

STAtOR

periodiek van de VVS jaargang 5 nummer 1 maart 2004

Hoe weet ik wat ik meet;
het pre-testen van vragenlijsten

Van meten naar weten;
onderzoek in de detailhandel

Strategische reële optietheorie in de praktijk;
een voorbeeld uit de LCD industrie

VVS-scriptieprijs 2003 voor Bart Husslage;
eervolle vermelding voor Ton Dieker

Compact modelleren voor multi-component
producten

In memoriam Jos Sturm

STATOR

Jaargang 5, nummer 1, maart 2004

STATOR is een uitgave van de Vereniging voor Statistiek en Operationele Research (VVS). STATOR wil leden, bedrijven en overige geïnteresseerden op de hoogte houden van ontwikkelingen en nieuws over toepassingen van statistiek en operationele research. Verschijnt 4 keer per jaar.

Redactie

Dick den Hertog (hoofdredacteur), Wies Akkermans, Martijn Berger, Han Oud, Gerrit Stermerdink (eindredacteur), Fred Steutel.

Kopij en reacties richten aan

Prof. dr. ir. D. den Hertog (hoofdredacteur), Faculteit der Economische Wetenschappen van de Universiteit van Tilburg, Postbus 90153, 5000 LE Tilburg, telefoon 013 - 466 2122, <D.denHertog@kub.nl>.

Bestuur van de VVS

A.W. van der Vaart (voorzitter) <aad@cs.vu.nl>; S.J. Koopman (penningmeester) <s.j.koopman@econ.vu.nl>; namens de Bedrijfssectie (BDS) P. Banens <banens@cqm.nl>; namens de biometrische sectie (BMS) A. Stein <alfred.stein@wur.nl>; namens de economische Sectie (ECS) P.H.F.M. van Casteren <casteren@fee.uva.nl>; namens het Ned. Genootschap voor Besliskunde (NGB) H. Fleuren <fleuren@uvt.nl>; namens de Sectie Mathematische Statistiek (SMS) P. Spreij <spreij@science.uva.nl>; namens de Sectie Statistische Programmatuur (SSP) S.H. Heisterkamp <sh.heisterkamp@rivm.nl>; namens de Sociaal Wetenschappelijke Sectie (SWS) C. Glas <c.a.w.glas@edte.utwente.nl>.

Leden- en abonnementenadministratie van de VVS

VVS, Postbus 2095, 2990 DB Barendrecht, telefoon 0180 - 623796, fax 0180 - 623670, e-mail <admin@vvs-or.nl>. Raadpleeg onze website over hoe u lid kunt worden van de VVS of een abonnement kunt nemen op STATOR of op een van de andere periodieken.

VVS-website

<http://www.vvs-or.nl>

Advertenties

Uiterlijk vier weken voor verschijnen te zenden aan Pharos, Moeflonstraat 5, 6531 JS Nijmegen, telefoon 024 - 3559214, e-mail <hootegem@xs4all.nl>. STATOR verschijnt in maart, juni, september en december.

Ontwerp en opmaak

Pharos / M. van Hootegem, Nijmegen

Uitgever

© Vereniging voor Statistiek en Operationele Research
ISSN 1567-3383

Inhoud

- 3** Statistiek en besliskunde: een gedwongen huwelijk?
Dick den Hertog
- 4** Hoe weet ik wat ik meet? Het pre-testen van vragenlijsten.
Ger Snijkers
- 9** Van meten naar weten. Onderzoek in de detailhandel.
Tammo H.A. Bijmolt
- 13** Strategische reële optietheorie in de praktijk; een voorbeeld uit de LCD industrie.
Kuno J.M. Huisman en Peter M. Kort
- 17** Mooi. Column.
Onno Boxma
- 19** Nooit verwacht en toch gekregen. Column.
Fred Steutel
- 21** VVS-scriptieprijs 2003 voor Bart Husslage; eervolle vermelding voor Ton Dieker.
- 22** Compact modelleren voor multi-component producten.
Bart Husslage
- 27** Met het streepje op de e.
Wilbert Kallenberg
- 30** In memoriam Jos Sturm
Dick den Hertog
- 30** Agenda



Statistiek en besliskunde: een gedwongen huwelijk?

Het is niet zonder reden dat de VVS een vereniging is voor Statistiek én Operations Research. In de naam van het blad dat nu voor u ligt, zitten beide vakgebieden dan ook verscholen. Beide disciplines hebben veel gemeen, vooral daar waar het het gebruik betreft van kwantitatieve modellen en technieken om de besluitvorming te ondersteunen.

Op sommige terreinen is er zeker sprake van een vruchtbare samenwerking tussen statistici en besliskundigen. Toch ben ik van mening dat beide werelden nog teveel gescheiden van elkaar opereren. We zouden meer van elkaar kunnen leren, bij uitstek in de praktijk. Het zou dan ook erg vruchtbaar zijn als OR'ers en statistici meer zouden samenwerken.

Veiligheidshalve bespreek ik hier alleen wat besliskundigen van statistici kunnen leren. Ik denk dan in het bijzonder aan de volgende drie items.

Dataverzameling en data-analyse spelen ook in besliskundige projecten een cruciale rol. Deze rol wordt onderschat; besliskundigen zouden wat dit betreft veel kunnen leren van de statistici.

Ten tweede noem ik het valideren van modellen. Besliskundigen schieten hierin vaak tekort. In veel publicaties over het toepassen van modellen komt het woord validatie niet eens voor of er wordt slechts met een paar woorden over gerept. Ook ten aanzien van dit aspect kan de OR veel leren van de statistiek.* Een veelbelovende recente ontwikkeling in dit verband zijn de *Robust*

Optimization-technieken van Ben-Tal, die in het optimalisatiemodel rekening houdt met de onzekerheden in het model.

Ten slotte: besliskundigen zijn wel eens teveel gespitst op kwantitatieve besparingen en verbeteringen. Vaak ligt echter het nut van het kwantitatief model niet zozeer in de uiteindelijke optimale oplossing, maar in het feit dat de beslisser door het werken aan en met het model inzicht kreeg in wat belangrijke factoren zijn en hoe die samenhangen. Besliskundigen zouden veel beter in staat moeten zijn een meer kwalitatieve interpretatie te geven van de kwantitatieve resultaten. Meer gericht op het scheppen van structuur en inzicht voor de klant. Hier kunnen besliskundigen beslist leren van de statistici.

STaTOR wil graag het wederzijds leren van elkaar stimuleren. Vandaar mijn aanmoediging aan besliskundigen om vooral ook de statistische artikelen te lezen, en aan statistici om vooral de Operations Research-artikelen te lezen.

Veel leesplezier!

Dick den Hertog
hoofdredacteur

** Opvallend is dat in artikelen met simulatie-toepassingen de validatie vaak wel degelijk uitgevoerd en beschreven wordt.*

HOE WEET IK WAT IK MEET?

Het pre-testen van vragenlijsten



Iedereen is wel eens geïnterviewd door een interviewer thuis of telefonisch, op straat of door een enquêteformulier in te vullen. U heeft zich bij het horen of lezen van de vragen vast wel eens afgevraagd: ‘Wat bedoelen ze nou precies?’, of ‘Hoe moet ik dat weten?’, of ‘Dat ga ik nu echt niet opzoeken!’.

Het maken van goede vragen is lastig. Ger Snijkers is in 2002 gepromoveerd op methoden die hij heeft toegepast bij het vragenlab van het Centraal Bureau voor de Statistiek om de validiteit van vragenlijsten te onderzoeken.

GER SNIJKERS

Het maken van goede vragen is lastig. Een onderzoeker maakt de vragen achter zijn bureau maar kan, net als bij het schrijven van een artikel, op een gegeven moment blind worden voor zijn eigen werk. Onderzoekers proberen zich zo goed mogelijk voor te stellen in welke situaties de mensen die de vragen moeten beantwoorden zich bevinden. Maar daarbij worden altijd situaties

over het hoofd gezien. Ook worden vaak termen gebruikt die voor de onderzoeker vanzelfsprekend zijn, maar door veel mensen niet worden begrepen of anders worden geïnterpreteerd. In het veld kan er dan van alles misgaan met het beantwoorden van de vragen, waardoor de onderzoeker niet die gegevens krijgt die hij had willen hebben. De validiteit van de vragenlijst is dan in het geding.

Kleine verschillen, grote gevolgen

Laten we eens kijken naar een vraageffect, een voorbeeld van hoe de formulering van een vraag de uiteindelijke gegevens kan bepalen. Uit de literatuur is bekend dat kleine verschillen in de formulering grote effecten kunnen hebben op de data. Veel voorbeelden hebben betrekking op de Verenigde Staten (zie bijvoorbeeld Converse & Presser, 1988). In Nederland hebben we ook zo'n voorbeeld.

Becker (2003) beschrijft de verschillen die twee vragen naar kerkelijke gezindte opleveren. Het betreft een eentrapsvraag, gebruikt door het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) in het Permanent Onderzoek Leefsituatie (POLS), en een tweetrapsvraag die het Sociaal en Cultureel Planbureau hanteert in het project Culturele Veranderingen in Nederland (CV). De vragen luiden:

Eentrapsvraag

Tot welke kerkelijke gezindte of levensbeschouwelijke groepering rekent u zichzelf?

- ◇ Geen kerkelijke gezindte of levensbeschouwelijke groepering
- ◇ Rooms-katholiek
- ◇ Nederlands-hervormd
- ◇ Gereformeerde kerken
- ◇ Islam
- ◇ Andere kerkelijke gezindte of levensbeschouwelijke groepering
- ◇ Weet niet, weigert

Tweetrapsvraag

Beschouwt u zichzelf als behorend tot een kerkgenootschap?

- ◇ Ja
- ◇ Nee

Welk kerkgenootschap is dat?

- ◇ Rooms-katholiek
- ◇ Nederlands-hervormd
- ◇ Gereformeerd
- ◇ Hindoe
- ◇ Islamitisch
- ◇ Boeddhist
- ◇ Ander kerkgenootschap

| Vraagstelling | Buitenkerkelijken | Kerkelijken |
|----------------------|-------------------|-------------|
| POLS 1998 (eentraps) | 40% | 60% |
| CV 1998 (tweetraps) | 59% | 41% |

Tabel 1. Het percentage (buiten)kerkelijken in Nederland in 1998. Bron: Becker, 2003.

Beide vragen leveren precies het tegenovergestelde resultaat, zoals is te zien in tabel 1. Becker (2003, p. 7) stelt dat zowel het CBS als het SCP aannemen dat vooral de gebruikte vraagstelling het verschil in resultaat veroorzaken. Hij concludeert (ibid., p. 23): 'Velen hebben de eentrapsvraag vermoedelijk opgevat als de vraag naar een *formeel* lidmaatschap, dus naar de kerk waarin men gedoopt is. Met de tweetrapsvraag is vastgesteld tot welke kerk of groep een ondervraagde zelf op het moment van de ondervraging *wilde* horen.'

Ik zou daar een andere interpretatie naast willen stellen. Ik vermoed dat de interpretatie van de eentrapsvraag ruimer is dan de interpretatie van de tweetrapsvraag. Mensen die wel gelovig zijn, maar zich niet aangetrokken voelen tot het instituut 'kerk', bijvoorbeeld mensen die wel katholiek zijn maar zich niet rekenen tot de katholieke kerk, zullen bij de eentrapsvraag aangeven dat ze zich wel tot een kerkelijke gezindte of levensbeschouwelijke groepering zullen rekenen en dat niet doen bij de tweetrapsvraag. Dezelfde antwoorden zullen bijvoorbeeld worden verkregen voor humanisten, of mensen met een andere filosofische levensbeschouwing. Het verschil wordt veroorzaakt door de toevoeging 'levensbeschouwelijke groepering', maar ook is de term 'kerkelijke gezindte' minder formeel dan 'kerkgenootschap'. Dat de ene vraag een eentrapsvraag is en de andere een tweetrapsvraag, speelt hier volgens mij geen rol van betekenis.

Dit is nou zo'n vraag waar je als respondent van denkt: 'Wat moet ik nou antwoorden? Wat willen ze van mij weten?' En het resultaat is dat we niet

precies weten hoe het zit. Tegenwoordig kent de *survey* methodologietechnieken waarmee dit soort zaken onderzocht kunnen worden. Zowel het vermoeden van Becker als mijn interpretatie kunnen als hypothesen worden opgevat en worden onderzocht.

Cognitief vragenlabonderzoek

De technieken die ik bedoel zijn de zogenaamde cognitieve vragenlab methodes. Deze zijn voortgekomen uit een tweetal congressen die in de jaren tachtig van de vorige eeuw in Amerika (Jabine, Straf, Tanur & Tourangeau, 1984) en Duitsland (Hippler, Schwarz & Sudman, 1987) zijn gehouden. Deze congressen hadden *Cognitive Aspects of Survey Methodology*, afgekort tot CASM, als onderwerp en waren gericht op het ontwikkelen van methoden om de validiteit van survey data te onderzoeken en te verbeteren.

