

Het bullwhip effect en informatie-uitwisseling in de logistieke keten

Pieter Thijs

promotor :
Prof. dr. Gerrit JANSSENS

Woord Vooraf

Deze eindverhandeling vormt het sluitstuk van mijn opleiding Handelsingenieur in de Toegepaste Economische Wetenschappen, met afstudeerrichting Accountancy & Financiering, aan de Universiteit Hasselt. In dit voorwoord zou ik dan ook graag van de gelegenheid gebruik willen maken om enkele mensen te bedanken.

Eerst en vooral wil ik een speciaal dankwoord richten tot Prof. Dr. G. Janssens voor het opnemen van het promotorschap van mijn eindverhandeling.

Ten slotte wil ik mijn vriendin en familie bedanken voor hun morele steun gedurende mijn volledige studieloopbaan. Zij stonden altijd voor mij klaar met raad en daad tijdens de afgelopen vijf jaar. Bedankt daarvoor!

Pieter Thijs

Samenvatting

Het bullwhip effect zorgt dat de variabiliteit van de orderhoeveelheden toeneemt naarmate opwaarts wordt gevorderd in de logistieke keten. Het delen van informatie blijkt uit de literatuur één van de voornaamste basisspelers om het bullwhip effect aan te pakken. Informatie is de spil doorheen de moderne logistiek en het bedrijfsleven. In het eerste deel van dit onderzoek wordt aan de hand van literatuurstudies het belang van het bullwhip effect en informatie-uitwisseling toegelicht.

Het bullwhip effect komt voor in diverse industrieën (Lee, et al., 1997a) en hierdoor ook bij verschillende bedrijven en producten. Om het bestaan van het bullwhip effect aan te tonen en te kwantificeren wordt hier gebruik gemaakt van de modellen van Chen et al. (2000) en Kim et al. (2006). Met deze methode kan aangetoond worden dat het bullwhip effect wordt veroorzaakt door de nood aan vraagvoorspellingen.

Het probleem van het bijwerken van de vraagvoorspellingen zou opgelost moeten worden door het uitwisselen van vraaginformatie in de keten. Elke schakel in de keten kan deze vraaginformatie gebruiken om het eigen order-up-to voorraadniveau en orderhoeveelheid te bepalen. Deze vorm van informatie-uitwisseling zou zorgen voor een verbeterd reactievermogen van de logistieke keten en een vermindering van het bullwhip effect. Hoewel het bullwhip effect niet uitgesloten wordt, toont Kim et al. (2006) aan dat het aanzienlijk gereduceerd kan worden met het uitwisselen van vraaginformatie.

Met behulp van een spreadsheet simulatie van Boute et al. (2007) worden een reeks voorspellingstechnieken verkend. Er wordt onderzocht hoe het afstemmen van de betrokken parameters invloed heeft op het bullwhip effect. De 'Minimum mean squared error' voorspellingstechniek blijkt de beste methode uit onze simulatie en ook Boute et al. (2007) kwamen tot deze bevinding. De keuze voor de juiste techniek is een belangrijke beslissing, een ongepaste voorspellingstechniek kan immers een diepgaande impact hebben op het bullwhip effect.

Het verminderen van de lead time blijkt een cruciale stap te zijn om het bullwhip effect tegen te gaan. Dit zorgt immers ook voor een vermindering van kosten en levert een aanzienlijke bijdrage tot de aangeboden service voor de consument.

Inhoudsopgave

Woord Vooraf

Samenvatting

1	Probleemstelling	1
1.1	Het bullwhip effect: algemeen	1
1.2	Praktische relevantie van het onderwerp	4
1.3	Onderzoeksdoelen en centrale onderzoeksvraag	5
1.3.1	Centrale onderzoeksvraag	5
1.3.2	Deelvragen.....	6
1.4	Methodologie	7
2	Het bullwhip effect	9
2.1	De logistieke keten onder invloed van supply chain management	10
2.2	Het bullwhip effect in praktijk: een voorbeeld.....	11
2.3	Gevolgen, oorzaken en potentiële oplossingen van het bullwhip effect.....	13
2.3.1	Gevolgen en geïnstigeerde dilemma's	13
2.3.2	Oorzaken en potentiële oplossingen.....	15
2.3.2.1	Onjuiste updates van voorspellingen.....	15
2.3.2.2	Aankopen in batches	16
2.3.2.3	Prijsfluctuaties	16
2.3.2.4	Rantsoenering	17
2.3.2.5	Lead time.....	17
2.3.2.6	Andere oorzaken	17
2.4	Besluit	18
3	Informatie-uitwisseling	20
3.1	De aard van informatie.....	20
3.1.1	Niveau van informatie.....	20

3.1.1.1	Strategische informatie.....	20
3.1.1.2	Tactische informatie	21
3.1.1.3	Operationele informatie.....	21
3.1.2	Type van informatie.....	21
3.1.2.1	Planning- en orderinformatie	21
3.1.2.2	Voorraadinformatie.....	22
3.1.2.3	Procesinformatie	23
3.1.2.4	Productinformatie.....	23
3.1.3	Kwaliteit van de informatie	24
3.2	Methodes van informatie-uitwisseling.....	24
3.2.1	Simple/éénzijdige informatie-uitwisseling	24
3.2.2	Formulated/bilaterale informatie-uitwisseling	25
3.2.3	Gemodelleerde/geïntegreerde samenwerking.....	25
3.3	Communiceren van de informatie	26
3.3.1	Electronic Data Interchange (EDI)	26
3.3.2	Internettechnologieën.....	27
3.4	Besluit	27

4 Kwantitatieve modellering van het bullwhip effect..... 29

4.1	Aanleiding naar de modellen	29
4.2	Model voor logistieke keten met twee partners.....	29
4.2.1	Voorraadpolitiek van de kleinhandelaar	30
4.2.2	Bewijs van het bestaan van het bullwhip effect	32
4.3	Besluit	34

5 Het belang van informatie-uitwisseling tussen ketenpartners 36

5.1	Literatuur met betrekking tot informatie-uitwisseling	36
5.2	Aanleiding naar het model	38
5.3	Model voor logistieke keten met een eindig aantal partners	38
5.3.1	Het bullwhip effect zonder het uitwisselen van informatie	39
5.3.2	Het bullwhip effect met uitwisseling van vraaginformatie.....	40
5.4	Interpretatie van de vergelijking tussen beide situaties	41
5.4.1	Vergelijking met Chen et al. (2000) en Dejonckheere et al. (2003).....	42

5.5	Besluit	42
6	Simulatie van het bullwhip effect	43
6.1	Beschrijving van de spreadsheet simulatie	43
6.1.1	Beschrijving van de inputgegevens	44
6.1.2	Beschrijving van de outputgegevens	46
6.2	Planning van de simulatie	47
6.3	Simulatie-experimenten en het bullwhip effect	48
6.3.1	Invloed van de voorspellingstechnieken op het bullwhip effect	49
6.3.1.1	'Mean demand' voorspellingen	49
6.3.1.2	'Demand signal processing'	51
a)	Invloed van aanpassingsfactor χ bij 'demand signal processing'	53
6.3.1.3	'Moving average' voorspellingen	55
a)	Invloed van aantal periodes T_m (p)	57
6.3.1.4	'Exponential smoothing' voorspellingen	58
a)	Invloed van gladstrijkende factor α	60
6.3.1.5	'Minimum mean squared error' voorspellingen	61
6.3.1.6	Conclusie uit de simulaties met de verschillende voorspellingstechnieken 64	
6.3.2	Invloed van autocorrelatie bij een AR(1) vraagproces	66
6.3.3	Invloed van de lead time	68
6.3.4	Invloed van de veiligheidsvoorraad	71
6.4	Besluit	73
7	Conclusie	74
	Lijst van geraadpleegde werken	76
	Bijlage 1 Exacte formules voor het kwantificeren van het bullwhip effect.....	80

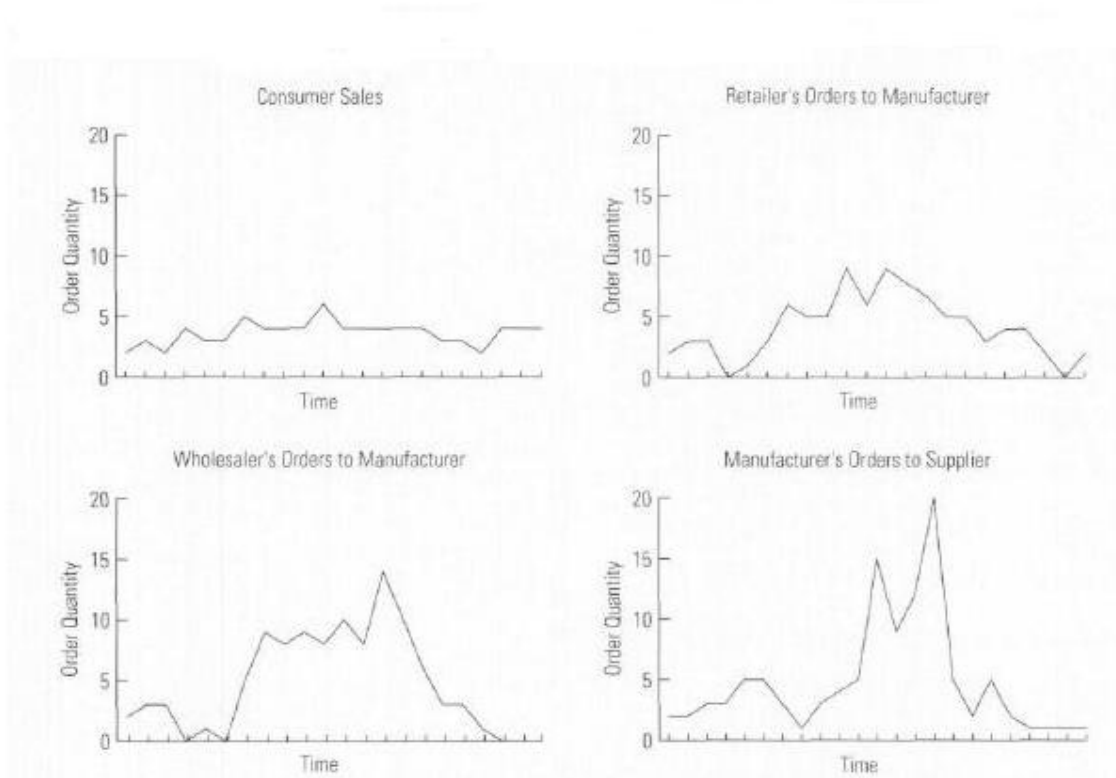
1 Probleemstelling

1.1 Het bullwhip effect: algemeen

Het bullwhip effect is een gekend fenomeen dat in de literatuur reeds vele jaren besproken werd, zoals uit omschrijvingen van Forrester (1958) tot Sucky (2008) blijkt. Het is een probleem waarbij, tussen de verschillende schakels van een logistieke keten, de bestelde hoeveelheden toenemen. Het suggereert dat de variabiliteit van de orderhoeveelheden toeneemt naarmate in de logistieke keten wordt gevorderd. Hoewel de orders van de klanten niet fel variëren, is er toch sprake van een meer en meer schommelende vraag naarmate wordt gevorderd in de logistieke keten, van de consument tot de leveranciers van de producent zoals blijkt in figuur 1.1. Een kleine verandering (storing) in de aankopen van de klanten zorgt voor grotere schommelingen verder in de keten.

Het wordt zo genoemd omdat een kleine variatie in de werkelijke consumentenvraag kan leiden tot grotere vraagvariaties voor stroomopwaartse leveranciers en zo doet denken aan de slag van een zweep (= 'crack the whip') (Metters, 1997). Het fenomeen is ook bekend als het opslingereffect of het Forrester effect en wordt geïllustreerd in de volgende figuur.

Figuur 1.1: Toenemende variabiliteit van de orderhoeveelheden in de logistieke keten



Bron: Lee, et al., 1997a: pp. 94

De orders aan de leveranciers hebben een grotere variabiliteit dan de verkopen aan de klanten en deze verstoring zet zich stroomopwaarts voort in de logistieke keten in versterkte vorm (Carlsson & Fullér, 2002).

Door de fluctuerende vraag is het moeilijk om het aantal te produceren producten te voorspellen. Er is namelijk een gebrek aan synchronisatie tussen de verschillende leden van de logistieke keten. Omdat hierdoor de bevoorradingspatronen niet in overeenstemming zijn met de vraagpatronen, krijgen we te maken met een ophoping van voorraden op bepaalde plaatsen in de keten en met tekorten en vertragingen op andere (Anupindi, Chopra, Deshmukh, Van Mieghem & Zemel, 1999; Aquilano, Chase & Jacobs, 2006; Sucky, 2008).

Het bullwhip effect wordt vaak aangetoond door middel van het 'Beer Distribution Game', ontwikkeld door MIT Sloan School of Management in de jaren 1960. Deze simulatie toont een aantal principes aan die eigen zijn aan de logistieke keten en brengt enkele oorzaken van het bullwhip effect aan het licht die door Serman (1989) werden gepubliceerd.

In de literatuur wordt vaak gesproken van de door Lee, Padmanabhan & Whang aangehaalde vier hoofdoorzaken, namelijk: onjuiste voorspellingen, aankopen in batches, prijsfluctuaties en rantsoenering (Anupindi, et al., 1999).

De factoren die aan de oorsprong van het bullwhip effect liggen interageren met elkaar en vormen aldus een complex systeem. Ze zijn ook afhankelijk van de infrastructuur van de logistieke keten en van de strategieën die door de verschillende actoren worden nagestreefd (Carlsson, et al., 2002).

Het bullwhip effect komt voor in diverse industrieën (Lee, et al., 1997a) en bij verschillende bedrijven en producten. Zowel de kleinhandelaar, de producent als zijn leveranciers krijgen er mee te maken. Het bullwhip effect kan zelfs binnen een bedrijf optreden.

Het is niet alleen nodig te kijken naar de aangehaalde oorzaken, belangrijker hierbij is de focus te leggen op de oplossingen die in de literatuur naar voren worden gebracht. Lee, et al. (1997a) stellen bij de door hen voorgestelde oorzaken, eveneens passende oplossingen voor.

Het probleem van het bijwerken van de vraagvoorspellingen, dat als een belangrijke oorzaak van het bullwhip effect wordt gezien, zou volgens de auteurs opgelost moeten worden door het uitwisselen van vraaginformatie. Elke klant voorziet zijn leverancier van meer volledige informatie, opdat deze zijn voorspellingen kan optimaliseren. Bij het groeperen van bestellingen (order batching) dient volgens de auteurs maximaal gebruik gemaakt te worden van elektronische transacties om de transactiekosten te reduceren en te zorgen dat ondernemingen frequenter en in kleinere hoeveelheden bestellen. De prijsfluctuaties kunnen worden tegengegaan met EDLP (every day low pricing) en om het rantsoeneringgedrag tegen te gaan pleiten zij voor het proportioneel toewijzen van de beschikbare producten op basis van de orderhoeveelheden in het verleden (Lee, et al., 1997a).

De auteurs hebben met hun oplossingen een start gemaakt in de aanpak van het bullwhip effect. Hoewel hun voorstellen zeer abstract lijken, blijkt uit de praktijk dat van hun basisideeën reeds gebruik is gemaakt in bepaalde industriële praktijken. Hierbij denkend aan continuous replenishment program (CRP), electronic data interchange (EDI), enz.

De laatste jaren is zowel de kwaliteit als de kwantiteit van het delen van informatie in de logistieke keten sterk toegenomen, mede door de technologische ontwikkelingen. Dit zou het mogelijk moeten maken om het bullwhip effect verder tegen te gaan (Croson & Donohue, 2005).

Informatie blijkt uit de literatuur met andere woorden één van de voornaamste basisspelers om het bullwhip effect aan te pakken. Recent onderzoek bewijst de belangstelling rond het thema (Moyaux, Chaib-draa & D'Amours, 2007; Ploos van Amstel, Ploos van Amstel & Van Goor, 1999; Sucky, 2008). Hieruit blijkt dat er nood is aandacht te schenken aan de oplossingen met betrekking tot het uitwisselen van informatie binnen een logistieke keten. Het bullwhip effect kan evenwel moeilijk uitgesloten worden, maar toch kan het aanzienlijk worden gereduceerd door het delen van informatie (Moyaux, et al., 2007).

1.2 Praktische relevantie van het onderwerp

Hoewel de literatuur belang hecht aan het uitwisselen van informatie als methode om het bullwhip effect aan te pakken, is het niet één van de meest uitgewerkte thema's. Voor dit onderzoek werd daarom de mogelijkheid gezien om deze ruimte te benutten in een aanzet naar nieuw onderzoek.

Informatie is immers de spil doorheen de moderne logistiek en het bedrijfsleven. Het maximaal benutten van deze informatiemogelijkheden is dan ook een cruciaal thema. Of van deze mogelijkheden vandaag de dag maximaal gebruik wordt gemaakt is de vraag. Het onderzoek voorgesteld in deze thesis ziet de kans om op zoek te gaan naar de mogelijkheden die in de literatuur worden aangeboden rond de informatie-uitwisseling doorheen een logistieke keten.

Een overzicht van deze mogelijkheden tot informatie-uitwisseling wordt bekeken in het kader van hun relevantie voor het bullwhip effect. Op die manier kan met behulp van de literatuur en de reeds bestaande modellen betreffende het bullwhip effect gekeken worden naar deze bevindingen.

Het doel van de verhandeling is om eerst tot een overzicht te komen van de bestaande literatuur. Vervolgens proberen we aan de hand van enkele bestaande modellen het bullwhip effect te kwantificeren. Hierna wordt getracht het bewijs te leveren dat het

uitwisselen van informatie wel degelijk tot een vermindering van het bullwhip effect leidt. Tenslotte wordt aan de hand van een simulatie getest op welke manier de verschillende voorspellingstechnieken en de bijhorende parameters een impact hebben op het bullwhip effect en de vermindering daarvan.

1.3 Onderzoekdoelen en centrale onderzoeksvraag

1.3.1 Centrale onderzoeksvraag

Over het bullwhip effect is reeds veel onderzoek verschenen en aan het bestaan ervan wordt niet meer getwijfeld. Aangezien het onderzoeksveld voor het bullwhip effect zeer uitgebreid is, maken we hier de keuze om toe te spitsen op de invloed van informatie-uitwisseling op het bullwhip effect in de logistieke keten.

Dit brengt ons bij de volgende centrale onderzoeksvraag:

'Op welke manier kan de uitwisseling van informatie in de logistieke keten het bullwhip effect reduceren?'

Door de toename van de complexiteit van de hedendaagse goederenstromen wordt niet alleen de nauwkeurigheid van de logistieke afstemming in het bedrijf zelf belangrijk, maar ook in de totale logistieke keten. Logistieke beheersing verschuift meer van het ondernemingsniveau naar het niveau van de totale logistieke keten. Combinaties van ondernemingen kunnen beter en efficiënter aan de veranderende klantenwensen voldoen dan individuele ondernemingen. Door samenwerking binnen de logistieke keten kunnen dus de eigen prestaties worden verbeterd. Zulke samenwerking tussen ondernemingen vergt echter een vlotte en steeds voortdurende uitwisseling van informatie (Ploos van Amstel, et al., 2001).

De mate van prestatieverbetering is sterk afhankelijk van de informatie-uitwisseling tussen de verschillende leden van de logistieke keten (Ploos van Amstel, et al., 2001). De laatste jaren is zowel de kwaliteit als de kwantiteit van het delen van informatie in de logistieke keten sterk toegenomen, vooral door technologische ontwikkelingen. Hiermee dient verder gewerkt te worden om het bullwhip effect tegen te gaan (Croson, et al., 2005).

In deze verhandeling staan twee belangrijke onderzoeken voorop. Chen, Drezner, Ryan & Simchi-Levi (2000) laten zien hoe het centraliseren van informatie het bullwhip effect tegengaat. Informatiecentralisatie is een speciale vorm van informatie-uitwisseling waarbij kleinhandelaars hun verkopen onmiddellijk naar de rest van de logistieke keten communiceren.

Kim, Chatfield, Harrison & Hayya (2006) geven uitdrukkingen om het bullwhip effect te kwantificeren, zowel met informatie-uitwisseling als zonder informatie-uitwisseling. Deze auteurs tonen eveneens aan dat het bullwhip effect wordt verminderd wanneer informatie wordt gedeeld in de logistieke keten.

1.3.2 Deelvragen

Om aan de complexiteit van de probleemstelling tegemoet te komen wordt gekozen om de centrale onderzoeksvraag onder te verdelen naar deelvragen. Op die manier kan een vollediger antwoord geformuleerd worden op de centrale onderzoeksvraag.

Deelvraag 1:

'Wat kan er in de literatuur worden teruggevonden over het bullwhip effect en informatie-uitwisseling?'

Vooraleer een fenomeen kan bestudeerd worden, dient de definiëring duidelijk te zijn. De oorzaken, gevolgen en potentiële oplossingen aangereikt in de literatuur worden verder uitgediept. Hierbij zal bijzondere aandacht uitgaan naar informatie-uitwisseling.

Deelvraag 2:

'Kan het bestaan van het bullwhip effect aangetoond worden aan de hand van kwantificerende modellen?'

Aan de hand van theoretische/wiskundige modellen dient te worden aangetoond dat in een logistieke keten effectief kan gesproken worden van het bullwhip effect. Twee modellen zullen hiervoor worden uitgewerkt, waarbij de verschillen tussen beide

modellen worden toegelicht en het bewijs voor de aanwezigheid van het bullwhip effect zal worden geleverd.

Deelvraag 3:

'Kan er worden aangetoond dat het delen van informatie in de logistieke keten bijdraagt tot een vermindering van het bullwhip effect?'

De relevantie van informatie-uitwisseling om het bullwhip effect tegen te gaan, dient te worden aangetoond. Hiervoor zullen theoretische/wiskundige modellen gebruikt worden, met de inbreng van het delen van informatie over de consumentenvraag.

Deelvraag 4:

'Wat is de invloed van verschillende voorspellingstechnieken van de vraag op het bullwhip effect?'

Ten slotte zullen een reeks van voorspellingstechnieken worden verkend onder verschillende vraagprocessen, en zal geïllustreerd worden hoe het afstemmen van de parameters resulteert in het bullwhip effect.

1.4 Methodologie

Het eerste deel van het onderzoek zal bestaan uit uitvoerige literatuurstudies. Aan de hand van deze wetenschappelijke publicaties wordt geprobeerd een antwoord te vinden op de eerste deelvraag. Het is de bedoeling om eerst op een algemene manier naar de betreffende problematiek te kijken en niet meteen in te gaan op bedrijfsspecifieke problemen.

