



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Het bullwhip effect: analyse van oorzaken en oplossingen

Stef Vanbroekhoven

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

dr. Tabitha MAES



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be
Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2019
2020



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Het bullwhip effect: analyse van oorzaken en oplossingen

Stef Vanbroekhoven

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

dr. Tabitha MAES

Deze masterproef werd geschreven tijdens de COVID-19 crisis in 2020. Deze wereldwijde gezondheids crisis heeft mogelijk een impact gehad op het schrijf- en verwerkingsproces, de onderzoekshandelingen en de onderzoeksresultaten die aan de basis liggen van dit werkstuk.

Woord vooraf

Deze masterproef vormt het sluitstuk van mijn master in de handelswetenschappen, met afstudeerrichting supply chain management. Na het behalen van een professionele bachelor in logistiek management wou ik mijn kennis graag verder verdiepen in de logistieke sector, en meerbepaald in supply chain management. Naast het curriculum dat in deze master aangeboden werd, is dit sluitstuk met als thema het bullwhip effect een erg waardevolle aanvulling. Vaak geldt dat manieren om het bullwhip effect te reduceren in feite goede manieren zijn om de prestaties van de supply chain te verbeteren. Met dit thema werd mij daarom de mogelijkheid aangeboden om een erg uitgebreide kijk te genereren op de verschillende deelaspecten van supply chain management. Hierdoor wil ik graag de Universiteit Hasselt bedanken om me deze kans aan te bieden.

Daarnaast wil ik dr. Tabitha Maes bedanken voor het opnemen van het promotorschap bij deze masterproef. Haar feedback was erg belangrijk, en heeft me geholpen om een vlotte overgang te maken van een professionele naar een academische omgeving.

Samenvatting

Het bullwhip effect is een fenomeen dat zich in heel wat supply chains manifesteert. Hierbij vergroot de variantie van de orderhoeveelheden naarmate de orders stroomopwaarts in de supply chain bewegen. Het overvloedig aantal artikels dat sinds de jaren 90 jaarlijks verschijnt, toont aan dat deze problematiek nog steeds aanwezig is in de supply chains van vandaag. De gevolgen van het bullwhip effect kunnen erg kostelijk zijn, en beïnvloeden daarnaast het serviceniveau dat geleverd kan worden aan de klant. Hierdoor wordt aangeraden om de gevolgen zo veel mogelijk te beperken door de oorzaken aan te pakken met passende maatregelen. In deze masterproef wordt via een literatuurstudie ingegaan op deze problematiek. De centrale onderzoeksvraag luidt als volgt: "Wat zijn de oorzaken, gevolgen en oplossingen van het bullwhip effect?".

In deze masterproef wordt getracht een duidelijk overzicht te maken van de literatuur geschreven tot op dit moment. Hierbij staan de oorzaken, gevolgen en oplossingen centraal. Tijdens deze studie worden zoveel mogelijk recente wetenschappelijke papers gebruikt om de reeds bestaande literatuurstudies aan te vullen met nieuwe gegevens en inzichten. Daarnaast is een studie waar zowel de oorzaken, gevolgen als de oplossingen besproken worden in een coherent geheel zeldzaam of onbestaande. De mogelijkheid ontstaat hierdoor om de oplossingen te linken aan de oorzaken. De gevolgen, en vooral het in kaart brengen van de kosten, maken dit plaatje compleet en laten toe om een gestructureerde aanpak op te stellen met oog op reductie van het bullwhip effect.

Als eerste dient geïdentificeerd te worden of het bullwhip effect al dan niet aanwezig is binnen de supply chain. Daarom werden in deze masterproef een aantal eenvoudige maatstaven voorgesteld. Deze maatstaven kunnen gebruikt worden zowel voor de verschillende afdelingen van het bedrijf als tussen de leden van de supply chain. Naast identificatie van het bullwhip effect kunnen de maatstaven later toegepast worden om de effectiviteit van de genomen maatregelen te meten.

Wanneer blijkt dat de supply chain onderhevig is aan het bullwhip effect, start de zoektocht naar de oorzaken. De oorzaken kunnen organisatorisch (binnen het bedrijf), verticaal (binnen de supply chain) of gerelateerd aan het gedrag van beleidsmakers zijn. In totaal werden zeventien oorzaken geïdentificeerd, opgedeeld in de drie vernoemde plaatsen van oorsprong. Enkele voorbeelden zijn de negatieve gevolgen order batching, prijsschommelingen, voorraad- en orderbeleid en gebrek aan informatie transparantie. Het onderscheid per categorie is belangrijk door verschillen in aard, beïnvloedbaarheid en impact. De methodes die nodig zijn om de problemen aan te pakken, zullen daardoor verschillen per categorie.

Eens de oorzaken bekend zijn, is het voornaam om de kosten als gevolg van het bullwhip effect in kaart te brengen. Kosten worden zowel intern als extern veroorzaakt, en worden daarnaast aangevuld met maatregelen om de volatiliteit op te vangen (e.g. verhoogde veiligheidsvoorraad). Het framework opgesteld door Christopher & Holweg (2016) kan bedrijven helpen om deze kosten te lokaliseren. Eens de kosten bekend zijn is het mogelijk voor de organisatie om op basis van een budget te beslissen hoe verregaand de maatregelen kunnen zijn.

De volgende stap is het zoeken van gepaste maatregelen. In deze masterproef werden tien oplossingen aangeboden. Deze tien oplossingen zijn een aangepaste versie van de tien principes van bullwhip reductie, voorgesteld door Geary et al. (2006). Dit zijn lead-time reductie, delen van informatie, verminderen van het aantal echelons, orderbeleid en de synchronisatie ervan, vraagvoorspelling, order batching, reductie van prijsschommelingen, oplossingen voor rantsoeneren, collaboratie in de supply chain en als laatste de variabiliteit stroomopwaarts verlagen om zo voordelen te behalen voor de hele keten. De literatuurstudie stond toe om een globaal beeld te krijgen over de thema's binnen het bullwhip effect, en bijgevolg de samenhang te begrijpen. Dit globaal inzicht leidde tot een visuele weergave van het onderlinge verband tussen de oplossingen. Het onderlinge verband kan in sommige gevallen noodzakelijk zijn opdat een bepaalde maatregel zal slagen. Andere zijn eerder bevorderend en kunnen de resultaten van bepaalde methodes optimaliseren.

Als laatste werden de oplossingen aan de oorzaken gelinkt, wat het mogelijk maakt om een gerichte aanpak op te stellen wanneer de oorzaken bekend zijn. Hierbij was het onderlinge verband tussen de oplossingen erg belangrijk om een juiste indeling te maken. Een aantal van de oplossingen pakken de oorzaak erg gericht aan. Door het onderlinge verband is het echter mogelijk om de resultaten te bevorderen of optimaliseren door het toepassen van een oplossing die hiermee in verband gebracht werd. Dit totaalplaatje is uniek en zorgt ervoor dat optimale resultaten behaald kunnen worden. De categorieën opgesteld bij de oorzaken werden behouden bij het opstellen van de linken tussen oorzaken en oplossingen. De reden hiervoor is het verschil in benodigde investeringen en haalbaarheid. Bij gebrek aan voldoende investeringsbudget kan het lonen om eerst de organisatorische oplossingen toe te passen. Echter, indien de oorzaken herleid worden naar de verticale aspecten is het noodzakelijk om hier eerst op in te spelen. Belangrijk hierbij is dat in eerste instantie vertrouwen wordt opgebouwd tussen de leden van de supply chain. Dit is nodig om heel wat collaboratieve initiatieven te doen slagen. De gedragsaspecten vallen in het midden van deze twee categorieën en zijn daarnaast niet operationeel van aard. Het aanpassen van gedrag leunt vaak naar een collaboratieve aanpak, waarbij overdracht van kennis, ervaring en informatie een grote invloed kunnen hebben op de aspecten binnen dit thema.

Met de gerichte aanpak voorgesteld in deze masterproef wordt onderscheid gemaakt met eerdere studies. Door alles bij elkaar te zetten en de linken tussen de verschillende hoofdstukken te doorgronden, is het mogelijk om tot nieuwe inzichten te komen. Verder onderzoek kan daarom uitgevoerd worden met dezelfde insteek. Het bullwhip effect is een fenomeen waarbij geen aanpak bestaat die het probleem zal oplossen voor elke supply chain. Elke supply chain is uniek en vereist daarom een andere aanpak. Door de literatuur als een geheel te bekijken wordt het echter mogelijk om deze problematiek vanuit een nieuwe invalshoek te benaderen. Door te vertrekken vanuit de oorzaken wordt het bullwhip effect opgesplitst in de deelaspecten, en is het mogelijk om gericht te zoeken naar een oplossing. Zo wordt het niet meer het bullwhip effect dat in het algemeen gereduceerd moet worden, maar een oorzaak van volatiliteit die eerst geïdentificeerd wordt en bijgevolg opgelost door middel van een gerichte aanpak.

Inhoudsopgave

1	Onderzoeksplan.....	1
1.1	Probleemstelling.....	1
1.2	Onderzoeksvraag.....	3
1.2.1	Centrale onderzoeksvraag.....	3
1.2.2	Deelvragen.....	3
1.2.3	Onderzoeksaanpak en methodologie.....	4
2	Het bullwhip effect.....	5
2.1	Algemeen.....	5
2.2	Maatstaven voor bullwhip.....	7
2.2.1	Interne maatstaven.....	7
2.2.2	Interprofessionele maatstaven.....	9
3	Oorzaken.....	10
3.1	Inleiding.....	10
3.2	Operationele oorzaken.....	12
3.2.1	Organisatorisch.....	12
3.2.2	Verticaal.....	16
3.3	Gedragsoorzaken.....	18
3.3.1	Gebrek aan training.....	18
3.3.2	Vrees voor stock-outs.....	19
3.3.3	Opportunisme.....	19
3.4	Externe oorzaken.....	20
3.4.1	Marktomstandigheden.....	20
3.4.2	Institutionele en omgevingsgebonden invloeden.....	21
3.5	Conclusie.....	22
4	Gevolgen.....	24
4.1	Overzicht van de gevolgen.....	24
4.2	In kaart brengen van de kosten.....	25
5	Oplossingen.....	27
5.1	Structureren van de oplossingen.....	27
5.1.1	Aanpassingen.....	28
5.1.2	Definitieve structuur.....	30
5.2	Bespreking oplossingen.....	31

5.2.1	Lead-time reductie	31
5.2.2	Informatie delen.....	34
5.2.3	Echelon eliminatie	38
5.2.4	Synchronisatie en orderbeleid	39
5.2.5	Vraagvoorspelling	44
5.2.6	Order Batching.....	46
5.2.7	Prijsschommelingen reduceren	48
5.2.8	Rantsoeneren	49
5.2.9	Collaboratie in de supply chain	50
5.2.10	Variabiliteit stroomopwaarts verlagen	53
5.3	Onderling verband	55
6	Samenvatting van de oorzaken en oplossingen.....	58
6.1	Organisatorisch	59
6.2	Verticaal.....	60
6.3	Gedrag.....	61
7	Conclusie en toekomstig onderzoek.....	62
7.1	Conclusie.....	62
7.2	Suggesties voor toekomstig onderzoek.....	64
	Bibliografie	65

