

SYSTEEMTECHNIEK IN 'T GROEN

REDE

uitgesproken bij de aanvaarding van
het ambt van buitengewoon lector
in de Meet-, Regel- en Systeemtechniek
aan de Landbouwhogeschool te Wageningen
op 17 april 1975

door

Ir. J.J. van Dixhoorn

Systeemtechniek

De engelse filosoof Ryle (1) vertelt het verhaal van een bezoeker aan een universiteit die de laboratoria, de collegezalen, de bibliotheek, de studentenkamers en de rest van het complex te zien had gekregen. Maar na afloop van de rondleiding scheen hij hoogstverbaasd te zijn en vroeg zijn gids: "U hebt me laten zien waar de proeven worden gedaan, waar de studenten wonen en studeren, waar de rekeningen betaald worden en al die dingen.

Maar waar is de universiteit?"

De gids legt hem uit, dat de universiteit niet nog weer een ander instituut is, maar eenvoudig het gecoördineerd functioneren van alles wat hij gezien heeft. De universiteit behoort niet tot dezelfde categorie als de samenstellende delen.

Het onderwerp van deze voordracht, Systeemtechniek, speelt een soortgelijke rol als de universiteit in Ryle's verhaal. Ik zou willen voorkomen, dat iemand straks tegen U zegt: "Kijk, ze doen aan meten, regelen en signaalverwerking, aan modelbouw, simulatie en identificatie, maar hoe zit het met systeemtechniek, doen ze daar wat aan?"

Bij U is dan wellicht de associatie op komen dagen, dat systeemtechniek nu juist het samenhangend toepassen van modelbouw, simulatie, meten en regelen is. Zo bedoelen wij het ook. Maar terwijl U op het punt staat Uw antwoord te formuleren zegt een derde ineens: "O, die systeemtechniek heb ik wel begrepen; dat is omdat het allemaal met computers gaat!"

Maar zo is het dan niet.

Een instelling is immers evenmin alleen dan een universiteit of hogeschool als ze in één gebouwencomplex zit. Gelukkig niet, want dan zou het in Wageningen slecht gesteld zijn. Evenmin is het gebruiken van een computer een voorwaarde om systeemtechniek te bedrijven. Gebouwen of computers zijn slechts middelen. Wel handige, dat geef ik toe.

Ik stel U voor om de begrippen nu maar liever inhoud te geven door een rondwandeling langs onze activiteiten. Dan

kan ik tot slot zeggen: dit geheel noemen wij nu systeem-techniek.

Bij deze rondgang wil ik bij een paar onderwerpen stilstaan:

- bij het meten in de Flevopolder; daarna
- bij de leden van de groep, die zich vandaag aan U voorstelt; voorts
- bij stochastische signaalverwerking en tenslotte
- bij onze kijk op dynamische modellen.

Natuur- en Weerkunde

Het werk dat wij in de Flevopolder doen komt direct voort uit de hoofdlijn van het onderzoek van de vakgroep Natuur- en Weerkunde. Daarom wil ik U daar eerst iets over vertellen.

Omgevingsnatuurkunde, zo definieerde prof. Van Wijk destijds het zwaartepunt van het macrofysisch onderzoek aan de Landbouwhogeschool.

De nieuwe vakgroep, onder voorzitterschap van prof. Schenk, die Van Wijk in 1970 opvolgde, heeft dit thema nog eens bevestigd.

Omgeving te verstaan als de omgeving van het vee en van het gewas, dat zijn dus in de ruimste zin al die samenhangende factoren, die op deze levende have invloed uitoefenen.

Er wordt bijvoorbeeld gewerkt aan het *warmtegeleidingsvermogen* van de bodem in geheel en half bevroren toestand, aan de invloed van *mulsen* (bedekkingslagen) op microklimaat en groeigedrag van mais, terwijl een lid van de vakgroep bijdraagt aan de werkgroep voor *remote sensing*, d.w.z. het meten van de oppervlakte temperatuur van de bodem met een, soms in een vliegtuig gemonteerde, temperatuur-gevoelige camera. In concreto is bij dit project de vraagstelling hoe de extreem grote nachtvorstschaden in het gebied tussen Ede en Schaarsbergen verklaard kunnen worden.

Een groot deel van de aandacht van de vakgroep is gewijd aan de *weerkunde*, te verstaan in de zin van landbouw-

klimatologie. Het gaat daarbij niet om weersvoorspellingen maar om de meteorologische factoren bij de gewasgroei en bij de beheersing van ziekten. Twee voorbeelden, de stomataal weerstand en de energiebalans, bezien we iets nader.

