

Schipperen tussen theorie en praktijk: twijfels van een besliskundige

Rede

uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt
van hoogleraar in de mathematische besliskunde
aan de Erasmus Universiteit Rotterdam
op donderdag 11 maart 1993

door

dr. ir. R. Dekker

Mijnheer de Rector Magnificus,

Zeer geachte aanwezigen,

Stelt u zich eens de volgende situatie voor. U zit in een casino en speelt blackjack (de Amerikaanse versie van eenentwintigen). De bank heeft u eerst een tien gegeven. Toen heeft u in een bui van enthousiasme 100,- ingezet. Daarna kreeg u een zeven, vraagt u dan om nog een kaart of past u?

Een ander voorbeeld. U wilt uw huis verkopen. Uw vraagprijs is f 200.000. De eerste week komt er al een koper die meteen f 185.000,- als eindbod biedt. Wat doet u vervolgens?

Twee voorbeelden van beslissingssituaties, waarin uw twijfels wellicht door een besliskundige analyse weggelaten zouden kunnen worden. Twee voorbeelden, de één theoretisch en de ander praktisch. Bij blackjack zijn de spelregels wel gedefinieerd. U weet welke kaarten er in het spel kunnen zitten en zodoende kunt u de kans op elke andere kaart berekenen (en des te nauwkeuriger naarmate u weet welke kaarten reeds uit het spel zijn). Daarmee is het niet moeilijk de kans te bepalen dat u bij de volgende kaart dood zult zijn of niet. Tegelijkertijd moet de bank vertellen wat hij zal doen. Deze zal bijvoorbeeld bij 17 passen. Zodoende kunt u uw kansen op winst en verlies berekenen en daarmee een beslissing nemen die uw verwachte uitkomst maximaliseert. Waar u twijfelt over passen of doorgaan, zal de besliskundige adviseur twijfelen over wat nu eigenlijk uw doel is in het casino: verlies minimalisatie of risico maximalisatie: een besliskundige hoeft geen saai persoon te zijn! Overigens is er een besliskundige geweest (E. Thorpe, zie Casti (1991)) die erin slaagde winst te maken op de lange duur, d.w.z. totdat de casino's de spelregels aanpasten.

Bij verkoop van uw huis liggen de zaken anders. U weet niet of en hoeveel andere mensen er zullen komen. Noch hoeveel zij zouden willen betalen. Eventueel kunt u een schatting maken. Hierbij moet u weten of de huizen prijzen omhoog of omlaag gaan, hoe snel u het huis wilt verkopen en wat uw lopende kosten zijn. Dit zijn allemaal moeilijk in te schatten factoren. Ook voor dit probleem bestaan beslissingsmodellen, maar zij gaan er veelal van uit dat u de beschikking heeft over allerlei kansverdelingen en kostencijfers. Wat u echter zonder precieze informatie het beste kunt doen, vertellen ze u niet. Dat blijft moeilijk. Toch neemt u een beslissing, die dan sterk intuïtief bepaald is.

Dames en heren: schipperen tussen theorie en praktijk betekent analyseren wat elk van beide biedt en hoe de kloof ertussen overbrugd kan worden. Waar die twijfels nog verder over gaan, zult u in de loop van dit verhaal wel duidelijk worden. Het eerste deel van de titel slaat overigens ook op mijzelf. Begonnen in Leiden als theoretisch mathematisch besliskundige, werd ik bij het Koninklijke/Shell-Laboratorium, Amsterdam ingewijd in de toepassingen. Ook bracht de TU Twente mij nog kennis bij omtrent de bedrijfskunde. Na het lab in Amsterdam kwam ik bij het Centraal Kantoor van Shell in Den Haag in aanraking met de informatica, en dan vooral met de modellering van data die aan het totaal van informatieve beslissingsystemen in raffinaderijen ten grondslag liggen. Hier in Rotterdam houd ik me reeds een jaar bezig met zowel de theorie als de praktijk van de mathematische besliskunde.

Een historisch overzicht - 50 jaar mathematische besliskunde

In de tweede wereldoorlog is men begonnen om beslissingsproblemen bij militaire operaties met teams van wetenschappers aan te pakken. Daaruit is de operations research (OR) ontstaan; mathematische besliskunde en operationele analyse zijn de nederlandse benamingen. De binnen economische faculteiten gebruikte term bedrijfseconometrie bevat naast de mathematische besliskunde ook schattingstechnieken, zij kent echter geen engelse benaming. Om de terminologie kort te houden, zal ik het voorvoegsel mathematisch vaak weglaten bij besliskunde. Op zich kan dat verwarring scheppen met de psychologische beslissonde, maar daar zal ik het hier niet over hebben.

Daar er in de tweede wereldoorlog geen beslistkundigen waren, bestonden die teams uit allerlei wetenschappers, zoals fysici en biologen. U vermoedt al wel dat er veel gezond verstand aan te pas kwam. Ondanks het ontbreken van een goede theoretische ondergrond wist men vele succesvolle studies uit te voeren. Bijvoorbeeld hoe men bommen moest laten vallen. Één voor één, wat de gewoonte was, maar waardoor ook nogal veel bommen het doel misten. Of allemaal tegelijk, wat tegen de regels was, maar wat volgens de analyse de beste resultaten zou opleveren. Met wat slim handelen wisten de onderzoekers toch een paar piloten over te halen om de regels te breken, en gevoed door successen gingen ze gauw allemaal overstag. Het verhaal luidt dat de regels uiteindelijk werden aangepast (zie Miser (1992) en van Beek (1978)). Kenmerken van de aanpak waren een nauwgezette studie van het beslissingsprobleem, data vergaring, modelbouw, analyse en tenslotte, presentatie en zorg voor implementatie van de resultaten.

Na de oorlog paste men dezelfde werkwijze toe op beslissingsproblemen in de bedrijfsvoering. Ook daar werden successen behaald, zij het op bescheidenere schaal (de omvang van de operaties was ook kleiner). Ook werd de theorievorming ter hand genomen. Een kernonderdeel is de mathematische programmering: maximaliseer een doelfunctie onder randvoorwaarden. Voor de lineaire programmeringsvariant (LP) formuleerde Dantzig al in 1947 de simplex methode, die nog steeds de basis is voor de meeste LP pakketten van vandaag de dag. Andere takken van de jonge wetenschap volgden spoedig: niet-lineaire, stochastische, geheeltallige en dynamische programmering, en tenslotte simulatie.

In de vijftiger jaren drong de besliskunde ook tot Nederland door en de eerste operations research groepen werden bij Philips, Hoogovens en Shell opgericht. De zestiger jaren kenmerkten zich door een verbreding van het vak. Diverse subdisciplines kwamen tot bloei, zoals de stochastische besliskunde, waarin onzekerheid wordt gemodelleerd, voorraadtheorie, beslissingsanalyse, en onderhoudsoptimalisatie. De eerste volledige besliskunde hoogleraren werden aan de universiteiten benoemd.

