

Het 6σ kwaliteitsprogramma

Karin Oudshoorn, Edwin R. van den Heuvel
en
Ronald J.M.M. Does*

Samenvatting

6σ (spreek uit zes sigma) is een kwaliteitsmanagement programma, dat oorspronkelijk ontwikkeld is bij Motorola Inc. Het is een klantgedreven benadering voor kwaliteitsmanagement en biedt een alomvattend raamwerk voor procesverbetering. Verscheidene grote organisaties hebben het 6σ programma in de afgelopen jaren succesvol geïmplementeerd. 6σ concepten als 3.4 defecten per miljoen mogelijkheden zijn gemeengoed geworden in de wereld van kwaliteit.

In dit artikel beschrijven we in het kort de filosofie van 6σ , de stappen uit het programma en de daarbij behorende organisatorische structuur. Vervolgens geven we een overzicht wat de rol van een statisticus in dit programma is of zou kunnen zijn. Daarna vergelijken we het programma met de statistische procesbeheersingsaanpak voor totale kwaliteit dat toegepast wordt in diverse bedrijven, die door ons eigen instituut worden ondersteund.

*IBIS UvA B.V.

Universiteit van Amsterdam

Plantage Muidersgracht 24

1018 TV Amsterdam

telefoon: 020-5255203

fax: 020-5255101

email: ibis@wins.uva.nl

internet: <http://www.wins.uva.nl/research/ibis/>

1 Introductie

Sinds de jaren tachtig is de nadruk in de industrie verschoven naar kwaliteitsgericht produceren. Klanten eisen tegenwoordig dat producten niet alleen voldoen aan de specificatiegrenzen, ze willen verzekerd zijn van een hoge kwaliteit tegen een redelijke prijs. Dit heeft geleid tot verschillende kwaliteitsmanagement programma's in de industrie en later ook in de dienstverlening, variërend in filosofie, aanpak en mate van kwantitatieve benadering.

In 1987 lanceerde Motorola Inc. het 6σ , oftewel het Six Sigma, programma (cf. Noguera (1992)). Dit kwaliteitsprogramma behelst een integrale aanpak zodanig dat in alle processen van het bedrijf een hoger kwaliteitsniveau bereikt wordt. Het uitgangspunt is een uniforme meting van het kwaliteitsniveau over het hele bedrijf door middel van de invoering van het begrip 'defects per million opportunities' (afgekort dpmo). Hiermee wordt bedoeld het verwachte aantal fouten (defecten), ten opzichte van een miljoen mogelijkheden tot het maken van fouten in de betreffende processtap. Als de klanten, van een bedrijf met 6σ niveau, in aanraking komen met zo'n duizend processen van dat bedrijf dan zal de klantentevredenheid over het algemeen 99 % bedragen.

Motorola stelde zichzelf als doel om in 1989 het kwaliteitsniveau met een factor 10 te verbeteren, in het gehele bedrijf, vervolgens in 1991 met een factor 100 en uiteindelijk in 1992 wilde men, voor elk proces, een 6σ niveau bereiken, dat wil zeggen slechts 3.4 dpmo's per processtap. Hiernaast streefde men ernaar om de totale doorlooptijd aanzienlijk te verkorten. Deze doelstellingen golden dus voor alle processen binnen het bedrijf, van productie tot marketing, van Human Resources tot Research & Development.

Het kwaliteitsprogramma was zo succesvol dat Motorola in 1988, als een van de eerste, de Malcolm Baldrige National Quality Award in de wacht sleepte. Deze award is een jaarlijks terugkerende, Amerikaanse, prijs op het gebied van kwaliteitsmanagement. Op dit moment zijn bij Motorola 5000 teams actief betrokken bij deze activiteiten in het programma, en dat zijn ongeveer 65.000 van de in totaal 142.000 werknemers. In 1997 heeft men 5 miljard gulden bespaard met

behelp van dit programma (cf. Klaus (1997)).

Wegens het succes werd het 6σ programma eind jaren tachtig overgenomen door bedrijven als IBM, DEC en meer recentelijk door grote bedrijven als General Electric, Texas Instruments, Sony en Allied Signal. General Electric (cf. Quality Progress, mei 1997) investeerde in 1996 400 miljoen gulden in het programma en bespaarde daarmee zo'n 300 miljoen op jaarbasis. In 1997 is een investering van 600 miljoen begroot en verwacht men een besparing van zo'n 800 á 1000 miljoen gulden. Op de langere termijn verwacht men een aanzienlijk grotere return of investment. Het doel is dat het 6σ niveau in het jaar 2000 bereikt wordt, waarmee men dan meer tevreden klanten bewerkstelligt, een hogere winst en opbrengst realiseert, minder herbewerking en onnodige processtappen (zogenaamde 'verborgen fabrieken') doet, minder afval en uitstoot van (schadelijke) stoffen heeft.