Hierna wordt op zoek gegaan naar modellen die het mogelijk maken om het bullwhip effect te kwantificeren. Hiermee wordt vervolgens verder gegaan om het bewijs te leveren van de positieve invloed van informatie-uitwisseling op het bullwhip effect. Als laatste wordt er aan de hand van een spreadsheet simulatie van Boute & Lambrecht (2007) enkele voorspellingstechnieken - die aan de basis van het bullwhip effect liggen -

verkend. Door het veranderen van bepaalde variabelen proberen we de impact van verschillende parameters na te gaan.

2 Het bullwhip effect

Het bullwhip effect in de logistieke keten is een gekend fenomeen dat sinds lange tijd op diverse wijzen benoemd, gedefinieerd en onderzocht wordt (Boute, et al. (2007); Dejonckheere, Disney, Lambrecht, & Towill, 2003). Moyaux et al. (2007) definieert het bullwhip effect als een versterking van de variabiliteit van de orderhoeveelheden die worden geplaatst door diverse organisaties in de logistieke keten, waardoor de producent van ruwe materialen meer veranderlijke en onvoorspelbare orderhoeveelheden ontvangt dan bijvoorbeeld de kleinhandelaar verder in de logistieke keten. Sucky (2008) beschrijft het fenomeen als de toename van de variabiliteit van de orders opwaarts in de logistieke keten.

In dergelijke ketens zijn de consumenten verantwoordelijk voor de vraag naar producten bij de laatste onderneming stroomafwaarts (=kleinhandel) in de keten, maar de productvraag voor de stroomopwaartse ondernemingen is afhankelijk van de andere ondernemingen in de stroomafwaartse keten. Vraagverstoringen zoals seizoensschommelingen en voorspellingsfouten vergroten doorheen de keten als er verder verwijderd wordt van de consumentenvraag en creëren het bullwhip effect (Metters, 1997).

Ondernemingen trachten de toename van variabiliteit tegen te gaan omdat het de efficiëntie van de logistieke keten vermindert (Moyaux et al., 2007). Bij grote schommelingen in de vraag naar het eindproduct is het moeilijk in te schatten hoeveel productiecapaciteit nodig is, hoeveel transport gepland moet worden, en hoeveel voorraad aangehouden moet worden. De producent verkiest een stabiele, constante productie en geeft de voorkeur aan een minder variabel bestelpatroon van de klanten. De klant is echter minder geneigd om het bestelpatroon af te vlakken, aangezien hierbij moet worden voorzien in een grotere veiligheidsvoorraad die alle schommelingen in de consumentenvraag kan opvangen. Een conflict ontstaat tussen producent en klant waarbij de producent afgevlakte bestellingen wenst en de klant hier weigerachtig tegenover staat vermits de hogere kost die het impliceert om te voorzien in een hogere voorraad (Boute, 2006).

Het belang van een goede logistiek kan niet onderschat worden. De logistiek heeft namelijk een grote invloed op de bedrijfsvoering en de economische positie van een organisatie, en daarmee op haar concurrentiepositie (Verwoerd, 2006). Een goede

logistiek maakt het mogelijk om tegen lagere kosten werkzaam te zijn en de winst te vergroten (Christopher, 2005).

In dit hoofdstuk worden eerst het concept van de logistieke keten en supply chain management kort verduidelijkt, om vervolgens de relatie met het bullwhip effect in de praktijk toe te lichten aan de hand van een voorbeeld. De algemene gevolgen en oorzaken van het bullwhip effect worden besproken om te komen tot de oplossingen aangereikt in de literatuur.

2.1 De logistieke keten onder invloed van supply chain management

De logistieke keten is een aaneenschakeling van onafhankelijke partijen waarbij het begin gesitueerd kan worden bij het inwinnen van grondstoffen en via de toeleveranciers, de fabrikanten en de (detail)handel verder loopt naar de eindgebruikers. Deze logistieke keten varieert in praktijk in complexiteit, afhankelijk van het aantal betrokken partijen. Tussen deze schakels worden drie belangrijke stromen onderscheiden: de goederenstroom, de informatiestroom en de financiële stroom (Robben, et al., 1999). Logistieke ketens zijn distributiesystemen en krijgen te maken met fluctuaties in de stroom doorheen de keten. De bijzonder belangrijke synergie tussen de goederen- en de informatiestroom zal verder uitgebreid onder de aandacht worden gebracht. Hierbij is het belangrijk de rol van de informatiestroom nader te bestuderen.

Het management van logistieke ketens, beter bekend als supply chain management, kent verschillende definities. Volgens de definiëring van Robben et al. (1999) dient het management van een logistieke keten de onafhankelijke klanten en leveranciers te verbinden als ware het één enkele entiteit, met het gemeenschappelijke doel om waarde te creëren en verspilling te reduceren. Dit alles dient te worden gerealiseerd door de vrijwillige coördinatie van de doelen en activiteiten van alle organisaties in de keten. Simchi-Levi et al. (2000, in Moyaux, et al., 2007) hebben het over een set van technieken die wordt gebruikt om de keten van leveranciers, producenten, groothandelaars en kleinhandelaars op efficiënte wijze te integreren. Zodat de goederen worden gedistribueerd in de juiste hoeveelheden, naar de juiste locaties en op de juiste tijdstippen om zowel de kosten te minimaliseren als de klanten tevreden te houden.

De samenwerking tussen verschillende partijen in de logistieke keten is van strategische aard. De traditionele leverancier-klantrelatie dient opgewaardeerd te worden naar een langtermijn partnership. De samenwerking dient zich te richten op alle aspecten van de bedrijfsvoering, in het bijzonder op de marketing, de logistiek en de administratieve afhandeling. Supply chain management gaat echter verder dan het vormen van uitsluitend onderlinge partnerships. Het is onvoldoende een samenwerking te creëren tussen twee opeenvolgende schakels. Alle partijen in de keten dienen met elkaar samen te werken over de logistieke keten heen, bijvoorbeeld een kleinhandelaar die ook relaties onderhoudt met de toeleverancier van de fabrikant (Robben, et al., 1999).

Aan de basis van supply chain management ligt het delen van informatie met de ketenpartners. Hierdoor kunnen gezamenlijk activiteiten worden gepland om de logistieke keten efficiënter te maken en om optimalisaties en innovaties te laten plaatsvinden (Van Der Vorst, 2006).

2.2 Het bullwhip effect in praktijk: een voorbeeld

Onderstaand voorbeeld verduidelijkt het bullwhip effect aan de hand van een eenvoudige logistieke keten. Indien er onvoldoende aandacht wordt geschonken aan de optimalisatie van de logistieke keten, zullen de leden het bullwhip effect ervaren in de eigen organisatie. Hierbij wordt eveneens het belang van een goede logistieke keten aangetoond (supra), alsook de waarde van het management ervan.

Dit eenvoudige voorbeeld van De Vaan (2001) gaat uit van een fabrikant van computerchips, die levert aan een assemblagebedrijf, dewelke levert aan een pc-fabrikant. De afnemers doen enkel bestellingen bij hun leveranciers op basis van twee factoren: de voorraad en de geplande productie.

Figuur 2.1: Voorbeeld bullwhip effect

	Chip fabricage	→	Chip assemblage	→	PC-fabriek
Periode					
1					Voorraad 120 Vraag 100
			Voorraad 120		Over 20
			Vraag 100	←	Productie 100
2	Voorraad 120		Over 20		Voorraad 120
	Vraag 100	←	Productie 100		Vraag 120
	Over 20		Voorraad 120		Over 0
	Productie 100		Vraag 140	←	Productie 140
3	Voorraad 120		Over -20		Voorraad 140
	Vraag 190	←	Productie 190		Vraag 100
	Over -70		Voorraad 170		Over 40
	Productie 300		Vraag 80	←	Productie 80
4	Voorraad 230		Over 90		Voorraad 120
	Vraag 10	←	Productie 10		
	Over 220				
	Productie 0				

Bron: De Vaan, 2005: pp. 72

In de eerste periode lijkt de keten in een stabiele situatie te verkeren. Elk lid van de keten produceert 100 eenheden en houdt een veiligheidsvoorraad aan van 20 eenheden. De verstoring doet zich voor vanaf periode twee bij een verhoogde vraag (van 100 naar 120 eenheden) bij de pc-fabrikant. Deze laatste is nu door zijn voorraad heen en gaat 140 eenheden produceren om enerzijds aan de hogere vraag van 120 te voldoen en anderzijds om zijn veiligheidsvoorraad terug op peil te brengen. Voor de chip assemblage betekent dit eveneens een hogere vraag van 140 eenheden in de tweede periode. De veiligheidsvoorraad moet hierdoor worden aangesproken en er is zelfs sprake van een tekort van 20 eenheden. Om die reden wordt de chipsassemblage in de derde periode verhoogd: 140 voor de verhoogde vraag, 20 voor het tekort en 30 voor een nieuwe, hogere veiligheidsvoorraad. Hetzelfde fenomeen zet zich voort naar de chipsfabricage. die door de hoge vraag van de chips assemblage een tekort van 70 eenheden heeft. De chips fabrikant dient te produceren aan een hoog tempo om dit tekort te kunnen

opvangen. 300 eenheden dienen te worden geproduceerd: 70 voor het tekort, 190 voor aan de vraag te voldoen en 40 voor de gewenste veiligheidsvoorraad.

Uit dit eenvoudige voorbeeld kan opgemerkt worden dat een licht stijgende vraag bij de eindafnemer, leidt tot een steeds sterker stijgende vraag stroomopwaarts in de logistieke keten. Het effect bij een stijgende vraag heeft reeds een enorme impact, doch het effect kan verergeren indien de vraag vervolgens zou dalen. Bovenstaand voorbeeld geeft dit aan in de derde periode wanneer de vraag naar pc's terugvalt tot zijn oorspronkelijke niveau van 100 eenheden. Hierbij zal de productie bij de chip fabricage stilvallen, terwijl deze in de vorige periode nog overwerkte.

Hoewel het besproken voorbeeld niet gelijk kan gesteld worden aan de complexiteit van de praktijk, toont het duidelijk de drastische gevolgen aan van het bullwhip effect.

2.3 Gevolgen, oorzaken en potentiële oplossingen van het bullwhip effect

Het bullwhip effect wordt in onderzoek ontleed tot oorzaken en gevolgen. Niettegenstaande wordt ook aandacht besteed aan verschillende uitgangspunten om het effect tegen te gaan (Lee, et al., 1997a; Moyaux, et al., 2007; Robben, et al., 1999; Sucky, 2008).

2.3.1 Gevolgen en geïnstigeerde dilemma's

De gevolgen van het bullwhip effect kunnen zich voordoen in verschillende aspecten van de logistieke keten. De gevolgen zijn niet eenduidig op te tekenen noch continu van aard. Volgens Lee et al. (1997a) zijn zes gevolgen te benoemen: te hoog voorraadniveau, een beperkte klantenservice, verloren opbrengsten, een vertekende capaciteitsplanning, een ineffectief transport en gemiste productieschema's.

Organisaties hebben hoge voorraden nodig om zich te beschermen tegen variaties in de vraag naar hun producten. De belangrijkste nadelen van het aanhouden van (te hoge) voorraden zijn de kosten die dit met zich meebrengt en de veroudering die plaatsvindt in de tijd dat de producten op voorraad liggen (Robben, et al., 1999). Een reden om de voorraden laag te willen houden ligt in de efficiëntieverbeteringen van alle partijen in de keten. De concurrentie wordt zwaarder en daardoor wordt de noodzaak om

voorraadkosten laag te houden steeds belangrijker. Voorraden voegen in principe immers geen waarde toe en zijn dus een vorm van verspilling. Echter, als gevolg van het grilliger wordende consumentengedrag is het moeilijker de vraag te voorspellen. De traditionele manier om met deze vraagonzekerheid om te gaan is, steeds grotere veiligheidsvoorraden aan te houden (Robben, et al., 1999).

Samenvattend kan worden gesteld dat enerzijds omwille van kosten en veroudering voorraden laag gehouden moeten worden terwijl anderzijds de moeilijk voorspelbare vraag aanleiding geeft tot hogere voorraden. Een bevredigende uitweg is moeilijk en brengt voor de organisaties in de logistieke keten de nodige keuzes met zich mee. Supply chain management en in het bijzonder de zogenaamde ketenomkering bieden een nieuwe oplossing voor het geïnstigeerde dilemma (Robben, et al., 1999).

Het voorraadniveau en de klantenservice hangen nauw samen. Klantenservice betekent dat gezorgd moet worden dat de klantenorders volledig, nauwkeurig, in goede conditie, en binnen het vereiste tijdschema worden afgeleverd. Om de klantenservice te verzekeren houden ondernemingen de voorraad voldoende groot, wat een ongewenste en dure aangelegenheid is (Laureys, 2007). Een tekort aan voorraad heeft als kostprijs de verloren omzet en winst, de prijs om de productie- en distributieprocessen te versnellen om het verlies in te halen en ten slotte het verlies aan goodwill bij de klanten (Sox, 2001).

Variabiliteit in de vraag en bijgevolg het productiesysteem heeft een grote invloed op de capaciteitsplanning. Slack et al. (2004) beschrijven dat het bieden van de mogelijkheid om aan de huidige en toekomstige vraag naar producten te kunnen voldoen, een belangrijke verantwoordelijkheid is. Een juiste afstemming van de capaciteit op de vraag, kan resulteren in grote winsten. Te veel capaciteit zorgt voor een lagere bezetting van de capaciteit en leidt tot hogere kosten per eenheid product. Bij te weinig capaciteit, worden klanten niet goed bediend. Een onjuiste afstemming kan een groot potentieel gevaar zijn voor de onderneming.

In de logistieke keten is sprake van een trade off tussen de productie en het transport. Voor een vlotte stroom van goederen doorheen de logistieke keten, zouden elke periode leveringen moeten gebeuren indien nodig. Dit zorgt waarschijnlijk voor niet volledig volle ladingen bij het transport, wat niet optimaal is voor de kost per voertuig. Omgekeerd wanneer met volle ladingen wordt gewerkt, worden de transportkosten gereduceerd. Het groeperen gebeurt in de meeste logistieke ketens, omdat elke ketenpartner de rationale

keuze maakt om de zichtbare kosten te minimaliseren. Dit geeft evenwel aanleiding tot het bullwhip effect (Disney, Potter, & Gardner, 2003).

De variabiliteit in de vraag zorgt voor een moeilijkere capaciteitsplanning. Onverwachte vraagsveranderingen kunnen zorgen dat de planning snel nog wijzigingen moet ondergaan. De productiemiddelen zijn evenwel niet altijd adaptief, wat kan leiden tot gemiste productieschema's met de bijhorende kosten en verloren opbrengsten tot gevolg (Chase, et al., 2006).

De besproken gevolgen van het bullwhip effect brengen mogelijk extra kosten met zich mee die de leden van de logistieke keten willen trachten te minimaliseren. Om dit te realiseren is het belangrijk te weten wat aan de basis van het bullwhip effect ligt en hoe dit aan te pakken.

2.3.2 Oorzaken en potentiële oplossingen

De oorzaken van het bullwhip effect kunnen verschillen afhankelijk van het uitgangspunt van waaruit de onderzoeker vertrekt. Volgens Lee et al. (1997a, in Anupindi, et al., 1999; in Boute, 2006; in Sucky, 2008) kan een indeling worden gemaakt in vier, soms vijf, hoofdoorzaken: de onjuiste updates van voorspellingen van de vraag, de aankopen in batches, prijsfluctuaties, de rantsoenering en tot slot de lead time. Deze oorzaken zijn onderling afhankelijk en kunnen elkaar mogelijk versterken (Sucky, 2008). Bij elke oorzaak wordt in een potentiële oplossing voorzien.

2.3.2.1 *Onjuiste updates van voorspellingen*

Wanneer door de betrokken partijen in de logistieke keten voorspellingen worden gemaakt op basis van historische informatie van de vraag is er sprake van 'onjuiste updates van voorspellingen'. Dergelijke voorspellingen zijn meestal imperfect, waardoor elk lid van de keten zich moet aanpassen in het geval van fluctuaties. Ondernemingen zullen door deze onjuiste update van de voorspelling meer of minder bestellen dan noodzakelijk. Door het grote verschil tussen de voorspelde en werkelijke vraag ontstaan met andere woorden grote variaties in ordergrootte. Deze variaties in ordergrootte zullen zich mogelijk verder zetten doorheen de logistieke keten.

Een oplossing tegen het maken van onjuiste voorspellingen is het uitwisselen van informatie. Elke klant voorziet zijn leverancier van meer volledige up-to-date informatie, zodat deze zijn voorspellingen kan verbeteren. Op die manier kunnen de voorspelde en werkelijke vraag dichter bij gebracht worden en grote variaties in ordergrootte verlaagd worden.

2.3.2.2 *Aankopen in batches*

Organisaties trachten voordeel te halen door een aankoop in batches door te voeren. Het groeperen van bestellingen waarbij de bestel- en transportkosten tot een minimum worden herleid, zorgt echter voor fluctuaties. Om van schaalvoordelen te kunnen genieten worden orders geplaatst kleiner of groter dan de eigenlijke gewenste hoeveelheid.

Een oplossing om dergelijke aankoop in batches en dus fluctuaties tegen te gaan vormen de internettechnologieën of EDI (*Electronic Data Interchange*). Met dergelijke technologieën zijn meer frequente bestellingen mogelijk en dit in kleinere hoeveelheden. Eveneens door de bestel- en verzendingskosten te verminderen zou het probleem kunnen tegengegaan worden (Boute, 2006).

2.3.2.3 *Prijsfluctuaties*

Klanten worden als het ware gedwongen om grote hoeveelheden aan te kopen door interessante aanbiedingen, zoals prijs- en hoeveelheidkortingen. Het resulterende aankooppatroon komt niet meer overeen met de werkelijke behoeften, waardoor er bij een gebrek aan vraag van het product een overbodig grote voorraad ontstaat.

Een mogelijke oplossing voor dergelijke tijdelijke prijs- en hoeveelheidkortingen is het invoeren van *Every Day Low Pricing* (EDLP). Hierbij worden kortingen en andere prijspromoties geweerd en wordt er gebruik gemaakt van een constante lage prijs.

2.3.2.4 *Rantsoenering*

Wanneer gevreesd wordt dat de vraag groter is dan de aanwezige voorraad van bepaalde producten bij een leverancier, wordt meer besteld dan nodig om eventuele tekorten te vermijden. Er wordt immers verwacht/gehoopt minder te ontvangen dan er feitelijk is besteld.

Om dergelijk rantsoeneringgedrag op te lossen, zouden leveranciers, in geval van een te grote vraag, beter de beschikbare producten moeten alloceren op basis van de orderhoeveelheden van hun klanten in het verleden.

2.3.2.5 *Lead time*

De lead time bestaat uit twee componenten: de fysieke vertragingen en de vertragingen van de nodige informatie. Deze lead time is een cruciale parameter voor het berekenen van de veiligheidsvoorraad, het bestelpunt en de ordergrootte. Een toenemende lead time kan volgens Lee et al. (1997b, in Boute, 2006) zorgen voor een verdere vergroting van de verhoging van de variabiliteit van de orderhoeveelheden.

Om de vertraging van de informatie te reduceren kunnen communicatietechnologieën, zoals EDI (*Electronic Data Interchange*) waarbij data elektronisch wordt uitgewisseld, een oplossing bieden. De fysieke vertragingen kunnen worden aangepakt met investeringen in de productie- en procesttechnologie, strategische samenwerking met de andere leden van de logistieke keten of door intermediairs in de keten te verwijderen.

2.3.2.6 *Andere oorzaken*

Naast deze vijf 'bekende' hoofdoorzaken worden in de literatuur andere oorzaken voor het bullwhip effect besproken.

Sterman (1989, in Moyaux, et al., 2007) verklaarde dat een fout inzicht van feedback een mogelijke oorzaak kan zijn, omdat individuen niet steeds in staat zijn de hele dynamiek van de logistieke keten te begrijpen. De inkomende orders worden bijvoorbeeld verkeerd beoordeeld waardoor bestellingen worden getemperd terwijl de bestellingen eigenlijk verhoogd zouden moeten worden, omdat de vraag is toegenomen.

Oorzaken voor het bullwhip effect kunnen ook eigen zijn aan het menselijk gedrag. Het gedrag van voorraadmanagers is niet altijd rationeel. Het is mogelijk dat er overgereageerd wordt op veranderingen in de vraag. Managers zijn als mens cognitief beperkt in het aantal factoren waar tegelijkertijd rekening mee gehouden kan worden. Dit speelt in het nadeel bij het nemen van beslissingen, aangezien het netwerk van logistieke ketens vaak complex is en de aanwezige informatie beperkt (Boute, 2006).

Volgens Taylor (1999, in Moyaux, et al., 2007) kunnen variaties in de betrouwbaarheid van machines en output, en variatie in de procesbekwaamheid en bijhorende productkwaliteit ook aan de basis van het bullwhip effect liggen. In deze gevallen worden de productieproblemen vergroot van het ene werkstation naar het andere. Dit brengt onzekerheid met zich mee, wat het gedrag van de organisatie kan beïnvloeden en de manier waarop er orders worden geplaatst veranderen.

Andere auteurs duiden op het feit dat organisaties eigen winst proberen te maximaliseren, zonder rekening te houden met de invloed van hun beslissingen op de andere leden in de logistieke keten. Bepaalde van dergelijke technieken kunnen het bullwhip effect veroorzaken (Kahn, 1987 en Naish, 1994, in Moyaux, et al, 2007).

2.4 Besluit

Het bullwhip effect is de toename van de variabiliteit van de orderhoeveelheden opwaarts in de logistieke keten (Sucky, 2008). Ondernemingen trachten deze toename van de variabiliteit tegen te gaan omdat het de efficiëntie van de logistieke keten vermindert (Moyaux, et al., 2007).

Het is belangrijk om voldoende aandacht aan de logistieke keten en zijn leden te schenken. De logistiek heeft namelijk een grote invloed op de bedrijfsvoering en de economische positie van een organisatie (Verwoerd, 2006). Supply chain management speelt hierbij een centrale rol, het kan worden gezien als een cruciale voorwaarde voor een goed werkende logistieke keten. Aan de basis hiervan ligt een goede samenwerking tussen de verschillende ketenpartners, niet enkel tussen aaneenliggende schakels, maar over de hele keten heen met als gemeenschappelijk doel om waarde te creëren. Om een goede samenwerking mogelijk te maken moet informatie worden uitgewisseld om activiteiten op elkaar af te stemmen.

Volgens Lee et al. (1997a) is sprake van zes gevolgen bij het bullwhip effect: te hoge voorraadniveaus, een beperkte klantenservice, verloren opbrengsten, een vertekende capaciteitsplanning, een ineffectief transport en gemiste productieschema's. Deze gevolgen brengen potentieel extra kosten met zich mee die de leden van de logistieke keten willen trachten te minimaliseren. De gevolgen van het bullwhip effect zijn ook van die aard dat ze zelf dilemma's opwekken. Zo staan lage voorraadniveaus en een goede klantenservice recht tegenover elkaar. Voor het reduceren van het bullwhip effect en het tegengaan van die dilemma's is verschillende soorten informatie van elkaar nodig.

