

Statistical quality management

Citation for published version (APA):

Laan, van der, P. (1992). *Statistical quality management*. (Memorandum COSOR; Vol. 9243). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Published: 01/01/1992

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of Record (includes final page, issue and volume numbers)

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Department of Mathematics and Computing Science

Memorandum COSOR 92-43
Statistical Quality Management
P. van der Laan

Eindhoven, October 1992
The Netherlands

Eindhoven University of Technology
Department of Mathematics and Computing Science
Probability theory, statistics, operations research and systems theory
P.O. Box 513
5600 MB Eindhoven - The Netherlands

Secretariate: Dommelbuilding 0.03
Telephone: 040-47 3130

ISSN 0926 4493

Statistical Quality Management ¹

Paul van der Laan

Samenvatting

Enkele algemene opmerkingen worden gemaakt over statistische kwaliteitszorg. Totale of Integrale Kwaliteitszorg (Total Quality Management) wordt kort besproken.

¹Voordracht gehouden op 21 oktober 1992 voor leden van de studentenvereniging GEWIS voor Wiskunde en Informatica.

1. Inleiding

In 'Preview', een uitgave in verband met een geplande reis naar Japan voor GEWIS-studenten las ik dat Japan welbekend is om zijn investeringen. Japan heeft inderdaad veel geïnvesteerd en een opgekende economische groei meegemaakt.

Voor 1992 is de verwachte groei 2.4%. In onze ogen nog zeer acceptabel. Voor Japan is dit percentage zorgelijk. Op wat langere termijn ziet het er mijns inziens positief uit; deze mening is gebaseerd op de grootte van de investeringen in hoogwaardige apparatuur in het verleden gedaan.

Ook in Nederland is innovatie van technologie gewenst. Investeringen in onderwijs en technologische vernieuwing is nodig. Misschien mag ik enkele woorden van dr. A.H.G. Rinnooy Kan, voorzitter van het Verbond van Nederlandse Ondernemingen, citeren, die hij uitgesproken heeft op 18 juni 1992 in Eindhoven op het eerste High Tech forum van University Enterprise Training Partnership Zuid-Nederlands (UETP Zuid-Nederland). (UETP Journaal, 1^e jaargang - nummer 4, oktober 1992). Een high tech forum om de 'beslissers' in het bedrijfsleven en het hoger onderwijs bij elkaar te brengen en om hen te confronteren met nieuwe en belangrijke trends en de betekenis van technologische ontwikkelingen. In het algemeen, zo zei hij, bestaat er in ons land te weinig interesse voor technologische vernieuwing. Het maatschappelijk draagvlak is te smal, terwijl de overheid onevenredig sterk bezuinigt op de uitgaven voor technologie en te weinig jongeren kiezen voor een technische opleiding.

Hij noemde het voorts frappant dat de gemiddelde Nederlander wel warm loopt voor nieuwe apparatuur als cd-spelers, fax-apparaten maar dat daarentegen de waardering voor technologie minimaal is. Internationaal scoort de Nederlander het laagste als hem gevraagd wordt naar het nut van nieuwe technologie. Het is dus een tweeslachtige opstelling van wel profiteren van de lusten, maar niet de lasten willen dragen. Daar moet verandering in komen, aldus de VNO-voorzitter die verklaarde dat Nederland moet kiezen: innoveren of welvaart verliezen. Ik haal dit aan omdat als 'main topic for mathematics' voor de Japan-reis gekozen is 'Quality Management'.

Ook voor een goed en uitgebreid Quality Improvement Process zijn investeringen nodig. Misschien dat daarom aan kwaliteitsverbetering begonnen moet worden als het met het desbetreffende bedrijf (nog) goed gaat. Op wat langere termijn komen de investeringen er ongetwijfeld uit.

Voorbeeld 1. Fasson, Leiderdorp.

Zelfplakkende etiketten, enz.

