

STAtOR

periodiek van de VvS+OR jaargang 15, nummer 2, juli 2014

Hoe OR helpt bij de bestrijding van hiv in Afrika

Kwantitatieve synthese van kennis

Hugo – column

Markov, Dantzig en Wolfe zorgen voor theoretische kostenbesparing van 40%

Hoe is het mogelijk!! – column

De weg naar Kopenhagen; statistiek, natuurkunde en onzekerheid

De Logisticus Analyticus

Sun Bin, een meesterstrateeg – column

Young Statisticians

STAtOR is een uitgave van de Vereniging voor Statistiek en Operationele Research (VvS+OR). STAtOR wil leden, bedrijven en overige geïnteresseerden op de hoogte houden van ontwikkelingen en nieuws over toepassingen van statistiek en operationele research. Verschijnt 3 keer per jaar.

Redactie

Joaquim Gromicho (hoofdredacteur), Annelieke Baller, Ana Isabel Barros, Johan van Leeuwaarden, Guus Luijben, Richard Starmans, Gerrit Stermerdink (eindredacteur), Hilde Tobi en Vanessa Torres van Grinsven. Vaste medewerkers: Fred Steutel en Henk Tijms.

Kopij en reacties richten aan

Prof. dr. J.A.S. Gromicho (hoofdredacteur), Faculteit der Economische Wetenschappen en Bedrijfskunde, afdeling Econometrie, Vrije Universiteit, De Boelelaan 1105, 1081 HV Amsterdam, telefoon 020-5986010, mobiel 06-55886747, <j.a.dossantos.gromicho@vu.nl>.

Bestuur van de VvS+OR

Voorzitter: prof. dr. Jacqueline Meulman <president@vvs-or.nl>
Secretaris: dr. Fetsje Bijma <bestuur@vvs-or.nl>
Penningmeester: dr. Ad Ridder <penningmeester@vvs-or.nl>
Bestuurslid: Maarten Kampert MSc.
Overige bestuursleden: prof. dr. Jeanine Houwing-Duistermaat (BMS), dr. John Poppelaars (NGB), prof. dr. Eric Cator (SMS), dr. Michel van de Velden (ECS), dr. Jelte Wicherts (SWS).

Leden- en abonnementenadministratie van de VvS+OR

VvS+OR, Postbus 244, 6700 AE Wageningen, telefoon 0317 - 419572, fax 0317 - 421364, <admin@vvs-or.nl>.
Raadpleeg onze website over hoe u lid kunt worden van de VvS+OR of een abonnement kunt nemen op STAtOR.

VvS+OR-website

www.vvs-or.nl

Sociale media

Wilt u uw vakgenoten ontmoeten en wilt u discussiëren over actuele thema's, volg dan de VvS+OR en de Young Statisticians via LinkedIn, Facebook, Twitter en Flickr.
Sluit u aan bij de LinkedIn-groep van VvS+OR of Young Statisticians; bekijk foto's op <www.flickr.com/photos/vvs-or/sets>; like onze Facebook-pagina; volg de President van VvS+OR op <https://twitter.com/#!/dutchstat>.

Advertentieacquisitie

M. van Hooitegem <hooitegem@xs4all.nl>
STAtOR verschijnt in maart, juli en oktober.

Ontwerp en opmaak

Pharos, Nijmegen

Uitgever

© Vereniging voor Statistiek en Operationele Research
ISSN 1567-3383

INHOUD

- 3** Besparingen – redactioneel
- 4** Hoe OR helpt bij de bestrijding van hiv in Afrika
Harwin de Vries, Albert Wagelmans & Joris van de Klundert
- 8** Kwantitatieve synthese van kennis
Charlotte Rietbergen, Irene Klugkist & Rolf Groenwold
- 13** Hugo – column
Fred Steutel
- 14** Markov, Dantzig en Wolfe zorgen voor theoretische kostenbesparing van 40%
Martijn van Aspert
- 17** Hoe is het mogelijk!! – column
Gerrit Stermerdink
- 18** De weg naar Kopenhagen; statistiek, natuurkunde en onzekerheid
Richard Starmans
- 23** De Logisticus Analyticus
John Poppelaars
- 26** Sun Bin, een meesterstrateeg – column
Henk Tijms
- 28** Young Statisticians



Is dit nummer van *STAtOR* een 'teken des tijds'? Nu de eerste signalen van het einde van de crisis zichtbaar worden, brengen we ineens artikelen waarin besparingen centraal staan. Natuurlijk ligt het voor de hand dat een tijdschrift dat mede aan OR is gewijd aandacht heeft voor besparingen, maar in dit nummer wordt het wel heel evident.

Bij besparingen hoeven we uiteraard niet altijd aan geld te denken, zo beschrijven Harwin de Vries, Albert Wagelmans en Joris van de Klundert de belangrijke rol van OR bij de bestrijding van hiv in Afrika. Keiharde euro's komen wel voor in het artikel van Martijn van Aspert. Hij laat zien dat er bij het onderhoud van treinen op theoretische gronden tot wel 40% aan kosten kan worden bespaard! Zijn afstudeerscriptie, waarop dit artikel berust, kreeg dan ook een eervolle vermelding bij de VvS+OR-Scriptieprijsen 2014.

Charlotte Rietbergen, Irene Klugkist en Rolf Groenwold schrijven over het gebruik van kennis uit eerdere onderzoeken en het combineren daarvan. In feite is ook dat een besparing!

John Poppelaars beschrijft ook het combineren van veel gegevens in zijn artikel 'De Logisticus Analyticus' en legt daarbij de nadruk op het gebruik van de juiste analytische gereedschappen.

Van een geheel andere orde is de zeer interessante bijdrage van onze redacteur Richard Starmans. Hij legt uit hoe de beroemde 'Kopenhaagse interpretatie' van de kwantumtheorie tot stand is gekomen. Daarbij heeft statistiek een belangrijke rol gespeeld, met name de verdere ontwikkeling van het begrip onzekerheid.

Onze vaste columnist Fred Steutel kijkt terug op het overlijden van Hugo Brandt Corstius, terwijl medecolumnist Henk Tijms ons laat kennis maken met de meesterstrateeg Sun Bin en zijn gebruik van statistiek. Gelegenheidscolumnist Gerrit Stermerdink twijfelt aan het toeval, en de Young Statisticians informeren ons over hun vele activiteiten.

Tot slot een hartelijk welkom voor de twee nieuwe redacteurs Annelieke Baller en Guus Luijben. Wij zijn erg blij met deze versterking.

De redactie wenst u zoals gewoonlijk veel leesplezier. Overigens hebben wij geen besparingen toegepast om daarvoor te zorgen.

De STAtOR-redactie

HOE OR HELPT BIJ DE BESTRIJDING VAN HIV IN AFRIKA

De non-gouvernementele organisatie North Star Alliance (North Star) plaatst kleine medische klinieken langs drukke Afrikaanse truckroutes om vrachtwagenchauffeurs effectieve gezondheidszorg te kunnen bieden en om de verspreiding van het hiv-virus tegen te gaan. Het bepalen van goede locaties voor deze klinieken is een complex probleem. Om dit probleem op te lossen maakt North Star gebruik van technieken uit de besliskunde.

HARWIN DE VRIES, ALBERT WAGELMANS & JORIS VAN DE KLUNDERT

Afrikaanse vrachtwagenchauffeurs lopen grote gezondheidsrisico's. Hiv en andere soa's komen in bovengemiddelde mate voor. Studies hebben hiv-prevalenties van 27 - 56% gemeten (zie bijvoorbeeld Ramjee & Gouws, 2002). Ook wordt deze sector geassocieerd met tuberculose, malaria, en diabetes. Dit heeft geleid tot een aantal problemen. Het eerste is dat de chauffeurs zelf een enorme ziektelast dragen. Het sterftecijfer bij deze groep is hoog en velen moeten hun baan om gezondheidsredenen opgeven. Verder is de financiële schade als gevolg van de besmetting door hiv voor de chauffeurs, hun families en eventuele werkgevers erg groot. Het grootste probleem is dat de gemiddelde vrachtwagenchauffeur langs zijn route meerdere sekspartners heeft. Aangezien seks vaak onbeschermd plaatsvindt, wordt de Afrikaanse

vrachtwagenchauffeur gezien als één van de belangrijkste veroorzakers van de snelle verspreiding van het hiv-virus in Afrika.

Om deze problemen op te lossen, is het van groot belang de chauffeur een goede toegang tot gezondheidsdiensten te bieden. Hierdoor krijgt de chauffeur toegang tot interventies die erop gericht zijn om hiv en andere ziektes te voorkomen of om deze zo snel mogelijk te behandelen en om zo verdere verspreiding tegen te gaan. Het reguliere gezondheidszorgsysteem kan deze diensten echter niet bieden (Gatignon & Van Wassenhove, 2008). Traditionele zorgverleners zijn vaak niet te bereiken per truck, bieden onvoldoende mogelijkheden om de truck te parkeren, of zijn gesloten op het moment waarop chauffeurs tijd hebben zoals in de avonduren.



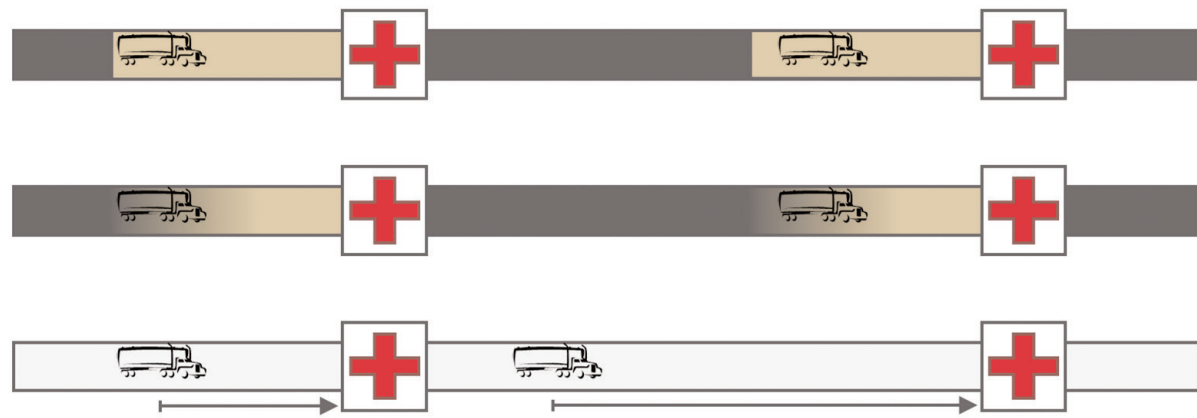
Foto: Dave Chidley

Roadside Wellness Centers

North Star probeert een structurele oplossing voor dit probleem te bieden door kleine medische klinieken, zogenoemde Roadside Wellness Centers (RWC's), te plaatsen op de drukste truckstops in Afrika. Hier kunnen chauffeurs zich gratis laten voorlichten, testen en behandelen voor een aantal ziektes. De huidige 31 RWC's voorzien al veel chauffeurs van deze vormen van medische hulp. Toch zal het netwerk de komende jaren flink worden uitgebreid. Daarvoor zijn twee goede redenen aan te voeren.

Ten eerste komen veel chauffeurs nog geen RWC tegen op hun route, waardoor zij nog steeds vrijwel uitgesloten zijn van medische hulp. North Star heeft zich ten doel gesteld om uiteindelijk 85% van de Afrikaanse

chauffeurs te voorzien van gezondheidszorg. Ten tweede is vaak een *continue* toegang tot zorg nodig om die zorg effectief te laten zijn voor de chauffeur. Continue toegang houdt in dat de chauffeur onderweg vrijwel altijd 'dichtbij' een RWC is (oftewel, dat de tijdsinterval waarmee hij RWC's passeert niet 'te groot' is). Dit heeft een aantal grote voordelen (De Vries, Van de Klundert & Wagelmans, 2014). Zo zal de vrachtwagenchauffeur, in het geval dat plotseling medische hulp nodig is, vrijwel nooit lang hoeven te rijden langs zijn route voordat hij een RWC tegenkomt. Verder maakt een continue toegang het verantwoord om een chauffeur te behandelen voor hiv. Zonder continue toegang loopt een chauffeur die zo'n behandeling ondergaat forse gezondheidsrisico's wanneer hij zijn pillen verliest of wanneer er complicaties optreden. Als laatste zal continue toegang het voor



Figuur 1. Drie manieren om continue toegang te meten. Boven: tijd binnen een kritiek tijdsinterval. Midden: tijd binnen een kritiek/aanbevolen tijdsinterval. Onder: verwachte reistijd naar volgende RWC.

de chauffeur gemakkelijker maken om een behandeling bij een andere RWC voort te zetten.

