 'rijen' de output-gerichtheid van het Delftse onderzoek aanzienlijk zou kunnen verhogen.

De wetenschappelijk leider van een DIOC-programma is de 'trekker'; hij is *persoonlijk* verantwoordelijk voor de gang van zaken binnen zijn programma. De programmaleider wordt ondersteund door projectleiders.

Bij meer dan één programma binnen een DIOC fungeert één van de programmaleiders als *het* aanspreekpunt van de betreffende DIOC.

De ARTD pleit er voor om de financiering van DIOC's een brede basis te geven: TU Delft (centraal budget), Overheid (2e, 3e geldstroom) en Bedrijfsleven (3e geldstroom). Verwacht mag worden dat 'via de rijen' een aanzienlijke hoeveelheid nieuw onderzoekgeld naar de TU Delft kan worden geleid.

7. DIOC's ook voor de Delftse ontwerpersopleidingen

Zoals reeds in conclusie 2 is gesteld, de ARTD adviseert om ook de ontwerpersopleidingen een sterk interfacultair karakter te geven. De Raad pleit er dan ook voor om in DIOC's tevens ruime aandacht te besteden aan de ontwerpersopleiding (thema-gericht ontwerpen). De ARTD ziet interessante nieuwe mogelijkheden indien in Delft de ontwerpersopleiding en de onderzoekersopleiding meer op elkaar worden afgestemd: samenhang tussen ontwerpen en onderzoeken.

8. Tenslotte

De ARTD is van mening dat de gang van zaken binnen een DIOC direkt dient te worden gerapporteerd aan het College van Bestuur. Dit betekent dat, *bestuurlijk gezien*, de activiteiten in de Delftse kolommen (Faculteiten) en de Delftse rijen (DIOC's) op centraal niveau bij elkaar komen.

U. Referenties

- [1] -Brief Rector Magnificus, Procedurele en inhoudelijke aanwijzingen herprogrammering, d.d. 17.3.1994
-Eindadvies van de Adviescommissie Interne Kwaliteitszorg voor het Onderwijs, d.d. 10.8.1995, no. 51939, UR-350.3.2
-Rapportage van de Taakgroep Toetsing van de Vijfjarige Curricula van het College van Dekanen (zie brief, 4.7.1995, no. 51480)
-Concept Kwaliteitsmanagementplan TU Delft, 28.2.1996
- [2] -Project Interfacultair Ontwerpen, Rapport 1e fase: Analyse en stellingen ten behoeve van cultuurbepaling van ontwerpen en ontwerponderwijs, (maart 1996).
- [3] -Eerste deeladvies Commissie Richtlijnen Ethiek, d.d. 29.6.1994, no. 942260
- [4] -ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology), 'Dutch Engineering Programs in a European Context' (1993)
-'Enquête Ingenieursopleidingen' van de Raad van Centrale Ondernemingsorganisaties (RCO, 1993)
-'Technici en Onderzoekers: Kwantiteit en Kwaliteit, Adviesraad voor het Wetenschaps- en Technologiebeleid (1993)
-'De kwaliteit van de ingenieursopleiding' Koninklijk Instituut van Ingenieurs (1993)
- [5] -Centraal Planbureau (juni 1993), Achtergrondscenario's voor wetenschaps- en technologieverkenningen
-Nederlands Observatorium van Wetenschap en Technologie (NOWT), Wetenschaps- en Technologie-indicatoren 1994, (1994)
-Nederlands Forum voor Techniek en Wetenschap, Naar een betere benutting van kennis in de industrie, 1994
- A.J. Berkhout, Van wetenschappelijk excelleren tot kennis-intensief concurreren; hoofdstuk in de bundel "*De Markt voor Wetenschappelijk Onderzoek*", 1995
-Overleg Commissie Verkenningen, De Nederlandse kennisportfolio op het gebied van de technische natuurwetenschappen en de belangrijkste technologiegebieden, juni 1995
-Scientific American (september 1995), Key technologies for the 21st century
-Beleidsnota NWO 1996 - 2001, Kennis verrijkt, 1995
-Nota van de Ministers van Economische Zaken, Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Kennis in Beweging, over kennis en kunde in de Nederlandse economie, 1995
-Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen, De technologische kennisinfrastructuur van Nederland, (januari 1996)
-R.J. van Duinen, 'Het onderzoek in Nederland', Radar '96, blz. 155 - 167, 1996
- [6] -TNO Beleidsstudies en Advies, Opties voor Technologiebeleid en Profilering voor de TU Delft (november 1995)

APPENDICES

Appendix A

Aanvullende suggesties voor het onderwijs

Equivalente studieprogramma's in de basisstudie

De ARTD adviseert equivalente studieprogramma's in de basisstudie te ontwikkelen. Het doel hiervan is meerledig:

- * Het vergroten van de *herkenbaarheid* van het Delftse curriculum in de basisstudie.
- * Het *eenvoudiger* maken van het 'omzwaaien' naar andere studierichtingen binnen de TU Delft.
- * Het *verminderen* van de ondoelmatigheid bij het ontwikkelen en gebruiken van studiemateriaal.
- * Het *verbeteren* van de internationale aansluiting.

