

STAtOR

periodiek van de VWS jaargang 2 nummer 2 augustus 2001

Ongecijferdheid

Meerweganalyse als cement tussen psychologie en chemie

Whizzkids

Alexander H.G. Rinnooy Kan: een econometrist in bankzaken

Het ontwerpen van experimenten met een genestelde datastructuur

Kwaliteit & verbeterprogramma's

Risicomanagement bij financiële instellingen

Statistische equivalentie

Posthuma Partners

Econometrie en actuariaat toepassen vanuit nauwe betrokkenheid en geleid door creatief denken: daarin onderscheidt Posthuma Partners zich van de gebruikelijke visie op-dit vakgebied.

Met hoogwaardige kennis en gevoel voor toepasbaarheid slaan wij met onze creatieve oplossingen een natuurlijke brug tussen econometrische modellen en de praktijk van verzekeren. Zo ontstaat een professionele exploitatie van actuele econometrische en actuariële kennis die onze opdrachtgevers –overwegend vooraanstaande financiële instellingen – ten-goede komt.

Posthuma Partners b.v.
Badhuisweg 11
2587 ca Den Haag
Telefoon (070) 416 58 58
Fax (070) 416 58 59

<http://www.posthuma-partners.nl>
info@posthuma-partners.nl

Posthuma Partners wil verzekeringseconometrische methoden en technieken toepassen, ontwikkelen en verbeteren. Onze klanten, grote financiële ondernemingen, trekken daar profijt van. Samen met hen werken wij projectmatig op uiteenlopende terreinen van risicomangement.

Onze organisatie bestaat uit 8 personen die een econometrische of wiskundige achtergrond hebben. Wij willen groeien tot een bureau van ongeveer 20 adviseurs en zoeken daarom

econometristen, statistici of wiskundigen

die de brug willen slaan tussen theorie (model) en praktijk (advies), op het terrein van verzekeringen. Als junior-adviseur wordt u al snel ingezet bij klantprojecten. Wij bieden u uiteraard een goede persoonlijke begeleiding en een praktijkgericht opleidingsprogramma.

Werken in onze professionele organisatie heeft voor u het voordeel dat er een breed scala van werkzaamheden op hoog niveau wordt verricht. Uw ontwikkeling gaat daardoor snel. Wij bieden daarnaast een gemotiveerde werkomgeving en alle moderne IT-hulpmiddelen voor efficiënt werken.

Heeft u belangstelling, dan ontvangen wij graag uw-schriftelijke of elektronische sollicitatie, voorzien van-een curriculum vitae, te richten aan Pp, t.a.v.- Dr D.R. Dannenburg, Hoofd Advies.

Als u eerst nog meer wilt weten, dan kunt u hem-ook-telefonisch bereiken op (070) 416 5851, privé (018) 255 8298.



STaTOR

Jaargang 2, nummer 2, augustus 2001

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, Marc Schul, Gerrit Stermerdink (eindredacteur), Fred Steutel.

Bestuur van de VVS

Prof. dr. G.T. Timmer (voorzitter) <gtimmer@ortec.nl>, prof. dr. S. J. Koopman <s.j.koopman@econ.vu.nl>, dr. A. Mooijaart (penningmeester) <mooijaart@rulfsw.leidenuniv.nl>, prof. dr. H.G. Dehling (voorzitter commissie opleidingen en examens) <dehling@math.rug.nl>, dr. J.H.L. Oud (voorzitter publicatiecommissie) <j.oud@ped.kun.nl>. Zie voor telefoonnummers en adressen de website.

Leden- en abonnementenadministratie van de VVS

VVS, Postbus 2095, 2990 DB Barendrecht, telefoon 0180 - 623796, fax 0180 - 623670, <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 / M. van Hootegem, Moeflonstraat 5, 6531 JS Nijmegen, telefoon 024 - 3559214 <hootegem@xs4all.nl> De volgende STaTOR verschijnt in oktober 2001.

Kopij en reacties richten aan

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

Ontwerp en opmaak

Pharos / M. van Hootegem, Nijmegen

Druk

Drukkerij Trioprint Nijmegen bv

Uitgever

© Vereniging voor Statistiek en Operationele Research.

ISSN 1567-3383

Inhoud

- 3** Ongecijferdheid. **Dick den Hertog**
- 5** Meerweganalyse als cement tussen psychologie en chemie. **Age Smilde en Henk Kiers**
- 9** Whizzkids. **Emile Aarts**
- 12** Alexander H.G. Rinnooy Kan: een econometrist in bankzaken. **Gerrit Timmer**
- 16** Het ontwerpen van experimenten met een genestelde datastructuur. **Mirjam Moerbeek**
- 19** Kwaliteit & verbeterprogramma's. **Ronald Does**
- 22** Risicomanagement bij financiële instellingen. **Frans Boshuizen en Peter Spreij**
- 25** Statistische equivalentie. **J. Hemelrijk**
- 29** Agenda.

Ongecijferdheid



Waarom weten mensen doorgaans zo weinig van wiskunde af? Of erger nog, waarom is in de ogen van velen wiskunde een eng, onpersoonlijk en kil vak? Aan de hand van boeiende voorbeelden laat John Allen Paulos in zijn boek *Ongecijferdheid, de gevolgen van wiskundige ongeletterdheid* zien dat zowel ons privéleven als onze maatschappij van ongecijferdheid is doortrokken. Met alle gevolgen van dien. Hij omschrijft 'ongecijferdheid' als het niet gemakkelijk kunnen omgaan met fundamentele begrippen uit de wiskunde. Ongecijferde mensen hebben zelfs een antipathie tegen alles wat maar enigszins riekt naar wiskunde.

Het is goed dat we bij het beoefenen van statistiek en OR in de praktijk ons hiervan bewust zijn. De implementatie van kwantitatieve modellen en methoden in het bedrijfsleven zal falen als niet eerst gewerkt wordt aan de ongecijferde attitude van de mensen die er straks mee aan de slag moeten. Zij zullen anders duizend en één redenen vinden om deze voor hen ontwikkelde kwantitatieve modellen en methoden links te laten liggen. Hebben we daar als toepassers wel voldoende oog voor?

Ik heb zelf wel eens ervaren dat 'ongecijferde' beslissers die een antipathie hadden tegen kwantitatieve methoden een bepaald project tegenhielden. Opmerkingen als 'Ik ben geïnteresseerd in mensen, niet in kille, levenloze getallen en formules, of 'Berekeningen doe ik op de achterkant van een sigarendoosje' zeggen genoeg. Het is pijnlijk als je weet dat je voor een bedrijf een nuttige bijdrage kunt leveren met kwantitatieve methoden, maar dat door de ongecijferde manager het project niet doorgaat.

Toch is het al te makkelijk om direct te wijzen naar de 'ziekte' van ongecijferdheid. Zou het niet zo kunnen zijn dat we een dergelijke ongecijferde reactie zelf in de hand werken? Zijn onze pretenaties wellicht niet te hoog of te bedreigend? Laten we voldoende blijken dat onze modellen slechts een (klein) deel van de werkelijkheid kunnen beschrijven? Dat er daarnaast nog zoveel andere factoren een rol spelen die niet kwantificeerbaar zijn? Dat onze modellen en technieken slechts hulpmiddelen zijn?

Als we meer inzicht zouden hebben in de manier waarop managers en andere beslissers denken en beslissen, en we beter zouden kunnen omgaan met hun 'ongecijferdheid', zouden we met ons vak wel eens een nog belangrijker rol kunnen spelen in onze maatschappij. In dit nummer van STATOR staat een interview met Rinnooy Kan waarin de rol van statistiek en OR in de samenleving ook aan bod komt.

Tenslotte wil ik graag nog terugkomen op iets wat ik in het vorig nummer heb geschreven. Ten onrechte wekte ik de suggestie dat wat betreft het 'rondje om de kerk' er geen kwantitatieve analyse zou hebben plaatsgevonden. Zo'n analyse is er namelijk wel uitgevoerd. In één van de volgende nummers van STATOR zal hierover een artikel verschijnen.

Veel leesplezier!

Dick den Hertog (hoofdredacteur)

Noot

John Allen Paulos (1997), *Ongecijferdheid. De gevolgen van wiskundige ongeletterdheid*. Amsterdam, Ooievaar.

Meerweg analyse als cement tussen psychologie en chemie



Wat hebben een psycholoog en een chemicus gemeen?

Niet erg veel. Wat hebben een psychometrist en een

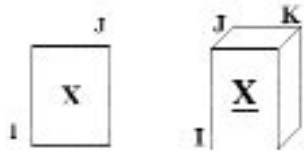
chemometrist gemeen? Erg veel.

AGE SMILDE EN HENK KIERS

De psychometrie als subdiscipline van de psychologie is ontstaan in de eerste helft van de twintigste eeuw (met als landmark de start van het tijdschrift *Psychometrika* in 1935) en is al reeds lang een geaccepteerd onderdeel van de psychologie. De chemometrie als subdiscipline van de chemie is ontstaan in de zeventiger jaren, met name binnen de organische en analytische chemie. Langzamerhand is ook de chemometrie een geaccepteerd onderdeel van de chemie. Beide subdisciplines beogen kwantitatieve methoden te ontwikkelen voor het oplossen van vraagstukken in hun respectievelijke disciplines. Hoewel de subdisciplines uiterst verschillend lijken hebben ze wel degelijk vergelijkbare doelstellingen: In de chemie probeert men de ingrediënten te ontdekken die verantwoordelijk zijn voor het gedrag van

bepaalde chemische systemen, terwijl men in de psychologie ingrediënten probeert te ontdekken die verantwoordelijk zijn voor het gedrag van mensen, en in sommige situaties kunnen hier vrijwel dezelfde methoden voor gebruikt worden.

De chemometrie heeft veel methoden en technieken 'gestolen' van de psychometrie, met name de factoranalyse en componentenanalyse methoden. Deze bleken uiterst bruikbaar op vele terreinen van de chemie. Een klasse van methoden die in de zeventiger jaren ontwikkeld zijn in de psychometrie is recentelijk ook zeer bruikbaar gebleken binnen de chemie. Het gaat hier om de meerweganalyse methoden, waarbij er niet een data-matrix of tweeweg-array geanalyseerd wordt, maar een 'datablok' of meerweg-array. Figuur 1 maakt dit verschil duidelijk.



Figuur 1: een matrix heeft twee sets van indices ($i=1,\dots,I$ en $j=1,\dots,J$); een drieweg-array ('datablok') heeft drie sets van indices ($i=1,\dots,I$; $j=1,\dots,J$ en $k=1,\dots,K$) en bevat een aantal matrices die achter elkaar geplaatst zijn.

Eind tachtiger jaren, toen beide auteurs nog in Groningen werkten, ontstond er een samenwerking die tot op de dag van vandaag voortduurt. De gemeenschappelijke interesse voor meerweg methoden was zo sterk dat het initiatief werd genomen om een internationale workshop te organiseren voor psychometristen en chemometristen met als onderwerp meerweg analyse. Deze workshop kreeg de titel *Three-way Analysis in Chemistry* en werd gehouden in Epe (1993). Dit was zo'n succes dat er een vervolg aan werd gegeven in Lake Chelan (VS, 1997) en in Faaborg (Denemarken, 2000), met de titel *Three-way Analysis in Chemistry and Psychology*. Bij deze laatste workshop bleek dat meerweg analyse ook in totaal andere disciplines een rol kan spelen en daarom heet de volgende workshop in de reeks *Three-way Analysis in all Disciplines*, deze zal in 2003 plaatsvinden in de VS. Deze titel zal vermoedelijk niet meer wijzigen.

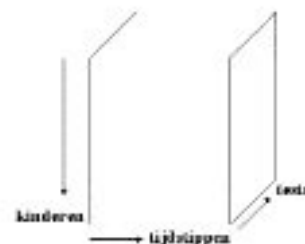
Ook op het gebied van de meerweg analyse waren het in eerste instantie de chemometristen die de al aanwezige meerweg methoden, ontwikkeld door de psychometristen, 'leenden'. De laatste jaren zijn er binnen de chemometrie ook duidelijk eigen meerweg methoden ontwikkeld, die specifiek gericht zijn op het analyseren van bepaalde klassen van chemische data. Hieronder zullen enkele voorbeelden worden gegeven van typische probleemstellingen uit de psychologie en de chemie waarop meerweg analyse kan worden toe-

gepast.

Componentenanalyse modellen

Bij componentenanalyse modellen gaat het om het bouwen van een spaarzaam model uit meerweg gegevens, met als doel bijvoorbeeld het vinden van verbanden in de data of het schatten van onderliggende parameters. De componenten dienen als informatiedragers van de data. Een voorbeeld van een componentenanalyse model in tweeweg analyse is principale componentenanalyse.