Locatieprobleem

Bij het plaatsen van nieuwe RWC's moet dus rekening worden gehouden met twee doelen: een zo groot mogelijke populatie van chauffeurs bereiken en zoveel mogelijk chauffeurs voorzien van continue toegang tot zorg. Om het eerste doel te verwezenlijken wil men locaties kiezen waar veel patiënten worden verwacht. Bijvoorbeeld populaire truckstops of grensovergangen. Doorgaans verschillen deze plekken echter van de locaties die men zou willen kiezen om de chauffeur continue toegang tot zorg te bieden: locaties die ervoor zorgen dat de reistijd tussen RWC's langs een route niet te groot is. De verschillende doelstellingen moeten dus tegen elkaar worden afgewogen, wat de locatiekeuze erg complex maakt. Ook het aantal mogelijke locatiekeuzes maakt het locatieprobleem complex. Om een indruk te geven: er zijn meer dan 10 miljard manieren waarop de locaties van 10 nieuwe RWC's kunnen worden gekozen uit 50 potentiële locaties. In werkelijkheid loopt het aantal keuzes zelfs nog verder op wanneer ook wordt besloten over de specifieke gezondheidsdiensten die de nieuwe RWC's aanbieden. In dit artikel zullen we die keuzes buiten beschouwing laten.

Oplossing

Om North Star te ondersteunen in het maken van de locatiekeuzes hebben we het bovenstaande probleem geformuleerd als een Mixed Integer Linear Programming

(MIP) model en is in samenwerking met de ORTEC Consulting Group software ontwikkeld waarmee North Star locatiekeuzes kan optimaliseren, visualiseren en analyseren (De Vries, 2011; Kuip, 2013). Het idee is dat de kwaliteit van een keuze van locaties wordt gekwantificeerd. Hoe beter de keuze, des te hoger het kwaliteitscijfer, ofwel de doelfunctiewaarde. Door deze kwantificering kan, met behulp van een MIP solver, een locatiekeuze met de hoogste doelfunctiewaarde worden gevonden.

Logischerwijs wordt deze doelfunctiewaarde bepaald door de mate waarin de keuze bijdraagt aan het bereiken van de twee eerder genoemde doelen. Hoe groter de verwachte stijging in het aantal patiënten bezoeken (patiëntvolume) als gevolg van de keuze, des te hoger deze doelfunctiewaarde. Ook geldt hoe groter de *coverage scores* van de verschillende vrachtwagenroutes, des te hoger de doelfunctiewaarde. De coverage score van een route geeft aan in welke mate chauffeurs die op deze route rijden continue toegang tot zorg hebben. Om dit te kunnen meten moet eerst worden gedefinieerd wanneer er precies sprake is van continue toegang. Uit discussies met medische experts bleek dat dit erg kan verschillen voor verschillende ziekten en verschillende gezondheidsdiensten.

Om met deze variatie om te kunnen gaan, zijn uiteindelijk drie verschillende definities van de coverage score geformuleerd en geïmplementeerd in het softwarepakket. Figuur 1 illustreert deze definities voor een route met twee RWC's. In de eerste definitie wordt de score bepaald door de reistijd tussen RWC's langs een route te vergelijken met een *kritiek tijdsinterval*. Te grote tijdsintervallen tussen RWC's langs een route hebben een negatief effect op de coverage score. In de tweede definitie wordt de reistijd niet alleen vergeleken

met een kritiek tijdsinterval, maar ook met een *aanbevolen tijdsinterval*. Het overschrijden van het kritieke tijdsinterval heeft een groter negatief effect op de coverage score dan het overschrijden van de aanbevolen interval. De derde definitie bepaalt de coverage score op basis van de *verwachte reistijd* tot het passeren van een RWC vanaf het moment dat een Afrikaanse chauffeur besluit er een te bezoeken (i.e. de verwachte lengte van de pijl uit het onderste plaatje). Ook hier geldt hoe kleiner de reistijd tussen RWC's, des te hoger de coverage score.

Dit model neemt een aparte plaats in binnen de literatuur over locatiemodellen. Traditioneel richten locatieproblemen zich voornamelijk op het bedienen of *coveren* van statische vraageenheden. Een klassiek voorbeeld is het p-mediaan probleem. 'Plaats p servers zodanig dat de gemiddelde afstand tussen de vraageenheden en hun dichtstbijzijnde server wordt geminimaliseerd.' Een kleine tak binnen de locatieliteratuur richt zich op het bedienen of coveren van bewegende vraageenheden. Een probleem waar recent veel onderzoek naar is gedaan is het optimaliseren van de locaties voor laadstations voor elektrische auto's (bijvoorbeeld, de power-chargers voor de Tesla). Het doel bij het plaatsen van deze stations is om te garanderen dat auto's de meest populaire routes kunnen afleggen zonder dat hun batterij opraakt. Ons model neemt een tussenpositie in. Het maximaliseren van het patiëntvolume kan worden gezien als het coveren van zoveel mogelijk statische vraageenheden (i.e. als het kiezen van de drukste truckstops). Evenzo kan het bieden van continue toegang tot zorg worden gezien als het coveren van zoveel mogelijk bewegende vraageenheden (i.e. als het kiezen van locaties die de coverage scores maximaliseren).

Implicaties

Numerieke en analytische analyses van het model onthullen een aantal belangrijke implicaties voor beslissingsnemers (De Vries, 2011). Allereerst blijkt dat de optimale oplossing relatief ongevoelig is voor onnauwkeurigheid van de input-data. Dit is erg belangrijk, aangezien North Star in een data-arme omgeving opereert. Daarnaast bekijken we de *trade-off* tussen het patiëntvolume-criterium en het continue-toegangcriterium. In onze testinstanties bleek het erg onverstandig te zijn om slechts op één van de twee criteria te focussen. Als voorbeeld hebben we de oorspronkelijke locatiekeuze-strategie van North Star geanalyseerd, die zich voornamelijk richtte op het patiënt-

volume-criterium. Onze resultaten laten zien dat een kleine aanpassing van deze strategie (waarbij we het belang van het continue-toegangcriterium vergrootten) kan resulteren in een grote winst in termen van continue toegang en dat dit slechts ten koste gaat van een klein verlies in patiëntvolume. Tot slot is het belang van netwerk-planing sterk naar voren gekomen in onze experimenten. Vaak is een groot netwerk van nieuwe RWC's nodig om een aantal vrachtwagenroutes te voorzien van continue toegang tot zorg. De baten van de investeringen in zo'n netwerk worden pas goed zichtbaar op het moment dat zo'n netwerk voltooid wordt, waardoor een langetermijn-investeringsplan essentieel is. Experimenten laten zien dat de kwaliteit van de locatiekeuzes sterk verbetert door locatiekeuzes niet sequentieel te maken, maar ze in te bedden in zo'n langetermijn-investeringsplan.

Dit artikel is een bewerkte versie van het artikel 'Bouwen aan strategisch netwerk van medische hulpposten langs Afrikaanse snelweg', eerder verschenen op 18 september 2012 op de site <<http://www.eur.nl/ese/nieuws/economieopinie/artikelen/detail/article/40977-bouwen-aan-strategisch-netwerk-van-medische-hulpposten-langs-afrikaanse-snelweg/>>.

LITERATUUR

- De Vries, H. (2011). *How to Optimise Investments in the Network of Medical Centres along the African Highways*. Master Thesis, Econometric Institute, Erasmus University Rotterdam.
- De Vries, H., Van de Klundert, J. & Wagelmans, A. (2014). *Health benefits of roadside healthcare services*. (EI report reeks EI 2014-01). Rotterdam: Econometric Institute.
- Gatignon, A. & Van Wassenhove, L. (2008). *Paving the Road to Healthy Highways: a Partnership to Scale Up HIV/AIDS clinics in Africa*. Fontainebleau: INSEAD.
- Kuip, C. (2013). *Using operations research to solve pressing global issues: the mathematical story behind North Star Alliance's POLARIS*. Retrieved from <http://blog.aimms.com/2013/11/using-operations-research-to-solve-pressing-global-issues-the-mathematical-story-behind-north-star-alliances-polaris/>
- Ramjee, G. & Gouws, E. (2002). Prevalence of HIV among truck drivers visiting sex workers in KwaZulu-Natal, South Africa. *Sexually Transmitted Diseases*, 29(1), 44-49.

HARWIN DE VRIES is promovendus bij het Econometrisch Instituut van de Erasmus School of Economics.
E-mail: <hdevries@ese.eur.nl>

ALBERT WAGELMANS is hoogleraar Management Science en de directeur van het Econometrisch Instituut van de Erasmus School of Economics.
E-mail: <wagelmans@ese.eur.nl>

JORIS VAN DE KLUNDERT is hoogleraar Health Care Management Science bij het instituut Beleid & Management Gezondheidszorg van de Erasmus Universiteit Rotterdam.
E-mail: <vandeklundert@bmg.eur.nl>



KWANTITATIEVE SYNTHESE VAN KENNIS

Kennis uit eerder onderzoek beïnvloedt niet alleen de uitvoering van nieuw onderzoek, maar kan ook een rol spelen bij de analyse en interpretatie van nieuwe gegevens. De auteurs schetsen de bestaande meta-analyse technieken en beschrijven methoden die ontwikkeld zijn voor inclusie van informatie uit onderzoeken met een afwijkende onderzoeksopzet en het raadplegen van inhoudelijke experts voor het beoordelen van kwaliteit en relevantie.

CHARLOTTE RIETBERGEN, IRENE KLUGKIST & ROLF GROENWOLD

De kennis die wordt samengebracht in een *systematic review* biedt, naast de stand van zaken op dat moment, ook een rationale voor het ontwerpen en het uitvoeren van nieuw onderzoek. Zo kunnen relevante bevindingen uit eerder onderzoek aanleiding zijn voor vervolgonderzoek en wordt de daarvoor benodigde steekproefomvang berekend op grond van eerder gevonden effectgroottes. We kunnen nog een stap verder gaan door de data of resultaten uit eerder onderzoek daadwerkelijk mee te nemen in de analyse van de nieuwe data.

Vitamine C: een voorbeeld

Hoewel in de onderzoekspraktijk zelden expliciet sprake is van kwantitatieve synthese van reeds bestaande en nieuwe data, hebben artsen en onderzoekers een intuïtieve neiging om dit impliciet te doen. Zo wordt bijvoorbeeld in de discussie over het effect van de inname van extra vitamine C ter preventie van complex regionaal pijnsyndroom (CRPS) herhaaldelijk verwezen naar het *a priori* idee dat een arts of onderzoeker heeft met betrekking tot de mogelijke effectiviteit van deze vitamine. (Van der Graaf, 2013). Die verwachting beïnvloedt de manier waarop resultaten uit een nieuw onderzoek naar de relatie tussen vitamine C en CRPS worden geïnterpreteerd. Afgaande op wat we weten uit onderzoek naar de werking van vitamine C en de mate waarin extra inname ervan verkoudheid kan voorkomen, zal de *a priori* verwachting over de effectiviteit ervan bij de preventie van CRPS laag zijn. Immers, veelvuldig onderzoek naar de relatie tussen vitamine C en verkoudheid heeft geen positieve werking van vitamine C kunnen aantonen. In het

licht van deze kennis zullen nieuwe onderzoeksresultaten, die de beschermende werking van vitamine C bij de ontwikkeling van CRPS wel degelijk lijken aan te tonen, niet snel overtuigen. In enkele eerdere onderzoeken naar het specifieke effect van vitamine C op de preventie van CRPS is juist een klein gunstig effect gevonden. Wanneer deze voorkennis wordt meegewogen, dan zal de *a priori* verwachting met betrekking tot de positieve werking van vitamine C in een nieuw onderzoek juist groter zijn. De onderzoeksresultaten van het nieuwe onderzoek zullen dan eerder overtuigen.

Bovenstaande illustreert hoe resultaten uit eerder onderzoek, ofwel historische data, van invloed kunnen zijn op verwachtingen over resultaten in nieuw onderzoek en daarmee ook de interpretatie van nieuwe onderzoeksresultaten kleuren. Daarbij toont het hoe verschillend beoordelaars de geschiktheid van de beschikbare kennisbronnen inschatten: waar de één informatie uit een grote verzameling onderzoeken naar vitamine C en neusverkoudheid relevant vindt, focust de ander juist op een klein aantal onderzoeken over de specifieke relatie tussen vitamine C en CRPS. In hun informele poging de historische en nieuwe data te synthetiseren, zijn de beoordelaars het oneens over de geschiktheid van de historische data voor het onderwerp in kwestie en daardoor over de interpretatie van de nieuwe resultaten.