Meting van de stomataalweerstand

De stroming van vocht in de plant en de uitwisseling van vocht met de omgeving bepalen in hoge mate de groei en de opbrengst. Men kan deze groei theoretisch verklaren. Door de belangrijkste invloeden in formules vast te leggen en daarbij de in de natuur optredende invloedsfactoren of parameters te gebruiken kan men het gehele verloop van het leven van een plant of plantengemeenschap op een digitale computer laten afspelen. We spreken dan tegenwoordig van een model, in dit geval van de gewasgroei. Omdat het woord model in verschillende betekenissen voorkomt zou het nauwkeuriger zijn om te spreken over een realisatie model van een theorie over de gewasgroei (2). De vakgroep Theoretische Teeltkunde met prof. C.T. de Wit heeft internationale vermaardheid door hun computersimulaties van dergelijke gewasgroeimodellen. Wat bleek daar nu o.a. bij: het vochttransport door de huidmondjes, de z.g. *stomataalweerstand*, is een belangrijke doch empirisch slecht bekende factor.

De vraag aan Natuur- en Weerkunde om deze factor te onderzoeken heeft dit jaar geresulteerd in de promotie van C.J. Stigter, die met zijn werk tevens een LH-prijs 1974 verkreeg.

Hij gebruikte een meetcel met een inhoud van enkele cm^3 , die kortstondig op een maisblad geklemd wordt. Het vocht dat door de bladmondjes wordt uitgedemd veroorzaakt een geleidelijke verandering van de elektrische weerstand van de meetcel. Birnie en Lammers ontwikkelden een snelle en nauwkeurige elektronische tel- en rekenschakeling, waaruit men de gezochte weerstand van de bladmondjes kon bepalen (3).

Flevopolder: energiebalansmetingen

Het tweede voorbeeld van microklimatologisch onderzoek, waar de meet-, regel- en systeemtechnici aan meewerken,

is een vergelijkend onderzoek van *energiebalansmetingen* boven een gewas.

Ik blijf bij dit voorbeeld iets langer stilstaan omdat het een goed voorbeeld is van de ontwikkelingen in een deel van ons vakgebied.

Als we in de techniek over een balans spreken, dan bedoelen we in boekhoudkundige zin een winst- en verliesrekening. We kijken bij de energiebalans nl. waar de zonnearmte blijft. Er wordt daartoe gemeten hoeveel energie er gebruikt wordt om de bodem en de lucht op te warmen, hoeveel er wordt teruggekaatst naar de hemel en hoeveel er gebruikt wordt om vocht te verdampen. Als er dan gemeten is hoeveel energie de zon levert en deze verliesposten worden daarvan afgetrokken, dan blijft de energie over, die in het bladgroen wordt omgezet in zetmeel.

Er is een boeiend stuk teamwork nodig om dergelijk onderzoek tot een goed resultaat te brengen. Onze groep is er bijzonder gelukkig mee, dat zij daarbij nodig is en een eigen bijdrage kan leveren aan zinvol multidisciplinair werk.

Het begint al in februari, als de eerste besprekingen gevoerd worden met de beheerder van de proefboerderij in de Flevopolder over het soort gewas en over de grootte en de ligging van de percelen, waarin gemeten zal worden.

Omdat er straks in augustus vergelijkende metingen van de horizontale en verticale windsnelheden, van temperaturen en relatieve vochtigheden nodig zijn op een aantal hoogtes en plaatsen boven het gewas, worden er al in april kabels naar de meetmasten gelegd. Dat moet vóór de uitzaaï gebeuren, evengoed als ze er in september, vóór het oogsten, weer uit moeten. Oogstmachines zijn geen liefhebbers van kabels en de afkeer is wederzijds. Men komt trouwens bij zulk elektronisch veldwerk de vreemdste liefhebbers tegen, zoals muizen, die dol lijken te zijn op bits en de computerbedrading dreigen op te eten.

In juni gaan de meetcabine en een woonwagen naar Flevo, kort daarna gevolgd door de datalogger, de verplaatsbare minicomputer van het rekencentrum en de nodige elektronische hulpapparatuur, zoals registrerende meetinstrumenten.

Van ouds: registreren en integreren

Hoe wordt de meetapparatuur nu gebruikt?

Laat ik beginnen met vast te stellen, dat wat we meten geen constante, maar stochastische signalen zijn. Dat wil zeggen, dat de metingen voortdurend en op toevallige wijze veranderen en nooit in een evenwichtsstand komen. De wind waait onregelmatig, er komen op willekeurige ogenblikken lichte nevels of wolken voor de zon en bijgevolg schommelen de temperatuur en vochtigheid langzaam doch onregelmatig op en neer. Meestal slechts een paar tiende graad Celsius, maar dergelijke temperatuurverschillen kunnen op de energiebalans vele procenten verschil uitmaken.

De traditionele manier van meten is om elk meetpunt aan te sluiten op een registrerend instrument, waarin een papierstrook langzaam voortbeweegt. We zouden in de Flevo dan 58 papierstroken verkrijgen, die elk een onregelmatig heen en weer schietende lijn te zien zouden geven. Thuis kan men dan b.v. het gemiddelde van zo'n lijn bepalen, door met een planimeter in de hand de lijn precies te volgen. Op het wijzerplaatje van de planimeter wordt een getal afgelezen, dat overeenkomt met het oppervlak onder de lijn, waaruit het gemiddelde dan direct bepaald kan worden. Eigenlijk is dit een mechanische verwerking van meetsignalen. De planimeter is een *mechanische integrator*. Het is nl. een apparaat, dat met een kogeltje en een schijfje de wiskundige bewerking "integreren" uitvoert.