Toen het in de zeventiger jaren minder ging met de economie, kwam er een terugslag. Sommige OR groepen werden opgeheven. Veel theorie bleek niet bij de praktijk te passen, en omgekeerd, voor veel praktijkproblemen ontbrak theorie. Een vergaande mathematisering had veel niet-wiskundigen van het vak vervreemd. Twijfels sloegen weer toe: waar draaide het nu om in het vak? De computer was weliswaar in opkomst, maar niet krachtig en goedkoop genoeg om een weg te banen voor de besliskunde. De theorie had de praktijk ruim ingehaald.

Op bijna alle universiteiten werden één of meerdere hoogleraren in de beslistkunde benoemd, hetzij binnen de wiskunde, econometrie, of bedrijfskunde. Naast de mathematische programmering bereikte de Markov beslissingstheorie een hoogtepunt in Nederland. Aan het eind der zeventiger jaren wonnen, geïnspireerd door problemen uit de computer- en communicatiewereld, de wachttijdtheorie en combinatorische optimalisering aan populariteit.

De tachtiger jaren bleken verandering te brengen. Vooral omdat de computer toen pas goed bereikbaar werd voor de gemiddelde (witte boorden) werknemer. U moet beseffen wat voor revolutie heeft plaatsgevonden. De Sigma 7 computer, die 64 kilobyte intern geheugenruimte had, was een noviteit op het Kon./Shell Lab in Amsterdam in 1968! Nu, in 1993, heeft een doorsnee nieuwe PC van f 4000,- 4 Megabyte: bijna 100 keer zoveel! Het is vooral de PC, die mijns inziens door een standaard besturingssysteem, zijn goede toegankelijkheid, grafisch vermogen en wijde verspreiding een enorme stimulans is geweest voor toepassingen van de operations research.

Wat hebben de tachtiger jaren verder nog gebracht? Via algoritmisch onderzoek in de stochastische beslistkunde slaagde men erin om complexe stochastische modellen via approximaties toch door te rekenen. Diverse heuristieken werden ontwikkeld voor moeilijke combinatorische problemen. Bovendien werden inwendige puntmethoden voor lineaire programmering geformuleerd die een gegarandeerd goedaardig gedrag hadden voor grote problemen.

Waar staan we anno 1993?

Anno 1993 is de mathematische beslistkunde een omvangrijk en bloeiend wetenschapsgebied, met vertakkingen naar allerlei toepassingsrichtingen, zoals logistiek, telecommunicatie, bedrijfszekerheid, actuariaat en financiering. Het vak, en in het bijzonder de lineaire programmering, is òók al tot de middelbare schoolstof doorgedrongen! Optimaliseringsroutines zijn aanwezig in standaard spreadsheet pakketten als Lotus 1-2-3, Quattro, en Excel, en daarmee binnen handbereik van miljoenen mensen! Laten we eens preciezer naar zowel de theorie als praktijk kijken.

De theorie

De theorie wordt gedomineerd door de wiskunde. Gelukkig zijn er maar een gering aantal theoretische twistpunten. Krachtige methoden zijn ontwikkeld die diverse beslissingsproblemen exact kunnen oplossen en voor een aantal modellen is de structuur van optimale strategieën bepaald. Sommige problemen, zoals roosterproblemen, blijken echter moeilijk oplosbaar en hiervoor zijn allerlei heuristieken ontwikkeld. Het is eigenlijk verbazingwekkend dat er steeds weer nieuwe en zeer substantiële theorie bijkomt. Voor buitenstaanders is dat wellicht een moeilijk te volgen proces, maar toch slaagt men er elke keer weer in om nieuwe dingen te verzinnen.

De praktijk

De praktijk geeft een gemengd beeld. Aan de ene kant liggen de OR groepen bij grote bedrijven onder druk, en aan de andere kant floreren zelfstandige OR adviesbureaus. Dit komt waarschijnlijk doordat bedrijven zich willen ontdoen van hun stafafdelingen, waar-

door ook OR groepen mee geprivatiseerd worden. Voor Shell is dit nog niet het geval, zij het dat het aantal OR mensen is verminderd en veel werk wordt uitbesteed aan een in Rotterdam opgericht OR adviesbureau. Philips heeft wel zijn OR afdeling geprivatiseerd en de RABO bank is het van plan.

Nu zijn het niet alleen OR afdelingen waar besliskunde wordt bedreven. Besliskunde wordt ook door mensen gedaan, die zich niet in de eerste plaats als besliskundige affichereren, maar als management of logistieke consultants. Deze mensen gebruiken veelal de meest toegankelijke besliskunde resultaten, zoals de EOQ formule voor de optimale bestelgrootte. Daarnaast vormt de besliskunde vaak een essentieel deel van beslissingsondersteunende systemen, waarvoor zij lang niet altijd krediet krijgt.

De behoefte aan ondersteuning van beslissingen lijkt alleen maar toe te nemen. Niet alleen aan de kwaliteit van het bestaan worden hogere eisen gesteld, maar ook aan beslissingen. Er zijn dan ook vele succesvolle toepassingen van besliskunde te geven, zoals roosterplanning, voertuigroutering, raffinaderijplanning en scheduling, voorraadbeheersing, etc. Om een sprekend voorbeeld te geven: het dienstrooster (zowel van bussen als van chauffeurs) van openbaar vervoer bedrijven, zoals in Toronto en in een tiental andere steden wordt middels besliskundige technieken in een beslissingsondersteunend systeem bepaald (als u reden tot klagen heeft: hier in Rotterdam gebruiken ze zo'n systeem nog niet). Het gebruikte Hastus programma is zó succesvol dat ook de vakbond een versie heeft gekregen om beter met het management over roosters te kunnen onderhandelen! Hier blijkt dat kwantificering en computerondersteuning flexibele roosters mogelijk maakt en zo een steentje kan bijdragen aan conflictbeheersing.