Het succes van het 6σ programma is te danken aan de uniforme aanpak over de hele organisatie. Het implementeren van 6σ in een organisatie betekent dat beslissingen ten aanzien van kwaliteit niet meer gebaseerd worden op emoties of zogenaamde ervaring, doch op (harde) data. Om de juiste beslissingen te nemen moet dus geschikte informatie verzameld worden en moet men weten hoe deze informatie gebruikt kan worden. Een van de belangrijkste veranderingen in denkwijze is dat het denken in gemiddelden niet meer voldoende is. Kwaliteitsproblemen worden meestal veroorzaakt door te veel variatie en daarom moet de organisatie gaan denken in termen van variatie.

Variatie is de link tussen kwaliteitsmanagement en statistiek en dus zal er een behoorlijke vraag naar statistische kennis zijn binnen de organisatie waar 6σ wordt ingevoerd. Dit is dan ook de reden dat IBIS UvA B.V.¹ betrokken is bij een groot bedrijf in Nederland, om 6σ in te voeren. Gebaseerd op onze ervaringen bespreken we in dit artikel het 6σ programma en de rol van een statisticus hierin. Uit het onderstaande zal blijken dat het 6σ programma volop uitdagingen biedt

¹IBIS UvA B.V. is de afkorting van het Instituut voor Bedrijfs- en Industriële Statistiek aan de Universiteit van Amsterdam en is sinds kort een dochteronderneming binnen de UvA Holding B.V. Dit instituut bestaat uit een groep enthousiaste statistici die advies geven op het gebied van kwaliteitsmanagement en statistiek bij industriële bedrijven, dienstverlenende bedrijven en overheidsinstanties. Daarnaast verzorgt het statistiekonderwijs voor studenten en wordt er wetenschappelijk onderzoek gedaan op het gebied van de Industriële Statistiek.

voor statistici om hun vak uit te oefenen in de industrie of dienstverlening.

Vervolgens vergelijken we het 6σ programma met de SPC (statistische procesbeheersings) aanpak van IBIS UvA B.V., wat al enige jaren succesvol wordt geïmplementeerd in bedrijven in binnen- en buitenland (zie Does, Roes en Trip (1996), en Does, Schippers en Trip (1997)). Voorbeelden zijn ASM Lithography te Veldhoven, Carl Zeiss te Oberkochen (D), Douwe Egberts te Joure en Utrecht, Fokker Elmo te Woensdrecht, Heye-Glas Nederland te Moerdijk, Hollandse Signaalapparaten te Hengelo, Natrena te Mijdrecht, Philips Semiconductors te Stads kanaal en Stork Digital Imaging te Boxmeer.

2 Het concept 6σ

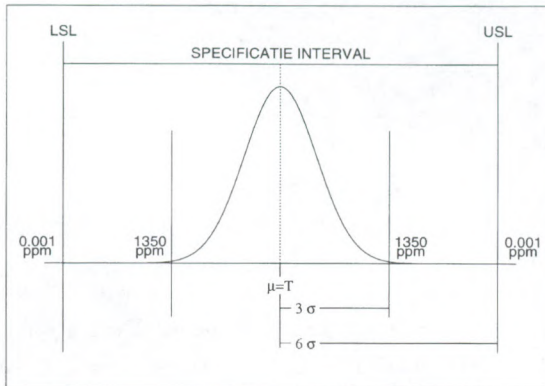
Het uitgangspunt in de 6σ aanpak zijn kwaliteitskenmerken op basis waarvan producten (onderdelen, diensten) beoordeeld worden. Stel we kijken naar een processtap waarin een product gemaakt of afgeleverd wordt en dit product wordt beoordeeld ten aanzien van een zeker kwaliteitskenmerk X dat gemeten wordt. Denk bijvoorbeeld aan PCB's (Printed Circuit Boards) waarvan alle verbindingen in orde moeten zijn, producten die op tijd geleverd moeten worden, koffiezetapparaten die bestand moeten zijn tegen een bepaalde temperatuur, etc. Gewoonlijk zijn door de klant eisen op het kwaliteitskenmerk X gelegd. Idealiter wil de klant dat het kwaliteitskenmerk gelijk is aan een streefwaarde T (target). Als X teveel van de streefwaarde T afwijkt wordt het product als defect beschouwd. De bovenste specificatiegrens USL ('Upper Specification Limit') geeft aan hoeveel X mag afwijken van T als X groter is dan T . De onderste specificatiegrens LSL ('Lower Specification Limit') geeft de maximale toegestane afwijking aan als het kwaliteitskenmerk kleiner dan de streefwaarde T is. Vaak is de toegestane afwijking aan beide zijden van de streefwaarde gelijk, dus $T = (USL + LSL)/2$.