Aan de basis van het bullwhip effect liggen volgens Lee et al. (1997a) vier, soms vijf, oorzaken: onjuiste updates van voorspellingen van de vraag, aankopen in batches, prijsfluctuaties, rantsoenering en de lead time. De oorzaken kunnen zeer divers zijn, maar komen vooral neer op het nemen van ongeïnformeerde (onjuiste updates), ondoordachte (rantsoeneringen) of noodgedwongen (prijsfluctuaties, aankoop in batches) beslissingen.

De oplossingen die worden aangeboden voor de diverse oorzaken komen terug op het belang van informatie (maken van voorspellingen op basis van complete up-to-date informatie, internettoepassingen, toewijzen op basis van informatie van vroegere bestellingen, enz.). Hoewel het bullwhip effect nooit volledig uitgesloten zal kunnen worden, kan het daarentegen wel aanzienlijk worden gereduceerd, met name door het uitwisselen van informatie (Moyaux, et al., 2007). Op dit thema wensen wij dieper in te gaan.

3 Informatie-uitwisseling

De prestatie van de gehele logistieke keten kan verbeterd worden door het uitwisselen van informatie tussen de leden. Dergelijke uitwisseling zorgt voor de vermindering van een aantal onzekerheden betreffende de andere leden. Dit bevordert de algemene samenwerking. Een verbeterde coöperatie kan het negatieve effect van het bullwhip effect op de logistieke keten helpen reduceren en zorgen voor een beter evenwicht (Zhenxin, Hong & Cheng, 2001).

In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de informatie en zijn uitwisseling. Eerst bespreken we de aard van de informatie die tussen ondernemingen gedeeld kan worden. We gaan verder met de methodes om deze informatie uit te wisselen om vervolgens te kijken naar hoe deze informatie gecommuniceerd kan worden.

3.1 De aard van informatie

De informatie die de leden van de logistieke keten met elkaar moeten delen om correcte beslissingen te nemen, is afhankelijk van de aard van informatie die noodzakelijk is. De aard van informatie kan ingedeeld worden naar het *niveau* en het *type* van informatie. Bij het niveau van de informatie is het belangrijk stil te staan bij de termijn waarvoor de informatie en dus de te nemen beslissing zal gelden. De verschillende types van informatie hebben elk een specifieke instrumentele waarde en hebben eigen voordelen ten aanzien van het bullwhip effect. Ten slotte is het cruciaal stil te staan bij de kwaliteit van de informatie.

3.1.1 Niveau van informatie

3.1.1.1 Strategische informatie

Informatie van strategische aard is kennis over de gezamenlijke inrichting van een logistieke keten en de verdeling van de taken en verantwoordelijkheden tussen de verschillende partijen ervan. De afstemming geldt voor lange termijn en gebeurt aan de hand van individuele en ketenprestatie indicatoren, zoals betrouwbaarheid, kosten en klantentevredenheid. Het accent bij deze strategische afstemmingen ligt op het

herontwerp van de keten, de besluitvorming over investeringen aangaande capaciteit en middelen en planningsystemen en synchronisatie van processen binnen de logistieke keten (Van der Ham, Rustenburg & Verduijn, 2001).

3.1.1.2 Tactische informatie

De uitwisseling van informatie die invloed heeft op de toewijzing en inzet van de beschikbare capaciteit en middelen over perioden van enkele weken tot een jaar is van een tactisch niveau. Door een betere synchronisatie van orders en processen kan de onzekerheid en de fluctuatie in de vraag naar producten en de behoefte aan capaciteit worden verminderd. Het accent bij deze tactische afstemmingen ligt op de huidige capaciteitsbehoefte en –aanbod, de optimalisatie van de planning en het effectief gebruik van informatie (Van Der Ham, et al., 2002).

3.1.1.3 Operationele informatie

Informatie van het operationele niveau wordt ingezet voor de planning en voortgang van logistieke activiteiten van de verschillende ketenpartijen. Enerzijds wordt getracht de planning voor de uitvoering van de bedrijfsoverschrijdende logistieke processen op voorhand op elkaar af te stemmen. Anderzijds wordt ingespeeld op de mogelijke veranderingen tijdens de uitvoering van deze processen, waarbij de vooraf gemaakte planning bijgestuurd moet worden. Na de uitvoering vindt een evaluatie plaats van wat vooraf gepland is en uiteindelijk behaald of nog mogelijk te behalen is (Van Der Ham, et al., 2002).

3.1.2 Type van informatie

3.1.2.1 Planning- en orderinformatie

Planninginformatie, inclusief voorspellingen van de toekomstige productievraag, en informatie in verband met de orders, behoren tot de elementaire informatie uit de logistieke keten. Informatie met betrekking tot de planning en de orders zijn bepalend voor de vraag naar producten in een bepaalde organisatie. De gegevens die hiervoor van

belang zijn: de ordergrootte, het aantal orders mogelijk per productierun en de datum waarop de producten moeten geleverd worden (Timmer, 2006).

Voordelen van dit type informatie: zoals eerder besproken kunnen verkeerde voorspellingen omtrent de vraag naar producten, gemaakt aan de hand van binnenkomende bestellingen van toeleveranciers, het bullwhip effect veroorzaken. De productie sluit immers niet aan bij de werkelijke vraag naar de eindproducten. Een oplossing hiervoor is het uitwisselen van gegevens van de daadwerkelijke verkopen aan het einde van de logistieke keten aan de andere partijen. Op basis daarvan kan een betrouwbare planning gemaakt worden voor de verwachte vraag (Timmer, 2006).

Lee, So en Tang (2000, in Timmer, 2006) kwamen tot de conclusie dat het delen van vraaginformatie tussen toeleveranciers en producenten werkelijk voordelen inhoudt. De toeleveranciers zijn in de mogelijkheid hun voorraad te verkleinen en kosten te besparen. De toeleverancier kan een lagere veiligheidsvoorraad voorzien, omdat de productie nu voortdurend kan worden aangepast aan de te verwachten orders van de producent. Indien eveneens informatie over de voorraden wordt gedeeld, zal ook de producent de veiligheidsvoorraad kunnen verkleinen. Deze voordelen en besparingen zijn het grootst indien de vraag zeer fluctuerend en de lead time groot is.

3.1.2.2 Voorraadinformatie

De voorraadinformatie betreft enerzijds de aanwezige hoeveelheid producten om de toekomstige vraag op te vangen en anderzijds de maximale hoeveelheid producten die opgeslagen kan worden. Allerlei informatie wordt bijgehouden: over de hoeveelheid eindproducten, producten in bewerking en producten die nog geleverd moeten worden. Ook informatie over bijhorende kosten en voorraadpolitiek is nuttig (Timmer, 2006).

Het voordeel van dergelijke voorraadinformatie treedt op indien de voorraadniveaus van de producent bekend zijn bij zijn toeleveranciers, aangezien zo de totale voorraadkosten van de logistieke keten verminderd kunnen worden. Als producent en toeleverancier beiden onafhankelijk de voorraad op peil moeten houden, kan dit mogelijk zorgen dat in dezelfde logistieke keten twee keer een extra hoeveelheid voorraad (veiligheidsvoorraad) opgeslagen wordt, om te voorkomen dat een onderdelentekort ontstaat. Door gezamenlijk de voorraadniveaus te beheren kan de veiligheidsvoorraad aanzienlijk verkleind worden en dit vooral bij de producent (Timmer, 2006).

3.1.2.3 *Procesinformatie*

Procesinformatie die uitgewisseld kan worden betreft lead time, kosten en kwaliteit. De lead time is de tijd die plaatsvindt tussen het ontvangen van een order en het leveren van de bestelde producten. De proceskosten bestaan uit kosten die gemaakt worden in het productieproces. Het delen van dergelijke gegevens kan echter voor problemen zorgen vanwege de gevoeligheid van de informatie. Overigens kunnen nog gegevens uitgewisseld worden over de kwaliteit van het proces (Timmer, 2006).

Het voordeel van de uitwisseling van lead time gegevens tussen producent en toeleverancier is de bijdrage die deze informatie kan leveren tot de bestrijding van het bullwhip effect. Des te langer de lead time en groter de variatie in de lead time, des te kleiner het voordeel dat behaald kan worden met de uitwisseling van dergelijke informatie. Met behulp van kwaliteitsgegevens is het mogelijk voor producenten en toeleveranciers de machines zo op elkaar afstemmen dat specificaties beter bij elkaar aansluiten en de kwaliteit van het product verbetert. De behaalde kwaliteitswinst is voor de toeleverancier zowel als de producent, aangezien beide de producten met een hogere kwaliteit kunnen verkopen (Timmer, 2006).

3.1.2.4 *Productinformatie*

Productinformatie betreft de kennis van de belangrijkste eigenschappen van het product en zijn componenten. Deze informatie is meestal terug te vinden in de bill-of-materials (BOM) en is van nut voor de planning (Timmer, 2006).

Het voordeel van productinformatie is dat door het uitwisselen van de bill-of-materials bij de ontwikkeling van een nieuw product, het voor de toeleveranciers mogelijk wordt om de subcomponenten van meerdere eindproducten (van de toeleverancier) te standaardiseren, wat mogelijks een afname in de voorraadkosten bij de toeleveranciers met zich meebrengt. De producenten kunnen voordeel halen uit het doorspelen van de BOM aan de eigen toeleveranciers. Indien de toeleveranciers in staat zijn om gestandaardiseerde producten te maken, is het soms mogelijk om deze pas op het laatste moment - voordat de producent ze gebruikt in het productieproces - aan te passen. Bijvoorbeeld kan gedacht worden aan een toeleverancier die twee versies van een GPS systeem levert aan een autofabrikant. De toeleverancier levert één type GPS die door de autofabrikant zowel gebruikt kan worden als standaard GPS als luxe GPS. Op

deze wijze hoeft de autofabrikant slechts één type GPS op voorraad te hebben, terwijl de toeleverancier twee producten aanbiedt met elk een eigen verkoopprijs (Timmer, 2006).

3.1.3 Kwaliteit van de informatie

De eisen die aan de informatievoorziening binnen een logistieke keten worden gesteld kunnen sterk verschillen. In sommige gevallen is de tijdigheid van informatie de cruciale factor en dient de gehele informatiehuishouding gericht te zijn op een continue uitwisseling van gegevens. In een ander geval ligt de nadruk op volledigheid, omdat activiteiten pas kunnen worden uitgevoerd als alle informatie beschikbaar is. Enkele belangrijke aandachtspunten van kwaliteit zijn:

- Juistheid: komt de informatie overeen met de werkelijkheid, is ze betrouwbaar, nauwkeurig en relevant?;
- Tijdigheid: is de informatie op het juiste moment ontvangen?;
- Volledigheid: is de informatie volledig en heeft het alle delen in zich die voor het doel waarvoor de informatie wordt verstrekt, van belang zijn?;
- Bestemming: komt de informatie bij de goede persoon/afdeling terecht? (Van Der Ham, et al., 2002).

3.2 Methodes van informatie-uitwisseling

3.2.1 Simple/éénzijdige informatie-uitwisseling

Bij een simple informatie-uitwisseling is sprake van één-op-één relaties en gebeurt de uitwisseling van informatie op basis van transacties (Timmer, 2006). De informatie wordt ter beschikking gesteld voor de verbetering van de logistieke planning bij de partners in de keten. Concreet wordt het proces per schakel van de keten afzonderlijk op operationeel, tactisch en strategisch niveau geoptimaliseerd. Elke schakel in de keten ontvangt informatie van een andere schakel, maar koppelt deze resultaten van het planningsproces niet terug. Productie- of transportinformatie wordt naar de volgende schakel in de keten gestuurd. Elke schakel kiest afzonderlijk welke informatie al dan niet wordt gedeeld met de volgende/vorige schakel. Informatie wordt gedeeld als deze ervoor kan zorgen dat de volgende/vorige schakel hierdoor beter kan plannen. Een betere

prestatie van de volgende/vorige schakel door betere planning heeft namelijk een positief effect op de schakel zelf. Het accent ligt hierbij op het delen van planning- en transportinformatie en het optimaliseren van de eigen planning (Van Der Ham, et al., 2002).

Hier is specifiek sprake van gedecentraliseerde controle. De voorraden op de verschillende plaatsen in de logistieke keten worden onafhankelijk gecontroleerd. Waarbij geen sprake is van informatie-uitwisseling of ordercoördinatie tussen de leden. De leden nemen de voorraadbeslissingen op basis van eigen voorspellingen. De kleinhandelaar houdt rekening met de vraaginformatie van de klanten en de producent met de orderinformatie van de kleinhandelaar (Zhenxin, et al., 2001).

3.2.2 Formulated/bilaterale informatie-uitwisseling

Bij een formulated informatie-uitwisseling vindt frequenter samenwerking plaats in de logistieke keten. De informatie uitgewisseld met de ketenpartners zorgt dat elk de eigen planning kan verbeteren en beter kan afstemmen op de planning van anderen. Zowel op het operationeel, tactisch en strategisch niveau. De planning van de ene schakel beïnvloedt de planning van de andere schakel. Dit iteratief proces heeft als doel een zo optimale planning te bereiken voor beide schakels (Van Der Ham, et al., 2002). De producent geeft aan de toeleveranciers een aantal parameters met prioriteiten of formules. De toeleveranciers kunnen deze gebruiken bij het maken van voorspellingen, bij het voorraadbeheer en zelfs bij de productie. De verantwoordelijkheid voor het aanvullen van de voorraad van de producenten verschuift op die manier grotendeels naar de toeleveranciers (Timmer, 2006).

Hier kan specifiek gesproken worden van gecoördineerde controle. De aangrenzende voorraden worden gecoördineerd door het delen van orderinformatie. De producent beschikt over de orderinformatie van klanten en kleinhandelaars. Op basis hiervan zal de voorraadbeslissing genomen worden (Zhenxin, et al., 2001).

3.2.3 Gemodelleerde/geïntegreerde samenwerking

Bij een gemodelleerde samenwerking worden het gezamenlijk plannen of het zeer frequent afstemmen van de planning zodanig georganiseerd dat processen beter op

elkaar aansluiten. De informatie wordt niet gestuurd tussen verschillende schakels, maar wordt geïntegreerd. Dit betekent dat de planning automatisch wordt geoptimaliseerd en wijzigingen in het operationele proces (productie en transport) direct zichtbaar zijn voor alle schakels in de keten. De capaciteitstoedeling en planning kunnen hierop direct worden aangepast. Dergelijk niveau van informatie-uitwisseling vereist een hoge mate van automatisering (Van Der Ham, et al., 2002). Een virtueel model van elkaars organisatie dient bekend te zijn, opdat de producenten inzicht krijgen in bepaalde aspecten van de toeleveranciers, zoals de voorraad, orders en capaciteit. De toeleveranciers krijgen informatie over het productieproces bij de producenten. Het is belangrijk dat deze informatie op elk moment opgevraagd kan worden en met een kleine responsietijd (Timmer, 2006).

Hier kan gesproken worden van een gecentraliseerde controle. Frequent wordt hiervoor EDI (Electronic Data Interchange) gebruikt, om te zorgen dat alle leden op een gesynchroniseerde manier over dezelfde, noodzakelijke informatie kunnen beschikken. De producent beslist mee over de voorraadbeslissing bij de kleinhandelaar en is niet enkel afhankelijk van de orderinformatie van de deze laatste, maar kan rechtstreeks een beroep doen op de klantvraag (Zhenxin, et al., 2001).

3.3 Communiceren van de informatie

Om optimaal informatie uit te wisselen is het aangewezen dat de verschillende leden van de logistieke keten op dezelfde wijze communiceren.

3.3.1 Electronic Data Interchange (EDI)

Electronic Data Interchange is een bekende methode waarbij organisaties op gestandaardiseerde wijze bedrijfsdocumenten kunnen uitwisselen. Bij EDI wordt gebruik gemaakt van een directe link tussen de computersystemen van de verschillende betrokken ondernemingen. Een voordeel van dit systeem is dat het ondersteuning biedt voor samenwerking met andere systemen. Enkele nadelen aan dergelijk systeem zijn ten eerste de hoge kostprijs wat het systeem ongeschikt maakt voor vele kleine en middelgrote organisaties. En ten tweede is er niet altijd sprake van standaardisering

tussen de verschillende systemen en aanpassingen aan de benodigde functionaliteit van de logistieke keten (Timmer, 2006).

3.3.2 Internettechnologieën

De communicatie tussen verschillende ondernemingen via webtechnologieën zijn al een tijd aanwezig. Deze zijn relatief goedkoop en gemakkelijk te implementeren. Recent zijn ondernemingen dan ook begonnen met gebruik te maken van de kracht van het internet om meer effectief met elkaar te communiceren. Deze gaan verder dan enkel de gestandaardiseerde informatie-uitwisseling bij EDI. Internettechnologieën bieden niets dat vroeger onmogelijk was. Meestal gaat het gewoon om een applicatie die gebruik maakt van een internettoegankelijke programma-interface. Deze zorgen wel voor een makkelijkere implementatie, minder ontwikkelingskosten en verhogen de kans op interoperabiliteit tussen de systemen (Cutting-Decelle, et al., 2007).

Deze internetgebaseerde informatiesystemen worden meestal onder de noemer Supply Chain Integration (SCI) geplaatst. Hoewel ook EDI en zelfs de telefoon en de fax methodes blijven om de logistieke keten te integreren. Het kan hier echter een oplossing bieden voor organisaties die te maken hebben met gefragmenteerde logistieke ketens, waar gestandaardiseerde connectiviteit met zijn partners moeilijk is. Internettechnologieën kunnen dus helpen om de efficiëntie van de logistieke keten te verbeteren (Cutting-Decelle, et al., 2007).

3.4 Besluit

Het uiteindelijke doel van het delen van informatie is het verbeteren van de prestatie van de hele logistieke keten en helpen bij het reduceren/eliminieren van het bullwhip effect.

De uitwisseling van dergelijke informatie vergt wel enige samenwerking tussen de ketenpartners in de logistieke keten. De planning van de ene schakel beïnvloedt namelijk de planning van een andere schakel en een optimale planning kan dan ook niet worden bereikt zonder rekening te houden met elkaar.

Getracht wordt dat alle leden van de keten op een gesynchroniseerde manier over dezelfde, noodzakelijke informatie kunnen beschikken om zo de voorraad- en orderbeslissingen op elkaar af te stemmen.

Later wordt hier dieper op ingegaan. In het volgende hoofdstuk zal eerst het bewijs geleverd worden van het bestaan van het bullwhip effect in de logistieke keten.

4 Kwantitatieve modellering van het bullwhip effect

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van theoretische/wiskundige modellen de aanwezigheid van het bullwhip effect in een logistieke keten aangetoond.

Eerst wordt een korte bespreking gegeven van een gelijkaardig onderzoek, om daarna de literatuur van dit onderzoek in verband met de bewijslevering van het kwantificeren van het bullwhip effect te verduidelijken. Vervolgens zullen twee modellen uitgewerkt worden, waarbij de verschillen tussen beide modellen worden toegelicht en het bewijs voor de aanwezigheid van het bullwhip effect zal worden geleverd. Het hoofdstuk wordt afgesloten met de interpretatie van de besproken modellen en bevindingen.

4.1 Aanleiding naar de modellen

Chen, Drezner, Ryan & Simchi-Levi (2000) en Kim et al. (2006) maken gebruik van een statistische methode om het bullwhip effect te kwantificeren. Met deze methode wordt het bewijs geleverd van enkele belangrijke inzichten, zoals het feit dat het bullwhip effect wordt veroorzaakt door de nood om vraagvoorspellingen te maken. Deze bewijslevering van Chen et al. (2000) en Kim et al. (2006) inspireerde dit onderzoek en daarvoor zal dieper op deze modellen worden ingegaan.

In dit hoofdstuk wordt getracht het bullwhip effect te kwantificeren in een logistieke keten met twee leden. Hiervoor dient de variabiliteit van de orderhoeveelheden, geplaatst door de kleinhandelaar bij de producent, relatief te worden bepaald ten opzichte van de variabiliteit van de consumentenvraag, waarmee de kleinhandelaar te maken heeft (Chen, et al., 2000).

We zullen hier niet dieper ingaan op de achterliggende bewijzen en gebruikte veronderstellingen. Voor de volledige theoretisch achtergrond wordt verwezen naar de auteurs (Chen, et al., 2000) en (Kim, et al., 2006).

4.2 Model voor logistieke keten met twee partners

Hier wordt vertrokken vanuit een simpele logistieke keten bestaande uit twee partners: de producent en de kleinhandelaar.

Figuur 4.1: Logistieke keten met 2 partners



4.2.1 Voorraadpolitiek van de kleinhandelaar

De kleinhandelaar volgt een order-up-to voorraadpolitiek, waarbij in elke periode dat de voorraad onder een bepaald niveau is gedaald, deze terug op peil wordt gebracht met een nieuw order.

Dergelijke politiek is optimaal in de zin dat de bewaarkosten en de kosten van een voorraadtekort worden geminimaliseerd (Dejonckheere, et al., 2003).

Chen et al. (2000) en Kim et al. (2006) gebruiken een licht verschillende manier om het order-up-to voorraadmiveau te schatten.

Er worden gelijkaardige notaties aan die van Chen et al. (2000) en Kim et al. (2006) gebruikt. Hoewel sommige symbolen zijn aangepast om de vergelijkbaarheid te vergroten.

Verder werken we ook met tijdsperiodes die worden aangeduid door t , met $t = 1, 2, \dots$.

Het order-up-to voorraadmiveau S_t wordt op de volgende manier geschat:

(Chen, et al., 2000)	(Kim, et al., 2006)
$S_t = \hat{D}_t^L + z \cdot \hat{\sigma}_{et}^L \quad (1a)$	$S_t = \bar{X}_t + z \cdot s_t(X) \quad (1b)$

met \hat{D}_t^L en \bar{X}_t allebei schattingen van de lead time demand, dit wil zeggen dat de voorspelde vraag tijdens de lead time L , z is een standaard normale variabele om de veiligheidsvoorraad een gewenst serviceniveau te laten bieden en $\hat{\sigma}_{et}^L$ en $s_t(X)$ zijn schattingen van de standaardafwijking van de voorspellingsfouten tijdens de lead time.