'Een tevreden klant vertelt het aan 3 mensen,
een ontevreden klant vertelt het aan 12 mensen.'

'Klachten van klanten serieus nemen'

'A quality process is a change process'

Ongekende neveneffecten, bijv. rekeningen worden gemiddeld 15 dagen eerder betaald.

Voorbeeld 2. Mars, Viersen, Duitsland.

Automatisering van informatie zodat meer verantwoorde konklusies mogelijk gemaakt worden. Statistische analyse van verschijnselen en van proefopzetten.

PC's spelen een wezenlijke rol bij het opslaan van informatie, alsmede bij het analyseren. De groei van informatie kan geïllustreerd worden met:

- vóór 1500 verschenen in Europa zo'n 10^3 boeken per jaar,
- in 1950 waren dit er $1.2 * 10^5$,
- in 1965 verschenen er zo'n 10^3 boeken per dag in de wereld,
- in 1970 werden $6 * 10^7$ pagina's wetenschap en techniek gepubliceerd. Dit zijn zo'n 55 boeken van 300 blz. per dag(!).

Het analyseren van informatie en het trekken van verantwoorde en efficiënte conclusies wordt aangeduid met Statistiek. Enkele onderwerpen die bij Kwaliteitszorg aan bod komen, zijn:

- het gebruik van kaarten (kruisjeskaarten, regelkaarten). Hierop staan de resultaten van productie, zodat snel inzicht gegeven wordt als er iets fouts dreigt te gaan gebeuren,
- keuringen van partijen (steekproeftheorie), schattings- en toetsingstheorie,
- proefopzetten (o.a. Taguchi methoden) en variantieanalyse.

2. Wat is kwaliteit?

Een definitie, die vaak gehanteerd wordt (zie Does (1992)), luidt:

'Kwaliteit is de mate waarin het geheel van eigenschappen van een produkt, proces of dienst voldoet aan de eraan gestelde eisen, die voortvloeien uit het gebruiksdoel.'

Eigenlijk is kwaliteit zo een subjectief begrip ('aan gestelde eisen voldoet').

Willen we konkreet iets kunnen doen, in de zin van een kwantitatieve (voor mijn part wiskundige) benadering, dan verdient het de voorkeur om kwaliteit nader te omschrijven als een konkrete, meetbare grootheid. Vergelijk de automatisering van informatie bij Mars, Viersen. Als waarborg van produktkwaliteit is toetsing van kwaliteitssystemen erg populair in de westerse industriële wereld. Certificering grond van de normenserie ISO 9000 (ISO 9001, ISO 9002, ISO 9003) is populair.

Wanneer een bedrijf gecertificeerd is, betekent dit dat een kwaliteitssysteem aanwezig is, dat voldoet aan een aantal normen. Het is echter een momentopname.

3. Kwaliteitszorg

In 1924 ontwikkelde Walter A. Shewart de regelkaart voor procesbeheersing bij Western Electric. Procesbeheersing is ontstaan toen men zich ging realiseren dat je niet naar de produkten zelf maar naar de onderliggende processen moet kijken om tot vermindering van het aantal fouten te komen.

Een regelkaart is een grafiek met op de ene as de tijdstippen waarop een kwaliteitskenmerk (bijv. fraktie defekten, gemiddelde opbrengst per tijdseenheid, alsmede de variatie) gemeten

wordt en op de andere als de waarde van het kwaliteitskenmerk.

Een regelkaart is een hulpmiddel om te zien of het proces statistisch beheerst verloopt of niet.

Omschakeling is moeilijk: van een deterministische gedachtenwereld ('klassieke' wiskunde) naar een statistische (stochastische) gedachtenwereld.