Betekent dit nu dat we tevreden kunnen zijn?

qua theorie

De aanwezigheid van zoveel mooie, maar ook complexe theorie, maakt het moeilijk die snel tot zich te nemen. Er komen steeds meer tijdschriften bij en er treedt een steeds verdergaande specialisatie op. Bij veel praktische problemen blijkt die theorie evengoed nog sterk ontoereikend te zijn. De aanwezige modellen representeren vaak een erg gestileerde werkelijkheid en het is onduidelijk hoe niet gemodelleerde factoren verwerkt kunnen worden in de uitkomst van het model. Voorts gaan veel modellen uit van aanwezigheid van bepaalde gegevens. Juist de moeilijke beschikbaarheid van de gewenste informatie is nu één van de hoofdproblemen bij toepassing. Levensduurverdelingen en stockout kosten, om maar eens wat te noemen, zijn nu eenmaal moeilijk te bepalen grootheden. Kortom, heel veel modellen zijn achter het bureau verzonnen, en passen daarom niet direkt bij de praktijk. Er zijn verder zoveel verschillende beslissingssituaties, dat we nog heel lang vooruit kunnen met het ontwikkelen van nieuwe modellen.

qua praktijk

De veelheid aan modellen is ook direkt een belangrijk probleem voor ons vak. Immers, men hoopt uit case studies algemene conclusies te trekken voor volgende studies. Tot nu toe is er een grote versnippering van losse cases en de terugkoppeling naar de theorievorming is maar matig. Ook het niveau van toepassingen laat wel eens te wensen over. Als er

stereotype beslissingssituaties geformuleerd kunnen worden, dan kunnen daarvoor modellen en (approximatieve) optimaliseringstechnieken ontwikkeld worden. Via beslissingsondersteunende systemen kunnen deze dan hun weg vinden naar een gebruiker. In dit opzicht is nog te weinig kennis beschikbaar.

Wat is nu de oorzaak van de kloof tussen theorie en praktijk?

Alvorens de kloof te bediscussieren moeten ons wel realiseren dat de theorie bijna altijd minstens tien jaar op de praktijk voorloopt (de situatie bij het ontstaan van het vak was een door nood geboren uitzondering) en dat de praktijk van nu toch wel een heel eind verder is dan die uit de zeventiger jaren. Wat zijn nu mogelijke oorzaken van die kloof?

De wiskunde is een uitstekend instrument voor wetenschapsbeoefening. Zij laat immers altijd geldende en exakte uitspraken toe. Daarin zit echter meteen een probleem verscholen. Immers in de praktijk gelden een heleboel relaties slechts bij benadering, en de formalisering daarvan is moeilijk voor de traditionele wiskunde. Dit komt vooral naar voren bij modellen voor grote systemen met allerlei interacties. Terwijl theoretisch gezien verandering van een klein aspekt alle structuur kan vernietigen, hoeft zo'n verandering praktisch gezien weinig effect op de resultaten te hebben. Vroeger liet men dit soort aspecten onaangeroerd. Tegenwoordig maakt de computer ook empirisch wiskundig onderzoek mogelijk. Het onderzoek naar de performance van heuristieken, zoals tabou search en genetische algoritmen heeft een sterke empirische component.

Voorts hebben wiskundigen (en ook mathematisch beslistkundigen) de neiging om zo in hun vak op te gaan, het vereist immers diepe concentratie, dat ze de relaties met de praktijk uit het oog verliezen. Dit uit zich in een zodanige manipulatie van problemen en informatie dat daarmee weliswaar mooie structuurresultaten afgeleid kunnen worden, maar waarbij de terugvertaling naar het oorspronkelijke probleem en de aanwezige informatie achterwege wordt gelaten. Mechanismes die dat moeten bevorderen ontbreken in feite.

In dit verband is de volgende karikatuur van een wiskundige toepasselijk (het toont immers een beeld waarvoor we ons moeten zien te hoeden).

Twee vrouwen maken een ballontochtje. Helaas komt er een enorme mist opzetten waardoor ze niets meer kunnen zien. Dan breekt opeens de mist open en zien de vrouwen dat ze boven het strand zweven. Daar loopt een man peinzend heen en weer. Zij roepen "Waar zijn we?". Er komt geen reactie. De ballon drijft langzaam weg over zee en ze roepen nog een keer uit alle macht: "Waar zijn we?". Dan stopt de man en horen ze hem roepen: "Jullie zijn in de ballon". Waarop de ene vrouw tot de andere zegt: "Nou, typisch een wiskundige", "Hoezo?", vraagt de ander. "Nou, het antwoord is ijselijk exact, maar je hebt er niets aan".

Hoewel er overal een kloof tussen theorie en praktijk heerst, lijkt die bij de beslistkunde groter dan bij bijv. natuur- of scheikunde. Voor een deel wordt het probleem veroorzaakt doordat de beslissingsproblemen zich in bedrijven of bij overheden afspelen, buiten het zicht van academici. Het wezenlijke idee achter een laboratorium is dat natuur- en scheikunde verschijnselen zo universeel zijn en dat men ze door isolatie in een laboratorium beter kan bestuderen. Dit geldt natuurlijk niet voor beslistkunde. Het is tot dusver niet echt een praktijk beschrijvende, maar veelal een praktijk voorschrijvende (en dus normatieve) weten-

schap. Het ontbreken van die beschrijvende component betreurt ik. Voorts geldt dat bedrijven in eerste instantie geïnteresseerd zijn in winst maken, waardoor beslissingen nogal eens onder tijdsdruk worden genomen. De beslissingsproblemen kunnen ook nogal specifiek zijn, waardoor er een kleine kans is dat ze elders optreden. Ook wijzigen problemen zich in de loop van de tijd, waardoor een grondige wetenschappelijke aanpak voor het bedrijf van minder belang is. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld medische beslissingsproblemen, waarbij wel de informatie kan veranderen, maar toch een algemene probleemformulering blijft bestaan. Zoals: moet in een persoon, van 40 jaar, mannelijk geslacht, met alleen hartklepstoorntissen nu een kunstklep of een donorklep ingezet worden?

Wat is nu nodig?

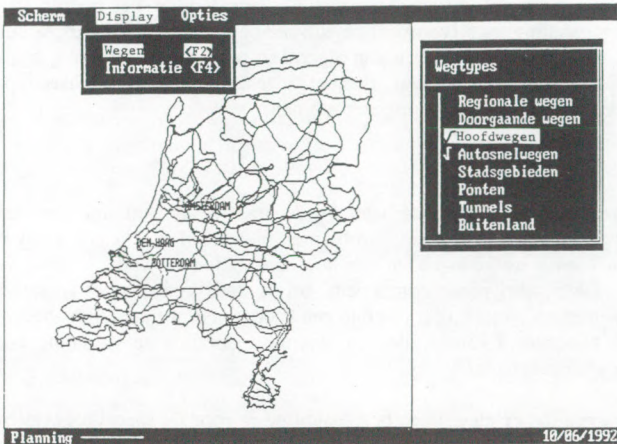
Om ervoor te zorgen dat theorievorming beter bij de praktijk aansluit, moet er een classificering en analyse van praktische beslissingsproblemen plaatsvinden. Uit een analyse van cases moet naar voren komen welke aspecten een hoofdrol spelen en welke informatie er doorgaans aanwezig is. De beschrijvende component van de besliskunde moet versterkt worden. De praktische probleemstructurering levert dan een kader waarmee enerzijds theorie op zijn praktische merites beoordeeld kan worden en waaruit anderzijds de structuur van beslissingsondersteunende systemen volgt.