Deze conferenties leverden methodes waarmee het cognitieve proces bij de respondent kan worden onderzocht als deze vragen beantwoordt, het zogenaamde vraag-en-antwoord proces. Met deze methodes kan nagegaan worden hoe respondenten de vragen interpreteren en aan hun antwoord komen. Als blijkt dat er systematische fouten optreden in het vraag-en-antwoord proces kan de vraagstelling worden aangepast, in de hoop dat er een betere vraagstelling ontstaat. Om daar zeker van te zijn zal de nieuwe vraag nogmaals onderzocht moeten worden.

Anders gezegd, cognitief vragenlabonderzoek is gericht op het valideren van vragenlijsten. In deze context noemen we een vraag valide als de interpretatie van de vraag door respondenten overeenkomt met de bedoeling van de onderzoeker. Vraageffecten, meetfouten ten gevolge van ontwerpfouten in de vraagstellingen, worden dan gereduceerd, wat weer leidt tot een betere kwaliteit van de onderzoeksgegevens. Een ander effect van het aanpassen van vragen aan het vraag-en-antwoord proces is

dat de vragen respondentvriendelijker worden en de interviewbelasting voor de respondent vermindert.

Dit soort onderzoek wordt uitgevoerd in een zogenoemd 'cognitive lab' ofwel een vragenlab. Sinds de CASM-conferenties zijn er verschillende van deze vragenlabs opgericht, vooral bij grote onderzoeksbureaus van de overheid. Het eerste bureau met een vragenlab was het U.S. National Center for Health Statistics (1983), gevolgd door andere bureaus in Amerika, Canada, Australië en Europa. Sinds 1992 kent het Centraal Bureau voor de Statistiek een vragenlab (Snijkers, 2002).

Vragenlabonderzoek wordt bijvoorkeur uitgevoerd voordat een vragenlijst het veld ingaat. We spreken dan ook van pre-testonderzoek. Maar dergelijk onderzoek kan ook achteraf worden uitgevoerd, om, zoals bij de vraag naar kerkelijke gezindte, vast te stellen hoe de data geïnterpreteerd moeten worden. Dit soort onderzoek wordt gekenmerkt door een kwalitatief karakter, gezien de beperkte omvang van het onderzoek. En verder zijn, zeker in vergelijking tot het hoofdonderzoek, de doorlooptijd beperkt en de kosten gering.

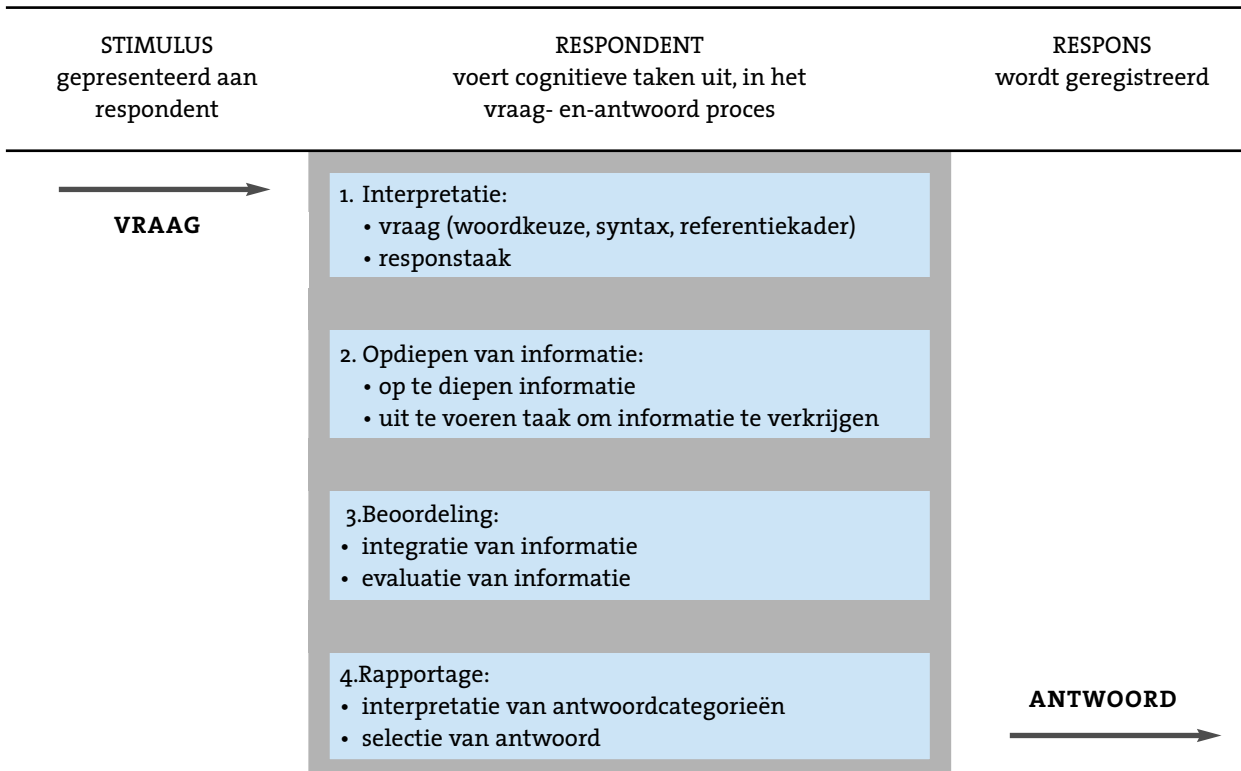
De kritiek op dit soort onderzoek is vooral gelegen in het beperkte aantal cases, waardoor de conclusies niet generaliseerbaar zijn. De doelstelling is echter niet gericht op het doen van uitspraken over een populatie, maar om systematische fouten in vragen te ontdekken. Daarbij is het altijd beter om vooraf een idee te hebben over de kwaliteit van een vragenlijst en de ergste fouten eruit te halen, dan achteraf te moeten constateren dat de gegevens (uit een duur onderzoek) onbruikbaar zijn, omdat er onverklaarbare effecten in de data zitten.

Veelgebruikte pre-testmethodes zijn *expert reviews*, diepte-interviews (met proefrespondenten), focusgroepen (met mogelijke respondenten), gedragscodering en kleinschalige pilots (met gesprekken met respondenten en interviewers). Deze methodes zijn gericht op het onderzoeken van het vraag-en-antwoord proces en worden uitgebreid besproken in mijn proefschrift (Snijkers, 2002).

Het vraag-en-antwoord proces

Het vraag-en-antwoord proces is, in het kader van de CASM-conferenties, door Tourangeau en Rasinski (1998) gemodelleerd. Volgens hen bestaat dit proces uit 4 stappen (zie figuur 1): 1. interpretatie van de vraag; 2. het opzoeken van de juiste informatie (al dan niet in het geheugen); 3. het samenstellen en evalueren van het antwoord in het hoofd; en 4. het rapporteren van het antwoord (het vergelijken van het eigen antwoord met voorgedefinieerde antwoorden). Volgens Jobe en Mingay (1991, p. 178) betekende de ontwikkeling van dit model een grote stap voorwaarts ten opzichte van het eenvoudige stimulus-respons model: *'modelling the respondent's mental operations represented a vast change over the simple stimulus-response conception of respondent behaviour, that from the beginning of modern survey-taking governed the principles employed in designing survey instruments.'*

Bij elke stap kunnen zich problemen voordoen. Zo zijn veel voorkomende problemen in vragen met betrekking tot stap 1: het gebruik van jargon of andere onduidelijke of moeilijke woorden, het gebruik van lange zinnen, dubbele vraagstelling, dubbele ontkenningen, antwoordcategorieën die niet bij de vraag passen, en een onduidelijk referentiekader (het perspectief van waaruit de vraag beantwoord moet worden). Aspecten van vragen die problemen opleveren bij stap 2 hebben betrekking op: lange referentie periodes en als er veel informatie nodig is om de vraag te beantwoorden. Met betrekking tot het samenstellen en het evalueren van het antwoord in stap 3, zijn ingewikkelde en lastige berekeningen en sociaal wenselijkheid valkuilen. In de laatste stap gaat de aandacht uit naar de antwoordcategorieën. Hier moet bijvoorbeeld gewaakt worden voor het gebruik van moeilijke woorden, ontbrekende en overlappende antwoordmogelijkheden.



Figuur 1. Het vraag-en-antwoord proces in het stimulus-respons model. Uit: Snijkers (2002, p. 7).

Pre-testen, pre-testen en nog eens pre-testen

Met behulp van vragenlabonderzoek kan onderzocht worden hoe respondenten de vragen interpreteren. Zoals gezegd doen we dit bij voorkeur vooraf, maar ook achteraf zou dit soort kwalitatief onderzoek een waardevolle aanvulling zijn op kwantitatief onderzoek, bijvoorbeeld om de verschillen in de resultaten van de twee vragen naar kerkelijke gezindte te kunnen verklaren.

Dit kan op een geavanceerde wijze, door bijvoorbeeld drie onderzoeksmethoden in het onderzoek te betrekken (triangulatie). Als de validiteit van vragen degelijk onderzocht moet worden is een wetenschappelijke aanpak aan te raden. Maar, dit soort onderzoek kan ook al vrij eenvoudig worden ingevuld, door:

- Het zelf invullen van de vragen. De vragenlijst-ontwerper speelt dan de rol van respondent.
- Het houden van een aantal proefinterviews met proefrespondenten (uit de doelpopulatie), gevolgd door een nagesprek (aan de hand van video-beelden of aantekeningen van een waarnemer).
- Het laten becommentariëren door en bespreken met collega's (op eenzelfde manier als we doen met wetenschappelijke artikelen).
- Het beoordelen van de vragen aan de hand van een lijst met mogelijke foutenbronnen. In de literatuur zijn checklists beschikbaar (Snijkers, 2002, hoofdstuk 4). Bij voorkeur gebeurt dat niet door de ontwerper van de vragen maar door iemand anders. Deze manier is een meer systematische vorm van beoordelen.

Het voordeel van de eerste twee methodes is dat de vragenlijst wordt uitgetest in een situatie die de situatie waarin de vragenlijst gebruikt gaat worden benadert.

Bij het maken van vragen is het van belang om je steeds de respondenten die de vragen moeten gaan beantwoorden voor ogen te houden en je af te vragen waar het vraag- en antwoordproces verstoord kan worden. Maar, zelfs als je dat zorgvuldig

hebt gedaan, kunnen er nog meetfouten optreden. Want, zoals Clark en Schober (1992, p. 29) het zeggen: *'Surveyers cannot possibly write perfect questions, self-evident to each respondent, that never need clarification. And because they cannot, the answers will often be surprising.'* Daarom adviseert de American Statistical Association (1999, p. 11): *'The questionnaire designer must understand the need to pretest, pretest, and then pretest some more.'*

LITERATUUR

- Designing a questionnaire.* (1999). Alexandrië, VA: American Statistical Association (ASA series: What is a survey?) www.amstat.org/sections/srms/whatsurvey.html
- Becker, J. (2003). *De vaststelling van de kerkelijke gezindte in enquêtes: 40% of 60% buitenkerkelijk?* Den Haag: Sociaal en Cultureel Planbureau (SCP-Werkdocument 92)
- Clark, H., en M. Schober (1992). Asking Questions and Influencing Answers. In J.M. Tanur (ed.), *Questions about questions: inquiries into the cognitive bases of surveys* (pp. 15-48). New York: Russell Sage Foundation.
- Hippler, H.J., N. Schwarz, en S. Sudman, eds. (1987). *Social information processing and survey methodology.* New York: Springer-Verlag.
- Jabine, T.B., M.L. Straf, J.M. Tanur, en R. Tourangeau eds. (1984). *Cognitive aspects of survey methodology: building a bridge between disciplines.* Washington, D.C.: National Academy Press.
- Jobe, J.B., en D.J. Mingay (1991). Cognition and survey measurement: history and overview. *Applied Cognitive Psychology, Special Issue on Cognition and Survey Measurement*, Vol. 5, no. 3, pp. 175-192.
- Snijkers, G. (2002). *Cognitive laboratory experiences. On pre-testing computersied questionnaires and data quality.* Utrecht/Heerlen: Universiteit Utrecht/Centraal Bureau voor de Statistiek. Academisch proefschrift.
- Tanur, J.M. ed. (1992). *Questions about questions: inquiries into the cognitive bases of surveys.* New York: Russell Sage Foundation.
- Tourangeau, R., en K.A. Rasinski (1988). Cognitive processes underlying context effects in attitude measurement. *Psychological Bulletin*, Vol. 103, no. 3, pp. 299-314.

GER SNIJKERS is werkzaam bij de Divisie Sociale en Ruimtelijke Statistiek van het Centraal Bureau voor de Statistiek in Heerlen en bij de Faculteit Sociale Wetenschappen, Capaciteitsgroep Methodenleer & Statistiek aan de Universiteit Utrecht. E-mail: <gsks@cbs.nl>.



Van meten naar weten

Onderzoek in de detailhandel

Voor de detailhandel is het noodzakelijk om inzicht te hebben in het aankoopgedrag van klanten. Daarom wordt er in en rond winkels vaak en veel gemeten. Dit levert veel gegevens op. Analyse van deze gegevens is nodig om te komen tot bruikbare informatie voor het aansturen en bijsturen van het introductie-, marketing- en verkoopbeleid.