In een forum van het bedrijfsleven heb ik eens gezegd: het begrijpen van variatie van een meetbare grootte is essentieel. In de tweede wereldoorlog heeft Abraham Wald onderzoek gedaan op het gebied van sequente analyse. De resultaten zijn tot oorlogsgeheim verklaard. Na de oorlog heeft een en ander in de consumentenindustrie geen opgang gemaakt. Huug Hamaker heeft bij Philips wel invloed gehad. Maar: wat je produceert, kan je verkopen, hoe meer je produceerde des te meer kon je verkopen, waren leuzen die opgang deden.

Dat is nu anders.

De vader van een nieuwe golf van de Industriële Revolutie, door de Japanners erkend als de architect van hun industriële succes, is de Amerikaan William Edwards Deming (1900-...). Volgens Deming geldt dat kwaliteitsbeheersing meer is dan een regelkaart, het is een zaak van iedereen in een bedrijf. (Ook voor de Technische Universiteit Eindhoven geldt dit!)

Het is begonnen met het op uitnodiging houden van voordrachten door Deming over de toepassing van Statistische methoden bij de kwaliteitsbeheersing.

In de USA kreeg hij geen gehoor, in Japan wel.

Zijn visie wordt aangeduid met 'Integrale kwaliteitszorg' of 'Total Quality Management'.

De volgende kettingreactie wordt wel geschetst:

Kwaliteitsverbetering → lagere kosten → vergroting marktaandeel → arbeidsplaatsen veilig.

'If you think that for total quality management
Statistical Methods are not important,
think again!'

Enkele belangrijke punten van Deming, hij heeft er in totaal 14 geformuleerd, zijn

- streef doelbewust naar verbetering van produkten en diensten
- aanvaard deze filosofie
- beoordeel leveranciers niet uitsluitend op basis van prijs
- ruim barrières tussen de afdeling op
- zorg voor moderne trainingstechnieken
- creëer in het topmanagement een structuur die erop gericht is het nieuwe beleid tot stand te brengen.

Zo omstreeks 1980 werd het in de westerse wereld lieverleer voor een aantal mensen duidelijk dat ook hier aan TQM gedaan moest worden. Het Amerikaanse bedrijf Nashua (diskettes, kopieerapparatuur, enz.), onder leiding van president William E. Conway was het eerste bedrijf waar Deming als adviseur ging werken. In Nederland is in 's Hertogenbosch ook een bedrijf van Nashua. Aan het eind van mijn voordracht zal ik een videoband met Bill Conway laten zien. Hij vertelt het een en ander over de bereikte resultaten en maakt enkele waardevolle opmerkingen. In Nederland heeft de VVS impulsen gegeven. Ook MANS (Stichting

Management Nieuwe Stijl, opgericht in 1983) heeft bijgedragen tot een kwaliteitsdenken in Nederland.

Op 26 september 1991 werd het Frits Philips Institute for Quality Management opgericht, een samenwerking tussen TUE en het bedrijfsleven. Het is te verwachten dat het Frits Philips Institute for Quality Management een belangrijke rol zal gaan spelen.

Binnenkort zal de Nederlandse Kwaliteitsprijs worden ingevoerd.

In 1950 hadden de Japanners de Deming prijs en in 1987 de Amerikanen de Malcolm Baldrige Kwaliteitsprijs ingesteld.

Er zijn plannen voor de vestiging van een Europees instituut voor informatica, statistiek en beslistkunde in Nederland. Dit staat vermeld in het rapport van de wiskundige verkenning-commissie.

4. Statistische procesbeheersing

Statistische procesbeheersing wordt ook wel aangeduid met SPC van Statistical Process Control.