De ARTD pleit er voor om per kernvak het 'equivalente' deel van een tentamen voor elke faculteit identiek te maken (het specifieke deel blijft faculteitsafhankelijk). Dit impliceert het per kernvak vergelijken en eventueel bijstellen van colleges die door de verschillende faculteiten worden verzorgd. Tevens bepleit de ARTD om per kernvak één internationaal gerenommeerd boek als basis te gebruiken.

Studiediscipline in de basisstudie

De ARTD adviseert om de studiediscipline in de basisstudie te verbeteren. Het doel hiervan is meerledig:

- * Het scheppen van grote *duidelijkheid* bij studenten over wat van hen in de Delftse basisstudie wordt verwacht.
- * Het *vergroten* van het studierendement en doorstromingsnelheid in de basisstudie.

De ARTD beveelt aan om per vak expliciet de leerdoelen en eindtermen vast te leggen, en de daarbij behorende voor- en achterwaartse kennisrelaties. Vervolgens dient het computer-ondersteunend onderwijs en toetsing (COO) te worden geïntensiveerd. Het gaat hierbij vooral om het beter leren gebruiken van de basisgereedschappen. Tenslotte dient structurele vertraging aan het begin van de studie voorkomen te worden (geen overlap tussen het begin van de studie en de kennismakingstijd, zorgen voor betere studentenhuisvesting).

Bindend studieadvies aan het eind van het eerste jaar

De ARTD adviseert aan het eind van het eerste jaar studenten een bindend studieadvies te geven, waarbij de *consequentie* van het advies voor alle partijen helder wordt geformuleerd.

De ARTD pleit ervoor om, alvorens over te gaan tot het introduceren van een bindend studieadvies, equivalente studieprogramma's in te voeren, de voorgestelde maatregelen voor het verbeteren van de studiediscipline uit te voeren, en de uitvoeringsorganisatie van het onderwijs te verbeteren conform de aanbevelingen van de Adviescommissie Interne Kwaliteitszorg voor het Onderwijs (AIKOW).

Terugkoppeling vanuit de arbeidsmarkt

De ARTD adviseert meer systematisch na te gaan wat 'afnemers' denken over de afgestudeerden van de TU Delft. Door het aanbrengen van een terugkoppellus wordt meer inzicht verkregen in de waardering voor de Delftse opleidingen en de arbeidsmarkt-perspectieven van de afgestudeerden.

De ARTD beveelt aan om het alumnibeleid van de TU Delft te versterken door heldere doelstellingen voor dit beleid te formuleren en vervolgens alumni periodiek en doelgericht te raadplegen.

Appendix B

Motivaties voor de Delftse technologiethema's

WINNING, CONVERSIE EN GEBRUIK VAN ENERGIE

Omschrijving van het thema

Energie is voor elke samenleving van groot strategisch belang. Ten opzichte van andere geïndustrialiseerde landen geldt dit voor Nederland in het bijzonder, gezien de hoge energie-intensiteit van de Nederlandse economie, die ruim 20% boven het Europese gemiddelde ligt. Dit rechtvaardigt speciale aandacht voor de betrouwbaarheid, duurzaamheid en betaalbaarheid van de toekomstige energievoorziening in ons land.

Maatschappelijk-economisch belang

Ons land produceert voldoende primaire brandstoffen, vnl. aardgas, om in de totale binnenlandse energiebehoefte te voorzien. Feitelijk wordt veel aardolie en electriciteit geïmporteerd en aardgas geëxporteerd. De aardgaspositie van Nederland is niet blijvend: de voorraden zijn eindig. Wel kunnen door ontwikkeling van nieuwe exploratie- en winningstechnologieën de economisch winbare reserves worden vergroot om aldus overbruggingstijd te creëren voor een toenemende rol van vernieuwbare energiebronnen.

Aardgas wordt direct ingezet als brandstof voor ruimteverwarming in de gebouwde omgeving en in de agrarische sector, maar dient ook als grondstof voor de chemische industrie. Ca. 60% van de Nederlandse electriciteitsopwekking geschiedt ook met aardgas; de industrie maakt daarnaast gebruik van kolen en olie.

Nieuwe energieconversietechnieken en nieuwe industriële produktietechnologieën t.b.v. een efficiënter energiegebruik met name in de energie-intensieve procesindustrie zullen leiden tot grote energiebesparingen, maar tevens een verschuiving teweeg brengen in de warmte/krachtverhouding. Dit biedt vele mogelijkheden voor drastische energiebesparingen door op het intersectorale systeemniveau van de nationale economie naar optimale afstemming tussen energievraag en aanbod te zoeken.

Naast het grote belang van schone/efficiënte energieconversie, energiebesparing en systeemoptimalisatie blijft de ontwikkeling van duurzame (hernieuwbare) energiebronnen een belangrijke prioriteit in het Nederlandse energie-onderzoek.