TAMMO H.A. BIJMOLT

Wellicht heeft u recent kleding gekocht. Daarbij realiseerde u zich waarschijnlijk niet dat uw gedrag voor, tijdens en na deze aankoop herhaaldelijk werd gemeten. Het is heel goed mogelijk dat de door u bezochte winkels bij de ingang elektronische apparatuur hebben die registreerde dat u naar binnen bent gegaan en dat u weer naar buiten bent gelopen. Bij de winkel waar u iets

gekocht heeft, is uw aankoop verwerkt door middel van het automatische kassasysteem. Als u vaste klant bent van deze winkel heeft u wellicht een klantenkaart, zodat de detaillist uw aankoop kan bijschrijven in het bestand waarin uw eerdere aankopen al staan. Indien u de betaling met pinpas of creditcard heeft gedaan, is uw transactie ook bij uw bank geregistreerd. Al met al is uw

gedrag vele malen gemeten, geregistreerd en vervolgens opgeslagen. Mocht dit verhaal niet opgaan voor u: een vergelijkbaar proces geldt ook als u tankt bij een benzinstation, of anders wel als u boodschappen doet in de supermarkt.

Al dergelijke metingen in de detailhandel vormen grootschalige gegevensbestanden die in potentie zeer waardevol zijn voor marketing. 'Meten is weten' is een veel gehoorde spreuk, maar dat gaat in dit geval niet zondermeer op. Meten alleen is niet voldoende. De gegevensbestanden zijn zeer omvangrijk en complex qua structuur: analyse van de gegevens is een absolute noodzaak om de stap te maken naar bruikbare informatie voor de detailist of een marketing manager. Dit dient bij voorkeur te worden gedaan op basis van een theoretisch model over het geregistreerde consumentengedrag én natuurlijk met behulp van de juiste analysemethoden.

Meten van consumentengedrag

Onderzoek ten behoeve van marketing is jarenlang voornamelijk uitgevoerd op basis van gegevens verkregen door middel van interviews of vragenlijsten. Dit geldt zowel voor wetenschappelijk onderzoek als voor onderzoek in de praktijk. In dergelijk onderzoek dient de consument vragen te beantwoorden en zodoende worden allerlei meningen en gedragingen gemeten. Veel belangrijke onderwerpen zoals bijvoorbeeld klanttevredenheid, merkimago en prijspercepties kunnen uitstekend op deze wijze worden onderzocht.

Voor veel marketingonderwerpen is het echter essentieel kennis te hebben van het gedrag van consumenten. Wat koopt iemand, hoeveel en waar? Wat zijn factoren die invloed hebben of iets al dan niet gekocht wordt? Ter ondersteuning van marketingbeslissingen in de praktijk en voor het verder ontwikkelen van marketingtheorie is het noodzakelijk onderzoek te doen naar deze gedragingen van consumenten. Daartoe kan het gedrag worden gemeten in een interview of vragenlijst of

worden gemeten door registratie van het gedrag zelf. Uit onderzoek is gebleken dat consumenten moeite hebben met het inschatten hoe vaak men bepaald gedrag vertoont. Men heeft de neiging de frequentie van de eigen gedragingen te overschatten en dan met name als het onregelmatige gedragingen betreft. Het meten van gedrag door beoordelingen van consumenten heeft tevens het nadeel dat het veelal resulteert in een geaggregeerde waarneming in plaats van een gedetailleerde meting van een specifieke gedraging. Het is dan ook aannemelijk dat het registreren van het daadwerkelijke gedrag een betere meting oplevert, dat wil zeggen meer valide en betrouwbaar en tevens met meer gedetailleerde gegevens.

In de volgende secties bespreek ik enkele onderzoeksprojecten waarin geregistreerd consumentengedrag wordt geanalyseerd.

Klantenkaart

Het behouden van klanten, oftewel het stimuleren van loyaliteit, is van wezenlijk belang voor iedere onderneming. In de detailhandel wordt daartoe veelvuldig gebruik gemaakt van loyaliteitsprogramma's: bijna 40% van de winkelketens heeft een klantenkaart. Onder de term klantenloyaliteitsprogramma versta ik overigens: een systematisch geheel van marketing-inspanningen gericht op individuele klanten, die deelnemers zijn, met als doel loyaliteitsgevoel en -gedrag te bevorderen. Het zal duidelijk zijn dat een loyaliteitsprogramma vaak een centrale rol speelt in de marketingstrategie van een bedrijf.

Doordat de klant, die deelnemer is aan het loyaliteitsprogramma, zich dient te identificeren bij de aankoop, kan op individueel niveau een koppeling gemaakt worden tussen de verschillende aankopen. Zo ontstaat een aankoopgeschiedenis per individuele klant die vervolgens gebruikt kan worden bij het inzetten van de marktinstrumenten richting deze klant. Het klantenbestand vormt dus de basis voor een scala aan mogelijkheden voor

het beheren van de relatie met de individuele klanten zoals wordt voorgesteld in het vakgebied *customer relationship management*. Tactische mogelijkheden zijn bijvoorbeeld het al dan niet sturen van een mailing naar een bepaalde klant of het aanpassen van de inhoud van de mailing. Voor meer strategische doeleinden kan de totale groep van klanten worden opgesplitst in segmenten van klanten die vergelijkbaar koopgedrag vertonen.

Wellicht maakt u zich zorgen over wat er allemaal gebeurt met de gegevens die worden geregistreerd met behulp van klantenkaarten of andere instrumenten. Op zich is dat terecht, en daarom is er in Nederland de Wet Bescherming Persoonsgegevens waarin staat wat de beheerder van de gegevens moet doen, mag doen en niet mag doen. Bovendien geeft deze wet normen en regels voor het gebruik van klantgegevens voor marketingdoeleinden. Nu zijn dergelijke wetten en regels nooit een volledige garantie dat er geen misbruik gemaakt wordt, maar een bedrijf dat deze regels overtreedt, snijdt zichzelf lelijk in de vingers gezien de te verwachten publieke en juridische reacties.

Effecten van loyaliteitsprogramma's

In theorie zou een klantenkaartprogramma een positief effect hebben op de loyaliteit, in gedrag en in houding, van de klanten in het programma. Het is een empirische vraag in hoeverre dat inderdaad het geval is. In een onderzoeksproject naar de effecten van klantenkaarten op koopgedrag van klanten (Leenheer, Bijmolt, Van Heerde en Smidts, 2002) hebben we de beschikking over gegevens van supermarktbestedingen van ongeveer 2000 huishoudens uit het consumentenpaneel van GfK Panel Services Benelux, over een periode van twee jaar. Per huishouden is bekend welke klantenkaarten men heeft en hoe de supermarktbestedingen zijn verdeeld over 20 ketens (*share-of-wallet*). Daardoor is het mogelijk de effecten van loyaliteitsprogramma's te onderzoeken,

terwijl rekening wordt gehouden met de bestedingen en het klantenkaartbezit bij een bepaalde supermarkt én alle concurrenten. Bovendien houden we in de analyse rekening met het feit dat huishoudens niet willekeurig zijn toegewezen aan de programma's, maar zelf hebben verkozen al dan niet een klantenkaart te nemen van de verschillende supermarktketens.

Het koopgedrag wordt per huishouden opgesplitst in twee componenten, te weten:

- a. de beslissing van een consument een bepaalde supermarkt al dan niet op te nemen in de beperkte verzameling van supermarkten die bezocht worden en
- b. het *share-of-wallet* dat er wordt besteed, gegeven dat een huishouden iets koopt bij een bepaalde supermarkt.

Vervolgens worden deze twee componenten gerelateerd aan verklarende variabelen in een zogenaamd TOBIT-II model. In dit model worden de effecten van winkelkenmerken (aantal vestigingen per provincie, prijsniveau en winkelomvang) en huishoudkenmerken (aantal personen en inkomen) meegenomen, maar natuurlijk ook variabelen die aangeven per huishouden welke klantenkaarten men heeft. Bovendien onderzoeken we de verschillen tussen alternatieve vormen van loyaliteitsprogramma's, bijvoorbeeld met versus zonder de mogelijkheid punten te sparen. Uit de analyses blijkt dat een loyaliteitsprogramma in de meeste gevallen een positief effect heeft op het *share-of-wallet* van een huishouden bij de desbetreffende supermarktketen. Voor een detaillist is de belangrijke conclusie te trekken dat een klantenkaart met spaarpuntensysteem beter werkt dan een kaart zonder.

Effecten van marktinstrumenten op de componenten van de totale verkopen

Stel dat een winkelketen niet alleen een klantenkaartprogramma, maar ook een klantenteller bij de winkelingang en een geautomatiseerd kassa-

systeem heeft. Het combineren van de bestanden die deze registratiesystemen opleveren, kan leiden tot waardevolle inzichten voor de detaillist.

De verkoop in een vestiging op een bepaalde dag is een belangrijke maatstaf voor het succes van deze winkel. Voor een detaillist is het dus van groot belang te weten welke factoren van invloed zijn op deze verkopen. Het analyseren van verkoopcijfers op winkelniveau is dan ook één van de kernrichtingen binnen kwantitatief marketingonderzoek. In een onderzoeksproject (Van Heerde en Bijmolt, 2004) worden verschillende bestanden gecombineerd om te analyseren welke factoren van invloed zijn op de verkopen van winkelvestigingen.

Het combineren van gegevens van de klantenteller, de klantenkaart en de kassaverkopen maakt een interessante decompositie van de totale verkopen mogelijk. De verkopen op een dag in een bepaalde vestiging kunnen worden opgesplitst in verkopen aan klantenkaarthouders, de verkopen aan klanten zonder klantenkaart en verkopen aan kijkers-niet-kopers. Deze componenten kunnen vervolgens worden gesplitst in respectievelijk: 1. het aantal klantenkaarthouders dat iets koopt maal het hun gemiddelde bestedingen, plus 2. het aantal kopers zonder klantenkaart dat iets koopt maal hun gemiddelde bestedingen, plus 3. het aantal kijkers-niet-kopers maal hun gemiddelde bestedingen. De laatste term in de vergelijking is natuurlijk per definitie gelijk aan nul, maar het aantal kijkers-niet-kopers is meegenomen in het model omdat dat enerzijds een indicatie is voor potentiële verkopen en anderzijds een negatief effect kan hebben door drukte in de winkel. De overige vijf deelcomponenten van de verkopen gebruiken we als afhankelijke variabelen in een multivariaat analysemodel. Als verklarende variabelen hebben we informatie over marketinginspanningen zoals huis-aan-huis folders

en direct mail campagnes. Tevens corrigeren we voor een groot aantal omgevingsfactoren zoals de dag van de week en of er al dan niet een koopavond was.

Een campagne met huis-aan-huis folders blijkt een enorme toename in het aantal bezoekers aan de winkel te genereren, zowel klantenkaarthouders, niet-klantenkaarthouders als kijkers-niet-kopers. Het instrument direct mail is gericht op klantenkaarthouders: de groep van min of meer vaste klanten. Het blijkt dan ook met name effect te hebben op het bezoek- en bestedingsgedrag van deze groep klanten.

Slotopmerking

Onderzoeken op dit terrein zijn veelal praktijkgericht; ze leveren regelmatig concrete aanbevelingen op voor marketing-managers. Maar onderzoeksprojecten hebben vaak ook een theoretische component; dan gaat het vooral om het wat, hoe en waarom van consumentengedrag en de werking van marktinstrumenten. Verder kunnen deze onderzoeken door de specifieke vraagstellingen en gegevensbestanden van belang zijn voor het verder voortschrijden van methodologische inzichten.

LITERATUUR

Leenheer, J., Bijmolt, T.H.A., Heerde, H.J. van & Smidts, A. (2002). *Do loyalty programs enhance behavioral loyalty: An empirical analysis accounting for program design and competitive effects*. Tilburg: CentER, Discussion Paper (Int. r. no. 2002-65).

Heerde, H.J. van & Bijmolt, T.H.A. (te verschijnen, 2004). *Is a bird in the hand worth two in the bush? Analyzing loyalty program members, non-members and non-buyers*. Tilburg: CentER.

TAMMO H.A. BIJMOLT is hoogleraar Marketing Research bij de Faculteit der Economische Wetenschappen van de Universiteit van Tilburg. E-mail: <t.h.a.bijmolt@uvt.nl>.



Strategische reële optietheorie in de praktijk een voorbeeld uit de LCD industrie

Onzekerheid, concurrentie en technologische vooruitgang zijn elementen die karakteristiek zijn voor de hedendaagse kenniseconomie. In zo'n omgeving is het belangrijk voor bedrijven om regelmatig in nieuwe product(ie)ontwikkelingen te investeren om bij te blijven. De hiermee gemoeide investeringsbedragen zijn doorgaans niet kinderachtig en daarom kunnen verkeerde investeringen leiden tot rampzalige verliezen. Dit artikel presenteert een gloednieuwe methode waarmee investeringsprojecten gewaardeerd kunnen worden.

KUNO J.M. HUISMAN EN PETER M. KORT

De strategische reële optietheorie neemt expliciet onzekerheid en concurrentie in beschouwing en is daarom uitermate geschikt om hedendaags investeringsbeleid te ondersteunen. Een karakteristiek voorbeeld voor de moderne economie vormt de LCD industrie, die gekenmerkt wordt door prijsfluctuaties, snelle technologische voor-

uitgang en een oligopolistische marktstructuur.

