

MAG-1

MN 1963

U

n° 509

systemkunde
en informatie-
technologie

605

door prof. dr. ir. A.J. Udink ten Cate

Landbouw universiteit

Ontvangen

JUN 1993

UB-CATE

71230

SYSTEEMKUNDE EN INFORMATIETECHNOLOGIE

door prof.dr.ir. A.J. Udink ten Cate



**Inaugurale rede uitgesproken op 20 februari 1992
bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar in de
toegepaste informatica voor het deelgebied toegepaste
systeemkunde aan de Landbouwuniversiteit te
Wageningen.**

Des HEREN werk is wijs
Jesaja 28: 23-29

SYSTEEMKUNDE EN INFORMATIETECHNOLOGIE

Inleiding

Mijnheer de Rector Magnificus, dames en heren,

Het woord "systeem" is in de mode. De gemiddelde krantelezer is vertrouwd met begrippen als: systeemwoning, systeemcamera, kleurensysteem of beloningssysteem. Al deze begrippen hebben gemeen dat het hier gaat om een systeem. Hier wordt dan iets onder verstaan als een geordend geheel, dat is opgebouwd uit verschillende onderdelen of componenten. Een belangrijke eigenschap van een systeem is daarbij dat de werking of functionaliteit van het geheel behouden blijft als een der componenten wordt vervangen.

Wat geldt voor het dagelijks leven, geldt ook voor de wetenschap en het daarmee verbonden onderwijs. Bij het doorbladeren van de studiegids van de Landbouwniversiteit valt het oog veelvuldig op de term "systeem" in een of andere context. In enkele gevallen zelfs in samenhang met termen die een bepaalde wetenschappelijke benadering aanduiden zoals systeemleer, systeemaanpak, systeemtheorie, systeemtechniek of systeemanalyse. Het is kennelijk zo, dat het begrip of concept "systeem" zich in vele disciplines een plaats heeft verworven.

Toch is het begrip systeem in de betekenis waar we het hier over hebben van recente datum. Voor systemen die door de mens gebouwd zijn dateert het begrip uit het begin van de 50-er jaren. In de cybernetica (of stuurkunde) en in de telecommunicatie is er in die jaren al veel aan theorievorming gedaan. Voor bestaande, natuurlijke systemen ontstaat er

vanuit de biologische wetenschappen belangstelling. In zijn werk "Science in History" heeft Bernal het in dit verband over "machines", waarbij het systeem in de vorm van een organisme niet alleen geordend is, maar ook van een besturingselement is voorzien (Bernal, 1954).

In het nu volgende zal ik kort ingaan op de ontwikkeling van het vakgebied systeemkunde. Met name zal ik die facetten belichten die verband houden met het interdisciplinair beoefenen van de wetenschap. Vervolgens zal ik de overstap maken naar toegepaste systeemkunde als typische ingenieursdiscipline en de sterke relatie met informatica en informatiesystemen bespreken.

Systeemkunde

Dames en heren,

De beoefening van de wetenschap is een culturele aangelegenheid bij uitstek. In wat wij moderne empirische wetenschap noemen, spelen drie karakteristieken een belangrijke rol. Dit zijn: reductionisme, herhaalbaarheid en falsificatie (Koningsveld, 1976). Reductionisme is het reduceren van de werkelijkheid door het doen van -bij voorkeur goed controleerbare- experimenten. Herhaalbaarheid houdt de mogelijkheid in om deze experimenten uit te voeren op een andere plaats en tijd. Falsificatie is het vermogen om een tot dusverre voor waar gehouden wetenschappelijke theorie op grond van die experimenten te verwerpen.

Het is een understatement te stellen dat de empirische

aanpak van de wetenschap tot succesvolle resultaten leidt. Echter ook is gebleken dat deze aanpak haar beperkingen heeft. Deze zijn van tweeërlei aard. Ten eerste leent niet alles in de natuur zich er voor om op deze wijze te worden beschouwd. De exacte wetenschappen als de natuurkunde en de scheikunde voldoen veel beter aan het geschetste beeld dan de biologie of de sociale of economische wetenschappen. Ten tweede leidt met name reductionisme tot het ontstaan van onderscheiden disciplines (natuurkunde, scheikunde, biologie, sociologie, economie), waarbij elk van de disciplines zo haar eigen belevingswereld heeft. Kuhn spreekt in dit verband van "paradigma's", een geheel van theorieën, filosofische uitgangspunten, normen en waarden. Een paradigma bepaalt de blik op de werkelijkheid van een discipline. Academische vorming heeft hierbij tot doel het paradigma over te dragen.

Daar waar wetenschap vervolgens wordt toegepast om concrete problemen op te lossen, zoals bij de ingenieurswetenschappen het geval is, blijken er praktische tekortkomingen te bestaan. Voorbeelden hiervan zijn (Wymore, 1976):

- het beschrijven van complexe samenhangen in de natuur (b.v. het weer);
- het bouwen van ingewikkelde apparaten (b.v. een vliegtuig);
- het organiseren van menselijke activiteiten (b.v. een bedrijf).

Ook vanuit methodologisch opzicht is deze wetenschapsbeoefening onderwerp van kritiek. Met name de vertekening van de werkelijkheid en de

daaruit voortvloeiende kijk van het individu op de wereld is bediscussieerd in de kritische wetenschapsvisie. Terzijde zij hier opgemerkt dat een beweging als "alternatieve landbouw" zich beroept op een soortgelijke kritiek op de gangbare wetenschapsbeoefening.

Maar ook op een wat meer pragmatisch niveau zijn een aantal kanttekeningen te plaatsen. Een ieder weet dat complexe problemen de oplossingsmogelijkheden van een enkele discipline te boven gaan. Vandaar ook dat steeds meer aandacht wordt gegeven aan een interdisciplinaire aanpak van problemen. Hierbij gaat het erom een complex probleem te benaderen in een nauwe samenwerking tussen verschillende disciplines. Nu kan men bij wetenschappelijk onderzoek verschil maken tussen onderzoek van meer fundamentele aard en de ontwikkeling van nieuwe toepassingen. Indien de uitkomst van de activiteiten redelijk voorspelbaar is, zoals bij ontwikkelingswerk, is het door goed projectmanagement mogelijk alle disciplines een evenwichtige inbreng te laten hebben. Bij onderzoek met een meer fundamenteel karakter is de uitkomst minder voorspelbaar. Het projectmanagement is derhalve minder strak te organiseren waardoor de verschillen tussen de disciplines moeilijker beheersbaar zijn. Het wetenschappelijk paradigma als cultureel verschijnsel speelt hier een sterke rol. Dit leidt tot zeer praktische problemen als het gebrek aan appreciatie van de teamleden voor elkaar, ingegeven door het verschijnsel dat hun (disciplinegerichte) normen en waarden niet met elkaar corresponderen. Ook hebben wetenschappelijke begrippen per discipline vaak een afwijkende betekenis. Een mooi voorbeeld hiervan is het woord "model" in de

betekenis van een afspiegeling van de werkelijkheid in termen van een geschikte wiskundige formulering. Mijn ervaring is dat dit begrip zozeer is gekoppeld aan verschillende disciplines, dat het zonder nadere aanduiding niet te hanteren valt.

