

EEN BERICHT OVER ONDERZOEK AAN HET DEPARTEMENT TOEGEPASTE ECONOMISCHE WETENSCHAPPEN VAN DE KATHOLIEKE UNIVERSITEIT LEUVEN



IN DIT NUMMER

Pag. 1 en 4
TAMING THE BULLWHIP EFFECT
Marc Lambrecht, Jeroen Dejonckheere, Denis Towill en Stephen Disney

Pag. 2-3
HET OPTIMAAL ONTWERP VAN EXPERIMENTEN
Peter Goos, Lieven Tack en Martina Vandebroek

Taming the Bullwhip Effect

In Search of new replenishment rules in supply chains

Marc Lambrecht, Jeroen Dejonckheere, Denis Towill en Stephen Disney

It is well known that many companies experience major extra costs due to supply chain problems. Even after the installation of best-in-class supply chain management systems, it seems that not all supply chain problems disappeared. Companies still face part shortages, excessive finished goods inventories, runaway transportation and warehousing costs. Many researchers conclude that a major cause of this problem is the "bullwhip" effect. This effect refers to the tendency of replenishment orders to increase in variability as one moves up a supply chain, in other words there is variance amplification. Because of that phenomenon, the information gets distorted in the chain, smooth finished product demand patterns are transformed into highly erratic demand patterns for suppliers. No need to say that all of this results in a set of difficult logistical problems. Supply chain systems easily get out of control. For that reason the Operations Management Group

of the Department of Applied Economic Sciences, K.U.Leuven started a joint research project with the famous Logistics Systems Dynamics Group of the Cardiff Business School. We use control systems engineering approaches as a methodology to tame the bullwhip effect. In this contribution, we report on our major findings.

The Bullwhip Effect

The analysis of the bullwhip effect was initiated by Jay Forrester who with his colleagues also developed the well known beer game at MIT. The beer game is still a very popular topic in many business schools and executive seminars. There is also a lot of empirical evidence. Our data show that the coefficient of variation (the ratio of the standard deviation over the mean) of retail sales typically range between 0.15 and 0.5 whereas the coefficient of variation of the production orders (fast moving consumer goods) are typically in the range of 2 to 3. The variation is further amplified as we move to the suppliers of these manufacturers. The bullwhip effect multiplies. If order variance flowing upstream from the market place amplifies by 2:1 passing through one business, then the effect in a two level supply chain is 4:1 and in a three level supply chain is 8:1. Incredible though this may seem, we have observed such events in the real world.

The major causes of the bullwhip effect are widely described in literature. Major causes are: long lead times, order batching, lack of information sharing,

certain incentive schemes for sales personnel, shortage gaming, promotional pricing and forward buying and demand signal processing. The demand signal processing issue requires more explanation because it is the core problem of our research project. Under demand signal processing we understand the practice of decision makers of adjusting the parameters of inventory replenishment rules. The adjustments are done because decision makers react to demand signals in the market. What type of adjustments do we have in mind? Decision makers adjust e.g. target inventory levels and safety stocks, moreover demand forecasts are constantly updated. Control engineers know that these adjustments may lead to variance amplification.

Many traditional replenishment rules will automatically induce bullwhip

In low inventory environments it is common practice to order what the demand was (passing on orders), it is a well known just-in-time strategy. The replenishment rule is very simple: we check the inventory position (on hand and on order) and compare it with an order-up-to level (the target) and order the difference. At first sight this seems a perfect ordering rule, unfortunately, it is not. The problem is that decision makers constantly adjust the parameters of the model in face of new information. The order-up-to level is adjusted upwards when demand increases, and downwards when demand decreases. That's exactly what forecasting models do. It is common industrial practice to add discrepancies between actual levels and target levels to production or distribution order quantities. We learn from the beer game that many experienced decision

(Vervolg op pag. 4)

ONDERZOEK HEEFT UITGEWEZEN DAT DE EXPLOSIE VAN REACTOR VIER VAN HET NUCLEAIR PARK VAN TSJERNOBYL HET GEVOLG IS VAN ONVOORSTELBARE ROEKELOOSHEID BIJ EEN EXPERIMENT.