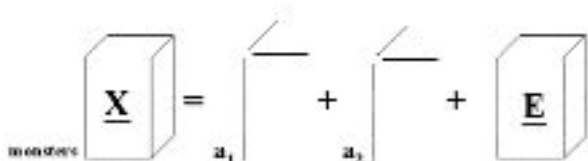
Een typisch voorbeeld uit de psychologie is te zien in Figuur 2. Dezelfde klas met kinderen wordt gedurende een aantal opeenvolgende jaren dezelfde test afgenomen, om de verbale en analytische vermogens te testen. Er ontstaat derhalve een tabel met drie ingangen: aantal kinderen (eerste weg), aantal tijdstippen (tweede weg) en aantal tests (derde weg). Dit drieweg-array moet nu geanalyseerd worden en één van de mogelijkheden is het bouwen van een PARAFAC model. Daarbij wordt de drieweg array ontbonden als een sommatie van componenten. In een PARAFAC model zijn de componenten producten van de componentladingen. De componentladingen in de tweede weg (tijdstippen) representeren nu de ontwikkeling van het leervermogen van de kinderen. Als er slechts twee componenten nodig zijn om de drieweg array goed te beschrijven dan zouden deze sets van componenten bijvoorbeeld respectievelijk het verbale en het analytische leervermogen van de



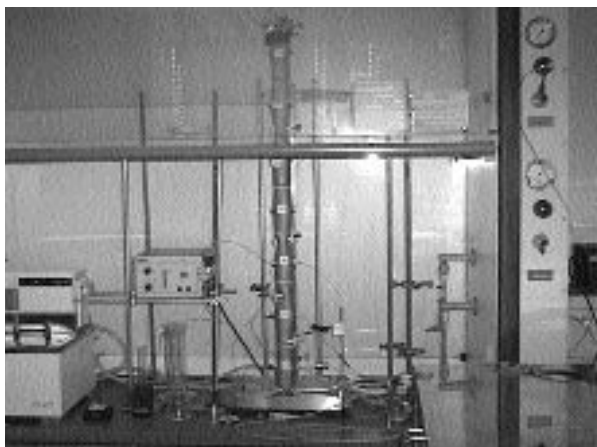
Figuur 2: een drieweg array zoals dat kan voorkomen in de psychologie.

kinderen kunnen voorstellen.

Een voorbeeld uit de analytische chemie is geïllustreerd in Figuur 3. Aan een aantal mengsels van chemische stoffen worden dezelfde metingen verricht. Elke meting levert een matrix van gegevens. Er kan nu van deze metingen een drieweg-array gebouwd worden. De eerste weg betreft hierin de monsters. Dit zijn mengsels van chemische stoffen met een bepaalde concentraties van die stoffen in de mengsels. Enkele monsters zijn calibratie-monsters met bekende concentraties; voor de andere monsters zijn de concentraties onbekend. Deze dienen bepaald (geschat) te worden. De tweede en derde weg van de drieweg-array worden gegenereerd door het meetinstrument. Voor sommige van deze meetinstrumenten is *a priori* bekend dat deze een driewegmatrix opleveren die een PARAFAC structuur heeft. Gebruikmakend van de belangrijke eigenschap dat het PARAFAC model unieke schattingen levert (hetgeen niet voor alle driewegmodellen opgaat), kunnen daarmee de onbekende concentraties van de chemische stoffen worden bepaald (Kiers & Smilde 1995). Ook voor ingewikkelder metingen kunnen driewegmodellen worden opgesteld, waarbij de uniciteit van de oplossingen



Figuur 3: een drieweg array uit de analytische chemie. Elke horizontale laag van het array X bevat de metingen aan één monster. Het PARAFAC model geeft een kleinste-kwadraten-benadering van het drieweg array, waarbij elke onderscheiden component (het uitproduct van de componentenladingen, de 'stokjes', in de drie richtingen) een bijdrage levert aan het model. Als het model goed past zal elke bijdrage betrekking hebben op één van de verschillende chemische stoffen in de monsters. In dit voorbeeld gaat het om 2 stoffen. De component-ladingen van de eerste weg (aangeduid met a_1 en a_2) bevatten dan schattingen van concentraties van die stoffen.



Voor het beheersen van chemische processen is het van wezenlijk belang om de concentraties van de verschillende chemische componenten on-line te meten. Drieweg analysemethoden kunnen hierbij behulpzaam zijn.

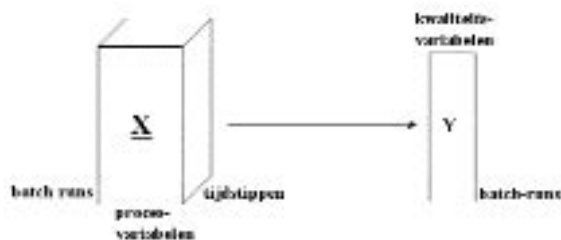
een belangrijke vraag is (Kiers & Smilde 1998).

Een belangrijk verschil tussen de chemie en de psychologie is dat er in de chemie fundamentele wetten bestaan. Vanuit deze wetten kan *a priori* een model worden verondersteld voor de drieweg data. Het bovenstaande voorbeeld illustreerde dit. Een ander verschil is dat een chemisch experiment doorgaans goed herhaalbaar is onder standaard condities. Dit geeft mooie gestructureerde data met een hoog signaal/ruis niveau waar menig psychometrist alleen maar van kan dromen!

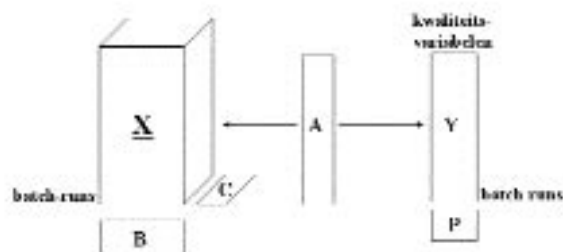
De toepassingen in de chemie van componentenmodellen heeft ook weer nieuwe vragen gegenereerd, waar de psychometristen vervolgens weer onderzoek aan gedaan hebben. Eén van deze vragen is bijvoorbeeld onder welke condities een componentenmodel een unieke of deels unieke oplossing geeft (Kiers et al 1997). Dit is voor de chemici zeer belangrijk.

Regressiemodellen

Een klasse van meerweg methoden die met name in en vanuit de chemie zijn ontwikkeld, is die van de meerweg regressiemethoden. Een voorbeeld van een meerweg regressieprobleem is te zien in Figuur 4. In de proceschemie zijn er twee fundamenteel verschillende manieren om stoffen te maken: continu-gewijs en batch-gewijs. Een



Figuur 4: een voorbeeld van meerweg regressie in de proces-chemie. Van elke batch-run (index i) worden procesvariabelen gemeten (index j) op een aantal tijdstippen (index k). De horizontale lagen in X representeren één batch-run en de bijbehorende rij in Y de gemeten kwaliteitseigenschappen van het eindproduct.



Figuur 5: een meerweg regressiemodel tussen X en Y . De componentenmatrices A , B en C vormen samen een PARAFAC model van X , en A en P vormen samen een tweeweg componentenmodel van Y . De componentenmatrix A wordt berekend als een compromis, zodat zowel X als Y goed kan worden benaderd.

batch-proces is te vergelijken met het koken van aardappelen. Alle ingrediënten gaan in een pan, deksel erop, vuur aan, enige temperatuurregeling en na een eindige tijd zijn de aardappelen gaar. Ongeveer de helft van de totale productie aan chemische stoffen wordt op een dergelijk manier bereid, volgens een vast recept. Gedurende de batch-reactie worden er elke minuut allerlei variabelen gemeten, bijvoorbeeld temperatuur, druk, concentratie. Dus elke batch-run levert een matrix van getallen, die de variabiliteit van die batch-run vertegenwoordigen. Dit is één horizontale laag in het X -array van Figuur 4. Na afloop van elke batch-run wordt ook de kwaliteit gemeten van het eindproduct. Dit levert een rij in de Y -matrix in Figuur 4.

Als er nu een goed passend regressiemodel kan worden gevonden tussen het X -array en de Y -matrix, dan kunnen er verschillende vragen beantwoord worden, bijvoorbeeld welke variatie in X verantwoordelijk is voor 'borderline' kwaliteit, zoals gemeten in Y . Als het regressiemodel ook een goed voorspellend vermogen heeft dan kan reeds aan het eind van een batch-run worden voorspeld wat de kwaliteit van dit specifieke eindproduct is. Dat is met name voor de farmaceutische industrie een belangrijke vraag, aangezien

de kwaliteitseigenschappen (Y -variabelen) in die omgeving vaak veel tijd vergen om te meten en de procesvariabelen (in X) doorgaans veel eenvoudiger te meten zijn.

Er zijn verschillende manieren waarop een regressiemodel tussen X en Y kan worden gecreëerd. Eén van de methoden probeert componenten te vinden die zowel een goede beschrijving van X als van Y opleveren (Smilde & Kiers 1999). Dit is geïllustreerd in Figuur 5, waarbij de componenten in A zowel participeren in een PARAFAC model voor X alswel als basis dienen voor een tweeweg componentenmodel voor Y . De methode minimaliseert een kleinste-kwadraten-criterium, waarbij er een compromis wordt gevonden in het fitten van X en Y . De gebruiker kan dit compromis beïnvloeden door *a priori* een wegingscoëfficiënt te kiezen.

Open vragen en nieuwe ontwikkelingen

Een belangrijke vraag bij de geschetste meerweg modellen is welke de statistische eigenschappen zijn van de geschatte parameters. Voor de componentenmodellen is hier al het één en ander van bekend. Een volledige opheldering van dergelijke eigenschappen wordt bemoeilijkt door het feit dat de modellen niet-lineair zijn in de parameters.

Voor de meerweg regressiemodellen is nog erg weinig bekend ten aanzien van de statistische

eigenschappen. Resampling technieken zoals de bootstrap, jack knife en kruisvalidatie zijn in deze context goed te gebruiken. Met name kruisvalidatie is al erg nuttig gebleken om het predictief vermogen van de regressiemodellen te bepalen.

Binnen de chemie en ook in de biologie (bijvoorbeeld in genomics, proteomics en metabolomics onderzoek) is een groeiende interesse in het analyseren van meerweg- en meerbloks-data. Meerdere blokken van data, die een onderliggende samenhang vertonen, dienen simultaan geanalyseerd te worden. Niet zelden is een aantal van de datablokken een meerweg-array (Smilde et al 2000). Deze blokken kunnen in een netwerk gerangschikt zijn, of een onderlinge hiërarchische structuur hebben, afhankelijk van de wijze waarop de data vergaard zijn. Het ontwikkelen van meerweg-meerbloks-methodologie is een geheel nieuwe uitdaging voor de chemometristen en de psychometristen!

REFERENTIES

Kiers H.A.L., Smilde A.K., Some theoretical results on second-order calibration methods for data with and without rank overlap. *Journal of Chemometrics*, 1995, 9, 179-195.

Kiers H.A.L., Smilde A.K., Constrained three-mode factor analysis as a tool for parameter estimation with second-order instrumental data. *Journal of Chemometrics*, 1998, 12, 125-147.

Kiers H.A.L., Ten Berge J.M.F., Rocci R., Uniqueness of three-mode factor models with sparse cores: The $3 \times 3 \times 3$ case. *Psychometrika*, 1997, 62, 349-374.

Smilde A.K., Kiers H.A.L., Multiway covariates regression models. *Journal of Chemometrics*, 1999, 13, 31-48.

Smilde A.K., Westerhuis J.A., Boqué R., Multiway multiblock component and covariates regression models. *Journal of Chemometrics*, 2000, 14, 301-331.

AGE K. SMILDE is verbonden aan de Universiteit van Amsterdam (Process Analysis and Chemometrics, Department of Chemical Engineering).

E-mail: <asmilde@its.chem.uva.nl>.

HENK A.L. KIERS is verbonden aan de Universiteit van Groningen (Department of Psychology, PA).



WHIZZKIDS

De Whizzkids'96 en '97 prijsvragen mochten zich verheugen in een grote belangstelling en als gevolg daarvan mag met recht gesteld worden dat de prijsvragen een zekere bijdrage hebben geleverd aan de popularisering van informatica en wiskunde. Inmiddels is echter ook gebleken dat de prijsvragen hebben geleid tot een aantal interessante vernieuwende ontwikkelingen in de theorie en toepassing van combinatorische optimalisering, wat gezien kan worden als een interessant neveneffect.