Het was in ons laboratorium een flinke vooruitgang toen er in 1970 een *witleestafel* voor diagramstroken gebouwd was. Ook daarbij moest de lijn op de papierstrook met de hand gevolgd worden, maar de stand van de volgarm werd direct omgezet in een elektrisch signaal, dat een ponsband maakte, die in het rekencentrum kon worden verwerkt.

Dataloggen en thuisrekenen

Bij de metingen in Flevo wordt er gelukkig al sinds vele jaren met een modernere manier van meten gewerkt, nl. met

een datalogger. In plaats van 58 beschreven papierstroken levert zo'n datalogger één smalle papierstrook af met gaatjes, die de gemeten getallen voorstellen: een ponsband.

De dertig meetpunten worden snel om de beurt aangesloten op het centrale deel van de datalogger. Daar wordt het gemeten signaal omgezet in een code, die in de band geponst wordt. Het zou ook op een magneetbandcassette kunnen. Elke 0,2 sec. is er een volgend meetpunt aan de beurt, zodat na 12 sec. iedereen zijn zegje heeft gedaan en het spel opnieuw begint.

Met een gestaag, motorboot-achtig getjoek-tjoek worden de meetresultaten in de informatiedrager gestopt, zodat iedereen na een meetserie van een half uur even op adem moet komen. Want je kunt er in de Flevo nog niet helemaal bij weglopen: de ponsband is na 30 minuten vol en moet vernieuwd worden, maar bovenal moeten er toch nog op de conventionele wijze controlemetingen gedaan worden om er een directe indruk van te krijgen of het allemaal wel zinvol is wat er gemeten wordt.

In ons geval duurt één experiment een half uur en zijn er tienduizend natte en droge boltemperaturen en windsnelheden gemeten. Het lijkt heel wat, maar vergeleken met een experiment in de kernfysica stelt het niet zo veel voor: bij een deeltjesversneller worden in de orde van een miljoen waarnemingen per half uur op magneetband geschreven en gaat men na een dag met 10 rollen industriële magneetband met 50 miljoen getallen naar het rekencentrum.

Wij stappen met 10 rollen ponsband naar het rekencentrum, waar de centrale computer de banden inleest en de gewenste bewerkingen op de waarnemingen gaat uitvoeren, b.v. middelen.

Een rekenmachine kan echter met hetzelfde gemak nog veel meer met zulke getallen.

Minicomputer rekt in het veld

Eén van de interessantste dingen, die men met onze waarnemingen kan doen is men in 1967 in het CSIRO in Australië op het spoor gekomen (4) en leidt tot een aanpak, die helemaal bij de systeemtechniek thuishoort, nl. een

analyse van het *correlatiespectrum*.

Wat is nl. het geval?

Voor de energiebalans is men geïnteresseerd in de langzame veranderingen van het verticale energietransport, waar helaas nog geen ideale meetmethode voor bestaat.

De atmosfeer vertoont echter niet alleen langzame bewegingen. Als we naar het gedrag van opstijgende rook kijken dan blijken er langzame en snelle wervelende bewegingen op te treden. Er is zowel een voortdurende menging van de lucht maar ook een stijgen of dalen van warme lucht-bellen. Men spreekt over mechanische en thermische turbulentie. Als men met snelle opnemers werkt, dan vindt men die snelle fluctuaties ook terug in temperatuur en windsnelheid. Bij de traditionele methode zorgt men, door het gemiddelde te bepalen, die snelle veranderingen kwijt te raken. Eigenlijk gebruikt men dan alleen het statische aspect van de waarnemingen. Bij de correlatiemethode kijkt men echter juist naar de snelle fluctuaties, brengt die voortdurend met elkaar in verband en middelt pas achteraf.

Deze methode, die het dynamische aspect van de metingen gebruikt, vereist echter dat er ter plaatse gerekend wordt, gelijktijdig met die snelle metingen. Daarom gaat er sinds deze zomer een minicomputer mee naar de Flevo-polder. Net als de datalogger sluit hij zichzelf en om de beurt aan op alle meetpunten. Hij stopt die getallen echter niet in een ponsband maar gaat er direct mee rekenen en levert op de schrijfmachine de uitkomsten, die anders maanden later verkregen werden.

Nu kunnen onze meteo-onderzoekers foute metingen direct constateren, snel zien of de atmosfeer stabiel genoeg is én een geheel nieuwe, veelbelovende, methode toepassen.

De leden van de groep

Nu U een eerste indruk hebt gekregen van onze activiteiten lijkt het mij een goed ogenblik om U de individuele leden van onze groep voor te stellen.

ir. J. Birnie (39), elektronicus pur sang, gespecialiseerd in precisie temperatuurmetingen en logische schakelingen. Zweefvlieger.