Het artikel begint met een beschouwing over de strategische reële optietheorie. Dit wordt gevolgd door een beknopt overzicht van de LCD industrie, waarna tenslotte een schets gegeven wordt van een investeringsanalyse binnen deze industrie met behulp van reële opties.

STRATEGISCHE REËLE OPTIETHEORIE

Investeren houdt in dat een onmiddellijke uitgave gepleegd moet worden in ruil voor toekomstige opbrengsten. Investeringsbeslissingen zoals het wel of niet investeren in de volgende generatie van productiefaciliteiten voor LCD schermen ('platte schermen' voor bijvoorbeeld laptops en computer monitoren), het wel of niet investeren in een nieuwe spoorlijn (zoals de Betuwelijn), of het wel of niet opzetten van een onderzoekslaboratorium met het doel om nieuwe geneesmiddelen tegen een zekere vorm van kanker te vinden, zijn van groot belang voor de betreffende ondernemingen, alsook voor de maatschappij als geheel.

Op het moment dat de investering gepleegd wordt, bestaat er onzekerheid met betrekking tot de toekomstige opbrengsten. Deze onzekerheid kan veroorzaakt worden door bijvoorbeeld: onzekerheid over toekomstige prijzen, onzekerheid over de toekomstige marktvraag, onzekerheid over het verloop van technologische vooruitgang, het onvoorspelbare gedrag van concurrenten en onzekerheid betreffende overheidsregulering.

Onzekerheid en reële opties

In werkelijkheid worden investeringsbeslissingen meestal genomen aan de hand van de netto contante waarde (NCW), welke simpelweg de verdisconteerde verwachte toekomstige opbrengsten vergelijkt met de huidige investeringsuitgave. Van publicaties uit vooral de laatste tien jaar is bekend dat het toepassen van het NCW criterium tot verkeerde investeringsbeslissingen kan leiden in het geval van onomkeerbare investeringen in een onzekere omgeving (zie bijvoorbeeld Dixit en Pindyck 1996). De reden is dat de NCW regel geen rekening houdt met de optiewaarde van het uitstellen van een investering. Om dit te voorkomen dient het NCW concept gewijzigd te worden middels introductie van de reële optietheorie.

De reële optietheorie is gebaseerd op de observatie dat een investeringsmogelijkheid een analogie vertoont met een call-optie in de financiële markten: waar een call-optie de bezitter het recht geeft, maar niet de verplichting, om in de toekomst een *aandeel* aan te schaffen tegen een vaste prijs, daar geldt voor een onderneming met een investeringsmogelijkheid dat deze onderneming het recht heeft, maar niet de verplichting, om in de toekomst een *activum* te kopen. Om deze analogie te benadrukken wordt zo'n investeringsmogelijkheid een 'reële optie' genoemd. Op het moment dat de onderneming de onomkeerbare investering pleegt, verliest hij de reële optie in die zin dat de onderneming de optie om de investering uit te stellen opgeeft. Uitstel van investeren kan waardevol zijn omdat later informatie met betrekking tot de realisaties van *stochastische processen* beschikbaar kan komen die de winstgevendheid van de investering beïnvloedt. Deze informatie kan bijvoorbeeld het verloop van prijzen, regulering en innovaties betreffen. De verloren optiewaarde is een zogenaamde *opportunity cost* en moet als zodanig opgenomen worden in de investeringskosten.

Onomkeerbaarheid

De NCW regel kan correct toegepast worden als de investering omkeerbaar is of met andere woorden, als de investering ongedaan kan worden gemaakt op het moment dat de markt zich slechter ontwikkelt dan van tevoren voorspeld is. Maar juist onomkeerbaarheid blijkt in de praktijk een belangrijk kenmerk te zijn van investeringen. Investeringsbeslissingen zijn onomkeerbaar als ze alleen van nut zijn voor een bepaalde onderneming of industrie. Advertenties zijn bijvoorbeeld specifiek bedoeld voor een bepaalde onderneming en kunnen niet ongedaan worden gemaakt nadat de investering gepleegd is. Investeren in een olietanker is een voorbeeld van een industriespecifieke investering: een olietanker kan alleen gebruikt

worden om olie te vervoeren. Als de olietanker een slechte investering blijkt te zijn omdat de olieprijs flink gedaald is, dan zullen andere ondernemingen dit ook een slechte investering vinden. Dit betekent dat het praktisch gezien onmogelijk is om een olietanker te verkopen vanwege slechte marktomstandigheden. Verder geldt vanwege het zogenaamde *lemons problem* (Akerlof 1970) dat ook investeringen die niet alleen nuttig zijn voor een bepaalde onderneming of bedrijfstak, vaak gedeeltelijk of in het geheel onomkeerbaar zijn.

Speltheorie en reële opties

Het grote verschil met financiële opties is dat reële optiewaarden vaak sterk onderhevig zijn aan strategische interacties: het uitoefenen van een reële optie door een onderneming resulteert vaak in de beëindiging of waardereductie van corresponderende reële opties van andere ondernemingen. Bijvoorbeeld, de optie om een verkoop-punt te vestigen op een bepaalde attractieve locatie bestaat zolang de concurrent deze locatie niet gekocht heeft.

Strategische interacties komen vooral voor binnen een oligopolistische marktstructuur, waarmee een markt met een beperkt aantal bedrijven bedoeld wordt. De oligopoliestructuur doet steeds meer opgeld in de moderne economie. Zoals opgemerkt door G. Pawlina (Pawlina 2003, 4) wordt dit in de hand gewerkt door de golf van fusies, acquisities en dereguleringsgedurende de laatste tien jaar. Oligopolistische markten zijn niet alleen te vinden in traditionele markten zoals telecommunicatie, energie en transport, maar ook in van oudsher meer competitieve markten (auto's en de farmaceutische industrie) of bedrijfstakken zoals de semi-conductor industrie (computerchips) en de LCD industrie.

We kunnen dus concluderen dat het belangrijk is om bij investeringsanalyses het gedrag van concurrerende bedrijven mee te nemen. Dit vereist het inbouwen van speltheorie in de reële optie-

theorie, hetgeen gebeurt binnen het gloednieuwe onderzoeksgebied genaamd *strategische reële optietheorie*.¹

Toepassing

Ter illustratie van het belang van dit onderzoeksgebied besteden we in dit artikel aandacht aan de LCD industrie. Bij investeringen in deze industrie gaat het om grote bedragen. Daarom is het belangrijk om goede investeringsbeslissingen te nemen. Dit is geen eenvoudige zaak daar de LCD industrie gekenmerkt wordt door grote prijsfluctuaties, snelle technologische vooruitgang en strategische interacties vanwege de aanwezigheid van een beperkt aantal grote spelers. Het meenemen van strategische interacties en de door de eerste twee karakteristieken veroorzaakte onzekerheid in de investeringsbeslissing vereist het toepassen van strategische reële optietheorie.

Eerst wordt een beknopt overzicht gegeven van de LCD industrie, gevolgd door een schets van een investeringsanalyse binnen deze industrie met behulp van reële opties.

DE LCD INDUSTRIE

LCD's zijn haast niet weg te denken uit onze huidige wereld. De beeldschermen in een groot aantal hedendaagse producten, zoals telefoons, auto-navigatiesystemen en laptops, zijn zogenaamde *liquid crystal displays*. Daarnaast worden LCD's meer en meer toegepast in computer monitoren en televisies. De voordelen van LCD's boven de zogenaamde *cathode ray tubes* (CRT's), de conventionele beeldschermen voor computer monitoren en televisies, hebben betrekking op onder meer de dikte van het scherm, het energieverbruik en de levensduur. De (huidige) nadelen van LCD's, zoals de prijs, de response-tijden (vegen bij hoge beeldsnelheid) en beperkte kijkhoek, lijken de huidige snelle opmars van LCD's niet tegen te houden.

Technologische vooruitgang

Reeds in 1888 ontdekte de Oostenrijker Friedrich Reinitzer de basis van de huidige LCD's, de *liquid crystals*, door cholesteryl benzoate te smelten. Bijna 80 jaar later startte het Amerikaanse bedrijf RCA met het ontwikkelen van LCD's voor horloges. In 1968 was het eerste experimentele LCD klaar. Halverwege de jaren tachtig van de vorige eeuw ontstond een nieuwe markt voor LCD's met de introductie van de laptop. Eind jaren negentig werden de eerste LCD monitoren verkocht. In 2003 was de verkoopwaarde van LCD monitoren hoger dan de verkoopwaarde van CRT monitoren. De verwachting is dat dit jaar meer LCD monitoren verkocht worden dan CRT monitoren. Voeg daarbij de snelle opmars van de LCD televisie en het succesverhaal van de LCD's is compleet. De technologische vooruitgang in het productieproces van LCD's, waarbij steeds grotere glasplaten, aangeduid met nieuwe generaties, in het productieproces opgenomen worden, maakt het mogelijk steeds grotere schermen te produceren.

Onzekerheid en reële opties

Het enige dat de opmars van LCD's lijkt te kunnen belemmeren is de tijdige beschikbaarheid van productiecapaciteit. De investering in een LCD fabriek is onderhevig aan verschillende onzekerheden. Voorbeelden hiervan zijn het tijdig beschikbaar zijn van de machines voor het productieproces, de verkoopprijs van de schermen en de productiekosten. Deze onzekerheden creëren een waarde van uitstel van de investeringsbeslissing, omdat op een later moment meer informatie beschikbaar is zodat dan de investeringsbeslissing meer gefundeerd genomen kan worden. De reële optietheorie houdt rekening met deze waarde van uitstel en is daarom het geëigende gereedschap om de investering in een LCD fabriek te analyseren.

Speltheorie en reële opties

De LCD industrie kan het beste beschreven worden als een oligopolie, het aantal producenten met een significante productiecapaciteit zijn te tellen op één hand. De twee grootste LCD fabrikanten van dit moment zijn de Koreaanse bedrijven Samsung Electronics (20%) en LG.Philips LCD (16%). Dit laatste bedrijf is een 50/50-joint venture tussen het Koreaanse LG Electronics en Koninklijke Philips Electronics N.V. uit Nederland. Daarna volgen de Taiwanese bedrijven AU Optronics (10%) en Chi Mei Optoelectronics (10%) en het Japanse Sharp (8%). In zo'n omgeving is het van belang in de gaten te houden hoe investeringsbeslissingen het gedrag van concurrenten beïnvloeden en daartoe moet speltheorie toegepast worden. In combinatie met de aanwezigheid van onzekerheid kunnen we concluderen dat de strategische reële optietheorie het enige juiste instrument is om investeringen in de LCD industrie te analyseren.

Plan van aanpak (schets)

Huisman en Kort (2004) presenteren met behulp van strategische reële optietheorie een model dat als basis zou kunnen dienen voor een investeringsanalyse in de LCD industrie. Dit model beschrijft twee bedrijven die concurreren op één markt, bijvoorbeeld de markt voor LCD producten. Beide bedrijven hebben de optie om te investeren in een nieuwe generatie productiefaciliteiten. Gekozen kan worden tussen de huidige beste technologie of de volgende beste technologie welke nu nog niet beschikbaar is. Produceren met de volgende beste technologie levert een bedrijf een hogere winst op dan produceren met de huidige beste technologie. De winst van een bedrijf wordt ook beïnvloed door de investeringsbeslissing van de concurrent. De winst voor een bedrijf is het hoogst als het bedrijf de enige is die in de volgende beste technologie investeert. De tijd

MOOI

waarop de volgende beste technologie beschikbaar komt is onzeker. De optimale investeringsmomenten en de waardes van de verschillende investeringsopties kunnen met behulp van de aanpak beschreven in (Huisman & Kort 2004) bepaald worden.

NOTEN

1. Op de universiteit van Tilburg is reeds ruime ervaring opgedaan met dit soort onderzoek getuige de proefschriften van (Huisman 2001), (Thijssen 2003) en (Pawlina 2003) en de inaugurele rede van (Kort 2003).

LITERATUUR

Akerlof, G.A. (1970). The market for lemons: qualitative uncertainty and the market mechanism. *The Quarterly Journal of Economics*, 84, 488-500.

Dixit, A.K. & R.S. Pindyck (1996). *Investment under uncertainty, second printing*. Princeton: Princeton University Press.

Huisman, K.J.M. (2001). *Technology investment: a game theoretic real option approach*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Huisman, K.J.M. & P.M. Kort (2004). Strategic technology adoption taking into account future technological improvements: a real options approach. *Forthcoming in European Journal of Operational Research*.

Kort, P.M. (2003). *Dynamisch investeringsgedrag onder onzekerheid, technologische vooruitgang en competitie*. Inaugurele rede. Tilburg: Universiteit van Tilburg.

Pawlina, G. (2003). *Corporate investment under uncertainty and competition: a real options approach*. Tilburg: Universiteit van Tilburg (CentER Dissertation Series 117)

Thijssen, J.J.J. (2003). *Investment under uncertainty, market evolution and coalition spillovers in a game theoretic perspective*. Tilburg: Universiteit van Tilburg (CentER Dissertation Series 114)

KUNO HUISMAN is Operations Research consultant bij het Centre for Quantitative Methods CQM B.V. in Eindhoven. E-mail: <huisman@cqm.nl>.