DE PROEF BEGINT OP 25 APRIL 1986. HET VERMOGEN VAN DE REACTOR WORDT GELEIDELIJK VERMINDERD. 'S NACHTS OM 1 UUR WORDT DE REACTOR ONSTABIEL EN MOEILIK TE BESTUREN. TOCH GAAT MEN DOOR MET DE PROEF. DE REACTORKERN WORDT STERK VERGIFTIGD EN HET WATERPEIL EN DE DRUK

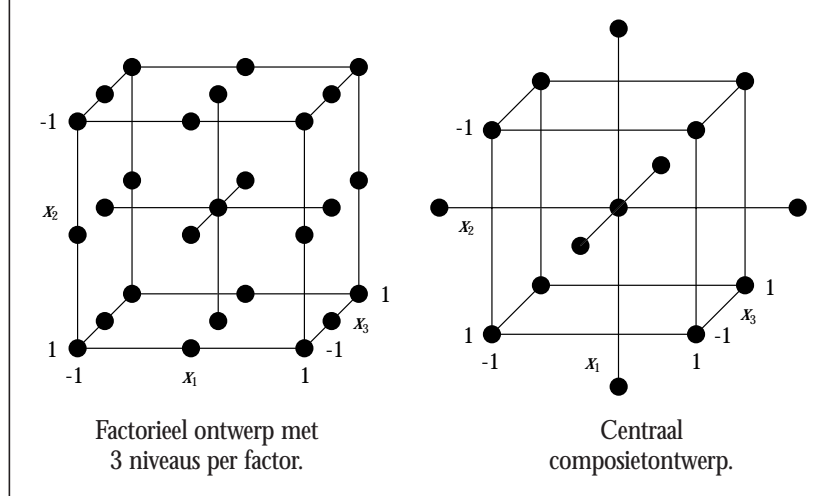
veel efficiënter omdat ze met minder observaties even betrouwbare informatie opleveren en omdat ze toelaten om na te gaan hoe de verschillende factoren elkaars effecten versterken of afzwakken.

Voor industriële experimenten worden traditioneel vooral standaardontwerpen, zoals factoriële ontwerpen of centrale composietontwerpen gebruikt. Deze zijn weer-

onafhankelijk of ongecorreleerd zijn. Hiermee moet uiteraard rekening worden gehouden bij het ontwerp van het experiment. Een ander probleem dat frequent voorkomt is beïnvloeding van de meetresultaten door trendeffecten. Mogelijke oorzaken van dergelijke trends zijn opwarming van de apparatuur, materiaalveroudering, leereffecten, slijtage van gereedschappen en vermoeiing van de operator. Vanzelfsprekend zal een goed proefopzet de onderzoeker beschermen tegen de nefaste invloed van trendeffecten op de testresultaten.

Bij gebrek aan alternatieven worden de beschikbare standaardontwerpen dikwijls aangepast om het hoofd te bieden aan deze praktische problemen. Zo wordt op arbitraire manier een aantal waarnemingen van een standaardontwerp weggelaten of toegevoegd indien het aantal beschikbare waarnemingen te klein of te groot is om het ontwerp uit te voeren. De enige objectieve manier om dergelijke ontwerpproblemen op te lossen is gebruik maken van optimaal experimenteel ontwerp. Deze benadering laat de onderzoeker toe om voor elke probleemsituatie het best mogelijke ontwerp te berekenen.

Figuur 1: Standaardontwerpen voor drie factoren.



Het optimaal ontwerp

Peter Goos, Lieven Tack en Martina Vandebroek

ONMISBAAR VOOR HET ON

DALEN ONDER DE VEILIGHEIDSLIMIET. ENKELE MINUTEN LATER BEGINT HET KOELWATER TE KOKEN. HET VERMOGEN LOOPT OP. OM 1.23 UUR BESLIST DE OPERATOR DE NOODSTOP IN WERKING TE ZETTEN. DAT IS ECHTER TE LAAT. HET VERMOGEN BLIJFT STIJGEN EN IN MINDER DAN VIER SECONDEN BEREIKT HET EEN PEIL DAT HONDERD MAAL HOGER LIGT DAN DE LIMIET. OM 1.24 UUR EXPLODEERT DE REACTOR.