Veronderstel nu dat X een normale verdeling heeft met verwachting μ en variantie σ^2 . Gegeven de specificatiegrenzen LSL en USL kunnen we nu eenvoudig het verwachte aantal fouten per miljoen mogelijkheden tot het maken van een fout (ook wel dpmo, 'defects per million opportunities' of ppm, 'parts per million')

genoemd) uitrekenen. Immers,

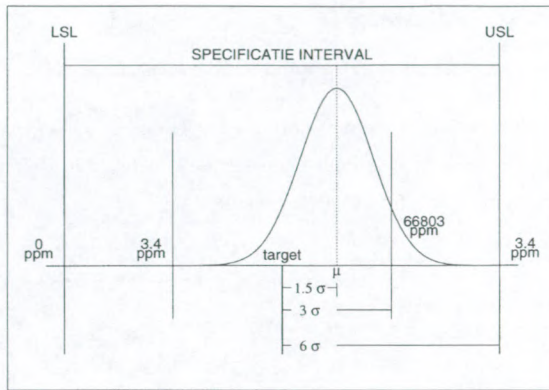
$$\begin{aligned} \mathbf{E} \text{ dpmo} &= 10^6 * \mathbf{P}(X > \text{USL of } X < \text{LSL}) \\ &= 10^6 * (1 - \Phi(\frac{\text{USL} - \mu}{\sigma}) + \Phi(\frac{\text{LSL} - \mu}{\sigma})), \end{aligned}$$

waarbij Φ de cumulatieve standaard normale verdeling is. In het geval dat de specificatiegrenzen precies 6σ verwijderd zijn van de streefwaarde T dan verwachten we 2 ppb (parts per billion) fouten (zie Figuur 1).



Figuur 1: Een 6σ proces dat op target functioneert

In het voorgaande gingen we ervan uit dat de streefwaarde T gelijk is aan de verwachte waarde μ van X . Dit komt in de praktijk echter bijzonder weinig voor. Vaak hebben we te maken met batchverschillen, verschillen tussen opeenvolgende lots, verschillen tussen operators etc. Dit is de reden dat men een verschuiving van het procesgemiddelde t.o.v. T van (hoogstens) 1.5σ toelaat. In Figuur 2 hebben we de situatie getekend waarbij het procesgemiddelde 4.5σ verwijderd is van de USL en waarbij de tolerantiebreedte $\text{USL} - \text{LSL}$ gelijk is aan 12σ . In dit geval verwachten we een uitval van 3.4 ppm ('parts per million'). Het andere



Figuur 2: Een 6σ proces met een 1.5σ verschuiving t.o.v. de target

(uiterste) geval, $\mu = LSL + 4.5\sigma$, $USL - LSL = 12\sigma$ is natuurlijk equivalent. Een proces(stap) wordt nu geclassificeerd als zijnde 6σ indien er sprake is van een verwachte uitval van slechts 3.4 dpmo.

De relatie tussen het aantal dpmo's en de verwachte uitval is afhankelijk van de verdeling van X . Onder de (minimale) voorwaarde dat X een verwachting μ heeft en een variantie σ^2 kunnen we m.b.v. Chebychev's ongelijkheid concluderen dat, bij een maximale toegestane verschuiving van het procesgemiddelde van 1.5σ , de overschreidingskans $P(X > USL \text{ of } X < LSL)$ hoogstens 0.06716 bedraagt. Als X een 'strongly unimodal' dichtheid heeft is de overschreidingskans hoogstens 0.02985 (zie Camp (1922) voor een generalisatie op de ongelijkheid van Chebychev). Kortom voor de in de praktijk meest voorkomende verdelingen staat 6σ garant voor een uitvalspercentage van hoogstens 2.98 %. In de tabellen 1, 2 en 3 staan de dpmo's gegeven voor een aantal bekende verdelingen. De dpmo is hier gelijk genomen aan $10^6 * \Pr(X - \mu > 4.5\sigma)$, waarbij X de gespecificeerde verdeling heeft met een verwachting μ en standaardafwijking σ .

	$n = 20$	$n = 50$	$n = 100$	$n = 500$	$n = 1000$	$n = 10000$
$p = 0.1$	59.9	73.8	39.6	11.4	10.5	4.6
$p = 0.2$	15.2	30.2	9.7	7.0	7.3	4.0
$p = 0.5$	0.0	2.8	2.4	2.9	3.0	3.2
$p = 0.7$	0.0	0.018	0.4	1.3	1.9	2.9

Tabel 1: Dpmo's voor de Binomiale verdeling met $\mu = np$ en $\sigma^2 = np(1 - p)$

verdeling	$\lambda = 0.1$	$\lambda = 0.5$	$\lambda = 1$	$\lambda = 5$	$\lambda = 10$	$\lambda = 50$	$\lambda = 100$
Poisson(λ)	4678.8	1751.6	594.2	69.0	46.9	20.6	9.6
exp(λ)	$8.6 \cdot 10^5$	$1.6 \cdot 10^5$	4086.8	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabel 2: Dpmo's voor de Poissonverdeling met $\mu = \sigma^2 = \lambda$ en voor de Exponentiële verdeling met $\mu = 1/\lambda$ en $\sigma^2 = 1/\lambda^2$.

verdeling	$k = 5$	$k = 10$	$k = 20$	$k = 50$	$k = 100$	$k = 500$
t(k)	33.1	110.0	34.4	10.8	6.4	3.9