De variatie van een kwaliteitskenmerk kan in het algemeen samengesteld te zijn geacht uit variatie die te wijten is aan algemenere oorzaken en variatie die te wijten is aan bijzondere oorzaken. Een proces waarbij de variatie van het kwaliteitskenmerk gezien kan worden als puur variatie te danken aan algemene oorzaken heet een statistisch beheerst proces. De variatie is voorspelbaar tussen vastgestelde grenzen die statistisch bepaald kunnen worden. Spelen ook bijzondere oorzaken een rol bij de variatie, dan zal het proces niet meer beheerst zijn en dienen deze oorzaken opgespoord te worden. Regel- en kruisjeskaarten spelen hierbij een rol. Kan een proces verbeterd worden? Een nuttig middel om inzicht te krijgen in welke factoren van invloed zijn op het kwaliteitskenmerk en zo te komen tot een mogelijk optimale instelling van factoren, zijn proefopzetten. Taguchi (1987) heeft op basis van de bestaande theorie van proefopzetten een methodiek ontwikkeld die het robuust ontwerpen van processen en producten mogelijk maakt. Zijn aanpak heeft ingang in de industrie gevonden. Opmerkelijk is dat zijn methodiek op een aantal plaatsen in de industrie gretig ingang vindt, terwijl de theorie van proefopzetten reeds lang voorhanden is. Mijns inziens zouden hier factoren als 'Japanners' en 'tijdstip (de tijd is rijp)' een rol kunnen spelen. Hij definieert kwaliteit als overeenstemming met een streefwaarde. Minder variatie rond de streefwaarde is een kwaliteitsverbetering.

Enkele algemene boeken over kwaliteitszorg zijn: Cowder (1957), Duncan (1974), Ishikawa (1990), Juran (1974), Schaafsma en Willemze (1978), Deming (1987), Ross (1988), Ryan (1989), Barker (1990) en Shecter (1992).

5. Procesbeheersing of keuring?

Onder keuring verstaan we de techniek om door middel van een steekproef inzicht te krijgen in de kwaliteit van de gefabriceerde producten. Uit het voorafgaande is duidelijk dat procescontrole en procesbeheersing de voorkeur verdienen.

Soms is inspectie door middel van keuring nodig, bijv. voor gevallen waarbij

- destructieve keuring optreedt,
- chemische analyse nodig is,

- 100% inspectie onmogelijk is door het grote aantal produkten,
- de klant dit eist.

6. Keuring

We zullen enkele gedachten weergeven.

Gegeven is een partij bestaande uit N produkten van een zeker soort. Van deze N produkten zijn er N_A defekt en $N - N_A$ niet defekt. Het doel van een keuring is nu de onbekende fraktie

$$p = \frac{N_A}{N}$$

defekte produkten te bepalen. We formuleren dat de partij goed of 'aanvaardbaar' ($p \leq p_0^*$) of niet aanvaardbaar ($p > p_0^*$) is, waarbij p_0^* van tevoren gegeven is. In het eerste geval wordt de partij goedgekeurd, in het tweede geval afgekeurd.

Er zijn in principe twee mogelijkheden

1. de gehele partij keuren
2. op grond van een aselechte steekproef beslissen.

In het eerste geval meet men nauwkeurig wat de fraktie p is (hoewel alles keuren niet altijd wil zeggen dat we p precies weten). Maar, als N groot is, is dit een tijdrovende en kostbare zaak. Bovendien zijn er gevallen waarin een keuring van de gehele partij niet zinvol is, bijvoorbeeld in het geval van een destruktieve keuring, waarbij keuring van een produkt ongeschiktheid voor verder gebruik met zich meebrengt. Voorbeeld: meting van de maximale treksterkte van een draad.

In het tweede geval zal men met minder moeite en geld toch een betrouwbare indruk kunnen krijgen.

Indien we aselekt een steekproef van omvang n trekken uit de gehele partij en we noemen het aantal defekten in de steekproef \underline{n}_A (stochastische variabelen worden onderstreept) dan geldt

$$p[\underline{n}_A = n_A] = \frac{\binom{N_A}{n_A} \binom{N - N_A}{n - n_A}}{\binom{N}{n}}$$

waarbij: $\max(0, n - N + N_A) \leq n_A \leq \min(n, N_A)$.