Deskundig ontworpen experimenten zijn van vitaal belang voor het ontwerpen en verbeteren van producten of processen. Het fatale experiment van Tsjernobyl illustreert hoe ondoordacht experimenteren in extreme gevallen zelfs tot een catastrofe kan leiden. Een goed ontworpen experiment laat echter toe om op een efficiënte manier het effect te bepalen van een aantal factoren op de kwaliteit van een product of een proces en om de kwaliteit ervan te verbeteren. Om tot een zinvol experiment te komen, moet zorgvuldig worden nagegaan welke factoren een belangrijke invloed kunnen hebben en welke factorinstellingen hierbij realistisch zijn, hoeveel waarnemingen verricht kunnen worden en in welke volgorde het experiment uitgevoerd zal worden.

Belangrijk is dat hierbij wordt afgestapt van de veel gebruikte OFAT (one-factor-at-a-time) experimenten waarbij slechts één factor wordt veranderd terwijl de andere factoren constant worden gehouden. Experimenten waarbij meerdere factoren terzelfdertijd worden varieerd, zijn

gegeven in *figuur 1* voor een experiment met 3 factoren x_1 , x_2 en x_3 en met de gecodeerde factorinstellingen -1 en $+1$. Hierbij geeft -1 een lage factorinstelling en $+1$ een hoge factorinstelling aan. Elk zwart punt in de figuur stelt een combinatie van factorinstellingen voor die uitgetest moet worden. Standaard proefopzetten bezitten een aantal interessante eigenschappen maar een belangrijk nadeel is dat ze weinig flexibel zijn.

Eerst en vooral is het aantal waarnemingen in een industrieel experiment gelimiteerd wegens de beperkte beschikbaarheid van tijd en financiële middelen. Een onderneming kan het zich immers hoogst zelden permitteren om de productie gedurende één of meerdere dagen stil te leggen om te experimenteren met nieuwe machine-instellingen en hulpmiddelen. In de praktijk komt het dan ook vaak voor dat het aantal beschikbare waarnemingen niet overeenstemt met het aantal waarnemingen van een standaardontwerp.

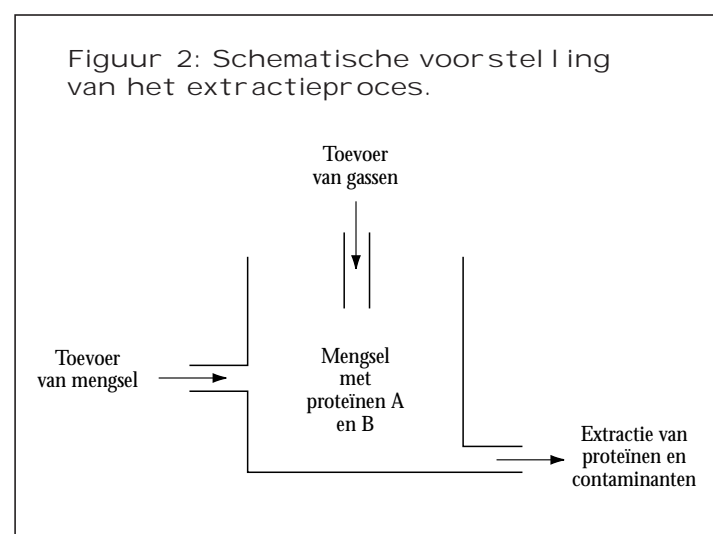
Bovendien veronderstelt het gebruik van standaardontwerpen dat de metingen in soortgelijke omstandigheden en in een willekeurige volgorde kunnen worden uitgevoerd en dat de factoren bij elke waarneming opnieuw worden ingesteld. Industriële experimenten verlopen echter dikwijls over enkele weken of vereisen verscheidene productieloten zodat niet alle metingen in precies dezelfde omstandigheden kunnen plaatsvinden. Daarnaast is het meestal tijdrovend om de factoren bij elke waarneming opnieuw in te stellen, zodat de randomisatie van de waarnemingen vaak met de voeten wordt getreden. Het is bijvoorbeeld veel makkelijker om alle waarnemingen bij een zelfde oventemperatuur na elkaar uit te voeren in plaats van de oven na elke waarneming op te warmen of af te koelen volgens het randomisatieschema. Een onmiddellijk gevolg hiervan is dat de experimentele waarnemingen niet langer statistisch