EMILE AARTS

In de zomer van 1995 benaderde Tom Rusting, toenmalig topman van CMG Nederland, de faculteit Wiskunde en Informatica van de Technische Universiteit Eindhoven met de vraag om een prijsvraag te ontwikkelen voor scholieren van het middelbaar onderwijs in een poging bij de beroepskeuze van deze doelgroep de aandacht

te vestigen op de studierichtingen informatica en wiskunde. In samenwerking met De Telegraaf werd in de zaterdageditie van 7 september 1996 de Whizzkids'96 prijsvraag gelanceerd in de vorm van het krantenjongensprobleem. De vraagstelling was om een bezorgplan op te stellen voor vier krantenbezorgers die een wijk met 120 abonnees moesten bedienen, en wel zodanig dat de laatste krant zo vroeg mogelijk bezorgd werd en de gemiddelde bezorgtijd per abonnee zo kort mogelijk was. Ruim negenhonderd inschrijvingen vonden hun weg naar de redactie en er werd een totaal prijzengeld uitgekeerd van 38.500 gulden.

In 1997 vond een tweede editie plaats en onder de naam Whizzkids'97 werd het ouderavondprobleem gelanceerd. Aan de deelnemers werd gevraagd een ouderavond te organiseren voor twintig ouders die vijftien leraren wilden spreken volgens een bepaald schema en wel zodanig dat de ouderavond zo vroeg mogelijk was afgelopen en de gemiddelde wachttijd van de ouders zo kort mogelijk was. Opnieuw publiceerde De Telegraaf de prijsvraag en er werden ruim driehonderden-vijftig inzendingen ontvangen.

Veel belangstelling.

Voor beide prijsvragen geldt dat de belangstelling groot en gevarieerd was. De inzendingen waren afkomstig van scholieren, studenten en professionals. Er waren behoorlijke wat collectieve inzendingen, meestal afkomstig van schoolklassen, maar ook de basketbalvereniging 'The Jolly Jumpers' uit Tubbergen deed aan beide edities mee. Ook internationaal scoorde de prijsvraag goed. Terwijl het totaal aantal inzendingen in 1997 halveerde, verdubbelde het aantal internationale inzendingen naar achttien. Het meest opmerkelijke voor beide edities was de gretigheid waarmee studenten op de prijsvraag reageerden, hetgeen beloond werd met tweemaal een eerste prijs voor deze categorie.

Het is echter niet duidelijk hoe groot de bijdrage



is geweest van de Whizzkids-prijsvragen aan de popularisering van de studierichtingen informatica en wiskunde. Het valt ten zeerste te betwijfelen of er ergens in den lande een schoolverlater is geweest die zijn studiekeuze heeft bijgesteld ten gunste van een van deze studierichtingen op grond van Whizzkids. Ook geld en roem spelen blijkbaar geen rol, want de winnaar van Whizzkids'96 in de categorie scholieren is gewoon werktuigbouwkunde gaan studeren, hetgeen hij al wilde voordat hij aan de prijsvraag deelnam.

Sommigen zijn van mening dat vakgebieden die aan popularisering moeten doen om studenten te werven een imago-probleem hebben. Ook als dat waar zou zijn, verandert het niets aan de realiteit die laat zien dat er nog steeds een nijpend tekort is aan jonge ingenieurs en wetenschappers met een informatica- of wiskunde-achtergrond. Maatschappelijke verschuivingen hebben het

aanzien van deze studierichtingen en de personen die ze volgen gedegradeerd tot wereldvreemd en stoffig en het is dan ook de taak van diezelfde maatschappij om dat beeld bij te stellen.

Het ligt niet in de lijn der verwachtingen dat een enkele prijsvraag een omslag in het maatschappelijk denken teweeg zal brengen. Het ligt meer voor de hand dat de gewenste verandering het gevolg zal zijn van een langzaam proces dat erop gericht is om met grote regelmaat en op zoveel mogelijk verschillende manieren aan te geven dat exacte vakken interessant zijn en toekomstperspectief bieden. Jo Ritzen, de voormalige minister van onderwijs, vond de Whizzkids-prijsvraag een belangrijk initiatief omdat het vanuit het bedrijfsleven zelf kwam. Dit is echter niet genoeg; het signaal zou veel vaker en uit meer verschillende geledingen van de maatschappij moeten komen.

Neveneffecten

Inmiddels is gebleken dat de Whizzkids-prijsvragen een aantal interessante neveneffecten hebben gehad, die niet onaanzienlijk zijn in wetenschappelijke zin. Beide prijsvragen hebben aangetoond dat heuristische zoekmethoden waaronder *simulated annealing* en *tabu search* zeer krachtige methoden zijn om complexe combinatorische optimaliseringsproblemen op te lossen.

Voor beide prijsvraagproblemen geldt dat de beste oplossingen gevonden zijn met dit soort technieken en inmiddels is aangetoond dat deze oplossingen optimaal zijn.

Dit brengt ons op het begrip ondergrensberekeningen. Voor beide problemen is middels zeer geavanceerde technieken aangetoond dat de waarde van de kostenfuncties verkregen met de heuristische zoekmethoden niet verbeterd kan worden. Cor Hurkens van de Technische Universiteit Eindhoven heeft voor Whizzkids'97 laten zien dat de ouderavond niet voor 23:49 uur beëindigd kon worden. Dit resultaat werd verkregen met *shaving*,

een bekende *constraint satisfaction* techniek, en vereiste een computerinspanning van 65 uur.

Optimaliteit

Voor Whizzkids'96 haalde de ondergrensberekeningen zelfs opnieuw de krant. Op 28 februari van dat jaar meldde De Telegraaf onder de kop 'puzzelen helpt wetenschap stapje verder' dat William J. Cook van Rice University Houston Texas had aangetoond dat voor Whizzkids'96 de lengte van de langste van de vier routes van de kantenjongens niet korter kon zijn dan 1183, waarmee optimaliteit van de beste tot dusverre gevonden oplossing werd aangetoond. Dit resultaat, waarvoor 120 miljoen seconden rekentijd en ruim 200 computers nodig waren, leverde Cook de beloning op van 5000 gulden die door CMG was uitgelooft aan diegene die optimaliteit kon aantonen.

Het werk van Cook en zijn team heeft tevens bijgedragen aan de vergroting van het inzicht in voertuigroutering. Door een aantal slimme extra voorwaarden te introduceren kunnen instanties van voertuigrouteringsproblemen, zoals het krantenjongensprobleem, worden omgezet in instanties van het handelsreizigersprobleem, waarmee de krachtige gereedschappen die in de loop van de tijd zijn ontwikkeld voor het oplossen van het handelsreizigersprobleem ook beschikbaar zijn voor de aanpak van voertuigrouteringsproblemen.

Fop Shop

De bijdrage van de Whizzkids-prijsvragen aan de wetenschap is hiermee nog niet beëindigd. Het probleemtype dat ontwikkeld werd voor het ouderavondprobleem van Whizzkids'97 is inmiddels gegeneraliseerd tot het Fop Shop Scheduling Probleem, wat staat voor *first order parallel job shop scheduling problem*. Dit probleem is een combinatie van de klassieke *job shop scheduling* en *flow shop scheduling* problemen en is een van de vergelijkingsproblemen die bestudeerd worden in het *Meta Heuristics Networks*, een samen-

werkingsverband tussen verschillende Europese universiteiten dat de kracht van verschillende heuristische zoekmethoden op hun praktische waarde wil onderzoeken.

Scan flip flops

Ook het industrieel onderzoek heeft inmiddels zijn voordeel gedaan met de prijsvragen. Bij Philips Research in Eindhoven heeft men ontdekt dat er een modelmatig verband bestaat tussen het oplossen van ingewikkelde testproblemen van geavanceerde geïntegreerde schakelingen en het krantenjongensprobleem. Het aanleggen van ketens van zogenaamde *scan flip flops* op IC's toont grote overeenkomst met het routeren van de krantenjongens. Zodoende kunnen de technieken die ontwikkeld zijn voor het krantenjongensprobleem toegepast worden op het testprobleem. Er is echter nog een probleem dat te maken heeft met schaalgrootte: de Whizzkids'96 instantie had 120 abonnees; het aantal *scan flip flops* in een instantie van het testprobleem kan wel oplopen tot honderdduizend. Er is derhalve nog wat onderzoek te verrichten.

De Whizzkids prijsvragen hebben naast veel puzzelplezier behoorlijk wat neveneffecten veroorzaakt die zonder uitzondering positief genoemd mogen worden. Het zou daarom het overwegen waard zijn om het nog eens opnieuw te proberen.

REFERENTIES

Dick Husaarts, Zoek de slimste krantenwijk. *De Telegraaf*, 7 september 1996.

Dick Husaarts, Nieuwe uitdaging voor whizzkids. *De Telegraaf*, 6 september 1997.

Dick Husaarts, Puzzelen helpt wetenschap stapje verder *De Telegraaf*, 24 februari 2001.

EMILE AARTS is afdelingshoofd van *New Media Systems and Applications* bij Philips Research. Daarnaast is hij hoogleraar informatica aan de Technische Universiteit Eindhoven en senior consultant bij het Centrum voor Quantitatieve Methoden.

E-mail: <emile.aarts@philips.com>.

Voor veel Nederlanders heeft de naam Rinnooy Kan een bekende klank. Als voorzitter van VNO-NCW, lid van diverse commissies en nu als lid van de Raad van Bestuur van de ING groep timmert hij aan de weg en horen we zijn stem regelmatig via radio en tv. Minder bekend is dat Alexander Rinnooy Kan begon als wetenschapper. In de jaren 70 en 80

was zijn tomeloze energie gericht op de Operations Research, ofwel besliskunde. Dit leidde tot een indrukwekkende lijst artikelen en tezamen met zijn inspirerende en charmante aanwezigheid dwong hij hiermee wereldwijd respect af. Vele prijzen en onderscheidingen, zoals de Euro Gold Medal, waren zijn deel. Ook de VVS droeg hieraan zijn steentje bij met de toekenning van de Van Dantzig prijs in 1990. Op zijn werkkamer, hoog boven Amsterdam, heeft hij nog altijd tijd voor zijn vakgenoten.



Foto: Sjaak Ramakers.

Alexander H.G. Rinnooy Kan Een econometrist in bankzaken

GERRIT TIMMER

Mis je de universiteit nog weleens?

Ik heb geen spijt van de keuzes die ik gemaakt heb, maar aan de universitaire periode bewaar ik zeker vele goede herinneringen. Met name het contact met de studenten mis ik wel. Veelbelovende, getalenteerde studenten met een wiskundige belangstelling zijn een prachtig publiek. Het is zeer bevredigend aan de ontwikkeling van deze studenten bij te dragen en het is inspirerend om met promovendi nieuwe wetenschappelijke uitdagingen aan te gaan. Gelukkig ben ik bij de ING ook direct met de ontwikkeling van mensen betrokken. Vanuit mijn functie als hoofd Human Resources en Management Development ben ik betrokken bij het herkennen en rekruteren van talent en volg ik dit met interesse.

Aantrekkelijk aan de wetenschappelijke wereld is ook dat deze in een bepaalde zin heel eerlijk is. Er is een grote consensus over kwaliteit. Er wordt zeer goed aangevoeld hoe hoog ieder-

een op de wetenschappelijke ladder staat. Andere sociale eigenschappen en gedragingen doen daar relatief weinig aan toe of af.

De in de regel zeer gebrekkige infrastructuur is een nadeel van het werken op een universiteit. Nederlanders zijn zuinig en op de universiteiten is dat wel heel erg merkbaar. In Amerika is dat beter geregeld. Toen ik in 1990 een periode op de Wharton School in Philadelphia werkte, had iedere hoogleraar een persoonlijk jaarbudget van ongeveer 10.000 dollar. Als je het maar niet voor privédoeleinden besteedde, was je vrij om er mee te doen wat je wilde. Dat geeft toch een prettig en rijk gevoel als je op die wijze zelf uitgaven mag doen voor congresbezoek, boeken, hard- en software en dergelijke.

Maar de goede herinneringen overheersen sterk. Het begin van de jaren 80 was voor mij misschien wel de mooiste periode. Ik had geluk dat door de complexiteitstheorie net een nieuwe impuls aan ons vakgebied was gegeven. De ont-

Alexander Hendrik George Rinnooy Kan wordt op 5 oktober 1949 geboren als zoon van een Engelse moeder en een Nederlandse vader. Hij groeit op in Den Haag en na zijn Gymnasium β opleiding studeert hij in Leiden zuivere wiskunde. In 1972 studeert hij af en in hetzelfde jaar behaalt hij ook het kandidaatsexamen econometrie aan de Universiteit van Amsterdam. Vier jaar later promoveert hij aan deze instelling.

In 1977 stapt Alexander Rinnooy Kan over naar de Erasmus Universiteit Rotterdam waar hij als lector en later hoogleraar Operationeel Onderzoek wetenschappelijk uiterst productief is. Hij is als gasthoogleraar actief aan diverse Amerikaanse universiteiten, waaronder de Universiteit van California, de Columbia Universiteit, MIT en de Wharton School.