Als n_A 'groot' is zal men de partij willen afkeuren en als n_A 'klein' is zal men de partij willen goedkeuren. Er geldt:

$$E\{\underline{n}_A\} = np$$

$$\sigma^2\{\underline{n}_A\} = np(1-p) \left(1 - \frac{n-1}{N-1}\right).$$

We veronderstellen vanaf nu dat N groot is ten opzichte van de steekproef.

Voor bovenstaande (Hypergeometrische) verdeling zijn diverse benaderingen mogelijk, zoals Binomiale, Poisson en Normal verdeling. De keuze hangt af van de grootte van n en p . De kans dat een partij wordt goedgekeurd (al dan niet terecht) wordt wel de **goedkeurkans** genoemd. Het verband tussen de goedkeurkans en p bij een gegeven steekproefgrootte en bij een gegeven aantal toegestane defekte produkten c (afkomstig van criterium) in de steekproef wordt wel de **keuringskarakteristiek** genoemd.

Heeft men eenmaal de keuringskarakteristiek van een bepaald steekproefschema bepaald dan kan men hiervan de risico's aflezen die men met dat schema loopt. Bij toepassing van het schema $n = 200$ en $c = 4$ zal een partij met $3\frac{1}{2}\%$ uitval een kans van ongeveer 0.17 hebben om te worden goedgekeurd.

Indien een afnemer bijvoorbeeld ten hoogste 5% uitval toestaat, meent hij dat het keurings-systeem zó moet worden ingericht, dat een partij met meer dan 5% uitval zeker zal worden afgekeurd. Een levenancier zal daarentegen een zodanige controlemethode wensen, dat partijen met bijv. 3% of minder uitval steeds worden goedgekeurd.

Naast het begrip keuringskarakteristiek wordt ook wel het begrip *werkingskromme* gebruikt. Hiermee wordt aangeduid de kans op het afkeuren (of eventueel goedkeuren) van een partij als functie van p .

Het afkeuren van een partij geven we aan met B_1 , het goedkeuren met B_0 . We kunnen nu spreken van de werkingskrommen

$$P[B_1|p]$$

en

$$P[B_0|p]$$

als functies van p .

De risico's die men loopt of wil lopen hangen nauw samen met het uiteindelijke keuringssysteem.

Enkele kenmerkende grootheden van keuringskarakteristieken zijn:

(i) *Maximaal incidenteel doorgegeven uitvalpercentage* ($100p_i$).

In de Amerikaanse literatuur is dit percentage bekend als LTPD (Lot Tolerance Per Cent Defective). Dit is een percentage uitval, dat men als afnemer slechts zelden wenst te aanvaarden.

De bekende tabellen van Dodge en Romig (1959) zijn in eerste instantie gebaseerd op dit uitvalpercentage.

(ii) *Gewenst fabricageniveau* ($100p_a$).

Dit staat in de Amerikaanse literatuur bekend als 'Acceptable Quality Level' (AQL). Dit niveau is het percentage uitval dat aanvaardbaar wordt geacht, zodat partijen met dit percentage uitval bijna altijd moeten worden geaccepteerd. In vergelijking met (i) voldoen deze schema's veel beter aan de wensen van de levenancier. Daar staat tegenover dat met de wensen van de afnemer geen rekening wordt gehouden. Uiteraard is het mogelijk (en dit geldt ook voor het geval (i)) die keuringskarakteristiek te zoeken welke ook voor de andere partij

redelijk is.

(iii) *Maximaal gemiddeld doorgegeven uitvalpercentage* ($100p_{gm}$).

Dit staat in de Amerikaanse literatuur bekend als 'Average Outgoing Quality Limit' (AOQL). De grondgedachte bij deze methode is, dat het gemiddeld doorgegeven percentage uitval (dus na de keuring) een bepaalde grens niet mag overschrijden. Bij het berekenen van bovengenoemd percentage ($100p_{gm}$) wordt van de veronderstelling uitgegaan, dat alle partijen even groot zijn, terwijl de partijen die worden afgekeurd, alle volledig worden gesorteerd en de foutieve produkten door goede worden vervangen. Aan beide partijen, de leverancier en de afnemer, wordt tegemoet gekomen. Als bezwaren gelden de hiervoor genoemde veronderstellingen. Tabellen in Dodge en Romig (1959).