In dit artikel beschrijven we verschillende formele procedures voor de expliciete synthese van kwantitatieve onderzoeksgegevens uit historische en nieuwe bronnen. Hierbij komen twee belangrijke analysetechnieken voor het samenvatten van kwantitatieve onderzoeksgegevens aan bod: meta-analyse en Bayesiaanse data-analyse. Daarbij bespreken we enkele methoden voor het beoor-

delen van kwaliteit en relevantie van de beschikbare onderzoeken.

Technieken voor kwantitatieve synthese

Er kunnen grofweg twee methoden voor de kwantitatieve synthese van historische en nieuwe onderzoeksgegevens worden onderscheiden: de (cumulatieve) meta-analyse en de Bayesiaanse data-analyse. In een meta-analyse worden alle resultaten uit onderzoeken naar een bepaald onderwerp samengevat, waardoor een ‘gemiddelde’ schatting wordt verkregen van bijvoorbeeld de effectiviteit van een behandeling. Wanneer het meta-analyse resultaat telkens wordt bijgesteld met resultaten uit nieuwe onderzoeken, is er sprake van een cumulatieve meta-analyse. De steekproefomvang van een individueel onderzoek bepaalt in belangrijke mate het gewicht van dat onderzoek in de meta-analyse. Onderzoeken waarin grote aantallen patiënten zijn geïncludeerd, zijn preciezer in het schatten van de effectgrootte waarin men is geïnteresseerd, en worden daarom zwaarder meegewogen in de meta-analyse dan kleinere onderzoeken.

In de Bayesiaanse statistiek wordt de historische informatie over het te schatten effect samengevat in een zogeheten prior kansverdeling van dat effect. Deze verdeling geeft de kennis weer (en de onzekerheid van die kennis) over het te schatten effect. Wanneer we *a priori* nog helemaal niets weten over een effect, bijvoorbeeld wanneer we de eersten zijn die de effectiviteit van een nieuw vaccin onderzoeken, dan zal de prior verdeling geen informatie bevatten. Dit betekent dat *a priori* elke mogelijke uitkomst even aannemelijk wordt geacht. Met de data uit het onderzoek, wordt de prior verdeling bijgesteld. Volgens deze bijgewerkte, of *a posteriori*, verdeling is het niet meer zo dat alle mogelijke waarden even waarschijnlijk zijn, maar zijn waarden die overeenkomen met de data uit het onderzoek waarschijnlijker dan waarden die daar verder vanaf liggen. Hoe meer data in het onderzoek verkregen is, oftevel hoe groter de steekproef van dat onderzoek, hoe meer de *a posteriori* verdeling zich laat vormen door de data. De *a posteriori* verdeling kan op haar beurt weer dienen als prior verde-

ling voor een volgend onderzoek. Dit proces toont grote gelijkenissen met de eerdergenoemde cumulatieve meta-analyse.

Selectie en weging van bruikbare informatie

Het gebruik van resultaten uit eerder onderzoek in de analyse en interpretatie van nieuwe onderzoeksgegevens is eenvoudig noch onomstreden. De eerdergenoemde discussie rondom vitamine C laat zien dat experts kunnen verschillen in hun inschatting van de geschiktheid van de historische informatie. Die geschiktheid hangt af van de kwaliteit van de informatie enerzijds en de relevantie van de informatie anderzijds. Met kwaliteit bedoelen we de methodologische kwaliteit van het onderzoek waarmee de gegevens zijn verkregen en daarmee de mate waarin de onderzoekers erin zijn geslaagd de verschillende vormen van bias te beperken. Relevantie heeft betrekking op de overeenkomsten tussen historische en nieuwe onderzoeken wat betreft bijvoorbeeld de onderzochte behandeling of de gehanteerde in- en exclusiecriteria. Naast de steekproefomvang zouden zowel de kwaliteit als de relevantie bepalend moeten zijn voor de mate waarin informatie uit eerder onderzoek wordt meegenomen in een kwantitatieve synthese. Niet alleen grote, maar vooral kwalitatief hoogwaardige en relevante onderzoeken krijgen dan een hoog gewicht en dragen zo meer bij aan de schatting van een effectgrootte. Natuurlijk streeft een onderzoeker ernaar zowel goed uitgevoerde als zeer relevante onderzoeken te includeren. Dat dit niet altijd haalbaar is, illustreert het volgende voorbeeld.

In 2010 adviseerde het Europees Geneesmiddelenbureau (EMA) schorsing van rosiglitazon-bevattende geneesmiddelen in verband met een mogelijk verhoogd risico op cardiale aandoeningen bij gebruik van dit middel. Onderzoeksresultaten met betrekking tot dit risico waren echter niet eenduidig. De gerezen twijfel over de veiligheid van dit medicijn zou een motivatie kunnen zijn voor een nieuw onderzoek. In de analyse van dit nieuwe onderzoek kunnen resultaten uit eerder onderzoek worden gebruikt als historische informatie. Problematisch hierbij is de verscheidenheid aan historische bronnen.

Enerzijds zijn er gerandomiseerde onderzoeken die zich veelal richten op de anti-diabetische effecten van rosiglitazon en daardoor minder *relevant* zijn als informatiebron voor cardiale eindpunten. Anderzijds is er een schat aan relevante historische informatie over de (cardiale) bijwerkingen van rosiglitazon te vinden in observationele (niet-gerandomiseerde) onderzoeken, die vaak van mindere kwaliteit zijn.

Waar gerandomiseerde onderzoeksontwerpen geschikter zijn om alternatieve verklaringen uit te sluiten, zijn observationele onderzoeken dit niet of in mindere mate en zullen resultaten uit deze onderzoeken eerder een vertekend beeld geven. Doorgaans worden daarom enkel de resultaten van experimentele historische onderzoeken gebruikt en blijven observationele onderzoeken buiten beschouwing. De afwijkende onderzoeksopzet hoeft echter niet per definitie te betekenen dat een observationeel onderzoek van slechtere kwaliteit is dan een gerandomiseerd onderzoek (Shrier et al., 2007). Zo is bijvoorbeeld de ecologische validiteit van observationeel onderzoek over het algemeen hoger dan van gerandomiseerd onderzoek.

De kans op vertekening van het uiteindelijke meta-analyse resultaat zou leidend moeten zijn in het bepalen van een gewicht dat een gerandomiseerd of observationeel onderzoek krijgt (Shrier et al., 2007). Door het toekennen van gewichten op grond van kwaliteit en relevantie kan de waardevolle informatie uit in principe elk historisch onderzoek betrokken worden bij de analyse van nieuwe data. Het inschatten van die kans op vertekening is een subjectief proces dat lijkt te botsen met het wetenschappelijke streven naar objectiviteit. Hierdoor wordt vaak gekozen voor het *a priori* uitsluiten van observationeel onderzoek. Het uitsluiten van onderzoek komt neer op het toekennen van een gewicht gelijk aan nul. Ook de keuze voor dit gewicht berust op subjectieve gronden, zij het minder expliciet. Dit laat zien dat het beoordelen van onderzoeken op kwaliteit en relevantie onontkoombaar is. Het is daarom de taak van de onderzoeker om die beoordeling op expliciete en geïnformeerde wijze te maken, bijvoorbeeld door gebruik te maken van gevalideerde meetinstrumenten voor kwaliteit en relevantie en door het consulteren van experts.

Kwantificeren van kwaliteit en relevantie

Er bestaan verschillende schalen om de kwaliteit en relevantie van de historische data zo objectief mogelijk te kwantificeren. Een voorbeeld hiervan voor gerandomiseerd onderzoek is de Cochrane Collaboration’s Tool om de mate van bias te bepalen (Higgins et al., 2011), en voor observationeel onderzoek bestaat de Newcastle-Ottawa Scale (Wells et al., 2013). Hoewel dit soort schalen wel wordt gebruikt om met name de kwaliteit van een onderzoek te beoordelen, blijkt dat onderzoekers deze beoordelingen vervolgens niet meenemen in de kwantitatieve synthese, omdat zij niet weten hoe dit te doen (Hopewell, Boutron, Altman, & Ravaud, 2013; Moja et al., 2005). In de literatuur is een discussie gaande over het gebruik van dergelijke schalen (Groenwold & Rovers, 2010). Centraal staat de vraag of met behulp van ervan scores verkregen worden, die kunnen worden gebruikt als gewichten in een kwantitatieve synthese. Een wezenlijk probleem is dat de bestaande schalen geen onderscheid maken in belangrijkheid van de individuele items. Een onderzoek kan bijvoorbeeld zeer slecht scoren op een item dat de onderzoeksduur betreft, omdat het onderzoek te kort was om de uitkomstmaat te observeren. Wanneer dit onderzoek echter hoog scoort op de overige items dan kan dit onderzoek alsnog een hoge totaalscore behalen en dus onterecht een groot gewicht krijgen in de kwantitatieve synthese. Daarnaast is gebleken dat verschillende schalen leiden tot verschillende beoordelingen en daarmee tot verschillende gewichten. Hierdoor hangt het resultaat van een kwantitatieve synthese af van de gebruikte schaal en leidt het gebruik van dit soort schalen tot vertekende resultaten (Jüni, Witschi, Bloch & Egger, 1999). Een veel gebruikte oplossing is het stellen van een ondergrens voor de onderzoekskwaliteit en relevantie; onderzoeken die aanvankelijk wel voldeden aan de inclusiecriteria, kunnen dan alsnog buiten beschouwing worden gelaten wanneer ze niet voldoen aan de gestelde kwaliteitseisen of wanneer ze niet relevant genoeg blijken te zijn. Een sensitiviteitsanalyse kan uitwijzen wat de invloed is van exclusie van onderzoeken met een lage kwaliteit op de schattingen van de effectgrootte. Deze aanpak is niet minder subjectief dan eerder besproken opties, maar wel explicieter in het onderbouwen van de gemaakte keuzes.

Expertbeoordelingen

Een onderzoeker kan een inschatting maken van de kwaliteit en eventueel relevantie van de beschikbare informatie, maar het ligt voor de hand om experts uit het betreffende vakgebied te betrekken bij het beoordelen van kwaliteit en relevantie. Met experts worden artsen of onderzoekers bedoeld met een uitgebreide kennis van en/of jarenlange ervaring met een bepaald onderwerp. Doordat de juistheid van subjectieve expertbeoordelingen niet kan worden getoetst, worden technieken om beoordelingen van kwaliteit en relevantie bij experts te verkrijgen in de literatuur zelden uitgebreid behandeld. In de praktijk leidt dit ertoe dat historische informatie ofwel geheel wordt genegeerd of juist volledig wordt meegenomen. In het eerste geval zal men de nieuwe data analyseren zonder rekening te houden met wat er al over een onderwerp bekend is. In het tweede geval wordt een meta-analyse uitgevoerd op een manier waarop met name de omvang van de steekproef bepalend is voor het gewicht dat een onderzoek krijgt in de meta-analyse. In beide gevallen lijkt sprake van een objectieve aanpak doordat kwaliteit en relevantie van de geïncorporeerde informatie niet expliciet beoordeeld hoeven te worden. Echter, zoals eerder gezegd, ook bij het niet of juist volledig meenemen van historische informatie, is er sprake van een beslissing die evenzo subjectief is als wanneer experts op grond van kwaliteit en relevantie bepalen in hoeverre een onderzoek een rol mag spelen bij de analyse en/of interpretatie van nieuwe gegevens.

Conclusie

Zoals het voorbeeld in de inleiding laat zien, past de kwantitatieve synthese bij onze natuurlijke neiging om nieuwe informatie te beschouwen in het licht van de kennis die we hebben. Impliciet wegen we steeds de kwaliteit en relevantie van beschikbare kennis. Bij de formele synthese van resultaten uit wetenschappelijk onderzoek worden we geconfronteerd met dezelfde overwegingen, maar nu moeten we expliciet zijn in de keuzes die we maken en de argumenten die we daarbij gebruiken. Steeds moeten we kunnen verantwoorden welke historische data we wel of niet includeren, op welke manier en in welke mate. Aan de subjectiviteit van deze afwegingen valt niet te ontkomen.

Bestaande richtlijnen voor het doen van *systematic reviews* en meta-analyses bieden ondersteuning bij de

uitvoering van klassieke kwantitatieve syntheses. De voorzichtige ontwikkeling van methoden voor het includeren van informatie uit onderzoeken met een afwijkende onderzoeksopzet en het raadplegen van inhoudelijke experts voor het beoordelen van kwaliteit en relevantie, bieden mogelijkheden voor vollediger syntheses in de toekomst.