- ing. W. Driessen (28), opleiding elektronica en meet- en regeltechniek, behartigt de programmering van onze minicomputer en verzorgt de verbinding tussen meetinstrumenten en computer, het z.g. interface. Huisvader.
- P. Jansen (45), elektronicus, beheert de elektronische werkplaats voor de nieuwbouw en het onderhoud van de elektronische apparatuur, die ter ondersteuning van het onderzoek gebruikt wordt. Verwoed knutselaar.
- ing. B. Lammers (40), elektrotechnicus, tot voor kort actief lid van het faculteitsbestuur, organiseert de instrumentatie rond het lopend promotie-onderzoek. Hij heeft het bouwvak als hobby.
- ir. J.G. Lengkeek (30), elektronicus en regeltechnicus, legt zich toe op data acquisitie en op de computerverwerking van stochastische signalen. Zeiler.
- ir. A.J. Udink ten Cate (28), elektrotechnicus met afstudeerrichting regeltechniek, legt zich o.a. toe op het identificatieprobleem. Hobby: de geschiedenis van de late Middeleeuwen.
- J. van Zeeland (24), staat op het punt zijn onderwijsakte wis- en natuurkunde N I door zelfstudie te behalen, is als technicus verantwoordelijk voor het meet- en regellaboratorium. Zweefvlieger.
- ir. J.J. van Dixhoorn (50), elektrotechnicus, werkte 12 jaar aan fabrieksbouw en automatisering in de beetwortelsuikerindustrie en later bij het ontwerp van chemische industrieën, legt zich sinds 1966 bij de vakgroep Regeltechniek van de T.H. Twente toe op modelbouw en digitale simulatie en doet dat nu ook 2 dagen in de week aan de LH. Hobby: portretschilderen.

Onderwijs in meettechniek en elektronica

U hebt nu een indruk van de groep en van de meteo-activiteiten in de Flevopolder, die voor ons heel wat werk meebrengt.

Nu zijn wij bij Natuur- en Weerkunde bepaald niet de enigen in Wageningen, die aan onderzoek doen waar grote hoeveelheden gelijktijdige metingen aan te pas komen, zodat de resultaten tenslotte met een computer verwerkt moeten worden. Om, voor de buitenstaanders, nog twee voorbeelden te noemen:

de *fytopathologen* onderzoeken de verspreiding van schimmels en gebruiken voor hun veld-waarnemingen een datalogger, die temperaturen, dauwpunten, bladvochtigheid enz. vastlegt in een ponsband.

de *landbouwtechnici* doen onderzoek aan een in bedrijf zijnde maaidorser, waarbij de metingen via een draadloze verbinding naar een meer-kanaals bandrecorder gaan.

Als onze groep dus bepaald niet de enige is die elektronische methodes van gegevensverwerving en -verwerking gebruikt, dan rijst de vraag, waarom daar nu in deze voordracht zo veel over gezegd wordt. Toch lijken er wel enkele goede redenen te zijn.

Elektronische instrumentatie en elektronische gegevensverwerking is namelijk toevallig ons vakgebied. U hebt het bij de karakterisering van de medewerkers al gehoord. Dat betekent natuurlijk vooral, dat hier een stuk van onze onderwijsactiviteit ligt.

Zo geven wij een *college metingen*, waarbij we de landbouwkundig student vooral willen leren de meetapparaten als componenten met één bepaalde functie te zien, die de gebruiker kan combineren.

Daarnaast geven we hem enig gevoel voor de dynamica, de traagheid, van de instrumenten. Wat zijn de fysische oorzaken van die traagheid? Dat zijn de energiebuffers, die gevuld moeten worden: de massa's en veren, de warmtecapaciteiten, de elektrische of de diffusiecapaciteit. Hoe manifesteert zich die traagheid: in een vertraagde responsie of ook in een beperkt doorgeven van sinusvormige ver-

anderingen, een z.g. beperkte bandbreedte.

Voor degenen, die zich typisch interesseren voor de elektronische aspecten van het aan elkaar schakelen geeft onze hele groep twee keer per jaar een *blokcursus elektronica*: 's morgens theorie, 's middags solderen en meten. De cursisten maken analoge schakelingen met rekenversterkers en digitale schakelingen met logische bouwstenen. De laatste dag blijken hun individuele bouwsels, o wonder, aan elkaar te passen. Ze kunnen er een meetapparaatje van maken, b.v. om hun eigen reactietijd te meten. De borrel verstrekken we er overigens niet bij.

Mijne heren onderwijscoördinatoren

Dit is een goed ogenblik om U te wijzen op de mogelijkheden, die een 3- of 6-maands vak natuurkunde aan Uw studenten en daarbij ook aan het onderzoek in Uw richting kan geven. Vaak kan een student in zo'n 3-tal maanden met een vrij intensieve begeleiding een oriënterende oplossing vinden voor een probleem, dat nog niet rijp is om uitbesteed te worden. Ik denk bijvoorbeeld aan een denkbeeld dat bij Landbouwtechniek speelde en door student, thans ingenieur K. van Zanten met veel élan werd opgelost: Het ging over dunmachines voor te dicht op elkaar staande suikerbieten, die met een elektrische taster werken. De vraag was of je zo'n machine méér intelligent kunt laten dunnen. Van Zanten heeft een werkende opstelling gemaakt, waarbij de schakeling in een simpel geheugen de afstanden van de laatst gepasseerde bieten onthoudt en op grond daarvan beslist, of hij de volgende biet weg moet slaan of niet.