Technische-wetenschappelijke uitdaging

De economische en maatschappelijke aspecten vormen echter niet de enige rechtvaardiging om dit thema als speerpunt van Delft te profileren. De TU Delft bestrijkt als enige universiteit in het land nagenoeg het gehele technologische scala van energievoorzienings- en gebruiksopties. De Delftse interfacultaire school voor toegepaste geowetenschappen (CTG) is in hoge mate mede-bepalend voor de sterke Nederlandse kennispositie in de exploratie en produktie van fossiele energiedragers. Met betrekking tot de conversie en het industriële gebruik van fossiele energiedragers, beschikt de TU Delft eveneens over een sterke kennispositie, verspreid over de faculteiten MP, STM, WbMT en TB. Het Van Lier Centrum voor Energie en Industrie (i.o.) beoogt de hierin vertegenwoordigde, deels unieke, kennisgebieden in een interfacultair onderzoekprogramma tot synergie te brengen. Ook de ontwikkeling van vernieuwbare energievoorzieningsopties (biomassavergassing versus kolenvergassing en aardgas, maar ook zonnecellen) vormt onderdeel van het programma. Daarnaast wil het Van Lier Centrum (i.o.) zich

profilieren als een onafhankelijk instituut voor energiesysteemstudies, dat op basis van thermodynamische 'first principles' een wetenschappelijk gefundeerd oordeel kan vellen over de waarde van nieuwe technieken en aanbevelingen doet voor een optimale benutting van de energiekwaliteit (exergie-inhoud). Deze aanpak sluit ook goed aan bij verschillende nationale onderzoekprogramma's zoals het nationale EET programma, die de nadruk leggen op een integrale benadering. Ook de EG is een traject gestart, waarin meer aandacht wordt besteed aan clustering van het thema energie vanuit sectorale behoeften dan vanuit technische disciplines, naast de bestaande energievoorzieningsprogramma's zoals Joule, Thermie en Allenor.

Meerwaarde van de samenwerking

Door enerzijds het aanbod van fossiele brandstoffen te optimaliseren en anderzijds de energieverliezen bij omzetting, opslag, vervoer en gebruik te minimaliseren, zal de benodigde *overbruggingstijd* gecreëerd worden om op een maatschappelijk-economisch verantwoorde manier duurzame brandstoffen een grotere rol te laten spelen in de Nederlandse energiemix.

WINNING, BEHEER EN KWALITEIT VAN WATER

Omschrijving van het thema

Dit thema betreft het, op een veilige manier, voorzien in voldoende en geschikt water voor industrieel gebruik en huishoudens. De behoefte daaraan neemt sterk toe door de groei van de wereldbevolking en de industrieële expansie. Het water kan worden gewonnen uit oppervlaktewater en/of grondwater. De thematiek wordt bemoeilijkt doordat oppervlaktewater meer dan één functie heeft. Het wordt *ook* gebruikt voor scheepvaart en industriële lozingen. Een extra complicatie is de belasting van oppervlaktewater en grondwater door ondermeer bemesting.

Maatschappelijke relevantie

De maatschappelijke relevantie is groot. In dichtbevolkte landen, stedelijke agglomeraties en/of waterarme gebieden zijn zowel de hoeveelheid als de kwaliteit van water een bron van zorg. De (drink)watervoorziening loopt gevaar. De problematiek rond verontreinigd slib hoopt zich op; in afwachting van een oplossing vindt nu in Nederland dure opslag plaats in de Slufter. Internationale conflicten om water zijn inmiddels een reële bedreiging.

Technisch-wetenschappelijke uitdaging

Om aan de maatschappelijke vraagstelling te kunnen voldoen, dient een aantal nieuwe onderwerpen op de technisch-wetenschappelijke agenda te worden geplaatst. Bij het onderzoek moet vooruitgang worden geboekt naar het gedrag van watersystemen op de schaal van stroomgebieden. De stochastische aanpak moet worden omgebogen in een meer deterministische aanpak via gericht waarnemen (meten), procesonderzoek en fysische onderbouwing. Hiertoe is samenspel noodzakelijk tussen hydraulica, hydrologie en morfologie. Daarnaast ligt er de uitdaging op het gebied van de kwaliteit van de systemen, dus de fysische, chemische en biologisch/ecologische hoedanigheid ervan. Hierbij komt de rol van het water en dediment (bijvoorbeeld slib) als drager van stoffen (biotisch en a-biotisch) naar voren. De bijbehorende ruimteschalen variëren van lokaal tot fluviaal (stroomgebiedsniveau). Kwantiteits- en kwaliteitsprocessen vormen de basis voor ontwikkeling van mathematische modellen waarmee de effecten van menselijk handelen kunnen worden gekwantificeerd.

Meerwaarde van samenwerking

Water speelt niet alleen een essentiële rol in de drinkwatervoorziening, maar geldt ook als belangrijke grondstof bij industriële processen; het is niet weg te denken in verkeer en vervoer, en bij het beheer gaat het ook om veiligheid.

De vernieuwing van het technisch-wetenschappelijk onderzoek kan op dit gebied alleen ontstaan door nauwe samenwerking van disciplines als hydraulica, hydrologie, morfologie, fysica, hydrochemie en aquatische biologie/ecologie in procesonderzoek. Samenspel is niet slechts nodig voor meerwaarde; samenspel is een *conditio sine qua non*. Ook de introductie van mathematische modellen, geografische informatiesystemen, risico-analyse, remote sensing en nieuwe meetsystemen is essentieel. Alleen met een geïntegreerde aanpak is er kans om de maatschappelijke en economische knelpunten op te lossen.

Observatie van het AARDOPPERVLAK EN DE ONDERGROND

Omschrijving van het thema

Het onderzoek van de *aarde* kent vele invalshoeken. De Technische Universiteit Delft participeert, als enige technische universiteit in Nederland, vanuit de *technisch-wetenschappelijke* invalshoek in dit steeds belangrijker wordende maatschappelijk-economische onderzoeksveld.