(iv) *Het controlepunt* ($100p_0$).

Dit staat in de Amerikaanse literatuur bekend als 'indifference quality'.

We kunnen het zgn. controlepunt p_0 invoeren. Dit is die waarde waarbij partijen met meer uitval dan p_0 voornamelijk moeten worden afgekeurd, terwijl partijen met een geringere uitval voornamelijk moeten worden goedgekeurd. De steilheid van een keuringskarakteristiek in het contrlle punt p_0 of het scheidend vermogen van het keuringsschema is belangrijk.

Een steile kromme geeft aan dat er een scherpe scheiding tot stand komt tussen partijen links en rechts van het controlepunt.

Bij de tabellen die op het principe van het controlepunt zijn gebaseerd, zijn de schema's zo samengesteld, dat partijen die een uitvalpercentage bezitten dat juist gelijk is aan het controlepunt, evenveel kans bezitten te worden goedgekeurd als te worden afgekeurd. De goedkeurkans in p_0 bedraagt dus 0.50. Het controlepunt vormt een compromis tussen de wensen van de klant en de leverancier.

Beschouwen we een combinatie van AQL en LTPD met

$$P[B_1|p_0] \leq \alpha_0$$

en

$$P[B_0|p_1] \leq \alpha_1 ,$$

($0 < p_0 < p_1 < 1$). Een vraag is nu voor welke minimale steekproefomvang n aan deze twee eisen voldaan is. Met behulp van bestaande tabellen zijn n en c te bepalen. In een aantal gevallen is de Normale benadering te hanteren.

Tot nog toe hebben we gesproken over keuringsschema's die ontworpen zijn met het oog op keuring van attributen. Hierbij waren maar twee mogelijke uitkomsten: goed of defekt. Er zijn ook gevallen waarbij een continue grootheid (bijv. opbrengst per tijdseenheid) gemeenten wordt. Ook hier zijn keuringsschema's voor op te stellen.

Naast de tot nu toe besproken zgn. enkelvoudige keuringsschema's, bestaan er ook dubbele keuringsschema's (Engels: Two-stage sampling). Met een dubbel keuringsschema heeft men gemiddeld minder produkten te keuren. Na een eerste steekproef wordt de partij goedgekeurd, afgekeurd of een tweede steekproef genomen. In het laatste geval wordt gekeken

naar het aantal defekten in beide steekproeven tezamen.

Verder bestaan er sequente schema's. Deze sequente toetsing is gebaseerd op de theorie van Wald (1947).

7. Enkele slotopmerkingen

Voor de Statistiek liggen mijns inziens ongekende kansen en mogelijkheden op het gebied van Total Quality Management. Immers het moge duidelijk zijn dat voor de wetenschappelijke fundering van het kwaliteitsbeleid in Nederland, dat heden ten dage terecht zo veel aandacht krijgt, de statistiek een essentieel onderdeel vormt. De kansen en mogelijkheden die er voor de Statistiek liggen dienen niet onbenut te blijven. In de Wall Street Journal van 4 november 1991 schreef een vooraanstaand Amerikaans manager aan het slot van een artikel over kwaliteitsbeleid:

'A company's TQM (Total Quality Management) resources should include an in-house statistician. I know from personal experience that they are hard to recruit. If your company is fortunate enough to have one, that statistician should be an in-house consultant who provides the mathematical expertise managers need to implement their own TQM efforts. Ideally, the corporate statistician will work almost exclusively at the invitation of operating managers. And as those managers come to appreciate the value of total quality management as a tool, the statistician should be one of the busiest people in the company.'