Figuren

Figuur 1 Weergave retailer orders vs. productie van processors (Taylor & Fearn, 2009).....	5
Figuur 2 Ontleding van de interprofessionele bullwhip van het lokale bedrijf in drie interne bullwhips (Fin et al., 2017).....	8
Figuur 3 Oorzaken van het bullwhip effect, voorgesteld door Nitsche & Durach (2018).....	11
Figuur 4 Hoe het bullwhip effect kosten veroorzaakt in een enkele schakel in de keten (Disney & Lambrecht, 2008).....	25
Figuur 5 Framework om kosten van volatiliteit te berekenen (Christopher & Holweg, 2016).....	26
Figuur 6 Oude versus nieuwe indeling van de oplossingen voor het bullwhip effect.	30
Figuur 7 Belangrijkste effecten op de gemiddelde winst in de traditionele supply chain (Ponte et al., 2018)	32
Figuur 8 Belangrijkste effecten voor gemiddelde winst in collaboratieve supply chain (Ponte et al., 2018)	33
Figuur 9 Links: Procentuele impact van de minimale lengte en spreiding (range) van de lead time op de netto winst van de supply chain voor een traditionele en collaboratieve supply chain; Rechts: Idem voor de productie en transport (shipping) lead times. (Ponte et al., 2018)	33
Figuur 10 Amplificatie van de variantie: geen informatie delen (nis) versus informatie delen (is) (Kim et al., 2006).....	35
Figuur 11 Overzicht belangrijkste combinaties ISR (Kiyong & Jae-Dong, 2019).....	37
Figuur 12 Impact van hoeveelheid informatie bij elke schakel (Kiyong & Jae-Dong, 2019)	37
Figuur 13 Vergelijking van de ordermethodes bij stijgende standaardafwijking van het vraagpatroon (Jaksic & Rusjan, 2008).....	40
Figuur 14 Variatie van de orders over tijd bij verschillende smoothing parameters (Constantino et al., 2016).....	42
Figuur 15 Gemiddelde voorraadniveau voor een stijgende variabiliteit in de vraag door de eindconsument (Viswanathan et al., 2007)	42
Figuur 16 Totale supply chain kost voor een stijgende variabiliteit in de vraag door de eindconsument (Viswanathan et al., 2007)	43
Figuur 17 Impact van batching op het bullwhip effect met stochastische vraag (Potter & Disney, 2005)	47
Figuur 18 Impact van informatie delen op de batchgrootte (Hussain & Drake, 2011)	48
Figuur 19 Relatie tussen affectief, intern, extern vertrouwen, en vertrouwen in competenties (de Almeida et al., 2015).	51
Figuur 20 Relatie tussen vertrouwen, collaboratie en het reduceren van het bullwhip effect (de Almeida et al., 2015).	53
Figuur 21 Verband tussen de voorgestelde oplossingen, opgesplitst in noodzakelijk en bevorderend	55

Tabellen

Tabel 1 Mediaan van de drie karakteristieken voor elke dimensie (Nitsche & Durach, 2018).....	12
Tabel 2 Samenvatting van de oorzaken van het bullwhip effect	22
Tabel 3 Samenvatting van de simulaties: Percentage van de mogelijke besparingen bij de verschillende informatie deling mechanismes (Viswanathan et al., 2007)	43
Tabel 4 Sensitiviteit van het bullwhip effect bij verschillende lead-times onder verschillende voorspellingsmethodes (1 = hoge sensitiviteit aan vraagwisselingen, 2 = lage sensitiviteit aan vraagwisselingen, TVA = Total Variance Amplification) (Constantino et al., 2015).....	46
Tabel 5 Impact van de batchgrootte op het bullwhip effect bij wijzigende eindvraag (Potter & Disney, 2005)	48
Tabel 6 Verklaring onderling verband van de oplossingen weergegeven in Figuur 20.....	56
Tabel 7 Organisatorische oorzaken en oplossingen	59
Tabel 8 Verticale oorzaken en oplossingen.....	60
Tabel 9 Oorzaken en oplossingen voor gedrag.....	61

1 Onderzoeksplan

In dit hoofdstuk worden de probleemstelling en de onderzoeksvraag met bijhorende deelvragen toegelicht. Daarnaast wordt de methodologie die tijdens deze masterproef aangehouden wordt toegelicht.

1.1 Probleemstelling

Het bullwhip effect is een fenomeen dat zich in heel wat supply chains manifesteert, voornamelijk in sectoren met een onzekere vraag. Kleine schommelingen in de vraag op retail niveau worden groter en groter stroomopwaarts. In wetenschappelijke termen kunnen we het bullwhip effect benoemen als het effect waarbij variantie van de orders stijgt naarmate de orders stroomopwaarts in de keten bewegen. De gevolgen van dit effect worden significant wanneer de kosten door fluctuaties in productie en bestellingen groter wordt dan de kost van het aanhouden van voorraad (Wang X. D., 2016).

Het bullwhip effect start door fluctuaties in de vraag op retail niveau. Dit veroorzaakt een kettingreactie waarbij de gevolgen groter worden stroomopwaarts in de supply chain. Hoe groot deze gevolgen zijn, hangt af van de processen die zich binnen de keten afspelen en hoe goed deze geoptimaliseerd zijn om met onverwachte schommelingen om te gaan. Geary, Disney & Towill (2006) beschreven tien principes die met het bullwhip effect te maken hebben en de negatieve gevolgen kunnen bedwingen. Deze principes betreffen transparantie van informatie, echelon eliminatie, lead-time reductie, vraagvoorspelling, enz.

Afhankelijk van de sector of het product dat de supply chain ondersteunt, zullen de prestaties van de keten binnen een aantal van deze principes bepalend zijn voor de gevolgen van het bullwhip effect. Daarnaast is het belangrijk dat elk bedrijf in de keten naar het doel van een geïntegreerde samenwerking wil streven. Zonder de medewerking van elke schakel in de keten zijn de meeste maatregelen nutteloos. Ondanks bewijs dat een focus op kostenbeheersing over de hele supply chain zal leiden tot een lagere kost dan wanneer alle bedrijven op zich naar winstmaximalisatie streven, blijven sommige bedrijven ervoor kiezen om bepaalde informatie niet vrij te geven. Forslund & Jonsson (2009) geven aan dat een gebrek aan vertrouwen, verschillende objectieven en prioriteiten en een gebrek aan parallelle communicatiestructuren drijvende factoren zijn. Het is noodzakelijk om eerst deze gebreken te overkomen vooraleer de stap gezet kan worden richting een gestroomlijnde supply chain.

Onderzoek in supply chains heeft aangetoond dat het delen van informatie tussen de partners in de keten de prestaties van de supply chain verbeteren. Dit houdt in dat de effecten van het bullwhip effect verminderen, en dat orders vaker voldaan kunnen worden (Ojha, Sahin, Shockley, & Sridharan, 2019). Informatie over de vraag bij de retailer is hierbij erg waardevol voor alle bedrijven in de keten. Zo kunnen voorspellingen gemaakt worden op basis van afnames door de eindconsument in plaats van elke schakel die apart voorspellingen maakt voor de vraag van de eerstvolgende schakel in de keten. Voorspellingsmodellen zoals exponential smoothing en moving average die gebaseerd zijn op vraag van de eindconsument, maken een bewezen verschil in het tegengaan van het bullwhip effect wanneer ze gebaseerd zijn op de afnames door de eindconsument (Silitonga & Jelly, 2018).

In recent geschreven literatuur valt op dat bedrijven nog steeds de gevolgen dragen van het bullwhip effect. De overvloed aan nieuwe artikels die bijna dagelijks verschijnen toont dit aan. Dit maakt dat het nog steeds relevant is in de huidige economische context. Bedrijven kunnen best rekening houden met dit effect aangezien grote schommelingen in de vraag zowel bij B2B als B2C zorgt voor een destabilisatie van de bedrijfsvoering. Dit brengt een heel aantal kosten en onzekerheden met zich mee, zoals stockouts, het op- en afzetten van machines, aannemen en ontslaan van werknemers, slechte relaties tussen klant en leverancier enz. De gevolgen zijn vooral van economische aard. Kosten ontstaan doordat de continuïteit in de productie doorbroken wordt door het onstabiele vraagpatroon. Machines moeten vaker ingesteld worden, en ontslagen als gevolg van daling in productie worden afgewisseld door het aannemen van werknemers in piekperiodes. Wat betreft voorraad, stijgt de kost naarmate de standaardafwijking van het voorraadniveau groter wordt. Naast de economische gevolgen zijn het vooral de werknemers die het meest onder het effect lijden. Het volatiele vraagpatroon dat het bullwhip effect veroorzaakt, zorgt voor een daling in de werkzekerheid. Daarnaast heeft het bullwhip effect een impact op het serviceniveau dat aan de klant geleverd kan worden. Hierdoor zal deze vaker geconfronteerd worden met lege rekken (Wang X. D., 2016).

In het onderzoek naar het bullwhip effect worden vaak slechts een of twee deelaspecten besproken om een gedetailleerde vaststelling te bekomen over het gekozen thema. Dit soort research is specifiek en negeert het feit dat vaak een combinatie van maatregelen nodig is om het bullwhip effect tegen te gaan. Daarnaast zegt het feit dat een bepaalde maatregel het bullwhip effect kan verminderen, niet hoe groot de impact is in vergelijking met andere maatregelen. Een duidelijk overzicht van de belangrijkste oorzaken, gevolgen en oplossingen dringt zich daarom aan.

1.2 Onderzoeksvraag

1.2.1 Centrale onderzoeksvraag

De oorzaken, oplossingen en gevolgen van het bullwhip effect zijn reeds uitvoerig onderzocht in de voorbije decennia. Desalniettemin staan in de literatuur diverse punten beschreven als voornaamste reden of oplossing van het bullwhip effect. Door een coherent overzicht te geven van de oorzaken, gevolgen en oplossingen, wordt in deze masterproef getracht hier meer duidelijk rond te brengen. Het is bijvoorbeeld mogelijk om de oplossingen te linken aan de oorzaken die gevonden werden. Zo zijn oplossingen niet enkel gelinkt aan het bullwhip effect in het algemeen, maar staat het toe om gericht de oorzaken aan te pakken en de gevolgen te minimaliseren.

Gebaseerd op de probleemstelling en de aard van de masterproef is de centrale onderzoeksvraag als volgt:

“Wat zijn de oorzaken, gevolgen en oplossingen van het bullwhip effect?”

1.2.2 Deelvragen

In deze sectie wordt de centrale onderzoeksvraag aangevuld met deelvragen om het antwoord zo volledig mogelijk te maken. De deelvragen zijn:

1. “Wat zijn de oorzaken van het bullwhip effect?”

Om de problemen van het bullwhip effect aan te pakken moet eerst geweten zijn waar ze ontstaan. Zo is het mogelijk om gericht naar oplossingen te zoeken. Daarnaast is het van belang om de relatieve impact te kennen van de gevonden oorzaken. Prioriteiten kunnen daardoor gesteld worden en de focus kan verlegd worden naar de meest kritieke punten.

2. “Wat zijn de gevolgen van het bullwhip-effect?”

In de literatuur worden de gevolgen vaak in de introductie kort vermeld om het probleem te kaderen. Een verdere uitbreiding hierop is zelden te vinden. Met deze vraag wordt getracht om de gevolgen concreet voor te stellen en daarbij de impact van het bullwhip effect op een duidelijke manier weer te geven. De focus zal liggen op de kosten die veroorzaakt worden als gevolg van verhoogde volatiliteit. Bedrijven zullen daardoor in staat zijn om de kosten als gevolg van het bullwhip effect te lokaliseren, en een budget voor investeringen in maatregelen op te stellen.

3. “Hoe kan het bullwhip-effect worden tegengegaan?”

Geary et al. (2006) beschreven tien principes die te maken hebben met het minimaliseren van het bullwhip effect. Zij hebben een samenvatting gemaakt van de bevindingen tot op dat moment. Mogelijk is ondertussen onderzoek uitgevoerd waar nog extra bevindingen zijn gemaakt, of die de bestaande principes tegenspreken. Het is belangrijk om dit te onderzoeken bij de start van het onderzoek naar de oplossingen, zodat gemaakte assumpties met zekerheid aangehouden kunnen worden. Aanvullingen of contradicties zullen met een kritisch oog bekeken worden. Vaststellingen uit dit onderzoek worden toegevoegd als basis voor deze masterproef. Daarna wordt getracht een algemeen beeld te verschaffen over de belangrijkste literatuur per deelgebied.

4. “Is een onderling verband te vinden tussen de oplossingen voor het bullwhip effect?”