In de systeemkunde wordt in principe niet uitgegaan van een disciplinegewijze benadering van de werkelijkheid, maar wordt deze gezien als een systeem. In dit verband wordt systeemkunde ook wel eens aangeduid als "interdiscipline". Daarbij wordt gepoogd niet op een zodanig hoog abstractieniveau te gaan zitten dat er sprake is van een nieuwe discipline met bijbehorend paradigma. Voor de ontwikkeling van de systeemkunde volg ik Peter Checkland (1981), die als vertrekpunt de ontwikkelingen in de informatietheorie neemt alsmede in de cybernetica of stuurkunde. Deze ontwikkelingen vonden alle plaats in de 40-er en 50-er jaren. Sedertdien heeft de systeemkunde zich langs twee paden verder ontwikkeld. Dat is op het gebied van de theorievorming, waar gewerkt is aan een "algemene systeemtheorie". Daarnaast wordt de systeemkunde toegepast bij het oplossen van praktische problemen.

Op het gebied van theorievorming is de afgelopen decennia uiteraard het nodige gebeurd. Als wetenschappelijk forum fungeert een internationale organisatie, de International Federation for Systems Research (IFSR). Verder bestaan er in een aantal landen nationale organisaties, in ons land is dat de Systeemgroep Nederland. Doorbladeren van het officiële IFSR tijdschrift Systems Research levert het beeld op dat vooral veel is bereikt op het gebied van het typeren van systemen en minder op het gebied van

een "algemene systeemtheorie". De discussies hierover lijken zich toe te spitsen op het toepassen van concepten uit de natuurkunde op allerhande andere disciplinegebieden (zoals het begrip entropie van organisaties).

Naast de theoretisch gerichte systeemkunde is er de toegepaste systeemkunde. De toepassingen worden vooral gevonden in het modelleren, het analyseren, en het simuleren (dat is het nabootsen) van complexe systemen. Daarnaast geeft systeemkunde inzicht in het bouwen van systemen.

In de systeemkunde wordt veelal onderscheid gemaakt tussen "harde" systemen (hard systems) en "zachte" systemen (soft systems). Harde systemen zijn veelal van technische of natuurwetenschappelijke aard. Zachte systemen zijn moeilijker te beschrijven en vinden we in het gebied dat door de sociale, economische of organisatie-wetenschappen wordt bestreken. Toepassingen van systeemkunde bij harde systemen zijn vooral te vinden bij computergesteunde modellerings- en ontwerptechnieken. Toepassingen op het gebied van zachte systemen zijn te vinden in het besturen van organisaties. Naast de harde en de zachte systemen is er een derde gebied van toepassingen. Dit is de "systeemanalyse". Deze is nauw verwant met de vakgebieden operationele analyse en met de economische wetenschappen en wordt vooral gebruikt als hulpmiddel bij het nemen van (beleidsmatige) beslissingen (Checkland, 1981). Op deze plaats sprak Hordijk enige maanden geleden over systeemanalyse op het gebied van milieu (Hordijk, 1991). Interessant is in dit verband zijn pleidooi voor het gebruik van meetresultaten voor de onderbouwing van de

voorspellingen. Hier herkennen we de empirische wetenschapsbenadering.

In een paar woorden heb ik de ontwikkeling van de systeemkunde geschetst. Gaarne zal ik nu nader ingaan op enige centrale thema's die in de systeemkunde een rol spelen.

Systeemkundige concepten

Bij de systeemkunde staan twee concepten centraal. Deze zal ik kort bij U inleiden.

Een van de uitgangspunten van de systeemkunde is dat van de zelf-organisatie van systemen ofwel de "natuurlijke hiërarchie". Als voorbeeld nemen we een levend organisme. Dit organisme is opgebouwd uit organen, de organen zijn opgebouwd uit cellen en de cellen zijn opgebouwd uit moleculen. Deze ordening, van grotere eenheden (het organisme), naar kleinere (moleculen) is logisch en geeft inzicht in de opbouw van het beschouwde systeem (het organisme). De omgekeerde ordening geeft dat echter niet. Moleculen geven geen inzicht in de bouw van cellen, cellen geven geen inzicht in de bouw van organen, en organen niet in die van het organisme. Kennelijk is het zo, dat systemen in de natuur een hiërarchische ordening bezitten, waarbij tussen de ordeningsniveau's een relatief zwakke koppeling optreedt. In de systeemkunde wordt daarom ook veel belang gehecht aan het aanbrengen van zo'n ordening. Deze activiteit noemt men "decompositie".

Het tweede centrale concept is dat van de "sturing". Immers bij decompositie worden wel de belangrijkste

onderdelen of componenten van het systeem benoemd. Maar hoe deze componenten samenwerken en met elkaar een systeem vormen is daarmee niet in kaart gebracht. Voor bepaalde typen systemen is het mogelijk componenten in onderlinge samenhang te beschrijven in zogeheten "verbindingswetten". Zo kan bij technische-fysische systemen de energie-uitwisseling tussen de componenten gebruikt worden. Hierop is de theorie van de Bondgrafen gebaseerd, aan deze universiteit geïntroduceerd door Van Dixhoorn. In een fabriek kan de stroom van materialen tussen de verschillende machines gebruikt worden. Bij organisatorische systemen is dat de informatie die tussen verschillende bedrijfsonderdelen wordt uitgewisseld.

Behalve de sturing, waarmee in principe de eigenschappen van het systeem worden bepaald, kunnen we ook "besturing" onderscheiden. Besturing van een systeem vindt plaats met een bepaald doel, b.v. om het systeem op een gewenste manier te laten reageren. Besturing van een levend organisme vindt in deze visie plaats vanuit de hersenen. Bij het besturen van de materialenstroom in een fabriek wordt een computer gebruikt. Bij besturing moet zowel rekening worden gehouden met het doel van de besturing als met de eigenschappen van het systeem.

Met decompositie en sturing zijn twee centrale concepten van de systeemkunde beschreven. Naast het beschrijven van systemen, houdt de systeemkunde zich echter ook bezig met het vraagstuk hoe zo'n systeem gebouwd zou moeten worden.

In de bouw, constructie of synthese van systemen zijn

drie fasen te onderkennen (fig 1). Indien een systeem moet worden gebouwd, is het van belang eerst de eisen van de gebruikers te kennen. Vervolgens worden deze eisen geconfronteerd met de (technische) mogelijkheden en omgezet in technische specificaties.

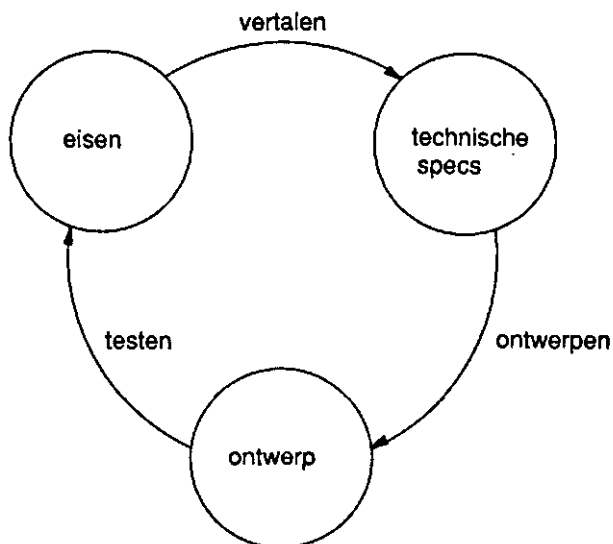


Fig. 1. Fasen bij de bouw van een systeem.