Verder is het belangrijk dat er niet alleen belangstelling is voor de speciale gevallen waarvoor mooie resultaten afgeleid kunnen worden, maar dat ook het algemene probleem met alle relevante facetten wordt aangepakt. Dit zal dan onvermijdelijk approximatief moeten gebeuren, maar dat is in de praktijk geen probleem. Voor toepassingen is het nu eenmaal van groot belang om snel inzicht te verwerven in het probleem door koppeling van een aantal robuuste en makkelijk toegankelijke methoden. Als dan blijkt dat een bepaald aspect eruit springt, dan kunnen altijd nog complexere methoden worden ingezet.

Tenslotte is het van bijzonder belang dat de feitelijke beslissers onze methoden en resultaten gemakkelijk kunnen aanwenden en beheersen. Hier komen we op een terrein waar de computer- en informatietechnologie voor ons vak een stimulerende rol hebben. Immers de computer kan erg makkelijk rekenen, en informatietechnologie kan ervoor zorgen dat relevante informatie voor het beslissingsprobleem aanwezig is. Daarvoor dienen besliskundige technieken ingebed te worden in een geheel van informatie- en beslissingssystemen. De voortdurende daling van prijzen en stijging van prestaties van computers en aanverwante apparatuur vormt dan ook een sterke stimulans voor ons vak. Wel is het zo dat software nog moeilijk te beheersen is en dat er nog veel maatwerk moet plaatsvinden. Ook hier zou de algemene probleemstructurering zijn vruchten kunnen afwerpen. Tenslotte is ook de representatie van de resultaten van doorslaggevend belang. Het zal u duidelijk zijn dat het produceren van stapels papier met getallen totaal uit den boze is. In dit opzicht spelen grafische interfaces een belangrijke rol. Ik zal hierover niet uitwijken want hierop kan nog veel onderzoek plaatsvinden, doch slechts twee figuren tonen die voor zichzelf spreken (uit Van Vliet, Boender en Rinnooy Kan (1992)).

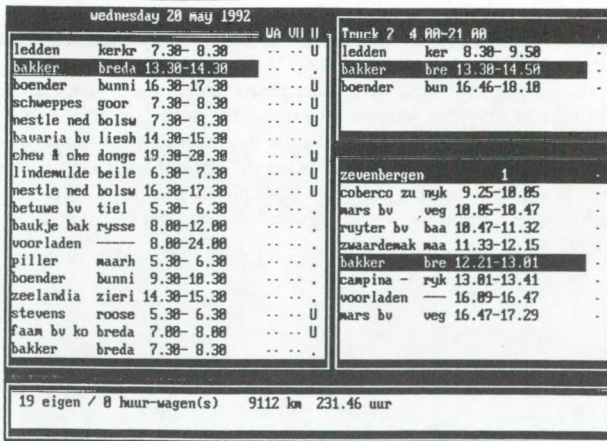
Figuur 1A toont een deel van het wegennet in Nederland, welke gebruikt wordt in de gebruikersinterface van een voertuigrouteringspakket wat gemaakt is door André van Vliet.

Fig.1A: Wegeninformatie



Figuur 1B laat een andere schermopmaak uit dit pakket zien. Links toont zij een lijst van orders die op een bepaalde dag geleverd moeten worden. Van links naar rechts ziet u de klantnaam, de plaats waar de klant gevestigd is en het tijdsinterval waarbinnen de truck bij de klant moet aankomen. Het rechterbovenvenster geeft de orders en lostijden voor truck 2, het rechterondervenster orders en laadtijden op het depot Zevenbergen. Tenslotte staan er nog wat overzichten op het scherm. U zult denken, zo ziet wiskunde er aardig uit. De formules zijn weggestopt in de software.

Figuur 1B: Order en leveringsinformatie



Laat ik nu eens mijn punt met betrekking tot probleemstructurering duidelijk proberen te maken met onderhoudsproblemen, waaraan ik voor Shell vijf jaar gewerkt heb.

Onderhoudsoptimalisatie

Ik zal u eerst uitleggen wat voor een econoom interessant is aan onderhoud. Een vuistregel is dat men per jaar tussen de 1% en 4% van de investeringswaarde kwijt is aan onderhoud. Dat lijkt weinig, maar bij een geschatte omvang van de kapitaalgoederenvoorraad van 2000 miljard in Nederland (Nieuwenhuis en Frenken (1993)) kom ik toch uit op een bedrag zo'n 40 miljard gulden per jaar! Het grote probleem bij onderhoud is om aan te geven hoeveel genoeg is voor de doelen die men voor ogen heeft. Onderhoud is vooral moeilijk te beheersen, omdat de baten vaak indirekt zijn. Shell, als kapitaalsintensief bedrijf, heeft deze problematiek dan ook onderkend en er al een tijd onderzoek naar laten doen. Daaruit bleek dat voor vergelijkbare fabrieken de onderhoudskosten een faktor 2 kunnen verschillen, zonder dat duidelijk is waarom.

Sinds 1965 heeft de besliskunde zich ook op optimalisatie van onderhoud gestort. Tot dusver met matig succes. Pas de laatste jaren lukt het om met PC programma's de onderhoudsmanager te bereiken (Dekker, Smit en van Rijn (1993)). Voor onderhoud is er inmiddels wel een zekere mate van probleemstructurering ontwikkeld o.a. door Kelly uit Manchester en Gits uit Eindhoven. Daar zij het meer verbaal hebben gedaan, komt de aanvulling met modellen van mijn kant. Die structurering zal ik hier met u doornemen en daarna zal ik u een case van onderhoudsoptimalisatie laten zien.

De eerste stap bestaat uit het bepalen van de gebruikseisen aan het te onderhouden systeem en de kosten die aan een niet of verminderd functioneren zijn verbonden.

Een systeem is echter veelal te groot om als enkel object beschouwd te worden. Zo kan een weg onderscheiden worden in wegdelen van zeg 100 m lengte en een gebouw in diverse bouwdelen. De tweede stap in de probleemstructurering bestaat dan ook uit het opdelen van een systeem in componenten. Voor elke component wordt het verouderingsproces in kaart gebracht en de mogelijke gevolgen bepaald. In samenhang met informatie over dit proces, over kosten en normen worden dan onderhoudsakties vastgesteld. Overigens kan ook een beslissingsproces ten grondslag liggen aan de beschikbaarheid van informatie! Modellen kunnen een rol spelen in het evalueren van de effectiviteit van acties en in het optimaliseren van frequenties. Aangezien een verouderingsproces moeilijk voorspelbaar is zijn de modellen meestal van stochastische aard. Dit varieert van levensduurverdelingen tot Markov en semi-Markov processen. Door de hoge kosten van een goede onderhoudsregistratie is het echter niet eenvoudig de parameters in die modellen te bepalen. Inzichten in welke modellen nu praktisch bruikbaar zijn, komen slechts langzamerhand beschikbaar.