Het Delftse onderzoeksinstituut in oprichting: Delft Institute for Earth-Oriented Space Research (DEOS) richt zich op het observeren van de aarde *vanuit de ruimte*. Het onderzoek van dit instituut omvat het gebruik van metingen in, naar, en vanuit satellieten voor de bepaling van de topografie van de aarde, de beweging en vervorming van de aardkorst, het aardse gravitatieveld, grootschalige zeestromingen en zeespiegelrijzing.

Het multidisciplinaire onderzoek van de door de KNAW geaccrediteerde Delftse onderzoeksschool: Centre for Technical Geoscience (CTG) richt zich op op het observeren van de ondergrond *vanaf het aardoppervlak*. Het onderzoekprogramma omvat drie disciplines: geofysische afbeelding, geologische karakterisering en ondergrondse engineering (beheersen en benutten van ondergrondse processen).

Maatschappelijk-economisch belang

Door de toenemende interactie van het menselijk handelen met de systemen in de natuur dreigen ernstige verstoringen te ontstaan. Leefklimaat en duurzaamheid zijn in de afgelopen decennia belangrijke knelpunten geworden. Geavanceerde meetsystemen om de aarde te observeren vanuit de ruimte en vanaf het oppervlak zijn onontbeerlijk om de optredende ingewikkelde processen te kunnen begrijpen en beheersen.

Technisch-wetenschappelijke uitdaging

Het wetenschappelijke paradigma dat de basis vormt van de afbeeldings (imaging)- en karakteriseringstechnieken van de beide instituten is conceptueel hetzelfde: de verstoring van een referentieveld is een identificatie van een geologische/aardse structuur op en onder het aardoppervlak. Het doel van de interpretatie is in beide instituten verschillend en op een andere schaal, maar essentieel is dat zij complementaire informatie verschaffen. De uitdaging is om deze informatie al tijdens het karakteriseringsproces bij elkaar te brengen.

Meerwaarde van de samenwerking

Samenvattend, de meerwaarde van multidisciplinaire programma's in het thema 'Observatie van het aardoppervlak en de ondergrond' is enerzijds dat metingen vanaf het aardoppervlak geïntegreerd kunnen worden met metingen vanuit de ruimte, en anderzijds dat metingen met een groot verschil in schaal *in samenhang* kunnen worden onderzocht. Verwacht mag worden dat deze mondiaal unieke integratie zal leiden tot een significant beter begrip van de complexe processen in het aardse systeem.

INFRASTRUCTUREN VOOR INFORMATIEVOORZIENING EN COMMUNICATIE

Omschrijving van het thema

De oorspronkelijke *polytechnische* ingenieur was niet werkzaam in het fabriekswezen als bedenker van gebruiksvoorwerpen, kapitaalgoederen of halffabrikaten. Veeleer was hij een *multidisciplinaire* ontwerper van (water-, spoor- en steen-)wegen en de bijbehorende innovatieve dragers (zoals macadam) en subsystemen (bruggen, sluizen, e.d.), of beheerder van de aldus ondersteunde transport-infrastructuren en -diensten voor stoffelijke stromen van goederen en personen. Tegenwoordig is er vooral groei in de stromen van informatie en kapitaal; dergelijke onstoffelijke stromen vergen een nieuwe technologische onderbouw voor de logistieke (re-)organisatie van de inmiddels rijpe industriële samenleving en haar economisch en maatschappelijk verkeer. De metafoor hiervoor is 'de elektronische snelweg'; in navolging van de lidstaten van de G-7 en de EU bezigt de OESO nu het begrip *Infomation Infrastructures*. Door de stormachtige opkomst van moderne informatie- en communicatietechnologie (ICT) ten behoeve van allerlei individuele en collectieve doelen rijst de vraag hoe thans een 'civiele techniek' voor multimodale verkeersnetten ten behoeve van multimediale communicatie tussen organisaties en/of particulieren ontwikkeld zou kunnen worden.

Maatschappelijk economisch belang

De autonoom dalende prijzen voor ICT-producten en de toenemende waarde van kennis veroorzaken een snelle verschuiving in de Westerse economieën ten gunste van meer op communicatienetwerken en informatielogistiek gerichte activiteiten. Maar tegelijk ervaren steeds meer gebruikers van het Internet (incl. de "World Wide Web" servers en databases) en draadloze telefoons dat enkel het beschikbaar komen van geavanceerde ICT-middelen nog geen garantie biedt voor betrouwbaar, nuttig en veilig gebruik van het geheel op elk gewenst moment. Het maatschappelijk nut en de economie van elke openbare infrastructuur worden mede bepaald door het ingenieursvermogen om het toekomstige piekverkeer en de bijbehorende aanvaardbare congestie-kans methodisch in het systeemontwerp te betrekken, en door kosten van schaarse capaciteit doelmatiger toe te rekenen.