Micro- en minicomputers in het laboratorium

Hoe verbazingwekkend het U misschien in de oren moge klinken, het zou die proefschakeling voor een denkende bieten-dunner nauwelijks duurder hebben gemaakt als er een computer in had gezeten.

Men kan thans complete elektronische schakelingen microscopisch klein en in massa vervaardigen. Zo worden microcomputers met 4.000 woorden geheugen thans geleverd op

een plaatje van 1 cm^2 . De computer is een elektronisch bouwsteentje aan het worden, zoals vroeger de transistor. Ook de prijzen van de eigenlijke rekeneenheid zijn een factor 10 tot 20 gedaald ten opzichte van een paar jaar geleden, de in- en uitvoerapparatuur is nog steeds kostbaar.

Door deze ontwikkeling zal de toepassing van computers in laboratorium-apparatuur en bij veldmetingen natuurlijk zeer gestimuleerd worden. Om daar de voordelen van te plukken, zal de koppeling tussen instrumenten en computer, het z.g. interface, dan echter zowel elektronisch als qua programmering verregaand moeten worden gestandaardiseerd. Anders zal dit de onderzoekers een ontstellende hoeveelheid tijd gaan kosten.

Samen met het rekencentrum hebben wij vorig jaar, toen dit bij ons speelde, het initiatief genomen om deze standaardisatie voor de LH gemeenschappelijk met andere gebruikers te gaan bekijken. Daaruit is een uitstekende werkgroep geboren met de mooie naam *COALA*, Commissie Automatisering Laboratorium Apparatuur.

Stochastische signalen

Het bezit van de zaak is het eind van het vermaak. Als men grote hoeveelheden meetgegevens met dataloggers of kleine computers in huis gaat halen, dan zijn de problemen nog niet van de lucht, zelfs als de apparatuur goed werkt. Ik neem dan maar even aan, dat er bekend is wát er gemeten moet worden. Dat betekent dat men niet alleen een kwalitatieve notie moet hebben van het systeem waar men in geïnteresseerd is, maar over een goed door-dacht model moet beschikken. Daar kom ik echter op terug en neem dus nu maar aan, dat dat er is.

Een probleem, dat zich bijvoorbeeld voordoet, is dat van de *bemonsteringsfrequentie*.

In de Flevopolder zagen we al, dat een datalogger of computer om de beurt met de verschillende meetpunten verbonden wordt. De machine kijkt dus met tussenpozen naar één bepaald meetpunt; het is alsof hij regelmatig een monster neemt.

Als het signaal tussen die bemonsteringen nog snelle veranderingen of oscillaties vertoont, dan zullen de resultaten, die de rekenmachine levert, aanzienlijke fouten bevatten. Bovendien zullen de snelle ongewenste oscillaties door het z.g. alias-effect juist toch in dat resultaat te voorschijn komen, maar merkwaardigerwijs als zeer langzame oscillaties, die in werkelijkheid dus niet bestaan.

Een goede oplossing voor dit nog eenvoudige probleem hangt vooral af van wat men met de meting doet, dus van het model. Verder hangt de aanpak af van het frequentiespectrum van het te meten verschijnsel, van de dynamica van het meetinstrument en van de gekozen methode van filteren.

Wij hebben er ons over verbaasd, dat men dit probleem in vele serieuze micrometeorologische publikaties nauwelijks onderkent. Een vuistregel uit de informatietheorie wordt verkeerd toegepast en daar blijft het bij. Hetzelfde probleem kwam onlangs weer naar voren toen wij voor de vakgroep Landbouwtechniek met een student, die een 3-maandsopdracht bij ons doet, de meetresultaten van hun maaidorseronderzoek in de Flevopolder gingen verwerken.

Als men stochastische meetsignalen digitaal verwerkt en daaruit op een correcte wijze gemiddelden, of ook frequentiespectra, correlatiefuncties of coherentiefuncties wil verkrijgen, dan is die bemonsteringsfrequentie een van de klippen, waarop men kan stranden.

Het is te verwachten, dat verschillenden onder U in hun onderzoek deze problemen hebben zitten en dat enkelen ze zullen onderkennen. Onze groep beschouwt het als haar taak om U, als U aanklopt, veilig tussen dergelijke klippen in de moderne meettechniek door te loodsen. De heer Lengkeek houdt zich in het bijzonder met dit onderwerp bezig. Tevens onderhouden wij daarbij goede contacten met de vakgroep Meettechniek en Instrumentatie van de T.H. Twente.

Dynamische modellen

Meet-, regel- en systeemtechniek is geen op zichzelf staande activiteit, maar een gecoördineerde aanpak, die

er om vraagt in andere disciplines toegepast te worden. Dat is in het voorgaande, bij de meettechnieken gebleken; het is ook het geval bij het volgende onderwerp, dat van de dynamische modellen.