PETER KORT is als hoogleraar dynamische optimalisering in de economie en de operations research verbonden aan het departement Econometrie en Operations Research van de Universiteit van Tilburg en is tevens werkzaam binnen het departement Algemene Economie van de Universiteit Antwerpen. E-mail: <kort@uvt.nl>.

ONNO BOXMA

‘Vermijd zoveel mogelijk het gebruik van formules’, zo staat het in de voorschriften voor columnisten van STATOR. Alsof je een tennisser instrueert ‘vermijd zoveel mogelijk het gebruik van het racket’. Twee columns lang heb ik me met typerende braafheid aan de voorschriften gehouden. Dit stukje heet echter ‘Mooi’, en bij ‘mooi’ denkt u vast net als ik aan formules (of mooi niet?).

Kansrekening en analyse

Er is veel moois in de kansrekening. Haar schoonheid heeft diverse gedaanten, zoals die van de paradox. Die paradoxen berusten meestal op de voortdurende worsteling, niet alleen te denken in termen van gemiddelden, maar juist gevoel te ontwikkelen voor de afwijking van het gemiddelde. Ook de interactie tussen stochastiek en andere gebieden van de wiskunde leidt tot schoonheid. Mijn leermeester J.W. Cohen liet mij zien hoe stochastische problemen vertaald kunnen worden tot problemen uit de analyse. Zijn gebruik van Laplace-transformaties en genererende functies leidde dikwijls tot vraagstukken betreffende complexe functietheorie. In zijn handen werd dat soms pure schoonheid. Maar de omgekeerde weg kan ook: een combinatorisch [2] of analytisch probleem, dat onverwacht opgelost wordt met behulp van kansrekening. Dat laatste is het onderwerp van deze column.

Erst een triviaal voorbeeld. Zij $\lambda > 0$. De identiteit

$$\int_0^{\infty} e^{-\lambda t} t^n dt = \frac{n!}{\lambda^{n+1}}$$

volgt direct op probabilistische gronden door te bedenken dat $\lambda^{n+1} \frac{t^n}{n!} e^{-\lambda t}$ een kansdichtheid (Erlang-n) is. Een leuke afleiding van bovenstaande formule berust trouwens op herhaalde differentiatie van $\int_0^\infty e^{-\lambda t} dt = 1/\lambda$ naar λ .

Stirling

Voorbeeld 2 is ontleend aan Ross [3, p.177]. Ross geeft een niet al te rigoureuze, maar grappige, bewijs van de formule van Stirling, dat wil zeggen asymptotisch geldt $n! \sim n^n e^{-n} \sqrt{2\pi n}$.

Stel dat X_1, X_2, \dots onafhankelijk zijn, Poisson verdeeld met verwachting één. Zij $N_n = X_1 + \dots + X_n$. Dan is N_n Poisson verdeeld met verwachting n , dat wil zeggen

$$P(N_n = n) = e^{-n} \frac{n^n}{n!}, \quad n = 0, 1, \dots$$

Op zich al een mooie formule, nietwaar? Let op de $8n$ -en. Bedenk nu dat N_n verwachting en variantie gelijk aan n heeft. Stirling volgt dan uit de voorgaande formule, gecombineerd met de Centrale Limietstelling: voor n groot is

$$P(N_n = n) = P\left(-\frac{1}{\sqrt{n}} < \frac{N_n - n}{\sqrt{n}} \leq 0\right) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\frac{1}{\sqrt{n}}}^0 e^{-x^2/2} dx \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}}$$

Uw huiswerk voor deze keer: gebruik kansrekening om $\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{j=0}^n e^{-n} \frac{n^j}{j!}$ te berekenen.

Besselfunctie

Asmussen [1, p. 105] doet iets soortgelijks als Ross. In de analyse van de M/M/1 wachtrij heeft hij het, op zich bekende, asymptotische gedrag van de Besselfunctie $I_n(t)$ voor $t \rightarrow \infty$ nodig:

$$I_n(t) = \frac{e^t}{\sqrt{2\pi}} \left[t^{-1/2} - t^{-3/2} \frac{4n^2 - 1}{8} \right] + n^2 t^{-3/2} e^{-t} o(1), \quad t \rightarrow \infty.$$

Hij merkt op dat $I_n(t)$ een kansrekening interpretatie heeft: $I_n(t) = e^t P(S_t = n)$, met S_t het verschil tussen twee Poissonprocessen met intensiteit $1/2$, en gebruikt vervolgens voor $P(S_t = n)$ een hogere orde ontwikkeling van de Centrale Limietstelling om bovenstaande formule af te leiden.

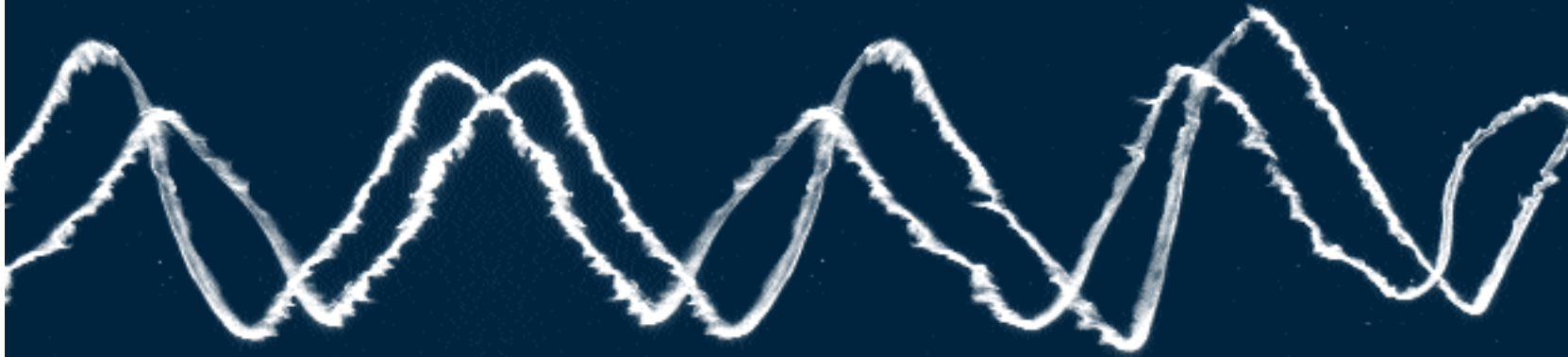
Laplace en kansrekening

Eerder schreef ik dat Laplacetransformaties kansrekeningproblemen kunnen vertalen naar problemen uit de analyse. Het mes snijdt echter aan twee kanten. Van Dantzig heeft in 1947 de ‘methode van de collectieve kenmerken’ geïntroduceerd. Daarbij krijgen Laplacetransformaties en genererende functies een puur probabilistische betekenis. Als Y een stochastische variabele is met dichtheid $f(\cdot)$, dan is de Laplacetransformatie $\phi(s) := \int_0^\infty e^{-st} f(t) dt$ te schrijven als $P(S > Y)$, met S negatief exponentieel verdeeld. Bepaling van de Laplacetransformatie $\phi(s)$ komt nu neer op berekening van een ermee gelieerde kans. Runnenburg, die deze methode krachtig heeft gepropageerd, laat in een mooi artikel in de congresbundel [4] zien hoe allerlei ingewikkelde Laplacetransformaties van wachttijdverdelingen e.d. kunnen worden bepaald door manipulatie van de met die transformaties gelieerde kansen. Over mooi gesproken: die bundel is de mooiste congresbundel die ik ken. Zij bevat niet alleen 14 artikelen van de meeste leidende wachtrijonderzoekers (zoals Cox, Keilson, Kingman, Prabhu en Takács) uit de jaren zestig maar ook uitgebreide discussies van de diverse deelnemers en het antwoord van de auteurs. Ook veertig jaar later nog van harte aanbevolen!

LITERATUUR

1. S. Asmussen (2003, 2nd ed.). *Applied Probability and Queues*. New York: Springer.
2. P. Erdős & J. Spencer (1974). *Probabilistic Methods in Combinatorics*. New York: Academic Press.
3. S.M. Ross (2000, 7th ed.). *Introduction to Probability Models*. San Diego: Academic Press.
4. W.L. Smith & W.E. Wilkinson, eds. (1965). *Proceedings of the Symposium on Congestion Theory*. Chapel Hill: The University of North Carolina Press.

ONNO BOXMA is hoogleraar Stochastische Besliskunde bij de Faculteit Wiskunde en Informatica van de TU Eindhoven. E-mail: <boxma@win.tue.nl>.



Nooit verwacht en toch gekregen

FRED STEUTEL

Een bekend adagium van statistici luidt: 'We hebben de mensen wel kunnen leren wat een verwachting is, maar niet wat variantie is.'. Ik ben bang dat dit een te optimistische kijk op de zaak is: het begrip verwachting (gemiddelde) wordt vaak verkeerd gebruikt of verkeerd geïnterpreteerd. Het woord verwachting zelf deugt eigenlijk al niet: de 'verwachte' uitkomst van een experiment is vaak helemaal niet een uitkomst die je zou (kunnen) verwachten. Gelukkig zijn veel mensen verstandig genoeg om niet al te veel belang te hechten aan verwachtingen.

Wie had dat nou verwacht?

De verwachting van een toevalsgrootheid is het gewogen gemiddelde van de mogelijke waarden die de grootheid kan aannemen. In veel gevallen komt dat gewogen gemiddelde helemaal niet overeen met wat je zou verwachten. Als je een 'willekeurig getal' kiest uit het interval $(0,1)$, dan gaat het nog: de verwachting is $0,5$ en je bent niet verbaasd als een experiment ongeveer $0,5$ oplevert. Maar, als je met een dobbelsteen gooit is het

'verwachte' aantal ogen $3\frac{1}{2}$, en niemand verwacht dat een dobbelsteen $3\frac{1}{2}$ oog zal laten zien. Het is nog erger bij het werpen met een munt, waarbij je een stap naar links doet (-1) bij de uitkomst kruis en een stap naar rechts $(+1)$ bij munt. De 'verwachte' afstand die per worp wordt afgelegd is natuurlijk nul, maar je weet zeker dat je niet stil blijft staan.

Als je het werpen met de munt voortzet, wordt het nog gekker. Je kunt je dan afvragen hoeveel worpen het duurt tot je positie 1 bereikt: voor het eerst vaker munt dan kruis. Dat kan natuurlijk alleen in een oneven aantal worpen. Met kans een half lukt het in één worp, met kans een achtste in drie worpen, en zo voort (nou ja). Het is niet zo moeilijk om de kans $p(2n+1)$ uit te rekenen dat $2n+1$ worpen nodig zijn om in 1 te komen. Het blijkt dan dat het 'verwachte aantal' worpen: $1 \cdot p(1) + 3 \cdot p(3) + 5 \cdot p(5) + \dots$ oneindig is! Maar dat is helemaal niet wat je te ververwachten hebt. Het is absoluut zeker dat je in een eindige tijd 1 bereikt; de kans dat je er binnen zeven worpen bent is al groter dan 80 procent.

Rampen en lampen.

Onlangs werd in *de Volkskrant* beweerd dat de kans op een vliegcrash zoals in de Bijlmer een kans had van 6 op de 100.000, 'gemiddeld zes rampen in honderdduizend jaar' werd er gezegd. Het hanteren van gemiddelden of verwachtingen over een zo lange tijd is zinloos: voordat die tijd verstreken is, zijn de omstandigheden zo veranderd dat de kansen geen enkele betekenis meer hebben; je kunt eigenlijk niet verder kijken dan, misschien, 25 jaar. Maar, ook een verwacht aantal van 0,0015 rampen in 25 jaar is niet erg verhelderend; het gebruik van verwachtingen heeft nog steeds weinig zin; je kunt eigenlijk alleen spreken van 'kansen per jaar'. Er is een soortgelijk probleem bij rampen met kerncentrales.

Er zijn hier eigenlijk twee problemen: de kansen die je wilt weten zijn heel klein en daarom moeilijk te schatten, en bovendien is de interpretatie van die kansen als gemiddelden per tijdseenheid problematisch. Het verband tussen kleine kansen en verwachtingen kan worden beschreven met van een Poisson-proces. Als het aantal rampen een Poisson-proces is met een kleine verwachting van μ rampen per jaar, dan is de kans op één of meer rampen per jaar ook (ongeveer) μ , terwijl de kans op twee of meer rampen in een jaar ongeveer $\frac{1}{2}\mu^2$ is, veel kleiner dan μ .

Een heel eenvoudig praktisch geval waarbij het schatten van kleine kansen moeilijk is, treedt op bij het testen van gloeilampen. Die hebben een tamelijk lange levensduur, zodat langdurige proeven nodig zijn om inzicht te krijgen in de kansverdeling en de verwachting van de brandduur.

Andere misverstanden.

Veel mensen weten wel dat, bijvoorbeeld bij levensduren, de begrippen verwachting en gemiddelde iets met elkaar te maken hebben. Om heel zeker te zijn, of heel deftig, zegt men dan niet levensverwachting of gemiddelde levensduur, maar 'gemiddelde levensverwachting'; zoiets als 'slotapothose'.