Technisch-wetenschappelijke uitdagingen

Hier gaat het duidelijk om meer dan (innovatie van) bepaalde computersystemen of andere ICT-toepassingen. Evenals bij het civiel-technische ontwerpen speelt (on-)voorspelbaarheid van de cumulatieve belasting van een netwerk door actieve gebruikers een cruciale rol, en bijgevolg voldoen individuele doelbeschouwingen van telematica-toepassingen in hun lokale fysieke of organisatorische omgeving steeds minder. Er is behoefte aan een samenspel tussen disciplines die de TU Delft reeds, meer dan elke andere universiteit in Nederland, grotendeels in huis heeft. Vooral de faculteiten Et, TN en TWI en hun onderzoekscholen zijn aanbieders van allerlei facetten van de benodigde ICT; hiervoor relevante ontwerp- en beoordelingsaspecten zijn tevens aan de orde in de faculteiten IO, TB en WTM. Geavanceerd gebruik van ICT vindt plaats in veel faculteiten op hun kerngebieden, bijvoorbeeld ten behoeve van (fysieke) verkeersbegeleiding ter land, ter zee of in de lucht, de automatische besturing van industriële processen, observatie of simulatie van de natuurlijke omgeving.

Meerwaarde van de samenwerking

Er ligt een uitdaging in het organiseren van een zodanige programmatische selectie en combinatie uit het Delftse ICT-gerelateerde onderzoeks aanbod, dat dit duidelijker en meer strategisch wordt geprofileerd voor de wassende vraag in de kennisintensieve samenleving, en met name beter bijdraagt tot de ontwikkeling van wetenschappelijke ontwerpmethododes voor nieuwe informatie- en communicatie-infrastructuren.

SIGNAALBEHANDELING, INFORMATIEVERWERKING EN KENNISREPRESENTATIE

Omschrijving van het thema

Informatie is de grondstof voor de 'vierde' industriële revolutie, de basis voor zowel hele industrietakken als sectoren in de dienstverlening. Informatie wordt verworven door een sensor (een antenne, een camera, een chemosensor, een microfoon, een spectrometer, ...) gedetecteerd en geconditioneerd, doorgegeven als signaal, geïnterpreteerd, bewerkt, getransformeerd, overgestuurd en geleid naar een actuator (een 'display', een antenne, een motor,...). Informatie wordt ook in vele vormen opgeslagen, gedocumenteerd, gerelateerd, geclusterd en gerepresenteerd. Een informatieketen kan technisch op verschillende niveaus gerealiseerd worden, gaande van uiterst compacte 'one-chip' circuits tot uitgebreide databases met zoeksystemen.

Maatschappelijk-economisch belang

Vanuit een werkgelegenheidsstandpunt voor ingenieurs is deze sector van bijzonder belang, mede dankzij het grote 'multiplicatie-effect' van haar producten (een mobiele telefoon schept meer dan 20 maal zijn waarde aan een dienstverlenende activiteit). 'Software' is niet alleen van groot industrieel belang, bij communicatie tussen mensen, in de opleiding, in de verzorgingssector, etc. Nederland beschikt over belangrijke industrieën in de sector signaal- en informatiebehandeling. Philips is een grote multinational die in Nederland aan 43.000 goed opgeleide mensen werkgelegenheid biedt, waaronder duizende onderzoekers. Verschillende telecommunicatie-bedrijven (Lucent (voorheen AT&T), Ericsson, Alcatel) doen er research en ontwikkeling in informatieverwerkende systemen. Verder beschikt Nederland over een niet onaanzienlijk KMO's in de micro-elektronica, de signaalbewerking, de ontwerpkunde, software-bedrijven, automatiseringsbedrijven en bedrijven die allerhande diensten leveren.

Technisch-wetenschappelijke uitdagingen

De elektronica als discipline worstelt met diepgaande en belangwekkende problemen op alle fronten van de signaalverwerkingsketen: sensoren zijn nog steeds erg primitief en kostbaar, de informatieverwerking is nog lang niet zo intelligent als gewenst en ook de actuatoren smeken om verbetering, in het bijzonder de weergave van video op beeldschermen. In de komende jaren gaan de relevante dimensies van submicron- naar nanometer, d.i. atomaire of moleculaire schaal, een buitengewone uitdaging voor technologische onderzoekers: 'nanoscale computing'. De complexiteit van microelektronische circuits neemt zo snel toe, dat er sprake is van complete 'systemen' op een chip, de chip-ontwerper wordt een systeemontwerper met gedegen kennis van de onderliggende elektronica en fysica. Aan de 'bovenkant' van de informatieverwerkingsketen blijkt de problematiek al even groot. Met de enorme toename van de informatie-uitwisseling over de in opbouw zijnde 'information superhighway' en de capaciteit van computersystemen, neemt ook de chaos dramatisch toe en de behoefte aan intelligente kennis-representatie, de bescherming van 'privacy', gebruikersvriendelijke programmatuur, mens-machine interactie, multimedia-behandeling, visualisering en het inspelen op de communicatieomgeving die het 'World Wide Web' biedt.

Intelligentie wordt een intrinsiek onderdeel van bijna ieder apparaat of systeem. Men spreekt van 'embedded computing' of 'embedded memory', 'computational intelligence' bij besturingen, robotica en flexibele automatisering. Computer-architectuur is relevant voor meer dan het bouwen van computers alleen. Alternatieven zoals neurale netwerken en possibilistische systemen ('fuzzy logic') worden realiseerbaar en aantrekkelijk.