Gebaseerd op de observaties van de vraag D_t in de vorige p periodes geeft dit het volgende:

(Chen, et al., 2000)	(Kim, et al., 2006)
$\hat{D}_t^L = L * (\sum_{i=1}^p D_{t-i} / p) = L * \bar{D}_t$ <p>en</p> $\hat{\sigma}_{et}^L = C_{L,\beta} \sqrt{ (\sum_{i=1}^p (e_{t-i})^2 / p)}$ <p>met e_t is de forecast error ($D_t - D_t^L$) over één periode en $C_{L,\beta}$ is een constante functie van L, β en p. β is de correlatieparameter in het vraagproces.</p> <p>\hat{D}_t^L is een voorspelling van de vraag tijdens de lead time en $\hat{\sigma}_{et}^L$ is de standaardafwijking hiervan.</p> <p>Hier wordt gebruik gemaakt van het 'moving average' van de consumentenvraag en deze wordt vermenigvuldigd met de lead time.</p>	$\bar{X}_t = (\sum_{j=0}^{L-1} \sum_{i=1}^p D_{t-i+j} / p)$ <p>en</p> $s_t^2(X) = \frac{1}{p-1} \sum_{t=1}^p (X_t - \bar{X}_t)^2$ <p>met $X_t = \sum_{j=0}^{L-1} D_{t+j}$.</p> <p>$\hat{D}_t^L$ is een voorspelling van de vraag tijdens de lead time en $s_t^2(X)$ is de variantie hiervan.</p> <p>Hier wordt gebruik gemaakt van het gemiddelde van de consumentenvraag tijdens de lead time.</p>

Bij Chen et al. (2000) wordt de lead-time demand D_t^L geschat aan de hand van de vermenigvuldiging van de lead time en de voorspelde vraag in de vorige periode, dus expliciet multiplicatief. Terwijl auteurs Kim et al. (2006) \bar{X}_t schatten aan de hand van de historische observaties van D_t^L wat dus impliciet additief is.

Bij Chen et al. (2000) wordt met andere woorden gebruik gemaakt van een one-period-ahead voorspelling, terwijl Kim et al. (2006) gebruik maken van een L-period-ahead voorspelling (Boute, et al., 2007).

Hoewel beide voorspellingen van de vraag tijdens de lead time verschillen en verschillende standaardafwijkingen hanteren, bestaat tussen beide het volgende verband: $\sigma_e^L = c \cdot s(X)$, waarbij de constante $c \geq 1$.

4.2.2 Bewijs van het bestaan van het bullwhip effect

Om het bullwhip effect te kwantificeren wordt de variantie van de orderhoeveelheid van de kleinhandelaar aan de producent vergeleken met de variantie van de vraag waarmee de kleinhandelaar wordt geconfronteerd.

Beide auteurs starten hier vanuit dezelfde vergelijking. De orderhoeveelheid O_t wordt beschouwd als:

(Chen, et al., 2000)

$$O_t = S_t - S_{t-1} + D_{t-1}$$

Indien vergelijking (1a) hier wordt ingevuld:

$$O_t = \hat{D}_t^L - \hat{D}_{t-1}^L + z(\hat{\sigma}_{et}^L - \hat{\sigma}_{e,t-1}^L) + D_{t-1}$$

Transformeren:

$$O_t = \frac{L}{p}(D_{t-1} - D_{t-p-1}) + z(\hat{\sigma}_{et}^L - \hat{\sigma}_{e,t-1}^L) + D_{t-1}$$

$$O_t = (1 + L/p)D_{t-1} - (L/p)D_{t-p-1} +$$

$$z(\hat{\sigma}_{et}^L - \hat{\sigma}_{e,t-1}^L)$$

Hieruit volgt:

$$\begin{aligned} \text{Var}(O_t) &= (1 + \frac{L}{p})^2 \text{Var}(D_{t-1}) - 2(\frac{L}{p})(1 + \frac{L}{p}) \\ &\text{Cov}(D_{t-1}, D_{t-p-1}) + (\frac{L}{p})^2 \text{Var}(D_{t-p-1}) + z^2 \text{Var}(\hat{\sigma}_{et}^L \\ &- \hat{\sigma}_{e,t-1}^L) + 2z(1 + \frac{2L}{p}) \text{Cov}(D_{t-1}, \hat{\sigma}_{et}^L - \hat{\sigma}_{e,t-1}^L). \end{aligned}$$

(Kim, et al., 2006)

$$O_t = S_t - S_{t-1} + D_{t-1}$$

Indien vergelijking (1b) hier wordt ingevuld:

$$O_t = (\bar{X}_t - \bar{X}_{t-1}) + z[s_t(X) - s_{t-1}(X)] + D_{t-1}$$

Transformeren:

$$O_t = \frac{1}{p}(X_{t-1} - X_{t-p-1}) + D_{t-1} + z[s_t(X) - s_{t-1}(X)]$$

Hieruit volgt:

$$\begin{aligned} \text{Var}(O_t) &= \text{Var}(D_{t-1}) + (\frac{1}{p})^2 \text{Var}(X_{t-1}) + \\ &(\frac{1}{p})^2 \text{Var}(X_{t-1-p}) + z^2 \text{Var}[s_t(X) - s_{t-1}(X)] + \\ &\frac{2}{p} \text{Cov}(D_{t-1}, X_{t-1}) - \frac{2}{p} \text{Cov}(D_{t-1}, X_{t-1-p}) + \\ &2z \text{Cov}([s_t(X) - s_{t-1}(X)], D_{t-1}) - 2(\frac{1}{p})^2 \text{Cov}(X_{t-} \end{aligned}$$

Dus:

$$\begin{aligned} \text{Var}(O_t) &= \text{Var}(D)[1 + (\frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2})(1 - \beta^p)] + \\ &2z(1 + \frac{2L}{p})\text{Cov}(D_{t-1}, \hat{\sigma}_{e,t}^L - \hat{\sigma}_{e,t-1}^L) + \\ &z^2\text{Var}(\hat{\sigma}_{e,t}^L - \hat{\sigma}_{e,t-1}^L) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ z\text{Cov}(X_{t-1-p}, [s_t(X) - s_{t-1}(X)]) - \\ &2z\frac{1}{p}\text{Cov}(X_{t-1-p}, [s_t(X) - s_{t-1}(X)]) \end{aligned}$$

Dus:

$$\begin{aligned} \text{Var}(O_t) &= \text{Var}(D)[1 + \frac{z}{p}\{(1 - \beta^{p-L+1})(1 - \beta^L) \\ &/ (1 - \beta^2)(1 - \beta)\} * \frac{2}{p^2}\{L / (1 - \beta^2) - (2\beta(1 - \\ &\beta) + 2\beta^2(1 - \beta^{L-1}) + \beta^{\beta-L+1}(1 - \beta^L)^2)\}] + \\ &2z\text{Cov}(D_{t-1}, [s_t(X) - s_{t-1}(X)]) + \frac{4z}{p}\text{Cov}(X_{t-1-} \\ &_p, [s_t(X) - s_{t-1}(X)]) + z^2\text{Var}(s_t(X) - s_{t-1}(X)) \end{aligned}$$

Stellen nu $z = 0$ om de formules te vereenvoudigen, vervolgens:

(Chen, et al., 2000)

$$\text{Var}(O_t) = \text{Var}(D)[1 + (\frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2})(1 - \beta^p)]$$

Hier kan opgemaakt worden dat:

$$\frac{\text{Var}(O)}{\text{Var}(D)} \geq 1 + (\frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2})(1 - \beta^p) \quad (2a)$$

(Kim, et al., 2006)

$$\begin{aligned} \text{Var}(O_t) &= \text{Var}(D)[1 + \frac{z}{p}\{(1 - \beta^{p-L+1})(1 - \beta^L) \\ &/ (1 - \beta^2)(1 - \beta)\} * \frac{2}{p^2}\{L / (1 - \beta^2) - (2\beta(1 - \\ &\beta) + 2\beta^2(1 - \beta^{L-1}) + \beta^{\beta-L+1}(1 - \beta^L)^2)\}] \quad (2b) \end{aligned}$$

Stellen nu ook $\beta = 0$ om de formules nog verder te vereenvoudigen, vervolgens:

(Chen, et al., 2000)

$$\text{Var}(O_t) = \text{Var}(D)[1 + \frac{2}{p} + \frac{2L^2}{p^2}]$$

(Kim, et al., 2006)

$$\text{Var}(O_t) = \text{Var}(D)[1 + \frac{2}{p} + \frac{2L^2}{p^2}]$$

Hieruit kan opgemaakt worden dat:

$$\frac{Var(O)}{Var(D)} \geq 1 + \frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2} \quad (3a)$$

Hieruit kan opgemaakt worden dat:

$$\frac{Var(O)}{Var(D)} \geq 1 + \frac{2}{p} + \frac{2L}{p^2} \quad (3b)$$

4.3 Besluit

In de vergelijkingen (2a,3a) en (2b,3b) kan duidelijk vastgesteld worden dat de variabiliteit van de orderhoeveelheden toeneemt opwaarts in de logistieke keten en dat er sprake is van de aanwezigheid van het bullwhip effect.

In dit twee-partner model kan geconcludeerd worden dat de variantie van de orderhoeveelheden steeds groter is dan de variantie van de consumentenvraag.

Het bullwhip effect wordt veroorzaakt door de nood om vraagvoorspellingen te maken. Deze voorspellingen creëren variabiliteit in het order-up-to voorraadniveau en dus in de orderhoeveelheden. Deze liggen hiermee aan de basis van het bullwhip effect. Hoe beter deze voorspellingen, hoe kleiner het bullwhip effect.

Indien de werkelijke vraag in elke periode gekend zou zijn, zou het order-up-to voorraadniveau constant blijven en zou in elke periode een order worden doorgevoerd dat gelijk is aan de laatst geobserveerde consumentenvraag. Hierbij zou idealiter geen sprake zijn van het bullwhip effect. In bijlage 1 worden de exacte formules voor het kwantificeren van het bullwhip effect voor de standaard order-up-to voorraadpolitiek nog eens samengevat.

Indien dieper wordt ingaan op de vergelijkingen (2a,2b) kan vastgesteld worden dat het bullwhip effect wordt beïnvloed door drie parameters: het aantal periodes p , de lead time L en de correlatieparameter β .

Hier kan worden vastgesteld dat het bullwhip effect een dalende functie is van het aantal periodes p waarvan de informatie wordt gebruikt. Wanneer p zeer groot is, zou de toename in variabiliteit verwaarloosbaar zijn. Indien p echter klein is kan een aanzienlijke toename in variabiliteit optreden. Hier kan dan ook gesteld worden dat: des te beter de vraagvoorspellingen, des te kleiner de toename in variabiliteit.

Verder is het bullwhip effect een stijgende functie van de lead time L . De correlatieparameter β kan eveneens een invloed hebben op de variabiliteit, zoals te zien is in vergelijking (2a,2b). Bij een positieve correlatie kan vastgesteld worden dat: des te groter β , des te kleiner de toename in variabiliteit. Bij een negatieve correlatie is de beïnvloeding onduidelijk, omdat deze in twee richtingen kan gebeuren.

In het volgende hoofdstuk wordt met deze modellen getracht het gunstig effect van informatie-uitwisseling aan te tonen. Vooral het delen van informatie over de consumentenvraag in de logistieke keten krijgt hierbij aandacht.

5 Het belang van informatie-uitwisseling tussen ketenpartners

In dit hoofdstuk wordt getracht de relevantie van informatie-uitwisseling aan te tonen om het bullwhip tegen te gaan. En dit aan de hand van gelijkaardige theoretische/wiskundige modellen uit het voorgaande hoofdstuk. Hierbij zal gebruik gemaakt worden van het delen van de informatie over de consumentenvraag.

Eén van de meest aangehaalde suggesties om het bullwhip effect tegen te gaan is namelijk het centraliseren van de informatie, betreffende de vraag naar producten, in de logistieke keten. Dit betekent dat alle ketenpartners over complete informatie van de vraag naar producten beschikken.

Elke schakel in de keten kan deze vraaginformatie dan gebruiken om het eigen order-up-to voorraadniveau en de orderhoeveelheid te bepalen. Deze vorm van informatie-uitwisseling kan zorgen voor een verbeterd reactievermogen van de logistieke keten en dus voor een vermindering van het bullwhip effect.

Eerst volgt een bespreking van de bestaande bevindingen in verband met dit thema. Hierna wordt verder gewerkt met het onderzoek van Kim et al. (2006), waarbij wordt aangetoond dat het centraliseren van vraaginformatie werkelijk een rol kan spelen voor de vermindering van het bullwhip effect in de logistieke keten. Getracht wordt om het bullwhip effect te kwantificeren, zowel met als zonder informatie-uitwisseling. Op het einde van dit hoofdstuk volgt eveneens de interpretatie van de bevindingen.

5.1 Literatuur met betrekking tot informatie-uitwisseling

In de literatuur wordt het belang van informatie-uitwisseling nadrukkelijk naar voren geschoven om het bullwhip effect tegen te gaan. Hier volgt een korte bespreking van de gerelateerde werken aan het hier uitgevoerde onderzoek.

De gerapporteerde voordelen van het delen van informatie in de logistieke keten variëren aanzienlijk.

Lee et al. (2000) demonstreren dat het delen van informatie de orderbeslissingen van de leveranciers kan verbeteren, wat resulteert in voorraadvermindering en in kostenbesparingen. Hierbij wordt gerapporteerd dat het delen van informatie kan zorgen voor een gemiddelde kostenbesparing in de keten van 23%. Gavirneni, Kapuscinski en

Tayur (1999) hebben het zelfs over een kostenbesparing tot 35% bij de leveranciers, indien deze de informatie over de vraag zouden delen. Cachon et al. (2000) komen daarentegen met hun simulatie tot kostenbesparingen van maximum 13%. Aviv (1998) rapporteert slechts voordelen tot 5%.

Güllü (1997) vermeldt dat het delen van informatie in een tweeledige logistieke keten resulteert in lagere order-up-to voorraadniveaus en lagere systeemkosten. Volgens Kelepouris, Miliotis & Pramataris (2008) is het delen van informatie een zeer effectieve manier om orderschommelingen en voorraadniveaus bij de hogere ketenpartners significant te verminderen.

Een opmerkelijke bevinding wordt vastgesteld door Chen, Yu & Ting (2010). De resultaten tonen aan dat het beter is om geen informatie te delen in de logistieke keten, dan het enkel delen van bepaalde, niet volledige, informatie. Zo leidt het louter delen van capaciteit- en voorraadinformatie, zonder informatie over de vraag, tot storingen en misverstanden bij de productie en draagt het bij tot een vergroting van het bullwhip effect. De producent probeert te voldoen aan de werkelijke vraag van de consument. Het beter voldoen aan deze consumentenvraag resulteert in betere beslissingen in de logistieke keten. Het delen van enkel capaciteit- en voorraadinformatie en geen vraaginformatie zou de vraagvoorspellingen, de voorraadcontrole en de productieplanning enkel misleiden.

Twee andere belangrijke voordelen van het delen van informatie is dat het bijdraagt tot het verminderen van de lead time en het verhogen van de leveringfrequentie. Door het verminderen van lotgrootten wordt de tijd en kosten om orders te verwerken aanzienlijk verminderd (Cachon, et al., 2000).

Het uitwisselen van informatie speelt verder een belangrijke rol bij het maken van vraagvoorspellingen. Indien geen informatie wordt gedeeld moet elke schakel in de logistieke keten voorspellingen genereren op basis van eigen informatie. Deze voorspellingen vormen de basis voor het doorgeven van nieuwe orders en de bijhorende ordergrootte. Door het beschikbaar maken van informatie zijn alle leden van de logistieke keten beter op de hoogte van de vraag naar producten bij hun collega's. Hierdoor zijn zij in staat om zelf betere voorspellingen van hun vraag te maken en hun voorraadpolitiek te perfectioneren (Chatfield, Kim, Harrison, & Hayya, 2004).

5.2 Aanleiding naar het model

Kim et al. (2006) tonen dat het delen van vraaginformatie het bullwhip effect aanzienlijk kan reduceren, doch dat het nooit helemaal uitgesloten kan worden. Hierop wordt dieper ingegaan in het vervolg van dit hoofdstuk.

Hier wordt enkel een synthese gegeven van de nodige formules. Voor de uitgebreide formules, achterliggende bewijzen en gebruikte veronderstellingen wordt verwezen naar de auteurs (Kim, et al., 2006).

5.3 Model voor logistieke keten met een eindig aantal partners

De logistieke keten wordt hier verder uitgebreid naar een logistieke keten met k leden.

Figuur 5.1: Logistieke keten met k leden



Hier wordt verondersteld dat elk lid in de logistieke keten over dezelfde vraaginformatie beschikt en gebruik maakt van dezelfde voorspellingsmethode. Eveneens wordt verondersteld dat allen dezelfde voorraadpolitiek, de order-up-to voorraadpolitiek, hanteren.

Met plaats 0 in de logistieke keten wordt de consument bedoeld en verder in de keten spreken we van plaats k .

De lead time is IID¹, met het gemiddelde $\mu(L)$ en de variantie $\sigma^2(L)$. De vraag is ook IID, met het gemiddelde $\mu(D)$ en de variantie $\sigma^2(D)$.

Verder gebruiken we dezelfde benamingen en symbolen als in hoofdstuk 4.

¹ IID = independently and identically distributed, d.w.z. de variabelen zijn onderling onafhankelijk en hebben dezelfde probability distribution (kansverdeling).

5.3.1 Het bullwhip effect zonder het uitwisselen van informatie

Wanneer de informatie over de klantvraag niet wordt gedeeld, wordt op plaats k in de logistieke keten gebruik gemaakt van de orderhoeveelheid op plaats k-1 (O_t^{k-1}). Het order-up-to voorraadniveau op plaats k wordt dan op de volgende manier bepaald:

$$S_t^k = Y_t(k) + z \cdot \sigma_t(Y(k)) \quad (1a)$$

$$\text{met } Y_t(k) = \sum_i^{L-1} O_{t+i}^{k-1}.$$

We gebruiken hier Y in plaats van X om te benadrukken dat de vraaginformatie niet wordt gedeeld. En dat de vraag tijdens de lead time nu bepaald wordt aan de hand van de orderhoeveelheden op de vorige plaats in de logistieke keten.

De orderhoeveelheid op plaats k wordt dan:

$$O_t^k = S_t^k - S_{t-1}^k + O_{t-1}^{k-1}$$

Indien de vergelijking (1a) hier wordt ingevuld dan krijgen we:

$$O_t^k = Y_t(k) - Y_{t-1}(k) + z[s_t(Y(k)) - s_{t-1}(Y(k))] + O_{t-1}^{k-1}$$

Transformeren:

$$O_t^k = \frac{1}{p}[Y_{t-1}(k) - Y_{t-1-p}(k)] + z[s_t(Y(k)) - s_{t-1}(Y(k))] + O_{t-1}^{k-1}$$

Hieruit volgt:

$$\begin{aligned} \text{Var}(O_t^k) &= \text{Var}(O_{t-1}^{k-1}) + \frac{1}{p^2}\text{Var}(Y_{t-1}(k)) + \frac{1}{p^2}\text{Var}(Y_{t-1-p}(k)) + z^2\text{Var}[s_t(Y(k)) - s_{t-1}(Y(k))] + \\ &\frac{2}{p}\text{Cov}[O_{t-1}^{k-1}, Y_{t-1}(k)] - \frac{2}{p}\text{Cov}[O_{t-1}^{k-1}, Y_{t-1-p}(k)] + 2z\text{Cov}[O_{t-1}^{k-1}, s_t(Y(k)) - s_{t-1}(Y(k))] - \\ &\frac{2}{p^2}\text{Cov}[Y_{t-1}(k) - Y_{t-1-p}(k)] + \frac{2z}{p}\text{Cov}[Y_{t-1}(k), s_t(Y(k)) - s_{t-1}(Y(k))] - \frac{2z}{p}\text{Cov}[Y_{t-1-p}(k), s_{t-1}(Y(k))] \end{aligned}$$

De orderhoeveelheid op plaats k kan in de logistieke keten worden benaderd met de volgende gelijkheid: Voor $k \geq 2$,

$$\begin{aligned} \text{Var}(O_t^k) &\cong \text{Var}(O_t^{k-1})\left(1 + \frac{2}{p} + \frac{2\mu(L)}{p^2}\right) + \frac{2}{p^2}\mu(D)^2\sigma(L)^2 + \mu(X)^3\left[\frac{(2z\mu(L)^{k-1})}{(p^2\sigma(X))}\right] + \left[\frac{(z^2}{\mu(L)^{k-1}}\right] / (2\sigma(X))\left[\frac{p-2}{p^3}\mu(X)^4 - \frac{2}{p^2}\sigma(X)^4\right] + \left[\frac{(z\mu(L)^{k-1})}{(p\sigma(D))}\right]\left[\mu(D)^3 - \frac{2(\mu(L)-1)}{p-1}(\mu(D))^3 + \mu(D)\sigma(D)^2\right] \end{aligned} \quad (2a)$$

Hierbij wordt vastgesteld dat de variantie van de orderhoeveelheid op plaats k in de logistieke keten kan worden benaderd met een functie van de k^{de} macht van $\mu(L)$ wanneer de vraaginformatie niet wordt gedeeld.

Stellen we nu $z = 0$ om de formule te vereenvoudigen, dan doet zich een speciale weergave voor:

$$\frac{Var(O)}{Var(O^{k-1})} \geq \left[1 + \frac{2}{p} + \frac{2\mu(L)}{p^2}\right] + \frac{2}{p^2} \mu(D)^2 \sigma^2(L)$$

5.3.2 Het bullwhip effect met uitwisseling van vraaginformatie

Met informatie-uitwisseling wordt bedoeld dat elke partner in de keten over volledige informatie betreffende de vraag beschikt. De consumentenvraag bij de laatste onderneming in de logistieke keten wordt onmiddellijk gedeeld met de andere ketenpartners. Deze informatie kan gebruikt worden om het order-up-to voorraadniveau en de orderhoeveelheid te bepalen.