Veel van de oplossingen vertonen een verbondenheid met elkaar. Wanneer bedrijven een bepaalde oplossing willen implementeren om de gevolgen van het bullwhip effect te reduceren, is het noodzakelijk om het volledige plaatje te zien zodat optimale resultaten behaald kunnen worden. Een voorbeeld hiervan is het kiezen van een goede methode voor vraagvoorspelling. Zonder de juiste gegevens, namelijk de afnames door de eindconsument, zal met deze methode weinig resultaat behaald worden, en bestaat de kans dat het bullwhip effect zelfs versterkt wordt (Lee et al., 1997). Na de bespreking van de oplossingen wordt daarom met de beschikbare informatie gekeken hoe deze oplossingen met elkaar in verband staan.

1.2.3 Onderzoeksaanpak en methodologie

In deze masterproef zullen de oorzaken, gevolgen en de bijhorende oplossingen uitvoerig besproken worden. Dit zal gebeuren op basis van wetenschappelijke literatuur, gevonden in databases zoals ScienceDirect, ResearchGate en de onlinebibliotheek van UHasselt. Daarbij wordt een lijst van kernwoorden opgesteld die relevant zijn voor het onderzoek, zoals: *bullwhip effect*, *order amplification*, *forrester effect*, *information sharing*, *lead-time reduction* enzovoort. Daarnaast zal veel inspiratie genomen worden uit bestaande artikels, waar verwijzingen gemaakt worden naar andere artikels. Door de omvang van de literatuur over het bullwhip effect is dit noodzakelijk omdat niet alle artikels gevonden kunnen worden door middel van de juiste zoektermen.

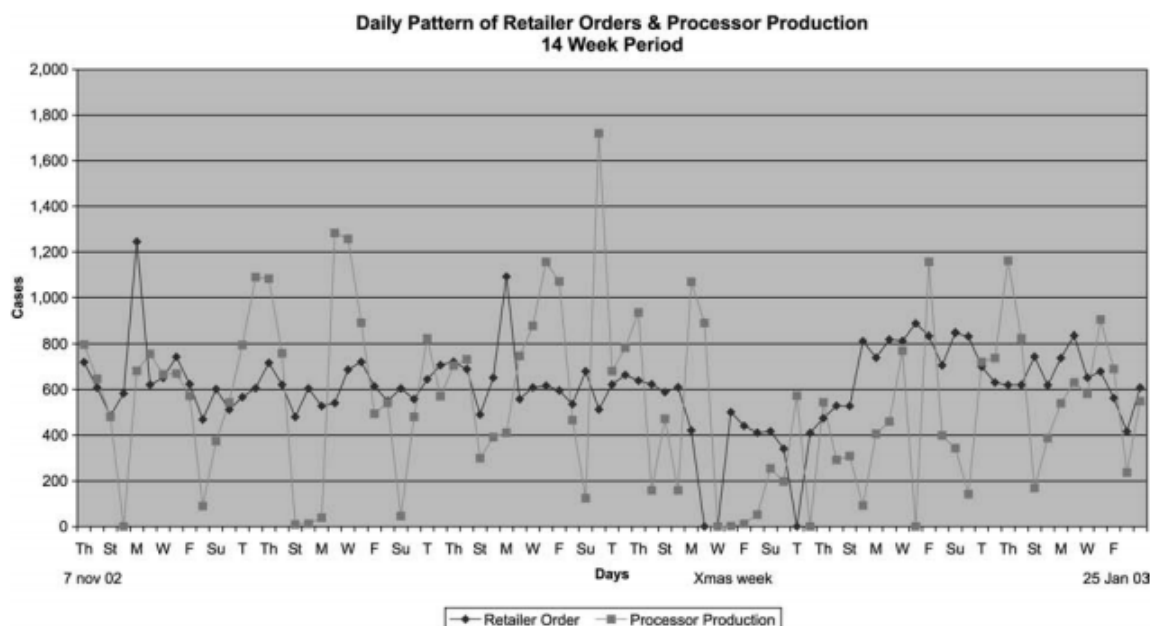
De gevonden artikels zullen beoordeeld worden op relevantie en kwaliteit. Om de relevantie te bepalen, wordt telkens de inleiding en conclusie gelezen. Algemene kwaliteit van een artikel wordt bepaald door de kwaliteit van het tijdschrift, de deskundigheid van de auteur en het aantal referenties. In de reeds gelezen artikels zijn veel bronnen meer dan tien jaar oud. De bedoeling is om zo veel mogelijk recente bronnen te gebruiken, die al dan niet bevestigen wat in de minder recente literatuur geschreven staat.

2 Het bullwhip effect

In dit inleidende hoofdstuk wordt eerst een algemene beschrijving gegeven van het bullwhip effect met de oorsprong, eigenschappen en de verschillende categorieën en perspectieven die te vinden zijn in de literatuur. Als tweede punt wordt een algemene manier aangegeven waarop het bullwhip effect gemeten kan worden. Maatregelen kunnen slechts genomen worden wanneer objectief kan vastgelegd worden dat het bullwhip effect aanwezig is in de supply chain. Door een simpele manier voor te stellen hoe deze meting kan gebeuren zijn bedrijven in staat om de mogelijke aanwezigheid te detecteren. Oplossingen die later toegepast worden kunnen daarnaast geëvalueerd worden op hun effectiviteit.

2.1 Algemeen

Sinds de jaren 90 verschijnt jaarlijks een grote hoeveelheid literatuur met bewijs, interpretaties en oplossingen omtrent het bullwhip effect. Het fenomeen is reeds vele jaren bekend. Zo bekend zelfs, dat het genoemd wordt als de eerste wet van supply chain dynamics (Kouvelis, Chambers & Wang, 2006). De term bullwhip effect werd als eerste bedacht door Procter & Gamble om te verwijzen naar de stijgende variantie van de orders die ze observeerden in hun eigen supply chain. Dit fenomeen werd zelfs in 1910 al gedocumenteerd, eveneens door Procter & Gamble, bij de verkoop van pampers (Lee et al., 1997). Echter, Forrester (1958) was de eerste die het effect formaliseerde. Zijn simulaties demonstreerden de fenomenen die veel managers tot dan toe ervaren hadden (Wang X. D., 2016). Hierin werd aangetoond dat de variantie in de vraag voor de producent groter was dan voor de retailer. Door de bijdrage van Forrester was het fenomeen een hele tijd lang bekend als het Forrester Effect. Een voorbeeld van dit effect is te zien in Figuur 1. Hier werd de productie van processors afgewogen tegenover het vraagpatroon van de retailer. In deze grafiek valt op dat een relatief stabiel orderpatroon van de retailer kan leiden tot grote fluctuaties bij producenten die verder stroomopwaarts gelegen zijn in de supply chain.



Figuur 1 Weergave retailer orders vs. productie van processors (Taylor & Fearnle, 2009)

In zijn onderzoek, beschreef Forrester dat de oorsprong te vinden is in het irrationeel gedrag van de spelers in een supply chain. Maar in literatuur na 1980 proberen onderzoekers steeds de oorzaak van het bullwhip effect toe te schrijven aan interacties tussen partners in de keten, wiens gedrag volledig rationeel is en gericht op lokale optimalisatie (Giard & Sali, 2013).

Binnen de literatuur zijn twee perspectieven op de oorzaken en oplossingen van het bullwhip effect te vinden. Dit zijn het operationele- en gedragsperspectief. Literatuur geschreven vanuit het operationele perspectief focust op het verwijderen en aanpassen van bedrijfsgebonden en verticale structuren en gerelateerde processen in de supply chain (Geary et al., 2006; Lee et al., 1997). Bij het gedrags-, ofwel behavioral perspectief, wordt geconcludeerd dat de prestaties van operations management niet verklaard kunnen worden door enkel een operationeel perspectief aan te nemen (Bendoly, Donohue & Schultz, 2006; Gino & Pisano, 2008). De belangrijkste bevinding hierbij is dat het rationeel gedrag van de beleidsmakers niet altijd optimaal is, wat in essentie een belangrijke oorzaak vormt van het bullwhip effect.

Het bullwhip effect zelf kan opgesplitst worden in vraagdistorsie (demand distortion), en amplificatie van de variantie (variance amplification) (Lee et al., 1997). Vraagdistorsie doet zich lokaal voor tussen twee bedrijven en houdt in dat orders gemaakt bij de leverancier een grotere variantie hebben dan de orders geplaatst door de koper. Amplificatie van de variantie beschrijft hetzelfde effect maar dan voor de hele supply chain, waarbij de vraagdistorsie toeneemt bij elke schakel in de keten.

Naast het bullwhip effect, is in recente literatuur ontdekt dat een directe tegenpool te vinden is in supply chains, het anti-bullwhip effect. Het beschrijft het fenomeen waarbij de variantie van orders geplaatst bij de leverancier kleiner is dan de orders geplaatst door de koper (omgekeerde van demand distortion). Dit effect zwakt af stroomopwaarts (omgekeerde van variance amplification). Het anti-bullwhip effect is erg gerelateerd aan het principe van production smoothing, wat ook een afzwakking van variantie voorspelt stroomopwaarts, maar met een belangrijk verschil: de meeste papers die over production smoothing handelen, zijn gebaseerd op een assumptie dat productie of voorraadbeslissingen de sleutel zijn om het effect af te zwakken, maar het anti-bullwhip effect volgt deze regel niet. Zelfs na het adopteren van hetzelfde productie- en voorraadbeleid, vertonen sommige het bullwhip effect, en anderen het anti-bullwhip effect. Het is niet meer een kwestie van of beide effecten bestaan, maar waarom de twee kunnen ontstaan en gerelateerd zijn aan elkaar (Li, Yu, Wang, & Yan, 2017).

2.2 Meetstaven voor bullwhip

Om de grootte van het bullwhip effect vast te leggen is een maatstaf nodig. In de literatuur zijn hiervoor verschillende methodes uitgewerkt met variërende complexiteit. Vaak is het een vergelijking van varianties tussen de schakels in de keten die bepaald of het bullwhip effect al dan niet aanwezig is. Onder andere Sadeghi (2015) gebruikt een ratio tussen de variantie van orders geplaatst bij de leverancier en variantie van orders geplaatst door de klant, weergegeven als volgt: Bullwhip effect = $\frac{Var(\text{supplier orders})}{Var(\text{demand})}$. Vaak wordt deze berekening aangepast aan specifieke situaties waardoor de formule veel complexer wordt. Bijvoorbeeld wanneer het bullwhip effect berekend wordt rekening houdend met de marktcompetitie tussen twee retailers (Ma & Ma, 2017). Toch blijft hierbij de basis hetzelfde, de variantie van de geplaatste orders wordt afgewogen met de variantie van de klantvraag.

Twee primaire methodes worden gebruikt in de literatuur. De oorspronkelijke manier, voorgesteld door Lee et al. (1997), meet het bullwhip effect als een vergelijking van de variantie van orders geplaatst bij de leverancier en de variantie van de orders gemaakt door de klant. Deze definitie omvat de informatie distorsie die stroomopwaarts gaat. Een tweede definitie, gebruikt in de meeste empirische studies, vergelijkt de variantie van geplaatste orders met de variantie van verkoop. In sommige gevallen wordt de order informatie gehaald uit verkoop- en voorraadgegevens. Deze definitie omvat de distorsie in materiaal flow die stroomafwaarts gaat. Beide metingen zijn vrij gelijkaardig, aangezien de materiaal stroom meestal de informatiestroom volgt (Chen & Lee, 2012).

Echter Jin et al. (2017) maken gebruik van de coëfficiënt van variatie (CV), gedefinieerd als het gemiddelde van de orders gedeeld door de standaardafwijking, in tegenstelling tot variantie wat de meest gangbare manier is. Daarna wordt het verschil genomen tussen de berekende CV's, en wordt duidelijk of het bullwhip effect zich al dan niet voor doet. In een praktijk omgeving is het aangeraden de CV te gebruiken om vergelijkingen tussen stromen met verschillende gemiddelden mogelijk te maken. Trapero & Pedregal (2016) gebruiken dezelfde methode, enkel maken zij de vergelijking op basis van een ratio en niet als het verschil.