In het voorgaande heb ik de hand uitgestoken en gezegd, dat U, als U problemen hebt met meten en elektronische gegevensverwerking voor onderwijs of voor onderzoek een beroep kunt doen op onze specifieke inbreng, uiteraard niet voor de fabricage van apparaten in aangenomen werk. Zo wil ik ook onze hulp aanbieden met een speciaal soort bijdrage, die de regel- en systeemtechniek van oudsher heeft bij het toepassen van *dynamische* modellen. U moet deze bijdrage alleen zien als een aanvulling op wat er in het vakgebied zelf of in een vakgroep als Theoretische Teeltkunde moet gebeuren.

Ik denk, dat U al ontdekt zult hebben dat wij in onze groep vaak een heel speciaal brilletje op hebben. Als we daardoor kijken kunnen we bijna geen verschil zien tussen dingen als windsnelheidsmeters, pH-meters, bieten-tasters of bladnatmeters. Dat zijn dan allemaal black boxes. Maar wat je heel goed kunt onderscheiden, dat zijn de signalen die er ingaan en die er uitkomen. Die signalen hebben zo hun eigenschappen én we kunnen er van alles mee uithalen.

Dat brilletje laat het specifieke, dat tot het probleemgebied behoort vervagen, zij het niet zó ver als dat in de wiskunde gebeurt. Het toont echter des te duidelijker de *structuur* van het systeem, de wijze waarop de delen op elkaar inwerken.

Wij gebruiken in ons onderwijs o.a. twee speciale beschrijvingswijzen om de structuur van een systeem weer te geven: de bondgraaf en het blokschema.

Het zijn beide topologische beschrijvingswijzen, d.w.z. het zijn schema's, die een structuur laten zien, zoals een landkaart dat doet. Ze zijn impliciet, dus op min of meer verborgen wijze gebaseerd op de differentiaalvergelijkingen, die voor het systeem gelden. Deze vergelijkingen behoeven echter meestal niet expliciet geformuleerd te worden.

Bondgrafen

Bondgrafen geven de *fysische structuur* (5) van een systeem weer. Uiterlijk lijken zij veel op de structuurformules uit de scheikunde. In plaats van atomen vinden we in de bondgraaf geidealiseerde fysische componenten, zoals massa's, capaciteiten, chemische buffers, thermo-electrische omzeters enz. De componenten behoren tot één van de volgende categorieën: energiebronnen, energiebuffers, energieomzeters en energiedissipatoren.

Deze categorieën zijn noodzakelijk en voldoende om alle discrete macrofysische verschijnselen voor te stellen. Het is Oster en Perelson (6) enkele jaren geleden zelfs gelukt om biochemische systemen met gekoppelde chemische reacties en diffusie op deze wijze te analyseren en met bondgrafen af te beelden. Tot nu toe meer gebruikelijke toepassingen liggen er in de mechanica, de hydraulica en bij warmtetransport.

Er zijn enkele goede redenen om met bondgrafen te werken:

- In de eerste plaats wordt het opstellen van dynamische modellen een systematische procedure, die in allerlei vakgebieden geldig is;
- In de tweede plaats is de verkregen bondgraaf reeds zo precies gedefinieerd, dat hij in feite een rekenschema is. Men kan er op algoritmische wijze, dus door het toepassen van vaste regeltjes, naar keuze een blokschema, een stelsel toestandsvergelijkingen of een gewone differentiaalvergelijking uit afleiden.
- Tenslotte hebben wij aan de T.H. Twente een simpele methode gevonden, waarmee een bondgraaf rechtstreeks in een digitaal simulatieprogramma (7) kan worden ingevoerd. Direct nadat men de bondgraaf heeft ingetypt, tekent de computer op een beeldbuis of op een XY-schrijver een plaatje van de tijdresponsie of van de frequentieresponsie van het systeem. Dat kan b.v. een trekker zijn, die over een ongelijke grond rijdt of een auto, die een stoep oprijdt.

In het onderwijs komt deze aanpak voor in het college "Fysische systeemleer, modelbouw en simulatie".

Ook in het onderwijsgebonden onderzoek is er al het een en ander op gang. Zo worden door twee 3- en 6-maands-

studenten bondgraafmodellen ontwikkeld en gesimuleerd van fytotron- en kasklimaat. Dat gebeurt gemeenschappelijk met onze groep Fysische Transportverschijnselen en met het IMAG. Ten behoeve van de vakgroep Landbouwtechniek maakt Henk de Haan in zijn ingenieursopdracht aan de T.H. Twente een bondgraafmodel van een op een trekker gemonteerde sproeiboom. Wij hopen een constructie te vinden, die de op en neer zwiepende bewegingen van zo'n 10 m lange sproei pijp beperkt en zodoende een regelmatiger bespuiting van het gewas oplevert.

U ziet aan zo'n Wagenings onderwerp in Twente, dat het nuttig is om met één been hier en met het andere daar te staan. Trouwens het feit alleen al dat we zo'n vliegende start met onze minicomputer hebben kunnen maken is te danken aan de intensieve samenwerking met de vakgroep Regeltechniek en Automatisering van de T.H. Twente.