Tabel 3: Dpmo's voor de t-verdeling, met $\mu = 0$ en $\sigma^2 = k/(k - 2)$

Men accepteert dus impliciet een verschuiving van het procesgemiddelde van 1.5σ . De keuze van de grootte van deze verschuiving is enerzijds empirisch geverifieerd door Motorola (zie Noguera (1992) en Tadikanalia (1994)). Anderzijds wordt een theoretische reden gegeven door de \bar{X} Shewhart regelkaart die niet snel een procesverschuiving kleiner dan $\pm 1.5\sigma$ zal detecteren. In het geval dat men bij de Shewhart regelkaart werkt met de vier meest gangbare testen² voor 'Out of Control' situaties dan is de Average Run Length³, gebaseerd op een steekproefgrootte van 4, slechts 1.67. Daarnaast zal in 95 % van de gevallen de verschuiving

²Test 1: Als er een punt buiten de regelgrenzen (3σ -grenzen) valt.

Test 2: Als twee van de laatste drie punten aan de zelfde kant van de centrale lijn vallen en meer dan 2σ van de centrale lijn verwijderd zijn.

Test 3: Als vier van de laatste vijf opeenvolgende punten aan dezelfde kant en meer dan één σ verwijderd zijn van de centrale lijn.

Test 4: Als de laatste acht opeenvolgende punten aan dezelfde kant van de centrale lijn vallen.

³De 'Average Run Length, afgekort ARL, is gedefinieerd als het verwachte aantal runs dat nodig is om een 'out of control' situatie te detecteren. De ARL is een gangbare maat om verschillende typen regelkaarten met elkaar te vergelijken.

binnen 3 runs ontdekt worden. En in 99 % van de gevallen in 4 runs. Voor kleinere verschuivingen en een kleinere steekproefomvang lopen de ARL en het aantal runs dat nodig is om deze verschuiving te detecteren snel op (zie Palm (1990) en Porter en Oakland (1990)).

Het 6σ programma, wat we in het kort in de volgende sectie zullen beschrijven, geeft de benodigde stappen, methoden en technieken etc. om in alle processen van een bedrijf een 6σ niveau, dus slechts 3.4 dpmo's, te bereiken.

3 Het 6σ Stappenplan

In de bedrijven waar 6σ tot nu toe succesvol is ingevoerd is eerst begonnen met enkele pilotprojecten. Op deze manier kan de organisatie wennen aan de nieuwe filosofie en aanpak. Als deze eerste projecten succesvol zijn is een verdere invoer veelbelovend en kweken ze enthousiasme in de organisatie. De keuze van deze projecten baseert men op veel voorkomende klantenklachten en dat het project veelbelovend qua resultaat moet zijn. De projecten worden geleid door zogeheten Black Belts. In het vervolg zullen we deze projectleiders aanduiden met BB's. De BB begint met een duidelijke definitie en afbakening van het project. De klantenklachten die voortkomen uit het stukje proces waar hij aan gaat werken worden vertaald naar een interne kwaliteitskarakteristiek (QC, quality characteristic). Het doel van het project is om ten aanzien van deze QC een reductie van dpmo's, en dus klantenklachten, te bewerkstelligen. Dit leidt tot een verhoging van het sigma-niveau. Uiteindelijk is het streven om tot een 6σ -niveau te komen.

In het kort gaat de BB in zijn project door vier fases heen (zie Tabel 4): *Definitie*, *Analyse*, *Optimalisatie* en *Controle*. Deze fases kunnen worden opgesplitst in kleinere stappen. Gewoonlijk duurt een project zo'n zes maanden. Bij meer ervaring van de BB en bij eenvoudiger projecten kan dat natuurlijk aanzienlijk versneld worden. Het globale stappenplan (zie Tabel 4) wat we hieronder zullen beschrijven is gebaseerd op Harry en Lawson (1992)). M. J. Harry was betrokken bij het 6σ programma in Motorola. Men kan de vier fases vergelijken met het Deming wiel (Plan Do Act Check), zie bijvoorbeeld Joiner (1994).

Stap	Fase	Beschrijving
1	<i>Definitie</i>	Selecteer een proces om aan te werken
2		Identificeer de onafhankelijke stappen gerelateerd aan het geselecteerde proces
3		Ontwikkel een procesbeschrijving gebaseerd op de verschillende stappen
4		Definieer de karakteristieken van het product dat door het proces gemaakt wordt.
5	<i>Analyse</i>	Vind een relevante meting voor de product-karakteristiek
6		Selecteer het meetapparaat waarmee gemeten wordt in de studie
7		Bepaal de nauwkeurigheid van het meetapparaat
8		Bepaal de huidige korte- en lange termijn prestatie van elke productkarakteristiek
9	<i>Optimalisatie</i>	Identificeer voor elke processtap de belangrijkste onafhankelijke variabelen
10		Voer experimenten uit om de invloed van de belangrijkste variabelen te verifiëren.
11		Bepaal de optimale toleranties voor elke belangrijke variabelen
12	<i>Controle</i>	Implementeer een werkbare beheersingsstrategie voor alle belangrijke variabelen
13		Verifieer de procesprestatie na een periode dat het proces gedraaid heeft met de nieuwe instellingen.
14		Monitor de productkarakteristieken in de tijd.