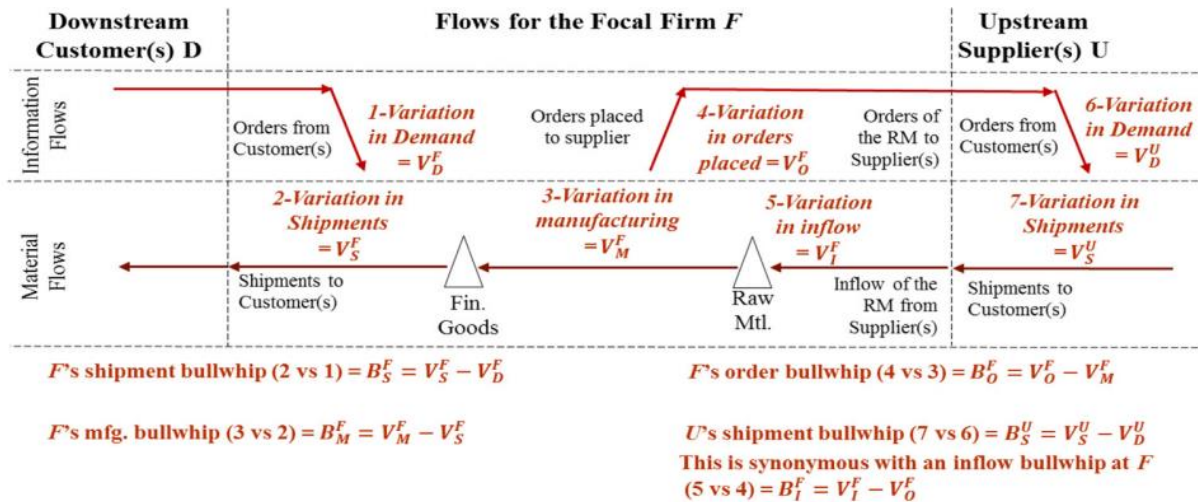
In de literatuur zijn maatstaven te vinden voor bullwhips die ontstaan binnen het bedrijf (interne maatstaven) en bullwhips tussen de leden van de supply chain (interprofessionele maatstaven), mede aangegeven door Jin et al. (2017). Deze worden hier apart besproken.

2.2.1 Interne maatstaven

Managers hebben vaak geen goed zicht op het al dan niet aanwezig zijn van verhoogde variantie stroomopwaarts in de keten. Als deze informatie niet beschikbaar is, kan de impact ervan niet gemanaged of verminderd worden. Jin et al. (2017) demonstreren in hun onderzoek hoe managers op een methodische manier de algemene maatstaf van bullwhip kunnen opdelen, opvolgen en herkennen. Dit is de eerste stap om toekomstige maatregelen te evalueren op hun effectiviteit.

Jin et al. (2017) hebben tijdens hun onderzoek een methodologisch framework uitgewerkt om het bullwhip effect te meten en de impact te evalueren. Hierbij wordt aangeraden om met meerdere interne bullwhips rekening te houden en niet enkel een algemene maatstaf. Jin et al. (2016) hebben de algemene, ofwel 'inter-firm bullwhip', opgedeeld in drie interne bullwhips: verzendingen bullwhip,

productie bullwhip en order bullwhip. Een schematische voorstelling van deze opdeling is te zien in Figuur 2. De drie interne maatstaven weergegeven in Figuur 2 worden hierna individueel besproken.



Figuur 2 Ontleding van de interprofessionele bullwhip van het lokale bedrijf in drie interne bullwhips (Fin et al., 2017)

2.2.1.1 Verzendingen bullwhip

Dit is de meest stroomafwaartse maatstaf. Deze bullwhip beschrijft het verschil in CV tussen orders gemaakt door de klant en de verzendingen door het lokale bedrijf. De CV van orders gemaakt door de klant wordt weergegeven als V_D^F , waarbij F staat voor het centrale bedrijf waarvoor de maatstaf berekend wordt. D staat voor de variatie in de vraag. Het bedrijf F kan ervoor kiezen om niet meteen alle bestellingen te vershippen in afwachting van bijvoorbeeld een volle vrachtwagen. Daarom is het mogelijk dat de verzendingen en bestellingen niet overeen komen. Voor de verzendingen wordt de parameter V_S^F gebruikt, waarbij S staat voor 'shipments'.

Om de eerste interne bullwhip te berekenen wordt een verschil genomen van de twee besproken CV's. De formule wordt dan als volgt genoteerd: $B_S^F = V_S^F - V_D^F$. B_S^F staat voor de verzendingen (e.g. shipment) bullwhip van bedrijf F. De vraag wordt beschouwd als geamplificeerd wanneer B_S^F groter is dan nul, en afgevlakt wanneer deze een waarde vertoont kleiner dan nul.

2.2.1.2 Productie bullwhip

Als bedrijf F voorraad houdt van afgewerkte goederen, dan zal op een bepaald moment de output van productie niet matchen met de verzendingen. De vraag kan bijvoorbeeld seizoensgebonden zijn, waarbij het bedrijf beslist om extra te produceren in periodes van lage vraag (voorraad opbouwen), en onderproduceren (leveren uit voorraad) in periodes van hoge vraag (Cachon, Randall & Schmidt, 2007; Bray & Mendelson, 2015). Batch productie en onzekerheden kunnen hier eveneens toe bijdragen.

Productie bullwhip wordt gedefinieerd als $B_M^F = V_M^F - V_S^F$, waarbij V_M^F de CV in productie beschrijft en V_S^F de CV van de verzendingen voorstelt. Dezelfde regels zijn hier van toepassing. Een waarde boven nul wordt beschouwd als versterking van de vraag, en een waarde onder nul als afvlakking.

2.2.1.3 Order bullwhip

Het gebruik van (ruwe) materialen voor productie induceert de aanvulling van nieuwe (ruwe) materialen wanneer deze opgebruikt zijn. Hierbij kunnen verschillen ontstaan, bijvoorbeeld door kortingen gegeven door de leverancier, waardoor de koper beslist om grote hoeveelheden op voorhand al te bestellen. De formule voor het berekenen van de order bullwhip is als volgt: $B^F_O = V^F_O - V^F_M$, waarbij V^F_O staat voor de CV van de orders geplaatst bij de leverancier van bedrijf F. Dezelfde principes gelden hier, een waarde onder nul weerspiegelt afvlakking en waardes boven nul geven amplificatie aan.

2.2.1.4 Intra-specifieke maatstaven

Verder worden nog intra-specifieke maatstaven besproken door Jin et al. (2016). Hierbij zijn dezelfde formules van toepassing, met als verschil dat ze specifiek zijn opgesteld voor een enkele klant of leverancier. Een bepaalde maatstaf, bijvoorbeeld de verzendingen bullwhip, kan gezond lijken door een waarde dicht bij 0 te vertonen, maar wanneer deze voor specifieke klanten bekeken wordt kunnen hier opmerkelijke verschillen optreden. Het is daarom belangrijk dat de niet-specifieke maatstaf gebruikt wordt als een indicatie, en daarna hier verder op ingegaan wordt door gebruik te maken van de intra-specifieke maatstaven

Het gebruik van intra-specifieke maatstaven komt erg van pas tijdens gesprekken met individuele klanten of leveranciers aangezien beide firma's slechts kunnen werken aan de bullwhips die ontstaan tussenbeide. In hun paper beschrijven Jin et al. (2016) hoe het betreffende bedrijf in de studie actie ondernam met hun klanten in navolging van de berekende maatstaven. De verzendingen bullwhip van firma F vertoonde een waarde net onder nul voor distributeur D, wat duidt op afvlakking van de vraag. Dit op zich is goed, maar wanneer de distributeur haar eigen intra-specifieke bullwhips liet zien, viel op dat de CV van de orders geplaatst bij bedrijf F veel hoger was dan de verzendingen naar de eindconsument. Eens deze informatie bekend was, analyseerde bedrijf F haar eigen processen om zo de oorzaak te vinden. Ze ontdekten dat de oorzaak te vinden was in hun eigen routinematige prijsstijgingen. Dit zorgde ervoor dat distributeur D tijdens deze periodes grotere hoeveelheden producten aankocht om de prijsstijgingen voor te zijn. Na verdere evaluatie van het probleem kwamen ze tot de conclusie dat dit probleem zich voor deed bij heel wat andere klanten. Een herstructurering van het prijsbeleid drong zich hierdoor aan.

2.2.2 Interprofessionele maatstaven

De conventionele, niet opgedeelde maatstaf voor bullwhip, is een combinatie van alle bovenstaande formules. Het is de CV van de orders geplaatst bij de leverancier min de CV van de gekregen orders van de klant: $B^F = V^F_O - V^F_D$, ofwel $B^F = B^F_S + B^F_M + B^F_O$. Hetzelfde geldt voor de stroomopwaarts en -afwaarts gelegen partners, waarbij de letter F vervangen kan worden door U (upstream) of D (downstream). Met de interprofessionele maatstaven is het mogelijk om amplificatie van de variantie doorheen de keten te bestuderen door de CV bij elke schakel naast elkaar te zetten.

3 Oorzaken

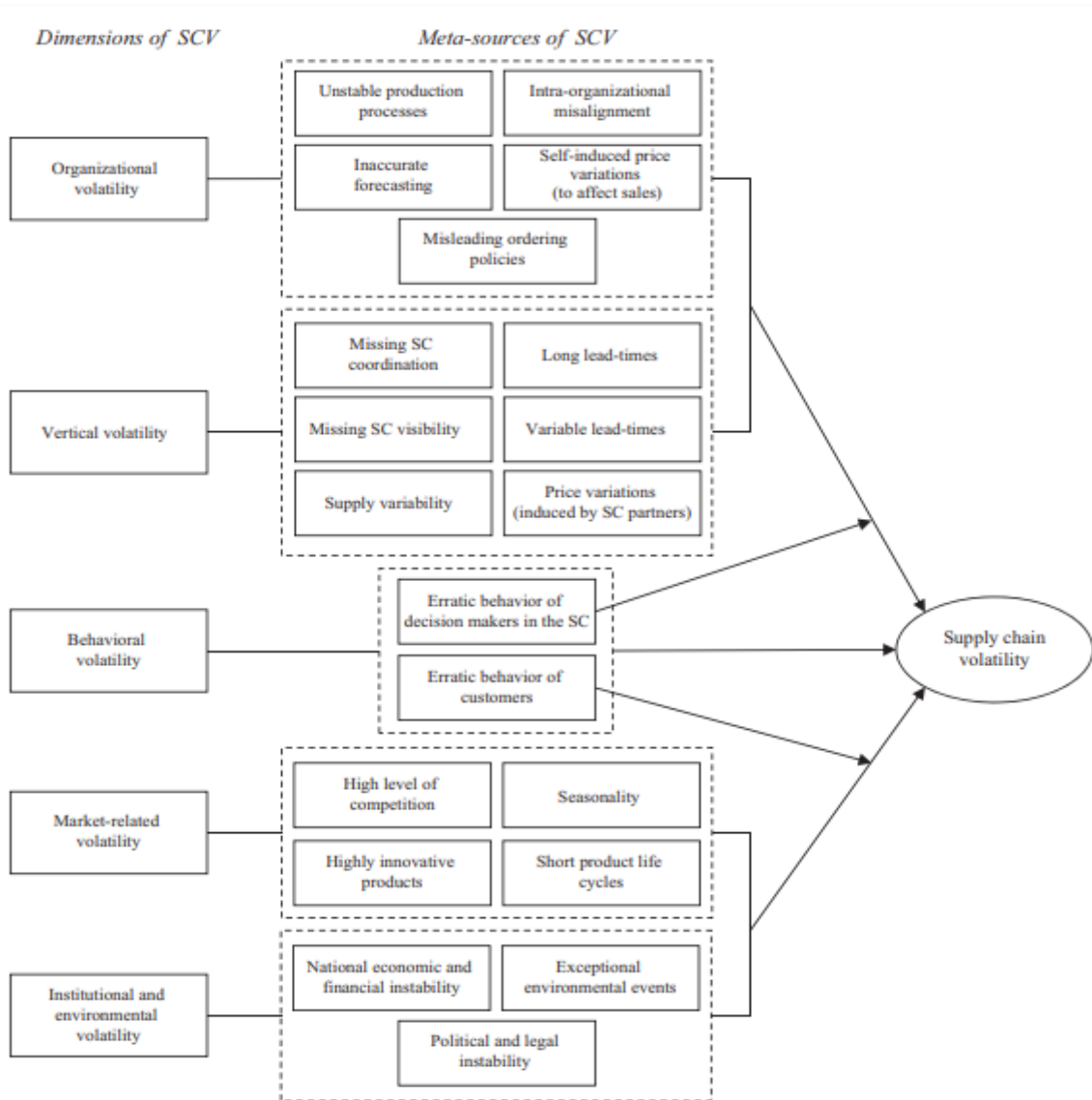
In dit hoofdstuk worden de oorzaken van het bullwhip effect besproken. Eerst volgt een korte inleiding over de bestaande literatuur. Hier wordt een onderscheid gemaakt tussen operationele, gedrags- en externe oorzaken. Daarna worden de gevonden oorzaken per categorie verder uitgebreid.