Het order-up-to voorraadniveau op plaats k wordt dan:

$$S_t^k = \bar{X}_t(k) + z \cdot s_t(X(k)) \quad (1b)$$

Aangezien de vraag op plaats k de orderhoeveelheid op plaats (k-1) is, wordt de orderhoeveelheid op plaats k bepaald op de volgende manier:

$$O_t^k = S_t^k - S_{t-1}^k + O_{t-1}^{k-1}$$

Transformeren:

$$O_t^k = S_t^k - S_{t-1}^k + S_{t-1}^{k-1} - S_{t-2}^{k-1} + \dots + S_{t-k+1}^1 - S_{t-k}^1 + O_{t-k}^0$$

Aangezien plaats 0 bij de klant is, kan vastgesteld worden dat $O_{t-k}^0 = D_{t-k}$. Indien vergelijking (1b) hier dan wordt ingevuld:

$$O_t^k = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^k X_{t-1-k+i}(i) - \frac{1}{p} \sum_{i=1}^k X_{t-1-p-k+i}(i) + z \sum_{i=1}^k (S_{t-k+i}(i) - S_{t-k-1+i}(i)) + D_{t-k}$$

Hieruit volgt:

$$\begin{aligned} \text{Var}(O_t^k) = & \frac{1}{p^2} \sum_{i=1}^k \text{Var}(X_{t-1-k+i}(i)) + \frac{2}{p^2} \sum_{i < j}^k \text{Cov}[X_{t-1-k+i}(i), X_{t-1-k+j}(j)] + \frac{1}{p^2} \sum_{i=1}^k \text{Var}(X_{t-1-p-k+i}(i)) + \frac{2}{p^2} \sum_{i < j}^k \text{Cov}[X_{t-1-p-k+i}(i), X_{t-1-p-k+j}(j)] + \text{Var}(D_{t-k}) + z^2 \sum_{i=1}^k \text{Var}(s_{t-k+i}(i) - s_{t-k-1+i}(i)) + \\ & 2z^2 \sum_{i < j}^k \text{Cov}[(s_{t-k+i}(i) - s_{t-k-1+i}(i)), (s_{t-k+j}(j) - s_{t-k-1+j}(j))] - \frac{2}{p^2} \text{Cov}[\sum_{i=1}^k X_{t-1-k+i}(i), \sum_{i=1}^k X_{t-1-p-k+i}(i)] + \frac{2}{p} \text{Cov}[\sum_{i=1}^k X_{t-1-k+i}(i), D_{t-k}] + \frac{2z}{p} \text{Cov}[\sum_{i=1}^k X_{t-1-k+i}(i), \sum_{i=1}^k (s_{t-k+i}(i) - s_{t-k-1+i}(i))] - \\ & \frac{2}{p} \text{Cov}[\sum_{i=1}^k X_{t-1-p-k+i}(i), D_{t-k}] - \frac{2z}{p} \text{Cov}[\sum_{i=1}^k X_{t-1-p-k+i}(i), \sum_{i=1}^k (s_{t-k+i}(i) - s_{t-k-1+i}(i))] + 2z \text{Cov}[D_{t-k}, \sum_{i=1}^k (s_{t-k+i}(i) - s_{t-k-1+i}(i))] \end{aligned}$$

Dus:

$$\begin{aligned} \text{Var}(O_t^k) = & \sigma(D)^2 \left(1 + \frac{2}{p} + \frac{2k(k-1)}{p^2} [\mu(L) - \frac{k+1}{3}] \right) + \frac{2k}{p^2} \sigma(X)^2 + \frac{2kz}{p^2} \frac{\mu(X)^3}{\sigma(X)} + \frac{kz}{p\sigma(D)} [\mu(D)^3 - \frac{2(\mu(L)-1)}{p-1} (\mu(D))^3 \\ & + \mu(D)\sigma(D)^2] + \frac{z^2}{2} \left[\frac{p-2}{p^3} \frac{\mu(X)^4}{\sigma(X)^2} - \frac{2}{p^2} \sigma(X)^2 \right] + \frac{(k-1)z^2}{2} \left[\frac{p^2-3p+3}{p^3(p-1)} \frac{\mu(X)^4}{\sigma(X)^2} - \frac{p^2-6p+3}{p^3(p-1)} \sigma(X)^2 \right] \quad (2b) \end{aligned}$$

Stellen nu $z = 0$ om de formule te vereenvoudigen dan krijgen we:

$$\frac{\text{Var}(O)}{\text{Var}(D)} \geq \left(1 + \frac{2}{p} + \frac{2k(k-1)}{p^2} [\mu(L) - \frac{k+1}{3}] \right) + \frac{2k}{p^2} \sigma^2(X)$$

5.4 Interpretatie van de vergelijking tussen beide situaties

In vergelijking (2b) werd vastgesteld dat bij het delen van informatie de variabiliteit van de orderhoeveelheid op plaats k opwaarts in de logistieke keten vergroot op een benaderende lineaire manier in k , buiten enkele hogere ordertermen in sommige parameters.

In vergelijking (1b), zonder informatie-uitwisseling, kan een exponentiële vergroting in k worden vastgesteld. De variantie van de orderhoeveelheid op plaats k in de logistieke keten kan worden benaderd met een functie van de k^{de} macht van $\mu(L)$.

Het bullwhip effect wordt dus niet uitgesloten via het uitwisselen van vraaginformatie, maar deze informatie-uitwisseling is wel een goede manier om het bullwhip effect te verminderen. Dit wordt geïllustreerd door een grafiek in de simulatieresultaten van Kim et al. (2006) (zie Kim, et al., 2006: pp. 625).

5.4.1 Vergelijking met Chen et al. (2000) en Dejonckheere et al. (2003)

Chen et al. (2000) en Dejonckheere et al. (2003) geven een minimale grens voor de vergroting van de consumentenvraag (hier wel met deterministische lead time), deze is anders (lager) dan bij Kim et al. (2006).

- Zonder informatie-uitwisseling:

$$\frac{Var(O^k)}{Var(D)} \geq \prod_{i=1}^k \left[1 + \frac{2}{p}L_i + \frac{2}{p^2}L_i^2 \right]$$

- Met informatie-uitwisseling:

$$\frac{Var(O^k)}{Var(D)} \geq 1 + \frac{2}{p} \sum_{i=1}^k L_i + \frac{2}{p^2} \left(\sum_{i=1}^k L_i \right)^2$$

Deze twee auteurs gebruiken hier verschillende methodes van Kim et al. (2006). Deze vergelijking is dan ook meer bedoeld om nogmaals het bewijs van de positieve impact van informatie-uitwisseling op het bullwhip effect te leveren. De vergroting van de orderhoeveelheden op plaats k in de logistieke keten wordt namelijk ook hier gereduceerd door het delen van informatie.

5.5 Besluit

Hoewel het bullwhip effect niet uitgesloten wordt, kan het aanzienlijk gereduceerd worden door de uitwisseling van vraaginformatie. Ook al zou elke ketenpartner beschikken over perfecte informatie betreffende de consumentenvraag bij de kleinhandelaar, zelfs dan zal het bullwhip effect nog aanwezig zijn.

Enkel indien vraaginformatie zou worden uitgewisseld en op elke plaats in de logistieke keten het order-up-to voorraadniveau niet aangepast zou worden is de orderhoeveelheid gelijk aan de vorige vraag en is dus geen sprake van het bullwhip effect.

Hierbij kan geconcludeerd worden dat het bullwhip effect benaderend lineair toeneemt met de plaats k in de keten wanneer de vraaginformatie wordt gedeeld, maar exponentieel wanneer dit niet het geval is. De uitwisseling van vraaginformatie is dus een goede manier om het bullwhip effect tegen te gaan.

6 Simulatie van het bullwhip effect

In dit hoofdstuk wordt een simulatie met behulp van een werkblad (spreadsheet) gepresenteerd om een beter inzicht te krijgen in de order-up-to voorraadpolitiek en verschillende voorspellingstechnieken in relatie tot het bullwhip effect.

Een aantal voorspellingstechnieken worden onder verschillende vraagprocessen verkend, en geïllustreerd hoe de wijzigingen van bepaalde parameters van invloed zijn op het bullwhip effect. Niet enkel de impact op het bullwhip effect op zich wordt bestudeerd, maar tevens wordt rekening gehouden met enkele andere belangrijke aspecten, zoals de hiermee gepaard gaande kosten en het serviceniveau voor de klant.

In sectie 6.1 volgt een beschrijving van de simulatie met een voorgeprogrammeerd rekenblad. Vervolgens verduidelijken we de planning van onze simulatie. Hierna worden de betrokken simulaties uitgevoerd en de bevindingen gerapporteerd. Om te eindigen met een algemeen besluit.

6.1 Beschrijving van de spreadsheet simulatie

De gehanteerde spreadsheet werd ontwikkeld door Boute et al. (2007) en is gebaseerd op het 'Beer Distribution Game' van Sterman (1989). Bij dit model wordt uitdrukkelijk verwezen naar de eerder besproken modellen van Chen et al. (2000) en Kim et al. (2006).

Beschouw een logistieke keten met twee ketenpartners. Binnen elke periode speelt zich de volgende cyclus van drie gebeurtenissen af:

- I. De leveringen van de stroomopwaartse ketenpartner worden ontvangen en in de voorraad geplaatst.

Deze levering komt overeen met de orderhoeveelheid $O_{t-(R_p+T_p)}$ die $R_p + T_p$ periodes voordien is geplaatst. De lead time L is dus: $L = R_p + T_p$, met R_p is de inspectieperiode van de voorraad ($R_p = 1$, d.w.z. dat het voorraadhiveau elke periode wordt gecontroleerd) en T_p is de fysieke lead time.

- II. Een willekeurige consumentenvraag D_t van de stroomafwaartse ketenpartner wordt ontvangen en uitgevoerd, bij voldoende voorraad, en anders later geleverd.

De overblijvende nettovoorraad NS_t is gedefinieerd als: $NS_t = NS_{t-1} + O_{t-(Rp+Tp)} - D_t$. Een positieve NS_t biedt beschikbare producten om aan de klant te leveren, terwijl een negatieve NS_t duidt op een deel van de vraag waaraan niet onmiddellijk voldaan kan worden en dus later geleverd zal moeten worden.

III. Het voorraadniveau IP_t wordt elke Rp periodes gecontroleerd, vergeleken met het order-up-to niveau S_t en een nieuw order O_t wordt geplaatst om deze voorraad aan te vullen.

Het order-up-to niveau S_t voorziet in de voorspelde vraag gedurende de lead time D_t^L en een veiligheidsvoorraad: $S_t = D_t^L + SS$. De lead time demand D_t^L wordt op dezelfde multiplicatieve manier als bij Chen et al. (2000) bepaald ($D_t^L = L * D_t$).

Op het einde van de periode wordt een nieuw order O_t geplaatst om de voorraad aan te vullen tot het order-up-to niveau S_t : $O_t = S_t - IP_t$.

Het voorraadniveau IP_t is de som van de nettovoorraad NS_t en het aantal eenheden in de wachtkamer WIP_t : $IP_t = NS_t + WIP_t$. Met $WIP_t = WIP_{t-1} + O_{t-1} - O_{t-(Tp+Rp)}$, namelijk de bestelde, nog niet geleverde producten en/of de producten in bewerking. Een positieve nettovoorraad duidt op de aanwezigheid van beschikbare producten, terwijl een negatieve nettovoorraad verwijst naar een achterstand in de te leveren producten ('backlogged').

6.1.1 Beschrijving van de inputgegevens

De simulatie kan uitgevoerd worden met twee typen vraagprocessen.

Eenzijds kan een autoregressief vraagproces van de eerste orde (AR(1)) worden gesimuleerd:

$$D_t = \bar{D} + \rho(D_{t-1} - \bar{D}) + \varepsilon_t$$

met \bar{D} is de gemiddelde vraag en is altijd groter dan 0, ρ is de autocorrelatiecoëfficiënt en ligt altijd tussen -1 en 1. ε_t is de error term en is normaal IID¹ verdeeld.

¹ IID = independently and identically distributed, d.w.z. de variabelen zijn onderling onafhankelijk en hebben dezelfde probability distribution (kansverdeling).

Anderzijds kan men de simulatie uitvoeren voor een Independent en Identically Distributed (IID) vraagproces, dit is gelijk aan een AR(1) vraagproces met $\rho = 0$.

Dergelijke vraagprocessen worden gevolgd door vele vooraanstaande auteurs die het bullwhip effect analyseerden, zoals Chen et al. (2000), Kim et al. (2006) en Lee et al. (1997).

De fysieke lead time T_p kan gevarieerd worden, zodat met een lead time L van $T_p + 1 (=Rp)$ gesimuleerd wordt. Deze lead time is van invloed op de lead time demand D_t^L en zijn standaardafwijking σ_L . Deze standaardafwijking wordt hier echter verondersteld constant en gekend te zijn om de simulatie te simplificeren, hoewel deze assumptie niet realistisch is.

Aan de basis van de simulatie ligt de voorspelling van de vraag \hat{D}_t in de volgende periode, gemaakt in periode t . Zo is de vraag tijdens de lead time D_t^L en bijgevolg het order-up-to niveau $S_t (= L \cdot D_t + SS)$ afhankelijk van de voorspelling van deze vraag. Hiervoor dient een gepaste voorspellingstechniek gekozen te worden en de bijhorende parameters moeten worden gespecificeerd.

De veiligheidsfactor z om de veiligheidsvoorraad $SS (=z\sigma_L)$ te bepalen kan ook gevarieerd worden. Verder kunnen er kostenparameters worden bepaald (De bewaarkost C_h per eenheid per periode wanneer de nettovoorraad NS_t positief is, de backlog kost C_b per eenheid tekort wanneer de nettovoorraad NS_t negatief is en de kost C_w om het productieniveau aan te passen. Een wijziging in productieniveau doet zich voor wanneer er een orderverandering is ten opzichte van de vorige periode.). De veiligheidsfactor en de kostenparameters worden echter constant gehouden.

De simulatie-experimenten maken gebruik van de volgende basisgegevens:

Tabel 6.1: Basisgegevens simulaties

autogecorreleerde coëfficiënt	ρ	0,50
variantie voorspellingsfout	σ^2_ϵ	33,00
variantie consumentenvraag	σ^2_D	33,00
fysieke lead time	T_p	2
review periode	R_p	1
totale lead time	L	3
lead time demand	\overline{D}_L	330,00
standaardafwijking lead time demand	σ_L	9,95
veiligheidsfactor	z	1,96
aantal periodes	T_m	5,00
gladstrijkende factor	α	0,50
aanpassingsfactor	χ	1,00
bewaarkost eenheid per periode	C_h	0,50
backlog kost eenheid per periode	C_s	20,00
omstelkost eenheid per periode	C_{sw}	2,00

6.1.2 Beschrijving van de outputgegevens

De aandacht wordt gevestigd op drie belangrijke aspecten van de bedrijfsvoering: de aanwezigheid van het bullwhip effect en de voorraadwijzigingen, het niveau van de klantenservice en de bijhorende variabele kosten. De meeste nadruk wordt hier op het bullwhip effect gelegd.

Het bullwhip effect wordt op de volgende manier bepaald:

Bullwhip = variantie van de orderhoeveelheden / variantie van de consumentenvraag

Een meting groter dan één duidt op de aanwezigheid van het bullwhip effect, terwijl een meting kleiner dan één aangeeft dat de orderhoeveelheden worden afgevlakt in vergelijking met het vraagpatroon. Een meting gelijk aan één wil zeggen dat geen sprake is van een toename in variabiliteit. In deze simulatie wordt aangenomen dat de variantie van de vraag constant en gekend is. Deze veronderstelling vereenvoudigt de analyse, hoewel ze niet realistisch is.

Deze maatstaf is echter enkel in staat om de relatieve effecten weer te geven. Wanneer er volgens de maatstaf geen sprake is van het bullwhip effect wil dit niet noodzakelijk zeggen dat de potentiële oorzaken van het bullwhip effect niet aanwezig

zijn. De potentiële oorzaken van het bullwhip effect zijn dan mogelijk gewoon niet sterk genoeg om een stabiele productie teniet te doen (Cachon, et al., 2007).

Verder wordt gekeken naar de invloed op de variantie van de nettovoorraad, die op de volgende manier wordt bepaald:

$$\text{Vergroting nettovoorraad (NS}_t\text{)} = \frac{\text{variantie van NS}_t}{\text{variantie van de consumentenvraag}}$$

Des te hoger de variantie van de netto voorraad NS_t , des te groter de veiligheidsvoorraad SS zou moeten zijn om een gewenst serviceniveau aan te bieden.

Deze twee ratio's worden gekoppeld aan de informatie over de voorraadkosten, de omstelkosten van de productie, het serviceniveau geboden aan de klant en de fill rate.

Zo duidt een hoog bullwhip effect op een fluctuerend orderpatroon, wat inhoudt dat de productie regelmatig aangepast moet worden en leidt tot gemiddeld hogere productiekosten om het productieniveau aan te passen per periode. Een verhoogde voorraadvariabiliteit resulteert in hogere bewaar- en backlogkosten en dus hogere voorraadkosten.

Het serviceniveau geeft de waarschijnlijkheid weer dat aan de consumentenvraag kan worden voldaan door middel van de huidige, aanwezige voorraad. De fill rate meet de proportie van de consumentenvraag waaraan onmiddellijk kan worden voldaan met de aanwezige voorraad.

6.2 Planning van de simulatie

We hebben in hoofdstuk 4 kunnen zien dat het bullwhip effect wordt veroorzaakt door het gebruik van vraagvoorspellingen. In hoofdstuk 5 werd aangetoond dat de uitwisseling van vraaginformatie bijdraagt tot een vermindering van het bullwhip effect. We gaan hier verder op door in te gaan op de rol van diverse voorspellingstechnieken in dit hele proces.

We gaan te werk met een simulatie die ons beschikbaar werd gesteld door Boute et al. (2007). Met deze simulatie wordt de invloed van de verschillende voorspellingstechnieken verkend en gekeken naar hun relatie met het bullwhip effect. Vijf

voorspellingstechnieken worden onderzocht: 'mean demand', 'demand signal processing', 'moving average', 'exponential smoothing' en 'minimum mean squared error'.

In de volgende sectie bespreken we elke voorspellingstechniek in detail om er vervolgens twee simulaties mee uit te voeren: één met het IID vraagproces en één met het AR(1) vraagproces. Bij het AR(1) vraagproces is de autocorrelatiecoëfficiënt ingesteld op 0,50.

Eenmaal de voorspellingstechniek gekozen, worden bepaalde parameters gespecificeerd, respectievelijk χ , T_m (p) en α (wordt verduidelijkt in de volgende sectie). Bij de desbetreffende voorspellingstechniek hebben we χ gelijkgesteld aan 0,50, T_m aan 5 en α aan 0,50. Verder nemen we de oorspronkelijk ingestelde waardes van Boute et al. (2007) over, zoals weergegeven in tabel 6.1.

Na de simulatie van de voorspellingstechniek onderzoeken we ook de invloed van de bijhorende parameter afzonderlijk. Na de sectie over de voorspellingstechnieken gaan we dan achtereenvolgens in op de impact van de autocorrelatiecoëfficiënt bij het AR(1) vraagproces, de lead time en de veiligheidsvoorraad.

6.3 Simulatie-experimenten en het bullwhip effect

Hier worden verschillende parameters in de spreadsheet simulatie van Boute et al. (2007) gevarieerd, om een inzicht te krijgen op de uitwerking hiervan op het bullwhip effect en de andere maatstaven.

Eerst volgt een bespreking van de door Boute et al. (2007) gebruikte voorspellingstechnieken en hun invloed op het bullwhip effect. Bij elke voorspellingsmethode moeten bepaalde parameters worden gespecificeerd en wordt hun invloed op het bullwhip onderzocht. Daarna worden de impact van de lead time, de veiligheidsvoorraad en de autocorrelatiecoëfficiënt bij het AR(1) vraagproces nader bekeken.

6.3.1 Invloed van de voorspellingstechnieken op het bullwhip effect

Ondernemingen die in staat zijn om superieure voorspellingen te maken kunnen mogelijk een groot deel van hun vraag produceren met een uitgebalanceerde productie en goedkope logistieke diensten. Op die manier moeten de ondernemingen geen extra kosten maken voor een snellere productie en logistiek, wanneer de vraag onverwacht golft (Sethi, et al., 2005).

Organisaties die te maken krijgen met een steeds veranderende vraag en deze niet goed kunnen voorspellen, zijn genoodzaakt om occasioneel te werken met een snellere productie en de daarmee verbonden kosten. (Sethi, et al., 2005).

De partners in de logistieke keten zijn zich bewust van het belang van het maken van juiste voorspellingen omtrent de vraag van hun klanten (Sethi, et al., 2005).

Er bestaan verschillende methodes om deze vraag te voorspellen. Hier wordt gekeken naar de impact van vijf verschillende voorspellingstechnieken, in de order-up-to voorraadpolitiek, op het bullwhip effect.

6.3.1.1 'Mean demand' voorspellingen

Analytisch (Boute, et al., 2007): Dit is de meest eenvoudige voorspellingsmethode. Indien geweten is dat het vraagproces IID is, is de best mogelijke voorspelling voor de toekomstige vraag immers de gemiddelde vraag op lange termijn:

$$D_t = \bar{D}.$$

Op deze manier blijft het order-up-to point S_t van de voorraad constant:

$$S_t = L\bar{D} + SS.$$

En wordt de orderhoeveelheid:

$$O_t = S_t - (S_{t-1} + D_t) = D_t.$$

Hierbij wordt een order geplaatst waarvan de grootte gelijk is aan de waargenomen vraag.

Simulatie: De simulatie geeft ons de volgende resultaten:

Tabel 6.2: Resultaten simulatie 'mean demand' voorspellingen

	IID	AR(1)
Bullwhip effect	1,00	1,00
Vergroting nettovoorraad	2,66	5,75
Serviceniveau	98,20%	90,60%
Fill rate	99,95%	99,33%
Gemiddelde voorraadkost per periode	11,08	25,51
Gemiddelde omstelkost productie per periode	13,84	9,86

Interpretatie: Hier is geen sprake van het bullwhip effect, aangezien de variabiliteit van de geplaatste orderhoeveelheden exact gelijk is aan de variabiliteit van de consumentenvraag.

Deze bevindingen stroken echter met de realiteit. In de praktijk is namelijk geen zekerheid over het vraagproces van de consument, waardoor de vraag voorspeld moet worden en het order-up-to voorraadniveau aangepast zal worden (Boute, et al., 2007).

Bij een AR(1) vraagproces zou beter met een grotere veiligheidsvoorraad gewerkt worden, aangezien de vergroting van de nettovoorraad meer dan dubbel zo groot is dan bij het IID vraagproces. Hetzelfde blijkt ook uit de lagere cijfers van het serviceniveau en verklaart de hogere gemiddelde voorraadkosten per periode. Dit komt natuurlijk door het feit dat deze voorspellingstechniek niet gebruikelijk is bij een autogecorreleerd vraagproces.

Als het vraagproces niet kan worden gekarakteriseerd door een IID, maar beter door bijvoorbeeld een autogecorreleerd proces dan is het aan te raden om de informatie over de huidige vraag te gebruiken om de vraag in de volgende periode te voorspellen. Aangezien de distributie van de vraag meestal niet gekend is, wordt gebruik gemaakt van adaptieve voorspellingstechnieken bij de voorraad (Boute, et al., 2007).

Verder wordt gewerkt met enkele van deze adaptieve voorspellingstechnieken. Hierbij dient echter opgemerkt te worden dat het dergelijke aanpassingsprocedures zijn die aan de basis van het bullwhip liggen.

6.3.1.2 'Demand signal processing'

Analytisch (Boute, et al., 2007): Deze voorspellingstechniek houdt in dat historische informatie omtrent de vraag gebruikt wordt om de voorspellingen te verbeteren. De term werd geïntroduceerd door Lee et al. (1997a).

Op deze manier is het order-up-to voorraadniveau S_t van de voorraad niet langer constant, maar wordt aangepast als volgt:

$$S_t = S_{t-1} + \chi(D_t - D_{t-1}).$$

De orderhoeveelheid O_t wordt eveneens adaptief:

$$O_t = O_{t-1} + \chi(D_t - D_{t-1}),$$

met χ een aanpassingsfactor en een constante tussen 0 en 1.