Op grond van de technische specificaties wordt een ontwerp gemaakt. Dit ontwerp wordt door middel van testen vergeleken met de oorspronkelijke eisen van de gebruiker. Vervolgens worden die eisen bijgesteld en wordt een volgende cyclus doorlopen. Het ontwerp wordt een prototype of proefmodel, de testen worden van het beoordelen van een blauwdruk tot het uitvoeren van experimenten. Na enige keren de cyclus te hebben doorlopen is het systeem daar.

Essentieel in genoemde aanpak is haar cyclische karakter. Ook essentieel is dat er niet eerder van een goed ontwerp sprake kan zijn als niet de gehele cyclus tenminste eenmaal is doorlopen. Met name in het confronteren van gebruikerseisen met een ontwerp aan de hand van experimenten herkennen we de experimentele wetenschapsbenadering.

De cyclische aanpak is gedetailleerd beschreven door Wymore (1976) in de context van het ontwerpen van harde systemen. De reeds eerder genoemde Checkland heeft het begrip "soft systems" geïntroduceerd als tegenhanger van harde systemen. Het argument daarbij is, dat bij harde systemen de ontwerper of degene die de systemen waarneemt, zich buiten het systeem bevindt. Hij kijkt als het ware van buiten naar binnen. Bij zachte systemen is dit in principe niet mogelijk en vormt de ontwerper of waarnemer zelf een onderdeel van het systeem. Checkland introduceerde een methodologie voor soft systems, die "action research" genoemd wordt.

Als ik de formele argumenten even laat voor wat ze zijn en naar de methodologie zelf kijk, dan lijken de overeenkomsten toch veel groter dan de verschillen.

Kennelijk is het zo dat bij het ontwerpen, vormgeven of bouwen van harde of zachte systemen met vrucht van dezelfde aanpak gebruik gemaakt kan worden. Dit is op zichzelf een goede zaak, omdat het verschil tussen een hard en een zacht systeem in de praktijk niet erg goed aan te geven is. Veel concrete systemen liggen zo'n beetje tussen hard en zacht in. Een goed voorbeeld daarvan zijn informatiesystemen, systemen die bedoeld zijn om geautomatiseerde verwerking van gegevens met behulp van een computer mogelijk te maken. Een ander voorbeeld is het opstellen van een strategisch plan voor een onderneming, of het formuleren van beleid in termen van doelstellingen en regelgeving.

Ik heb het gevoel dat in al deze gevallen het bouwen of formuleren van het systeem volgens dezelfde aanpak kan geschieden, waarbij er uiteraard per systeem-type een andere invulling aan wordt gegeven. Deze aanpak moet geleerd worden. Misschien is op deze plek dienstig om erop te wijzen dat binnen de vakgroep informatica al enige jaren het college "Systeemkunde voor interdisciplinaire projecten" wordt verzorgd. Dit college is gebaseerd op de methodiek voor het ontwerpen van harde systemen (Wymore, 1976) waarbij elk jaar een systeem dat in de categorie "zacht" valt als casus wordt behandeld. Voorbeelden hiervan zijn: de brug bij Rhenen als vervoerskundig probleem; de marginale landbouwgebieden in de Europese Gemeenschap; en het ontwikkelen van een beleidsplan voor bibliotheek 2000. Uiteraard wordt hierbij gebruik gemaakt van de computer om de relatieve complexiteit van de problematiek beheersbaar te houden.

Systeemkunde en informatietechnologie

Het woord computer is al enige keren gevallen. Het onderstreept dat er een sterke band bestaat tussen toepassingen van de systeemkunde en informatietechnologie (afgekort IT). Ik gebruik hier het begrip informatietechnologie en niet het begrip informatica. Dat heeft een reden.

In de informatietechnologie zijn grofweg drie hoofdstromen te onderkennen. Ten eerste is er de computertechniek die zich richt op het fabriceren van computers en aanverwante apparatuur. Elektronica is hier de dominante discipline. De twee andere hoofdstromen worden gevormd door de "computer science" en de "information science". Met name in de Verenigde Staten wordt hiertussen een duidelijk onderscheid gemaakt (Forgionne, 1991). Computer science laat zich in de Nederlandse verhoudingen het best benaderen met de term "informatica". Het wordt in de V.S. binnen gewone en technische universiteiten gedoceerd. Typische vakgebieden zijn: technisch-wetenschappelijk rekenen, computergrafiek, database systemen, programmeren, software engineering, kunstmatige intelligentie. Information science laat zich het beste omschrijven met de term "bestuurlijke informatievoorziening" (Bemelmans, 1984). Het wordt in de V.S. vooral binnen een Business School of een Department of Economics verzorgd. Het doel is hier het ontwerpen en implementeren van informatiesystemen in een bedrijfsmatige omgeving. Typische vakgebieden zijn: computerbeveiliging, database management, analyse en ontwerp van bedrijfsmatige informatiesystemen, transactionele informatiesystemen, kantoorautomatisering, management-

ondersteunende informatiesystemen. Van groot belang is het kunnen integreren van verschillende relevante disciplines tot een werkend informatiesysteem. Degenen onder U die de openbare discussies over slecht lopende automatiseringsprojecten volgen, weten dat dit geen triviaal probleem is.

Ik onderschrijf deze visie op IT. Daarnaast ben ik de mening toegedaan dat het ontwerpen, bouwen en realiseren van informatiesystemen een vak apart is, wezenlijk te onderscheiden van informatica, computertechniek en andere delen van de "information science". Onder informatiesystemen worden hier verstaan informatiesystemen in brede zin: bedrijfsmatige informatiesystemen, management informatiesystemen, kennissystemen, geografische informatiesystemen, marketingsystemen of bibliothecaire informatiesystemen. Immers het bouwen van informatiesystemen is een opdracht van essentieel interdisciplinaire aard, waarbij informatica en computertechniek als disciplines gezien moeten worden, naast andere disciplines. Per type informatiesysteem zijn een of meerdere disciplines dominant, maar deze dominantie is beslist niet alleen voorbehouden aan de informatica of de computertechniek. Dit moet begrepen worden als een gevolg van de ontwikkeling van de IT zelf, vooral op het terrein van apparatuur en programmeringshulpmiddelen. Hierdoor worden onderliggende lagen als het ware afgeschermd, conform een goed systeemkundig principe als hiërarchische decompositie. De dominantie van de informatica-disciplines wordt hiermee gereduceerd ten faveure van de andere disciplines. Bij managementondersteunende informatiesystemen zijn dat o.a. bedrijfseconomie en

operationele analyse. Bij bibliothecaire informatiesystemen is dat informatiewetenschap.

Terzijde zij hier opgemerkt dat ik ook niet verwacht dat het bouwen van informatiesystemen in de toekomst als verlengstuk van een niet-IT discipline zal geschieden. Daarvoor is de vereiste van interdisciplinariteit als wetenschappelijke randvoorwaarde en als wijze van aanpak te strikt.