3.1 Inleiding

Wanneer onderzoekers de oorzaken van het bullwhip effect bespreken, wordt vaak het werk van Lee et al. (1997) aangehaald. In hun onderzoek identificeren ze vier belangrijke oorzaken van het bullwhip effect. Dit zijn updaten van de vraagvoorspelling, order batching, prijschommelingen en rantsoenering en shortage gaming. Oorzaken zijn volgens hen te vinden in het rationaal gedrag van de beleidsmakers binnen de beschikbare supply chain infrastructuur. Dit is tegenstelling tot wat Forrester (1958) aangaf, dat de oorzaak van het bullwhip deels te vinden is in het irrationeel gedrag van de spelers. Dit belangrijk verschil impliceert dat bedrijven die het bullwhip effect willen controleren de focus moeten leggen op het aanpassen van de infrastructuur en niet zozeer het gedrag van de bevoegde personen. Ze bekeken deze problematiek vanuit een operationele invalshoek.

Ondertussen is deze visie gedeeltelijk veranderd en houden onderzoekers naast operationele factoren rekening met oorzaken als gevolg van het gedrag van de beleidsmakers. De oorzaken die hieruit voortkomen zijn meestal een gevolg van cognitieve beperkingen, ofwel gelimiteerde rationaliteit. Door deze cognitieve beperkingen van rationele besluitvormers worden suboptimale beslissingen gemaakt die leiden tot een grotere variantie van de orders (Sterman, 2000).

Bij de oorzaken zijn bijgevolg twee categorieën te onderscheiden: operationele en gedragsoorzaken. Na het vastleggen van de eerste oorzaken door Lee et al. (1997), hebben onderzoekers heel wat nieuwe vaststellingen gedaan. Bhattacharya & Bandyopadhyay (2011) hebben in hun literatuur review tot wel 19 oorzaken geïdentificeerd en opgedeeld in operationele en gedragsoorzaken. Nitsche & Durach (2018) hebben in hun onderzoek de verschillende oorzaken verder gecategoriseerd en de invloed van nieuwe factoren geïntroduceerd. Deze nieuwe factoren zijn marktgerelateerde volatiliteit en institutionele en omgeving gerelateerde invloeden. Daarnaast wordt het operationele segment opgesplitst in verticale en organisatorische geïnduceerde volatiliteit. Verticale volatiliteit wordt veroorzaakt door de leden van de supply chain of door het design van de keten. Organisatorische oorzaken vinden hun oorsprong binnen het bedrijf zelf. Een schematische voorstelling van hun model is weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3 Oorzaken van het bullwhip effect, voorgesteld door Nitsche & Durach (2018)

Naast het categoriseren van oorzaken, hebben Nitsche & Durach (2018) rekening gehouden met de relatieve impact van de betreffende oorzaken en de beïnvloedbaarheid door het bedrijf of de keten. Deze gegevens zijn het resultaat van een enquête gevoerd bij 17 supply chain managers van bedrijven met variërende grootte. Antwoorden werden ingevuld op een likert-schaal van 7 punten. Uit deze gegevens valt op te merken dat institutionele en omgevingsgebonden volatiliteit de grootste impact kunnen hebben op de supply chain. Echter, de score voor beïnvloedbaarheid is de laagste van alle categorieën. Daarnaast wordt aangegeven dat operationele oorzaken (organisatorisch en verticaal) een grotere relatieve impact hebben dan de gedragsoorzaken. De resultaten zijn terug te vinden in Tabel 1.

Tabel 1 Mediaan van de drie karakteristieken voor elke dimensie (Nitsche & Durach, 2018)

Dimension of SCV	Relative deviating impact	Repetitiveness	Influenceability
Organizational volatility	5	5	6
Vertical volatility	5	5	4
Behavioral volatility	4	4	2
Market-related volatility	4	2	2
Institutional and environmental volatility	6	2	1

Notes: The value show medians of answers between 1, very low; 4, medium; 7, very high

De oorzaken die hierna vermeld worden zijn een samenvatting van het onderzoek van Lee et al. (1997), Bhattacharya & Bandyopadhyay (2011) en Nitsche & Durach (2018). De structuur van Nitsche & Durach (2018) wordt behouden om de verschillende factoren te categoriseren. Vijf categorieën worden in dit hoofdstuk besproken: operationele oorzaken opgedeeld in organisatorische en verticale oorzaken, gedragsoorzaken, marktgerelateerde en tot slot institutionele en omgeving gerelateerde oorzaken.

3.2 Operationele oorzaken

Operationele oorzaken zijn te vinden in de processen van elk bedrijf op zich, en in de structuur van de supply chain. In de literatuur wordt het meeste onderzoek naar oorzaken en oplossingen van het bullwhip effect uitgevoerd binnen deze dimensie. Hieronder worden de operationele oorzaken besproken, opgedeeld in organisatorische en verticale dimensies.

3.2.1 Organisatorisch

Organisatorische oorzaken bevinden zich binnen het bedrijf en kunnen bijgevolg bijna volledig door het bedrijf zelf aangepakt worden. Ze hebben een relatief hoge impact op de supply chain. Positief hierbij is dat de problemen binnen deze topic erg beïnvloedbaar zijn. Wanneer het bedrijf bereid is de nodige kosten en herstructureringen te maken zal dit ten goede komen zowel intern als voor de hele supply chain.

Oorzaken die binnen deze topic besproken worden zijn foute voorspellingen, order batching, prijschommelingen, rantsoenering en shortage gaming, voorraad en orderbeleid, multipliereffect, onstabiele bedrijfsprocessen en misperceptie van feedback.

3.2.1.1 Foute voorspellingen

Bedrijven in een supply chain proberen voorspellingen van de vraag te maken om allerlei plannings en capaciteit hierop af te stemmen. In supply chains waar de informatie niet transparant is zijn deze voorspellingen gebaseerd op de historische gegevens van de eerstvolgende partner(s) stroomafwaarts. Wanneer de klant een order plaatst, ziet de manager dit als een signaal voor toekomstige vraag. Gebaseerd op dit signaal, worden voorspellingen aangepast en bijgevolg de orders die gemaakt worden bij de leverancier(s). Lee et al. (1997) beweren dat dit een belangrijke bijdrage vormt tot het ontstaan van het bullwhip effect.

Het is belangrijk hierbij te noteren dat elke schakel een voorspelling maakt voor de dichtstbij zijnde partner. Op deze manier worden voorspellingen ontkoppeld van de werkelijke vraag bij de eindconsument, wat resulteert in een grotere variantie van de orders bij elke stap stroomopwaarts. Zelfs voorspellingsmodellen zoals exponential smoothing, waarbij de vraag in eerste instantie wordt

afgevlakt om daarna via een smoothing constante alfa en toevoeging van seizoensinvloeden een voorspelling te maken, kunnen de amplificatie niet verhelpen (Lee et al., 1997). Bovendien vormen inaccurate, constant veranderende en verkeerde voorspellingen een uitdaging voor de leverancier, en versterkt het de kans op een verschil tussen vraag en aanbod (Barlas & Gunduz, 2011; Childerhouse, Disney & Towill, 2008; Lee et al., 1997).

3.2.1.2 Order batching

In een supply chain plaatst elk lid orders bij een bedrijf dat stroomopwaarts gelegen is, gebaseerd op een gehanteerd voorraad of orderbeleid. Voorraad neemt doorheen de tijd af, maar een bedrijf kan ervoor kiezen om niet meteen bij te bestellen. Orders worden soms verzameld om ze in één grote bestelling door te geven. In plaats van frequente orders, plaatsen bedrijven daarom soms hun orders wekelijks, tweewekelijks of zelfs maandelijks. Soms kan het ook zijn dat leveranciers niet frequent leveren door de grote tijd of kost die verbonden is aan het verwerken van de bestellingen. Hierdoor is het niet meer mogelijk om de eindvraag af te leiden uit de orders die binnen komen bij de leveranciers, en worden onnodige pieken en dalen geïntroduceerd in de supply chain.

Een obstakel voor bedrijven die frequenter willen bestellen, is de kost van transport. Aanzienlijke verschillen zijn te vinden in de prijzen van full truck load (FTL) en less-than-truckload (LTL), waardoor bedrijven meer geneigd zijn om orders te plaatsen voor een FTL. Maar niet enkel transport speelt een rol in de totale kost. Leveranciers geven vaak opzettelijk betere prijzen voor levering met FTL, omdat dit voor hen schaalvoordelen oplevert. Voor sommige afnemers resulteert dit in voorraad voor een maand dat in één levering in het magazijn opgeslagen wordt, wat tot verlengde ordercyclussen leidt (Lee et al., 1997).

Order batching op zich is vaak voldoende om een order amplificatie te veroorzaken, maar deze amplificatie is beperkt aangezien de evolutie zich niet voortzet naar de volgende partners in de keten als deze hetzelfde niveau van batching aanhouden. Het bullwhip effect kan enkel veroorzaakt worden door order batching wanneer de niveaus van order batching stroomopwaarts stijgen (Barlas & Gunduz, 2011).

3.2.1.3 Prijschommelingen

Schommelingen in de prijs kunnen allerlei negatieve gevolgen hebben voor de supply chain. Het fenomeen 'forward buying' hoort bij deze categorie en wordt aangegeven als een grote bijdrage aan de verhoogde variantie van orders. Productiebedrijven en distributeurs hebben vaak speciale promoties zoals kortingen op bepaalde artikels, hoeveelheidskortingen, coupons, enz. Deze promoties leiden tot prijschommelingen. Het resultaat hiervan is dat klanten producten kopen die niet voldoen aan hun directe behoeftes. Wanneer de prijs van een product laag is, koopt de klant in grote hoeveelheden aan om zo een kostenvoordeel te behalen. Eens de prijs terug gestegen is, stopt de klant met kopen totdat de voorraad op is, met als resultaat dat het kooppatroon niet overeenkomt met het consumptiepatroon. Dit geeft aan dat promoties kunnen terugslaan door de impact die het heeft op de voorraad van het productiebedrijf en de misleidende informatie die het verspreid omtrent de vraag van de eindconsument (Lee et al., 1997).

Daarnaast zijn prijsfluctuaties een effect dat, in geval van promoties door leveranciers, stroomopwaarts ontstaat en zijn weg naar beneden de keten werkt. Daarom wordt het wel eens de oorzaak van het reverse bullwhip effect in prijszetting genoemd. Het ontstaat wanneer een hoge graad van uitstel van productie, ofwel postponement, te vinden is bij de inbound logistiek en een hoge graad van speculatie bij outbound logistiek. De redenen voor Reverse bullwhip effect zijn limitatie van productiecapaciteit, mankementen bij de kwaliteit van producten, onbetrouwbare informatie en transport en andere onzekerheden in de upstream supply chain (Svensson, 2003).