Geleidelijk nemen de bestuurlijke functies toe. Eerst als voorzitter van het Econometrisch Instituut en later als rector magnificus van de Erasmus Universiteit.

In 1991 stapt Alexander Rinnooy Kan over naar het bedrijfsleven. Hij wordt voorzitter van VNO en later VNO-NCW. Met tegenstrevers als Johan Stekelenburg luidt hij het poldermodel in. In 1996 wordt hij lid van de Raad van Bestuur van de ING groep. Daarnaast bekleedt hij diverse commissariaten en is hij lid van diverse commissies en van besturen van verenigingen en stichtingen. Alexander Rinnooy Kan is 52 jaar en getrouwd met Eva van der Dussen. Zij hebben een zoon (18) en twee dochters (15 en 12).

wikkelingen volgden elkaar snel op en het is heel aantrekkelijk daarin, omringd door enthousiaste jonge mensen, mee te draaien. Het is natuurlijk ook leuk als dat wordt gewaardeerd. Zo ben ik ook heel blij met de van Dantzigprijs die ik in 1990 ontving. De bijbehorende medaille is echt prachtig. Ik heb het nooit echt durven zeggen, maar met die medaille is het slecht afgelopen. Voor de uitreiking was ik uit Amerika overgekomen. Toen ik later weer terug kwam zat de medaille in een grote koffer. Op de lopende band in Heathrow zag ik erg lang geen koffer. Toen verscheen er één van de schoenen van mijn kinderen. Daarna volgden geleidelijk steeds meer losse onderdelen van mijn koffer. De medaille heb ik helaas nooit meer terug gezien.

En toen zomaar naar het VNO, was dat een goede stap?

Op de universiteit heb ik me ook al veel met bestuurlijke zaken bezig gehouden. Toen in 1983 de econometrie-opleidingen onder druk stonden, heb ik samen met Teun Kloek een stuk geschreven over de ongekende kwaliteiten van het Econometrisch Instituut waar je tranen van in de ogen kreeg. We hebben het toen gelukkig – en zeer terecht – overleefd. Later was ik als rector magnificus al in hoofdzaak bestuurlijk actief. Toch was de overgang naar het VNO natuurlijk groot. Dat is geen baan waar je naar toe kunt werken. Tot mijn verrassing werd ik gevraagd en ik heb er zeker geen spijt van deze stap te hebben gezet. Het betekende een enorme verbreding. Het VNO-NCW heeft via haar voorzitter overal een mening over, misschien met kleine uitzonderingen zoals voor defensie en cultuur. Als voorzitter ben je overal bij betrokken. Je zit eerste rang, zonder al te zeer aan de negatieve kanten van het politieke machtspeel bloot te staan.

Heeft de voorzitter daarbij ook echt invloed of is hij meer een marionet van grote ondernemers?

Op ieder niveau spelen persoonlijke relaties een grote en vaak zelfs doorslaggevende rol. Toen ik aantrad was er sprake van een grote stroperigheid in de relaties tussen politiek, werknemers en werkgevers. Werkgevers maakten een pas op de plaats en hadden de neiging zich terug te trekken uit het overleg. Cruciale personen hebben dit door hun inzet en karakter weten om te buigen tot wat als het poldermodel de wereld over is gegaan. Ook processen als de fusie tussen VNO en NCW zijn ondenkbaar zonder een goede relaties tussen de beide voorzitters.

Terug naar ons vak. Hoe kijk je aan tegen de rol van de statistiek en de beslistkunde in de samenleving?

De statistiek heeft de meest zichtbare plaats. Het is heel goed dat statistiek nu al tot het voorgezet onderwijs is doorgedrongen. Er is wellicht allerlei

kritiek op mogelijk, maar in hoofdzaak is het heel goed dat de statistiek deze plek heeft weten op te eisen.

De besliskunde is minder zichtbaar. Achter de schermen worden de technieken echter veel gebruikt en heeft het een duidelijke impact. Op het niveau van een Raad van Bestuur van de ING speelt het niet, maar de besliskunde zit wel in de backbone van onze organisatie. Bureau's als ORTEC en anderen doen daarbij veel goed werk. In de pensioenwereld bijvoorbeeld spelen besliskundige modellen en technieken een cruciale rol.

Is dat toch niet wat overdreven? Als ik lees over besluitvorming rondom de uitbreiding van Schiphol, de Betuwelijn en de HSL zie ik toch weinig van de besliskunde?

Bij dergelijke vraagstukken speelt natuurlijk een groot aantal facetten een rol, en kan de besliskunde niet de regisseursrol spelen. Toch is het echt onjuist om de bijdrage van de besliskunde te marginaliseren. Denk aan het Centraal Plan Bureau waarvan de rekenmeesters bij een grote diversiteit aan vraagstukken worden betrokken.

Denk je nu anders over de betekenis en rol van de besliskunde dan 20 jaar geleden?

In essentie ben ik daar geloof ik niet anders over gaan denken. Op onderdelen ben ik natuurlijk wel te optimistisch of pessimistisch gebleken. Zo had ik meer verwacht van modulair opgebouwde bedrijfsmodellen. Iedere module representeert een aspect van de bedrijfsvoering en kan naar behoefte worden gepreciseerd. Een beperkt aantal globale grootheden verbindt de modules. Het geheel kan met technieken uit de systeemtheorie of door middel van simulatie worden geanalyseerd en als zodanig een handvat bieden voor strategische besluitvorming. Een vergelijkbare denktrant heeft in de informatica wel tot grote successen geleid, maar bedrijfsmodellen als zodanig zijn toch nog altijd niet echt van de grond

gekomen.

Vanuit mijn verantwoordelijkheden op logistiek en IT gebied bij de ING zie ik tot mijn genoegen dat de besliskunde vaak bijdraagt aan het succes. Ik ga daar niet als een soort missionaris achter aan in de hoop zoveel mogelijk besliskunde toe te passen. Ieder gebied moet zich in een kosten/baten afweging zelf bewijzen. Maar gelukkig zie ik de nodige successen en die stimuleer ik graag.

Hoe zie je de rol van een vereniging als de VVS

Een vereniging als de VVS kan een nuttige rol spelen als interface tussen theoretisch en praktisch georiënteerde vakgenoten, maar ook tussen vakgenoten en probeemeigenaren. Op gebieden als de financiële wiskunde en logistiek zijn deze interfaces al redelijk tot stand gekomen. Op andere gebieden is nog veel mogelijk.

Zullen we nogmaals opgeschrikt worden door een nieuwe wending in je carrière, of is het misschien verstandiger meer tijd voor jezelf en je gezin te nemen?

Ik denk niet dat veel mensen op hun sterfbed denken 'och, had ik maar wat meer tijd aan mijn werk besteed'. Het is niet altijd makkelijk om de juiste balans te vinden en niet pas achteraf te constateren dat de allerbelangrijkste zaken - vrouw en kinderen - extra aandacht nodig hadden. Voorlopig denk ik echter nog veel energie in mijn werk te willen en kunnen steken. Ik doe dat nog altijd met veel plezier. Mijn carrière heb ik nooit gepland. Professor van Est leerde mij als student al dat het goed was om goed over je toekomst na te denken, maar dat het toch altijd anders loopt. En dat is ook wel zo leuk. Ik houd van verandering, maar heb al veel geledingen van de samenleving gezien en de ING biedt nog zoveel uitdagingen dat ik daar makkelijk tot mijn pensioen zoet mee ben.

GERRIT TIMMER is directeur van ORTEC International bv

Het ontwerpen van experimenten met een genestelde data structuur

MIRJAM MOERBEEK

In experimenteel onderzoek gaat het erom de effecten van twee of meer verschillende behandelingen op een bepaalde uitkomstmaat te vergelijken. Een nuttig en alom toegepast instrument. Voorbeelden zijn te vinden in de veefokkerij (het vergelijken van de melkopbrengst van verschillende koeienrassen), de medische wetenschap (het vergelijken van



In de rubriek KALEIDOSCOOP aandacht voor het werk van promovendi. Zij presenteren de nieuwste ontwikkelingen in de statistiek en operations research. Voor inlichtingen Gerrit Stemerding, e-mail <gjstemerding@hotmail.com>.

het effect van verschillende medicijnen op het herstel van patiënten), en het onderwijs (het vergelijken van verschillende lesprogramma's op de kennistoename van leerlingen).

Experimenten kosten over het algemeen veel geld. Aan de hand van een experiment waarbij het effect van anti-tabaksvoorlichting op het rookgedrag van middelbare scholieren wordt gemeten, zal Mirjam Moerbeek laten zien hoe de kosten van experimenteel onderzoek kunnen worden beperkt.

Zij promoveerde vorig jaar aan de Universiteit Maastricht op haar proefschrift *Design and analysis of multilevel interven-*

Het ontwikkelen en uitvoeren van experimenten is over het algemeen erg kostbaar omdat er veel arbeidskracht en tijd voor nodig zijn. Tevens is de bereidheid van proefpersonen om aan het experiment deel te nemen nodig. Een voorbeeld van een experiment is een rookpreventie-interventie waarbij het effect van een anti-tabaksvoorlichting op het rookgedrag en de houding ten aanzien van roken van middelbare scholieren wordt bepaald.

In eerste instantie moet de interventie worden ontwikkeld. Uiteraard moet deze nieuwe interventie een beter resultaat opleveren dan reeds bestaande interventies. Daarvoor is kennis van psychologen, gezondheidsvoorlichters, communicatiewetenschappers en andere inhoudelijk deskundigen nodig. Vervolgens moet lesmateriaal worden ontwikkeld en worden degenen die de lessen zullen verzorgen getraind. Na de interventie worden de gegevens over het rookgedrag van de leerlingen voor en na de interventie verzameld en geanalyseerd en vergeleken met die van leerlingen uit de controlegroep, die geen of een reeds bestaande rookpreventie-interventie hebben ontvangen.

Vaste en variabele kosten

Gezien al deze inspanningen is het belangrijk om van te voren goed over de opzet van het experiment na te denken, en een experiment op te zetten met minimale kosten. Als er in werkelijkheid een verschil tussen de interventie- en controlegroep is wat betreft het rookgedrag van leerlingen dan wil men dit ook met een zo groot mogelijke kans aantonen. Deze kans wordt het onderscheidingsvermogen genoemd. Aan de andere kant wil men de kans op het foutief concluderen dat er een verschil is tussen de twee groepen zo klein mogelijk houden. Deze kans wordt aangeduid met de term onbetrouwbaarheidsdrempel. De waarden van deze twee kansen dienen van tevoren vastgelegd te worden en vervolgens moeten de kosten van het experiment worden geminimaliseerd gegeven deze waarden. Nu bestaan de kosten van een

experiment als het rookpreventie onderzoek uit vaste en variabele kosten. Vaste kosten bestaan bijvoorbeeld uit de kosten voor het ontwikkelen van de interventie en het bijbehorende lesmateriaal en hangen dus niet af van het aantal leerlingen dat aan het onderzoek deelneemt. Dit is niet het geval voor de variabele kosten welke juist wel van het aantal leerlingen afhangen.

Het is echter niet voldoende om alleen het totale aantal benodigde leerlingen te bepalen zodanig dat de variabele kosten geminimaliseerd worden. Leerlingen zijn immers genesteld binnen scholen en het kost niet alleen geld om leerlingen in het onderzoek op te nemen maar ook om scholen in het onderzoek te betrekken. Immers, meer scholen betekent hogere administratieve kosten en hogere kosten voor het opleiden van de personen die de lessen van de interventie zullen verzorgen. Stel nu dat de kosten voor het opnemen van een school constant zijn over de scholen en dat de kosten voor het opnemen van een leerling niet variëren over de leerlingen of over de scholen. De totale variabele kosten zijn dan gelijk aan het totale aantal leerlingen maal de kosten per leerling plus het aantal scholen maal de kosten per school. Om deze kosten te kunnen minimaliseren moet dus niet alleen het totale optimale aantal leerlingen worden bepaald, maar ook het optimale aantal scholen en het optimale aantal leerlingen per school.