Stap 3 bestaat uit het groeperen van individuele onderhoudsakties in pakketten waarbij de individuele frequenties geharmoniseerd worden. U kunt hierbij denken aan de jaarlijkse onderhoudsbeurt van uw auto.

Stap 4 bekijkt het geheel op systeem niveau, waarbij het onderhoud wordt afgestemd op de gebruikseisen (bijvoorbeeld een shutdown alleen in de zomermaanden). Daarnaast kan het ook nuttig zijn rekening te houden met speciale gelegenheden voor onderhoud (het zgn. opportunity maintenance).

In de eerste vier stappen hanteren we een lange termijn visie en het resultaat wordt dan ook het onderhoudsconcept genoemd. In stap 5 werken we dit om in een korte termijn

plan. Daarbij wordt rekening gehouden met aanwezige budgetten, uit te voeren correctief onderhoud en allerlei korte termijnrestricties op uitvoering.

Ik kan hier niet alle ins en outs van deze probleemstructurering met u doornemen. Wel zal ik wat consequenties noemen: in principe moeten de te gebruiken modellen beslissingen in alle fases mogelijk maken. Dat wil zeggen dat als een Markovmodel wordt gebruikt om te bepalen wanneer een aktie moet plaatsvinden, datzelfde model, eventueel in een versimpelde vorm, gebruikt moet kunnen worden om gelijktijdige uitvoering van meerdere akties te bewerkstelligen, omdat dat een besparing oplevert. Voorts moeten verschillende modelleringen tegen elkaar afgezet kunnen worden, zodat duidelijk wordt wat men kan winnen met meer informatie. Tenslotte moeten multi-component modellen logische vervolgen zijn van één-component modellen. De eerste resultaten van deze aspecten zijn pas recent beschikbaar (zie Dekker (1992)) en nog veel interessant onderzoek kan op dit terrein gedaan worden.

Laten we vervolgens een case bekijken van onderhoud aan een installatie in een raffinaderij, die in samenwerking met Adriaan Smit van het Kon./Shell Lab te Amsterdam is uitgewerkt (zie ook Dekker, Smit en van Rijn (1993)).

Een voorbeeld van onderhoudsoptimalisatie

Het te onderhouden deelsysteem wordt gevormd door de buizen van het fornuis van een hoogvacuum installatie. Deze haalt bij hoge temperatuur (vandaar het fornuis) nog waardevolle delen uit de restanten van gedestilleerde ruwe olie. De buizen van het fornuis koeken in de loop van de tijd aan, waardoor de efficiëntie omlaag gaat en de buizen zelfs kunnen springen. Jaarlijks maakt men deze buizen schoon. De vraag is nu of dat niet wat vaker moet gebeuren en of het zinvol is dat met ander onderhoud te combineren.

De relevante informatie over het systeem betreft achtereenvolgens het verouderingsproces, haar consequenties, de ermee gemoeide kosten en de onderhoudsakties. Een opsplitsing van het systeem in componenten is in dit geval niet nodig. Over het systeem kon nu de volgende informatie gegeven worden, deels door de onderhoudsdienst, deels door de produktiedienst.

Tot 6 maanden na het onderhoud aan de installatie is er nauwelijks enig verlies van efficiëntie, doch na 12 maanden wordt er al 30% meer brandstof gebruikt. Het gebruik van brandstof kost in het begin zo'n 600.000 dollar per maand. De kansen op storing worden ingeschat op 1% in de eerste 7 maanden en op 2% in de eerste 12 maanden. Er is geen sprake van storingen die door het onderhoud zelf worden veroorzaakt. Een preventieve onderhoudsstop (d.w.z. als er geen storing is) duurt 10 dagen, een correctieve (één die door storing veroorzaakt wordt) 14 dagen. Kosten van de eerste zijn in totaal 75.000 dollar, van de laatste 125.000 dollar.

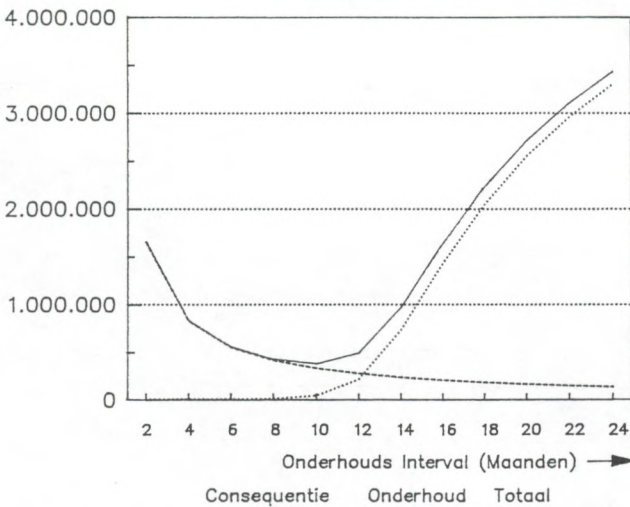
Dames en heren, in dit soort taktische beslissingsproblemen zijn veelal slechts ruwe schattingen mogelijk met een relatieve onzekerheidsmarge van minimaal 10%. Exakte data zijn gewoonweg niet voorhanden, zullen dat ook nooit zijn en zijn meestal niet nodig voor dergelijke problemen. Veel modellen gaan echter wel uit van precieze data en laten geen uitspraken toe over de consequenties van afwijkingen.

Ook de modellering zal ik u hier niet geven. Belangrijk is nu, wat zowel simpele als relevante modelleringen voor het probleem zijn. Men moet ervoor waken dat modelassumpties het antwoord gaan bepalen. Verder is het van groot belang dat de besliskundige of het beslissingsondersteunende systeem de juiste vragen stelt. Ook op verkeerde vragen krijgt men antwoorden, maar deze leiden niet tot een goed resultaat. Om een indruk te krijgen wat in het algemeen de beste strategie is concentreert de analyse zich op de lange termijn gemiddelde kosten als functie van de tijd tussen twee onderhoudsstops (hetzij correctief hetzij preventief). Figuur 2A toont het basisgeval. De doorlopende curve geeft de totale kosten aan. Zij is de som van de twee gestippelde curves, waarvan de een de preventieve onderhoudskosten weergeeft en de ander de kosten ten gevolge van efficiency verlies en correctief onderhoud (consequentie kosten).

FIG. 2A

BASIS GEVAL

Jaarlijkse Kosten



U ziet dat het minimum bij 10 maanden ligt, en dat de kosten bij 12 maanden slechts weinig (zo'n 10%) hoger zijn. In het minimum zijn de meeste kosten ten gevolg van het preventieve onderhoud. De kosten ten gevolge van storingen zijn te verwaarlozen. Hoewel zo'n analyse nog niets zegt over wat men op korte termijn moet doen, geeft dit wel een indicatie wat op lange termijn een goede strategie is.