Tabel 4: Stappen om 6σ te bereiken, vertaald uit Harry en Lawson (1992)

De eerste fase 'Definitie' is de fase waarin het project geselecteerd en duidelijk omschreven wordt. Er wordt een klantenklacht gedefinieerd of gekozen die voor de klant erg belangrijk is. Vervolgens wordt de klantenklacht vertaald naar een grootte die intern gemeten kan worden, de interne QC. Bijvoorbeeld een klant wil niet dat zijn koffiezetapparaat smelt als het apparaat de hele dag in de felle zon staat. Een interne karakteristiek is dan de smeltemperatuur van het gebruikte plastic voor het apparaat. Het is natuurlijk evident dat de relatie tussen de klantenklacht en de interne karakteristiek duidelijk moet zijn. Daarnaast lijkt

deze eerste fase eenvoudig en men heeft nogal de neiging om hier snel doorheen te gaan. Het succes van een project echter staat of valt met een goede keuze en duidelijke afbakening. Een te groot project geeft een onwerkbaar situatie en bij een te klein project zijn de resultaten vaak tegenvallend.

Na de definitiefase komt de 'Analyse' fase. Eerst wordt de huidige procesprestatie bepaald. De korte en lange termijn variatie worden bepaald. Denk bijv. aan binnen- en tussen-batchvariatie. Als blijkt dat de tussen-batchvariatie groot is in relatie tot de spreiding binnen een batch dan is het dus duidelijk dat de verbeteringen te behalen zijn in de reductie van het verschil tussen de batches.

Aangezien metingen van de betreffende interne karakteristiek centraal staan in de hele analyse is het belangrijk om het meetsysteem te onderzoeken. De variatie geïntroduceerd door het meetsysteem mag niet te groot zijn t.o.v. de processpreiding. Als dit echter wel het geval is moet men eerst dit meetsysteem verbeteren alvorens er verder gegaan kan worden met het project. Statistische technieken die in deze fase gebruikt worden zijn: 'Gage Repeatability and Reproducibility Analysis' (Gage R&R, cf. Montgomery (1996)), 'Pareto charts', 'Correlatie analyse', 'Quality Function Deployment' of QFD (cf. Hauser en Clausing (1988)), 'Failure Mode and Effect Analysis' of FMEA (cf. Stamatis (1995)), C_p en C_{pk} (cf. Kotz en Johnson (1993)), 'ANOVA' (Montgomery (1991)).

In de derde fase, 'Optimalisatie', worden de performance-doelstellingen en karakteristieken bepaald. Er wordt gekeken, bijv. door middel van benchmarking, wat een reële en significante verbetering is ten aanzien van de interne karakteristiek. De meest belangrijke factoren die invloed hebben op de interne karakteristiek worden geselecteerd. Vervolgens wordt de relatie tussen deze factoren en de karakteristiek bepaald, gewoonlijk middels verscheidene proefopzetten. Uit deze relatie kan men de instellingen bepalen van de factoren waarmee de interne karakteristiek op een optimaal niveau komt. Vervolgens kunnen de specificaties (LSL, USL) op de interne karakteristiek vertaald worden in termen van de belangrijke factoren. Immers, volgens de afgeleide relatie geven zekere instellingen van de factoren gegarandeerd een bepaalde uitkomst van de karakteristiek. In deze fase kan gebruik worden gemaakt van de volgende statistische technie-

ken: benchmarking (zie bijv. Camp (1994)), het testen van hypothesen, ANOVA, regressie-analyse, grafische technieken zoals hoofdeffectplaatjes, residuenplaatjes en contourplaatjes, proefopzetten zoals fractionele factoriële experimenten, Box-Behnken designs, Central Composite Designs, Mixture Designs (cf. Box, Hunter en Hunter (1978)).

Nadat in de 'Optimalisatie' fase nieuwe instellingen gevonden zijn van het proces is het zaak om het proces nu onder beheersing te houden op deze instellingen. Dit is dan ook de laatste fase, 'Controle'. Het doel is om het proces, door te monitoren, in de gaten te houden. Mocht er zich een verandering voordoen dan dient er adequaat en meteen ingegrepen te worden. Op deze manier wordt de bewerkstelligde verbetering van het proces gewaarborgd. In deze fase worden dus SPC technieken gebruikt, zoals regelkaarten en OCAP's (out of control action plans), zie bijv. Does, Roes en Trip (1996).

Zoals al blijkt uit de beschrijving van het stappenplan wordt er nogal wat van de BB's verwacht, met name op het gebied van de statistiek. Zij dienen dan ook opgeleid te worden zodanig dat ze met de statistische methoden en technieken kunnen werken en ze kunnen toepassen in hun project. Gewoonlijk gebeurt dit parallel aan hun eerste project zodat ze gelijk het geleerde in de praktijk kunnen brengen.