Wanneer promoties gegeven worden door retailers wordt het effect beneden in de keten ingezet, en werkt het zich door stroomopwaarts in de keten. Plotse stijgingen van de vraag door onder andere kortingen kunnen bij slechte communicatie verkeerde signalen sturen naar de schakels die stroomopwaarts gelegen zijn. Hierbij is de link met het door Lee et al., (1997) aangehaalde 'forecast updating' te vinden, waarbij de misinterpretatie van deze signalen kan leiden tot het verkeerd inschatten van toekomstige vraag en een verhoogde variantie van de orders als gevolg.

3.2.1.4 Rantsoenering en shortage gaming

Wanneer de vraag naar een product groter is dan de aanvoer zal de producent vaak ervoor kiezen om producten te rantsoeneren. Een manier om dit te doen is de orders gelijk te verdelen over de klanten. Stel dat slechts 50 procent van de totale vraag geleverd kan worden, dan krijgt elke klant de helft van zijn orders geleverd. Klanten die hiervan op de hoogte zijn gaan soms meer bestellen dan wat ze eigenlijk nodig hebben. Wanneer uiteindelijk de vraag afkoelt, verdwijnen orders plots en worden ze geannuleerd. Dit fenomeen ontstaat door de overreactie van klanten, die volledig rationele beslissingen maken en spelen met de potentiële rantsoenering. Naast geannuleerde orders is het negatieve van 'gamen' met de orders dat het weinig inzicht geeft aan de producent over de werkelijke vraag van de eindconsument. Wanneer kopers de orders die reeds geplaatst zijn niet in acht houden, wordt het effect nog vergroot (Lee et al., 1997; Nitsche & Durach, 2018)

Shortage gaming is een gevolg van initieel een gebrek aan capaciteit bij de leverancier, en in tweede instantie het gedrag van de kopers die hierop inspelen door verhoudingen aan te passen om hier voordeel uit te halen. Bijgevolg kan deze oorzaak ingedeeld worden bij zowel de operationele als de gedragsoorzaken. Een aantal operationele oplossingen zijn echter voldoende om deze problematiek aan te pakken. Daarom zal in deze masterproef rantsoenering bij de organisatorische categorie opgenomen worden.

3.2.1.5 Voorraad- en orderbeleid

De keuze van het voorraadbeleid bepaalt hoe vaak en wanneer bestellingen geplaatst worden om de voorraad terug aan te vullen. De hoeveelheid die besteld wordt maakt hier eveneens deel van uit. In de literatuur wordt het vaakst het order-up-to (OUT) principe gebruikt. Het is bekend als een optimale aanpak aangezien voor een gegeven sequentie van voorspellingsfouten, de order-up-to strategie de variantie van de voorraadniveaus minimaliseert (Warburton & Disney, 2007). Bij deze methode worden orders geplaatst wanneer het voorraadniveau zakt onder een vastgelegde grens 's' en wordt de voorraad aangevuld tot op het niveau 'S'. Hierbij geldt vaak de regel dat $S-s = EOQ$, waarbij de hoeveelheid besteld wordt aan een minimale kost. Naast order-up-to zijn nog andere strategieën te vinden: (1) dezelfde hoeveelheid bestellen op vaste tijden, ongeacht huidige voorraad, (2) Vaste

hoeveelheid Q bestellen wanneer voorraad onder s gaat, (3) de voorraad wordt periodiek nagekeken, en orders worden gemaakt om dit terug aan te vullen tot een bovengrens. Het effect van een verschillend orderbeleid tussen de partners onderling is nog niet uitvoerig bestudeerd in de literatuur. Maar een combinatie van een gebalanceerde order strategie en kleine batchgroottes kunnen de variabiliteit in de vraag bij de leverancier verminderen (Potter & Disney, 2005).

Boute (2007) heeft de impact van een gelijkvormig aanvulbeleid bestudeerd, en heeft aangetoond dat de kost binnen de supply chain drastisch verminderd kan worden als elke schakel hetzelfde aanvulbeleid volgt. Gesynchroniseerde orders zorgen voor meer stabiliteit, waardoor de kans dat het bullwhip effect zich voor doet verminderd.

3.2.1.6 Multipliereffect

Het multipliereffect beschrijft het fenomeen waarbij een initiële vraagstijging bij de klant een stijging van de aanvoer groter dan de originele stijging of piek veroorzaakt. Wanneer orders gemaakt door de klant stijgen of een onverwachte piek vertonen, moet de supply chain hierop gaan reageren. Bedrijven passen hierdoor hun voorspellingen aan, waardoor verwachte orders stijgen, alsook de gewenste voorraad. Door deze aanpassing wordt het verschil tussen gewenste en huidige voorraad groter, met een extra stijging van gewenste productie als gevolg. Afhankelijk van de reactiviteit van de productieprocessen zal de voorraad in eerste instantie afnemen omdat productie de vraagstijging niet kan bijhouden. In deze fase kunnen alle orders geleverd worden uit voorraad, maar na verloop van tijd kunnen niet alle zendingen meer voldaan worden. Het groeiende verschil tussen gewenste en actuele voorraad duwt gewenste productiehoeveelheid boven de verwachte orders. In een case uit het onderzoek van Sterman (2006) zorgt een vraagstijging van 20% voor pieken in de productie tot wel 42% hoger dan de initiële hoeveelheid zo'n vier weken na de schok. Een handige maatstaf voor supply chain instabiliteit is de amplificatieratio, gedefinieerd als de ratio tussen maximale verandering van output tegenover de maximale verandering van input. Voor het betreffende voorbeeld is dit $42\%/20\%$, wat resulteert in een amplificatie ratio van 2,1. Een stijging van 1% in de gewenste capaciteit resulteert in een piek bij productie van meer dan 2%. Het multipliereffect is zoals te zien is een rechtstreeks gevolg van het bullwhip effect, en kan dit verder versterken wanneer stock-outs zich voor doen en de productie moet achtervolgen.

3.2.1.7 Onstabiele Bedrijfsprocessen

Apparatuur en machines binnen de supply chain zijn soms gevoelig voor problemen met betrouwbaarheid. Bijvoorbeeld wanneer de gemiddelde vraag 1000 units is maar de productiemachine kan in week 1 door betrouwbaarheidsproblemen slechts 800 produceren, zal voor week 2 gevraagd worden om 1200 units te produceren. Op deze manier wordt variabiliteit in de vraag getriggerd door falen van de machine. Hetzelfde geldt voor onbetrouwbare processen, die niet consistent goederen geschikt voor verkoop kunnen produceren. De netto geproduceerde hoeveelheid kan hierdoor onder het vereiste aantal zijn. Dergelijke voorvallen van problemen gerelateerd aan de productie en onzekerheid kunnen daarnaast de houding en bijgevolg het orderbeleid van andere bedrijven tegenover het eigen bedrijf wijzigen (Bhattacharya & Bandyopadhyay, 2011).

3.2.1.8 Misperceptie van feedback

Verkeerd interpreteren van signalen is iets dat sterk opvalt bij het spelen van de beer game, met gelijkaardige voorvallen in de praktijk. Sterman (1989) heeft gemerkt dat spelers in de beer game orders plaatsen in een suboptimale manier omdat ze de dynamiek van de supply chain niet verstaan. Ze interpreteren de inkomende orders niet goed, en bijgevolg proberen ze de orders af te vlakken terwijl ze meer moeten bestellen. Bij de beslissing van de orderhoeveelheid wordt geen rekening gehouden met de grote wachttijd tussen plaatsen en ontvangen van orders in de totale aanvoerlijn. Vaak wordt de wachttijd onderschat en zullen in een vroeg stadium backorders ontstaan. Vervolgens bestellen de spelers meer om de backorders goed te maken, maar vergeten zicht op de bestellingen die nog onderweg zijn en bestellen zo meer dan feitelijk nodig is. In de realiteit zijn managers vaak bewust van de orders die nog onderweg zijn, maar in gedecentraliseerde supply chains zijn ze onbewust van de voorraad die bij elke schakel wordt bijgehouden.

3.2.2 Verticaal

Verticale volatiliteit beschrijft het deel van supply chain volatiliteit dat veroorzaakt wordt door factoren binnen de supply chain. Deze oorzaken worden beïnvloed door partners in de keten of het ontwerp van de keten zelf. Verticale volatiliteit wordt gekenmerkt door een relatief hoge impact op de supply chain. Het probleem bij deze dimensie is dat het minder beïnvloedbaar is dan de organisatorische oorzaken. Problemen zijn vaak makkelijker aan te pakken als ze binnen het bedrijf gebeuren, wat hier niet van toepassing is. Goede coördinatie tussen partners binnen de keten is niet zo simpel als het lijkt, en brengt vaak hoge kosten met zich mee (Nitsche & Durach, 2018).

De verticale oorzaken die hieronder beschreven worden zijn lead-time, gebrek aan informatie transparantie, aantal schakels, lokale optimalisatie en nog een aantal overige oorzaken.

3.2.2.1 Lead-time

Wang, Liu, Zhen & Quan (2008) onderzochten de impact van lead-time op het bullwhip effect en vonden dat het bullwhip effect vergroot wanneer de lead-time toeneemt. Daarnaast toonde hun research aan dat reductie van de lead-time kan leiden tot lagere veiligheidsvoorraad, vermindering van stockouts en verbetering van de customer service. Naast de grootte van de lead-time is de variabiliteit van even groot belang. Klanten houden rekening met onzekere lead-times en passen hierdoor hun orderbeleid aan.

Lead-time in het algemeen heeft een belangrijke invloed op de productie en voorraadbeslissingen bij zowat alle bedrijven. Het versterkt andere vormen van inefficiënties in de supply chain zoals hoge variabiliteit in de vraag van de eindconsument. Management van de voorraad wordt hierdoor veel complexer. Daarnaast brengen lange en onstabiele lead-times onzekerheid. De prestaties van de keten kunnen hier aanzienlijk onder leiden zowel vanuit een intern als extern perspectief (de Treville, Shapiro & Hameri, 2004).

3.2.2.2 Gebrek aan informatie transparantie

Gebrek aan transparantie over het systeem en de informatie die zich hierin bevindt is een van de grootste oorzaken van het bullwhip effect. Dit dringt aan tot delen van essentiële informatie met de betrokken schakels in de keten. Essentiële informatie kan gegevens omvatten zoals historische vraaggeschiedenis per schakel, orderschema's van stroomafwaartse partners, vraaggeschiedenis van

de eindconsument en stroomafwaartse voorraadgegevens (Bhattacharya & Bandyopadhyay, 2011; Nitsche & Durach, 2018). Zonder deze informatie zijn beleidsmakers bij elke schakel beperkt in hun rationaliteit en ervaren ze cognitieve limitaties bij het nemen van beslissingen. Optimale beslissingen kunnen slechts gemaakt worden als de beleidsmakers toegang hebben tot de juiste informatie, wat bij een gebrek aan transparantie niet kan gebeuren. Informatie delen als een manier om het bullwhip effect te verminderen wordt daarom sterk aanbevolen in de literatuur (e.g. Kyoung & Jae-Dong, 2019).

3.2.2.3 Aantal schakels

Hoe meer schakels zich in de keten bevinden die voorraad aanhouden, hoe groter de kans dat het bullwhip effect zich voor doet. Paik & Bagchi (2007) geven aan dat het aantal schakels in de keten een van de meest invloedrijke factoren is voor het ontstaan van het bullwhip effect. Wanneer meer schakels worden toegevoegd aan de supply chain verhoogt het niet alleen de materiaal en informatie lead-times, maar ontstaan daarnaast nieuwe punten waar beslissingen gemaakt moeten worden omtrent de orders die geplaatst zullen worden. Hierdoor wordt de kans op vraag distorsie enkel groter en zal elke schakel in de supply chain een meer variabel vraagpatroon ondervinden.