Dankzij de toenemende rekenkracht van computers wint optimaal experimenteel ontwerp aan belang. In de literatuur verschenen reeds heel wat toepassingen van het optimaal ontwerp van industriële experimenten. Daarnaast zijn ook al enkele algoritmes voor de berekening van optimale ontwerpen met ongecorreleerde waarnemingen ingebed in statistische pakketten.

Een eerste illustratie van het belang van het optimaal ontwerp van een experiment is het proteïne-experiment dat schematisch is voorgesteld in *figuur 2*. Het doel van het experiment was het vergroten van de opbrengst van een extractieproces. Teneinde het proces beter te begrijpen werd een experiment uitgevoerd om de invloed van vijf verschillende factoren op de opbrengst na te gaan. De vijf onderzochte factoren, voorgesteld door respectievelijk x_1 , x_2 , x_3 , x_4 en x_5 , waren de positie van de toevoer van het mengsel, de toevoersnelheid van het mengsel, de toevoersnelheid van de gassen en de concentraties van beide proteïnen.

Voor elk van deze factoren werd een laag, een hoog en een tussenliggend niveau gebruikt in het experiment.

Figuur 2: Schematische voorstelling van het extractieproces.



Bij het uitvoeren van het experiment bleek dat het wijzigen van de positie van de toevoer van het mengsel bijzonder omslachtig was. Daarom werd beslist dat gedurende één dag experimenteren de positie van de toevoer niet gewijzigd zou worden. Op die manier konden per dag twee waarnemingen verricht worden. Deze beide waarnemingen werden verwacht sterk gecorreleerd te zijn. Het volledige experiment duurde 21 dagen, zodat in totaal 42 waarnemingen beschikbaar waren.

Voor elk van de 42 waarnemingen diende vervolgens uitgemerkt te worden welke instellingen de vijf onderzochte factoren zouden aannemen. In het originele experiment werd een centraal composietontwerp aangepast om tot 42 waarnemingen te komen. Het originele ontwerp is weergegeven in de linkerhelft van tabel 1. Dit ontwerp verschilt echter heel sterk van het best mogelijke ontwerp voor het proteïne-experiment, dat in de rechterhelft van tabel 1 is weergegeven.

Voor het schatten van de factoreffecten blijkt het optimaal ontwerp maar liefst 25% efficiënter. Het optimaal ontwerp laat daarenboven voorspellingen toe die bijna 8% nauwkeuriger zijn dan deze geleverd door het origineel ontwerp.

uitvoering van het experiment geen controle heeft. In een experiment bedoeld om het effect van een aantal werkmethode op de productiviteit na te gaan, zal de toewijzing van de werkmethode aan de arbeiders volkomen willekeurig gebeuren zodat bijvoorbeeld de leeftijd en het geslacht van de proefpersonen de uitkomst van het experiment niet zou kunnen beïnvloeden.

Als trendeffecten aanwezig zijn, dan levert het uitvoeren van de metingen in een welbepaalde volgorde echter meer betrouwbare informatie op dan het uitvoeren van de metingen in een volledig willekeurige volgorde. Dit is bijvoorbeeld het geval bij een experiment uit de elektronica-sector, waarin de invloed van een aantal factoren op de performantie van het polijsten van siliciumplaatjes werd onderzocht. Uit ervaring is immers gebleken dat de polijster onderhevig is aan drift, wat tot vertekening van de meetresultaten leidt. Optimaal experimenteel ontwerp stelt de onderzoeker in staat een volgorde te bepalen die de invloed van de drift op de meetgegevens minimaliseert en aldus de kwaliteit van het experiment verbetert. Dergelijke trendresistente sequenties hebben echter als nadeel dat ze meestal duur en

Tabel 3. Optimal e volgorde voor het spectrometer experiment.