References

- Barker, Th.B. (1990). *Engineering Quality by Design. Interpreting the Taguchi approach.* Marcel Dekker, New York and Basel.
- Cowder, D.J. (1957). *Statistical Methods in Quality Control.* Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Deming, W.E. (1982). *Quality, Productivity and Competitive Position,* Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Dodge, H.F. and H.G. Romig (1959). *Sampling Inspection Tables,* 2nd. ed., Wiley, New York.
- Does, R.J.M.M. (1992). *Industriële statistiek waarborgt kwaliteit.* Rede UvA, Fac. Wetkunde en Informatica.
- Duncan, A.J. (1974). *Quality Control and Industrial Statistics,* 4th ed., Richard D. Irwin, Homewood, Illinois.
- Ishikawa, K. (1990). *Introduction to Quality Control.* Chapman & Hall, London.

- Juran, J.M. (1974). *Quality Control Handbook*, Third edition, McGraw-Hill, New York.
- Ross, Ph.J. (1988). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. McGraw-Hill Book Company, New York-London.
- Ryan, Th.P. (1989). *Statistical Methods for Quality Improvement*. John-Wiley & Sons, New York-Toronto.
- Schaafsma, A.H. en F.G. Willemze (1978). *Modern Kwaliteitsbeleid*. 3^e herziene druk. Kluwer, Deventer.
- Shecter, E.S. (1992). *Managing for World-Class Quality*. Marcel Dekker, New York-Basel.
- Taguchi, G. (1987). *System of Experimental Design*, Vol. 1 and 2, American Supplier Institute, Dearborn.
- Wald, A. (1947). *Sequential Analysis*. Wiley, New York.

List of COSOR-memoranda - 1992

| Number | Month | Author | Title |
|--------|----------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 92-01 | January | F.W. Steutel | On the addition of log-convex functions and sequences |
| 92-02 | January | P. v.d. Laan | Selection constants for Uniform populations |
| 92-03 | February | E.E.M. v. Berkum H.N. Linssen D.A. Overdijk | Data reduction in statistical inference |
| 92-04 | February | H.J.C. Huijberts H. Nijmeijer | Strong dynamic input-output decoupling: from linearity to nonlinearity |
| 92-05 | March | S.J.L. v. Eindhoven J.M. Soethoudt | Introduction to a behavioral approach of continuous-time systems |
| 92-06 | April | P.J. Zwietering E.H.L. Aarts J. Wessels | The minimal number of layers of a perceptron that sorts |
| 92-07 | April | F.P.A. Coolen | Maximum Imprecision Related to Intervals of Measures and Bayesian Inference with Conjugate Imprecise Prior Densities |
| 92-08 | May | I.J.B.F. Adan J. Wessels W.H.M. Zijm | A Note on "The effect of varying routing probability in two parallel queues with dynamic routing under a threshold-type scheduling" |
| 92-09 | May | I.J.B.F. Adan G.J.J.A.N. v. Houtum J. v.d. Wal | Upper and lower bounds for the waiting time in the symmetric shortest queue system |
| 92-10 | May | P. v.d. Laan | Subset Selection: Robustness and Imprecise Selection |
| 92-11 | May | R.J.M. Vaessens E.H.L. Aarts J.K. Lenstra | A Local Search Template (Extended Abstract) |
| 92-12 | May | F.P.A. Coolen | Elicitation of Expert Knowledge and Assessment of Im- precise Prior Densities for Lifetime Distributions |
| 92-13 | May | M.A. Peters A.A. Stoorvogel | Mixed H_2/H_∞ Control in a Stochastic Framework |