Randomizatie

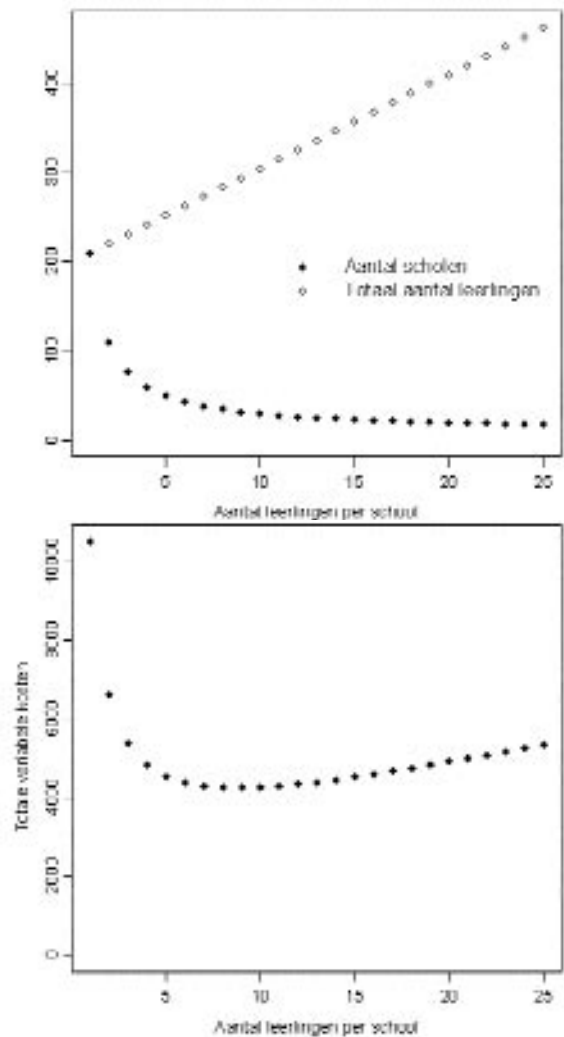
Bij genestelde populaties moet tevens het niveau van randomizatie bepaald worden. Men kan er voor kiezen om complete scholen aan de twee behandelingsgroepen toe te wijzen. Dat wil zeggen dat de helft van de scholen in de steekproef aan de interventie mee doen terwijl de andere helft de controlegroep vormt. In dit geval is er slechts één behandelingsconditie binnen elke school. Men kan er ook voor kiezen eerst een steekproef van scholen te trekken en vervolgens per school een

steekproef te trekken en de leerlingen daarbinnen aan één van de twee behandelingscondities toe te wijzen zodanig dat beide condities evenveel leerlingen bevatten. De optimale steekproefgroottes en de variabele kosten zullen afhangen van het niveau van randomizatie.

Als gevolg van de nesteling van leerlingen binnen scholen zullen uitkomstmaten als rookgedrag en houding ten aanzien van roken afhangen van dat van medeleerlingen. Immers, leerlingen beïnvloeden elkaars gedrag, maar ook wordt hun gedrag beïnvloed door dat van leraren en door het schoolbeleid. De mate van afhankelijkheid van uitkomstmaten van leerlingen in eenzelfde school wordt veelal weergegeven door de intra-school correlatiecoëfficiënt, waarvan een onderbouwde schatting gegeven moet worden om de optimale steekproefgroottes op zowel het leerling als het school niveau te kunnen berekenen.

Randomizatie

Eén en ander wordt geïllustreerd aan de hand van de figuren 1 en 2 voor randomizatie op respectievelijk het school- en leerlingniveau. In de figuren 1a en 2a wordt het benodigde aantal scholen en het totale aantal leerlingen gegeven als functie van het aantal leerlingen per school om een onderscheidingsvermogen van 0.9 en een onbetrouwbaarheid van 0.05 te bereiken. De schatting van de intra-school-correlatiecoëfficiënt is in dit voorbeeld op 0.05 gezet. Zoals uit deze figuren blijkt daalt het aantal scholen als het aantal leerlingen per school toeneemt. Het totale aantal leerlingen neemt toe met het aantal leerlingen per school voor randomizatie op het schoolniveau (figuur 1a). Voor randomizatie op het leerlingniveau is het totale aantal leerlingen juist constant (figuur 2a). Het benodigde aantal scholen voor een gegeven aantal leerlingen per school is dus groter voor randomizatie op het schoolniveau. Alhoewel alle gegeven combinaties van aantal scholen en aantal leerlingen per school zoals gegeven in de



Randomizatie op het schoolniveau

Figuur 1a (boven). Aantal scholen en totaal aantal leerlingen als functie van het aantal leerlingen per school voor randomizatie op het schoolniveau.

Figuur 1b (onder). Totale variabele kosten als functie van het aantal leerlingen per school voor randomizatie op het schoolniveau.

figuren 1a en 2a voldoen, zullen de variabele kosten verschillen over deze combinaties zoals aangegeven in de figuren 1b en 2b. Er is als voorbeeld vanuit gegaan dat er 10 en 40 valuta-eenheden (gulden of euro's) nodig zijn voor het opnemen van een leerling respectievelijk een school in het onderzoek. Zoals blijkt uit figuur 1b worden de minimale kosten voor randomizatie op het school niveau bereikt wanneer het aantal leerlingen per school gelijk is aan 9. Uit figuur 1a volgt dat het

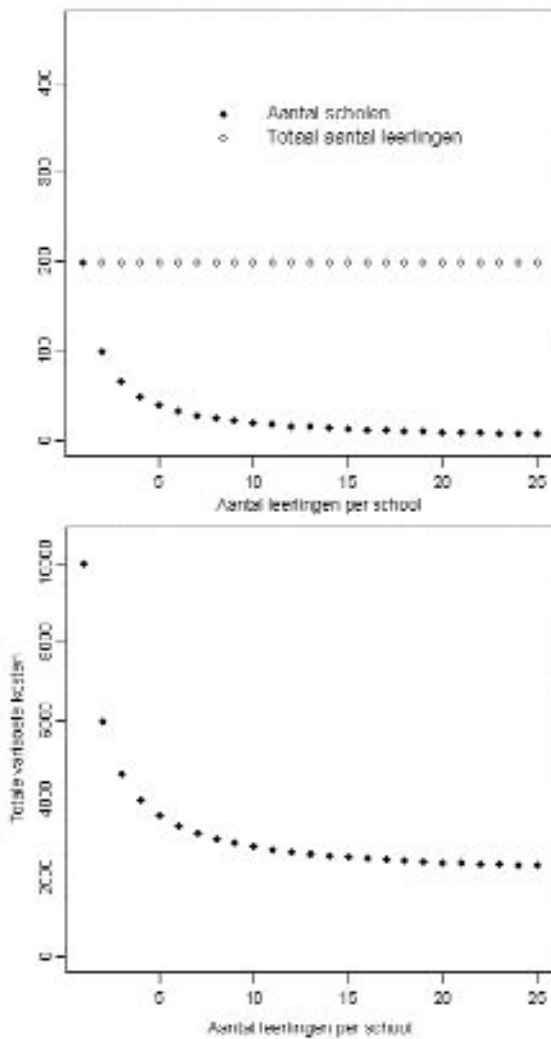
KWALITEIT

&

verbeterprogramma's

RONALD DOES

Kwaliteitszorg is een belangrijk aspect van de technische bedrijfsvoering in een industriële omgeving. De zorg geldt dan niet louter het product, maar vooral ook de onderliggende processen van de industriële productie. In eerdere bijdragen (zie STATOR 2000/2, STATOR 2001/1) introduceerde Ronald Does de kwantitatieve verbeterprogramma's SPC en Zes Sigma. In de literatuur zijn nog andere verbeterstrategieën te vinden. Does beperkt zich in deze bijdrage tot strategieën waarvoor geldt dat ze een goed gedefinieerde methodologie hebben en dat ze in de praktijk hun nut hebben bewezen: de zogenoemde Taguchi methoden en het Shainin systeem. Aan bod komen de verschillen en overeenkomsten tussen de vier programma's.



Randomizatie op het leerlingniveau

Figuur 2a (boven). Aantal scholen een totaal aantal leerlingen als functie van het aantal leerlingen per school voor randomizatie op het leerlingniveau.

Figuur 2b (onder). Totale variabele kosten als functie van het aantal leerlingen per school voor randomizatie op het leerlingniveau.

bijbehorende aantal scholen gelijk is aan 32. Voor randomizatie op het leerlingniveau moet het aantal leerlingen per school zo groot mogelijk zijn. Een vergelijking van de figuren 1b en 2b toont verder dat de kosten voor randomizatie op het leerlingniveau lager zijn dan die voor randomizatie op het schoolniveau. Randomizatie op het leerlingniveau heeft dus vanuit statistisch oogpunt de voorkeur boven randomizatie op het schoolniveau.

MIRJAM MOERBEEK is werkzaam bij het Rijksinstituut

De Japanner Genichi Taguchi heeft in de jaren vijftig van de vorige eeuw diverse methodologieën en concepten ontwikkeld om producten en processen te verbeteren. De Taguchi-methoden - om te komen tot een robuust ontwerp van processen en producten - blijken goed aan te slaan. Immers elk proces en elk product vertoont variatie vanwege onvolkomenheden in materialen, machines en omgevingsfactoren. Sommige van deze onvolkomenheden kunnen niet beheerst worden of de beheersing daarvan is te duur. In een robuust ontwerp beschouwt men zulke factoren als ruis. Een proces of product wordt robuust genoemd als het ongevoelig is voor deze ruisfactoren in de productieomgeving en daarbuiten. Door robuust te ontwerpen zal de variatie in kwaliteit zo klein als mogelijk zijn. Niet alleen de specifieke klasse van proefopzetten (de zogenaamde *outer* en *inner orthogonal arrays*) is geaccepteerd door de tech-

nici als nuttig hulpmiddel, ook de bijbehorende, veelal grafische analysemethoden gebaseerd op een signaal-ruis verhouding zijn volledig ingeburgerd. Alhoewel vanuit de statistische wereld nogal wat kritiek op de methodiek is gegeven, heeft het nut van zijn aanpak zich ruimschoots bewezen. Ook zijn drie-fasen model om te komen tot een robuust ontwerp (namelijk systeemontwerp, parameterontwerp en tolerantieontwerp) is bij ontwikkelaars gemeengoed geworden. Een operationalisatie van de aanpak van Taguchi is beschreven door Ross (1996). Zijn aanpak wordt rondom de experimenteerstrategie van Taguchi opgebouwd. Met name de planningsfase wordt expliciet uitgewerkt.

Het Shainin-systeem

Het Shainin-systeem is opgebouwd uit een verzameling kant-en-klare kwantitatieve technie-

Strategie	Belangrijkste fasen	Soort technieken	Soort verbetering	Typische gebruiker
SPC	Plannen Analyseren Verbeteren Borgen	Kwalitatief Observationeel kwantitatief	Stabiliseren	Multidisciplinaire teams met operators en technici
Zes Sigma	Plannen Analyseren Verbeteren Borgen	Kwalitatief Observationeel kwantitatief Experimenteel kwantitatief	Optimaliseren	Middel-management en specialisten (BBs)
Taguchi	Plannen Analyseren Verbeteren	Kwalitatief Experimenteel kwantitatief	Optimaliseren	Technici (ontwikkeling)
Shainin	Plannen Analyseren Verbeteren Borgen	Observationeel kwantitatief Experimenteel kwantitatief	Optimaliseren (Stabiliseren)	Technici (productie)

ken, die gemakkelijk zijn te begrijpen en toe te passen. De bedenker ervan is Dorian Shainin die in het kader van het Zes Sigma-programma bij Motorola nieuwe technieken heeft bedacht. Later heeft hij een eigen adviesbureau opgericht, dat hij samen met zijn zoons Peter en Richard heeft uitgebouwd. De Shainin-methoden bedienen zich van een eigen taal en gaan uit van het principe dat voor ieder proces slechts een heel beperkt aantal factoren is te identificeren die de grootste variatie veroorzaken. De grootste boosdoener wordt de 'Red X' genoemd en zijn eventuele handlangers 'Pink X' en 'Pale Pink X'. Het gehele systeem is gepatenteerd als handelsmerk en weinig toegankelijk. De grote propagandist van het systeem is Keki R. Bhote. In zijn boek beschrijft hij een deel van de onderliggende strategie (zie Bhote, 1991). Ook in hoofdstuk 9 van Does, Roes en Trip (1999) is een aantal probleemoplossende hulpmiddelen van Shainin te vinden. Zijn de Taguchi-methoden vooral populair geworden bij ontwikkelaars, het Shainin-systeem richt zijn aandacht vooral op de productieafdeling. Het Shainin-systeem heeft als doelstelling de dominante invloedsfactoren op te sporen en aan te pakken. Daartoe worden productiegegevens verzameld en geanalyseerd, en worden eventueel eenvoudige proeven gedaan. De Shainin-methoden blinken niet uit door hun statistische kracht. Vaak wordt in het midden gelaten onder welke voorwaarden bepaalde technieken gebruikt kunnen worden zodat een evaluatie niet eenvoudig is.