Blokschema's in de regeltechniek

U bent er nu wel aan gewend, dat ik hier voor U sta met zo'n systeemtechnisch gekleurd brilletje op. Maar U zou vreemd opkijken als U een algemeen geacht man als de heer Bulder, zoals U weet lector in de Technische Microbiologie, met zo'n brilletje op zag lopen, daarbij reciterend uit Lengkeek's collegedictaat Regeltechniek en mompelend, dat daar nu precies de blokschema's en Laplace transformaties in staan, die hij tegenwoordig in zijn vakliteratuur tegenkomt.

Hoe kan het zo ver komen?

Wel, kenmerkend voor regeltechniek, het is U allen bekend, is het begrip *terugkoppeling*. Als het in de kamer warmer wordt, dan zorgt de terugkoppeling in de vorm van de thermostaat er voor, dat de oorzaak tegengewerkt wordt. Omdat het een tegenwerking is heet het een negatieve terugkoppeling.

De geboorte en sterfte van micro-organismen kan men op dezelfde wijze beschrijven. Sterfte als een negatieve terugkoppeling, die zijn oorzaak tegenwerkt; het geboorteproses als een positieve terugkoppeling, omdat het zijn eigen oorzaak in de hand werkt en daardoor gemakkelijk uit de hand loopt.

Kinderen krijgen weer kinderen, maar niet onmiddellijk. Het is een dynamisch proces, dat zich in de tijd afspeelt. In gedachten zouden we dus op alle variabelen, die in het systeem voorkomen, meetinstrumenten kunnen aansluiten. Deze zullen dan onregelmatige, slingerende lijnen trekken, net als in de Flevopolder. We kunnen de variabelen van zo'n dynamisch proces opvatten als signalen. Zo komt er dan in het microbiologisch systeem een signaal voor, dat de grootte van een populatie weergeeft, een ander signaal voor de afname van de populatie per uur o.a. door sterfte en een signaal, dat overeenkomt met het aantal nieuwe organismen, dat er per uur ontstaat.

Een blokschema nu geeft op overzichtelijke wijze weer hoe die signalen of variabelen van elkaar afhangen, b.v. van elkaar afgetrokken worden, versterkt worden, enz. De microbiologische signalen worden op dezelfde wijze afgebeeld als het signaal, dat uit Uw gramfoon komt, dat naar een blok genaamd versterker gaat, dat blokken passeert waarin hoge of lage tonen uitgefilterd kunnen worden, zodat er tenslotte een signaal naar twee andere blokken of black boxes gaat: de luidsprekers.

In tegenstelling tot een bondgraaf, die de *fysische structuur* toont, nl. hoe de energiewisseling tussen de componenten van een systeem is, toont een blokschema de *informatiestructuur*, nl. via welke bewerkingen de variabelen of signalen met elkaar verbonden zijn.

Het blokschema, als regeltechnische manier van kijken naar een systeem, is dan ook voortgekomen uit de radio-, telefoon- en versterkertechniek, die tussen 1930 en 1940 haar grote vlucht nam.

Waarom kan een versterkersysteem in telefoonkabels onstabiel worden en gaan genereren, vroeg men zich af.

Nyquist (8) en Bode (9) gaven daar een antwoord op, dat later typerend is geworden voor de regeltechnische aanpak: je moet niet kijken naar de eigenschappen van alle onderdelen, maar je moet kijken naar de versterking en fase-draaiing van de hele teruggekoppelde kring, in opgeknijpte toestand.

Met twee parameters als functie van de frequentie is dan het hele systeem gekarakteriseerd.

Identificeren en adaptief regelen

Dit laatste is kenmerkend: of een systeem bestuurbaar is wordt met een beperkt aantal en door andere eigenschappen beschreven dan het stationair gedrag.

Bij gecompliceerde systemen, die in eerste instantie dus ook gecompliceerde modellen hebben, passen wij in de regel- en systeemtechniek vereenvoudigde modellen toe, die de essentiële dynamica intact laten. Daar worden soms *modelreductietechnieken* voor toegepast. De daar vaak op volgende, steeds belangrijker wordende activiteit, is de *systeemidentificatie* of parameterschatting:

gegeven een fysisch systeem met zijn in- en uitgaande signalen, gegeven een vereenvoudigd model, gevraagd de parameters van dat model.

Soms kan dit probleem opgelost worden door het model met een procescomputer te simuleren, het te vergelijken met het gelijktijdig werkende echte systeem en daarbij de model parameters af te regelen tot systeem en model geen verschil meer vertonen.

De laatste stap tenslotte is, dat het zó aangepaste model, terwijl het echte systeem in werking is, gebruikt wordt om de wijze van beheersing van het systeem aan te passen aan de situatie. Het regelsysteem is dan *adaptief* geworden.

Op deze laatste gebieden van identificatie en adaptatie heeft onze nieuwste medewerker, de heer Udink ten Cate, al enige sporen verdiend, met name bij een adaptieve automaat voor het besturen van schepen.