Het gebruik van IT is uit de bedrijfsvoering van vele ondernemingen niet meer weg te denken. Vaak wordt aan het gebruik van IT de concurrentiepositie van een onderneming afgemeten. Men stelt dan vaak dat IT het competitieve vermogen van een organisatie verhoogt, en dat door IT nieuwe markten kunnen worden aangeboord. De laatste tijd worden ook andere geluiden gehoord, waarin vraagtekens worden gesteld bij het nut van investeringen in IT. Nu is enige reflexie altijd een goede zaak, maar gezien de huidige stand van IT-ontwikkelingen is hier toch sprake van een paradox. Wat is het geval? Door allerlei technische ontwikkelingen stijgt de prestatie per gulden van computers de laatste tijd zeer snel, sneller dan door de gebruiker nodig geacht wordt. Ook kostenposten als onderhoud van IT-apparatuur dalen sterk door de toegenomen bedrijfszekerheid; hetzelfde geldt voor bouwkundige voorzieningen. Hierdoor dalen de reële kosten van de computer als bedrijfsmiddel waar tot voor kort van voortdurende groei sprake was. Indien IT-investeringen concurrentievoordeel moeten brengen zouden hier mooie kansen moeten liggen om met minder kosten meer te doen. Toch wordt het door velen kennelijk niet zo ervaren. Wellicht kan deze paradox verklaard

worden uit de omstandigheid dat het gebruik van IT in een onderneming nog te vaak een IT-discipline-gebonden aangelegenheid is, waardoor andere bedrijfsonderdelen met andere disciplinaire kennis in huis onvoldoende aan bod komen.

Uit het voorgaande betoog kan worden afgeleid dat systeemkunde een sterke affiniteit heeft met informatiesystemen. Systeemkundige concepten kunnen met vrucht worden gebruikt bij het bouwen. Een voorbeeld hiervan vinden we bij de zogeheten Information Engineering methodiek (Martin en Leben, 1989) waarin veel systeemkundige ideeën terug te vinden zijn. Voorts begint het cyclisch ontwerpen van informatiesystemen steeds meer ingang te vinden. Hierbij realiseert men eerst een proefsysteem alvorens tot een uiteindelijk ontwerp over te gaan. De ervaring leert dat hierdoor de effectiviteit van automatiseringsprojecten ten zeerste wordt bevorderd.

De aanpak om onderzoek op het gebied van IT te vertalen in onderzoek op het gebied van informatiesystemen ligt ten grondslag aan een initiatief om te komen tot een voorwaardelijk gefinancierd onderzoekprogramma getiteld "informatiesystemen voor landbouw en milieu". Door het creëren van een platform waarop andere disciplines kunnen voortborduren, kan op geschikte wijze de kwaliteit bevorderd worden. Ik heb goede hoop dat met deze formule onderzoek op het gebied van informatietechnologie binnen onze universiteit kan worden geïntensiveerd. Daarnaast biedt de formule goede vooruitzichten op aansluiting bij onderzoek elders. Voor de systeemkunde liggen er interessante vragen bij thema's als: PDI (produkt data interchange)

voor voedselkwaliteitsketens; ontwikkelomgevingen voor model- en kennisgebaseerde systemen; organisatie en informatie; grondslagen voor informatiemodellen; automatisering in de melkveehouderij; strategische IT studies. In deze thema's is samenwerking voorzien met verschillende vakgroepen binnen de LUW, verschillende DLO instituten en externe partners als de Erasmus Universiteit en TNO. Delen van het onderzoek zijn of worden voorgedragen voor EG subsidie.

Gezien het maatschappelijke belang van de informatietechnologie wordt een grote hoeveelheid energie en creativiteit besteed aan het ontwikkelen van nieuwe wetenschappelijke inzichten en nieuwe apparatuur. Daardoor is eigenlijk niet zozeer de vraagstelling aan de orde wat systeemkunde voor informatiesystemen kan betekenen als wel het omgekeerde. Als we daarbij systeemkunde vervangen door toegepaste systeemkunde in de context van concrete methoden, technieken en hulpmiddelen, zal het duidelijk zijn dat vanuit de informatietechnologie veel mogelijkheden worden aangereikt.

Een voorbeeld hiervan zal ik nu geven. In het voorgaande is gesproken over decompositie als een van de centrale uitgangspunten van de systeemkunde. In een praktische situatie staan we voor de vraag hoe dit uit te voeren is. Bij complexe systemen, waarvan weinig bekend is -de categorie van soft systems- kan voor het beschrijven goed gebruik worden gemaakt van methoden die ontleend zijn aan de informatica. Hierbij wordt een systeem opgebouwd gedacht uit entiteiten, dat zijn goed te onderscheiden componenten. Deze entiteiten zijn met elkaar

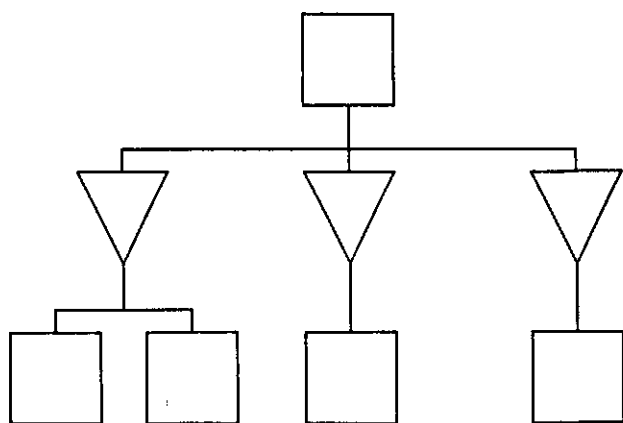
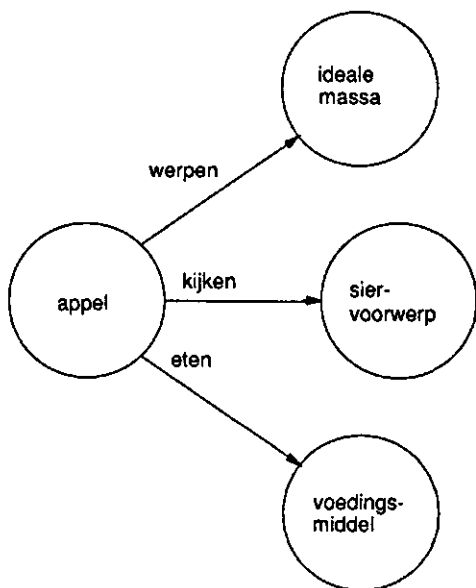


Fig. 2(a) Aspecten van de entiteit appel. (b) Entiteiten structuur.

verbonden door relaties, die aspecten van de entiteit weergeven (Elzas et al., 1989). Een voorbeeld van een entiteit is een appel. Het gebruik van een appel heeft verschillende aspecten (fig. 2a).

Zo kan men een appel gebruiken om mee te gooien (werpappel) waarbij vooral de kinematische aspecten van belang zijn. Men kan een appel ook in een fruitschaal plaatsen teneinde een stilleven te aquarelleren (sierappel) waarbij kleur en vorm van belang zijn. Of men kan een appel consumeren (handappel) waarbij het gaat om geur, smaak en textuur.

Een complex systeem bestaat uit vele entiteiten. Door nu in een diagram elke entiteit te verbinden met bijbehorende aspecten en deze vervolgens elk weer met een entiteit met bijbehorende aspecten (fig. 2b), ontstaat een structuur. Door tegelijk met de entiteit-aspect relaties een hiërarchische ordening aan te brengen, ontstaat een systeemkundige decompositie. De verkregen decompositie noemt men "multifaceted structured entity" (MSE) modellen.