Verschillen en overlap van verbeterstrategieën

In De Mast, Schippers, Does en Van den Heuvel (2000) worden SPC, Zes Sigma en de methodieken van Taguchi en Shainin vergeleken. In Tabel 1 worden de overeenkomsten en verschillen samengevat. Binnen de vier vergeleken programma's zien we dezelfde fasen doorlopen worden. Elke strategie

kent een planningsfase. Daarna volgt een analyse- en verbeterfase. Bij drie strategieën wordt het geheel afgerond met een borgingsfase. Dus wat dat aspect betreft overlappen alle strategieën elkaar redelijk. De verschillen uiteten zich met name in het gebruik van de technieken. Shainin verwerpt het gebruik van kwalitatieve technieken, terwijl SPC bijvoorbeeld geen gebruik maakt van experimenten (proefopzetten). SPC onderscheidt zich ook doordat het geen optimalisatie nastreeft maar, zoals in de naam is aangegeven, primair gericht is op stabilisatie. Tot slot worden in de laatste kolom de typische gebruikers op een rij gezet. Hieruit volgt dat SPC en Shainin eenvoudige technieken gebruiken in verband met hun doelgroep (de werkvloer). Taguchi wordt vooral toegepast in ontwikkeling en kan dus geavanceerde methoden gebruiken. Zes Sigma gebruikt een compleet scala van (geavanceerde) technieken die vanwege het opleidingsniveau van de gebruikers geen probleem in het gebruik hoeven te geven.

LITERATUUR

Bhote, K.R. (1991), *World Class Quality*. New York, Amacom.

Does, R.J.M.M., E.R. van den Heuvel, J. de Mast, W.A.J. Schippers, A. Trip en J.E. Wieringa (2001), *Zes Sigma zakelijk verbeterd*. Alphen aan den Rijn, Samsom.

Does, R.J.M.M., K.C.B. Roes en A. Trip (1999), *Statistical Process Control in Industry*. Dordrecht, Kluwer Academic.

Mast, J. de, W.A.J. Schippers, R.J.M.M. Does en E.R. van den Heuvel (2000), Steps and strategies in process improvement. *Quality and Reliability Engineering International* 16, 301-311.

Ross, Ph.J. (1996), *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. Londen, McGraw-Hill.

RONALD J.M.M. DOES is hoogleraar Industriële Statistiek en directeur van IBIS UvA BV, Universiteit van Amsterdam. E-mail: <rjmmdoes@science.uva.nl>.

Risicomanagement bij financiële instellingen



FRANS BOSHIJZEN EN PETER SPREIJ

Financiële instellingen (banken, verzekeringsmaatschappijen, treasury-afdelingen van internationaal opererende ondernemingen) proberen zich op allerlei manieren in te dekken tegen financiële risico's. Deze risico's kunnen van allerlei aard zijn. Denk bijvoorbeeld aan fluctuaties van wisselkoersen (de neergang van de euro ten opzichte van de Amerikaanse dollar!), grote schadeclaims bij noodweer, waardeverandering van beleggingsportefeuilles (zeer van belang voor pensioenfondsen die hun verplichtingen op het gebied van pensioenaanspraken moeten nakomen) etc. Maar ook eenvoudiger situaties zijn denkbaar, wat dichterbij huis, bijvoorbeeld risico's die voor hypotheeknemers optreden zowel voor als nadat een hypotheek, om de aankoop van een huis te financieren, wordt afgesloten. In dit stuk gaan we nader in op dit voorbeeld.

Het particuliere huizenbezit in Nederland is sterk toegenomen. Meer dan de helft van de huishoudens in Nederland woont in een koopwoning en heeft een of andere vorm van hypotheek. Vanaf het uitbrengen van de offerte voor een hypotheek tot en met het laatste aflossingstermijn loopt een hypotheeknemer * risico's. Deze zijn voor een deel ingebouwd in het product dat aan de klant verstrekt wordt. We beschouwen hier voor het gemak een gewone annuïteitenhypotheek.

Klanten hebben vanaf het uitbrengen van de offerte een zekere periode (in de praktijk meestal ca. 8 weken) de tijd om na te denken over het aanvaarden van de offerte. Gebruikelijk is dat klanten kunnen profiteren van daling van de hypotheekrente in die periode, maar dat ze bij een stijging van de rente het recht houden om de hypotheek af te sluiten tegen het percentage dat in de offerte genoemd is. De klant beschikt dus over een rente-optie (die altijd door de bank in het voordeel van de klant wordt uitgeoefend).

Is de hypotheek eenmaal afgesloten, dan lijkt het erop dat de hypotheeknemer - gedurende de looptijd - zeker is van zijn inkomsten. Echter, de meeste hypotheek bieden de klant de mogelijkheid tussentijds de hypotheek af te lossen. Zo gauw dit gebeurt, loopt de hypotheeknemer de rente-inkomsten over de resterende looptijd mis. Bij een dalende rente is dat voor de bank erg nadelig. Verder is het zo dat voor slechts een deel van de looptijd van de hypotheek een rentepercentage wordt afgesproken. Is die tijd verstreken, dan heeft de klant soms het voordeel van een rente-bedenktijd, vaak twee jaar. De situatie is enigszins verwant aan wat zich afspeelt bij het uitbrengen van de offerte. De klant kan wachten tot de rente een naar zijn smaak aanvaardbaar niveau heeft. Het verschil met de eerder geschetste situatie is echter dat er nu ook voor de klant sprake van een risico is: de rente kan gedurende het gehele restant van de rente-bedenktijd ook boven het niveau van de aanvang van deze periode blijven.

Sommetje

Laten we dit illustreren met een eenvoudig reken-sommetje. Beschouw een hypotheek met een looptijd van 10 jaar, die afgesloten wordt tegen een percentage van 8%. De hypotheeknemer (laten we zeggen een bank) stelt het hypotheekbedrag, zeg 100 in geschikte eenheden, ter beschikking en moet dit zelf financieren (binnen of buiten de eigen organisatie) tegen een percentage van 7%. De bank maakt dus een winst van 1 eenheid per jaar. Na zes jaar besluit de klant - het algemene renteniveau is gedaald en herfinanciering van het huis blijkt voordelig te zijn voor de klant - de helft van de lening vervroegd af te lossen. Laten we aannemen dat dezelfde 10-jarige hypotheek nu wordt afgesloten tegen 5%. Dit is mooi voor de klant (lagere lasten). Echter, de bank zit nog steeds vast aan zijn financiering tegen het 7% percentage, en lijdt dus de komende vier jaar een verlies van 2%.

Een andere optie waar de klant over beschikt, is de zogeheten meeneem-optie bij de aankoop van een nieuw huis. Hij kan kiezen tussen het percentage waartegen hij zijn oorspronkelijke hypotheek heeft afgesloten en het op het moment van kopen geldende markttarief. Een hypotheek wordt juridisch gezien altijd afgelost bij verkoop van het oude huis omdat een hypotheek altijd verbonden is met het onderpand.

Al deze opties waarover een klant beschikt wekken de indruk dat de bank zich klantvriendelijk opstelt. Dat is natuurlijk maar schijn. Banken zijn geen filantropische instellingen en zullen het verstrekken van deze opties dan ook doorberekenen aan de klant. De cruciale vraag is tegen welke prijs deze opties in het contract moeten worden ingebouwd. Het bepalen van deze prijs is lang een probleem geweest waarvoor geen oplossing bestond. Pas recent - in de geschiedenis van het bankwezen - bestaat er een kwantitatieve aanpak van deze centrale vraagstelling. In 1973 verscheen het baanbrekende artikel van Black en Scholes, waarin uitgaande van zekere modelveronderstel-

lingen een formule voor het berekenen van een prijs voor een Europese call optie werd gepresenteerd. De prijs van opties in hypotheek kan men met behulp van deze theorie ook bepalen. Banken doen bij het bepalen van een prijs voor deze opties ook statistisch onderzoek naar hoe hun klanten omgaan met de geboden opties. In de praktijk is het namelijk zo dat de 'gewone klant' minder rationeel omgaat met geboden rechten dan professionele institutionele tegenpartijen. Bovendien worden beslissingen omtrent vervroegde aflossingen ook vaak genomen uit ander dan 'rente-overwegingen'; denk bijvoorbeeld aan een erfenis.

Risicomanagement

Het bepalen van de prijs van een hypotheek, een optie of een ander financieel product is echter niet hetzelfde als het managen van financiële risico's. Risicomanagement is het meten en desgewenst zich indekken (*hedgen*) tegen mogelijk verlies via het samenstellen van een portefeuille van financiële producten/instrumenten. Indien de bank zich wil indekken dan moet de *ge-hedge-de* hypotheekportefeuille een zo stabiel mogelijke winst genereren in alle gevallen van de zich veranderende markt. In het eerdere voorbeeld van de hypotheekverstrekking zal de afdekking zo moeten zijn, dat een daling van de hypotheekrente naar 5 % opgevangen wordt door de totale portefeuille inclusief afdekking. Om zo'n portefeuille samen te stellen worden vaak (met behulp van simulaties) diverse scenario's doorgerekend. Voor de risicomanager ligt de taak in het voldoen aan de eis dat er in een *worst case* slechts een van te voren bepaald verlies mag optreden. Of aan deze eis wordt voldaan kan worden vastgesteld door de scenario's te testen.

Er zijn verschillende risicomaatstaven denkbaar. In de praktijk wordt veel gebruik gemaakt van de *Value at Risk* (VaR). Deze komt er op neer dat er gedurende een bepaalde tijd in slechts een klein aantal gevallen een bepaald maximaal verlies geleden mag worden. In kanstheoretische termen

betekent dit dat er een bepaald kwantiel van de verdeling van mogelijke marktwaardeveranderingen van de portefeuille uitgerekend moet worden. Een belangrijke rol wordt in zo'n berekening gespeeld door de volatiliteitsparameter. Deze beschrijft de (on)rust in de markt. In een markt die onderhevig is aan grote veranderingen heeft deze parameter een hoge waarde, in een kalme markt een kleine. Intuïtief is duidelijk dat deze parameter van groot belang is voor het beheersen van risico's, immers in een woelige markt zijn de risico's groter dan in een markt waarin bijna niets gebeurt. Ook speelt bij de vaststelling van VaR van portefeuilles de correlatie tussen verschillende deelmarkten een rol. Een andere gebruikte maatstaf is *Earnings at Risk* (EaR). Verschil met VaR is dat bij EaR gekeken wordt naar de boekhoudkundige winst in plaats van naar veranderingen van de marktwaarde.

Andere voorbeelden

Vanzelfsprekend is het voorbeeld van de annuïteitenhypotheek slechts een van de vele mogelijkheden. Er is een grote verscheidenheid aan financiële producten op de markt en voortdurend worden nieuwe producten ontwikkeld. Denk maar aan de campagnes die Legio-Lease voert om hun producten aan de man te brengen en aan de vele reclames die alle banken, verzekeraars en vermogensbeheerders maken om koopsompolissen aan de man te brengen. Maar ook buiten de financiële instellingen speelt risicobeheer een grote rol. In dit verband is het voorbeeld van Hoogovens (nu Corus) vermeldenswaard. Hoogovens heeft te kampen met een sterke stijging van het Britse pond ten opzichte van de euro, waardoor de inkomsten in ponden op de voor hun belangrijke Britse markt gekelderd zijn. Een verwant voorbeeld is dat van het inmiddels ter ziele gegane Fokker, dat veel te lang intern met een dollarkoers van 1,85 gulden rekende terwijl de dollar maar 1,60 gulden waard was. Van enig afdekken van valutarisico's was bij Fokker geen sprake. Bedrijven hebben uit dit soort

STATISTISCHE EQUIVALENTIE

situaties lering getrokken en grote ondernemingen als Philips beschikken tegenwoordig over uitgebreide *treasury departments* wier taak het is aan risicobeheersing te doen. Ook in de agrarische sector wordt aan risicobeheer gedaan. Boeren stellen hun toekomstige inkomsten op bijvoorbeeld de aardappelmarkt veilig via de termijnmarkt.

Welke van de genoemde voorbeelden ook van toepassing is, altijd zal een kwantitatieve analyse van marktgegevens en wiskundige modellen de grondslag vormen voor het bepalen van prijzen en het onderbouwen van risicobeheersing. Het doorrekenen van de bovengenoemde scenario's is vooral het werk van statistici; de onderliggende modellen - ook met de al eerder genoemde volatilitateitsparameter - moeten worden geschat.