RUN	x1	x2	x3	x4	x5	RUN	x1	x2	x3	x4	x5
1	-1	-1	0	-1	+1	11	+1	-1	-1	+1	-1
2	+1	-1	+1	-1	+1	12	-1	-1	+1	+1	-1
3	-1	-1	+1	-1	+1	13	+1	+1	+1	+1	-1
4	-1	+1	-1	-1	+1	14	-1	+1	+1	-1	-1
5	-1	+1	-1	+1	+1	15	+1	+1	-1	-1	-1
6	+1	+1	-1	0	+1	16	+1	+1	+1	-1	0
7	-1	+1	+1	0	+1	17	-1	+1	-1	0	0
8	-1	-1	-1	0	+1	18	+1	+1	+1	+1	+1
9	+1	-1	-1	-1	0	19	-1	+1	-1	+1	+1
10	+1	-1	+1	-1	-1	20	+1	-1	0	+1	+1

Aangezien experimenten worden uitgevoerd om op een efficiënte manier informatie te verkrijgen over het product of proces, is het belangrijk dat hierbij de meest aangewezen proefopzet wordt gebruikt zodat met de bestede middelen een maximum aan informatie wordt bekomen. Alhoewel de standaardontwerpen in sommige situaties wel nuttig kunnen zijn, is het meestal beter om via de beschikbare algoritmen het optimaal experimenteel ontwerp te berekenen dat specifiek is voor de beschouwde situatie.

van experimenten

TWERPEN EN VERBETEREN VAN PRODUCTEN EN PROCESSEN

Tabel 1: Proefopzetten voor het proteïne-experiment.

DAG	ORIGINEEL ONTWERP					OPTIMAAL ONTWERP				
	x1	x2	x3	x4	x5	x1	x2	x3	x4	x5
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
3	-1	-1	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1
4	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
5	-1	0	0	0	-1	-1	-1	+1	+1	-1
6	-1	0	+1	0	0	-1	+1	-1	-1	-1
7	-1	0	0	0	0	-1	0	-1	0	-1
8	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
9	-1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	-1	-1	+1
10	0	-1	-1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1
11	0	+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	-1	-1
12	0	-1	-1	-1	-1	-1	+1	0	-1	-1
13	0	+1	-1	-1	-1	-1	+1	-1	-1	+1
14	0	-1	+1	+1	+1	0	0	-1	+1	0
15	0	+1	+1	+1	-1	0	+1	-1	-1	+1
16	0	-1	0	0	0	0	+1	-1	0	0
17	0	0	0	+1	0	+1	-1	-1	0	-1
18	0	+1	0	0	0	+1	-1	-1	-1	+1
19	+1	-1	-1	-1	-1	+1	-1	-1	-1	+1
20	+1	+1	0	0	0	+1	+1	+1	-1	-1
21	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	+1
22	+1	0	+1	0	0	+1	+1	+1	+1	-1
23	+1	0	0	0	0	+1	-1	0	+1	0
24	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	-1
25	+1	0	0	0	+1	+1	+1	+1	0	+1
26	+1	0	0	+1	0	+1	+1	-1	+1	-1

Een andere toepassing van optimaal experimenteel ontwerp is het bepalen van de best mogelijke volgorde van de metingen van een experiment. Traditioneel gaat de voorkeur uit naar het nemen van de waarnemingen in een willekeurige volgorde. Deze randomisatie garandeert in veel gevallen dat de resultaten niet worden beïnvloed door allerlei omgevingsfactoren waarover men tijdens de

tijd rovend zijn omdat ze veel niveauveranderingen vereisen bij de overgang naar een volgende meting. Recent ontwikkelde methoden laten de onderzoeker nu ook toe de kost van een experiment in rekening te brengen bij het ontwerp ervan.