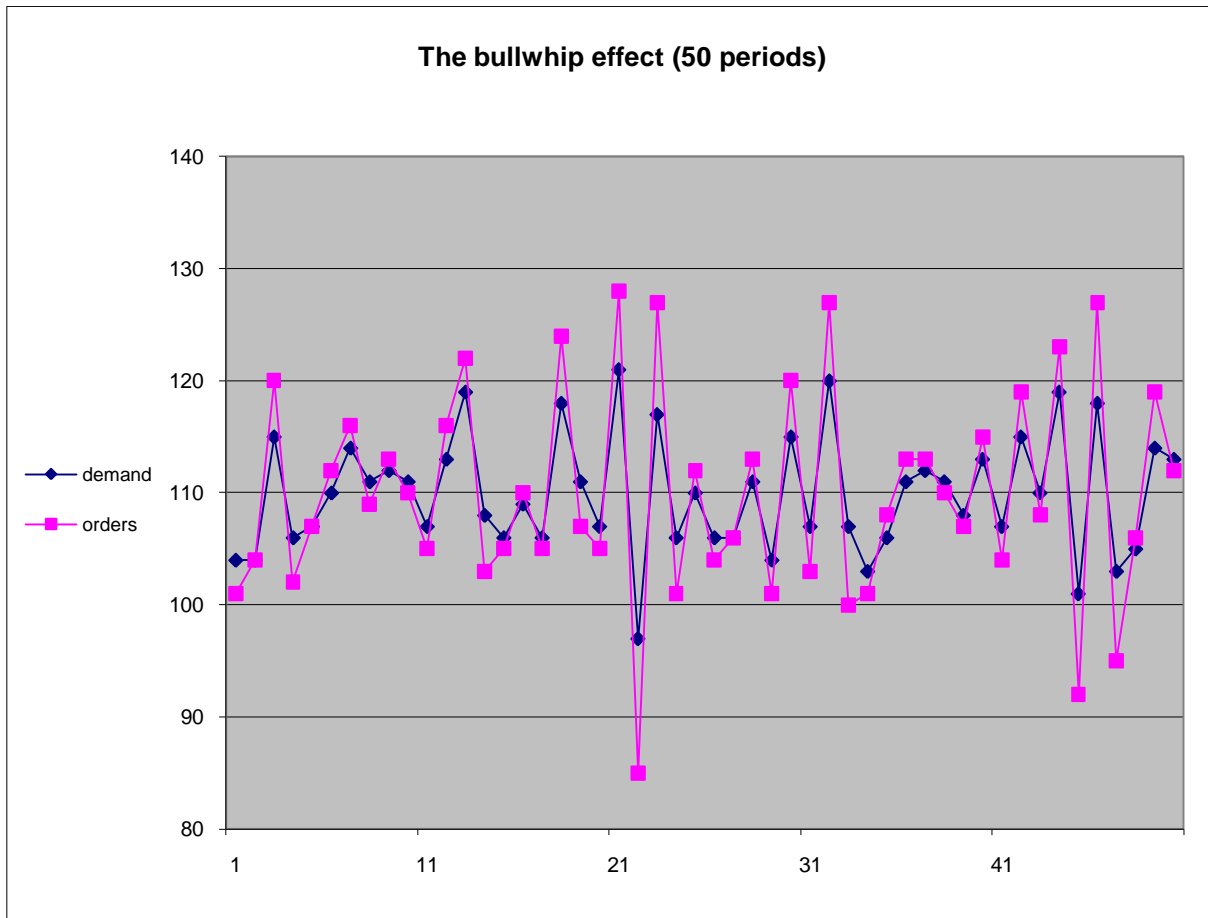
Een waarde van $\chi = 1$ wil zeggen dat de orderhoeveelheid volledig wordt aangepast aan de toename (afname) in de vraag. Zo zal een hogere vraag in een periode worden gezien als een signaal voor een hogere vraag in de toekomst. De voorspelling wordt opwaarts aangepast en zo zal bijgevolg een groter order worden geplaatst. Bij een lagere vraag gebeurt het omgekeerde.

Simulatie: De simulatie geeft ons de volgende resultaten:

Tabel 6.3: Resultaten simulatie 'demand signal processing' met $\chi = 0,50$

	IID	AR(1)
Bullwhip effect	2,50	1,78
Vergroting nettovoorraad	3,27	4,87
Serviceniveau	96,40%	94,80%
Fill rate	99,86%	99,57%
Gemiddelde voorraadkost per periode	12,52	21,00
Gemiddelde omstelkost productie per periode	23,93	18,87

Figuur 6.1: Grafiek bullwhip effect over 50 periodes (IID)



Interpretatie: Hier kan worden vastgesteld dat sprake is van het bullwhip effect in de logistieke keten wanneer de 'demand signal processing' voorspellingstechniek gebruikt wordt.

Hiervoor is een logische verklaring. Het wordt gezien als rationeel gedrag om de orderhoeveelheid te verhogen/verlagen wanneer een ongewone vraag wordt geobserveerd. Dergelijke reactie draagt bij tot het vergroten van het bullwhip effect (Boute, et al., 2007).

Als een vraagverandering enkel te wijten is aan een willekeurige fluctuatie, is de toekomstige vraag niet werkelijk hoger of lager zoals verwacht. De toekomstige orders zullen weer moeten worden aangepast om de voorraad naar hun oude niveau terug te brengen. Eerst meer/minder bestellen dan nodig en later terug minder/meer moeten

bestellen impliceert dat de orderhoeveelheden meer variabel zijn dan de vraag, wat duidt op de aanwezigheid van het bullwhip effect (Boute, et al., 2007).

Uit de cijfers en figuur 6.1 blijkt dat de consumentenvraag slechts in kleine mate afwijkt van de orderhoeveelheden. De kosten om de productieniveaus aan te passen liggen, door de aanwezigheid van het bullwhip effect, bijna dubbel zo hoog in vergelijking met de 'mean demand' voorspelling, waar geen sprake was van het bullwhip effect. De gemiddelde voorraadkosten liggen ongeveer rond hetzelfde niveau.

Bij deze voorspellingstechniek speelt de aanpassingsfactor χ een belangrijke rol. Hier wordt dan ook dieper ingegaan op de invloed van deze factor.

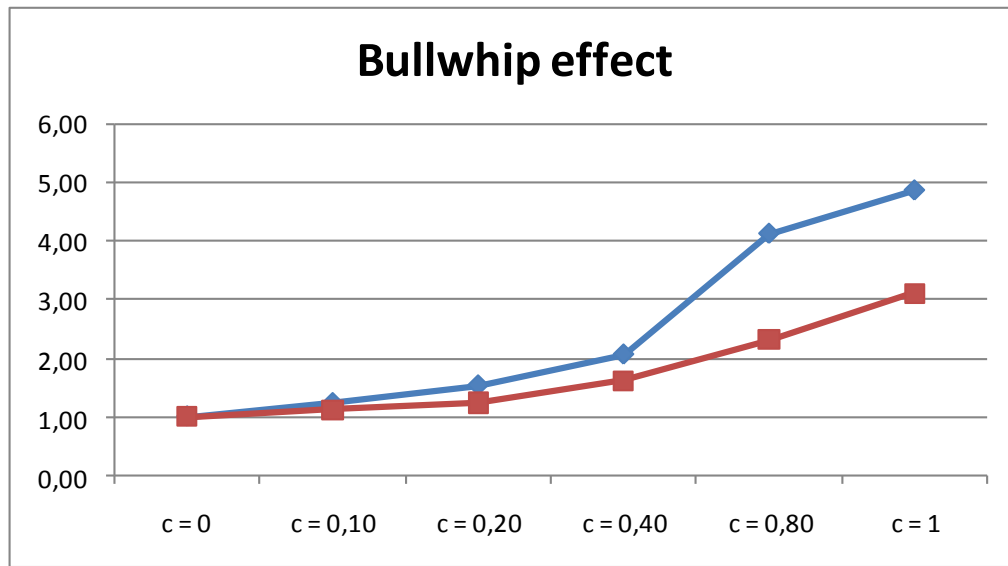
a) *Invloed van aanpassingsfactor χ bij 'demand signal processing'*

Simulatie: De simulatie geeft de volgende resultaten:

Tabel 6.4: Resultaten simulatie 'demand signal processing' in functie van χ

	$\chi = 0$		$\chi = 0,10$		$\chi = 0,20$	
	IID	AR(1)	IID	AR(1)	IID	AR(1)
Bullwhip effect	1,00	1,00	1,23	1,12	1,53	1,25
Vergroting nettovoorraad	2,83	5,32	3,24	5,13	2,74	5,11
Serviceniveau	98,00%	90,00%	97,40%	90,40%	98,20%	92,00%
Fill rate	99,94%	99,29%	99,92%	99,38%	99,94%	99,55%
Gemiddelde voorraadkost per periode	10,70	25,79	11,50	24,58	11,01	20,93
Gemiddelde wisselkost productie per periode	13,29	10,65	14,25	11,93	18,15	14,28
	$\chi = 0,40$		$\chi = 0,80$		$\chi = 1$	
	IID	AR(1)	IID	AR(1)	IID	AR(1)
Bullwhip effect	2,06	1,62	4,12	2,32	4,86	3,11
Vergroting nettovoorraad	3,27	4,79	3,65	4,68	4,16	4,83
Serviceniveau	97,80%	93,40%	97,00%	92,00%	96,40%	94,20%
Fill rate	99,91%	99,61%	99,90%	99,47%	99,83%	99,73%
Gemiddelde voorraadkost per periode	11,93	19,35	12,09	22,36	14,26	17,04
Gemiddelde wisselkost productie per periode	21,15	16,74	31,02	22,44	33,82	26,36

Figuur 6.2: Grafiek bullwhip effect in functie van χ



Legende: $\chi = c$ omwille van typografische redenen, IID = blauw en AR(1) = rood

Interpretatie: Hier kan duidelijk vastgesteld worden dat de waarde van χ meebepalend is voor de grootte van het bullwhip effect. Des te hoger de waarde van de aanpassingsfactor χ des te groter het bullwhip effect. Vanaf een waarde van 0,40 ligt de waarde van het bullwhip effect ongeveer rond de 2,00 en is dus aanzienlijk hoger dan het bullwhip effect van rond de 1,00 bij een kleine waarde van χ . Deze vergroting gebeurt minder snel bij het AR(1) vraagproces dan bij het IID proces.

Het serviceniveau ondervindt weinig invloed van χ en schommelt nauwelijks. De fill rate kent ook geen noemenswaardige veranderingen.

De gemiddelde omstelkosten van de productie per periode stijgen logischerwijs mee met het bullwhip effect. De gemiddelde voorraadkost per periode kent een verschillend verloop afhankelijk van het gebruikte vraagproces. Bij een IID vraagproces is een lichte stijging naarmate χ groter wordt. Bij het AR(1) vraagproces wordt gestart met een dubbel zo grote kost, maar wordt een dalend verloop vastgelegd. Dit verloop is ook terug te vinden bij de evolutie van de vergroting van de nettovoorraad.

6.3.1.3 'Moving average' voorspellingen

Analytisch (Boute, et al., 2007): Deze simpele methode wordt veel gebruikt wanneer niet geweten is welk type vraagproces precies voorligt. Op deze manier worden de voorspellingen voortdurend aangepast aan de nieuwste vraaginformatie (Boute, et al., 2007). Ook Chen et al. (2000) en Kim et al. (2006) maakten in hun onderzoeken gebruik van deze methode.

Deze vraagschattingen worden dan gebruikt om het adaptieve order-up-to point S_t te bepalen:

$$S_t = LD_t + SS,$$

$$\text{met } D_t = \sum_{i=1}^p D_{t-i} / p.$$

De orderhoeveelheid is niet langer constant en zal op dezelfde manier worden aangepast:

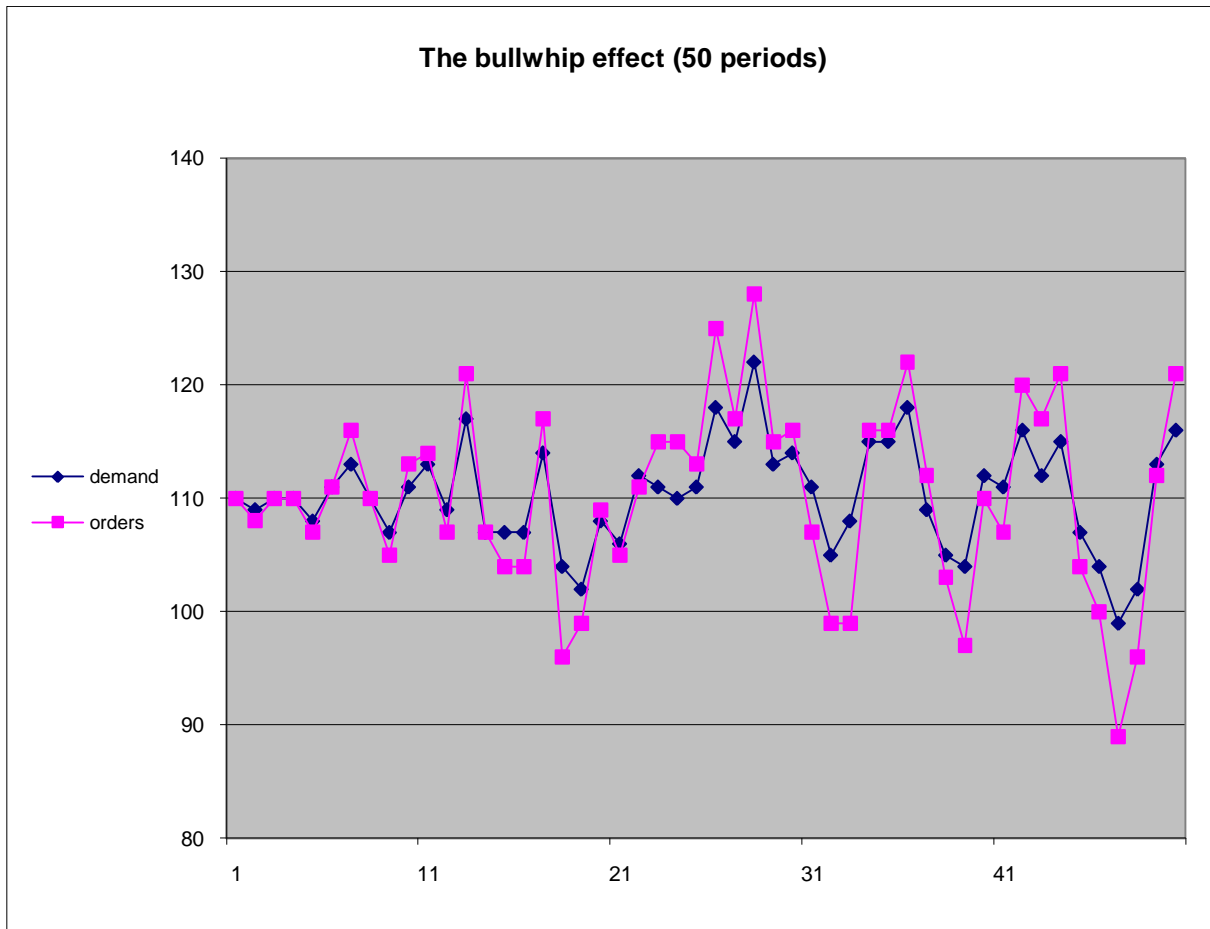
$$O_t = L^* \left(\sum_{i=1}^p D_{t-i} / p \right) + SS - (NS_t + WIP_t).$$

Simulatie: De simulatie geeft de volgende resultaten:

Tabel 6.5: Resultaten simulatie 'moving average' voorspelling met $T_m = 5$

	IID	AR(1)
Bullwhip effect	2,98	2,92
Vergroting nettovoorraad	5,26	7,42
Serviceniveau	93,40%	89,20%
Fill rate	99,63%	99,23%
Gemiddelde voorraadkost per periode	18,09	28,52
Gemiddelde omstelkost productie per periode	21,27	18,94

Figuur 6.3: Grafiek bullwhip effect over 50 periodes (AR(1))



Interpretatie: Hier kan worden vastgesteld dat sprake is van het bullwhip effect in de logistieke keten. Hier ligt het bullwhip effect hoger dan bij de vorige twee voorspellingstechnieken. Uit figuur 6.3 blijkt dat de consumentenvraag in kleine mate afwijkt van de orderhoeveelheden.

Alle andere karakteristieken liggen in lijn met het toegenomen bullwhip effect. Zo liggen het serviceniveau en de fill rate hier iets lager en stijgen de gemiddelde voorraadkosten per periode met het bullwhip effect.

Enkel bij de gemiddelde omstelkosten van de productie per periode is de verdere stijging van het bullwhip effect niet op te merken. Deze liggen namelijk op hetzelfde niveau als bij de 'demand signal processing' voorspellingstechniek.

Bij deze voorspellingsmethode speelt het aantal gebruikte periodes om de toekomstige vraag te voorspellen een belangrijke rol. Hierop wordt dieper ingegaan.

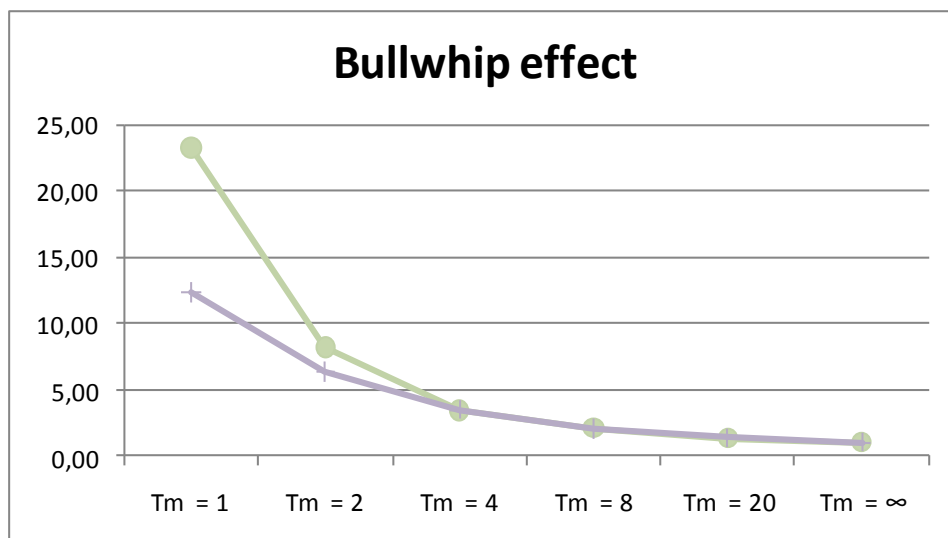
a) *Invloed van aantal periodes T_m (p)*

Simulatie: De simulatie geeft volgende resultaten:

Tabel 6.6: Resultaten simulatie 'moving average' in functie van T_m

	$T_m = 1$		$T_m = 2$		$T_m = 4$	
	IID	AR(1)	IID	AR(1)	IID	AR(1)
Bullwhip effect	23,27	12,32	8,18	6,36	3,41	3,47
Vergroting nettovoorraad	11,35	8,97	7,16	8,30	4,81	7,63
Serviceniveau	85,60%	87,00%	92,20%	88,60%	95,00%	91,60%
Fill rate	98,64%	98,74%	99,30%	98,92%	99,73%	99,29%
Gemiddelde voorraadkost per periode	40,63	40,08	25,61	35,95	15,99	27,24
Gemiddelde wisselkost productie per periode	72,98	58,30	38,84	31,80	22,67	20,39
	$T_m = 8$		$T_m = 20$		$T_m = \infty$	
	IID	AR(1)	IID	AR(1)	IID	AR(1)
Bullwhip effect	2,11	2,07	1,34	1,37	1,01	1,01
Vergroting nettovoorraad	4,10	7,32	3,36	6,84	3,09	5,37
Serviceniveau	95,60%	90,40%	97,40%	88,20%	98,60%	88,40%
Fill rate	99,80%	99,29%	99,91%	99,33%	99,96%	99,07%
Gemiddelde voorraadkost per periode	14,36	27,22	11,91	26,35	10,81	30,96
Gemiddelde wisselkost productie per periode	18,20	15,34	14,72	11,75	13,15	10,85

Figuur 6.4: Grafiek bullwhip effect in functie van T_m



Legende: IID = groen en AR(1) = blauw

Interpretatie: Hier kan duidelijk vastgesteld worden dat des te meer historische informatie wordt gebruikt des te minder sprake van het bullwhip effect.

Des te meer historische gegevens gebruikt worden, des te meer de resultaten evolueren naar de 'mean demand' voorspellingen. Hier kan dan ook vastgesteld worden dat het beter is om de gegevens van meerdere periodes te gebruiken om voorspellingen te maken. De informatie van vijf periodes lijkt ons hierbij toch een minimum.

In hoofdstuk 4 werd reeds vastgesteld dat het bullwhip effect een afnemende functie van p , het aantal observaties dat gebruikt wordt om voorspellingen omtrent de vraag te maken, is. Indien p groot is, zou de toename in variabiliteit verwaarloosbaar zijn. Als p echter klein is zou er een aanzienlijke toename in variabiliteit zijn. Met andere woorden, des te beter de vraagvoorspelling, des te kleiner de toename in het bullwhip effect.

De vergroting van de nettovoorraad kent ook een dalend verloop in functie van een toenemend aantal observaties om de vraag te voorspellen. Net zoals de gemiddelde omstelkosten productie per periode en de gemiddelde voorraadkosten per periode. Het serviceniveau stijgt bij het IID vraagproces, maar bij het AR(1) vraagproces daalt het uiteindelijk weer bij het gebruik van de informatie uit een groot aantal periodes.

6.3.1.4 'Exponential smoothing' voorspellingen

Analytisch (Boute, et al., 2007): Bij deze voorspellingstechniek wordt de voorspelling aangepast met een fractie van de voorspellingsfout ($D_t - \hat{D}_{t-1}$).

$$\hat{D}_t = \hat{D}_{t-1} + \alpha(D_t - \hat{D}_{t-1}),$$

met α is een constante tussen 0 en 1 en kan worden gezien als een gladstrijkende factor.