Meerwaarde van de samenwerking

De meerwaarde van een multidisciplinaire aanpak van het thema kan mogelijk het beste worden geïllustreerd aan de hand van twee voorbeelden. De noodzaak naar sterke integratie op een of een paar chips van alle functies in een mobilfoon en dit allemaal met minimaal vermogenverbruik, vereisen het combineren van kennis op minstens de volgende disciplines: vaste stof fysica, materiaalkunde, microgolftchniek, elektronische devices, circuits en systemen, ontwerpkuunde, signaalbewerking, informatica en software, sensoren en actuatoren. Als tweede voorbeeld kan 'quantum computing' gelden: de drastische verkleining van dimensies (in de nanometers) maakt het bedenken van nieuwsoortige 'devices' noodzakelijk omdat quantumverschijnselen een centrale rol gaan spelen. Ook in dit gebied zijn er veel open wetenschappelijke en technische vraagstellingen uit de fysica, de materiaalkunde, de ontwerpkuunde van systemen en circuits, de informatietheorie, de informatica, de beslissingstheorie.

MODEL-GEBASEERD OPTIMALISEREN VAN COMPLEXE INDUSTRIELE PROCESSEN

Omschrijving van het thema

Verschillende sectoren van de industrie kennen processen met een hoge mate van complexiteit. Die complexiteit toont zich op meerdere wijzen (a) het proces vervult een aantal productiefuncties, waaraan vele, soms tegenstrijdige, eisen worden gesteld; (b) binnen het proces, dat is opgebouwd uit een netwerk van bewerkingseenheden, treden sterke interacties op; (c) de functies van de bewerkingseenheden komen tot stand door een ingewikkeld samenspel van (bio)chemische, fysische en mechanische verschijnselen in apparaten. Vanwege deze complexiteit is het noodzakelijk het proces als een samenhangend systeem te optimaliseren met betrekking tot de gewenste productiefuncties. De fundamentele proceskennis die hiervoor nodig is en de wijzen van optimaliseren vinden hun uitdrukking in (formele) modellen.

Maatschappelijk-economische belang

Op nationaal strategische schaal richt het thema zich op de economische vitaliteit van de procesindustrie (grondstoffen, chemie, biotechnologie, voeding en farmacie) en de maakindustrie, zoals basismetaleen, micro-electronica en productiebedrijven in de civiele sector. De procesindustrie alleen al verzorgt een flink deel van het bruto nationaal product. De vitaliteit staat en valt met het vermogen duurzame processen voor hoogwaardige producten te ontwikkelen. Duurzaamheid vereist een overgang van open naar gesloten stofkringlopen en een uitstekende procesbeheersing ('no waste'). Bovendien moet rekening worden gehouden met toenemende diversiteit van grondstoffen (o.a. biomassa), terwijl de kwaliteit van aanbod verder zal afnemen. Het thema zal bijdragen tot het handhaven van sterke R&D- en productieposities in de genoemde sectoren en tot het ontstaan van nieuwe bedrijvigheden, bijvoorbeeld het ontwikkelen van hardware (sensors, apparaten) en software tools (simulatie, regeling) voor optimalisatiedoelinden.

Technisch-wetenschappelijke uitdaging

Het optimaal ontwikkelen, ontwerpen en beheersen van processen vraagt een technisch-wetenschappelijke inzet op drie schaalniveaus: die van de verschijnselen (*micro*), de bewerkingseenheden (*meso*) en het proces als geheel (*macro*). Daarbij dient de gebruikelijke aandacht voor de meso-schaal zich te verbreden naar de micro-schaal voor verbetering van de produktkwaliteit en naar de macro-schaal vanwege een optimale productiebeheersing. Het is essentieel de relaties tussen procescondities en produktstructuur en -eigenschappen fundamenteel te begrijpen en te benutten. Het is tevens nodig een *systematische* integratie over de drie schaalniveaus te ontwikkelen, o.a. door de gebruikelijke parallelle monodisciplinaire aanpak te vervangen door een *interdisciplinaire* werkwijze.

Meerwaarde van de samenwerking

Binnen de diverse faculteiten zijn vele expertises aanwezig voor dit thema, zowel fundamenteel, bijv. *thermodynamica*, *hydrodynamica*, *wiskundige systeemtheorie* en *optimalisatie*, als ontwerp- en integratiegericht: o.a. *conversietechnologie*; *scheidingen*;

apparaatkunde; materiaalkunde; constructief ontwerpen; meten en regelen; systeemanalyse van technische en maatschappelijke aspecten. De meerwaarde ligt in het vermogen modellen van complexe processen te ontwikkelen - dankzij de geïntegreerde inzet van disciplines - waarmee optimalisatie en beheersing mogelijk worden. Hiermee zal de TU Delft zich internationaal gunstig profileren; het zal de TU in staat stellen wereldwijd multi-client onderzoeksprojecten (uit de industrie) aan te trekken en met succes te bewerken.

DUURZAAM-GEBOUWDE OMGEVING

Omschrijving van het thema

De duurzaam-gebouwde omgeving betreft de droge en natte infrastructuur, woningen, bedrijfsgebouwen, scholen, ziekenhuizen en andere gebouwen. Deze gebouwde omgeving is nodig voor wonen, werken, leren, recreëren en verzorgen. De gebouwde omgeving heeft kwaliteit als hij de beoogde functies vervult, veiligheid biedt en duurzaam is. Dit thema formuleert het onderzoek om in deze kwaliteit op langere termijn te voorzien.