LITERATUUR

- Graaf, Y. van der (2013). De dokter als Bayesiaan. *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde*, 157:B965.
- Groenwold, R. H. H. & Rovers, M. M. (2010). The Catch-22 of appraisals on the quality of observational studies. *Journal of Clinical Epidemiology*, 63, 1059-1060.
- Higgins, J. P. T., Altman, D. G., Gøtzsche, P. C., Jüni, P., Moher, D., Andrew, D., Oxman, A. D., Savović, J., Schulz, K. F., Weeks, L. & Sterne, J. A. C. (2011). The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *British Medical Journal*, 343:d5928.
- Hopewell, S., Boutron, I., Altman, D. G. & Ravaud, P. (2013). Incorporation of assessments of risk of bias of primary studies in systematic reviews of randomised trials: a cross-sectional study. *BMJ Open* 3:e003342. doi: 10.1136/bmjopen-2013-003342.
- Jüni, P., Witschi, A., Bloch, R. & Egger, M. (1999). The hazards of scoring the quality of clinical trials for meta-analyses. *JAMA*, 282(11), 1054-1060 (2005, 330, 1053).
- Moja, L. P., Telaro, E., D'Amico, R., Moschetti, I., Coe, L. & Liberati, A. (2005). Assessment of methodological quality of primary studies by systematic reviews: results of the metaquality cross sectional study. *British Medical Journal*, 330:1053.
- Shrier, I., Boivin, J.-F., Steele, R. J., Platt, R. W., Furlan, A., Kakuma, R., Brophy, J. & Rossignol, R. (2007). Should Meta-Analyses of Interventions Include Observational Studies in Addition to Randomized Controlled Trials? A Critical Examination of Underlying Principles. *American Journal of Epidemiology*, 166(10), 1203-1209.
- Wells, G. A., Shea, B., O'Connell, D., Peterson, J., Welch, V. & Tugwell, P. (2013). *The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for assessing the quality of nonrandomized studies in meta-analyses*. http://www.ohri.ca/programs/clinical_epidemiology/oxford.asp. Bezocht op 26 november 2013.

CHARLOTTE RIETBERGEN MSc is promovendus bij de afdeling Methoden en Statistiek, Faculteit Sociale Wetenschappen, Universiteit Utrecht.
E-mail: <c.rietbergen@uu.nl>

IRENE KLUGKIST is als UHD werkzaam bij de afdeling Methoden en Statistiek, Faculteit Sociale Wetenschappen, Universiteit Utrecht.
E-mail: <i.klugkist@uu.nl>

ROLF GROENWOLD is arts-epidemioloog en verbonden aan het Julius Centrum voor Gezondheidswetenschappen en Eerstelijns Geneeskunde, Universitair Medisch Centrum Utrecht.
E-mail: <r.h.groenwold@umcutrecht.nl>

HUGO

Dit is een statistiekcolumn; ik haast me dus om een verband met de statistiek te leggen: Hugo Brandt Corstius bewonderde Dick de Bruijn, De Bruijn bewonderde Van Dantzig, aartsvader van de Nederlandse statistiek. Onlangs lunchte ik met drie hoogleraarsvrouwen: mijn echtgenote, de weduwe van een oud-collega en Bep de Bruijn, weduwe van de wiskundige Dick de Bruijn. We hebben het niet over Hugo gehad; dat zou anders geweest zijn als hij toen al overleden zou zijn geweest. De Bruijn heeft Brandt Corstius tot de wiskunde verleid. Hugo was onder de indruk van een voordracht van De Bruijn over gehele getallen. Een van de stellingen luidde: 'Alle getallen zijn bijzonder, immers: als er ook niet-bijzondere getallen zouden zijn, dan was er ook een kleinste niet-bijzonder getal, en dat zou toch wel heel bijzonder zijn'. Misschien was het echte verhaal een beetje anders, maar het bracht Hugo tot de wiskunde.

Zo kon het gebeuren dat Hugo en ik in 1951 jaar-genoten waren, eerstejaars wiskundestudenten aan de UvA. Ik zie ons nog staan in de Roetersstraat, een groepje van vier: Hugo en ik, Aida (letje) Beatrijs De Miranda uit Suriname en nog een meisje – haar naam ben ik vergeten. In januari 1952 moest ik in militaire dienst, en toen ik na twee jaar in Amsterdam terugkwam, waren Hugo en letje uit het zicht geraakt. In de serie Mathematical Centre Tracts van het MC (CWI) heeft letjes proefschrift over topologische half-

groepen nummer 11, Hugo's proefschrift 'Exercises in computational Linguistics' nummer 30 en mijn proefschrift over oneindig deelbare verdelingen nummer 33. Hugo was toen dus al een taalkundige kant opgegaan. Hugo en ik werkten eind jaren vijftig op het Mathematisch Centrum aan de Tweede Boerhaavestraat in Amsterdam, hij bij de Rekenafdeling (later afdeling Informatica), ik op een andere etage bij de afdeling statistiek. We kwamen elkaar af en toe tegen op de trap. Ik geloof niet dat we veel woorden hebben gewisseld; er was alleen een blik van herkenning. Ik heb veel later zijn boek Opperlandse taal- & letterkunde gekocht, en nog wat later weer weggedaan: niet mijn soort boek.

letje kwam ik af en toe tegen op een feestje van het Mathematisch Centrum. Ze zei dan dat er nodig weer eens een reünie zou moeten komen: zij, ik, Hugo en de vierde, waarvan ik me de naam niet herinner. Het is er niet van gekomen en nu kan het niet meer. Ik stuurde letje een e-mail naar aanleiding van Hugo's overlijden. Mijn laatste zin: 'Het leven bestaat steeds meer uit herinneringen'. Ik heb niets van haar gehoord.

FRED STEUTEL is emeritus hoogleraar kansrekening aan de TU Eindhoven.
E-mail: <f.w.steutel@tue.nl>





Foto: NedTrain

Markov, Dantzig en Wolfe zorgen voor theoretische kostenbesparing van 40%

MARTIJN VAN ASPERT

Ik neem u mee. Wellicht dat u vaak met de trein reist, maar heeft u er ooit bij stilgestaan dat het een hele operatie is om deze treinen voortdurend veilig en zoveel mogelijk te laten rijden? Vandaag brengt de trein ons naar NedTrain: het onderhoudsbedrijf van de NS dat er 24/7 voor zorgt dat wij gebruik kunnen maken van de trein.

Eerste halte: Tilburg

In het zuiden van Nederland bevindt zich het NedTrain Componenten Bedrijf. Hier worden dagelijks onderde-

len van treinen volledig gereviseerd zodat deze weer opnieuw gebruikt kunnen worden, wanneer bij onderhoud van een trein blijkt dat het huidige onderdeel op die trein aan vervanging toe is. U vraagt zich wellicht af waarom er niet gewoon nieuwe onderdelen worden gekocht. U heeft gelijk, voor sommige onderdelen is het inderdaad niet de kosten en moeite waard (of is het simpelweg niet mogelijk) om deze te reviseren. Echter voor een groot deel van de onderdelen is reparatie een verstandige keuze, helemaal wanneer men kijkt naar de kosten voor een volledig nieuw onderdeel.

Ondanks de steeds grotere betrouwbaarheid van on-

derdelen komt het toch nog wel eens voor dat een onderdeel vervangen moet worden. De reparatietijden voor onderdelen lopen uiteen van enkele dagen tot enkele weken. Het zou niet goed zijn als een trein een even zo lange periode stil staat omdat deze moet wachten tot het desbetreffende onderdeel gerepareerd is. Hiervoor wordt een zogenoemde werk-wissel-voorraad aangelegd. Een kleine voorraad onderdelen die aangesproken wordt op het moment dat het kapotte onderdeel vervangen moet worden. Op deze manier wordt de wachttijd voor het onderdeel geminimaliseerd en is de trein zo snel mogelijk weer terug in dienst. Na revisie wordt het gereviseerde onderdeel weer bijgevoegd bij de andere onderdelen. Nu kan het echter voorkomen dat er meerdere onderdelen van een bepaald type tegelijkertijd nodig zijn, waardoor de voorraad snel daalt en er een tekort dreigt te ontstaan. Gelukkig kunnen sommige onderdelen wat langer wachten en kunnen de onderdelen waarvan de voorraad minimaal is met spoed gereviseerd worden.

De vraag die echter gesteld wordt: Hoe groot moet deze werk-wissel voorraad zijn?

De systeembenadering: een slimme keuze

Vele kapitale goederen (zoals treinen, maar ook lithografiemachines, kopieermachines en printers) bestaan uit onderdelen met prijzen uiteenlopend van enkele euro's tot duizenden euro's. Stelt u zich voor dat u voorraadmanager bent bij NedTrain en verantwoordelijk bent voor de beschikbaarheid van een bepaalde trein. Uw taak is makkelijk, u bent verantwoordelijk voor de eenmalige aankoop van twee onderdelen waarvoor een wissel-werk-

voorraad aangelegd moet worden, zeg onderdeel A en onderdeel B, beide gebruikt op één type trein. Als één van de twee onderdelen (die nu op de trein zitten) kapot gaan staat de trein stil. Onderdeel A en B zijn even kritiek voor de veiligheid en prestatie van een trein maar verschillen in kosten: Onderdeel A kost € 100, onderdeel B kost € 10.000. U denkt na en realiseert zich dat de trein dus stil staat ongeacht of dit nu door een tekort aan het dure of goedkope onderdeel komt.

U besluit wat meer van onderdeel A te bestellen en wat minder van onderdeel B, samen zullen de onderdelen ervoor zorgen dat de trein de gemiddelde gewenste beschikbaarheid haalt. Mocht het nu voorkomen dat er van het dure onderdeel één te weinig is, waardoor de trein iets langer stilstaat, zal uw manager dit eerder accepteren dan wanneer u één stuk te weinig van het goedkope onderdeel hebt besteld.

Net voor u gaat bestellen herinnert u zich dat het mogelijk was om reparaties met spoed uit te voeren. U beseft dat het gunstig zal zijn als u voor het dure onderdeel wat vaker en voor het goedkope onderdeel wat minder gebruik wil maken van deze optie. U bestelt dus nog wat meer van onderdeel A en wat minder van onderdeel B.

Bij NedTrain worden dit soort beslissingen vaak genomen, bijvoorbeeld wanneer een nieuwe treinserie in gebruik wordt genomen. Echter gaat het dan niet om twee onderdelen maar om enkele tientallen tot honderden onderdelen. De uitdaging voor NedTrain is dan de volgende: Hoeveel voorraad moet er initieel aangeschaft worden en wanneer is het verstandig om een revisie met spoed uit te voeren? Ofwel: Minimaliseer de investeringskosten gegeven een bepaalde minimale beschikbaarheid van die onderdelen en een maximaal

aantal keer dat er gebruik gemaakt kan worden van een spoedreparatie. De wiskundigen zullen het minimaliseringsprobleem hebben herkend. Gegeven de twee beperkingen bleek het Dantzig-Wolfe decompositie algoritme een efficiënt algoritme om dit minimaliseringsprobleem op te lossen.

Na ons bezoek aan Tilburg stappen we weer in de trein en gaan verder.

Tweede halte: Leidschendam

Na een aantal jaar op het spoor is het voor elke treinserie wettelijk verplicht om een grondige revisie te ondergaan. Gedurende zo'n revisieperiode worden alle treinstellen van een bepaalde treinserie één voor één uit dienst gehaald, worden kritische onderdelen preventief vervangen en gaat de trein weer terug in dienst. Leidschendam is één van de vier grote onderhoudslocaties van NedTrain waar zulke revisies uitgevoerd kunnen worden.

Omdat gedurende zo'n revisie veel treinen in korte tijd binnenkomen en onderdelen preventief vervangen moeten worden, stijgt de vraag naar onderdelen in Tilburg enorm. Als u dit als voorraadmanager had geweten had u wel wat meer besteld. Zelfs de optie om onderdeelrevisies met spoed uit te voeren, blijkt niet voldoende om op tijd onderdelen te kunnen leveren aan Leidschendam. U beseft dat deze 'piekvraag' niet voor de rest van de levensduur van de trein is en na de revisieperioden de vraag weer 'normaal' zal zijn (en zich pas bij de volgende grote revisie weer zal herhalen).