Deze schattingen worden gebruikt om het adaptieve order-up-to point S_t te bepalen:

$$S_t = L\hat{D}_t + SS.$$

De orderhoeveelheid is niet langer constant en zal op dezelfde manier worden aangepast:

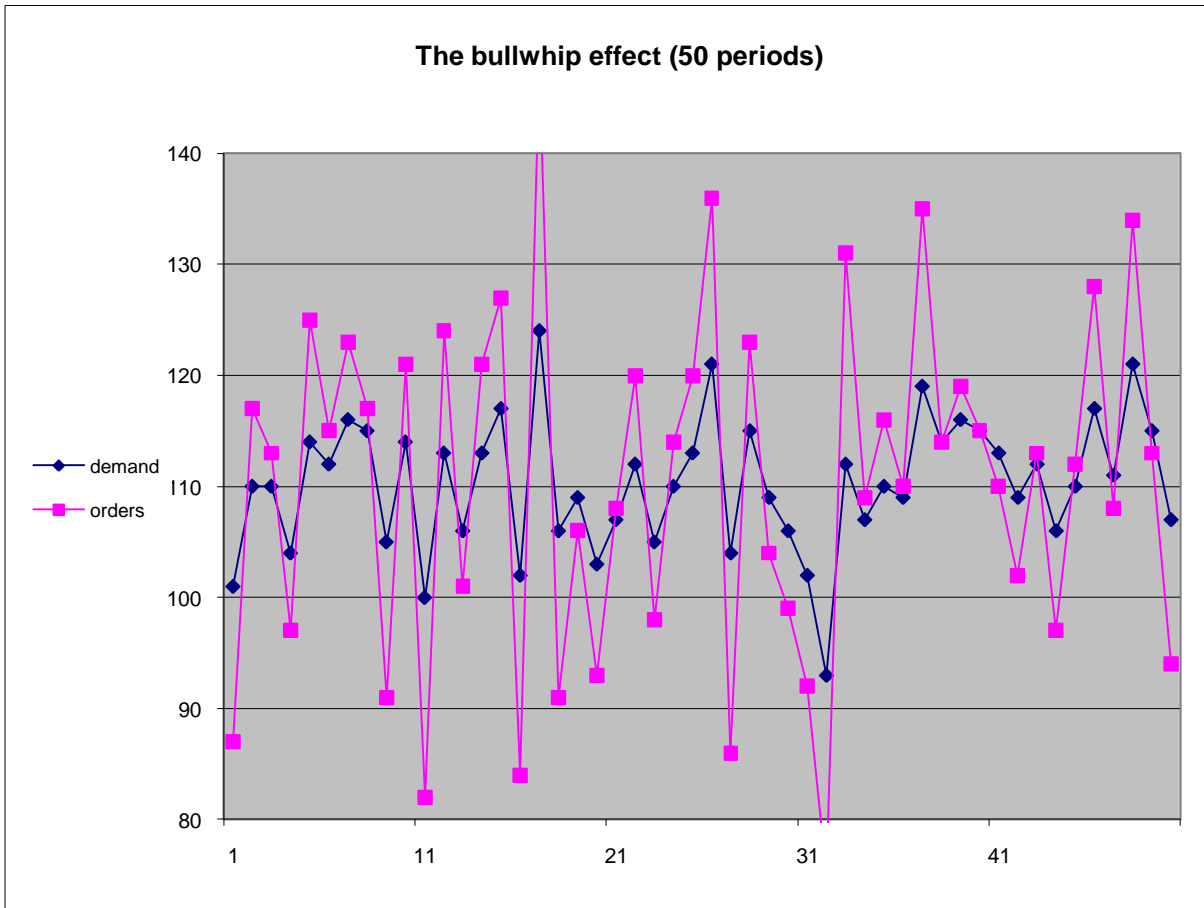
$$O_t = L^*(\hat{D}_{t-1} + \alpha(D_t - \hat{D}_{t-1})) + SS - (NS_t + WIP_t).$$

Simulatie: De simulatie met $\alpha = 0,50$ geeft ons de volgende resultaten:

Tabel 6.7: Resultaten simulatie 'exponential smoothing' voorspelling met $\alpha = 0,50$

	IID	AR(1)
Bullwhip effect	7,12	5,10
Vergroting nettovoorraad	5,88	7,64
Serviceniveau	92,40%	87,60%
Fill rate	99,52%	98,94%
Gemiddelde voorraadkost per periode	20,71	35,28
Gemiddelde omstelkost productie per periode	38,89	30,68

Figuur 6.5: Grafiek bullwhip effect over 50 periodes (IID)



Interpretatie: Hierbij kan vastgesteld worden dat sprake is van het bullwhip effect in de logistieke keten. Hier ligt het bullwhip effect een stuk hoger dan bij de vorige voorspellingstechnieken. Uit figuur 6.5 blijkt dat de consumentenvraag sterk afwijkt van de orderhoeveelheden.

Bij de gemiddelde omstelkosten van de productie per periode is deze verdere stijging van het bullwhip effect ook op te merken. De andere cijfers liggen ook in lijn met het toegenomen bullwhip effect. Zo daalt het serviceniveau en stijgen de gemiddelde voorraadkosten per periode met het bullwhip effect.

Bij fill rate is evenwel weinig verandering merkbaar. Ook de verhoging van de nettovoorraad wijzigt niet in verhouding tot het bullwhip effect.

Bij deze voorspellingsmethode speelt de afvlakkingsfactor α een belangrijke rol. Er wordt hier dieper op ingegaan.

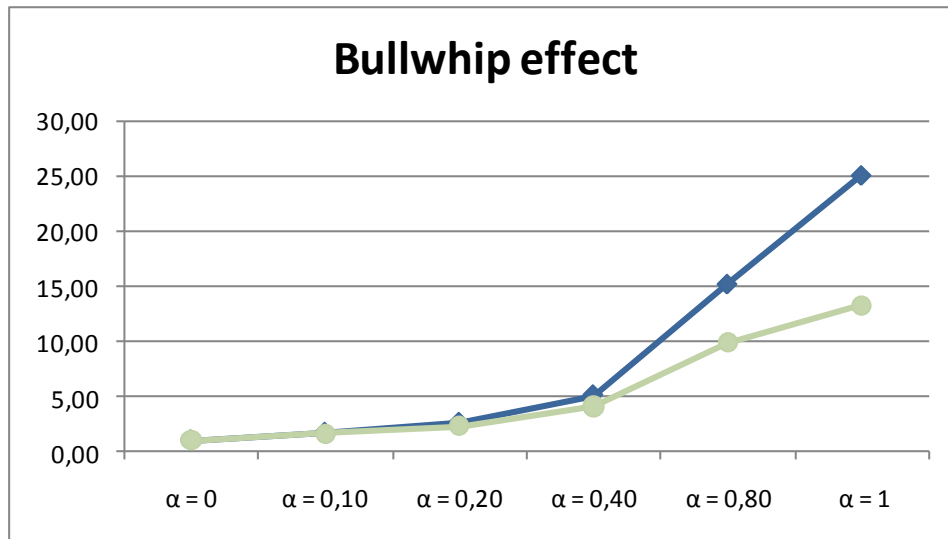
a) *Invloed van gladstrijkende factor α*

Simulatie: De simulatie geeft de volgende resultaten:

Tabel 6.8: Resultaten simulatie 'exponential smoothing' in functie van α

	$\alpha = 0$		$\alpha = 0,10$		$\alpha = 0,20$	
	IID	AR(1)	IID	AR(1)	IID	AR(1)
Bullwhip effect	1,00	1,00	1,69	1,66	2,60	2,32
Vergroting nettovoorraad	2,93	5,38	4,16	5,88	4,08	6,30
Serviceniveau	98,80%	94,20%	96,40%	92,20%	97,00%	91,00%
Fill rate	99,93%	99,48%	99,84%	99,41%	99,83%	99,45%
Gemiddelde voorraadkost per periode	11,47	23,21	13,45	24,48	13,63	23,76
Gemiddelde wisselkost productie per periode	12,56	11,00	15,87	13,94	20,38	16,41
	$\alpha = 0,40$		$\alpha = 0,80$		$\alpha = 1$	
	IID	AR(1)	IID	AR(1)	IID	AR(1)
Bullwhip effect	5,11	4,09	15,18	9,89	25,09	13,23
Vergroting nettovoorraad	5,20	6,75	9,07	9,27	12,39	9,57
Serviceniveau	94,20%	90,20%	87,60%	88,00%	86,00%	90,00%
Fill rate	99,71%	99,24%	98,76%	98,90%	98,75%	98,93%
Gemiddelde voorraadkost per periode	16,32	28,41	37,70	36,35	38,27	35,76
Gemiddelde wisselkost productie per periode	29,33	26,44	62,00	44,97	71,16	57,33

Figuur 6.6: Grafiek bullwhip effect in functie van α



Legende: IID = blauw en AR(1) = groen

Interpretatie: Hier kan vastgesteld worden dat, des te groter de gladstrijkende factor is des te groter het bullwhip effect wordt. Meer gewicht wordt namelijk gegeven aan één enkele observatie in de voorspelling. Merk op dat het verschil tussen beide vraagprocessen groter wordt naarmate de gladstrijkende factor toeneemt.

Alle andere cijfers liggen in de lijn van het bullwhip effect. De vergroting van de nettovoorraad en de kosten nemen toe. Het serviceniveau en de fill rate dalen.

Indien geen gebruik wordt gemaakt van α treedt het bullwhip effect niet op, omdat de 'mean demand' voorspelling wordt benaderd en het order-up-to voorraadniveau constant blijft.

6.3.1.5 'Minimum mean squared error' voorspellingen

Analytisch (Boute, et al., 2007): Bij deze voorspellingstechniek wordt de vraag voorspeld op een manier waarbij de voorspellingsfout ($D_t - \hat{D}_{t-1}$) wordt geminimaliseerd.

Om de lead time demand te voorspellen wordt geen gebruik gemaakt van de one-period ahead voorspelling om te vermenigvuldigen met de lead time, maar wordt de vraagvoorspelling berekend tijdens de lead time, zoals bij Kim et al. (2006).

Volgende voorspelling van de lead time demand

$$\hat{D}_t^L = \sum_{i=1}^L \hat{D}_{t+i}$$

De MSE voorspelling wordt dan:

$$\hat{D}_t^L = L\bar{D} + [(\rho - \rho^{L+1}) / (1 - \rho)](D_t - \bar{D}),$$

Met ρ is de autocorrelatiecoëfficiënt.

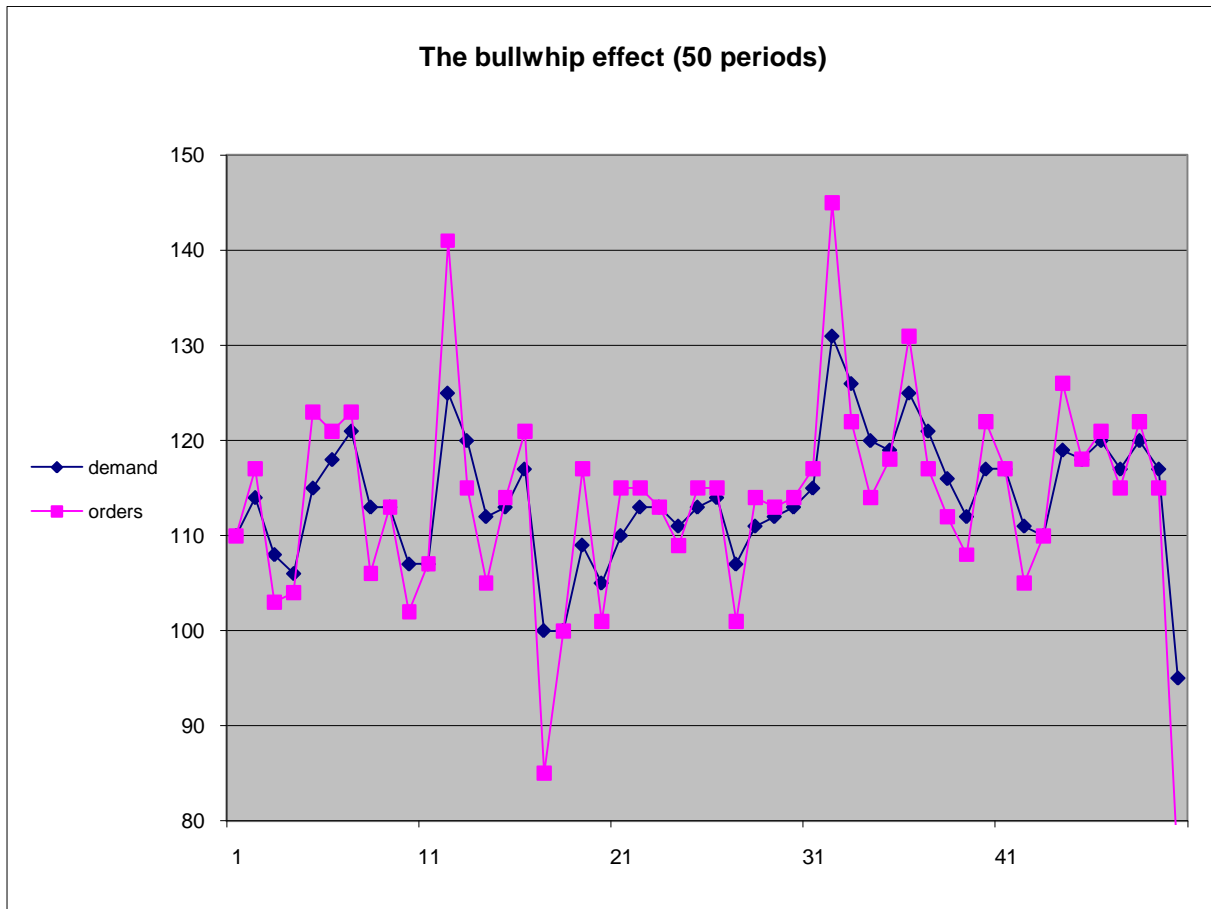
Simulatie: Hierbij moet worden opgemerkt dat in deze simulatie wel met de one-period ahead voorspelling wordt gewerkt en niet met de vraagvoorspelling tijdens de lead time.

De simulatie geeft de volgende resultaten:

Tabel 6.9: Resultaten simulatie 'minimum mean squared error' voorspelling

	IID	AR(1)
Bullwhip effect	1,00	2,59
Vergroting nettovoorraad	2,93	4,62
Serviceniveau	98,40%	94,00%
Fill rate	99,94%	99,64%
Gemiddelde voorraadkost per periode	11,23	19,79
Gemiddelde omstelkost productie per periode	13,10	23,74

Figuur 6.7: Grafiek bullwhip effect over 50 periodes (AR(1))



Interpretatie: Deze voorspellingsmethode is optimaal bij een AR(1) vraagproces, 'minimum mean squared error' voorspelling houdt expliciet rekening met de gecorreleerde vraagstructuur in tegenstelling tot de 'moving average' en 'exponential smoothing' voorspellingstechnieken. Deze voorspellingstechniek veronderstelt echter wel dat de parameters van de vraag gekend zijn of tenminste dat voldoende gegevens beschikbaar zijn om deze accuraat te schatten. Indien het vraagproces IID is, wordt deze methode herleidt naar de 'mean demand' voorspellingstechniek. In deze simulatie werd de one-period ahead voorspelling gebruikt en niet de lead time demand voorspelling zoals gebruikelijk (Boute, et al., 2007). En dit omwille van beperkingen met het rekenblad.

Hier kan ook vastgesteld worden dat ondanks de aanwezigheid van het bullwhip effect, toch minder sprake is van variabiliteit dan bij de andere voorspellingstechnieken. Enkel

bij 'demand signal processing' ligt het bullwhip effect lager. De gemiddelde omstelkosten productie per periode liggen iets hoger dan verwacht, maar de andere kengetallen volgen dezelfde trend.

6.3.1.6 Conclusie uit de simulaties met de verschillende voorspellingstechnieken

Tabel 6.10: Samenvatting bullwhip effect per voorspellingstechniek

	Bullwhip effect	
	IID	AR(1)
Mean demand	1,00	1,00
Demand signal processing	2,50	1,78
Moving average	2,98	2,92
Exponential smoothing	7,12	5,10
Minimum Mean Squared Error	1,00	2,59

Een belangrijke conclusie is dat de vijf verschillende voorspellingstechnieken leiden tot verschillende bullwhip maatstaven.

Enkel indien een stationaire vraag voorspeld wordt, gebaseerd op het lange termijn gemiddelde, en het order-up-to voorraadniveau constant wordt gehouden, treedt het bullwhip effect niet op. Wanneer echter het order-up-to voorraadniveau wordt aangepast ('demand signal processing', 'moving average' en 'exponential smoothing') resulteert deze orderpolitiek steeds in het bullwhip effect, onafhankelijk van het vraagproces van de consument (Boute, et al., 2007).

De 'Minimum mean squared error' voorspellingstechniek is duidelijk de beste voorspellingstechniek (De 'demand signal processing' voorspellingstechniek geeft hier wel een lagere waarde voor het bullwhip effect, maar dit komt door de waarde van de aanpassingsfactor $\chi = 0,50$). De methode streeft verkopen na wanneer de consumentenvraag een IID proces is en het vlakt de ordervariabiliteit af wanneer de vraag negatief gecorreleerd is. Meer zelfs, het minimaliseert de variantie van de voorspellingsfout onder alle lineaire voorspellingstechnieken en leidt naar de laagste voorraadkosten. Deze methode vereist echter een diepgaand onderzoek naar de vraagparameters (Boute, et al., 2007).

De keuze van de juiste techniek is een belangrijke beslissing. Een verkeerde keuze van voorspellingstechniek kan immers een diepgaande impact hebben op het bullwhip effect. Wat tot gevolg heeft dat de voorraad- en omstelkosten van de productie aanzienlijk kunnen toenemen.

In de volgende simulaties zal verder worden gewerkt met de 'Minimum mean squared error' voorspellingstechniek.

6.3.2 Invloed van autocorrelatie bij een AR(1) vraagproces

Simulatie: De simulatie geeft de volgende resultaten:

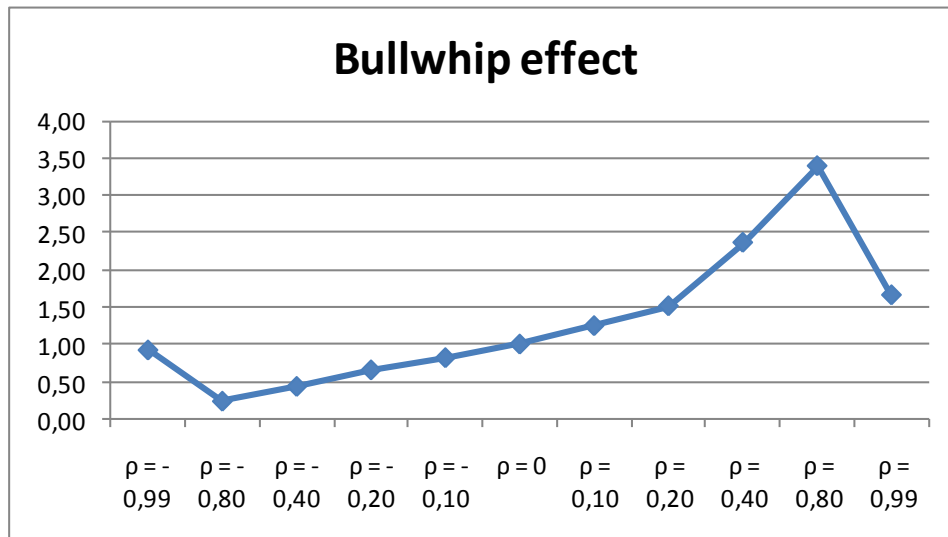
Tabel 6.11: Resultaten simulatie AR(1) bij negatieve autocorrelatie ($\rho < 0$)

	$\rho = -0,99$	$\rho = -0,80$	$\rho = -0,40$
Bullwhip effect	0,92	0,24	0,43
Vergroting nettovoorraad	0,14	0,70	1,67
Serviceniveau	100,00%	100,00%	99,80%
Fill rate	100,00%	100,00%	100,00%
Gemiddelde voorraadkost per periode	69,05	16,10	10,75
Gemiddelde omstelkost productie per periode	63,51	11,43	9,29
	$\rho = -0,20$	$\rho = -0,10$	$\rho = 0$
Bullwhip effect	0,65	0,82	1,00
Vergroting nettovoorraad	2,14	2,58	3,07
Serviceniveau	99,20%	98,20%	98,60%
Fill rate	99,98%	99,89%	99,95%
Gemiddelde voorraadkost per periode	10,53	11,49	10,79
Gemiddelde omstelkost productie per periode	11,00	11,53	12,60

Tabel 6.12: Resultaten simulatie AR(1) bij positieve correlatie ($\rho > 0$)

	$\rho = 0$	$\rho = 0,10$	$\rho = 0,20$
Bullwhip effect	1,00	1,25	1,51
Vergroting nettovoorraad	3,07	3,33	3,74
Serviceniveau	98,60%	96,20%	94,80%
Fill rate	99,95%	99,82%	99,67%
Gemiddelde voorraadkost per periode	10,79	13,58	17,51
Gemiddelde omstelkost productie per periode	12,60	15,12	17,38
	$\rho = 0,40$	$\rho = 0,80$	$\rho = 0,99$
Bullwhip effect	2,36	3,39	1,66
Vergroting nettovoorraad	4,32	3,94	0,68
Serviceniveau	97,20%	96,20%	100,00%
Fill rate	99,87%	99,73%	100,00%
Gemiddelde voorraadkost per periode	13,72	23,04	69,55
Gemiddelde omstelkost productie per periode	20,16	36,42	47,35

Figuur 6.8: Grafiek bullwhip effect in functie van ρ



Interpretatie: Hier kan duidelijk vastgesteld worden dat de autocorrelatiecoëfficiënt in het AR(1) vraagproces een belangrijke rol speelt en de grootte van het bullwhip effect mee bepaalt. Tussen $\rho = -0,8$ en $\rho = 0,80$ kent het bullwhip effect een stijgend verloop in functie van ρ . Tussen $-0,99; -0,80$ en $0,80; 0,99$ is een dalend verloop op te merken.

Eerder werd reeds in hoofdstuk 4 vastgesteld dat wanneer sprake is van een positieve correlatie dat des te groter ρ , des te kleiner de toename in variabiliteit. Dit lijkt figuur 6.8, waar de stijging toeneemt tussen $0,10-0,80$, wel tegen te spreken. Bij een negatieve correlatie is de beïnvloeding onduidelijk en kan deze in twee richtingen gebeuren.

Wanneer de vraag negatief is gecorreleerd, is het bullwhip effect niet aanwezig. De ordervariabiliteit wordt afgevlakt in vergelijking met de consumentenvraag. Dit is ook te merken aan de gemiddelde omstelkosten productie per periode, die laag liggen tussen $-0,80$ en $0,80$.

Van het bullwhip effect is geen sprake bij een vraagproces waar geen autocorrelatie optreedt, omdat het vraagproces IID is en de 'Minimum mean squared error' voorspelling wordt herleid naar de 'mean demand' voorspelling.

6.3.3 Invloed van de lead time

Volgens De Treville et al. (2004) kunnen de leden van de logistieke keten zich beter vooral concentreren op het aanpakken van de langere lead times om de prestatie van de logistieke keten te verbeteren.