Systeemtechniek

De rondwandeling langs onze activiteiten is voorbij. U hebt niet alles gezien, maar het rondje is gemaakt, we zijn op ons uitgangspunt terug. We kunnen hoogstens nog even napraten, bijvoorbeeld over de vraag waarmee we begonnen zijn: wat is nu systeemtechniek?

Ik zou nu wel een definitie willen geven:

SYSTEEMTECHNIEK is het als één geheel ontwerpen van de wijze van beheersing (regeling) van een systeem, van het daarbij benodigde dynamische model en van

de metingen en signaalverwerking, die voor regeling en modelaanpassing nodig zijn, waarbij het ontwerp er door gekenmerkt wordt dat de middelen niet gecompliceerder zijn dan voor het doel, de beheersing, noodzakelijk is.

In deze definitie zijn de activiteiten, die we vandaag gezien hebben, hiërarchisch met elkaar verbonden. De uiteindelijke reden immers, waarom we in een systeem ingrijpen, is dat we het willen regelen, willen beheersen. Alle andere activiteiten worden ten behoeve van dat doel verricht. Dat geldt voor het meten en de signaalverwerking, voor het opstellen van het dynamisch model, het schatten van zijn parameters en voor het eventueel gebruik van zo'n model bij een adaptieve regeling. Deze activiteiten moeten afgestemd worden op de eisen, die de regeling stelt. Zij moeten vooral niet gecompliceerder en niet nauwkeuriger zijn dan daarvoor nodig is, maar moeten wel enige functionele overlapping vertonen. Op deze wijze kan de systeemtechniek een betrouwbaar resultaat leveren, verkregen met onbetrouwbare componenten.

Stelt U zich echter geen gouden bergen voor, hoedt U zich voor het toverwoord "systeem" en voor getal magie. Iets als één geheel ontwerpen wil niet zeggen, dat zoiets een éénmalige activiteit is. Het is helaas een iteratief proces met een beetje opstaan en veel vallen door gebrek aan meetgegevens en gebrek aan inzicht in de verschijnselen. Terwijl voorts samenwerking in het Hoger Onderwijs toch reeds moeizaam is, komt daar het levensgrote communicatieprobleem tussen de disciplines nog bij.

Dames en heren studenten,

U bent in het Hoger Onderwijs de belangrijkste positieve factor bij de kennisoverdracht tussen de disciplines. Al meer dan een jaar zie ik Uw enthousiasme voor onze technieken. Ons laboratorium heet voor velen van U de hobbyclub en ik zie met vreugde Uw openheid om onze aanpak te leren toepassen op problemen uit Uw hoofdvakgebied. Ik verwacht dat de maatschappij straks bij grotere problemen zal profiteren van het systeemtechnisch briljetje, dat

wij U nu bij kleinere projecten leren opzetten.

Hooggeleerde Van Praag, beste Henri,

In een essentiële fase van mijn leven heb je mij op het spoor gezet van de samenhang tussen wetenschap, filosofie en religie. Aan de bijeenkomsten in het Vrije Joodse Leerhuis en onze vele gesprekken bewaar ik een waardevolle herinnering.

Hooggeleerde Schenk, beste Jaap,

Bij jouw benoeming, 5 jaar geleden, is er over gesproken of de meet- en regeltechniek wellicht binnen de LH gestalte zou kunnen krijgen. Het was je vakgebied niet en je zat opgescheept met te veel andere problemen bij de heroriëntatie en het weer op gang brengen van de vakgroep Natuur- en Weerkunde.

Het is tekenend voor je toewijding en plichtsgevoel, dat je je naast je eigen werk direct ook in dit onderwerp verdiept hebt en een college metingen en een college regeltechniek bent gaan verzorgen, inclusief dictaten. Het verdient alle lof, dat je initiatief binnen enkele jaren tot de zelfstandige groep heeft geleid, die zich hierbij aan de Landbouwhogeschoolgemeenschap heeft voorgesteld.

Referenties

1. Ryle, G., *The concept of mind*. Hutchinson, London, 1949
2. Bertels, K., Nauta, D., *Inleiding tot het modelbegrip*.
W. de Haan, Bussum, 1969
3. Stigter, C.J., Birnie, J., Lammers, B., *Leaf diffusion resistance to watervapour and its direct measurement*. Mededelingen Landbouwhogeschool, 73-15 (1973)
4. Dyer, A.J., Hicks, B.B., King, K.M., *The fluxatron - a revised approach to the measurement of eddy fluxes in the lower atmosphere*. J.Appl.Met., 6, 1967, 408-413
5. Dixhoorn, J.J. van, Evans, F.J., ed^s, *Physical Structure in Systems Theory*. Academic Press, London, 1974
6. Oster, G.F., Perelson, A.S., Katchalsky, A., *Network Thermodynamics: dynamic modelling of biochemical systems*. Quarterly Review Biophysics, 6, 1973, 1-134
7. Kraan, R.A., *THTSIM, a conversational simulation program on a small digital computer*. Journal A, 15, 1974, 186-190
8. Nyquist, H., *Regeneration Theory*. Bell System Tech.J., 11, 1932, 126
9. Bode, H.W., *Feedback amplifier design*. Bell System Tech.J., 19, 1940, 42