Om de verschillende vraagintensiteiten te modelleren is gebruik gemaakt van Markov Modulated Poisson Processes. In de master thesis is deze methode gebruikt om de wisseling tussen de 'piekvraag' gedurende de revisieperiode en de 'normale' vragen gedurende de niet-revisieperiode te modelleren. De methode kan echter ook gebruikt worden om bijvoorbeeld de verschillende vraagintensiteiten tijdens verschillende seizoenen te modelleren.

Samengevat betekent dit, dat met behulp van Markov Modulated Poisson Processes, Dantzig-Wolfe en de systeembenadering, toegepast in een nieuwe methode, een theoretische kostenreductie van 40% mogelijk is.

Eindstation: Utrecht

In Utrecht bevindt zich de afdeling Fleet Services van NedTrain. Vanuit hier wordt alles omtrent het onderhoud van treinen van onder andere de NS gemanaged. Gedurende mijn afstuderen heb ik met veel plezier op deze afdeling gewerkt aan het model en mijn scriptie. Op het moment van schrijven wordt de laatste hand gelegd aan de software tool, waarvan een conceptieversie al is ontwikkeld tijdens het afstuderen en waarvan binnenkort een uitgebreidere versie gepresenteerd zal worden aan de planners in Tilburg.

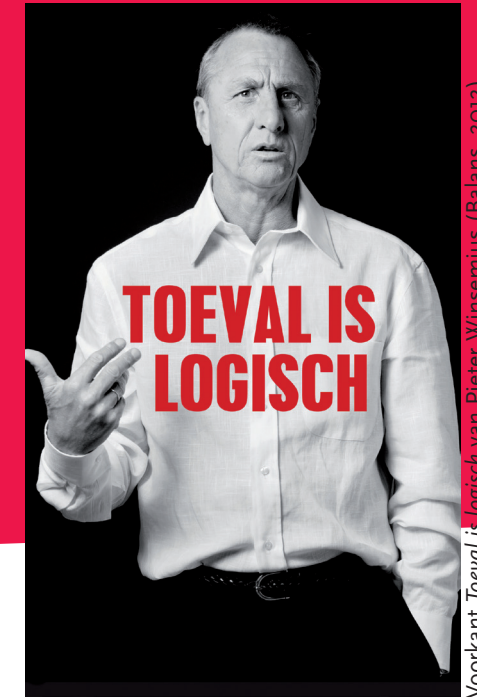
LITERATUUR

Meer over de toepassing van Dantzig-Wolfe Decomposition Column Generation:

- Alvarez, E., Van der Heijden, M. & Zijm, W. (2013). Service differentiation in spare parts supply through dedicated stocks. *Annals of Operations Research*. doi:10.1007/s10479-013-1362-z,
- Alvarez, E., Van der Heijden, M. & Zijm, W. (2013). The selective use of emergency shipments for service-contract differentiation. *International Journal of Production Economics*, 143(2), 518-526.
- Kranenburg, A. & Van Houtum, G. (2007). Effect of commonality on spare parts provisioning costs for capital goods. *International Journal of Production Economics* 108, 908-921.
- Meer over Markov-Modulated Poisson Processes:*
- Fischer, W. & Meier-Hellstern, K. (1993). The Markov-modulated Poisson process (MMPP) cookbook. *Performance Evaluation* 18, 149-171.
- Meer over de Dantzig-Wolfe Decomposition Column Generation en de Markov Modulated Poisson Processes:*
- Arts, J. (2013). *Spare Parts Planning and Control for Maintenance Operations*. PhD thesis, School of Industrial Engineering, Eindhoven University of Technology.
- Van Aspert, M. (2013). *Deciding on Turn-around Stock Levels Using Advanced Demand Models and Expediting Repair Policies*. MSc thesis, School of Industrial Engineering, Eindhoven University of Technology.

MARTIJN VAN ASPERT behaalde aan de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e) de bachelor Technische Bedrijfskunde en begon in 2011 met zijn master Operations Management & Logistics aan de TU/e. Na een internationaal semester aan de National Taiwan University startte hij met zijn afstudeerproject bij NedTrain. In de zomer van 2013 studeerde hij cum laude af. Tevens werd de thesis door de VVS-OR beloond met een eervolle vermelding.

Hoe is het mogelijk!!



We komen allemaal wel eens iets tegen waarvan we denken dat het eigenlijk niet kan. Feitelijk bedoelen we dan dat we de kans op die gebeurtenis zo klein achten dat we ons niet kunnen voorstellen het toch plaatsvindt.

Onze Engelse collega David J. Hand heeft hierover een prachtig boek geschreven met de titel *The Improbability Principle: Why Coincidences, Miracles, and Rare Events Happen Every Day* (Farrar, Straus and Giroux, 2014).

Hoewel wij allemaal vanuit onze statistische achtergrond beter moeten weten, denk ik dat er weinig lezers van STAtOR zullen zijn die niet zo nu en dan zullen denken 'Hoe is het mogelijk, dat kan geen toeval zijn'. Zelfs na het lezen van dat boek van Hand ontkom ik daar in ieder geval niet aan.

Laat ik maar een paar voorbeelden geven:

- Mijn beide zonen zijn op dezelfde dag jarig als mijn beide grootmoeders.
- Mijn oudste zoon is op dezelfde dag getrouwd als zijn overgrootouders, zij het 102 jaar later.
- Gijs de Leve woonde op de Winterswijkse boerderij waar mijn grootmoeder in 1892 is geboren.
- Mijn vrouw en ik schelen exact 9 maanden in leeftijd, kennelijk is zij speciaal voor mij geconcipieerd.
- De Griekse schoonmoeder van mijn zoon heet Johanna en is op dezelfde dag geboren als mijn zus Johanna.
- Mijn ouders en mijn schoonouders zijn precies één dag na elkaar getrouwd.
- Mijn vrouw en de schoonmoeder van mijn oudste

dochter hebben in dezelfde kleuterklas gezeten. Nadien hebben ze nooit meer contact met elkaar gehad en ze zijn in totaal verschillende delen van Nederland terecht gekomen. Maar hun kinderen zijn met elkaar getrouwd, zonder dat ze ook maar iets wisten van deze connectie.

Mijn mooiste voorbeeld heeft te maken met vader en zoon Hemelrijk. In 1971, tijdens een reünie van mijn middelbare school, zat ik lange tijd te praten met een oudere heer die vertelde dat hij als classicus rector van het Gymnasium in Alkmaar was geweest. Vele jaren later kocht ik een boekje, geschreven door een zekere J. Hemelrijk, met herinneringen aan zijn zeer armoedige jeugd in Winterswijk (dat is ook mijn geboortedorp, vandaar die aankoop). Een lerares Duits ontdekte de grote capaciteiten van de kleine Japie en maakte het financieel mogelijk dat hij naar de HBS en verder kon.

Ik was dat totaal vergeten, totdat in STAtOR een interview met prof. Jan Hemelrijk stond waarin hij vertelde dat zijn vader uit een heel eenvoudig Joods gezin in een Achterhoeks dorpje kwam en later rector van een gymnasium werd. Toen viel voor mij het kwartje. De Japie Hemelrijk van dat boekje was de vader van de statisticus Hemelrijk en uitgerekend met die Japie had ik op die reünie zo gezellig zitten praten. Tja, dan kan het geen toeval zijn dat ik in de statistiek terecht ben gekomen ...

GERRIT STEMERDINK is eindredacteur van STAtOR
E-mail: <gjstermerk@hotmail.com>



(links) Uiterst links vooraan zit Niels Bohr met naast hem Werner Heisenberg. Daarnaast Wolfgang Pauli, Otto Stern, Lise Meitner, Rudolf Ladenburg en andere wetenschappers, waarschijnlijk ter gelegenheid van een colloquium met Nobelprijswinnaars in Kopenhagen in 1937.

(hiernaast) Niels Bohr werd in 1947 door de Deense Koning onderscheiden met de exclusieve Orde van de Olifant – de hoogste eer in Denemarken – en koos voor zijn wapenschild het Chinese yin-yangsymbool en het devies *Contraria sunt complementa* (tegenstellingen zijn complementair). De wapenschilden van alle leden van de Orde van de Olifant hangen in de kapel van slot Frederiksborg in Hillerød.

DE WEG NAAR KOPENHAGEN; statistiek, natuurkunde en onzekerheid

RICHARD STARMANS

De afgelopen honderd jaar heeft in vele wetenschapsgebieden een probabilistische wending plaatsgevonden. Gehanteerde methoden, kernbegrippen, grondslagen en soms zelfs het achterliggende wereldbeeld werden gefundeerd in concepten en inzichten ontleend aan kansrekening en statistiek. Wanneer evenwel de reikwijdte en universele toepasbaarheid van de statistiek moeten worden bepleit of geïllustreerd, wordt zelden de natuurkunde als exemplarisch naar voren geschoven. Bovendien vinden relatief weinig statistici hun beroepspraktijk binnen de fysica. Toch is de verbondenheid tussen beide vanuit historisch en wijsgerig oogpunt zeer dwingend en kan vanuit diverse invalshoeken worden bestudeerd of toegelicht.

Een voor de hand liggend vertrekpunt betreft de aloude filosofische preoccupatie met het bewerkstelligen van een eenheidswetenschap, het streven naar unificatie of

synthese van de kennis. Zo beschouwd zijn natuurkunde en statistiek in zekere zin concurrerend, of -welwillender geformuleerd- complementair. Enerzijds kan de natuurkunde vanuit de gangbare opvatting van een fysicaïstisch reductionisme worden beschouwd als de meest fundamentele wetenschap en kunnen achtereenvolgens scheikunde, biologie, neurowetenschap, psychologie en de sociale wetenschappen hiertoe worden 'herleid'. Via brugwetten of correspondentieregels kan de gewenste unificatie worden teweeggebracht. Het notoire adagium van de fysicus Richard Feynman dat *everything that animals do, atoms do* kan hierbij als maxime fungeren. Anderzijds mag ook de statistiek met enig recht aanspraak maken op de rol van grote unificator, niet in de laatste plaats vanuit methodologisch perspectief. Ook voor menig wetenschapsfilosoof is de wetenschappelijke methode bijkans synoniem met een statistische benadering

en velen omarmen in meer of mindere mate de Bayesiaanse confirmatietheorie.

We kiezen hier evenwel een invalshoek die minder door annexatiedrang lijkt te worden gevoed. Deze betreft het denken over onzekerheid, dat in de westerse ideëngeschiedenis een indrukwekkende genealogie kent. De conceptie van onzekerheid werd lange tijd nogal pejoratief geduid en doorliep een emancipatieproces, dat uitgerekend dankzij (de wisselwerking van) statistiek en natuurkunde in een tweetal achtereenvolgende stappen werd voltooid. Het was de Deense natuurkundige Niels Bohr (1885-1962), die bij deze voltooiing een enigszins paradoxale dubbelrol speelde. Enerzijds vormde hij het verbluffende sluitstuk van voornoemd emancipatieproces, anderzijds bleek hij voor veel filosofen veeleer een dwaallicht, dat een wijsgerige verwarring veroorzaakte, die bijna honderd jaar later nog steeds aanleiding geeft tot debat.

De genealogie van de onzekerheid

Het denken over onzekerheid gaat terug tot de presocraten, die trachtten de verschijnselen te begrijpen en te verklaren vanuit in de natuur werkzame krachten en principes en daartoe als eersten het postulaat van de intelligibiliteit of kenbaarheid van de natuur omarmden. Daarmee werd ook de vraag naar de mogelijkhedenvoorwaarden voor zekere kennis opgeworpen. In weerwil van vroege sceptici als Pyrrho van Elis en enige eeuwen later Sextus Empiricus, die de onmogelijkheid en incoherentie hiervan benadrukten, kreeg de queeste naar zekere kennis al vroeg gestalte. Aristoteles en Euclides waren de eersten die zulks langs axiomatisch-deductieve weg trachtten te bewerkstelligen en effenden daarmee het pad voor een kennisideaal dat tot ver in de 17de eeuw on-aantastbaar bleef. Tegen deze achtergrond was de notie

van onzekerheid problematisch en werd gaandeweg een aporie, die zich niet liet opheffen of ‘wegverklaren’, en die uit arren moede dan maar moest worden betoogd, beheerst en meetbaar gemaakt. Daarbij werd getracht onzekerheid te reduceren tot verwante begrippen als onbetrouwbaarheid, onvolmaaktheid, onvoorspelbaarheid, onvolledigheid en onbepaaldheid. Met enige goede wil kunnen deze ook als ‘dimensies’ of aspecten van onzekerheid worden beschouwd, die dikwijls tot verschillende ‘bronnen’ zijn te herleiden: ontologische, epistemische, taalkundige en computationele. Een tweetal van deze dimensies leidde tot transformaties in het denken over onzekerheid die het genoemde emancipatieproces hebben voltooid en die onmiskenbaar als ontologisch kunnen worden beschouwd. Dat wil zeggen, dat de onzekerheid van de kennis voortkomt uit wezenlijke kenmerken van de structuur van de werkelijkheid en niet is te wijten aan onze vermogens om kennis te verwerven, zoals beperkte waarneming, opslagcapaciteit, rekenkracht en uitdrukingskracht van de taal.