Deze benadering werd toegepast in een studie naar de gevoeligheid van een spectrometer. Met een spectrometer kan men de atomische opbouw van een stukje opgewarmd materiaal onderzoeken door de uitgezonden straling te vergelijken met het licht afkomstig van een referentiebron. De beïnvloedende factoren waren de positie van de lichtbron, de positie en de hoogte van de warmtebron, het type vlam en de stroomsnelheid. De toegelaten factorniveaus van deze vijf factoren, genoteerd door respectievelijk x1, x2, x3, x4 en x5, zijn weergegeven in tabel 2. De laatste kolom vermeldt de tijd die nodig is om elke factor van niveau te veranderen. Deze transitietijd is een maat voor de kost die gepaard gaat met de overgang van het ene factorniveau naar het andere. De metingen in het experiment waren onderhevig aan drift omwille van de afzetting van koolstof in het toestel. Het experiment werd om de 20 metingen stopgezet om de afgezette koolstof te verwijderen. De volgorde die voor 20 waarnemingen de meeste informatie, ofwel de meest nauwkeurige schatting van de factoreffecten, oplevert per eenheid kost is weergegeven in tabel 3. In vergelijking met klassiek experimenteel ontwerp is de optimale sequentie van tabel 3 ruim 65% goedkoper en is de hoeveelheid informatie per eenheid kost toegenomen met een factor 2,6.

Tabel 2. Beschrijving van het spectrometer experiment.

FACTOR	NIVEAUS	TRANSITIETIJD (SEC)
positie lichtbron x1	-1, +1	1
positie warmtebron x2	-1, +1	60
hoogte warmtebron x3	-1, 0, +1	1
type vlam x4	-1, 0, +1	60
stroomsnelheid x5	-1, 0, +1	120

Referenties:

- Goos, P. en Vandebroek, M. (2001). Optimal split-plot designs, *Journal of Quality Technology*, 33: 435-450.
- Goos, P. en Vandebroek, M. (2001). D-optimal response surface designs in the presence of random block effects, *Computational Statistics and Data Analysis*, 37: 433-453.
- Tack, L. en Vandebroek, M. (2001). (Dt,C)-optimal run orders, *Journal of Statistical Planning and Inference*, 98: 293-310.
- Tack, L. en Vandebroek, M. (2001). Trend-robust and budget constrained optimum designs, In A. C. Atkinson, P. Hackl en W. G. Müller (eds), *Advances in Model-Oriented Design and Analysis*, Heidelberg: Physica-Verlag, p. 235-242.

Peter Goos is als Postdoctoraal Onderzoeker van het Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek Vlaanderen verbonden aan het departement Toegepaste economische wetenschappen van de K.U.Leuven. Zijn onderzoek handelt over het optimaal ontwerp van geblokte en split-plot experimenten. e-mail: Peter.Goos@econ.kuleuven.ac.be.

Lieven Tack is assistent aan het departement Toegepaste economische wetenschappen van de K.U.Leuven en doctoraatsstudent aan de faculteit Toegepaste wetenschappen van de K.U.Leuven. Zijn onderzoek spitst zich toe op optimale volgordes in experimenteel ontwerp. e-mail: Lieven.Tack@econ.kuleuven.ac.be.

Martina Vandebroek is hoogleraar aan het departement Toegepaste economische wetenschappen van de K.U.Leuven waar zij verschillende cursussen statistiek doceert. Haar onderzoeksinteresse gaat voornamelijk uit naar optimaal experimenteel ontwerp. e-mail: Martina.Vandebroek@econ.kuleuven.ac.be.

makers use this type of "anchoring and adjustment" heuristic. Today we know that these full adjustment strategies will automatically create a bullwhip effect. This is illustrated in figure 1, where we show demand data for 100 periods. The replenishment order quantities are based on "adjusted" order-up-to levels based on exponential smoothing.

effect. Well, the same issue is prevalent in a supply chain, it takes time for the factory to manufacture the parts that are ordered and thus we must turn the taps in the supply chain very slowly also. We suggest to use the following replenishment rule:

$$O_t = D_t(\alpha) + \beta(TINV - Inv_t) + \gamma(DWIP_t - Wip_t)$$

where

- O_t : the quantity ordered in period t
- $D_t(\alpha)$: the demand forecast using e.g. exponential smoothing, α is the average age of the data used in the forecast.
- $TINV$: target net inventory level, Inv_t is the current net inventory in period t
- $DWIP_t$: the target pipeline stock, Wip_t is the current pipeline stock

The parameters β and γ are smoothing parameters.