Op grond van de MSE modellen is een methodiek ontwikkeld om complexe zachte systemen te beschrijven (Udink ten Cate, 1991) en te gebruiken voor analyse of voorspelling. Voorbeelden zijn beleidsgerichte systemen als duurzame tuinbouw, knelpuntenanalyse van een onderzoek op het gebied van high-tech in de landbouw, toekomstverkenning op het gebied van de invloed van IT op de distributie van snijbloemen. Bij deze aanpak wordt door de onderzoeker een voorlopige decompositie opgesteld, die vervolgens met deskundigen wordt doorgesproken.

Ervaring leert dat een decompositie-diagram een goed hulpmiddel is om met deskundigen te communiceren. Het op deze wijze verkregen model wordt gebruikt in een nadere analyse, bijvoorbeeld een strategische verkenning.

Het nut van deze aanpak is dat het mogelijk wordt vrij complexe systemen te beschrijven en die systemen goed bespreekbaar en overzichtelijk te houden. Hierdoor is een grote mate van detaillering mogelijk. Uiteraard wordt gebruik gemaakt van de computer om de MSE modellen op te slaan. De huidige stand van zaken van deze methodiek beperkt zich tot decompositie. De sturing kan nog niet expliciet gemaakt worden. Het model kan nu gebruikt worden voor het opslaan van kennis en voor het beantwoorden van eenvoudige "wat-als" vragen. Recente ontwikkeling is het opslaan van de MSE modellen in een computerprogramma waarmee redeneren t.a.v. de aspecten mogelijk is met technieken uit de kunstmatige intelligentie. Ook hier zien we dat technieken uit de hoek van de informatica met vrucht kunnen worden toegepast in de systeemkunde.

Onderzoeksvragen

Met het voortgaande ben ik aangekomen bij de vragen waarvoor de toegepaste systeemkunde zich gesteld ziet. In het volgende zullen enkele kort aangestipt worden. We beperken ons hier tot de categorie natuurlijke systemen.

Een systeem wordt beschreven met een bepaald doel. In de meeste gevallen is dat het volgen van het gedrag van het systeem in de tijd. Vaak wordt het systeem

extern aangestuurd en willen we de invloed van de externe sturing op het systeem leren kennen. Daarbij spelen uiteraard ook de interne eigenschappen van het systeem een rol. Dit hoeft uiteraard niet altijd zo te zijn. In het voorbeeld van de decompositie hebben we te maken met een categorie systemen waarbij het mogelijk is de factor tijd in de decompositie direct mee te nemen (de toekomstverkenning); bij andere systemen speelt de factor tijd in het geheel geen rol (de knelpuntenanalyse).

Ik zal in het volgende een voorbeeld geven van een systeem, waarvan de werking in de tijd wel van belang is. Dit type systeem is in principe vrij nauwkeurig te beschrijven aan de hand van wiskundige formules. De invloed van de externe sturing kan met een computer worden berekend. Dit narekenen of nabootsen noemen we "simulatie".

Nemen we als voorbeeld een vat dat met water is gevuld. Het water stroomt via een pijp in het vat, en onderin het vat is een kraan aangebracht (fig. 3a). Pijp, vat en kraan vormen de componenten van het systeem. Van belang is de hoogte van het waterniveau waarbij de instroomsnelheid de externe sturing weergeeft. Als verbindingswet tussen de componenten nemen we de massabalans. Dat wil zeggen, dat de verandering in het waterniveau per tijdseenheid wordt bepaald door het verschil in de hoeveelheden ingestroomd en uitgestroomd water per tijdseenheid. Daar de uitstroom afhankelijk is van het drukverschil over de kraan, en dit drukverschil afhankelijk van het waterniveau, kan een geschikte wiskundige uitdrukking worden gevonden. Karakteristieke eigenschappen van het vat als vorm, oppervlakte van

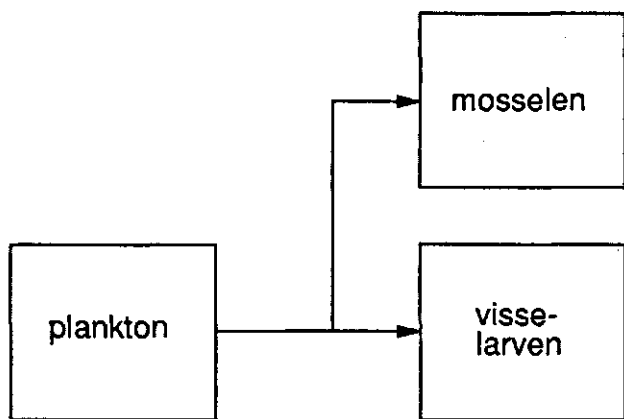
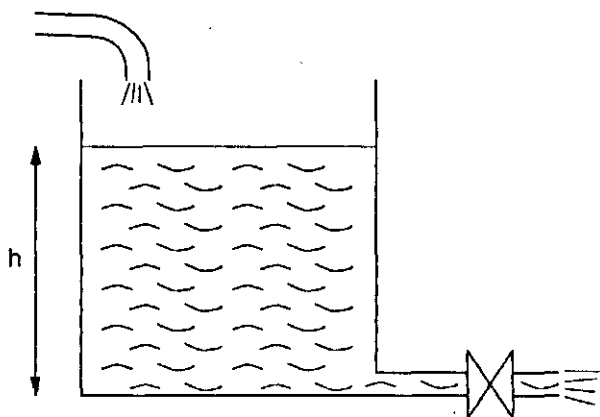


Fig. 3(a) Vat met water. (b) Deel van ecologisch systeem.

het waterniveau en van de kraan worden daarbij bekend verondersteld. Deze leveren de parameters van de wiskundige uitdrukking, in dit geval een gewone lineaire differentiaalvergelijking.

Indien het waterniveau niet te laag wordt, kan met de gevonden wiskundige relatie de werking van het systeem accuraat berekend worden. Dit kan met de hand geschieden of met behulp van computersimulatie. Indien experimenten met een echt vat worden uitgevoerd, zal blijken dat berekende en gemeten waarden zeer goed met elkaar overeenstemmen. Zo goed zelfs, dat we in veel gevallen met een computersimulatie kunnen volstaan; de computer heeft hier het experiment verdrongen. De beschrijving is volledig.

Anders is het met het ecologische systeem van fig. 3b. Hier wordt de hoeveelheid plankton die in een estuarium ontstaat (uitgedrukt in mg.koolstof per vierkante meter) door zowel mosselen als visselarven geconsumeerd. Doel is hier de hoeveelheid mosselen te berekenen, gegeven een aantal klimatologische condities die de groei van het plankton beïnvloeden. Nu is het probleem dat de gehanteerde verbindingswet, de voedselhoeveelheid tussen de verschillende populaties schaaldier en vis, slechts indirect op deze populaties van invloed is. Fenomenen als ziekte, specifieke condities in het estuarium, verdeling van het voedsel, of de aanwezigheid van andere vissoorten spelen ook een belangrijke rol. We spreken hier van een onvolledige beschrijving.