Variatie en verandering

De eerste dimensie van onzekerheid betreft de grilligheid van de natuur en haar vele verschijningsvormen. Dat de werkelijkheid onderhevig is aan variatie en verandering vormde het klassieke probleem voor de Griekse natuurfilosofen, die een verklaring zochten voor de verschillende aspecten van verandering: verandering van plaats (beweging), ontstaan en vergaan, verandering van hoedanigheid en hoeveelheid. Het bestaan ervan werd dikwijls ontkend, onmogelijk geacht of gereduceerd tot non-verandering. Variatie werd beschouwd als afwijking van een regel of norm, die in het gunstigste geval moest worden verklaard. Beide stonden voor onvolmaaktheid en onvoorspelbaarheid. De Eleatische filosoof Parmenides was de meest radicale pleitbezorger voor de onveranderlijkheid van het zijnde en betoogde dat beweging op logische en metafysische gronden onmogelijk is. Veranderingen zijn niets anders dan effecten op de zintuigen; de werkelijkheid is eenvormig, ondeelbaar en onveranderlijk. Plato werkte dit idee uit en plaatste tegenover de schijnwereld van zintuiglijk waarneembare verschijnselen een ‘werkelijke’, transcendentale wereld, die tijdloos en onveranderlijk is en waarover zekere kennis kan worden verworven. Atomisten als Leukippos en Demokritos ontkenden niet de realiteit van de waarneming, maar

trachtten verandering te reduceren tot niet-verandering. Alle vormen van verandering werden opgevat als een herschikking van elementaire deeltjes. Aristoteles bestreed zowel de atomisten als Plato door respectievelijk zijn introductie van het potentieel zijnde en zijn hulemorfisme, waarbij vorm en materie aan elkaar gebonden zijn en de essentiële vormen in de dingen zelf schuilen en niet in een transcendentale wereld. Hij was daarbij een dualist, die in zijn kennisleer worstelde met de variatie in het ondermaanse in tegenstelling tot de regelmaat van het bovenmaanse, hetgeen hem dwong diverse ‘gradaties’ van kennis aan te nemen. Ruwweg kan worden gezegd dat in weerwil van het werk van Herakleitos, die juist wel de dynamiek van de werkelijkheid als wezenlijk bestempelde, de noties van variatie en verandering lange tijd problematisch bleven in de westerse ideeëngeschiedenis. In de 17de eeuw veranderde dit door ‘dynamische’ theorieën als Descartes’ vortextheorie en Leibniz’ monadologie, maar vooral door de ontwikkeling van de infinitesimaalrekening, waardoor de wetenschap eindelijk enige greep kreeg op verandering. De opkomst van kansrekening en statistiek was eveneens cruciaal, maar diende toch lange tijd niet zozeer om recht te doen aan variatie, maar om deze te betoegelen en te corrigeren. Pioniers van de statistiek, zoals Pierre-Simon Laplace en Adolphe Quetelet vormen hiervan treffende voorbeelden. Laplace ontwikkelde zijn fameuze foutenfunctie, een in dit verband veelzeggende benaming. Hij verklaarde afwijkingen van de planetenbanen door te postuleren dat deze normaal verdeeld zijn en ‘redde’ daarmee het deterministische wereldbeeld. Zijn leerling Quetelet paste vervolgens de normale verdeling toe op zijn abstractie van *l’homme moyen*, waarbij het gemiddelde de ‘essentie’ was, spreiding weliswaar een belangrijke plaats kreeg, maar deze ‘afwijkingen’ werden wel in het keurslijf van de normale verdeling gedwongen.

Het denken over variatie en verandering zou pas later in de 19de eeuw in een stroomversnelling geraken vooral door de evolutietheorie van Darwin en Wallace, die echter beide geen wiskundig model voor evolutie hadden en al helemaal geen adequaat mechanisme van overerving. Het was Francis Galton, die als onvermoeibaar pleitbezorger voor mathematisering van de wetenschap inzag dat variatie zich wel degelijk voor een wiskundige behandeling leende, zonder pejoratieve duidingen van afwijkingen, errorfuncties, etcetera. Het ging hem niet om Quetelets gemiddelden, maar juist om het afwijkende, bijzondere en individuele, al begreep Galton,



Werner Heisenberg en Niels Bohr. De foto is in 1934 genomen door Paul Ehrenfest, Jr, zoon van de bekende natuurkundige Ehrenfest senior op het instituut voor theoretische natuurkunde van de Universiteit van Kopenhagen, het latere Niels Bohr-instituut. Let op de Carlsberg-bierflessen: Bohr en zijn groep werden deels ondersteund door een legaat van de stichter van de brouwerij.

die als eerste de conceptie van *regression-to-the-mean* had ontwikkeld, niet precies hoe kleine veranderingen op lange termijn voldoende konden zijn om de rijkdom aan verschijnselen en evolutie te bewerkstelligen. Zijn leerling Pearson daarentegen deed aan dit alles recht door de variatie niet te identificeren in *errors*, maar in de verschijnselen zelf (gecodeerd in data), en terug te voeren tot verschillende (klassen van) kansverdelingen. Hij zag in dat vele verschijnselen niet normaal, doch scheef waren verdeeld en met behulp van vier parameters (gemiddelde, standaardafwijking, scheefheid en welving) konden worden geclassificeerd. De variabiliteit in de natuur manifesteerde zich in een puntenwolk van metingen en Pearson zocht naar het *best fitting*-model, de functie die het best paste bij de data. Deze was veeleer een zuinige beschrijving hiervan, dan een aanduiding van een causaal, onderliggend mechanisme. Als eerste gaf hij daarmee kansverdelingen een volwaardige plaats in de wetenschap en zag de wereld op een niveau van abstractie waarbij data, variatie in data, datagenererende mechanismen en parameters van de verdelingen de werkelijkheid veeleer coderen en opbouwen en niet zozeer een (vermeende) fysische werkelijkheid representeren of afbeelden. Kansverdelingen met bijbehorende parameters vormen de objecten van de wetenschap. Het wereldbeeld verloor hiermee weliswaar een deel van haar aanschouwelijkheid, maar paradoxaal genoeg was de pearsoniaanse werkelijkheid als statistische verdeling wel ‘waarneembaar’, dichtbij de gegevens, en bovenal kenbaar; zij was een beschrijving van de feitelijke data, een grote, maar eindige deelverzameling van de verzameling van alle mogelijke metingen, alleen beschikbaar in een ‘ideale’ situatie. Met Galtons en Pearsons statistische benadering van variatie en verandering en Fishers latere synthese van evolutieel en mendeliaanse ge-

netica was de eerste transformatie in het denken over onzekerheid een feit.

Kopenhagen

Er was echter een tweede transformatie nodig om de conceptie van onzekerheid een volwaardige plaats in het (wetenschappelijke) wereldbeeld te geven. Deze werd rond 1927 voltrokken door Werner Heisenberg en vooral Niels Bohr met hun befaamde Kopenhaagse interpretatie van de kwantummechanica. Een dimensie van onzekerheid die hier nadrukkelijk op de voorgrond treedt is uiteraard die van onbepaaldheid, het gegeven dat een eigenschap of toestand (nog) niet vastligt of is gerealiseerd c.q. ook niet onafhankelijk van de waarnemer is te bepalen. Meer nog dan variatie en verandering is dit aspect wezenlijk ontologisch. Volgens de filosoof Ian Hacking werd met de kwantummechanica de probabilistische revolutie afgerond, maar het was feitelijk door de Kopenhagen-interpretatie, dat Hackings *erosion of determinism* werd voltooid en onzekerheid irreducibel werd. Heisenberg en Bohr hadden enige jaren samengewerkt in Kopenhagen en zich gebogen over diverse nieuwe en succesvolle, maar onderling lastig te rijmen inzichten rond het kwantumgedrag, vooral het meetprobleem en de golf-deeltjes dualiteit. Nadat Einstein en De Broglie de verbondenheid tussen beide al hadden benadrukt, legde Schrödinger het primaat bij de golf functie, waarbij de kans wordt berekend dat een deeltje dat zich als golf gedraagt, zich op een specifieke plaats bevindt. Heisenberg daarentegen representeerde het discontinue karakter van energie met zijn matrixalgebra, terwijl Max Born op zijn beurt een statistische interpretatie van de golf functie ontwikkelde. Bovendien had Heisenberg in

1926 met zijn onzekerheidsrelatie aangegeven dat positie en impuls van een deeltje niet tegelijkertijd exact zijn te bepalen; de meethandeling verstoort de 'baan' van het deeltje, doordat er fotonen op botsen, wat gepaard gaat met overdracht van energie of impuls. Opmerkelijk bij dit alles zijn niet louter de statistische elementen in al deze bijdragen, maar vooral Bohrs wijsgerige duiding van de nieuwe 'probabilistische' natuurkunde.

Uiteraard was de relatie tussen statistiek en natuurkunde niet nieuw. Een halve eeuw eerder hadden Gibbs, Maxwell en Boltzmann gebruik gemaakt van de 'oude' statistiek van Laplace en Quetelet bij de kinetische gastheorie en statistische mechanica. De katalysator kwam juist met Plancks kwantificering van de energie, waarbij hij teruggreep op Boltzmann en de thermodynamica. Einstein paste het principe in 1905 toe in zijn paper over het foto-elektrisch effect, Bohr in 1913 bij zijn atoommodel, waarmee het pad was geëffend voor voornoemde grondleggers van de kwantummechanica. Bohr was zelf geen statisticus en leverde ook geen nieuwe bijdragen op dit terrein. Zijn cruciale betekenis in de onderhavige problematiek betreft juist zijn streven op verschillende momenten de rol van unificator op te eisen.

Hij deed dat voor het eerst in 1913 met zijn fameuze klassieke atoommodel, waarbij hij Plancks kwanta en het model van Rutherford integreerde. Bohrs zeer aanschouwelijke en realistische 'schillenmodel' was een waardige microscopische tegenhanger van de macroscopische, op concentrische cirkels gebaseerde planetenmodellen, die van Plato tot Copernicus de astronomie hadden beheerst. Bohr presenteerde dit model nota bene in hetzelfde jaar waarin Jean Baptiste Perrin zijn studie *Les Atomes* publiceerde. Daarin inventariseert en analyseert Perrin 13 methoden om de *molecular magnitude* en het getal van Avogadro te bepalen. Deze betroffen onder meer het onderzoek naar viscositeit van gassen, de brownse beweging, onregelmatige moleculaire verdeling, black body spectra, geladen deeltjes van gassen en radioactiviteit. Perrin liet zien dat atomen op verschillende manieren konden worden gedetecteerd en geteld, die evenwel tot vergelijkbare bepalingen leidden. Hij redeneerde dat deze *remarkable agreements* het best konden worden verklaard door aan te nemen dat atomen dan ook werkelijk bestaan. Bohrs aanschouwelijke model versterkte evenals Perrins werk, de realiteitswaarde van de atoomleer. Daarmee werden niet alleen sceptische fysici als Ostwald overtuigd, maar ook vele filosofen die intelligibiliteit, wetenschappelijk realisme en aanschou-

welijkheid hoog in het vaandel hadden staan.