3.2.2.4 Lokale optimalisatie zonder globale visie

Wanneer bedrijven het grotere plaatje vergeten, zal dit leiden tot een stijging van de totale supply chain kost, en een stijging van het bullwhip effect. Zo worden bijvoorbeeld lead-times van leveranciers en bedrijven upstream vaak aanzien als exogeen. Managers denken dat hier niets aan gedaan kan worden, omdat het buiten hun bereik ligt. Elk bedrijf denkt dat het verantwoordelijk is voor slechts een klein deel van de totale supply chain, waardoor de perceptie ontstaat dat wijzigingen in hun orders de lead-time van leveranciers niet zal beïnvloeden. Wanneer dit zo is bij alle bedrijven wordt een positieve feedback loop gesloten, wat een groot effect heeft op de lead-times (Serman, 2006).

3.2.2.5 Overige oorzaken

Bhattacharya & Bandyopadhyay (2011) geven nog twee andere oorzaken aan in hun review:

1. Gebrek aan coördinatie: De opzet van de supply chain beïnvloedt de lead-times binnen het netwerk en is een cruciale factor voor het succesvol managen van de supply chain volatiliteit. Hieraan verbonden is het ontwerp van de informatiestroom die door de supply chain loopt. Gebrek aan coördinatie tussen de partners door informatie distorsie, gedecentraliseerde beslissingen, complexe feedback loops of slechte relaties onderling zijn nog steeds merkbaar in moderne supply chains (Nitsche & Durach, 2018). Synchroniseren van orders maakt eveneens deel uit van dit topic, omdat coördinatie tussen de partners een basis is om dit te laten werken.
2. Slecht controlesysteem: De keuze van een controlesysteem dat niet optimaal werkt kan leiden tot het bullwhip effect. Dit topic werd aangegeven door Forrester (1958), maar in recente literatuur is hier weinig aandacht aan besteed. De bedoeling is dat een controlesysteem gekozen wordt dat het beste past bij het halen van doelstellingen door gebruikers. Bijgevolg zal de noodzaak ontstaan voor toegang te krijgen tot belangrijke supply chain statussen zodat onnodig giswerk niet meer nodig is (Geary et al., 2006).

3.3 Gedragsoorzaken

Bij het gedrag, ofwel behavioral perspectief, wordt geconcludeerd dat de prestaties van operations management niet alleen verklaard kunnen worden door een operationeel perspectief aan te nemen (Bendoly et al., 2006; Gino & Pisano, 2008). De belangrijkste bevinding hierbij is dat het rationeel gedrag van de beleidsmakers niet optimaal is, wat in essentie een belangrijke oorzaak vormt van het bullwhip effect. De rationaliteit van beleidsmakers is in feite beperkt in vele situaties door een gebrek aan informatie. Daarnaast is de ultra competitieve omgeving vatbaar voor opportunistisch gedrag van partijen die hun eigen belangen vooropstellen (Vandenbosch & Sapp, 2010). Naast rationaal gedrag zijn oorzaken gelinkt aan het persoonlijke gedrag van beleidsmakers een belangrijke toevoeging binnen dit onderwerp. Wanneer beleidsmakers geneigd zijn om zich onvoorspelbaar te gedragen, meer in eigenbelang werken of bevooroordeeld zijn, zal de impact van operationele volatiliteit enkel verergeren (Nitsche & Durach, 2018).

Gedragsoorzaken worden gekarakteriseerd door een gemiddelde relatieve impact op supply chain volatiliteit. Ze versterken de reeds aanwezige gevolgen die voortkomen uit het operationele segment. Daarnaast kan door het gedrag van beleidsmakers de invoer van nieuwe maatregelen beperkt worden. De uitdaging binnen deze dimensie is dat het moeilijk beïnvloedbaar is en grote inspanningen vereist zijn om de obstakels te overkomen (Nitsche & Durach, 2018). In deze sectie worden drie elementen van gedragsoorzaken besproken: gebrek aan training, vrees voor stock-outs en opportunisme.

3.3.1 Gebrek aan training

Nalatigheid tegenover verschillende besluitvormingsproblemen door managers en spelers binnen de keten, is vaak te herleiden naar een gebrek aan kennis of training. Yan & Katok (2006) verwijzen naar twee types van training: (1) Rol specifieke training waarbij deelnemers leren om kritieke beslissingen te maken binnen hun gekozen rol; (2) Training binnen het volledige systeem, wat de beoefenaar toelaat om problemen met een onderliggende verbondenheid aan te pakken.

Gebrek aan training is een vaak besproken aspect van de gedragsoorzaken van het bullwhip effect. Onderzoekers binnen dit domein raden steeds aan om de gedragsoorzaken aan te pakken door beleidsmakers te voorzien van meer opleidingen omtrent de verschillende problematieken binnen de supply chain. Bedrijven kunnen best proberen het beslissingsproces aan te passen zodat rekening gehouden wordt met zaken zoals onderlinge afhankelijkheid met de rest van de supply chain, occasionele vertragingen, feedbacksignalen, gemaakte bestellingen en andere complexe delen van de moderne supply chain (Sterman, 2006; Croson & Donohue, 2006).

Croson & Donohue (2009) merkten ook op dat in veel gevallen spelers in de supply chain geen rekening houden met vertragingen bij het maken van orders. Vertragingen omvatten vertraging van orders, leveringen en verzendingen, die verbeterd kunnen worden om zo het bullwhip effect tegen te gaan. Daarnaast merkt Sterman (2006) op dat orders soms gemaakt worden gebaseerd op het verschil tussen het target niveau en de huidige voorraad, zonder rekening te houden met de orders die onderweg zijn. Betere opleiding en training kunnen ervoor zorgen dat deze problematiek vermeden wordt.

3.3.2 Vrees voor stock-outs

Elk bedrijf kan ervoor kiezen om overmatige voorraad aan te leggen uit angst voor stock-outs en verlies van klanten. Dit kan leiden tot een verhoging van de ordervariabiliteit. Updaten van de vraagvoorspelling, een punt aangegeven door Lee et al. (1997), heeft een nauwe link met dit topic. Wanneer afnames door de eindconsument niet bekend zijn, zullen nieuw geplaatste orders worden gezien als een signaal voor toekomstige vraag. Als de vrees voor stock-outs bestaat zal de veiligheidsvoorraad snel naar boven worden gehaald als verhoogde orders binnen komen. Dit vertaalt zich in een stijgende orderhoeveelheid voor de dichtstbijzijnde partner stroomopwaarts, enz. Opbouw van veiligheidsvoorraad is hier een direct gevolg van en doet de totale voorraad in de supply chain drastisch toenemen, zonder dat de eindconsument meer afneemt.

3.3.3 Opportunisme

In een wereld waarbij globalisatie en technologische vooruitgang een belangrijke rol spelen, wordt een steeds stijgende competitiviteit tussen de bedrijven onderling geobserveerd. Het resultaat hiervan is een meedogenloze strijd voor efficiëntiewinst en lagere kosten. Om dit te bereiken gaan bedrijven vaak niet-kern activiteiten uitbesteden en zich richten op hun kern activiteiten om kosten te drukken. De zoektocht naar efficiëntie leidt onvermijdbaar tot complexe supply chains waarin de spelers meer en meer gedistantieerd geraken van de eindconsument. Zulke efficiëntie kan leiden tot een voordeel voor de klant, maar heeft ook een destructief aspect. Complexe supply chains met vele tussenpersonen en vertegenwoordigers zijn gevoeliger voor problemen, en in sommige gevallen tot een ineenstorting van de keten als gevolg van opportunistisch gedrag (Vandenbosch & Sapp, 2010).

Vandenbosch & Sapp (2010) presenteren een checklist van vijf factoren waar managers best rekening mee kunnen houden om opportunisme te vermijden. Hiervan zijn vier te linken aan het bullwhip effect:

- (1) Herken het risico van opportunisme: Hoe langer de supply chain, hoe groter het risico voor opportunisme. Spelers in de keten die meer stroomopwaarts gelegen zijn proberen eerder hun lokale situatie te optimaliseren dan de supply chain zelf. Constant bijhouden en updaten van assumpties en procedures is noodzakelijk om managers de nakende risico's te laten inzien.
- (2) Pak zwakke punten in de supply chain aan: Managers moeten proactief zoeken naar zwakke punten in de supply chain die het potentieel hebben om problemen te veroorzaken. De meest voorkomende zwakte is 'moral hazard'. Deze term omschrijft een gebrek aan stimulansen om bepaalde risico's te beperken wanneer het bedrijf hier eigenlijk tegen beschermd is. Bijvoorbeeld bij contractuele afspraken waarbij incoterms van toepassing zijn is de kans groot dat deze situatie zich voor doet. In het algemeen duidt het op een gebrek aan samenwerking en synchronisatie binnen de keten.
- (3) Zoek naar normalisatie van deviatie: Deze term beschrijft het proces waarbij afwijkingen genegeerd of getolereerd worden en na verloop van tijd de nieuwe norm vormen. Voorbeelden hiervan zijn ook buiten de supply chain te vinden. Bijvoorbeeld de Amerikaanse 'subprime' crisis was het gevolg van normalisatie van "speciale gevallen". Geldschieters die deze speciale gevallen goedkeurden merkten na verloop van tijd dat een groot deel van hun portfolio bestond uit risicovolle leningen, met het ontploffen van een grote financiële luchtbel

als gevolg. Normalisatie van grote variabiliteit in de vraag in een supply chain vormt een even groot gevaar voor alle spelers in de keten.

- (4) Begrijp de rol van reguleringen: Discussies over verborgen risico's en falen in het systeem leiden onvermijdelijk naar de vraag voor meer reguleringen. Veel managers staan hier weigerachtig tegenover omdat regulering geld kost en tegen de principes van constante verbetering van efficiëntie in gaat. Deze denkwijze is deels correct aangezien kosten per unit omhooggaan bij stijgende regulering. Echter, managers vergeten de reductie van grote systeemstoringen mee te rekenen, wat op het einde van de rit in een grote positieve netto contante waarde kan resulteren.

3.4 Externe oorzaken

3.4.1 Marktomstandigheden

Nitsche & Durach (2018) geven aan dat marktgerelateerde volatiliteit wordt veroorzaakt door het betreffende product, het gedrag van de klanten en de competitie die ervaren wordt van andere retailers. Alles samen genomen zijn vier oorzaken te onderscheiden: competitieniveau in de sector, seizoenseffecten, hoge niveaus van innovatie en korte productlevenscyclus. Specifieke productattributen zoals innovativiteit, productlevenscyclus en seizoenseffecten zijn een directe oorzaak van volatiele vraag van de eindconsument (Childerhouse et al., 2008; Taylor & Fearn, 2009). Daarnaast kan sterke competitie binnen de markt, met vele substitutiemogelijkheden voor het eigen product de variabiliteit van de vraag verhogen (Taylor & Fearn, 2009).

Het gedrag en de orderpatronen van klanten kunnen eveneens een belangrijke rol spelen. Wanneer een bedrijf periodische (e.g. einde van de week, maand,...) orders ontvangt van de klanten, resulteert dit in het bullwhip effect. Anderzijds, als klanten heel gelijkmatig orders plaatsen doorheen de week, blijft het bullwhip effect minimaal. De periodieke pieken zouden hierdoor insignificant worden omdat niet alle klanten een bestelling plaatsen op hetzelfde moment. Dit is echter zeldzaam in de praktijk. De kans is groter dat de orders overlappen. Wanneer dit gebeurt, is de piek in de vraag nog meer uitgesproken dan anders, en is de volatiliteit geïntroduceerd door het bullwhip effect op zijn hoogste punt. In sommige sectoren neigen de klanten meer naar push-ordering, waarbij het bedrijf regelmatige pieken in de vraag ervaart. Omdat salesverantwoordelijken periodiek gemeten worden op hun productiviteit, pushen ze op regelmatige tijdstippen orders naar hun leverancier, soms per kwartaal, soms jaarlijks, enz. wat een kwartaal op kwartaal of jaar op jaar orderpiek veroorzaakt (Lee et al., 1997).