4 De rol van de statisticus

Zoals uit de vorige sectie blijkt komt er behoorlijk wat statistiek bij kijken om 6σ projecten uit te voeren. De hulp van een statisticus is dan ook onontbeerlijk. Sterker nog wij zijn van mening dat de inbreng van een statisticus noodzakelijk is om projecten correct uit te voeren. Gebaseerd op onze eigen ervaring bij een groot bedrijf dat op dit moment 6σ aan het invoeren is in de organisatie zullen we toelichten wat de rol van de statisticus hierin is of zou kunnen zijn.

Wij opereren binnen de organisatie als consultant voor, met name, de BB en de Master Black Belts (MBB's). De MBB's hebben als taak de BB's te begeleiden, op te leiden en de projecten van de BB's te beoordelen. De belangrijkste taken

die we zijn tegenkomen in de praktijk zijn:

- Het trainen van de BB's.
- Het helpen van de BB's met hun projecten en de bijbehorende statistiek.
- Het ontwikkelen en verbeteren van lesmateriaal en statistische technieken.

Het is een goede zaak dat de statisticus betrokken is bij de opleiding van de BB's omdat zij dan gelijk kennis maken met de statisticus waardoor de drempel lager is om hulp in te roepen van de statisticus. Voor de statisticus zelf biedt dit de gelegenheid om kennis te maken met de stappen die de BB's in hun project doorlopen en de technieken die ze daarbij gebruiken. Verder kan de statisticus de BB's op de hoogte brengen van de valkuilen die er zijn bij het gebruik van de statistische technieken. De training moet echter niet alleen door de statisticus gegeven worden maar zeker ook door de MBB's omdat op deze manier de organisatie laat zien dat het programma echt belangrijk gevonden wordt en niet iets is van 'buitenaf'.

Het trainen van de BB's is in het algemeen geen makkelijke zaak omdat, zeker naarmate er meer mensen betrokken raken bij het 6σ programma, de achtergrond van de mensen steeds gevarieerder wordt. Het gevaar is dat de BB's de statistische technieken gebruiken zonder dat zij in de gaten hebben aan wat voor condities er voldaan moet zijn. Statistische pakketten brengen dit gevaar ook met zich mee. Deze voeren slechts het gevraagde uit zonder aan te geven dat de gebruikte functie misschien helemaal de verkeerde is.

De statistische problemen die we zijn tegen gekomen variëren van project tot project. De volgende lijst geeft een indicatie hiervan. We zijn van mening dat de meeste van deze vragen ook gesteld worden bij andere kwaliteitsprogramma's zoals SPC, TQM e.d.

- Hoe voer je een meetnauwkeurighedsanalyse uit voor attributieve data?
- Welke statistische technieken kun je gebruiken bij het analyseren van discrete data?

- Hoe test je of data afkomstig zijn uit een normale verdeling?
- Hoe transformeer je niet-normale data naar normale data?
- Hoe modelleer je niet-normale data?
- Hoe detecteer je 'outliers'?
- Hoe verbeter je je Gage R&R?
- Hoe zet je een proef correct op?
- Hoe bepaal je de optimale instellingen voor gecompliceerde modellen?
- Hoe zet je een DOE op voor het modelleren van variatie?
- Hoe determineer je de standaarddeviatie voor geaggregeerde data?
- Hoe behandel je data waarin duidelijk sprake is van meerdere processen?
- Hoe bepaal je een betrouwbaarheidsinterval voor de C_{pk} ?
- etc.

Zoals al blijkt uit deze lijst varieert de moeilijkheidsgraad van de vragen behoorlijk. Sommige vragen vereisen zelfs enig onderzoek voor een adequaat antwoord. Neem bijv. de eerste vraag uit de lijst. Een BB die werkte aan een project met betrekking tot optische defecten op een plastic plaat wilde een meetnauwkeurighedsanalyse uitvoeren op de visuele inspectie naar deze defecten. In plaats van het modelleren van de data met behulp van een normale verdeling blijkt dat je deze tellingen kunt modelleren met een Poisson verdeling. Vervolgens kun je, net als in het 'normale' geval, de totale meetnauwkeurigheid bepalen en deze splitsen in de herhaalbaarheid (de variatie veroorzaakt door het 'meetinstrument') en de reproduceerbaarheid (de variatie veroorzaakt door de operators). Dit is dus zo'n vraag waarbij enig onderzoek nodig is om een nieuwe methode te ontwikkelen. Andere vragen zijn voor de statisticus eenvoudig doch vereisen de nodige uitleg om dit duidelijk te maken aan de BB's omdat die vaak (toch nog) onvoldoende

kennis hebben van de statistiek. Bijv. voor het testen of twee groepen data verschillend zijn kun je ook verdelingsvrije toetsen gebruiken (zelfs in standaard statistische pakketten), doch de BB is in het algemeen alleen bekend met de t-toets en de F-toets. Een uitdaging dus voor de statisticus om dit goed weg te leren.