Bekijken we twee speciale gevallen in figuren 2B en 2C. Daar er onzekerheid is over de input vraagt men zich in de eerste plaats af hoezeer het antwoord zich wijzigt als het efficiencyverlies bij 12 maanden 25% ipv. 30% bedraagt. Dat blijkt weinig uit te maken: 10 maanden blijft het beste onderhoudsinterval. Door herhaling van dit soort analyses met andere parameters kan een beslissers inzicht krijgen in wat de vereiste parameter nauwkeurigheid is voor zijn probleem.

FIG. 2B

SPECIAAL GEVAL:

doorzet verlies na 12 maanden is 25% ipv 30%

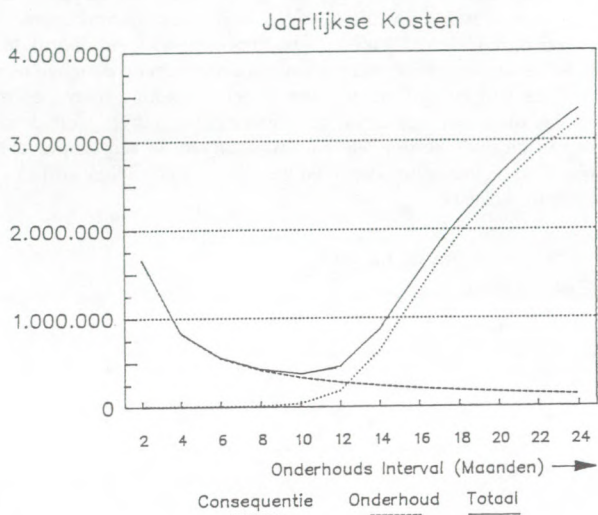
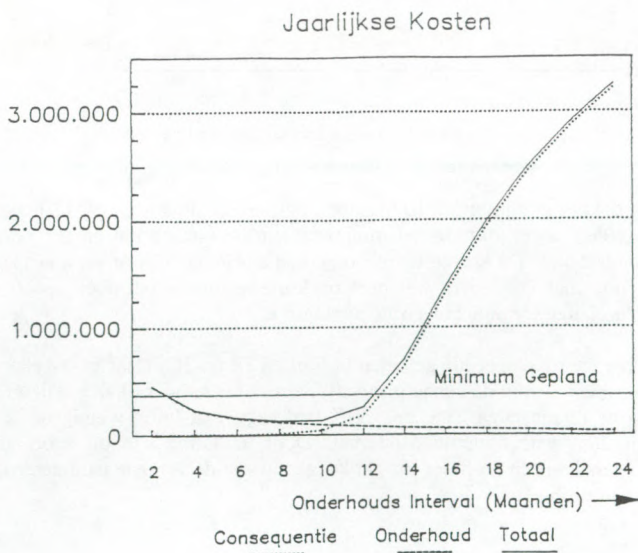


FIG. 2C

SPECIAAL GEVAL:

benutting van gelegenheden (geen stilstandkosten)



Wanneer men tenslotte speciale gelegenheden wil benutten om onderhoud te plegen, waardoor dit onderhoud geen stilstandskosten hoeft te dragen, dan blijkt uit figuur 2C dat benutting van gelegenheden zinvol is tussen 3 en 12 maanden (dan ligt de curve onder het minimum van het basisgeval), met nog steeds een voorkeur voor 10 maanden (ik zal u de theoretische problemen hierachter maar besparen).

Ik hoop dat de belangrijkheid van een makkelijk toegankelijk uitvoeringsinstrument u nu duidelijk is. Dit voorbeeld is niet gekozen om te pronken met theorie, maar om u te laten zien waar het in werkelijkheid om draait. De toepassing van de besliskunde komt hier in feite neer op een uitbreiding van een bedrijfseconomische investeringsanalyse: zet alle kosten op een rij, schat de verwachte baten middels een model en bepaal de optimale balans tussen beide. Dat het verworven inzicht in de belangrijkheid van diverse factoren in feite het belangrijkste is, zal geen verbazing wekken. Evenmin, dat kwantificering het mogelijk maakt om verschillende belangen tegen elkaar af te wegen. De oude methodes, met louter verbale argumenten, bleken vaak in een welles-nietes sfeer te resulteren.

Tenslotte wil ik nog een voorbeeld geven van de waarde van simpele doch robuuste approximaties en heuristieken. De approximatie is pas in 1989 samen met Eric Smeitink ontwikkeld, zo'n 25 jaar na de eerste publicaties over het probleem (dat eigenlijk thuishoort in de toegepaste waarschijnlijkheidsrekening).

Een voorbeeld van een simpele en robuuste heuristiek

Het gaat hier om een redelijk klassiek probleem, en wel de bepaling van de vernieuwingsfunctie, $M(t)$, als functie van de tijd t . Deze functie telt het verwachte aantal gebeurtenissen van een vernieuwingsproces waarvan de tussentijd een willekeurige, hier continue, verdelingsfunctie $F(x)$ heeft. De vernieuwingsfunctie telt bijvoorbeeld het aantal klagende klanten met een kapot apparaat over een zeker tijdsperiode. Dit zou een interessant gegeven kunnen zijn voor bijvoorbeeld computerwinkels, zij het dat sommige de bui niet afwachten en al opgedoekt zijn voordat de meeste klagers komen.

Wiskundig is er voor de vernieuwingsfunctie zowel een integraalvergelijking als een oneindige som op te stellen,

$$M(t) = F(t) + \int_0^t M(t-x) dF(x) = \sum_{n=0}^{\infty} F^{(n)}(t)$$

waarbij $F^{(n)}(t)$ de kans aangeeft dat er minstens n gebeurtenissen optreden in het interval $[0, t]$. Deze vergelijking is slechts in bepaalde gevallen oplosbaar, bijvoorbeeld als de gebeurtenissen volkomen willekeurig plaatsvinden (in wiskundige termen, met onafhankelijke en identiek exponentieel verdeelde tussentijden). In dat geval is $M(t)$ gelijk aan t/μ , waarbij μ de verwachte tussentijd aangeeft. Voor willekeurige verdelingen is er echter geen expliciete uitdrukking te geven en moet men overgaan tot numerieke methoden of approximaties.

De approximatie is gebaseerd op de veronderstelling dat we voor de eerste tussentijd gewoon de oorspronkelijke verdeling nemen. Voor alle volgende tussentijden kiezen we een iets gewijzigde verdeling waarvan de vernieuwingsfunctie eenzelfde lange termijn gedrag vertoont als dat behorend bij de oorspronkelijke verdeling.