Bij financiële instellingen is voor het kwantitatieve werk een keur aan personen aan het werk. Naast statistici vinden we er economen, econometristen, enkele wiskundigen, maar ook fysici en sterrenkundigen. Naast werk van statistische aard, worden *extreme event* scenario's ontwikkeld en wordt gebruik gemaakt van neurale netwerken en analytische methoden uit andere delen van de wiskunde, zoals de theorie van de partiële differentiaalvergelijkingen. Vaak is het zo dat de opties (bijvoorbeeld hypotheekopties) die we in de praktijk vinden te complex zijn om een analytische 'gesloten vorm' prijs te berekenen. In dat geval zijn numerieke methoden (numeriek integreren/differentiëren) nodig om efficiënt te prijzen en risico-maatstaven te berekenen.

* NOOT VAN DE REDACTIE.

In deze bijdrage zijn de juiste benamingen *hypotheeknemer* voor de bank en *hypotheekgever* voor de huiseigenaar gebruikt. In het dagelijks spraakgebruik worden deze benamingen meestal omgekeerd.

FRANS BOSHUZEN is werkzaam bij de ING Group BV, Amsterdam (Market Risk Management).
E-mail: <frans.boshuizen@mail.ing.nl>.

PETER SPREIJ is verbonden aan het Korteweg-de Vries Instituut voor Wiskunde van de Universiteit van

In een interview met prof. dr. Jan Hemelrijk in STATOR 3, 2000, viel terloops - zonder verdere uitleg - de term 'equivalentieprincipe'. Een lezer vroeg hem wat die term betekende en daar er geen relevante literatuur voor handen was, zet hij hieronder alsnog het begrip uiteen, gevat in de context van de principes van de toepassing van de kansrekening op de praktijk.

J. HEMELRIJK

De theorie van de statistiek berust op de kansrekening, een onderdeel van de maattheorie. Deze is in hoge mate exact, zoals wiskunde in het algemeen, en levert ons wat dat betreft geen probleem meer op. De praktijk van de statistiek, de werkelijkheid zo men wil, mist deze exactheid. Hoewel men er wel intelligent over kan nadenken en spreken kan men zonder de hulp van de theorie (in dit geval de kansrekening) geen grote precisie bereiken. De vaagheden van de werkelijkheid laten zich niet zomaar verdrijven.

Het probleem, dat vanouds de toepassing van statistische technieken heeft beheerst is hoe de brug te slaan tussen deze twee gebieden, theorie en praktijk. Deze brug bestaat uit het kiezen van een wiskundig model voor een gegeven praktijk-

situatie, waarbij de twee eilanden waartussen de brug geslagen wordt steeds goed onderscheiden moeten worden wil men het doel *succesvolle toepassing van de exacte theorie op de onprecieze praktijksituatie* bereiken.

Dat de praktijk vol met vaagheden zit is in het geval van statistische problemen zeer duidelijk. Een kernbegrip, zelfs het meest wezenlijke kernbegrip van statistische praktijkproblemen, is **onvoorspelbaarheid**. En dit is een negatief begrip dat uit de aard van deze negativiteit een grote vaagheid bezit. Toch berust de ontwikkeling van de statistische gedachtegang op dit negatieve begrip. Maar wij zullen zien dat ook praktisch gezien dit begrip niet volledig negatief is, maar ook tot positieve, zij het vage, conclusies leidt. Daarnaast merken wij op, dat de theorie, de kansrekening, niets van deze negativiteit heeft. Daarom is juist het slaan van de brug zo belangrijk.

Aselector

Men kan de hele statistiek ontwikkelen vanuit het begrip aselector. Een aselector is een apparaat, dat telkens bij in werking stellen één uitkomst geeft uit een bekende eindige verzameling van mogelijke uitkomsten, laten we om de gedachten te bepalen denken aan de getallen 0 tot en met 9 (een 10-aselector). Zo'n machine is alleen dan waard om de naam aselector te dragen, als de uitkomst telkenmale strikt onvoorspelbaar is. Van dit begrip zijn verschillende omschrijvingen te geven, maar deze dragen alle hetzelfde negatieve karakter en hebben een gemeenschappelijke vaagheid. Eén mogelijke omschrijving is, dat alle mogelijke voorspellingsystemen gelijkwaardig zijn. Dat lijkt een positieve uitspraak, maar het is slechts een vermoede negatieve uitspraak: geen voorspellingssysteem is beter dan enig ander systeem. Met andere woorden voorspellen is onbegonnen werk. Niet dat men altijd verkeerd voorspelt, dat zou dan bij alle systemen het geval moeten zijn. En dat zou in strijd zijn met strikte onvoorspelbaarheid.

De mogelijkheid om uit het negatieve begrip van strikte onvoorspelbaarheid tot conclusies te komen gaat verder dan dit voorbeeld. Een soortgelijke conclusie, eveneens negatief en met de vaagheid van dergelijke direct aan de praktijk ontleende uitspraken, is dat van alle mogelijke uitkomsten (0 tot en met 9) geen enkele systematisch vaker voorkomt dan enige andere. Ware dit wel het geval dan zouden niet alle voorspellingssystemen meer gelijkwaardig zijn. Opvallend is de vaagheid van de term 'systematisch vaker'. We kunnen niet zonder meer zeggen wat deze term betekent, maar hebben er wel een (vaag) idee van. Maar vergeet niet dat dit alles praktijk is en dat we mogen hopen een grotere precisie te bereiken door de brug naar de theorie over te gaan.

Vooruitlopend op wat volgt als men de theorie verder ontwikkelt, merken we op dat de gewone en de sterke wet der grote aantallen juist de precisering geven die wij van de theorie mogen verwachten.

Symmetrisch kansveld

Het algemeen aanvaarde wiskundige model voor een aselector is een symmetrisch kansveld (op de mogelijke uitkomsten, 0 tot en met 9 in ons geval), dus gelijke kansen voor de mogelijke uitkomsten met onafhankelijkheid van opeenvolgende resultaten. En met in feite de definitie van Laplace voor kansen van samengestelde gebeurtenissen. De noodzaak van het postuleren van de onafhankelijkheid laat zich in de praktijk weer afleiden uit de onvoorspelbaarheid van individuele uitkomsten. Dit zijn details waar wij hier niet op ingaan.

Is dit basismodel eenmaal gekozen, dan laat zich de hele theorie verder opbouwen. Eerst ontstaat een eindig model met niet meer noodzakelijk gelijke kansen en via aftelbare kansvelden is de generalisatie tot algemene kansruimten een wiskundige generalisatie. In de praktijk is alles eindig, maar dat is voor de theorie geen beletsel en dit verschil tussen theorie en praktijk hoeft ons geen ernstige zorgen te baren. Dat komt bij

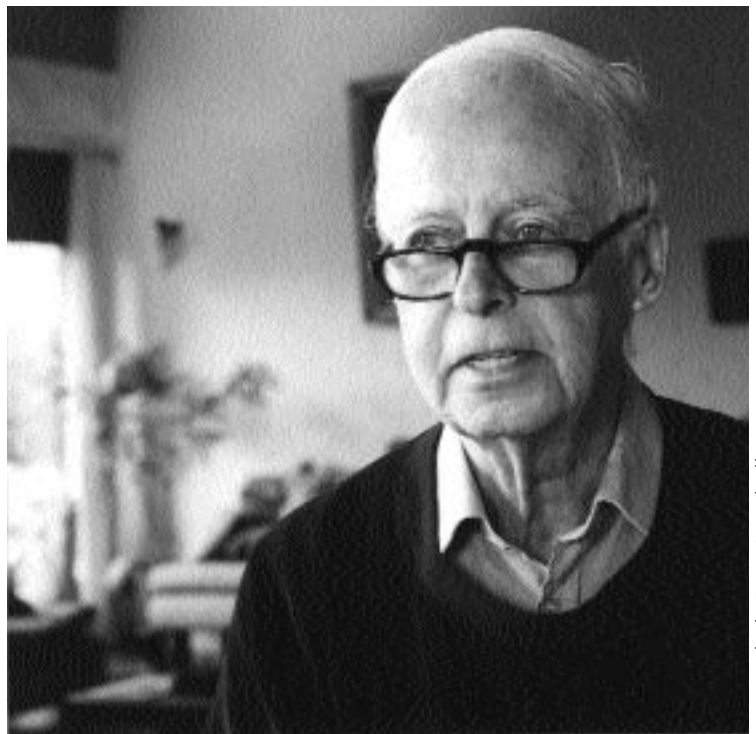
de interpretatie van theoretische resultaten (de terugweg over de brug) wel in orde.

Tenslotte kan men zich afvragen hoe men nu in gevallen die ingewikkelder zijn dan de eenvoudige situatie van een aselector tot de keuze van een wiskundig model komt. Welnu, daarover is men het lang niet altijd eens. De reden daarvan is dat modelkeuze, of zo men wil modelbouw, een kunst en een kunde is, zonder strenge regels. Er bestaat een aantal verschillende scholen in dit opzicht: de frequentionistische, de Bayesiaanse, objectieve en subjectieve, noem maar op. Heftige strijd over deze modelkeuze vindt vaak plaats, zoals bij kunst en kunde wel meer het geval is.

Equivalentieprincipe

Tot slot van deze korte en weinig uitgewerkte beschouwingen, die bovendien grotendeels algemeen bekende zaken bevat, doe ik hier een poging om een eerste kleine stap van ordening aan te brengen in de kwestie van modelkeuze en wel in de vorm van een equivalentieprincipe. Dit principe geeft aan hoe men kan trachten te beslissen of twee verschillende experimenten aan hetzelfde wiskundige model gekoppeld kunnen worden. De plaats van het principe is de praktijk, voorafgaand aan de wiskundige behandeling. Het is niet verbaazingwekkend dat dit principe weer berust op een negatief begrip.

Wij beschouwen twee herhaalbare experimenten, die de onderzoeker bekend zijn, A en B. Verder zijn er twee schermen, I en II, en achter ieder van deze twee schermen wordt één van de experimenten A en B uitgevoerd. Het is de onderzoeker niet bekend achter welk scherm A en achter welk scherm B wordt uitgevoerd. Nu krijgt de onderzoeker volgens zijn wensen series waarnemingen van A en van B en van I en II (d.w.z. van de experimenten achter I en II) zoveel hij maar wenst, maar wel steeds nieuwe series. Van deze waarnemingen weet hij dus waar ze vandaan komen. Hij mag steeds, indien hij dat wenst, om nieuwe waarne-



J. Hemelrijk. Foto Gerard Alberts.

mingen vragen. Wanneer nu deze waarnemingen hem op geen enkele wijze in staat stellen om uit te maken of experiment A achter scherm I of scherm II wordt uitgevoerd (en B achter II of I), dan noem ik de twee experimenten **statistisch equivalent** en dan is er geen reden van statistische aard om ze aan verschillende wiskundige modellen te koppelen. Of ook: het gebruik van hetzelfde wiskundige model voor beide experimenten is dan gerechtvaardigd. Er kunnen natuurlijk wel praktische redenen zijn om verschillende modellen te kiezen, maar dat is een andere zaak. Men zou statistische equivalentie kort kunnen karakteriseren door te zeggen: twee experimenten zijn statistisch equivalent als ze op grond van hun resultaten alléén niet van elkaar te onderscheiden zijn. De bovenstaande beschrijving is een poging tot precisering van deze uitspraak. Onderzoek of twee experimenten in deze zin equivalent zijn zal vrijwel altijd een gedachte-experiment zijn en in werkelijkheid zal zo'n principe vaak losjes gehanteerd worden; ook als twee experimenten slecht bij benadering equivalent worden geacht zal vaak hetzelfde model worden gebruikt. Maar het principe geeft wel een richtlijn.

Equivalent zijn bijvoorbeeld twee verschillende aselectoren met dezelfde mogelijke uitkomsten. Is het aantal mogelijke uitkomsten verschillend, dan zijn de aselectoren niet equivalent, want ze zijn gemakkelijk van elkaar te onderscheiden aan hun uitkomsten. Wel behoren zij tot eenzelfde klasse en kunnen zij beide behandeld worden met een symmetrisch kansveld, maar niet met hetzelfde. Het principe, zoals boven geformuleerd, heeft betrekking op individuele modellen, niet op klassen. Dat zou nader kunnen worden uitgewerkt. Een experiment dat naar mijn mening equivalent is met een 10-aselector is het volgende: u rijdt in de auto en neemt het laatste cijfer waar dat op het nummerbord staat van de eerstvolgende tegenligger. Dit experiment is in normale situaties equivalent met een 10-aselector. Hieraan verandert niets als men een van tevoren vastgestelde permutatie op de getallen 0 tot en met 9 toepast.