Nu is het uitvoeren van waarnemingen in een estuarium meestal moeilijk en kostbaar, zodat experimentele gegevens maar mondjesmaat

beschikbaar zijn. Omdat we toch graag het systeemgedrag willen weten, nemen we hier onze toevlucht tot computersimulatie. De betrouwbaarheid van de uitkomsten is in vergelijking met het vat water echter gering. Hierbij moet ik nog opmerken dat dit niet aan de wiskundige uitdrukkingen zelf is af te lezen. Deze zien er namelijk ongeveer hetzelfde uit, waardoor er een geheel ongefundeerd gevoel van betrouwbaarheid van de computeruitkomsten kan ontstaan. De wiskundige uitdrukking te zamen met een beschrijving van de mogelijke onzekerheden noemen we een "model". In de praktijk wordt helaas de beschrijving van de onzekerheden van het model meestal vergeten en beperkt men zich tot de wiskundige uitdrukkingen zelf.

Hoe nu met een onvolledige beschrijving om te gaan? Een methode die bij onze vakgroep wordt gebruikt is onzekerheidsanalyse. Hierbij vormt men zich een indruk van de onzekerheden in de parameters van het model en stelt daarvoor een kansverdeling op. Met een trekking uit de kansverdeling wordt een computersimulatie uitgevoerd. Vervolgens wordt weer een trekking gedaan en een simulatie uitgevoerd enzovoorts. Door dit vele duizenden keren te herhalen krijgen we een indruk van de gevolgen van de onzekerheid. Het resultaat daarbij is een gebied waarin de meest waarschijnlijke uitkomsten van de berekening liggen. Het zal duidelijk zijn dat voor enigszins uitgebreide systemen veel computerrekening wordt gevraagd. Overigens kan onzekerheidsanalyse ook met andere methoden uitgevoerd worden (Van Straten, 1991).

Een andere aanpak is om vooraf de gevoeligheid van

de berekening voor veranderingen in de parameters te bepalen. Dan kunnen we ons beperken tot die parameters, waarvoor het systeem een grote gevoeligheid bezit. Dit bepalen van de gevoeligheid kan ook met de computer uitgevoerd worden, zelfs is het mogelijk om de computer op dezelfde wijze te laten rekenen als we het uit het hoofd doen, namelijk met symbolen. Dit wordt computeralgebra genoemd.

Een interessante andere mogelijkheid is de hoeveelheid voedsel in het systeem te zien als randvoorwaarde, waarbij het systeem onderworpen is aan "randvoorwaardensturing". In dat geval geeft de computersimulatie de maximaal haalbare situatie weer. Ik zal straks op deze aanpak terugkomen.

Onlangs heeft de Wetenschappelijk Technische Raad van de Stichting SURF een zeer lezenswaardig rapport uitgebracht onder de titel "IT in perspectief, toepassing van de informatietechnologie in universiteit en hogeschool". In dit rapport wordt onder meer het belang van computersimulatie benadrukt, zijnde van grote invloed op de kwaliteit van onderzoek en onderwijs (Loeve, 1991). De gedachte achter deze uitspraak -waarbij overigens simulatie breder wordt opgevat dan ik dat doe- is dat goede hulpmiddelen niet alleen gemak brengen, maar ook de beantwoording van nieuwe onderzoeksvragen toelaten. Vooral de laatste jaren zijn er op het gebied van computersimulatie veel ontwikkelingen waar te nemen, zowel in programmatuur als in methodologisch opzicht. Voor de toegepaste systeemkunde is dat gunstig omdat daarmee concrete mogelijkheden worden geschapen om de systemen op diverse wijzen te modelleren, te analyseren en te simuleren.

In het voorgaande is een onderscheid gemaakt tussen harde en zachte systemen. Graag zou ik nog enige woorden willen wijden aan de laatste categorie. Daarbij zou ik willen teruggrijpen op het idee van de randvoorwaardensturing, nu in het licht van systemen van organisatorische aard.

Voor harde systemen is het begrip randvoorwaardensturing (enabling control) niet zo gebruikelijk. Er is echter wel een gebied waarin deze wijze van sturing veel wordt toegepast, en dat is bij het besturen van een organisatie. Een voorbeeld hiervan is het introduceren van een nieuwe architectuur van een computernetwerk binnen een organisatie. Bij zo'n netwerk heeft men de keuze uit verschillende functionaliteiten. Het vervelende voor het maken van een goede keuze is nu dat de functionaliteiten -althans op papier- vaak met alternatieve technieken gerealiseerd kunnen worden. Tussen deskundigen is dit vaak aanleiding tot interessante discussies. Alleen de inspanning benodigd om een en ander goed te laten verlopen verschilt, zeker wanneer op grote schaal van de functionaliteiten gebruik wordt gemaakt. Door nu de inspanning voor een bepaalde functionaliteit in een diagram uit te zetten tegen het beschikbaar stellen van de verschillende typen technische oplossingen in mate van verfijning en kostenniveau's, kan men inzicht krijgen in wat een verstandige keuze is en wat niet (fig. 4). Bovendien kunnen op deze manier managementdoelstellingen geformuleerd worden, in termen van effectief en efficiënt te realiseren doelen. Het diagram wordt een support-services-stages diagram genoemd. We kunnen het ontwikkelen aan de hand van het MSE model dat eerder werd behandeld.

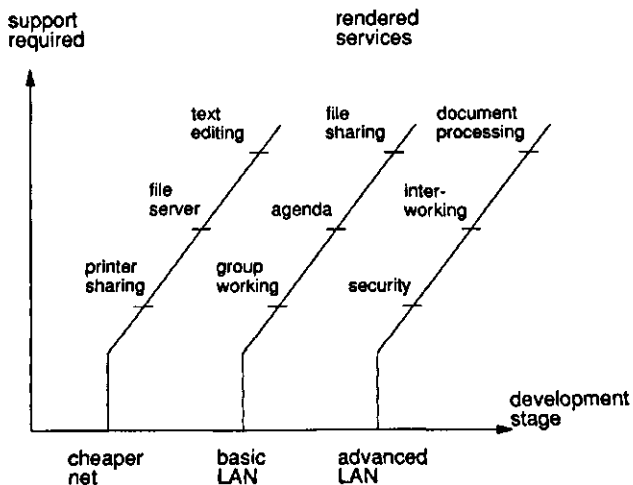


Fig. 4. Support-services-stages diagram van een computernetwerk.

Misschien is goed hierbij nog op te merken dat de diensten (services) niet direct de functionaliteit voor eindgebruikers representeren. Dit is een bewuste keuze, ingegeven door de omstandigheid dat vanuit het diagram nog een kosten-baten analyse moet worden gemaakt, gericht op de normen van de organisatie. De uiteindelijke afweging in termen van gebruikers wel en wee kan op deze wijze eenvoudiger worden gemaakt.

Hierbij ben ik aan het einde gekomen van een verkenning van de toegepaste systeemkunde als interdiscipline. Tot slot zou ik nog enige woorden willen wijden aan het onderwijs.

Onderwijs

Dames en heren,

Van vele zijden, niet in het minst vanaf deze plaats, wordt er regelmatig en met nadruk op gewezen dat de primaire taak van de universiteit het verzorgen van onderwijs is. Onderzoek komt op de tweede plaats en behoort het onderwijs te ondersteunen. Deze nadruk op onderwijs steun ik van ganser harte. De taak van een universiteit is immers het opleiden van studenten voor een maatschappelijke functie en het lijkt juist daarbij in de eerste plaats aan onderwijs en academische vorming te denken. Dat hiervoor goed onderzoek een noodzakelijke randvoorwaarde is, bij academische vorming nog meer dan bij onderwijs-sec lijkt mij evenzeer een duidelijke zaak. Ook bij het HBO lijkt men de voordelen van een koppeling tussen onderwijs en onderzoek goed te begrijpen.