De Kopenhaagse interpretatie was ook zo'n poging tot unificatie, maar wijsgerig beschouwd minder succesvol. Al eerder had Bohr in zijn principe van complementariteit uitgedrukt dat golven en deeltjes twee zijden van c.q. perspectieven op hetzelfde verschijnsel vormen en met zijn correspondentieprincipe aangegeven dat bij grote kwantumgetallen de klassieke mechanica van de macroscopische wereld toereikend is. Hij ging echter verder dan Heisenberg, die stelde dat onzekerheid vooral door de genoemde energieoverdracht werd veroorzaakt. Bohr beschouwde waarnemer en experiment als een enkel, samenhangend systeem; met het meten wordt het systeem vastgelegd. Een niet-gemeten deeltje is als het ware onbepaald, heeft geen geschiedenis, etc. Dit gaf niet alleen aanleiding tot beroemde debatten met Einstein, Schrödinger en anderen, maar leidde ook tot filosofische verwarring. In het gunstigste geval werd Bohr beschouwd als een instrumentalist, die het wetenschappelijk realisme definitief overboord had gezet. Anderen gingen verder; Bohr zou het principe van intelligibiliteit ondermijnen, de natuurlijke categorie van oorzaak-gevolg-relaties opheffen en de poort openen naar subjectivisme, holisme en Oosterse filosofie. De kloof tussen filosofie en natuurwetenschap werd hiermee verdiept, terwijl Bohr zich juist bekommerde om de consequenties voor het wetenschappelijk wereldbeeld en een zinvolle interpretatie door in een conceptuele analyse onder meer de beperkingen van de op de macroscopische wereld gebaseerde natuurlijke taal te analyseren. Anders dan vaak wordt beweerd was hij veeleer een wetenschappelijk realist 'zonder aanschouwelijkheid' dan een instrumentalist, en al helemaal geen relativist. Hij vestigde juist definitief de plaats van onzekerheid als 'bouwsteen' van de werkelijkheid.

De hier onvermijdelijk zeer fragmentarisch geschetste weg naar Kopenhagen doet uiteraard geen volledig recht aan de genealogie van de onzekerheid. Hoe dan ook, de door Pearson en Bohr voltooide transformaties vormen onmiskenbaar mijlpalen hierin, niet in de laatste plaats door de manier waarop beide bijdroegen aan de teloorgang van de aanschouwelijkheid van het wereldbeeld.

RICHARD STARMANS is verbonden aan de Faculteit Bèta-wetenschappen (Department of Information and Computing Sciences) van de Universiteit Utrecht. Hij doet onderzoek op het snijvlak van filosofie, statistiek en informatica.
E-mail: <starmans@cs.uu.nl>



DE LOGISTICUS ANALYTICUS

JOHN POPPELAARS

In een wereld waarin alles en iedereen met elkaar verbonden is, waarin de hoeveelheid beschikbare data elke dag weer sneller toeneemt en waarin de levenscycli van producten steeds korter worden, neemt de noodzaak om sneller en beter besluiten te kunnen nemen ook verder toe. Wellicht wordt die noodzaak in de logistiek wel het hardst gevoeld aangezien de logistiek de bindende factor is in bijna iedere supply chain. Om sneller en beter te kunnen beslissen heeft de logistiekmanager echter de juiste ondersteuning en kennis nodig. Het is mijn overtuiging dat het ter ondersteuning van besluitvorming kunnen beschikken over technieken als data-analyse en het gebruik van voorspellings- en optimalisatiemodellen cruciaal worden voor elke manager, voor de logistiekmanager in het bijzonder. Om de vruchten van deze geavanceerde analytische methoden te kunnen benutten

zal geïnvesteerd moeten worden in de ontwikkeling van vaardigheden en de aanschaf van software. Dit zijn echter geen voldoende voorwaarden voor succes. Besluitvormingsprocessen bij logistieke bedrijven zullen ook in hoge mate data gedreven moeten worden, waarbij besluiten gebaseerd worden op de resultaten van voorspellings- en optimalisatiemodellen. Dit vraagt om een fundamentele verandering van de typisch logistieke bedrijfscultuur.

Het is algemeen geaccepteerd dat er in de steeds maar groter worden berg van data een enorm waardepotentieel schuilt. In een recente enquête over supply chain trends van BVL International¹ geeft 60% van de respondenten aan het voornemen te hebben in de komende 5 jaar te investeren in (big) data-analyse technieken en software. Uit eigen ervaring kan ik zeggen dat het

analyseren van data – Big of niet – een enorm waarde-potentieel heeft. In de afgelopen jaren heb ik veel logistieke bedrijven begeleid in het gebruik van analytische methoden. Het is soms verbluffend om te zien hoe snel de inzichten uit een data-analyse tot significante verbeteringen kunnen leiden. Het analyseren van data levert een verdieping van het begrip van de actuele situatie op, zorgt voor een op feiten gebaseerde identificatie van bottlenecks en geeft richting aan het vinden van manieren om ze te omzeilen. Ieder onderdeel van de logistieke keten kan zo worden geanalyseerd, op zoek naar verbeteringen. Zo ondersteunt data-analyse de besluitvorming in last-mile distributie, maar is ook bij tactische of strategische afwegingen van groot nut. Sommige logistieke besluiten zou ik niet eens zonder gedegen analyse willen nemen, denk aan het vaststellen van de best mogelijke beleverfrequentie, het bepalen van de omvang en locatie van een distributiecentrum of de borging van de schaalvoordelen van een fusie van twee of meer logistieke netwerken. De last-mile-distributie is vaak het kostbaarste onderdeel in een logistieke keten, voor een Express bedrijf vertegenwoordigt het al snel 35% van de operationele kosten. Dus als deze stap in de keten slimmer kan worden uitgevoerd, levert dat direct een margeverbetering op. UPS schat in dat als per dag, per chauffeur een mijl minder gereden wordt, dat op jaarbasis 50 miljoen dollar bespaart.² Dat is ook de reden waarom UPS zo zwaar inzet op het verzamelen en analyseren van data van alle gereden ritten. Op die manier vindt UPS steeds weer mogelijkheden om deze stap in de keten efficiënter uit te voeren. Hun beroemde beslisregel om zoveel mogelijk rechtsaf te slaan in de uitvoering van beleverondes is een resultaat van de analyse van de wacht- en rijtijden van duizenden gereden ritten.³

Geavanceerde analytische methoden kunnen verschillende databronnen met elkaar combineren, van orderdata van verleden jaar tot en met real-time orderdata van een online-retailer. Met behulp van deze informatie kunnen voorspelmodellen worden ontwikkeld. Bijvoorbeeld om de te verwachten hoeveelheid vracht die in een distributiecentrum moet worden verwerkt voor de komende avond of de komende dagen te voorspellen. Met behulp van deze voorspelling kan vooraf worden bepaald of de te verwachten hoeveelheid vracht een probleem vormt en kunnen preventieve maatregelen worden getroffen. Bijvoorbeeld door vracht in het netwerk

om te leiden als er onvoldoende transportcapaciteit beschikbaar is met als resultaat dat vracht niet onnodig achterblijft. Het voorspellen van het vrachtvolume maakt het ook mogelijk een betere inschatting van de benodigde menskracht in het distributiecentrum te maken en reduceert de behoefte aan de last-minute inhuur van vaak dure inhuurkrachten of de uitbetaling van overuren. De combinatie van real time file-informatie en informatie over de locatie en beschikbaarheid de klant kan tot een efficiëntere last-mile distributie leiden. Met deze informatie kan het aantal negatieve stops gereduceerd worden wat een positief effect op de kosten zal hebben. Dit zijn slechts een paar voorbeelden van de toegevoegde waarde die analytische methoden voor de logistiek kunnen hebben, van kostenreducties tot serviceverbetering. Aangezien data waardevol is, heeft de data die gegenereerd wordt in de planning en uitvoering van logistieke processen ook weer waarde, we leven immers in een *data-age*. Zo kan informatie over de uitgevoerde ritten aan bijvoorbeeld gemeentes worden verkocht voor de analyse van de congestie in de stad (en de reductie ervan) of aan onderzoeksbureaus ter ondersteuning van bijvoorbeeld de analyse van logistieke ketens. Dit hergebruik van data is denk ik iets waar de logistiek veel meer mee zou kunnen doen.

Het analyseren van data is geen nieuwe activiteit voor logistieke bedrijven. Velen van hen analyseren data om de benuttingsgraad van hun auto's te berekenen, om te bepalen hoeveel vracht er is vervoerd en hoeveel er op tijd is afgeleverd. Verreden kilometers en de gemaakte kosten worden als key performance indicators in dashboards weergegeven zodat de logistiekmanager continue op de hoogte is van de bedrijfsprestaties en kan waar nodig ingrijpen. Dashboards hebben grote voordelen, echter het is vooral in de achteruitkijkspiegel kijken terwijl je vooruit wilt rijden. Natuurlijk is inzicht en analyse van prestaties uit het verleden belangrijk, maar het is niet genoeg. Logistieke bedrijven moeten data analyseren met als doel voorspellingen te kunnen doen over bijvoorbeeld de te verwachten hoeveelheid vracht, dieselprijs of benodigde mankracht en vervoerscapaciteit. Dit geeft informatie over hoe het dashboard er in de toekomst uitziet. Met dat inzicht en de juiste wiskundige modellen kan de logistiekmanager anticiperen en op feiten gebaseerd proactief bijsturen. Onderzoek van Andrew McAfee en Erik Brynjolfsson⁴ van het Massa-

chusetts Institute of Technology laat zien dat bedrijven die ondersteund door wiskundige modellen besluiten nemen een 5-6% hogere productiviteit en winstgevendheid hebben vergeleken met bedrijven die dat niet doen. Getallen die ik bevestig zie in de praktijk. Soms zijn hogere verbeteringspercentages mogelijk, zeker als het om meer tactische of strategische beslissingen gaat.

Om de voordelen van het gebruik van analytische methoden te kunnen benutten moeten logistieke bedrijven hun besluitvormingsprocessen aanpassen. Veelal worden besluiten in de logistiek op basis van intuïtie en gewoonte genomen, de focus is vaak alleen gericht op de eigen operatie. Bij grote ondernemingen verschilt het besluitvormingsproces per locatie, er is geen sprake common practice, laat staan best practice. Dit moet veranderen in een data-gedreven besluitvormingsproces en een supply-chain-brede focus, waarbij de voorliggende en opvolgende schakels in de logistieke keten onderdeel worden van de besluitvorming. Dit kan alleen worden bereikt als het senior management volledig achter deze vorm van besluitvorming staat. Dat zullen zij alleen doen als bewezen wordt dat het gebruik van analytische methoden op een herhaalbare en consistente manier voor verbeteringen van de KPI's zorgt. Het kost tijd om besluitvormingsprocessen in een organisatie aan te passen en meer op basis van inzichten uit data-analyses en wiskundige modellen te gaan beslissen. Het is mijn ervaring dat een big bang aanpak daarin niet de meest succesvolle is (vaak is deze aanpak technisch gedreven, alsof soft- en hardware het probleem zullen oplossen) maar de beste weg een geleidelijke groei is waarin de complexiteit en reikwijdte van de projecten steeds verder toeneemt. Deze aanpak zal op een consistente manier de kwaliteit en snelheid van besluitvorming verbeteren en steeds betere resultaten laten zien. Het geeft bovendien de ruimte aan iedereen in de organisatie om mee te groeien. Dit is precies de weg die TNT Express genomen heeft met het Global Optimisation Programme (GO)⁵, met al resultaat dat ze in een paar jaar tijd vele tientallen miljoenen heeft kunnen besparen. Een van de sleutelonderdelen van het GO-programma, dat voor elke logistieke onderneming aanbevelingswaardig is, was het ontwikkelen van analytische vaardigheden binnen het bedrijf. Niet om van iedere medewerker een statisticus of operations researcher te maken, maar gericht op het herkennen van optimalisatie-kansen en het kunnen be-

nuten van de kracht van analytische methoden.

Om de kansen van de huidige data-age te kunnen realiseren zullen logistieke ondernemingen hun analytische vaardigheden verder moeten ontwikkelen. Met deze nieuwe vaardigheden kunnen zij hun prestaties verbeteren. Door beter gebruik te maken van de al beschikbare data kan al veel worden bereikt, echter veel logistieke bedrijven gebruiken de data te vaak alleen om achteruit te kijken. De in de data verscholen waarde wordt pas ontsloten als gebruik gemaakt wordt van voorwaartse georiënteerde methoden zoals voorspellings- en optimalisatiemodellen. Deze methoden geven bedrijven de mogelijkheid om in te spelen op wat er mogelijk gaat gebeuren en ondersteunen het besluitvormingsproces. Voordat bedrijven effectief gebruik kunnen maken van deze methoden zullen zij hun analytische vaardigheden moeten ontwikkelen en misschien nog wel belangrijker een cultuur ontwikkelen van continue verbetering. Een cultuur waarin data en analyse centraal staan, waarin op feiten gebaseerd beslist en geëvalueerd wordt. De logistiekmanager van de toekomst is een Logisticus Analyticus.

Dit artikel is een samenvatting van de lezing die ik gaf op de Logistiek Manager van het Jaar verkiezing op 27 maart 2014.