‘Ja, ruilen’

Een ander voorbeeld, dat enige actualiteit bezit, is het volgende. Bij een zekere tv-quiz bestaat de mogelijkheid om een auto te winnen. De winnaar van de quiz mag kiezen uit drie met gordijnen afgesloten boxen, waarvan er één een auto bevat, terwijl de andere twee leeg zijn. De winnaar wordt door de presentator gevraagd een box te kiezen. Is dit gebeurd, dan schuift de presentator het gordijn van die box niet opzij, maar zegt tegen de winnaar: ‘ik zal u een beetje helpen’, en hij schuift het gordijn van één van de twee andere boxen opzij en deze blijkt leeg te zijn. Nu vraagt hij de winnaar of hij de door hem aangewezen box wil handhaven of wil ruilen tegen de derde box. Heftige debatten zijn alom gevoerd om de vraag te beantwoorden of men er wijs aan doet op dit ruilaanbod in te gaan of niet. Het antwoord op deze vraag hangt af van enkele uitwendige omstandigheden. Het is duidelijk, dat de presentator weet in welke box de auto zich bevindt. Anders zou hij niet feilloos zelf een lege box van zijn gor-

dijn kunnen ontdoen. Dan is nog de vraag of hij het doen van zijn aanbod laat hangen van het al dan niet juist zijn van de oorspronkelijke aanwijzing van de winnaar. Als dat zo zou zijn, dus als hij het aanbod speciaal zou doen als de eerste aanwijzing van een box de juiste is, dan verandert dit de hele situatie. Zou over deze bij-omstandigheden niets bekend zijn, dan is het antwoord op het ruilaanbod een gok en dan kan de statistiek ons weinig helpen. Maar dat is niet zo: het is bekend, dat de presentator het aanbod van ruil altijd doet. In dat geval is het probleem zuiver statistisch (of zo men wil kanstheoretisch) en over het antwoord op de vraag ruilen of niet zijn vele debatten gevoerd. Toch is de oplossing heel eenvoudig. Laten we de situatie zoals boven beschreven, aangevuld met ‘ja, ruilen’, experiment A noemen en ons daarnaast een experiment B voorstellen, waarbij de presentator niet zelf het gordijn van een lege box opzij schuift, maar een ander ruilvoorstel doet, namelijk: ‘Nu mag u nog eens kiezen: uw eerste keus handhaven of de beide andere boxen openen en als één van deze twee de auto bevat mag u hem hebben.’ Het is gemakkelijk te zien dat de winnaar in dat geval zijn kans op de auto verdubbelt als hij op de voorgestelde ruil in gaat, want $2/3$ is twee maal zoveel als $1/3$. Maar enig nadenken leidt tot de conclusie dat de experimenten A en B (beide inclusief ‘ja, ruilen’) statistisch equivalent zijn (met als mogelijke uitkomsten ‘succes’ en ‘mislukking’). Want wat doet het ertoe wie van de twee, winnaar of presentator het gordijn van de lege box open trekt. Maar deze equivalentie houdt in dat men dus ook in geval A door te ruilen zijn kans op de auto verdubbelt. Dit resultaat kan men ook bereiken, langs dezelfde weg, zonder het equivalentie-principe expliciet te gebruiken, maar het geeft toch in dit geval een duidelijke richting aan de redenering en is bovendien een aardig aan de praktijk ontleend voorbeeld. Merkwwaardigerwijs zijn er nogal wat mensen, ik ken er twee, waaronder een statisticus die deze of soortgelijke beschouwingen niet

voldoende vertrouwd en zich pas door simulatie op de computer of met behulp van dobbelstenen lieten overtuigen!

Dobbelsteen

Tot slot een aardigheidje. Men vraagt zich wel eens af of de worp van een dobbelsteen uiteindelijk niet beheerst wordt door de wetten van de mechanica, zodat de uitkomst dus toch deterministisch bepaald is. Uitgaande van deze gedachte zou men in principe een machine kunnen ontwerpen met een geraffineerd waarnemingssysteem, waar een dobbelsteen door een opening bovenin wordt geworpen. Het waarnemingssysteem bepaalt razend snel welke kant boven zal komen te liggen als de dobbelsteen de bodem bereikt en rapporteert dit ogenblikkelijk, nog voor de dobbelsteen tot rust is gekomen. Een onzinnige onderneming, maar niet ondenkbaar. Welk wiskundig model zou men nu voor dit experiment moeten nemen? Wel, volgens het bovenstaande principe heeft men alleen maar een ingewikkelde aselector gemaakt, want de resultaten ervan zijn niet te onderscheiden van die van een eenvoudige aselector (werpen met dezelfde dobbelsteen buiten de machine), zodat binnen en buiten de machine werpen statistisch equivalent zijn. Men kan zich dus de moeite van het bouwen van zo'n machine beter besparen (en dat doet men tot nu toe ook).

De bovenstaande beschouwingen zijn oppervlakkig en het equivalentieprincipe zoals hier geformuleerd is niet meer dan een eerste kleine stap op een weg, die verder uitgewerkt zou kunnen worden. In de huidige vorm is het bijvoorbeeld niet goed toepasbaar op tijdreeksen, waarvan aansluitende series waarnemingen als zodanig geïdentificeerd kunnen worden. Maar misschien zet het toch sommige lezers aan het nadenken. En denken is een nuttige bezigheid.

Prof. dr. J. Hemelrijk was hoogleraar mathematische statistiek aan de Universiteit van Amsterdam. Op het

A G E N D A

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

Maandag 17 en dinsdag 18 september 2001

Het eerste jaarlijkse congres van ENBIS (European Network for Business and Industrial Statistics) vindt plaats in Oslo. ENBIS is een nieuw opgericht netwerk dat zich speciaal richt op gebruikers van statistiek in het bedrijfsleven en de industrie en academische statistici. Voor inlichtingen zie de site <<http://www.ibisuva.nl/ENBIS/about.html>>.

Vrijdag 12 en zaterdag 13 oktober 2001

Jaarlijkse bijeenkomst van de Belgische Vereniging voor Statistiek in Oostende. *A major part of the meeting is devoted to modelling complex data.* Zie de site: <<http://www.kuleuven.ac.be/ucs/BSS2001>>.

Maandag 12 t/m woensdag 14 november 2001

De jaarlijkse bijeenkomst van Nederlandse statistici en kansrekenaars zal plaatsvinden in 'De Blijve Werelt' in Lunteren. Voorlopige lijst van sprekers (in totaal 6): J. Fill (Baltimore), T. Liggett (Los Angeles), J. Propp (Madison), H. Wynn (Warwick). Info: <<http://www.cs.vu.nl/~lunteren/lunteren.html>>.

Woensdag 28 november 2001

Congres 'Science for sustainability', georganiseerd door het Universitair Centrum Milieuwetenschappen in Nijmegen. Informatie: tel. 024-3652091, e-mail <irened@sci.kun.nl>.

GRATIS cursussen voor VVS leden

S-PLUS is een pakket voor data visualisatie en statistische data analyse. *Mathematica* is een zeer compleet pakket! voor numerieke, symbolische en grafische wiskunde. *S-PLUS-introductiecursus*: Amsterdam 11 september, Groningen 29 augustus; *S-PLUS-inleiding programmeren*: Amsterdam 12 september, Groningen 30 augustus; *Mathematica-*

GenStat 5th. Edition for Windows

...at the cutting edge of statistics !



GenStat®

This new release of GenStat offers (among others):

- A complete renewed graphical interface
- Leading edge advanced statistical techniques, like REML, GLM's, Exp. Design. etc, accessible through user-friendly Windows-menu's
- Extensive help-options, incl. a multimedia tutorial and online introductory course
- And many, many more

With GenStat you **know** you can!



Cosinus Computing bv. is distributeur van technisch-wetenschappelijke software in de Benelux. Een van onze producten is het statistische pakket GenStat van NAG/VSN. Speciaal voor dit pakket en voor nieuwe statistische producten zijn wij voor de Benelux op zoek naar een

Statisticus met commerciële drive (m/v)

Sales Representative

Functie informatie

Binnen een team van jonge enthousiaste collega's ben je verantwoordelijk voor de verkoop van GenStat en in de nabije toekomst van nieuwe statistische applicaties .

Verder zul je het aanspreekpunt vormen voor onze huidige klanten betreffende GenStat en hen adviseren over het gebruik van GenStat (i.s.m. onze helpdesk in Engeland).

Gevraagd

- Ervaring in het gebruik van statistische technieken/kwantitatieve methoden in een research/consultancy functie
- Communicatie en presentatie vaardigheden
- Verkoopervaring is een pré
- Vloeiend Engels, zowel in woord als geschrift

Wij bieden

- Een stimulerende werkomgeving
- Een goed salaris en concurrerende secundaire arbeidsvoorwaarden
- De kans om van GenStat een succes te maken, samen met je klanten, collega's en onze leverancier

Meer informatie

Neem voor meer informatie contact op met:

Jeroen Melis
Sales Representative
Telefoon 040 - 2333599
E-mail: jeroen@cosinus.nl
Website: <http://www.cosinus.nl>

Stuur je korte brief met motivatie en CV naar:

Cosinus Computing bv
T.a.v. Jeroen Melis
Postbus 52
5600 AB EINDHOVEN
of e-mail naar: info@cosinus.nl

Technici ervaren het steeds meer; statistische methoden zijn onontbeerlijk voor het uitvoeren van de job binnen de geplande tijd. EUFORCE biedt u de mogelijkheid uw kennis en kunde op het gebied van industriële statistiek te vergroten met de deeltijd Masteropleiding:

Master of Industrial Statistics and Quality Engineering

- academisch niveau
 - breed van opzet
 - modulair
- mastertitel bij succesvolle afronding van de totale opleiding

Mogelijkheid tot inschrijving voor deelname aan losse modules.
Instapmogelijkheden gedurende het gehele jaar.

De volgende modules worden in de komende perioden aangeboden:

Gegeneraliseerde lineaire modellen: 11 en 18 mei, 1 en 8 juni

Taguchi-methoden: 23, 30 mei en 6 juni

Statistische Procesbeheersing: 15, 22 en 29 juni

Statistische Technieken: 19, 26 september en 3 oktober

Regressie-analyse: 12, 19, 26 oktober en 2 november

Neurale Netwerken: 24, 31 oktober en 7 november

Uitgebreide informatie is aan te vragen bij:

EUFORCE B.V., Technische Universiteit Eindhoven

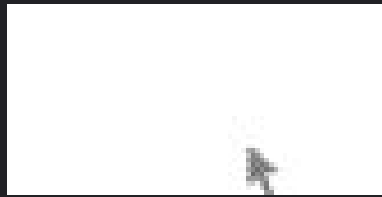
tel. (040) 247 89 99, fax (040) 247 89 90, e-mail info@euforce.tue.nl

U vindt ons ook op Internet: www.euforce.tue.nl

De losse modules worden in samenwerking met PATO en PAON georganiseerd.

euforce

de TU/e-organisatie voor post-hoger onderwijs



Your Partner in Mathematics and Statistics

S-PLUS 2000

*Maak kennis met S-PLUS 2000,
het krachtige desktopdata-visualisatie en
data-analysesysteem*

Door de intuïtief grafische interface van S-PLUS kunnen de vele ingebouwde grafische en statistische tools eenvoudig worden bediend. De interface is gebaseerd op de krachtige S programmeertaal. S-PLUS is daarmee het meest flexibele en geavanceerde statistiekpakket. Analyseer uw data zoals u dat wilt en niet zoals het pakket u dat oplegt!

Is het (nog) niet nodig over de S programmeertaal te beschikken? Kies dan voor de S-PLUS 2000 Standard Edition en maak gebruik van een zeer complete verzameling statistiektchnieken en grafieken voor een aantrekkelijke prijs.

Enkele technieken in S-PLUS 2000

- Robuuste MM regressie
- (Non) Linear mixed effects models
- Multi levelanalyse
- Clusteranalyse
- Multivariate technieken

Enkele features van S-PLUS 2000

- SPSS/Excel Links
- Handige datamanipulatietechnieken
- Trellisgrafieken voor multi-dimensionele dataweergave
- Puntenidentificatie in grafieken

CANdiensten is distributeur en gekwalificeerd trainer voor S-PLUS, Maple en Mathematica. Kijk voor informatie over onze producten, cursussen en activiteiten op <http://www.candiensten.nl>

CANdiensten
Nieuwpoortkade 23-25
NL-1055 RX Amsterdam
T +31 (0)20 560 8400
F +31 (0)20 560 8448
info@candiensten.nl

S-PLUS-cursusdata

Algemene inleiding in S-PLUS

iedere maand

Inleiding programmeren in S-PLUS

iedere maand

Survivalanalyse

ieder kwartaal

Ruimtelijke statistiek

ieder kwartaal

Longitudinale Data-analyse

ieder kwartaal

Lineaire en gegeneraliseerde lineaire modellen

ieder kwartaal

Stuur een email naar cursus@candiensten.nl voor meer informatie over de cursussen, of bel 020-560 84 00. Bezoek ook onze website.