Maatschappelijk-economisch belang

De kwaliteit van de gebouwde omgeving wordt op veel manieren bedreigd. De bevolking van Nederland groeit sneller dan verwacht, mede door aanwas vanuit andere landen. Ruimte wordt schaars, waardoor hoogbouw, ondergronds bouwen en kustlocaties actueel worden. De capaciteit van de harde infrastructuur (weg, water, rail), zo essentieel voor Nederland Distributieland, blijkt ontoereikend. Het volume aan bestaande gebouwen en civieltechnische werken (de 'installed base') is groot en legt een toenemend beslag op de middelen in de vorm van onderhoud en vernieuwbouw. Hergebruik van materialen na sloop is een verwant onderwerp. De zeespiegel rijst, met consequenties voor veiligheid van de laaggelegen delen van het land. Arbeidsomstandigheden en gezondheidsaspecten in de bouw worden knelpunten van belang. In de bouw ontbreekt verder voldoende besef en inzicht dat in de toekomst veel zuiniger moet worden omgegaan met energie. De kennis daarvoor ontbreekt nu nog. Ook moet in toenemende mate rekening worden gehouden met door het milieu gestelde eisen. In kostenopzicht dreigen eveneens problemen te ontstaan. De bouw wordt onbetaalbaar, tenzij we het bouwproces efficiënter weten te maken.

Technisch-wetenschappelijke uitdaging

De markt, EG, TNO en de GTI's denken in termen van onderzoek op korte termijn met direct resultaat. TU Delft moet zijn verantwoordelijkheid verstaan en met de eigen beleidsmiddelen primair onderzoek doen dat funderend is en een langere tijdshorizon heeft. De volgende uitdagingen zijn aan de orde. Het ontwikkelen van toekomstige bouwconcepten met een lager beslag op energie, bezien over de gehele levensduur. Het ontwikkelen van duurzame en high-performance materialen uit zowel primaire als secundaire grondstoffen. Revolutionair wijzigen van de procesorganisatie en het integreren van informatietechnologie in ontwerp en uitvoering om de bouwtijd te verkorten en de bouwkosten te verlagen. Tot stand brengen van goede arbeidsomstandigheden in de bouw, mede door robotisering. Ontwikkelen van een visie op en strategie voor de miljardenmarkt van onderhoud en vernieuwbouw. Uitvoeren van hoogwaardig kustonderzoek ter onderbouwing van de positie van kustlocaties en voor de veiligheid van het land.

Meerwaarde van de samenwerking

Het onderzoek voor oplossingen op langere termijn vraagt om onderzoek dat kan worden gerekend tot de kern van de Delftse bouwfaculteiten en uit onderzoek dat behoort tot de kern van

andere faculteiten. Integratie van bouwwetenschappen en disciplines als informatie-technologie, technische fysica (licht, geluid, warmte), technische wiskunde, materiaalkunde, bedrijfsleer, werktuigbouwkunde en geodesie is absolute noodzaak.

MOBILITEIT VAN PERSONEN EN GOEDEREN

Omschrijving van het thema

Mobiliteit van personen en goederen vraagt om infrastructurele voorzieningen met logistieke efficiëntie. Aan de orde zijn functionaliteit, ontwerp, inrichting, realisatie en bedrijfsvoering van een complex systeem met interlokale en interorganisatorische coördinatie. Doelstellingen van het systeem zijn duurzaamheid, bereikbaarheid en concurrentievoordeel. Actoren in het veld zijn: logistieke dienstverleners, terminal operators, scheppende industrie van vervoermiddelen en inrichters van de vervoersinfrastructuur.

Maatschappelijk-economisch belang

De infrastructurele voorzieningen voor het transport en de logistieke efficiëntie zijn van vitaal belang voor de internationale concurrentiepositie van onze economie. De effecten van het vervoersproces dringen door in de hele samenleving. De positieve effecten zijn te vinden in welvaart, werkgelegenheid en sociaal-culturele ontplooiing van de bevolking. De groei van het vervoer heeft echter ook negatieve consequenties: belasting van het milieu, weinig efficiënt gebruik van energie en grondstoffen, beslag op de ruimte, optreden van onveilige situaties en ongelukken en soms ook (tengevolge van congesties) een onvoldoende kwaliteit van de geboden service. Unieke schaalvergroting voltrekt zich thans. Grote investeringen worden gedaan in de verschillende transportinfrastructuren, vervoersmiddelen en bedrijfsorganisaties.

Technisch-wetenschappelijke uitdaging

Nieuwe technologische mogelijkheden komen voort uit het gecombineerd toepassen van de telematica, technieken voor automatisering van het fysieke transport en nieuwe technieken voor procesbesturing. Deze ontwikkeling leidt tot een bijzondere complexiteit in functionaliteit, ontwerp, inrichting, realisatie, bedrijfsvoering en dienstverlening. Transport, infrastructuur en logistiek moeten creatief worden benaderd vanuit een breed perspectief. De TU Delft wil zich in het onderzoek op dit terrein primair richten op anticiperende concepten met een belang op langere termijn. Een voorbeeld daarvan is geautomatiseerd wegvervoer in een stedelijke agglomeratie als de Randstad. Een ander voorbeeld is collectief personenvervoer dat intelligent, communicatief en vraaggestuurd plaats vindt. Nog een voorbeeld is safety, engineering, veiligheid op basis van generieke procesmodellen.