It is important to note that the above replenishment rule has three "controllers" available to the scheduler or supply chain designer to "tune" the dynamic behaviour of the supply chain.

The first controller α is simply the average age of the data in the forecast. Increasing the value of this parameter will produce smoother responses. If the designer lowers the value of β and γ then the rate at which discrepancies are recovered will slow down, this produces a much more desirable dynamic response. In figure 1 we set $\beta=\gamma=1$ and this results in huge fluctuations.

In figure 2 however, we set $\beta=\gamma=0.125$ and we get a smooth ordering pattern.

The major advantage is that the proposed ordering rule, when properly tuned, filters out "noise" in the marketplace sales and is able to identify and track genuine changes in demand. By doing this, companies can avoid excess costs due to unnecessary ramping up and down production or ordering levels. The exact values of the controllers (taps) depend on the economics of the supply chain.

The above approach has been successfully implemented in several companies. This project also illustrates how valuable control engineering insights are to solve dynamic business problems.

Figure 1 : A replenishment rule resulting in bullwhip

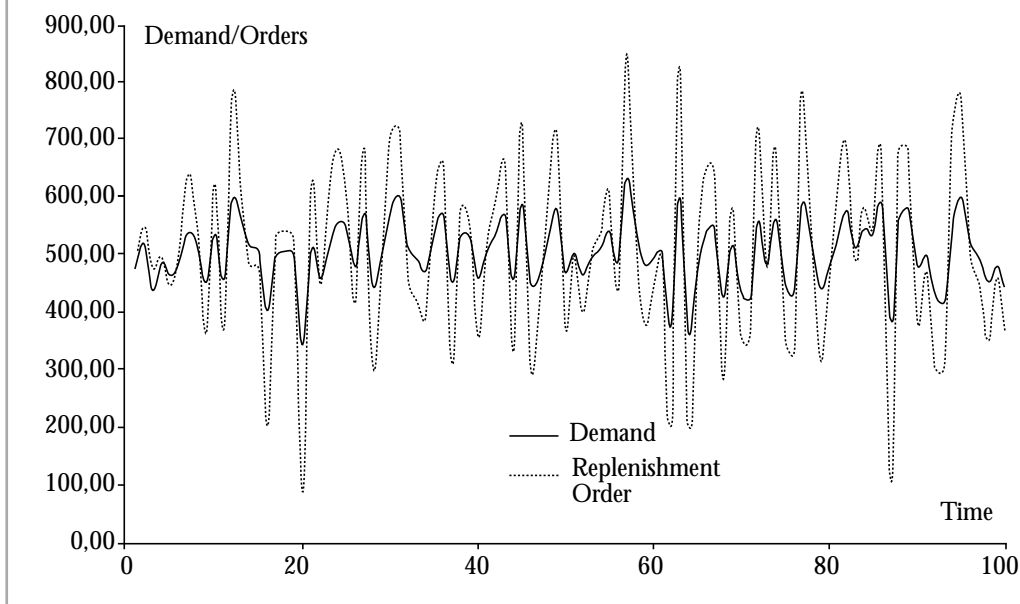
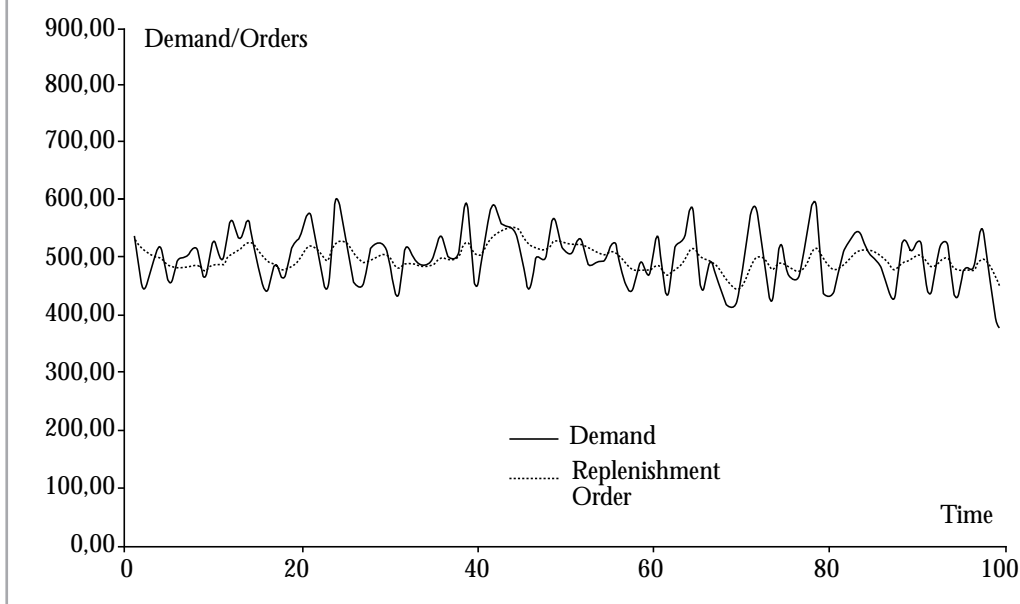