NOTEN

1. Trends and Strategies in Logistics and Supply Chain Management: Embracing Global Logistics Complexity to Drive Market Advantage', BVL International, 2013
2. An interview with Jack Levis. <http://www.capgemini.com/resources/an-interview-with-jack-levis-director-of-process-management-at-ups>
3. Saving Fuel: UPS Saves Fuel and Reduces Emissions the 'Right' Way by Avoiding Left Turns <http://www.pressroom.ups.com/Fact+Sheets/Saving+Fuel%3A+UPS+Saves+Fuel+and+Reduces+Emissions+the+%22Right%22+Way+by+Avoiding+Left+Turns>
4. Andrew McAfee and Erik Brynjolfsson, Big Data: The Management Revolution, <http://hbr.org/2012/10/big-data-the-management-revolution/ar>
5. Zie <http://www.tnt.com/content/dam/corporate/images/aboutus/recognition/edelman/tnt-express-go-programme-1-management-NL.pdf>

JOHN POPPELAARS is voorzitter van het Nederlands Genootschap Besliskunde en directeur Business Analytics bij de ORTEC Consulting Group.
E-mail: <john.poppelaars@ortec.com>

Sun Bin, een meesterstrateeg

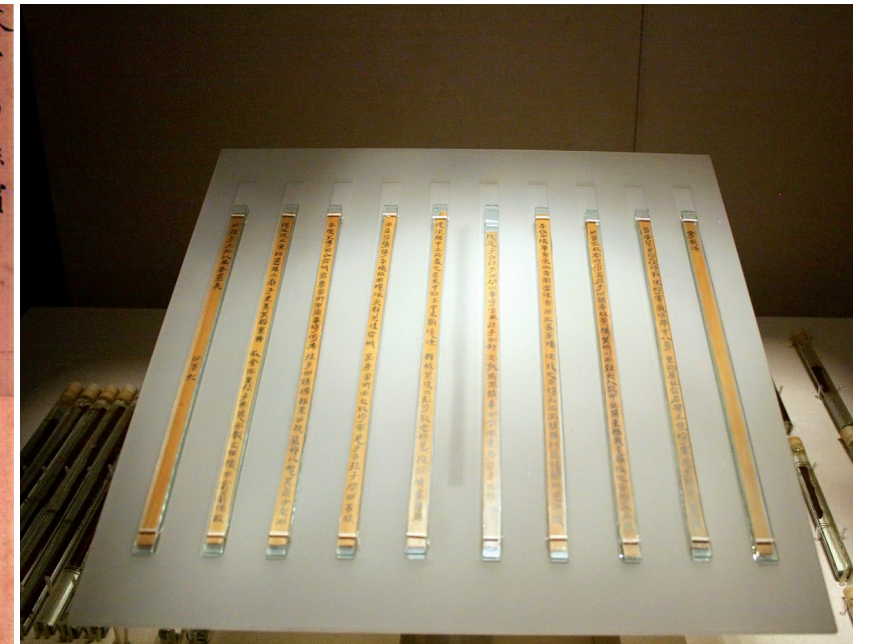
Sun Bin is een beroemde oorlogsstrateeg uit het oude China van ongeveer 2500 jaar geleden. Hij is de auteur van het zogeheten *Sun Bin's Art of War*, een oud Chinees klassiek werk over militaire strategie. Een meesterwerk dat tijdens de Han-dynastie verloren leek te zijn gegaan, maar bij toeval vond men in 1972 bij opgravingen het werk van Sun Bin terug. De verhandeling is geschreven op bamboe strips zoals destijds gebruikelijk was bij geschriften. Een aantal van de bamboe strips was door natuurlijke erosie sterk beschadigd maar niettemin kon het werk gereconstrueerd worden en opnieuw worden uitgegeven. Vele van de aanbevelingen in dit werk zijn nog steeds waardevol, niet alleen voor militaire leiders maar ook voor leiders in het bedrijfsleven. Sun Bin kan ook beschouwd worden als de eerste die elementen van speltheorie en kansrekening met elkaar verenigde. Sun Bin was adviseur van generaal Tian Ji in de periode van de strijdende staten in China en hij adviseerde de generaal niet alleen op het slagveld. Bij de elite van het oude China was een populair tijdverdrijf een race tussen paarden van twee hooggeplaatste personen, waarbij elke persoon drie paarden in de strijd bracht en in drie rondes elke keer twee verschillende paarden het tegen elkaar opnamen. De winnaar van de paardenrace was degene die de meeste van de drie rondes met zijn paarden won. Generaal Tian Ji was niet erg succesvol met zijn paarden totdat Sun Bin hem adviseerde zijn zwakste paard in te zetten tegen het sterkste paard van de tegenstander en zijn sterkste paard tegen het op één na sterkste paard van de tegenstander.

Sun Bin betoogde dat op deze wijze de generaal met maximale kans als winnaar uit de tweestrijd naar voren zou komen. Operations research avant la lettre!

Dit brengt me voor deze column op een wiskundig probleem dat simpel te formuleren is maar niet eenvoudig op te lossen is. Laten we het probleem gieten in de vorm van een kaartspel waarin één ander persoon je tegenstander is. Het kaartspel bevat $2N$ kaarten, waarbij de kaarten de rangnummers 1 tot en met $2N$ dragen en elke kaart een verschillend rangnummer heeft. Een derde persoon treedt als dealer op en deelt de kaarten uit na de kaarten grondig geschud te hebben. De dealer deelt aan elke speler de helft van de kaarten uit, waarbij de dealer de kaarten zo neerlegt dat bij elke speler de kaarten van links naar rechts met afnemend rangnummer voor de speler liggen. De kaarten liggen omgekeerd voor de spelers zodat de spelers de rangnummers niet kunnen zien maar wel weten de beide spelers dat de kaarten van hoog naar laag in rangnummer geordend voor hen liggen. Elke keer pakken de twee spelers één kaart van hun kaarten zonder de kaarten om te draaien en deze twee kaarten vormen dan een koppel. Pas als N koppels van kaarten gevormd zijn, dan worden de kaarten omgedraaid en de winnaar is de speler die de meeste winnende koppels heeft, waarbij in een koppel de kaart met het hoogste rangnummer winnend is. Essentieel in het spel is de afspraak dat jij je kaarten vrij mag kiezen voor het vormen van de koppels, maar dat je tegenstander deze vrijheid



Sun Bin (gestorven 316 v.C.)



Sun Bin's Art of War is geschreven op 364 bamboe strips

niet heeft en zijn kaarten van links naar rechts overeenkomstig afnemend rangnummer moet pakken. Normaal gesproken, zou je tegenstander een sukkel moeten zijn om deze spelregel te accepteren, maar je kunt je ook de situatie indenken dat je tegenstander een computer is die volgens een vast spelpatroon handelt. De vraag is uiteraard voor welke strategie je winstkans maximaal is? Voor het geval van $N=3$ kaarten voor elke speler, is door het beschouwen van alle mogelijke combinaties het rechtstreeks na te gaan dat je maximale winstkans gelijk aan 70% is en bereikt wordt door je zwakste kaart op te offeren aan de sterkste kaart van je tegenstander en je sterkste kaart uit te spelen tegen de op één na sterkste kaart van je tegenstander. Maar wat te doen bij vijf of zeven kaarten? Wat is de algemene oplossing? Het is duidelijk dat je strategie de volgende structuur heeft. Offer je k zwakste kaarten op aan de k sterkste kaarten van je tegenstander en speel je $N-k$ sterkste kaarten uit tegen de $N-k$ zwakste kaarten van je tegenstander. Hierbij worden jouw k zwakste kaarten in oplopend rangnummer gekoppeld aan je k sterkste kaarten van de tegenstander in aflopend rangnummer en worden jouw $N-k$ sterkste kaarten in aflopend rangnummer gekoppeld aan de $N-k$ zwakste kaarten van je tegenstander ook in aflopend rangnummer. Wat is de beste waarde van k en wat is de bijbehorende winstkans? Om deze vraag te beantwoorden, moet onderscheid gemaakt worden tussen N oneven en N even. Voor N oneven is het aangetoond dat de beste waarde van k gegeven wordt door $k=\frac{1}{2}(N-1)$.

Je maximale winstkans is dan gelijk aan

$$1 - \frac{N-m+1}{N+1} \times \frac{N-m+2}{N+2} \cdots \times \frac{N}{N+m}$$

waarbij m gegeven wordt door $m=\frac{1}{2}(N+1)$. Deze kans heeft de numerieke waarden 0,7, 0,8214, 0,8939, 0,9371 en 0,9627 voor $N=3, 5, 7, 9$ en 11. De kans gaat snel naar 1 als N groter wordt.

Voor N even is het probleem nog open, hoewel het sterke vermoeden is dat in dit geval je optimale keuze van k gegeven wordt door $k=\frac{1}{2}N-1$. Dit vermoeden wordt bevestigd door numerieke onderzoeken voor kleinere waarden van N (je maximale winstkans is gelijk aan 0,6 voor $N=4$ en is gelijk aan 0,7619 voor $N=6$). Een algemene formule voor de winstkans is niet bekend voor het geval dat N even is. Hier ligt een uitdagend wiskundig probleem voor een student, waarbij naast kansrekening ook combinatorische optimalisering om de hoek komt kijken. Overigens een aardige variant van het kaartspel is een competitiewedstrijd tussen twee schaakteams, waarbij het ene schaakteam in de positie is om vrijelijk zijn spelers te koppelen aan de spelers van het andere team en de onderlinge kansen op winst tussen de verschillende spelers van beide teams bekend zijn.

HENK TIJMS is emeritus hoogleraar operations research aan de Vrije Universiteit en auteur van diverse leerboeken over operations research en kansrekening.
Email: <tijms@quicknet.nl>

Young Statisticians

Hi STATOR readers!

Statistics is a broad discipline. Within the YS division we would like to broaden our knowledge of statistics and discuss with others the 'where' and 'how' statistic ought to be applied both in practice and science.

We are a platform that facilitates Young Statisticians to meet each other, companies, and research institutes within the Netherlands. At the date of June 1, 2014, we have $\pm$ 90 members. These master-students, PhD-candidates, Post-Doc researchers, consultants have an age range from 20 years old to 35 years and come from diverse disciplines.

Please let us know if you are interested in becoming an active member!

YOUNG STATISTICIANS BOARD

Nynke Krol – chair

<chair@youngstatisticians.nl>

Iris Eekhout – internal affairs

<info@youngstatisticians.nl>

Sanne Willems – external affairs

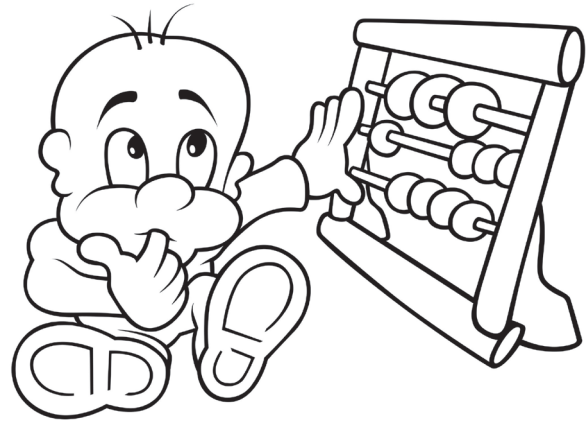
<extern@youngstatisticians.nl>

Nadia Vendrig – money affairs

<treasurer@youngstatisticians.nl>

STATISTICAL WEEKEND TRIP

We would like to organize a weekend visit abroad to a fellow group of Young Statisticians. Before we start to organize this we would like to know if any of you are interested in such a weekend. Also, we are searching for people who would like to join the weekend committee. The program, destination and activities are still open and all ideas are welcome! Let us know if you are interested by sending an e-mail to: <info@youngstatisticians.nl>.



KARAOKE

Just before the summer break, the Young Statisticians will organise a night full of fun and laughter. During the Karaoke night we can explore some other talents of our fellow Young Statisticians. This activity will take place on Thursday July 3rd at Feestcafé de Kneus in Utrecht. You can sign up via Facebook or <info@youngstatisticians.nl>.

MEET & GREET

On Monday May 19th the young statisticians gathered in Utrecht for a 'meet & greet'. Fellow Young Statisticians gave a short presentation about their project and statistics in their area. This was not only very interesting, it also showed the diversity of fields a Young Statistician might end up working. After these short pitches, the young statisticians met and greeted.

LUNCH VVS-OR ANNUAL MEETING

During the Annual Meeting 2014 on March 20th the Young Statisticians organized a lunch for the young attendees of the annual meeting. More than 20 Young Statisticians attended the lunch and it was a great success.

Stay updated on future events and sign up to the mailinglist: <info@youngstatisticians.nl >
Please let us know if you are interested in becoming an active member!