De volgende formule geeft dat lange termijn gedrag:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left(M(t) - \frac{t}{\mu} \right) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\mu^2}{\sigma^2} \right)$$

De approximatie $M_1(t)$ luidt nu:

$$M_1(t) = F(t) + \sum_{n=2}^{\infty} \tilde{F}^{(n)}(t) = F(t) - \tilde{F}(t) + \tilde{M}(t)$$

waarbij $\tilde{F}(t)$ een benaderende verdeling is met dezelfde verwachting μ en variantie σ^2 als de oorspronkelijke verdeling en $\tilde{M}(t)$ de bij $\tilde{F}(t)$ behorende vernieuwingsfunctie. Het lange termijn gedrag is dus hetzelfde als dat van de oorspronkelijke vernieuwingsfunctie. Het fitten kan makkelijk gebeuren met mengsels van exponentiële verdelingen, de zgn. fase verdelingen. Hiervoor is wel de vernieuwingsfunctie makkelijk uit te rekenen. Bovendien is er ook een expliciete formule te geven voor deze fit (zie Smeitink en Dekker (1990)).

Figuren 3A en 3B tonen u twee gevallen van de benadering. De asymptotische expressie wijkt behoorlijk af voor kleine waarden. De 'exacte' waarden zijn op 4 cijfers nauwkeurig bepaald middels numerieke integratie en spline interpolatie. De approximatie laat zich nauwelijks zien, want ze is bijna verscholen achter de exacte lijn.

De boodschap die ik met dit voorbeeld wil overbrengen is dat we ons ook bezig moeten houden met het vinden van robuuste en makkelijk te gebruiken technieken. Immers ze zijn cruciaal om toepassingen van de grond te krijgen. Onze onderzoeksgroep binnen TRACE heeft daar ook al ruime ervaring mee opgedaan in de stochastische besliskunde.

Hoe nu gestalte te geven aan toepassingsgericht werk?

U zult uit dit verhaal wel opgemerkt hebben, dat ik een passie heb voor toepassingen. Dat klopt. Het geeft mij voldoening als mijn werk tot resultaten leidt waar andere mensen wat aan hebben, ook al is het met zoiets abstracts als beslissingsmodellen. Daarnaast zie ik het ook als een maatschappelijke verplichting, dat uit ons enorme gebouw, waarin een gigantische hoeveelheid kennis vertegenwoordigd is, iets voorkomt waar de maatschappij ook nu wat aan heeft. Daarom wil ik mij niet alleen met theorie bezighouden. Maar ook niet alleen met praktijk. In dat geval had ik beter in het bedrijfsleven kunnen blijven. De besliskunde zal voorlopig nog wel het karakter van technology push houden, d.w.z dat we eerst zullen moeten laten zien hoe het kan, en dat pas daarna de toepassingen zullen komen. We kunnen er echter wel naar streven de theorie beter bij de praktische behoeften aan te laten sluiten. En ook om bij praktijkproblemen weer mooie theorie te maken.

FIG. 3A BENADERING VAN DE VERNIEUWINGSFUNKTIE
Weibull verdeling $E(X) = 0.9$ $c_x^2 = 0.46$

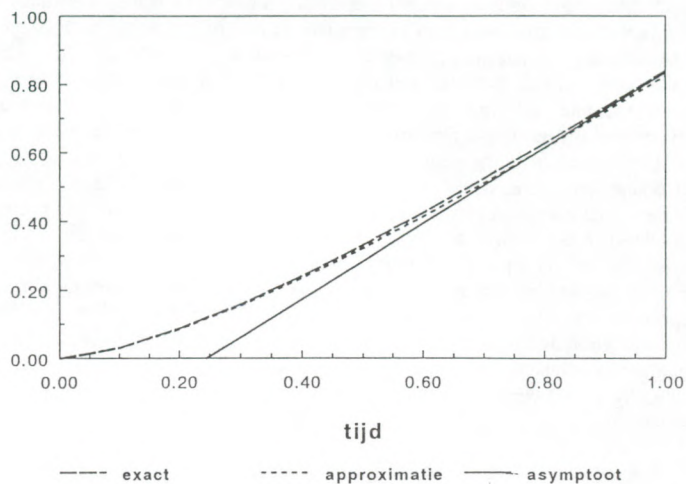
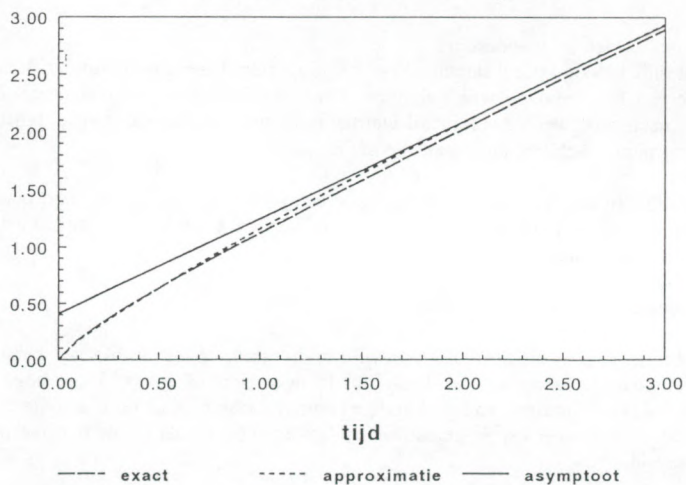


FIG. 3B BENADERING VAN DE VERNIEUWINGSFUNKTIE
Weibull verdeling $E(X) = 1.2$ $c_x^2 = 1.83$



Hoe wil ik dat nu vorm geven in Rotterdam? Sommige van onze aio's zullen aan praktijk gelieerde problemen werken. Daarnaast zijn er onze afstudeerders, die de theorie in praktijksituaties proberen toe te passen. Deze werkwijze is gebaseerd op de technology push: er zijn theoretische resultaten waarbij toepassingen gezocht worden. Dit lukt heel vaak niet, omdat bijvoorbeeld praktische aspecten onbekend zijn of omdat het bedrijfsleven zijn prioriteiten heeft verlegd. Daarom wil ik een tweede variant voorstellen. Deze werkt met tweejarige onderzoekers (zgn. twaio's). Dit zijn afgestudeerden die voor een deel van de tijd een onderzoekersopleiding krijgen en voor de rest van de tijd een project doen in samenwerking met een bedrijf of instelling. Hierbij wordt het onderzoek afgestemd op de wensen van dat bedrijf. Dit bevordert de theoretische verdieping van praktisch onderzoek, het is echter ook riskant omdat het van te voren moeilijk is in te schatten hoeveel theorie er te ontwikkelen valt. Vandaar de inzet van twaio's in plaats van aio's. De twaio wint aan marktwaarde door een project voor een bedrijf te doen, waar dan ook echt wat substantieels kan gebeuren en aan de andere kant is hij nog niet te oud of te specialistisch voor het bedrijfsleven. Hoewel we hier praten over bedrijven ligt het meer voor de hand om samen te werken met toepassingsgerichte onderzoeksinstituten, zoals TNO, maar ook het NEA, het NEI, het EIM, etc. Dit zijn voor de universiteit interessante instellingen, en de twaio funktioneert zo ook als communicatiekanaal tussen beide (een niet te onderschatten aspect). Officieel kent de Erasmus nog geen tweejarige onderzoekersopleiding. Om de genoemde redenen zal ik mij ervoor hard maken.