| Number | Month | Author | Title |
|--------|-------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 92-14 | June | P.J. Zwietering E.H.L. Aarts J. Wessels | The construction of minimal multi-layered perceptrons: a case study for sorting |
| 92-15 | June | P. van der Laan | Experiments: Design, Parametric and Nonparametric Analysis, and Selection |
| 92-16 | June | J.J.A.M. Brands F.W. Steutel R.J.G. Wilms | On the number of maxima in a discrete sample |
| 92-17 | June | S.J.L. v. Eijndhoven J.M. Soethoudt | Introduction to a behavioral approach of continuous-time systems part II |
| 92-18 | June | J.A. Hoogeveen H. Oosterhout S.L. van der Velde | New lower and upper bounds for scheduling around a small common due date |
| 92-19 | June | F.P.A. Coolen | On Bernoulli Experiments with Imprecise Prior Probabilities |
| 92-20 | June | J.A. Hoogeveen S.L. van de Velde | Minimizing Total Inventory Cost on a Single Machine in Just-in-Time Manufacturing |
| 92-21 | June | J.A. Hoogeveen S.L. van de Velde | Polynomial-time algorithms for single-machine bicriteria scheduling |
| 92-22 | June | P. van der Laan | The best variety or an almost best one? A comparison of subset selection procedures |
| 92-23 | June | T.J.A. Storcken P.H.M. Ruys | Extensions of choice behaviour |
| 92-24 | July | L.C.G.J.M. Habets | Characteristic Sets in Commutative Algebra: an overview |
| 92-25 | July | P.J. Zwietering E.H.L. Aarts J. Wessels | Exact Classification With Two-Layered Perceptrons |
| 92-26 | July | M.W.P. Savelsbergh | Preprocessing and Probing Techniques for Mixed Integer Programming Problems |

| Number | Month | Author | Title |
|--------|-----------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 92-27 | July | I.J.B.F. Adan W.A. van de Waarsenburg J. Wessels | Analysing $E_k E_r c$ Queues |
| 92-28 | July | O.J. Boxma G.J. van Houtum | The compensation approach applied to a 2×2 switch |
| 92-29 | July | E.H.L. Aarts P.J.M. van Laarhoven J.K. Lenstra N.L.J. Ulder | Job Shop Scheduling by Local Search |
| 92-30 | August | G.A.P. Kindervater M.W.P. Savelsbergh | Local Search in Physical Distribution Management |
| 92-31 | August | M. Makowski M.W.P. Savelsbergh | MP-DIT Mathematical Program data Interchange Tool |
| 92-32 | August | J.A. Hoogeveen S.L. van de Velde B. Veltman | Complexity of scheduling multiprocessor tasks with prespecified processor allocations |
| 92-33 | August | O.J. Boxma J.A.C. Resing | Tandem queues with deterministic service times |
| 92-34 | September | J.H.J. Einmahl | A Bahadur-Kiefer theorem beyond the largest observation |
| 92-35 | September | F.P.A. Coolen | On non-informativeness in a classical Bayesian inference problem |
| 92-36 | September | M.A. Peters | A Mixed H_2/H_∞ Function for a Discrete Time System |
| 92-37 | September | I.J.B.F. Adan J. Wessels | Product forms as a solution base for queueing systems |
| 92-38 | September | L.C.G.J.M. Habets | A Reachability Test for Systems over Polynomial Rings using Gröbner Bases |
| 92-39 | September | G.J. van Houtum I.J.B.F. Adan J. Wessels W.H.M. Zijm | The compensation approach for three or more dimensional random walks |

| Number | Month | Author | Title |
|--------|-----------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 92-40 | September | F.P.A. Coolen | Bounds for expected loss in Bayesian decision theory with imprecise prior probabilities |
| 92-41 | October | H.J.C. Huijberts H. Nijmeijer A.C. Ruiz | Nonlinear disturbance decoupling and linearization: a partial interpretation of integral feedback |
| 92-42 | October | A.A. Stoorvogel A. Saberi B.M. Chen | The discrete-time H_∞ control problem with measurement feedback |
| 92-43 | October | P. van der Laan | Statistical Quality Management |