Uitgaande van de primaat van het onderwijs zou ik een enkele kanttekening willen plaatsen. Een wijd verbreid misverstand bij het verzorgen van onderwijs is dat er een relatie zou bestaan tussen de moeite die wordt besteed aan het onderwijzen en de leerprestaties van de student. Dit fenomeen wordt ook wel de "teaching-learning paradox" genoemd en berust op veel empirisch materiaal ten aanzien van verschillende onderwijsvormen en -typen. Uiteraard behoort wel een minimum aan onderwijsinspanning te worden geleverd, maar al snel lijkt de wet van de verminderde meeropbrengst op te treden. In dit verband wordt dan ook wel geconstateerd dat sommige onderwijsvormen voor sommige studenten beter zijn, maar voor anderen weer niet zodat voor de gehele studentenpopulatie de onderwijsvormen minder cruciaal zijn dan vaak wordt aangenomen. Op grond hiervan wordt veelal pluriformiteit van onderwijsvormen gepropageerd als didactische formule.

Aan het voorgaande zou ik willen toevoegen dat dit in combinatie moet gaan met een goed meet- en evaluatiesysteem (samenhangend en goed geordend) waarbij knelpunten in het onderwijs inzichtelijk worden gemaakt. Onderwijsevaluatie is dan ook een goede zaak, temeer omdat voor knelpunten vaak het spiegelbeeld van de wet van de verminderde meeropbrengst geldt: dat is dat met weinig inspanning een duidelijke verbetering kan worden bereikt. Activiteiten die binnen deze universiteit reeds jarenlang worden gepleegd, zoals het didactisch bijscholen van jonge universitaire docenten of het verbeteren van knelpuntvakken, passen goed in dit kader.

Een goed verstaander bespeurt hier wellicht een aanpak die in de algemene discussie vaak als ad-hoc en/of fragmentarisch wordt bestempeld. Daar ben ik het geheel mee eens, alleen hebben deze begrippen voor mij in dit verband geen negatieve klank. In het voorgaande is enige aandacht besteed aan het concept van de randvoorwaardensturing bij organisatorische systemen. Welnu, ook voor onderwijssystemen is randvoorwaardelijke sturing goed mogelijk, mits het uiteraard ook randvoorwaardensturing is, dat wil zeggen gekoppeld aan managementdoelstellingen en passend in een "support-services-stages" optiek. Ad-hoc en fragmentarisch betekenen in dat geval slagvaardig en marktgericht.

Een gebied dat minder aandacht krijgt dan het verdient is in dit verband de vakdidactiek, dat is de wijze waarop leerstof wordt geformuleerd. Omdat het geen eigenlijke onderwijsvorm is valt het in de discussie over onderwijsvernieuwing enigszins buiten boord. Het zou kunnen, dat dit komt omdat de evaluatiemethoden zich vooral richten op de combinatie docent en vak, terwijl vakdidactiek zich meer afspeelt tussen docent en vak en zodoende minder aandacht krijgt. Toch ligt er ook hier een taak voor de universiteit.

Agrosysteemkunde

Sinds enige jaren is het onderwijsaanbod aan de Landbouwuniversiteit een nieuwe studierichting rijker, en wel de studierichting Agrosysteemkunde. Het hoeft geen betoeg, dat vele van de door mij genoemde overwegingen ten aanzien van het vakgebied systeemkunde aan de wieg hebben gestaan van deze nieuwe studierichting.

Echter, de stap van een vakgebied naar een studierichting is niet altijd een voor de hand liggende. Waar de relevantie van de systeemkunde voor de Wageningse wetenschapsbeoefening een geaccepteerde zaak is, moeten er bij een nieuwe studierichting talrijke andere vragen worden beantwoord.

In mijn betoog heb ik een sterke band gelegd tussen systeemkunde en informatietechnologie. Deels omdat systeemkunde veel gebruik maakt van hulpmiddelen die door de informatietechnologie worden aangereikt, deels omdat systeemkunde zich ook richt op het bouwen van systemen in algemene zin en een informatiesysteem daar een specifiek voorbeeld van is, en deels omdat de gebruikte analysemethoden ook in de toepassingsgerichte informatica gebruikt worden. Daarnaast richten de doelstellingen van de "soft systems" zich op het besturen van organisaties waarbij sterke parallellen bestaan met een vakgebied als bedrijfskunde. Ook voor een band tussen systeemkunde en bedrijfskunde bestaan dus goede argumenten. Ik ga nu uit van de veronderstelling dat wat voor de interdiscipline systeemkunde geldt, ook geldt voor de studierichting Agrosysteemkunde, zodat tussen de studierichting en de informatietechnologie en de bedrijfskunde een affiniteit kan worden vastgesteld. Voor de volledigheid moet ik nog noemen dat er in een van de deelrichtingen van de studierichting Agrosysteemkunde veel aandacht wordt besteed aan de biometrie, een specialisatie op het gebied van de statistiek. Ook tussen de Agrosysteemkunde en de statistiek bestaat dus een band.

Richten wij ons nu op het maatschappelijk draagvlak van de Agrosysteemkunde, in wezen de markt van de

nieuwe studierichting. Hiervoor is het aardig eens te kijken naar de studiekringen van het Koninklijk Genootschap voor Landbouwwetenschap (het KGvL) waarvan veel landbouwkundigen lid zijn. Op het gebied van de informatietechnologie bestaat er binnen het KGvL de zeer bloeiende "Vereniging voor Informatici werkzaam in de Agrarische Sector (VIAS)" met 525 leden (volgens het KGvL jaarverslag 1990). Er is een "Kring Bedrijfskunde Wageningen" met 280 leden en een "Studiekring Statistische Techniek" met 31 leden. Deze drie studiekringen tellen samen 836 leden, en dat is 25% van het totaal aantal leden van alle KGvL studiekringen. Daarbij kent Wageningen geen informatiekundige, bedrijfskundige of statistische studierichting, zodat hier gesproken kan worden van "spontaan" door de maatschappelijke behoefte ontsane studiekringen. Het aldus bepaalde relatieve draagvlak is zo groot dat men zich de vraag zou kunnen stellen waarom vanuit de LUW niet eerder tot een studierichting is besloten om deze markt te bedienen. Dit valt te verklaren door de relatieve jeugd van de studiekringen voor Bedrijfskunde (opgericht 1978) en de VIAS (opgericht 1986). De studierichting Agrosysteemkunde dateert van 1988. Conclusie is dat het afnamereservoir of de markt voor de studierichting groot en jong is. Veel inspanning zal moeten worden gegeven om van een "wildcat" (een kansrijk produkt) een "star" (groeimaker) te maken - om in marketingtermen te spreken.

De studierichting Agrosysteemkunde is in ons land vrij uniek -ook zonder het voorvoegsel "agro". Aan de TU Delft is onlangs het initiatief genomen tot het instellen van een studierichting Technische Bestuurkunde met als specialisaties: transport,

infrastructuur en logistiek; waterbeheer en milieu; en telecommunicatie en informatiekunde. Qua opzet lijkt deze studie zeer sterk op agrosysteemkunde.