Een tweede misverstand betreft de verantwoordiging die een score beneden het gemiddelde oproept: schande! Terwijl toch bij de meeste verdelingen grofweg de helft van de verdeling links van het gemiddelde ligt: scores onder het gemiddelde zijn onvermijdelijk, maar niemand wil er van weten.

In veel toepassingen in de kansrekening en operations research wordt de verwachting als criterium gebruikt: de verwachte opbrengst, de verwachte wachttijd, en dergelijke. Deze criteria hebben alleen betekenis als de variantie niet groot is en als er sprake is van opbrengsten over een lange stabiele periode.

Het belang van het begrip verwachting komt het best tot uitdrukking in de Wet van de Grote Aantallen, die zegt dat het gemiddelde van een groot aantal (onafhankelijke) metingen van een stochastische grootheid meestal dicht bij de verwachting zal liggen. Het verwachtingscriterium heeft daarom vooral zin als een experiment vele malen wordt herhaald. Iemand die incidenteel naar een casino gaat, laat zich niet leiden door de grootte van de verwachte opbrengst – die is immers negatief, maar door de kleine kans op een hele grote opbrengst. Voor mensen die beroepshalve blackjack spelen ligt dat anders. Zij hebben een ingewikkelde speelstrategie met een heel kleine positieve verwachting; zij kunnen bij veel spelen een schamel loon verdienen. Ben van der Genugten, expert op het gebied van kansspelen, leek het niet aantrekkelijk om zijn hoogleraarssalaris te ruilen voor een blackjack-inkomen bij veertig spelluren per week.

Advies: gewoon blijven gokken; met een negatieve verwachting, maar met een positieve kans op een aardig winstje; wel op tijd stoppen natuurlijk.

FRED STEUTEL is emeritus hoogleraar kansrekening aan de TU Eindhoven; hij is redacteur van STATOR.

E-mail: <f.w.steutel@tue.nl>.



VVS-scriptieprijs 2003 voor Bart Huslage

Eervolle vermelding voor Ton Dieker

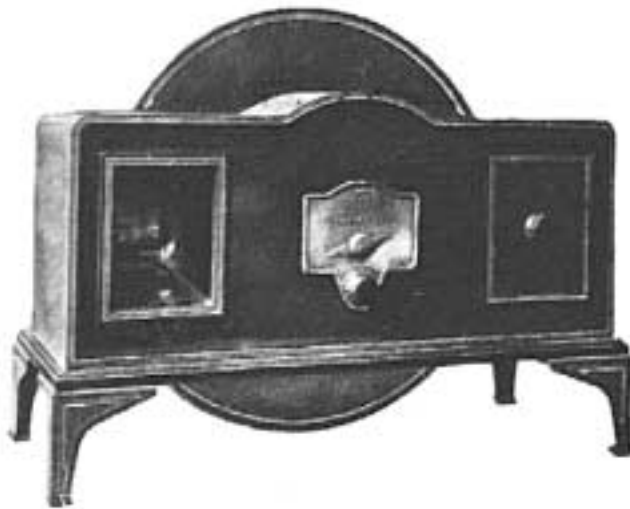
De jaarlijkse VVS-scriptieprijs voor Statistiek en Operationele Research werd na de Statistische Dag van 1988 ingesteld om bij studenten de belangstelling te bevorderen voor onderzoek naar en toepassing van praktisch relevante methoden uit de statistiek en operationele research.

De jury van de VVS-scriptieprijs 2003 had een lastige taak. Uit maar liefst 10 prima scripties, die ook nog eens bijna allemaal in uitstekend Engels waren geschreven, moest de jury een keuze maken. Na rijp beraad was de jury het unaniem eens. De winnaar van de VVS-scriptieprijs 2003 is Bart Huslage, van de vakgroep Econometrie en Operations Research van de Universiteit van Tilburg, voor zijn scriptie '*Collaborative Modeling in Design Optimization*', geschreven onder begeleiding van prof. dr. ir. D. den Hertog. Daarnaast heeft de jury een eervolle vermelding toegekend aan Ton Dieker van de vakgroep Econometrie en Operationele Research van de Vrije Universiteit Amsterdam voor zijn scriptie '*Simulation of Fractional Brownian Motion*', geschreven onder begeleiding van prof. dr. M.R.H. Mandjes.

De winnende scriptie van Bart Huslage handelt over het ontwerpen van multi-component producten zoals televisies, computers en mobiele telefoons. Met de bestaande technieken is het heel goed mogelijk om vast te stellen waaraan de afzonderlijke componenten moeten voldoen. Echter, dit is geen garantie dat de samenvoeging van deze onderdelen ook een optimaal product

oplevert. Daarvoor is het nodig dat de ontwerpteams van de afzonderlijk componenten samenwerken, de zogenoemde *collaborative modelling approach*. De scriptie van Huslage presenteert een bruikbaar handvat om te komen tot een goed samenwerkingsmodel om deze *collaborative modelling approach* te ondersteunen. In deze STATOR een artikel van zijn hand waarin hij zijn benadering nader toelicht.

Ton Dieker onderzoekt in zijn scriptie verschillende methoden om de fractionele Brownse beweging (fBb) te simuleren. Dit stochastische proces is door het werk van Benoît Mandelbrot in de jaren '60 van de vorige eeuw populair geworden en wordt thans met groot succes als model voor uiteenlopende verschijnselen in economie, natuurwetenschap en technische wetenschappen toegepast. Ton Dieker heeft een zeer gedegen onderzoek gedaan naar zowel exacte als ook approximatieve simulatietechnieken. De scriptie geeft blijk van een brede en diepgaande kennis van de materie, zowel op het gebied van de kansrekening als ook van de statistiek. De scriptie is helder geschreven, geeft een zeer goed overzicht van de problematiek, stelt op duidelijke wijze een aantal oplossingen voor en bespreekt hun voor- en nadelen. De jury was onder de indruk van het feit dat hij erin geslaagd is een scriptie van grote technische diepgang te schrijven die tegelijk uitstekend leesbaar is. De eerstvolgende STATOR zal een artikel van Ton Dieker over het onderwerp van zijn scriptie bevatten.



Compact modelleren voor multi-co

Het gelukte de Schotse uitvinder John Logie Baird in 1925 voor het eerst draadloos beelden over te brengen door het beeld mechanisch af te tasten met behulp van de Nipkow schijf. Het resultaat was een klein 30-lijnijg vertikaal opgebouwd rood-zwart beeld, maar het was televisie. Na de zogenoemde 'televisor' van Baird volgde met grote snelheid de ontwikkeling van het medium televisie door alle elementen die ontwikkeld waren samen te voegen. En de techniek schrijdt verder. Vandaag de dag maken ingenieurs bij het ontwerp-proces gebruik van zeer complexe simulatieprogramma's. Bart Husslage, winnaar van de VVS-scriptieprijs 2003, toont aan dat een juiste coördinatie van ontwerpprocessen bij het ontwerpen van multi-component producten essentieel is.

BART HUSSLAGE

Computers zijn niet meer weg te denken uit de dagelijkse praktijk van de industriële ingenieur. Bij het ontwerp-proces van steeds meer producten, zoals televisies en mobiele telefoons, worden simulatieprogramma's gebruikt om verscheidene scenario's door te rekenen. Vergelijking van deze

scenario's geeft de ingenieur de mogelijkheid een goed productontwerp te kiezen. De gebruikte simulatieprogramma's zijn vaak erg complex. Het is daarom dan ook niet mogelijk om expliciete input-output formules op te stellen. Vandaar dat deze programma's ook wel aangeduid worden als



Component producten

black boxes. Ondanks de grote rekenkracht van de huidige generatie computers zorgt de complexiteit van de ontwerpproblemen dat evaluaties erg tijdsintensief zijn. Rekentijden van enkele minuten tot enkele uren, of zelfs dagen, zijn niet ongevoelbaar. Het probleem is om instellingen te kiezen voor de ontwerpparameters (de input van de black box), zodanig dat de responsparameters (de output van de black box) resulteren in een goed productontwerp; zie Figuur 1.

Compact modelleren

Zoals al genoemd door Aarts (2002) in een eerdere editie van *STATOR*, kunnen kwantitatieve methoden met groot succes worden toegepast op bovenstaand probleem. Den Hertog en Stehouwer (2002) laten dit duidelijk zien. In hun aanpak wordt de black box vervangen door een benaderend compact model. Dit compacte model is gebaseerd op (tijdsintensieve) evaluaties van slim gekozen ontwerp-



Figuur 1. Een ontwerpprobleem.

parameterinstellingen. Omdat het resulterende compacte model een expliciete functie is, zijn functie-evaluaties erg snel. Dit levert niet alleen meer inzicht op in de onderliggende black box, maar opent ook de weg voor (niet-)lineair programmeren en andere optimaliseringstechnieken welke gebruikt kunnen worden om tot een goed productontwerp te komen. De compacte modellen-aanpak van Den Hertog en Stehouwer bestaat uit vier stappen, te weten: probleem specificatie, *design of computer experiments*, compact modelleren en ontwerpoptimalisatie.

Stap 1: Probleem specificatie

In de eerste stap worden alle ontwerp- en responsparameters gedefinieerd en de simulatietijd en het aantal benodigde simulaties bepaald. Naast restricties op individuele ontwerpparameters (de onder- en bovengrenzen) kunnen er ook restricties worden opgelegd aan combinaties van ontwerpparameters. Al deze restricties samen vormen de ontwerpruimte voor het product, ofwel de verzameling van alle toegelaten productontwerpen. Vaak gelden er ook nog restricties voor de responsparameters. Aangezien waarden van responsparameters pas bekend zijn nadat een simulatie heeft plaatsgevonden, moet na afloop nog gecontroleerd worden of de geobserveerde responses aan alle restricties voldoen.

Stap 2: Design of computer experiments

Wanneer de ontwerpruimte bekend is, moet bepaald worden welke ontwerpen daadwerkelijk gesimuleerd gaan worden. De verzameling van al deze simulatiepunten wordt vaak aangeduid als het simulatieschema. Doordat het simuleren tijdsintensief is zal het aantal simulatiepunten beperkt zijn. Niettemin zullen de geobserveerde simulatieresultaten toch informatie moeten verschaffen over de volledige ontwerpruimte. Dit kan bereikt worden door de simulatiepunten zo goed mogelijk over de ontwerpruimte te verdelen.

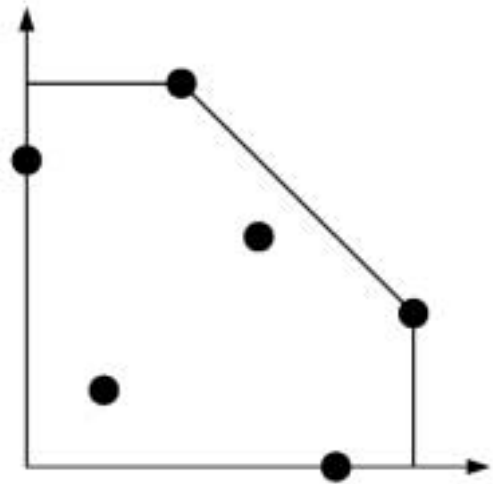
Een simulatieschema dat de gehele ruimte overdekt wordt *space-filling* genoemd. Stel nu dat er twee productontwerpen gesimuleerd worden die alleen verschillen in de instelling van een bepaalde ontwerpparameter. Wanneer deze parameter geen grote invloed heeft op het uiteindelijke productontwerp, dan geeft dit min of meer dezelfde simulatieresultaten (er wordt gebruik gemaakt van deterministische simulatie). Hierdoor verliezen we dus kostbare simulatieresultaten. Om dit te voorkomen moet elk simulatiepunt zoveel mogelijk verschillende instellingen hebben voor elk van de ontwerpparameters. Het simulatieschema is dan *non-collapsing*. Zie Figuur 2 voor een voorbeeld van een *space-filling* en *non-collapsing* simulatieschema.

Stap 3: Compact modelleren

Na de simulatie van alle simulatiepunten kunnen de geobserveerde simulatieresultaten gebruikt worden om een compact model te construeren voor de black box. Dit compact model is een benaderingsmodel voor de echte (onbekende) black box functie. De typen modellen die in de praktijk het meeste gebruikt worden zijn polynomen, radial basis functies, neurale netwerken en Kriging functies.