Als er vragen zijn die elke keer terugkomen dan kunnen hierover handleidingen geschreven worden die toegankelijk zijn voor de BB's en de MBB's. Eventueel kunnen er speciale cursussen voor de MBB's gegeven worden zodat zij nog beter in staat zijn de BB's te begeleiden.

Om een duidelijk beeld te krijgen van wat de hiaten in de cursus zijn, wat de meest voorkomende vragen zijn, waar de grootste behoefte ligt voor nieuwe handleidingen of materiaal is het raadzaam om betrokken te zijn bij de de beoordelingen van de projecten. Daarnaast kunnen onvolkomenheden in de analyses op deze manier voorkomen worden, voordat het project afgesloten wordt of de BB met de volgende stappen doorgaat op een verkeerd spoor.

5 6σ versus de SPC-methode

De SPC methode, die al enige jaren succesvol in het bedrijfsleven wordt toegepast, is een methode voor integrale procesbeheersing die bestaat uit o.a. een tien stappenplan. In Tabel 5 staan de tien stappen vermeld (uit Does, Roes en Trip (1996)). Deze stappen worden gevolgd door een multi-disciplinair team dat bestaat uit operators, een groepsleider, een technicus, liefst een interne klant en een SPC-expert. Deze laatste is meestal een statisticus. Zo'n team wordt een Proces Actie Team (afgekort PAT) genoemd. Voor een uitgebreide beschrijving verwijzen we naar Does, Roes en Trip (1996) en Does, Schippers en Trip (1997).

Net als bij 6σ wordt er in een bedrijf begonnen met enkele pilotprojecten. Zo'n project loopt meestal zo'n vier á zes maanden. Daarnaast wordt er een cursus gegeven voor, met name, het management om zo kennis en enthousiasme te kweken in de organisatie. Als de pilotprojecten succesvol zijn afgerond worden meer projecten opgestart zodat na uiteindelijk zo'n twee en half jaar SPC

1.	Procesbeschrijving
2.	Oorzaak-en-gevolg-analyse
3.	Risico-analyse
4.	Verbeteracties
5.	Meetpunten
6.	Meetnauwkeurigheidanalyse
7.	Regelkaart
8.	Rampenplan (OCAP)
9.	Procesprestatieanalyse
10.	Certificering

Tabel 5: Het tien stappenplan voor het beheersen van processen

integraal is ingevoerd in de hele organisatie.

Een belangrijk doel in het SPC traject is om processen te krijgen die beheerst zijn doordat alle speciale oorzaken die extra variatie veroorzaken verwijderd zijn (zie ook Deming (1986)). In de praktijk blijkt dat zo'n beheersingstraject veelal aanzienlijke besparingen oplevert. Eerst wordt er een goede procesbeschrijving gemaakt zodat duidelijk is hoe het proces *in de praktijk* verloopt. Vervolgens wordt bij alle processtappen nagegaan wat er mogelijk mis kan gaan en wat hiervan de oorzaak-gevolg combinatie is. Van al deze oorzaak-gevolg combinaties wordt door middel van een FMEA (zie Stamatis (1995)) het risico bepaald middels scores voor de ernst van het gevolg, de frequentie van de oorzaak en de corrigeerbaarheid van de oorzaak.. Voor de meest risicovolle combinaties (de bovenste 20%) wordt actie ondernomen zodat het risico sterk wordt gereduceerd. Vervolgens wordt er gekeken wat (wel of niet) aanwezige metingen zijn waarmee het proces gevolgd kan worden. De meetnauwkeurigheid van deze metingen wordt beoordeeld. En vervolgens worden regelkaarten ingevoerd. Naar aanleiding van die regelkaarten wordt een Out of Control Action Plan (OCAP) geschreven en het is de bedoeling dat deze later ook voortdurend wordt aangepast. Als laatste wordt een procesprestatie analyse gedaan en wordt het proces gecertificeerd.

Nadat het proces dus beheerst is kan er naar verdere verbeteringen gekeken worden. Dit kan bijv. door het opzetten van een proef zodanig dat de meest optimale instellingen van het proces bepaald worden. Omdat het procesbeheer-

singstraject al enige maanden kost duurt het dus even voordat aan de procesverbeteringsfase wordt begonnen. Dit is in het 6σ -programma anders. Daar begint men vrij direct aan de verbeteringsfase. Dit heeft natuurlijk als voordeel dat hoe sneller de verbetering behaald is, des te eerder de variatie gereduceerd is of men meer op de streefwaarde gaat produceren. Aan de andere kant echter bestaat het gevaar bij 6σ dat, doordat niet goed onderzocht wordt of het proces beheerst is, men te maken heeft met een onbeheerst proces. Dit kan leiden tot waardeloze proefopzetten waaruit weinig of verkeerde conclusies te trekken valt.