Voornaamste verschil is dat de disciplineclusters expliciet in de studierichting zijn opgenomen in tegenstelling tot de Wageningse opleiding, die de nadruk legt op interdisciplinariteit.

De relatieve uniciteit van agrosysteemkunde binnen Nederland geldt overigens niet voor het buitenland. Met name binnen het angelsaksische taalgebied bestaan vele opleidingen op het gebied van Systems Sciences of Systems Engineering. Ons land is in dit opzicht een laatbloeier. Maar zei niet iemand dat laatbloeiers de mooiste vruchten geven?

Dames en heren,

In het voorgaande heb ik met U een rondwandeling gemaakt in het berglandschap dat systeemkunde heet. De wortels van de systeemkunde als interdiscipline zijn -overigens niet diepgravend- aan het licht gebracht. Op de bergtoppen van de algemene systeemtheorie was het helaas vandaag wat nevelig en men zegt dat zulks zo blijft. We hebben bij de toepassingen echter gezien dat er vele paswegen zijn om ondanks de nevel behouden aan de andere kant van de bergen te komen. Hoe te lopen is daarbij een kwestie van creativiteit, doorzettingsvermogen, en de bereidheid om ongebaande paden in te slaan.

Mijnheer de Rector Magnificus, leden van het College van Bestuur,

Toegepaste systeemkunde is nieuw voor de

Landbouwuniversiteit. Agrosysteemkunde als studierichting is dat ook. Beide dragen een andere benadering in zich van de bestaande disciplinaire probleemvelden van de landbouw- en milieuwetenschappen. Wetenschappelijk is dit interessant, bestuurlijk is dit niet zonder risico. Gaarne dank ik U voor het in mij gestelde vertrouwen om deze uitdaging te adresseren.

Hooggeleerde Van Dixhoorn, beste Jan,

Als pas benoemd medewerker bij de sectie meetregel- en systeemtechniek van de toenmalige vakgroep Natuur- en weerkunde herinner ik mij je verzoek om de warmte-overdracht van een praktikum-model van een glazen kas te bepalen. Ik was toen blij dat ik enige tijd op de HTS had doorgebracht, want zoiets leer je niet op de universiteit. Hiermee heb ik de eerste schreden gezet op het gebied van de systeemleer, waarvoor ik door jouw toedoen een sterke belangstelling heb ontwikkeld. Het zal je deugd doen dat de theorie van de Bondgrafen de theoretische basis vormt van nieuw onderricht in de systeemkunde. Graag dank ik je voor je inspiratie en voor je aanmoediging.

Hooggeleerde Elzas, beste Maurice,

In ieders loopbaan zijn er van die momenten die - hoewel zich voordoend als voorbijgaand toeval- de toekomst in hoge mate bepalen. In ons geval was dat het oprichten van de onderwijswerkgroep "Informatica en systeemtechniek" en je aanmoediging enige tijd bij het International Institute of Systems Analysis (IIASA) te Wenen door te brengen. Voor mij heeft dat verblijf

een blijvende belangstelling gewekt voor de systeemkunde in relatie met informatica. Niet in het minst omdat ik door een kijkje in die keuken deelgenoot ben geworden van de interessante methodologische problemen die het vak systeemkunde omgeven. Daarnaast waardeer ik je grote creativiteit bij het ontwikkelen van nieuwe inzichten.

Hooggeleerde Beulens, beste Adrie,

Er zijn van die contacten waarbij het al na zeer korte tijd duidelijk is dat de betrokkenen op dezelfde golflengte zitten. Toch hoop ik je nog eens te overtuigen van de voordelen van een decompositie-model voor strategische planning boven jouw variant van de planningpiramide. Ik verheug me op de discussie.

Leden van de vakgroep Informatica,

Na een periode buiten de muren van de universiteit te hebben doorgebracht trof ik na terugkeer niet een enkele vakgroep aan, doch zowaar een cluster van vakgroepen. Ik heb kunnen constateren dat deze clustervorming beslist meer is dan een neutrale ordening. Voor onze vakgroep schept dit nieuwe mogelijkheden. Na een periode van zware onderwijsbelasting doet zich thans de mogelijkheid voor om, geruggesteund door het strategische plan van de LUW, onderzoek en onderwijs ingrijpend te herpositioneren. Met genoegen heb ik in de vakgroep het elan kunnen constateren om deze uitdaging op te pakken.

*Geachte collega's van de Dienst Landbouwkundig
Onderzoek,*

Het combineren van twee banen valt niet altijd mee. Ik prijs mij gelukkig in een situatie te verkeren waarin tussen beide functies van synergie sprake is. Graag maak ik van deze gelegenheid gebruik om U te danken voor de permanente inspiratie.

Dames en heren studenten,

Onderwijs is een wisselwerking tussen studenten en docenten. Ik heb het voorrecht met velen van u zo'n wisselwerking te hebben. Daarnaast beleef ik veel vreugde aan de uitingen van uw creativiteit. Bij de studenten van de studierichting Agrosysteemkunde waardeer ik het enthousiasme voor de studie.

Lieve Ellen, Floris en Jasper,

Aan het einde van deze rede zou ik de gelegenheid willen benutten jullie te danken voor jullie niet aflatende steun en jullie geduld met een soms wat afwezige echtgenoot en vader.

Mijnheer de Rector Magnificus, dames en heren,

Ik heb gezegd.

Literatuur

- Bemelmans, Th.M.A. (1984). Bestuurlijke informatiesystemen en automatisering. Stenfert Kroese, Leiden.
- Bernal, J.D. (1954). Science in history. Watts, London U.K.
- Checkland, P. (1981). Systems thinking, systems practice. John Wiley, Chichester, UK.
- Elzas, M.S., Zeigler, B.P. en Oren, T.I. (1989). Modelling and simulation methodology. North Holland, Amsterdam.
- Forgionne, G.A. (1991). Providing complete and integrated information science education. Systems Research, Vol. 8, No. 1, pp. 59-80.
- Hordijk, L. (1991). Milieu gemodelleerd: de rol van de systeemanalyse in de milieukunde. Inaugurele rede, Landbouwniversiteit Wageningen.
- Koningsveld, H. (1976). Het verschijnsel wetenschap, een inleiding tot de wetenschapsfilosofie. Boom, Amsterdam.
- Loeve, W. (1991). Simulatie met behulp van computers. In: W.G. Buitelaar (ed.). IT in perspectief, toepassingen van informatietechnologie in universiteit en hogeschool. SURF, Utrecht. Deel 2, pp. 181-195.
- Martin, J., en Leben, J. (1989). Strategic data-planning methodologies. Prentice-Hall, Englewood Cliffs NJ.
- Straten, G. van (1991). Heer en meester? Systeemtechnologie in landbouw en milieu. Inaugurele rede, Landbouwniversiteit, Wageningen.

- Udink ten Cate, A.J. (1991). Information technology and industrial trends in agriculture. In: Proc. IFAC/ISHS Workshop on "Mathematical and Control Applications in Agriculture and Horticulture". Pergamon, Oxford U.K.**
- Wymore, A.W. (1976). Systems engineering methodology for interdisciplinary teams. John Wiley, New York.**