Meerwaarde van de samenwerking

Het benodigde onderzoek is naar zijn aard sterk multidisciplinair. Er kan alleen resultaat worden geboekt als disciplineclusters samenwerken zoals de techniek van verkeer en infrastructuur, techniek van transportmiddelen, (technische) bestuurs- en bedrijfs-wetenschappen, mens en maatschappijwetenschappen en besturing van transport en logistieke systemen.

Appendix C

Samenvatting inventarisatie

1. Algemeen

Ter voorbereiding van zijn advisering heeft de ARTD het van groot belang geacht om een inventarisatie te laten samenstellen van de kennisportfolio van de TU Delft. Dit is uitgemond in het TNO-rapport *Opties voor Technologiebeleid en Profilering voor de TU Delft*. Als aanvulling hierop is door oud-Rector Magnificus Prof. Schenck persoonlijk een inventarisatie verricht naar opvattingen die leven bij een aantal 'jonge' hoogleraren van de TU Delft. Deze gespreksronde heeft geresulteerd in de notitie *Enkele gedachten bij onderzoek- en onderwijsbeleid van de TU-Delft*. Beide rapportages zijn door de ARTD gevoegd bij het achtergrondmateriaal dat gebruikt is bij het opstellen van het tweede deel van het ARTD Advies. De volledige teksten zijn ter inzage bij het secretariaat van de ARTD, Dienst Onderwijs en Onderzoek, Bureau van de Universiteit. In deze appendix wordt volstaan met een beknopte beschrijving hiervan.

2. TNO-rapport

In het rapport *Opties voor Technologiebeleid en Profilering voor de TU Delft* (november 1995), opgesteld door TNO Beleidsstudies en Advies is nagegaan wat de Europese en nationale prioriteiten zijn op het gebied van het technisch-wetenschappelijk onderzoek, zoals deze buiten de TU Delft zijn of worden geformuleerd. Binnen dit kader is tevens aangegeven wat de relatieve positie en de toekomstmogelijkheden van de TU Delft op de relevante gebieden zijn.

Het rapport bestaat uit twee delen. In het eerste deel wordt ingegaan op trends in het nationale en internationale technologiegebied. Tevens wordt de opkomst gesignaleerd van nieuwe kennisbehoeften en ontwikkelingen rond strategische technologieën. Uit de beschrijving van deze ontwikkelingen en trends vloeit een aantal aandachtspunten en strategische vragen voor de TU Delft voort. De ontwikkelingen in het technologiegebied zijn geïnventariseerd op basis van een groot aantal recent verschenen studies en positiebepalingen. Voor de beschrijving van kennisbehoeften en strategische mogelijkheden is gebruik gemaakt van de beschikbare nationale en internationale verkenningen.

Deel I eindigt met een overzicht van technologieën en thema's die vooral voor *Nederland* van groot belang worden geacht (tabel 6 van het voornoemde rapport).

In het tweede deel van het rapport staan de opties voor technologiebeleid en profilering voor de TU Delft centraal. Ten eerste wordt nagegaan hoe het staat met de aanwezigheid van de TU Delft in strategische technologiegebieden. Vervolgens is aangegeven welke technologiegebieden

voor de TU Delft naar verwachting de komende jaren belangrijk zullen worden. In dit verband wordt aangegeven wat de uitgangspositie van de TU Delft op deze technologiegebieden is. Ten slotte wordt een kader voor discussie geschetst inzake opties voor strategisch technologiebeleid, profilering en samenwerkingsrelaties binnen de kennisinfrastructuur. De analyse die in het tweede deel van het rapport wordt gepresenteerd berust op ruim twintig gesprekken op persoonlijke titel met hoogleraren van de TU Delft en door TNO in het kader van andere projecten verkregen gegevens. Doel van deze interviews was om een beeld te krijgen van belangrijke ontwikkelingen die in de naaste toekomst op deze gebieden verwacht mogen worden en die de TU Delft raken. Hierbij is geen volledigheid nagestreefd.

Deel II eindigt met een overzicht van technologiegebieden en toepassingsgebieden, waarin de *TU Delft* een vooraanstaande rol zou kunnen spelen (tabel 10 van het voornoemde rapport).

3. Notitie Schenck

Parallel met het opstellen van het voornoemde TNO-rapport is door oud-Rector Magnificus Prof. Schenck een aantal gesprekken gevoerd met 'jonge' hoogleraren (d.w.z. hoogleraren die op grond van hun leeftijd ook na 2015 nog aan de TU Delft verbonden kunnen zijn). In zijn notitie wordt ingegaan op een aantal aspecten die betrekking hebben op de koersbepaling van de instelling, het interdisciplinair samenwerken alsmede aspecten ten aanzien van de Delftse onderwijs- en onderzoekcultuur. Belangrijke conclusies zijn 'het grote enthousiasme van de ondervraagde hoogleraren voor hun vakgebied', 'de perceptie van een starre Delftse organisatiecultuur' en 'het belang van goede monodisciplinaire groepen'.