Figure 2 : A smoothing replenishment rule



A smoothing replenishment rule

Our solution to the bullwhip problem is to only incorporate a fraction of the discrepancy between actual and target inventory levels and a fraction of the discrepancy between the actual and target level of orders in the pipeline. Our solution is not very radical, but this solution is historically well known to control engineers. This problem is akin to a common situation we face every morning. As we stand underneath a cold shower and turn the hot tap too quickly, the water, a few moments later (lead time), becomes too hot and we respond by reaching for the cold tap or turning back the hot tap. These "full" adjustments are undesirable. We all know that, when in the shower, we should turn the taps very slowly in order to get the temperature "just right". This is because of the delay between the action and the

Referenties:

- Dejonckheere J., Disney S.M., Lambrecht M.R., Towill D.R., Transfer function analysis of forecasting induced bullwhip in supply chains, To be published in the European Journal of Production Economics, 2001.
- Dejonckheere J., Disney S.M., Lambrecht M.R., Towill D.R., Measuring and avoiding the bullwhip effect: A control theoretic approach, Research report, Department of Applied Economic Sciences, K.U.Leuven, N° 0108, 2000.

Marc Lambrecht is Professor of Operations Management K.U.Leuven. This research is supported by the Science Foundation of Flanders (FWO G.0063.98). His research interests are in analysing the dynamics of production systems and supply chains. e-mail : Marc.Lambrecht@econ.kuleuven.ac.be



Jeroen Dejonckheere, formally a researcher at K.U.Leuven, is now a logistics manager at General Electric Power Controls, Belgium. e-mail : Jeroen.Dejonckheere@gepc.ge.com



Denis Towill is the Director of the Logistics Systems Dynamics Group, Cardiff Business School, Cardiff University, Wales. In 1999 he won the Andersen Consulting Award for the paper judged most likely to make a major impact on both theory and practice of logistics during the next decade.



Stephen Disney is a researcher at the Logistics Systems Dynamics Group, Cardiff Business School, Cardiff University, Wales. His research interests are in using simulation and mathematics to model supply chains. e-mail : DisneySM@Cardiff.ac.uk



CENTRUM VOOR TOEGEPAST ECONOMISCH ONDERZOEK

Voor informatie over onderzoek (groepen, seminars, jaarverslag), bezoek de website van het Centrum voor Toegepast Economisch Onderzoek: <http://www.econ.kuleuven.ac.be/cteo/>

Een lijst van onderzoeksrapporten met abstract is beschikbaar op: <http://www.econ.kuleuven.ac.be/cteo/reports/>

Reacties op Business IN-zicht zijn altijd welkom bij Linda Van de Gucht

(Linda.Vandegucht@econ.kuleuven.ac.be)

Voor een gratis abonnement op Business IN-zicht contacteer:

Elke.Tweepenninckx@econ.kuleuven.ac.be