Stap 4: Ontwerptimalisatie

Met de geconstrueerde expliciete functie (het compact model) kan inzicht worden verkregen in het gedrag van de black box. Ook kunnen functie-evaluaties snel uitgevoerd worden. Technieken als (niet)linear programmeren kunnen daarom worden toegepast om een zo goed mogelijk productontwerp te vinden dat voldoet aan alle restricties op de ontwerp- en responsparameters. Aangezien het resulterende productontwerp een benadering zal zijn van het echte (onbekende) optimum is het slim om het gevonden productontwerp ook daadwerkelijk te simuleren. Een reëel probleem blijft dat ontwerpparameters tijdens het fabricageproces onderhevig zijn aan ruis. Buiten optimaliteit alleen moet er dus ook serieus gekeken worden

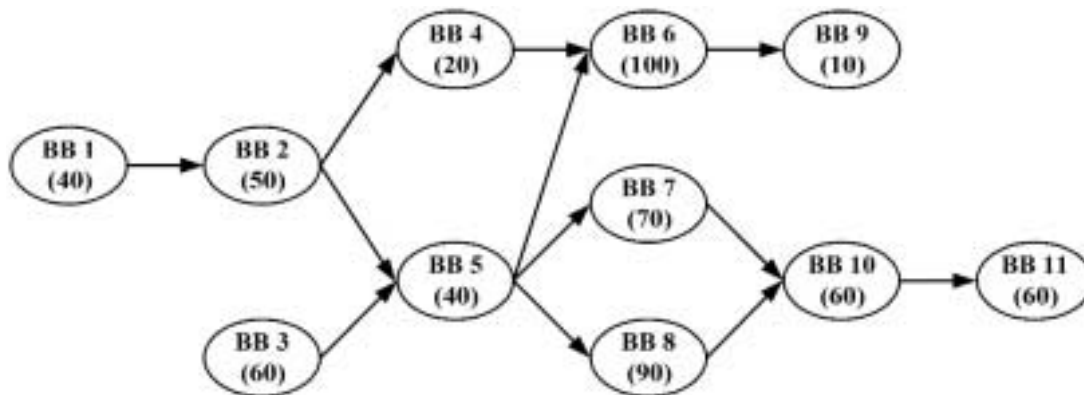


Figuur 2. Een *space-filling* en *non-collapsing* simulatieschema.

naar de robuustheid van een ontwerp. Dit kan bijvoorbeeld getest worden met een techniek als *Monte-Carlo sampling* op het compacte model.

Multi-component producten

Technologisch geavanceerde producten, zoals auto's of vliegtuigen, bestaan uit meerdere complexe componenten. Het ontwerpproces van ieder van deze afzonderlijke componenten is vaak verdeeld over gespecialiseerde teams van ingenieurs. Elk van deze ontwerpteam heeft de beschikking over eigen complexe simulatieprogramma's die gebruikt worden om verschillende scenario's door te kunnen rekenen. Zou bovenstaande compacte modellen aanpak worden toegepast op elke component afzonderlijk, dan is het mogelijk een goed ontwerp te vinden voor alle componenten. Er is echter geen garantie dat dit compatibele componenten oplevert, laat staan een goed productontwerp. Dit vraagt om een aanpak die rekening houdt met de relaties tussen de verschillende componenten en de ontwerpprocessen van deze gekoppelde componenten coördineert. In de *collaborative* compacte modellen aanpak van Husslage et al. (2003) wordt die aanpak uitgebreid naar het meer algemene geval waarin sprake is van meerdere gekoppelde black boxes (de componenten).



Figuur 3. Een voorbeeld van elf gekoppelde black boxes.

In Figuur 3 wordt een voorbeeld gegeven van relaties tussen black boxes. In dit voorbeeld zijn er elf black boxes (BB) die gekoppeld zijn via hun responsparameters. Dit houdt in dat de output van een black box input kan zijn van andere black boxes. Bijvoorbeeld, de hoogte en breedte van een bepaalde component kan restricties opleggen aan het ontwerp van een andere component. Gebruikmakend van de relaties tussen de black boxes moet bepaald worden hoe de diverse ontwerpprocessen gecoördineerd dienen te worden.

Sequentiële aanpak

Het voorbeeld in Figuur 3 impliceert een ordening binnen de ontwerpprocessen, doordat de input van verschillende black boxes afhangt van simulatieresultaten van voorgangers. Een mogelijke coördinatie-aanpak is daarom het sequentieel aflopen van de ontwerpprocessen. Dit houdt in dat het ontwerpproces van een component alleen gestart wordt als alle simulatieresultaten van al zijn voorgangers bekend zijn. Bijvoorbeeld, in Figuur 3 wordt gestart met de black boxes 1 en 3, aangezien dit de enigen zijn zonder voorgangers. Wanneer alle simulaties van black box 1 klaar zijn kan gestart worden met black box 2. Merk op dat black box 5 pas kan starten als alle simulatieresul-

taten van black box 2 en 3 bekend zijn. Op eenzelfde manier kunnen de overige zeven ontwerpprocessen afgewerkt worden. De totale tijd die zo nodig is om alle ontwerpprocessen te doorlopen wordt de doorlooptijd genoemd. Dit is één van de aspecten die gebruikt kan worden om verschillende coördinatie-aanpakken met elkaar te vergelijken. In het voorbeeld in Figuur 3 geven de nummers tussen haakjes de tijd die nodig is om één simulatie uit te voeren (in minuten). Om het voorbeeld simpel te houden wordt er aangenomen dat alle black boxes 20 scenario's moeten evalueren om tot een goed compact model te komen. De doorlooptijd kan nu gevonden worden door het langste pad in Figuur 3 te berekenen. Dit is het pad via de black boxes 1, 2, 5, 8, 10 en 11, wat in een doorlooptijd van 6800 minuten resulteert.

Om de doorlooptijd te verkorten zou alvast gestart kunnen worden met één simulatie bij een black box wanneer al zijn voorgangers de simulatieresultaten van één scenario klaar zouden hebben. In Figuur 3 zou dit inhouden dat wederom gestart wordt met het ontwerpproces bij black boxes 1 en 3. Echter, wanneer er één scenario geëvalueerd is bij black box 1, kan al gestart worden met één simulatie bij black box 2. Een simulatie bij black box 5 kan uitgevoerd worden als black boxes 2 en 3 beide klaar zijn met de evaluatie van één

scenario. Op eenzelfde manier worden alle scenario's één voor één afgelopen. Het moge duidelijk zijn dat deze aanpak de berekening van de doorlooptijd erg compliceert, zelfs voor kleine problemen. Gelukkig is het mogelijk om een formule af te leiden die het mogelijk maakt de doorlooptijd van deze coördinatie-aanpak snel te kunnen bepalen. Voor het voorbeeld in Figuur 3 kan met deze aanpak de doorlooptijd gereduceerd worden tot 2140 minuten.

Parallele aanpak

In plaats van een sequentiële aanpak zou er ook gekozen kunnen worden voor een parallelle aanpak. Dit houdt in dat elke component afzonderlijk beschouwd wordt, zonder acht te slaan op de bestaande relaties tussen de componenten. Vanuit een oogpunt van tijd is dit duidelijk beter dan een sequentiële aanpak. De doorlooptijd is in dit geval gelijk aan het maximum van de totale simulatietijden van de afzonderlijke black boxes. In het voorbeeld in Figuur 3 is de doorlooptijd 2000 minuten, welke veroorzaakt wordt door black box 6. Echter, door de relaties tussen black boxes te negeren is de kans groot dat de geconstrueerde compacte modellen erg slecht zijn. Zouden deze modellen gebruikt worden in het beslissingsproces, bijvoorbeeld bij het berekenen van een optimaal productontwerp, dan kan dit serieuze problemen opleveren. Een parallelle aanpak heeft echter ook zijn voordelen. Zo is het coördinatieproces een stuk inzichtelijker en flexibeler dan bij een sequentiële aanpak. Daarom wordt er bij de collaborative compacte modellen aanpak veel aandacht besteed aan verschillende aspecten van mogelijke coördinatieaanpakken. Vergelijking van al deze aspecten zal tot een keuze leiden voor een coördinatie-aanpak die het beste bij het probleem aansluit.

Tot slot

Bovenstaande discussie laat zien dat een juiste coördinatie van ontwerpprocessen essentieel is in het ontwerpen van multi-component producten. Vandaar dat in deze tekst de nadruk gelegd wordt op de eerste stap van de collaborative compacte modellenaanpak (de probleem specificatie). Vaak kan al veel informatie verkregen worden door het nader bekijken van de probleemstructuur. Probleemgebieden komen zo sneller aan het licht en verschillende aanpakken kunnen bekeken en vergeleken worden zonder dat er ook maar één tijdsintensieve simulatie aan te pas komt. Een succesvolle toepassing van de collaborative compacte modellenaanpak wordt gegeven door Stinstra et al. (2003). Zij passen deze aanpak toe op verschillende onderdelen van een kleurentelevisie bij LG Philips in Eindhoven en weten zo ontwerpen te vinden die 50 procent beter zijn dan de huidige ontwerpen. Wanneer het moment om te simuleren aanbreekt blijkt het vinden van goede simulatieschema's erg belangrijk te zijn, maar vooralsnog zeer lastig. Dit is dan ook het onderwerp van ons huidige onderzoek.

LITERATUUR

- Emile Aarts (2002). Optimalisering rationaliseert ontwerpen. *STATOR* 4, 19-21.
- Dick den Hertog & Peter Stehouwer (2002). Optimizing color picture tubes by high-cost nonlinear programming. *European Journal of Operational Research* 140, 197-211.
- Bart Husslage, Edwin van Dam, Dick den Hertog, Peter Stehouwer & Erwin Stinstra (2003). Collaborative metamodeling: Coordinating simulation-based product design. *International Journal of Concurrent Engineering: Research and Applications* 11(4), 267-278.
- Erwin Stinstra, Peter Stehouwer & Joost van der Heijden (2003). Collaborative tube design optimization: An integral meta-modeling approach. *Proceedings of the fifth ISSMO conference on engineering design optimization*, Como (It).

BART HUSSLAGE is als promovendus verbonden aan het departement Econometrie & Operations Research van de Universiteit van Tilburg (UvT). E-mail: <b.g.m.husslage@uvt.nl>.



Met het streepje op de e

De Nationale Wetenschapsquiz van 2003 was de tiende editie. De televisieuitzending - inclusief leuke proefjes en spetterende experimenten - was op kerstavond en trok ruim een miljoen kijkers. De quizvragen stonden in 25 deelnemende kranten en op de site van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO), www.nwo.nl/quiz. Er waren meer dan 20.000 inzendingen. In de uitzending zijn de winnaars van de krantenquiz bekend gemaakt. De vragen en antwoorden zijn na te lezen op de website van NWO.

Vraag 16 bleek te moeilijk, de aangedragen oplossing was niet de juiste. Wilbert Kallenberg legt uit waarom niet en draagt de goede oplossing aan.

WILBERT KALLENBERG

De Nationale wetenschapsquiz 2003 omvatte een twintigtal vragen met problemen als 'Waarom is sneeuw wit?' en 'Hoe komt een regenworm een zeer strenge winter door?'. Vraag 16 luidde:

Met een steekproef testen we de deelnemers aan de tiende Nationale Wetenschapsquiz op een verboden pepmiddel. Stel dat tien procent van de

deelnemers het pepmiddel gebruikt. De test is slechts voor negentig procent zuiver. Eén deelnemer blijkt pep-positief. Hoe groot is de kans dat hij het pepmiddel daadwerkelijk heeft gebruikt?

- A. Minder dan vijftig procent.
- B. Vijftig procent.
- C. Meer dan vijftig procent.

De Pavlov-reactie is om voor de oplossing van dit probleem de regel van Bayes toe te passen, waarbij we uitgaan van een persoon die pep-positief is en de kans berekenen dat hij een gebruiker is. Dit leidt tot antwoord B, 50%.* Helaas werd ons tijdens de tv-uitzending van de wetenschapsquiz foutief de regel van Bayes als verklaring voor antwoord B voorgeschoteld. Maar erger nog, zoals we straks zullen zien, ook de toelichting op de NWO-site zat er helemaal naast. Immers, de oplettende lezer heeft natuurlijk in de vraagstelling een streepje op de e waargenomen: 'Eén deelnemer' en niet 'Een deelnemer'. Dit scheelt een slok op de borrel.

Gaan we eerst eens uit van een groep van 10 deelnemers, 1 gebruiker en 9 niet-gebruikers. Dit kunnen we desgewenst als een (ontaarde) steekproef zonder teruglegging opvatten met de steekproefomvang gelijk aan de populatieomvang: de steekproef bestaat uit alle deelnemers. Alle 10 deelnemers worden getest en er blijkt (precies) één deelnemer pep-positief te zijn. Er zijn twee mogelijkheden. Allereerst, de pep-positieve is tevens gebruiker. De test heeft dan in alle 10 gevallen het correcte antwoord gegeven. Omdat zowel voor de gebruiker als voor de niet-gebruiker (!) een correct antwoord van de test met kans 0.9 plaats vindt, is de kans hierop – onder voor de hand liggende onafhankelijkheidsvoorwaarden voor het testen – 0.9^{10} .

De andere mogelijkheid is dat de pep-positieve tot de niet-gebruikers behoort. De test reageert dan verkeerd voor de gebruiker en bij de niet-gebruikers (precies) één keer onjuist en de overige 8 keer correct. De kans hierop is:

$$0.1 \times \binom{9}{1} \times 0.1 \times 0.9^8 = 0.1 \times 0.9^9$$

De eerste kans is maar liefst 9 keer zo groot als de tweede! Dat betekent dat gemiddeld in zo'n 90% van de gevallen waarin we in deze setting één pep-positieve aantreffen, het de gebruiker is.

Precieser: de (voorwaardelijke) kans dat in geval van één pep-positief bevonden deelnemer deze de gebruiker is, is hier gelijk aan 0.9: antwoord C) is hier het juiste antwoord.

Ook als we een grotere groep deelnemers hebben met 10% gebruikers en 90% niet-gebruikers en de steekproef gelijk is aan de gehele populatie, blijft de gevraagde kans (in geval van één pep-positieve) 90%. Dit is dus een totaal ander resultaat dan dat wat de regel van Bayes oplevert.