Een ander verschilpunt is het volgende: De BB's komen meestal uit de middenmanagement posities. Alhoewel ze een goede kennis van het proces hebben wegens hun achtergrond en ervaring, werken ze meestal niet meer mee in het proces. Voor hun project moeten ze wel een verbeteringsteam opstarten met mensen die wel daadwerkelijk meewerken in het proces, maar meestal wordt het werk toch door de BB zelf gedaan die toch iets verder weg staat van het proces. Bij SPC is de betrokkenheid bij het proces veel groter door de constructie van het PAT dat in het geheel verantwoordelijk is voor het SPC-project en dat voor zeker de helft uit operators zelf bestaat.

Daarnaast is er een verschil in de implementatie van de beide aanpakken in de organisatie. In het geval van SPC wordt er eerst enthousiasme gekweekt voor SPC bij het hoger management, door middel van een bewustwordingsdag. Dit is belangrijk omdat zij verantwoordelijk zijn voor het budget. De echte implementatie van SPC in een organisatie begint bij de eerste PATs en die bestaan uit mensen van de werkvloer zelf. Daarom is de SPC-methode een bottom-up traject. 6σ daarentegen wordt meer top-down geïmplementeerd. Targets zoals 6σ worden door het hoger management aan de organisatie opgelegd. Daarom is er in het geval van SPC meer feedback en enthousiasme voor de nieuwe manier van procesvoering, speciaal op de werkvloer.

In beide gevallen is, wegens de benodigde statistiek, een statisticus betrokken. In het geval van SPC helpt de statisticus het PAT om de data te analyseren en regelkaarten te ontwerpen. In feite heeft de BB in het 6σ -programma dezelfde positie als de statisticus bij SPC.

Als laatste verschil merken we op dat in het 6σ -programma vanaf de start van het project met data gewerkt wordt. De projecten worden gekozen op basis van de hoogste aantallen klantenklachten. Dit in tegenstelling tot bij het SPC traject waar men pas na stap 2 de eerste data verzamelt of analyseert.

6 Conclusie

Beide methoden bieden goede handvatten voor procesbeheersing en procesverbetering. De accenten en de voor- en nadelen van beide methoden liggen op andere plaatsen en daarom is het nuttig om van beide de vruchten te plukken. Bij SPC trajecten is gebleken dat de betrokkenheid van een statisticus cruciaal is bij het welslagen van de implementatie. Dit kan ook voor 6σ gezegd worden. 6σ biedt daarom goede mogelijkheden voor de statistiek om zich verdienstelijk te maken in het bedrijfsleven.

Referenties

- Box, G. E. P., W. G. Hunter, en J. S. Hunter (1978). *Statistics for Experimenters*. Wiley, New York.
- Camp, B. H. (1922). A new generalization of Tchebycheff's statistical inequality. *Bulletin of the American Mathematical Society* 28, blz. 427-432.
- Camp, R. C. (1994). *Benchmarking- Het zoeken naar de beste werkmethode die leiden tot superieure prestaties*. Kluwer Quality Handboeken, Deventer.
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. MIT, Cambridge, Massachusetts.
- Does, R. J. M. M., K. C. B. Roes, en A. Trip (1996). *Statistische Procesbeheersing in bedrijf*. Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer.
- Does, R. J. M. M., W. A. J. Schippers, en A. Trip (1997). A Framework for Implementation of Statistical Process control. *International Journal of Quality Science* 2, blz. 181-198.

- Harry, M. J. en J. R. Lawson (1992). *Six Sigma Producibility Analysis and Process Characterization*. Addison-Wesley, Massachusetts.
- Hauser, J. R. en D. Clausing (1988). The House of Quality. *Harvard Business Review* 66(3), blz. 63-73.
- Joiner, B. L. (1994). *Fourth Generation Management: the New Business consciousness*. Mc Graw Hill, New York.
- Klaus, L. A. (1997). Motorola Brings Fairy Tales to Life. *Quality Progress* 97(6), blz. 25-28.
- Kotz, S. en N. L. Johnson (1993). *Process Capability Indices*. Chapman and Hall, London.
- Montgomery, D. C. (1991). *Design and analysis of experiments*. Wiley, New York.
- Montgomery, D. C. (1996). *Introduction to Statistical Quality Control*. 3rd edition. Wiley, New York.
- Noguera, J. (1992). Implementing Six Sigma for Interconnected Technology. 46th ASQC Quality Congress Transactions, blz. 538-544.
- Palm, A. C. (1990). Tables of Run Length Percentiles for Determining the Sensitivity of Shewhart Control Rules for Averages with Supplementary Runs Rules. *Journal of Quality Technology* 22, blz. 19-27.
- Porter, L. J. en J. S. Oakland (1990). Measuring Process Capability Using Indices: Some New Considerations. *Quality and Reliability Engineering International* 6, blz. 19-27.
- Stamatis, D. H. (1995). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. ASQC, Milwaukee, Wisconsin.
- Tadikanalia, P. R. (1994). The Confusion over Six-Sigma Quality. *Quality Progress* 94(11), blz. 83-85.

ontvangen: 15-04-1997

geaccepteerd: 19-04-1998