Hoewel onderhoud nog een van mijn voorliefdes is, zal ik mij ook bezighouden met logistiek in het algemeen. Niet alleen omdat een mathematisch beslistkundige daar een bijdrage aan kan leveren, maar ook omdat transport en distributie voor Rotterdam een belangrijke zaak is en ik daar graag een steentje aan bij wil dragen. Bij Shell had ik reeds ervaring met raffinaderij logistiek, en reeds in mijn eerste jaar hier hebben wij een interessant project gehad op Europese distributie. Ik hoop dat er nog vele zullen volgen.

Zeer gewaardeerde toehoorders,

Ik wil mijn betoog voor u samenvatten in drie zinnen. Theoretisch onderzoek heeft de beslistkunde een heel eind op weg geholpen. De theorie dient echter niet op zichzelf te blijven staan, maar moet verder verankerd worden in de praktijk. Zonder twijfel blijft daarom mijn uitgangspunt: "Schipperen tussen theorie en praktijk".

Tenslotte zijn aan het eind van deze oratie een paar dankwoorden op zijn plaats. Allereerst wil ik al diegenen die aan mijn benoeming hebben bijgedragen, danken voor het in mij gestelde vertrouwen.

Hooggeleerde Hordijk, beste Arie,

Je hebt me destijds als promotor ingewijd in de essenties van de Markov beslissingstheorie. Je enthousiasme voor het vak heeft mij in deze richting gezet. Jouw hoge eisen aan de zuiverheid en helderheid van wiskundige bewijsvoering hebben mijn activiteiten blijvend beïnvloed. Ik heb veel van je geleerd en ik bewaar nog steeds goede herinneringen aan mijn Leidse tijd.

Geachte van Rijn, beste Cijp,

Je waardering voor de wetenschap, en de mogelijkheden die je mij op het Shell lab hebt gegeven om wetenschap en toepassing te bedrijven, hebben mij gemaakt, zoals ik nu ben. Daarvoor ben ik je dankbaar.

Hooggeleerde Vorst, Boender en Rinnooy Kan, beste Ton, Guus en Alexander,

Ik dank jullie voor je collegialiteit en steun bij de toch wel moeilijke overstap van het bedrijfsleven naar de academische wereld. Ik voel me in Rotterdam al geruime tijd thuis en dat is mede dankzij jullie.

Leden van het Econometrisch Instituut en van de vakgroep Mages in het bijzonder,

Het is altijd moeilijk om een onbekende als hoogleraar te krijgen, maar na een jaar zijn we al ruim aan elkaar gewend. Het instituut in het algemeen en de vakgroep in het bijzonder vormen een plezierige werkomgeving en ik hoop er aan bij te dragen dat dat zo blijft. Ik zie nog veel vruchtbare samenwerking in het verschiet liggen.

Dames en Heren studenten Bedrijfseconometrie en Besliskunde,

Het onderwijs gaat mij aan het hart. Onderwijs en onderzoek zijn nu eenmaal de twee belangrijkste peilers van de universiteit. Vooral omdat ik de verantwoordelijkheid voel om de zes jaar, die u gemiddeld aan deze universiteit doorbrengt, zo welbested mogelijk te laten zijn. Daarvoor wil ik mij inzetten, en ik moet zeggen dat u mijn deur al heeft weten te vinden. Ik verwacht dan ook dezelfde inzet van uw kant. De bedrijfseconometrische werkcolleges hebben mij wat dat betreft niet teleurgesteld. Hier werd duidelijk dat u best bereid bent hard te werken mits dat maar in het juiste kader gebeurt. De eerste twee jaar van uw studie zijn wat dat betreft een stuk saaier. Ik zou u voorts willen aanraden om ook naast uw studie zoveel mogelijk van uw studententijd te maken. Bij toepassingen draait het nu eenmaal niet alleen om uw vaktechnische kwaliteiten, maar ook om uw sociale vaardigheden. De activiteiten van het Econometrisch Dispuut draag ik dan ook een zeer warm hart toe. Een recent onderzoek (zie Dyer et al. (1993)) in Amerika over de gewenste vaardigheden van operations research graduates liet zien dat het belangrijk is dat ze ook de informatica beheersen. Dit toont aan hoe goed het was een nieuwe studierichting besliskunde op te richten. Ik zal pogen daar een zo goed mogelijke invulling aan te geven en roep alle aanwezigen uit het bedrijfsleven op om mij daarin te steunen.

Beste Annemiek,

Ik dank je voor je steun en hoop die terug te geven wanneer jij het nodig hebt.

Ik dank u voor uw aandacht.

ontvangen	1 - 7 - 1993
geaccepteerd	1 - 7 - 1993

Referenties:

Beek, P. van, (1978), "*Operationele research: begin van het einde of ... einde van het begin?*", oratie, Landbouw Universiteit Wageningen.

Casti, J.L., (1991), "*Searching for Certainty*", Scribners, London.

Dekker, R., (1992), "*A framework for planning, combining and priority setting of maintenance*", report Econometric Institute 9271.

Dekker, R., Smit, A.C.J.M. en Rijn, C.F.H. van, (1993), "*Onderhoudsoptimalisatie modellen en hun toepassing in de praktijk*", Doelmatige Bedrijfsvoering, no. 1/2 p. 4-7.

Dyer, J.S. et al. (1993), "*Suggestions for an MS/OR Master's Degree Curriculum*", OR/MS Today, Feb. 1993, p. 16-31.

HASTUS, voertuig en dienstrooster scheduling systeem van GIRO Enterprises, Inc.

Miser, H.J., (1992), "*Craft in operations research*", Oper. Res., 40, p. 633-639.

Nieuwenhuijsen, H. en Frenken, J., (1993), "*135.000 de man: Wat is de waarde van onze nationale voorraad kapitaalgoederen*", Intermediair, 29, nr. 7 (19 feb).

Smeitink, E. en Dekker, R. (1990), "*A simple approximation to the renewal function*", IEEE Trans. on Reliab., 39, p. 71-75.

Vliet, A. van, Boender, C.G.E. en Rinnooy Kan, A.H.G., (1992), "*Interactive optimization of bulk sugar deliveries*", Interfaces, 22, p. 4-14.