Maar we zijn er nog niet, want het begin van de vraag luidt: 'Met een steekproef.' Dit is tot dusver nog niet echt ingebracht. Er wordt niet aangegeven om wat voor steekproef het gaat. Zoals gezegd, de bovenstaande vaste groep kan desgewenst opgevat worden als een (ontaarde) steekproef zonder teruglegging met de steekproefomvang gelijk aan de populatieomvang. In dit extreme geval is de kans dus 90%. Het andere extreem is dat de steekproefomvang 'oneindig' veel kleiner is dan de populatieomvang oftewel een aselechte steekproef met teruglegging. Dan komt het er globaal op neer dat de pep-positieve deelnemer tot stand kan komen via twee wegen: kies een gebruiker en laat de test een correct antwoord geven, kans hierop: 0.1×0.9 , of kies een niet-gebruiker en laat de test vervolgens een onjuiste uitslag produceren, kans hierop: 0.9×0.1 . Beide kansen zijn in deze set-up gelijk: het kan net zo makkelijk de gebruiker als de niet-gebruiker zijn, leidend tot antwoord B.

Opmerkelijk is het enorme verschil of de groep die getest gaat worden een vaste groep van 10% gebruikers en 90% niet-gebruikers is of op stochastische wijze tot stand komt via een aselechte steekproef met teruglegging uit een populatie van 10% gebruikers en 90% niet-gebruikers. In het eerste geval schelen de van belang zijnde kansen maar liefst een factor 9, in het tweede geval zijn ze gelijk. Het helpt daarbij niets om de steekproef alsmear te vergroten. Het resultaat blijft exact

hetzelfde. Het vervangen van de vaste groep door een aselechte steekproef met teruglegging verandert de kansen dus enorm.

De (natuurlijke) situatie van een a-selecte steekproef zonder teruglegging zit tussen deze twee extremen in. (Het formele bewijs maakt onder meer gebruik van een aardige toepassing van stochastische ordening.) De gevraagde kans is groter dan vijftig procent en dus geldt antwoord C, mits de steekproefomvang groter is dan een. Niet alleen het meer natuurlijke karakter van de steekproeftrekking zonder teruglegging – je gaat niet twee keer dezelfde persoon testen – is een argument om niet uit te gaan van een steekproeftrekking met teruglegging, ook het streepje op de e pleit hiervoor. Bij een aselechte steekproef met teruglegging doet dat streepje er niet toe. Ook als er meer dan één pep-positieve blijkt te zijn, is de kans dat deze een gebruiker is vijftig procent. Bij de steekproeftrekking zonder teruglegging speelt dit gegeven wel een rol. Indirect is dit dus ook een aanwijzing (en een heel subtiele!) om een aselechte steekproef zonder teruglegging als model te hanteren.

En de Bayes-regel dan? Kan die in een ‘steekproefopzet’ als oplossing naar voren komen? Jawel, die uitleg correspondeert met een steekproef ter grootte een. Deze geringe steekproefomvang lijkt ontkracht te worden door hetzelfde streepje op de e. Dat suggereert immers dat vooraf meer dan één pep-positieve deelnemer in de steekproef tot de mogelijkheden behoort.

Mijn conclusie is derhalve dat dankzij het streepje op de e, antwoord C het predikaat juiste antwoord verdient en niet B zoals NWO ons voorhoudt.

Tenslotte, de toelichting op de NWO-site.

Het goede antwoord is B, vijftig procent. We nemen 100 deelnemers, daarvan zijn 10 gebruikers en 90 schoon. Van de 10 gebruikers zal de test er 9 terecht

als gebruiker aanwijzen en 1 ten onrechte als schoon. En van de 90 schone deelnemers zullen er 81 terecht als schoon worden bestempeld en 9 ten onrechte als gebruiker. In totaal slaat de test dus 18 keer alarm. Ofwel, het lijkt of 18 deelnemers pep-positief zijn. Van die groep hebben 9 deelnemers daadwerkelijk gebruikt. Dus de kans dat een volgens de test pep-positieve daadwerkelijk het pep-middel heeft gebruikt, is vijftig procent.

Voor in een boek staat wel eens: elke overeenkomst met bestaande personen berust op toeval. Dat schoot mij spontaan te binnen toen ik deze toelichting las en dat niet alleen omdat de subtiliteit van één pep-positieve deelnemer opgepept is tot zomaar 18 stuks . . .

* Voor de fijnproevers staan meer gedetailleerde uitwerkingen van deze en andere uitspraken op het internet www.home.cs.utwente.nl/~kallenbergwcm/.

Wilbert Kallenberg is verbonden aan de Faculteit EWI, Afdeling Toegepaste Wiskunde van de Universiteit Twente. e-mail <w.c.m.kallenberg@math.utwente.nl>

Jongens even slim als meisjes

Meisjes zijn net zo slim als jongens. Dat blijkt na het tellen van de meer dan honderdduizend antwoorden op vragen van de Nationale Wetenschapsquiz Junior 2003. Dertienduizend kinderen stuurden hun acht antwoorden naar de NWO die ook deze juniorenquiz samen met de VPRO organiseert.

Meisjes en jongens blijken niet in elke vraag even goed. Zo weten meisjes beter dat de Noordzee grijzig is omdat ze meer planten bevat dan de Middellandse Zee. Jongens weten weer beter dat je een deel van je lichaam kan wegen met een emmer water en een weegschaal. Voor zowel jongens als meisjes was de lamavraag een makkie. Driekwart wist dat lama's spugen omdat ze de baas willen zijn.

IN MEMORIAM Jos Sturm

Op zaterdag 6 december 2003 is Jos Sturm overleden. Hij was universitair hoofddocent bij het departement Econometrie en Operations Research in Tilburg. Op 7 oktober 2003 kreeg Jos onderweg naar de universiteit plotseling een hersenbloeding. Geruime tijd hebben zijn familie en bekenden tussen hoop en vrees geleefd. Jos is 32 jaar oud geworden. In hem verliezen we een toponderzoeker en enthousiaste collega.

Na zijn promotie in Rotterdam (1997) en een jaar als post-doctoral fellow aan de McMaster University in Hamilton (Canada), heeft Jos eerst een aantal jaren als docent aan de universiteit van Maastricht gewerkt. Vanaf 2001 werkte hij als universitair hoofddocent aan de universiteit van Tilburg. Jos was een echte wetenschapper. Zijn uitzonderlijke onderzoekskwaliteiten op het gebied van de Operations Research werden op diverse manieren zowel nationaal als internationaal erkend. Zo ontving hij in 2000 de Gijs de Leve prijs, de prijs van het

Landelijk Netwerk van Mathematische Besliskunde voor het beste proefschrift in Operations Research in Nederland over een periode van drie jaar. Bovendien ontving hij in 2001 van NWO de Vernieuwingsimpuls, een beurs die alleen voor veelbelovende wetenschappers weggelegd is. Ook zeer recentelijk kreeg Jos nationale erkenning. Op de nieuwe lijst van de top 40 economen in Nederland staat Jos als 4e vermeld; van de 40 topeconomen was hij ook de jongste. Tijdens Operations Research congressen worden zijn naam en het optimalisatiepakket dat hij ontwikkelde, veelvuldig genoemd. Tenslotte werd Jos deze zomer in het bestuur gekozen van de International Mathematical Programming Society, een eer die maar weinigen op zo'n jonge leeftijd te beurt is gevallen. We waren in Tilburg trots op hem. Bij ons en bij veel collega's in binnen- en buitenland laat Jos een onvergetelijke indruk achter.

Dick den Hertog, Departement Econometrie en Operations Research van de Universiteit van Tilburg

A G E N D A

Zie voor meer nieuws, conferenties, studiedagen, mededelingen van de VVS en cursussen de site van de VVS <<http://www.vvs-or.nl>>.

22 april 2004

De **VSO-presentatiedag** is een dag waar bureaus op het gebied van onderzoek en statistiek zich kunnen presenteren. Eens in de twee jaar vindt hij plaats. Informatie: <www.vsonet.nl>.

30 april 2004

Het thema van de tweede **Young Researchers Day** is *Many explanatory variables? A challenge for regression modeling*. Zie: <www.stat.ucl.ac.be/YRD>.

10-12 mei 2004

Het **AiO Neterk van de Stochastici** komt voor de 12de keer bijeen, deze keer in Lunteren. Info: <www.cs.vu.nl/~stochgrp/aionetwerk/meeting/04.html>.

21-25 juni 2004

De 13de **ECMI** (*European Conference on Mathematics for Industry*) conferentie vindt plaats in Eindhoven. Thema's zijn mathematische en statistische modellering, analyse en simulatie van problemen uit de praktijk. Informatie: <www.ecmi2004.tue.nl>.

11-16 juli 2004

De **International Biometric Conference 2004** en de **2004 Australian Statistical Conference** worden gehouden in Queensland, Australië. Informatie: <www.ozaccom.com.au/ibc2004>.

OPERATIONS RESEARCH 2004 International Conference

Tilburg University, The Netherlands, September 1-3, 2004

ORGANISING COMMITTEE

Prof.dr. Hein Fleuren (*chair*)
Dr. Willem Haemers
Dr. Herbert Hamers
Drs. Maaike van Krieken
Mw. Ilse van de Pol
Prof.dr. Dolf Talman

PROGRAMME COMMITTEE

Prof.dr. Dick den Hertog, *Tilburg (chair)*
Prof.dr. Michael Jünger, *Cologne*
Prof.dr. Rainer Kolisch, *Munich*
Prof.dr. Peter Kort, *Tilburg*
Prof.dr. Marc Salomon, *Tilburg*
Prof.dr. Thomas Sprengler, *Braunschweig*
Prof.dr. Brigitte Werners, *Bochum*
Prof.dr. Henk Zijm, *Twente*

COMMITTEE OF REFERENCE

Prof.dr. Frank van der Duyn Schouten
Rector Tilburg University
Prof.dr. Lodewijk Kallenberg
Leiden University
Prof.dr. Jan Karel Lenstra
Georgia Institute of Technology
Prof.dr. Alexander Rinnooy Kan
Board ING-group
Prof.dr. Lex Schrijver
*The National Research Institute for
Mathematics and Computer Science*
Prof.dr. Stef Tijs
Tilburg University

INVITED SPEAKERS

Prof.dr. Martin Grötschel, *Berlin*
Prof.dr. Lex Schrijver, *Amsterdam*
Prof.dr. Gerard Sierksma, *Groningen*
Prof.dr. Luk Van Wassenhove, *Paris*

*conference
languages
are English
and German*

LIST OF SECTIONS GOR/NGB CONFERENCE 2004

1. *Reverse Logistics*
2. *OR in Entertainment and Sports*
3. *Service Management*
4. *Telecommunication*
5. *Production, Logistics and Supply Chain Management*
6. *Transportation and Traffic*
7. *Project Management and Scheduling*
8. *Marketing*
9. *Energy, Environment and Health*
10. *Optimization of Bio Systems*
11. *Finance, Banking and Insurances*
12. *Simulation and Applied Probability*
13. *Continuous Optimization*
14. *Discrete and Combinatorial Optimization*
15. *Artificial Intelligence Fuzzy Logic and Multicriteria Decision Making*
16. *Econometrics, Game Theory and Mathematical Economics*
17. *Managerial Accounting*
18. *Business Informatics*
19. *OR in Engineering*
20. *Revenue Management*

REGISTRATION FEE

Registration before May 31, 2004

GOR/NGB members: 130 euro
Non-members: 220 euro
Students: 55 euro

Registration after May 31, 2004

GOR/NGB members: 175 euro
Non-members: 275 euro
Students: 75 euro

DEADLINE SUBMISSIONS OF ABSTRACTS

April 30, 2004

CONTACT

Ilse van de Pol
Internet: www.uvt.nl/or2004
E-mail: or2004@uvt.nl

TILBURG UNIVERSITY

Faculty of Economics and
Business Administration
P.O. Box 90153
5000 LE Tilburg
The Netherlands

Deutsche Gesellschaft für Operations Research Nederlands Genootschap voor Besliskunde



Winnen doe je alleen met een goed aanvalsplan

In het topvolleybal draait het om details. Aan beide kanten van het net staan spelers van een hoog niveau. Daarom moet de voorbereiding perfect zijn en de spelpatronen ingeslepen. Als dat allemaal perfect is, kun je als team presteren. De juiste combinatie van talent, voorbereiding en volharding geven de doorslag.

Dezelfde voorwaarden gelden in het bedrijfsleven. Ook daar vragen complexe planningsvraagstukken om intelligente oplossingen. ORTEC analyseert het probleem tot in detail en komt daarna met een doeltreffende strategie. Hierbij streven we naar een optimaal bedrijfsproces. Dat stelt onze klanten in staat aanzienlijke besparingen te boeken en precies op tijd hun slag te slaan.

Onze planningsoftware wordt wereldwijd gebruikt. En eigenlijk is dat niet zo vreemd. Onze producten en diensten zijn immers niet alleen goed doordacht. Ze zijn er vooral op gericht om u ermee te laten scoren.

Meer weten? Kijk op www.ortec.nl