De lead time heeft immers een significante impact op de efficiënte operatie van de logistieke keten. Bij hogere lead times worden minder accurate voorspellingen gegenereerd van de consumentenvraag, wat een belangrijke oorzaak van het bullwhip effect is. Het voorspellen van de consumentenvraag is makkelijker bij kortere lead times. Korte lead times zijn essentieel voor een efficiënte operatie van de logistieke keten in termen van een vlakke productie en lage voorraadniveaus (Kelepouris, et al., 2008). Ook Metters (1997) haalt dit aan. Een vermindering van de lead time kan volgens hem zorgen voor significante besparingen in de voorraden. Cachon et al. (2000) tonen aan dat een verlaging van de lead time kan leiden tot kostenbesparingen die kunnen oplopen tot 22%.

Chen et al. (2000) tonen, zowel analytisch als met een simulatie, aan dat de lead time rechtstreeks gerelateerd is aan de verhoging van de variabiliteit. Deze auteurs tonen eveneens aan dat lead time van invloed is op benodigde veiligheidsvoorraad en de historische vraaginformatie nodig om accurate voorspellingen te maken.

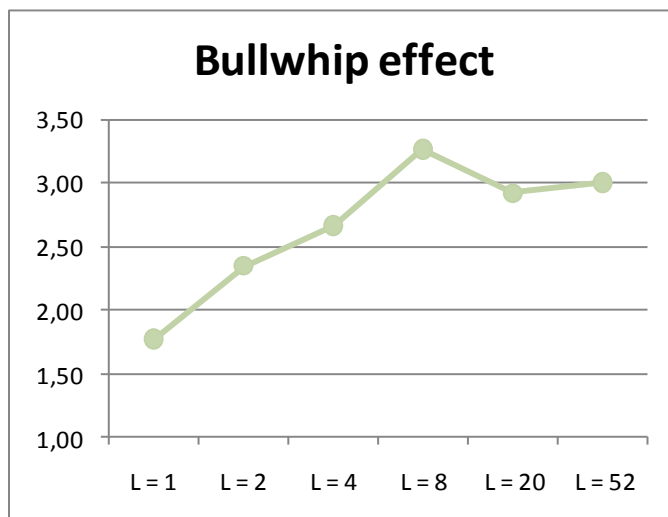
Nu wordt de lead time gevarieerd en wordt gekeken naar de invloed hiervan op het bullwhip effect.

Simulatie: De simulatie geeft de volgende resultaten:

Tabel 6.13: Resultaten simulatie in functie van de lead time L

	L = 1	L = 2	L = 4
Bullwhip effect	1,77	2,35	2,67
Vergroting nettovoorraad	0,76	2,40	7,82
Serviceniveau	99,40%	93,40%	89,20%
Fill rate	99,99%	99,76%	99,18%
Gemiddelde voorraadkost per periode	6,85	14,13	29,91
Gemiddelde omstelkost productie per periode	17,51	23,99	23,57
	L = 8	L = 20	L = 52
Bullwhip effect	3,26	2,92	3,00
Vergroting nettovoorraad	17,34	79,16	129,90
Serviceniveau	89,20%	71,80%	95,40%
Fill rate	98,94%	86,93%	99,66%
Gemiddelde voorraadkost per periode	42,54	312,60	61,82
Gemiddelde omstelkost productie per periode	27,15	25,71	24,33

Figuur 6.9: Grafiek bullwhip effect in functie van L



Interpretatie: In hoofdstuk 4 werd reeds aangetoond dat het bullwhip effect een stijgende functie is van de lead time L. Het bullwhip effect kan dus nooit uitgesloten

worden, maar een vermindering van de lead time kan wel een goede eerste stap zijn om het bullwhip effect aanzienlijk te verminderen.

De lead time heeft logischerwijs eveneens een impact op de verhoging van de nettovoorraad en de gemiddelde voorraadkost per periode. Deze worden hier beide zeer groot. Het serviceniveau zakt naarmate de lead time stijgt.

6.3.4 Invloed van de veiligheidsvoorraad

De veiligheidsvoorraad heeft als functie de variabiliteit van de consumentenvraag tijdens de lead time af te dekken.

De veiligheidsvoorraad wordt als volgt bepaald:

$$SS = z \cdot \sigma_L,$$

met z is een waarde die wordt bepaald aan de hand van de standaardnormale verdeling en σ_L is de standaardafwijking van de vraag tijdens de lead time.

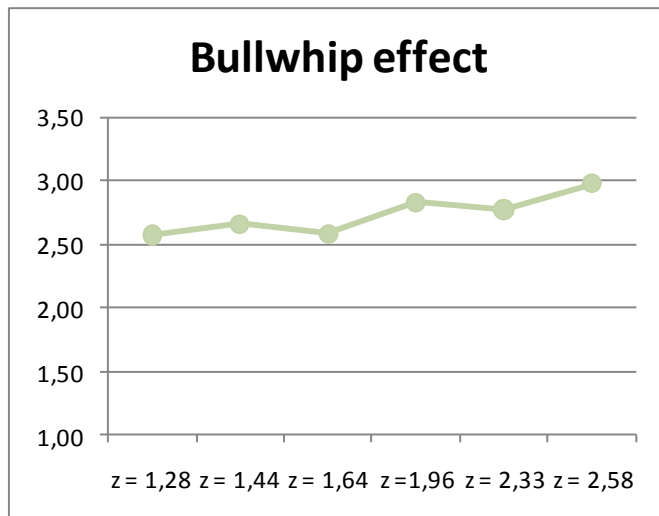
Aan de hand van een gekozen waarde van z wordt een serviceniveau of fill rate aan de consumenten gegarandeerd. Een vaak gehanteerde serviceniveau of fill rate is 97,5%, hetgeen omgerekend een z -waarde van 1,96 geeft. In de simulatie van Boute et al. (1997) wordt er echter niet dieper ingegaan op de bepaling van deze veiligheidsvoorraad.

Simulatie: De simulatie geeft de volgende resultaten:

Tabel 6.14: Resultaten simulatie in functie van z

	$z = 1,28$	$z = 1,44$	$z = 1,64$
Bullwhip effect	2,57	2,66	2,58
Vergroting nettovoorraad	4,73	4,75	4,61
Serviceniveau	84,20%	86,60%	91,60%
Fill rate	99,01%	99,12%	99,46%
Gemiddelde voorraadkost per periode	29,63	27,85	21,88
Gemiddelde omstelkost productie per periode	24,60	24,42	23,73
	$z = 1,96$	$z = 2,33$	$z = 2,58$
Bullwhip effect	2,83	2,77	2,98
Vergroting nettovoorraad	4,64	4,74	4,66
Serviceniveau	93,60%	96,40%	98,20%
Fill rate	99,71%	99,84%	99,91%
Gemiddelde voorraadkost per periode	17,12	16,87	16,18
Gemiddelde omstelkost productie per periode	24,50	24,56	24,76

Figuur 6.10: Grafiek bullwhip effect in functie van z



Interpretatie: Hier kan vastgesteld worden dat des te groter de veiligheidsvoorraad des te groter het bullwhip effect is, maar de stijging blijft beperkt.

De gemiddelde omstelkosten productie per periode veranderen bijna niet. De gemiddelde voorraadkosten per periode dalen, des te groter de veiligheidsvoorraad is. Het serviceniveau en de fill rate verbeteren, wat natuurlijk de bedoeling is van een toenemende veiligheidsvoorraad.

6.4 Besluit

De vijf verschillende voorspellingstechnieken leiden alle tot het bullwhip effect (buiten de 'mean demand' voorspelling indien het IID vraagproces gekend is, wat onrealistisch is). Hier kan geconcludeerd worden dat welke voorspellingsmethode ook gebruikt wordt, de order-up-to voorraadpolitiek uiteindelijk zal leiden tot het bullwhip effect.

De 'minimum mean squared error' voorspellingstechniek is duidelijk de beste voorspellingstechniek. Deze methode minimaliseert de variantie van de voorspellingsfout onder alle lineaire voorspellingstechnieken en leidt naar de laagste voorraadkosten. Deze methode vereist echter een diepgaand onderzoek naar de vraagparameters (Boute, et al., 2007).

De keuze voor de juiste techniek is een belangrijke beslissing, een ongepaste voorspellingstechniek kan immers een diepgaande impact hebben op het bullwhip effect, wat tot gevolg heeft dat de voorraad- en omstelkosten van de productie aanzienlijk kunnen toenemen.

De autocorrelatiecoëfficiënt in het AR(1) vraagproces speelt een belangrijke rol en bepaalt mee de grootte van het bullwhip effect. Wanneer de vraag negatief is gecorreleerd, wordt de ordervariabiliteit afgevlakt in vergelijking met de consumentenvraag. Bij een positieve correlatie is er wel sprake van het bullwhip effect en neemt dit toe met een stijgende autocorrelatiecoëfficiënt tot 0,80 vanaf dan is een dalend verloop op te merken.

Verlaging van de lead time blijkt een cruciale stap te zijn om het bullwhip effect tegen te gaan. Verder zorgt het inkorten van de lead time ook voor een vermindering van kosten en levert het een aanzienlijke bijdrage tot de aangeboden service voor de consument.

Wanneer de invloed van de veiligheidsvoorraad wordt bestudeerd, lijkt het aan te raden om deze voldoende groot te houden. Deze zorgt namelijk voor een aanzienlijke daling van de gemiddelde voorraadkosten per periode en bezorgt de klanten een betere service, hoewel de invloed op het bullwhip effect beperkt blijft.

7 Conclusie

Zoals in het begin van de verhandeling werd aangegeven is een optimale werking van de logistieke keten cruciaal. Fenomenen die de logistieke keten kunnen verstoren zoals het hier bestudeerde bullwhip effect dienen om die rede tot een minimum herleid te worden. Voor de aanpak van het bullwhip effect, waarbij de variabiliteit van de orderhoeveelheden toeneemt naarmate opwaarts wordt gevorderd in de logistieke keten, werd het belang van informatie-uitwisseling in deze verhandeling aangetoond.

In de besproken literatuur over het bullwhip effect spelen vooral de bevindingen van Lee et al. (1997a) een centrale rol. Aan de basis van het bullwhip effect liggen volgens Lee et al. (1997a) vier, soms vijf, oorzaken: onjuiste updates van voorspellingen van de vraag, aankopen in batches, prijsfluctuaties, rantsoenering en de lead time. De oorzaken kunnen zeer divers zijn, maar komen vooral neer op het nemen van ongeïnformeerde (onjuiste updates), ondoordachte (rantsoeneringen) of noodgedwongen (prijsfluctuaties, aankoop in batches) beslissingen. De oplossingen die worden aangereikt in de literatuur komen telkens terug op het belang van informatie-uitwisseling.

Er bestaan volgens de literatuur verschillende soorten informatie met elk hun nut voor de prestaties van de logistieke keten. Afhankelijk van het soort beslissing die moet worden genomen, verschilt de aard en het type van de informatie die het best uitgewisseld kan worden. Het uiteindelijke doel van het delen van informatie is het verbeteren van de prestatie van de hele logistieke keten en helpen bij het reduceren/uitsluiten van het bullwhip effect.

Aan de hand van de kwantitatieve modellen van Chen et al. (2000) en Kim et al. (2006) werd vervolgens duidelijk aangetoond dat de variabiliteit van de orders toeneemt opwaarts in de logistieke keten en dat er sprake is van de aanwezigheid van het bullwhip effect. Het bullwhip effect werd hier veroorzaakt door de nood om vraagvoorspellingen te maken. Deze vraagvoorspellingen zorgen voor variabiliteit in het order-up-to voorraadniveau en bijgevolg in de orderhoeveelheden en liggen hiermee aan de basis van het bullwhip effect. Des te beter deze vraagvoorspellingen, des te kleiner het bullwhip effect.

Het probleem van het bijwerken van de vraagvoorspellingen, dat als een belangrijke oorzaak van het bullwhip effect wordt gezien, zou volgens de literatuur opgelost moeten worden door het uitwisselen van vraaginformatie. Elke onderneming voorziet zijn

ketenpartners van meer volledige informatie, opdat deze zijn voorspellingen kan optimaliseren.

Aan de hand van hetzelfde kwantitatieve model van Kim et al. (2006) werd aangetoond dat het delen van vraaginformatie het bullwhip effect effectief kan reduceren, maar dat het nooit volledig uitgesloten kan worden. Dit model laat zien dat het bullwhip effect benaderend lineair toeneemt met de plaats opwaarts in de logistieke keten wanneer de vraaginformatie wordt gedeeld, maar exponentieel wanneer dit niet wordt gedaan. Het uitwisselen van vraaginformatie blijkt dus een goede manier om het bullwhip effect tegen te gaan.

Uit de simulatie-experimenten in deze verhandeling blijkt dat vier van de vijf geteste voorspellingstechnieken leiden tot het bullwhip effect. De 'minimum mean squared error' voorspellingstechniek blijkt van de vijf de meest aan te raden voorspellingstechniek om het bullwhip effect te minimaliseren. De keuze van de juiste voorspellingstechniek is een belangrijke beslissing. Een verkeerde keuze kan immers een diepgaande impact hebben op het bullwhip effect. Verder blijkt uit de simulatie dat het verminderen van de lead time ook een cruciale stap is om het bullwhip effect tegen te gaan. De grootte van de veiligheidsvoorraad, die dient om de variabiliteit van de vraag af te dekken, heeft slechts een beperkte impact op het bullwhip effect. Des te groter de veiligheidsvoorraad, des te groter het bullwhip effect.

Ondernemingen zullen ook in de toekomst voorspellingstechnieken nodig hebben om hun vraag te voorspellen. Het lijkt dan ook niet realistisch dat het bullwhip effect ooit uitgesloten kan worden in de logistieke keten. Zelfs indien een optimale voorspellingstechniek wordt gekozen, zodat de fout tussen de werkelijke consumentenvraag en de voorspelde vraag wordt geminimaliseerd, dan nog zal de order-up-to voorraadpolitiek immers leiden tot het bullwhip effect.

Analyses van voorspellingsmethodes worden in toekomstig onderzoek dan ook beter bekeken in de context van de gehele productie-, voorraadsystemen, etc. De focus kan zo gelegd worden op de eigenheid van de ondernemingen in de logistieke keten zelf.

Lijst van geraadpleegde werken

- Anupindi, R., Chopra, S., Deshmukh, S.D., Van Mieghem, J.A. & Zemel, E. (1999). *Managing Business Process Flows*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Aquilano, N.J., Chase, R.B. & Jacobs, F.R. (2006). *Operations Management for Competitive Advantage*. International Edition. New York: McGraw-Hill Companies.
- Aviv, Y. (2003). A time series framework for supply chain inventory management. *Operations Research*, 51, pp. 201–227.
- Boute, R. (2006). *The impact of replenishment rules with endogenous lead times on supply chain performance*. Leuven: Katholieke Universiteit Leuven.
- Boute, R. N., & Lambrecht, M. R. (2007). *Exploring the bullwhip effect bij means of a spreadsheet simulation*. Leuven: Vlerick Leuven Gent Management School.
- Cachon, G. P., & Fisher, M. (2000). Supply Chain Inventory Management and the Value of Shared Information. 8 (46).
- Cachon, G. P., Randall, T., & Schmidt, G. M. (2007). In Search of the Bullwhip Effect. 9 (4).
- Carlsson, C. & Fullér, R. (2002). A Fuzzy Approach to Taming the Bullwhip Effect. In H.J. Zimmermann, G. Tselentis, M. Van Someren & G. Dounias (Eds.), *Advances in computational intelligence and learning* (pp. 247-262). Kluwer Academic Publishers.
- Chase, R. B., Jacobs, R. F., & Aquilano, N. J. (2006). *Operations management for competitive advantage*. New York: McGraw-Hill.
- Chatfield, D. C., Kim, J. G., Harrison, T. P., & Hayya, J. C. (2004). The Bullwhip Effect—Impact of Stochastic Lead Time, Information Quality, and Information Sharing: A Simulation Study. 13 (4).
- Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J.K. & Simchi-Levi, D. (2000). Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead times, and information. *Management Science*, 46, pp. 436–443.
- Christopher, M. (2005). *Logistics and Supply Chain Management: Creating Value-Adding networks*. Edinburgh: Prentice Hall.

Croson, R. & Donohue, K. (2005). Behavioral Causes of the Bullwhip Effect and the Observed Value of Inventory Information. *Management Science*, 00, pp. 1-14.

Cutting-Decelle, A.-F., Young, B. I., Das, B. P., Case, K., Rahimifard, S., Anumba, C. J., et al. (2007). A REVIEW OF APPROACHES TO SUPPLY CHAIN COMMUNICATIONS: FROM MANUFACTURING TO CONSTRUCTION. *ITcon* , 73-102.

Daganzo, C., & Ouyang, Y. (2006). Counteracting the bullwhip effect with decentralized negotiations and advance demand information. *Physica A*, 363, pp. 14-23.

De Treville, S., Shapiro, R.D., & Hamen, A. (2004). From supply chain to demand chain: the role of lead time reduction in improving demand chain performance. *Journal of Operations Management*, 21, pp. 613-627.

De Vaan, M. M. (2005). *Logistiek voor managers: Supply chain management als succesfactor*. Deventer: Kluwer.

Dejonckheere, J., Disney, S. M., Lambrecht, M. R., & Towill, D. R. (2003). Measuring and avoiding the bullwhipeffect: A control theoretic approach. (147).

Disney, S. M., Potter, A. T., & Gardner, B. M. (2003). The impact of vendor managed inventory on transport operations. *Transportation Research Part E* , 363-380.

Forrester, J.W. (1958). Industrial dynamics, A major breakthrough for decision makers. *Harvard Business Review*, pp. 67-96.

Gavirneni, S., Kapuscinski, R., & Tayur, S. (1999). Value of Information in Capacitated Supply Chains. *Management Science*, 45, pp. 16-24.

Güllü, A.R. (1997). A two-echelon allocation model and the value of information under correlated forecasts and demands. *European Journal of Operational Research*, 99, pp. 386-400.

Hosoda, T. (2005). The principles governing the dynamics of supply chains. PhD thesis, Cardiff University, UK.

Johnson, G. & Thompson, H. (1975). Optimality of myopic inventory policies for certain dependent demand processes. *Management Science*, 21, pp. 1303-1307.

Kelepouris, T., Miliotis, P., & Pramataris, K. (2008). The impact of replenishment parameters and information sharing on the bullwhip effect: A computational study. (35).

- Kim, J. G., Chatfield, D., Harrison, T. P., & Hayya, J. C. (2006). Quantifying the bullwhip effect in a supply chain with stochastic lead time. *European Journal of Operational Research*, 173, pp. 617-636.
- Laureys, J. (2007). *Cyclic Multi-Product Inventory Routing Problem*. Gent: Universiteit Gent.
- Lee, H.L., Padmanabhan, V. & Whang, S. (1997a). The Bullwhip Effect In Supply Chains. *Sloan Management Review*, 38, pp. 93-102.
- Lee, H.L., Padmanabhan, V. & Whang, S. (1997b). Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect. *Management Science*, 43, pp. 546-558.
- Lee, H.L., So, K.C. & Tang, C.S. (2000). The value of information sharing in a two-level supply chain. *Management Science*, 46, pp. 626-643.
- Metters, R. (1997). Quantifying the bullwhip effect in supply chains . (2).
- Moyaux, T., Chaib-draa, B. & D'Amours, S. (2007). Information Sharing as a Coordination Mechanism for Reducing the Bullwhip Effect in a Supply Chain. *IEEE transactions on systems, man and cybernetics. Part C, Applications and reviews*, Vol. 37, pp. 396-409.
- Ouyang, Y., & Daganzo, C. (2006). *Counteracting the bullwhip effect with decentralized negotiations and advance demand information*. USA: Elsevier.
- Ploos van Amstel, M.J., Ploos van Amstel, W. & Van Goor, A.R. (1999). Fysieke distributie. Denken in toegevoegde waarde. Houten: Educatieve Partners Nederland BV.
- Ploos van Amstel, W. & Van Goor, A.R. (2001). *Van logistiek naar logistieke keten management*. Kluwer.
- Robben, H. S., & Van Der Veen, J. A. (1999). *Demand & Supply Chain Management*. Breukelen: Nyenrode University.
- Ross, D.R. (2004). *Distribution, Planning and Control. Managing in the Era of Supply Chain Management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers Group.
- Sethi, S. P., Yan, H., & Zhang, H. (2005). *Inventory and supply chain management with forecast updates*. New York: Springer Science + Business Media.

- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. & Simchi-Levi, E. (2000). *Designing and Managing the Supply Chain*. New York: McGraw-Hill.
- Slack, N. (2004). *Operations Management*, 4th edition.
- Sox, C.R., (2001). Production and inventory control systems. Auburn University: Department of Industrial & Systems Engineering, lecture 2, pp. 1- 14.
- Sucky, E. (2008). The bullwhip effect in supply chains. An overestimated problem?. *International Journal of Production Economics*, 118, pp. 311-322.
- Timmer, F. (2006). *ICT-voorzieningen voor de uitwisseling van tactische productie-informatie tussen toeleveranciers en producenten*. Twente: Universiteit Twente.
- Van Dierdonck, R. & Vereecke, A. (1994). *Operationeel Beheer*. Gent: Academia Press.
- Van Der Ham, A., Rustenburg, M., Verduijn, T., & Scheer, F.-P. (2002). *ILC-SCAN: op zoek naar de potentie van Intelligente Logistieke Concepten in ketens en netwerken*. Delft: TNO.
- Van Der Vorst, J. G. (2006). *Zicht op logistiek*. Wageningen.
- Verwoerd, W. (2006). *Inleiding logistiek*. Amsterdam: Boom onderwijs.
- Zhang, X. (2004). The impact of forecasting methods on the bullwhip effect. *International Journal of Production Economics*, 88, pp. 15-27.
- Zhenxin, Y., Hong, Y., & Cheng, E. T. (2001). Benefits of information sharing with supply chain partnerships. 3 (101).

Bijlage 1 Exacte formules voor het kwantificeren van het bullwhip effect

Tabel 1: Exacte formules voor de standaard order-up-to voorraadpolitiek

	Bullwhip effect	
	IID	AR(1)
Mean demand	1	1
Moving Average	$1 + \frac{2L}{T_m} + \frac{2L^2}{T_m^2}$	$1 + \left(\frac{2L}{T_m} + \frac{2L^2}{T_m^2}\right)(1 - \rho^{T_m})$
Exponential smoothing	$1 + 2L\alpha + \frac{2L^2\alpha^2}{2-\alpha}$	$1 + 2L\alpha + \frac{2L^2\alpha^2}{2-\alpha} \left(\frac{1-\rho}{1-(1-\alpha)\rho}\right)$
Demand signal processing	$1 + 2\chi(1 + \chi)$	/
MMSE	1	$1 + \frac{2\rho(1-\rho^L)(1-\rho^{L+1})}{(1-\rho)}$

Bronnen: Chen et al. (2000); Dejonckheere et al. (2003); Hosoda (2005) en Zhang (2004)

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Het bullwhip effect en informatie-uitwisseling in de logistieke keten

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen:
handelsingenieur-accountancy en financiering**

Jaar: **2010**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Thijs, Pieter

Datum: **27/05/2010**