Cachon, Randall & Schmidt (2007) hebben een belangrijke bemerking gemaakt omtrent seizoensinvloed. Zij zeggen in hun onderzoek dat industrieën met seizoenseffecten minder onderhevig zijn aan het bullwhip effect. De neiging bestaat in deze sectoren om de volatiliteit van de vraag af te vlakken, terwijl niet-seizoensgebonden industrieën dit niet doen. Een bedrijf kan de productie afvlakken tegenover de verkoop, wat de productie in verhouding minder volatiel maakt. Hierbij is voorraad een buffer om de pieken en dalen op te vangen. Deze aanpak is te verkiezen wanneer het houden van een constant niveau in de productie minder kosten oplevert dan wanneer deze varieert. Vaak is dit zo omdat de kostenfunctie van productieprocessen convex is. Door stijging

van de marginale kost is het mogelijk niet voordelig om grote hoeveelheden op korte tijd te produceren.

In de praktijk geven managers aan dat als een bedrijf de marktgerelateerde volatiliteit wil verminderen, veel aandacht moet gegeven worden aan de positie die het bedrijf vervult binnen de markt, zodoende dat de innovativiteit van de producten verminderd kan worden. Verplaatsen naar een markt die minder afhankelijk is van de hierboven vernoemde oorzaken is een meer drastische manier om dit probleem te overwinnen.

Marktgerelateerde volatiliteit wordt gekenmerkt door een gemiddelde relatieve impact op de supply chain. Echter, de mogelijkheid om hier iets aan te doen is relatief laag. De voornaamste reden is dat een strategische herpositionering nodig is om de obstakels binnen deze dimensie te overkomen (Nitsche en Durach, 2018).

3.4.2 Institutionele en omgevingsgebonden invloeden

Institutionele en omgevingsgebonden invloeden ontstaan buiten de supply chain. Hier zijn drie oorzaken van supply chain volatiliteit te vinden: macro-economische invloeden (e.g. politieke en legale instabiliteit), nationale economische en financiële instabiliteit en exceptionele natuurrampen. Christopher & Holweg (2011) beschrijven het toenemende belang van exceptionele evenementen en crisissen voor de moderne supply chain, zoals de oliecrisis en wereldwijde financiële crisissen. Zij observeerden de globale toename van instabiliteit binnen supply chains. Vooral politieke en legale onzekerheid hebben een negatieve invloed op de material flow in bepaalde ontginningsregio's. In China bijvoorbeeld, wordt dit in de praktijk ondervonden doordat veranderingen in de wetgeving op korte termijn vaak leiden tot een verwoestende impact op de material flow (e.g. de zoektocht naar nieuwe leveranciers).

Uit bovenstaand onderzoek wordt geconcludeerd dat institutionele en omgevingsgebonden invloeden een hoge relatieve impact hebben op de supply chain. Net zoals de marktgerelateerde oorzaken, zijn deze weinig beïnvloedbaar aangezien een herpositionering van de eigen faciliteiten of die van supply chain partners nodig is om de gevolgen te vermijden.

3.5 Conclusie

De oorzaken die in dit hoofdstuk beschreven werden zijn een synthese van de studies gemaakt door Bhattacharya & Bandyopadhyay (2011) en Nitsche & Durach (2018). Een samenvatting hiervan is weergegeven in Tabel 2. In dit overzicht worden de laatste externe factoren niet meegenomen aangezien ze (bijna) niet beïnvloedbaar zijn door het bedrijf of de keten. Deze werden in dit hoofdstuk kort besproken, maar zullen niet in beschouwing worden genomen bij de overige hoofdstukken in deze masterproef.

Tabel 2 Samenvatting van de oorzaken van het bullwhip effect

Oorzaken van het bullwhip effect	
Organisatorisch	
Order batching	Grote batches zorgen voor misleidende informatie over de eindvraag en een verhoogde variantie van de orders bij de bedrijven stroomopwaarts.
Prijsschommelingen	Fluctuaties in de prijs door promoties, met onder andere 'forward buying' als gevolg.
Foute voorspellingen	Voorspellingen gebaseerd op inkomende orders van eerstvolgende bedrijven stroomafwaarts geven een verkeerd beeld van de werkelijke vraag.
Multipliereffect	Stijging van de vraag zal resulteren in een stijging van de productie groter dan het originele verschil (= amplificatie ratio).
Onstabiele bedrijfsprocessen	Tekortkomingen door falen van de productiefaciliteiten moeten later goed gemaakt worden met tijdelijke amplificatie als gevolg.
Voorraad en orderbeleid	De keuze van voorraadbeleid bepaalt hoe vaak en wanneer bestellingen geplaatst worden om de voorraad terug aan te vullen.
Misperceptie van feedback	Orders die binnen komen worden verkeerd geïnterpreteerd, met suboptimale beslissingen als gevolg.
Rantsoeneringen en shortage gaming	Overdrijven van werkelijke behoeften in tijden van tekorten om leveringen veilig te stellen
Verticaal	
Lokale optimalisatie zonder globale visie	Als elk bedrijf zijn eigen doelen nastreeft, zal dit leiden tot een grotere totale supply chain kost en verhoging van de variabiliteit.
Lead-time	Lead-time in het algemeen is direct gerelateerd aan vraagamplificatie. Hierbij is zowel de lengte als de variabiliteit van belang.
Gebrek aan informatie transparantie	Suboptimale beslissingen komen voort uit een gebrek aan allerlei informatie uit de supply chain.
Aantal schakels	Hoe meer schakels in de keten die voorraad aanhouden, hoe groter de kans dat het bullwhip effect zich voor doet.
Gebrek aan synchronisatie	Gebrek aan synchronisatie, gedecentraliseerde beslissingen en slechte relaties zijn nog steeds een probleem in moderne supply chains die zorgen voor verhoogde volatiliteit.

Slecht controlesysteem	Deze kunnen het bullwhip effect versterken doordat ze niet gesynchroniseerd zijn, of gedateerd.
Gedrag	
Gebrek aan training	Nalatigheid tegenover verschillende besluitvormingsproblemen zijn vaak te herleiden naar een gebrek aan kennis en training.
Vrees voor stock-outs	Overmatige voorraad uit angst voor stock-outs kan foute signalen versturen doorheen de keten, met overtollige voorraad als gevolg.
Opportunisme	Opportunisme brengt verschillende risico's gelinkt aan het bullwhip effect met zich mee.

4 Gevolgen

De gevolgen van het bullwhip effect kunnen erg verreikend zijn. Bedrijven in de supply chain zien de kosten van hun operaties sterk toenemen, terwijl klanten vaker te maken krijgen met producten die niet voorradig zijn. Dit laatste kan leiden tot imagoschade, wat de inkomsten op lange termijn kan doen dalen. In deze masterproef wordt echter gefocust op de stijgende kosten binnen de supply chain. Deze kunnen sterk oplopen wanneer niets gedaan wordt om het bullwhip effect te reduceren. Het onstabiele vraagpatroon bemoeilijkt het afstemmen van capaciteit en voorraad en zorgt voor heel wat inefficiënties. Daarnaast zijn het niet alleen de kosten van volatiliteit die hierbij in rekening moeten gebracht worden. De kosten van bijvoorbeeld een verhoogde veiligheidsvoorraad die aangehouden wordt om stock-outs te voorkomen, horen hier eveneens bij.

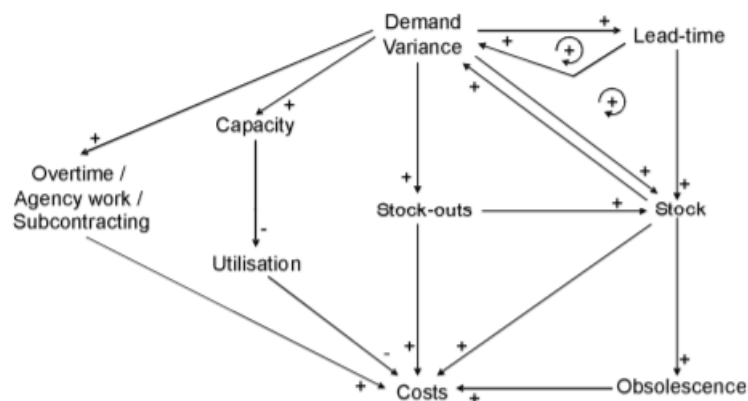
In dit hoofdstuk wordt eerst een overzicht gegeven met betrekking tot de gevolgen die supply chains in de praktijk ervaren en welke kosten dit met zich mee brengt. Daarna wordt gekeken hoe deze gevolgen in kaart gebracht kunnen worden. Eens de kosten als gevolg van het bullwhip effect bekend zijn, is het mogelijk om een budget samen te stellen zodat de negatieve gevolgen gereduceerd of vermeden kunnen worden.

4.1 Overzicht van de gevolgen

In verschillende studies (Lee et al., 1997; Carlsson & Fullér, 2000) worden heel wat negatieve gevolgen van het bullwhip effect aangeduid, die bedrijven ondervinden in de praktijk. Dit zijn onder andere:

- (1) Overtollige investeringen in voorraad doorheen de supply chain doordat elke partij buffers aanlegt om de variaties op te vangen.
- (2) Slechte klantenservice doordat het risico op stock-outs in de keten vergroot.
- (3) Verloren opbrengsten door tekorten in de voorraad, veroorzaakt door verhoogde variantie van de orders.
- (4) Productiviteit van de leveranciers daalt door een onstabiel vraagpatroon.
- (5) Beleidsmakers reageren op de variabele vraag door te investeren in extra capaciteit om met de pieken in de vraag om te gaan. Deze beslissingen zijn vaak misleid doordat de piekbelasting voorkomen kan worden door de supply chain te reorganiseren.
- (6) Variabiliteit in de vraag zorgt voor onzekerheden in de logistieke keten, wat onregelmatigheden veroorzaakt in de geplande capaciteit van transport. Dit zal sub-optimale beslissingen veroorzaken in transportplanningen met een stijging van de transportkosten als gevolg.
- (7) Onregelmatige vraag veroorzaakt door het bullwhip effect kan ervoor zorgen dat productieschema's niet gehaald worden. Deze kunnen eveneens vermeden worden door de inefficiënties in de supply chain aan te pakken.

Disney & Lambrecht (2008) bespreken in hun onderzoek de interactie tussen verhoogde variantie van de vraag en kosten die hierdoor ontstaan (Figuur 4). Om de erg variabele vraag tegemoet te komen moeten bedrijven onder andere investeren in verhoogde capaciteit. Zo kunnen pieken beter opgevangen worden en komt het serviceniveau niet in het gedrang. Deze capaciteit wordt echter onderbenut wanneer de vraag daalt. De kosten per eenheid dalen daarom in periodes van lage vraag, en kosten van overuren en extra werknemers stijgen in de periodes met hoge vraag. De variabele vraag doet ook de behoefte aan veiligheidsvoorraad binnen de supply chain toenemen. Om een hoog serviceniveau te garanderen dienen bedrijven de veiligheidsvoorraad op te trekken om stock-outs te vermijden. Een groot deel van het kapitaal zal daarom vast zitten in de voorraad. Daarnaast kunnen bedrijven ervoor kiezen om goederen te produceren naar voorraad in periodes van lage vraag om de productiviteit te verhogen. Wanneer deze acties niet goed beheerd worden, zal dit leiden tot toenemende percentages vervallen of beschadigde goederen. Variabele vraag verhoogd als laatste de lead-time. Deze verhoogde lead-time zorgt voor extra stock in de supply chain en kan daarnaast het bullwhip effect versterken. Hieruit blijkt dat het bullwhip effect zorgt voor heel wat kosten gelinkt aan het variabel vraagpatroon. Bedrijven investeren in extra capaciteit, extra voorraad, werken overuren de ene week en staan stil in de andere. Dit terwijl voor populaire producten de schappen bij de retailer leeg zijn, en voor producten die niet verkopen goed gevuld (Disney & Lambrecht, 2008). Een visuele weergave van dit proces is afgebeeld in Figuur 4.



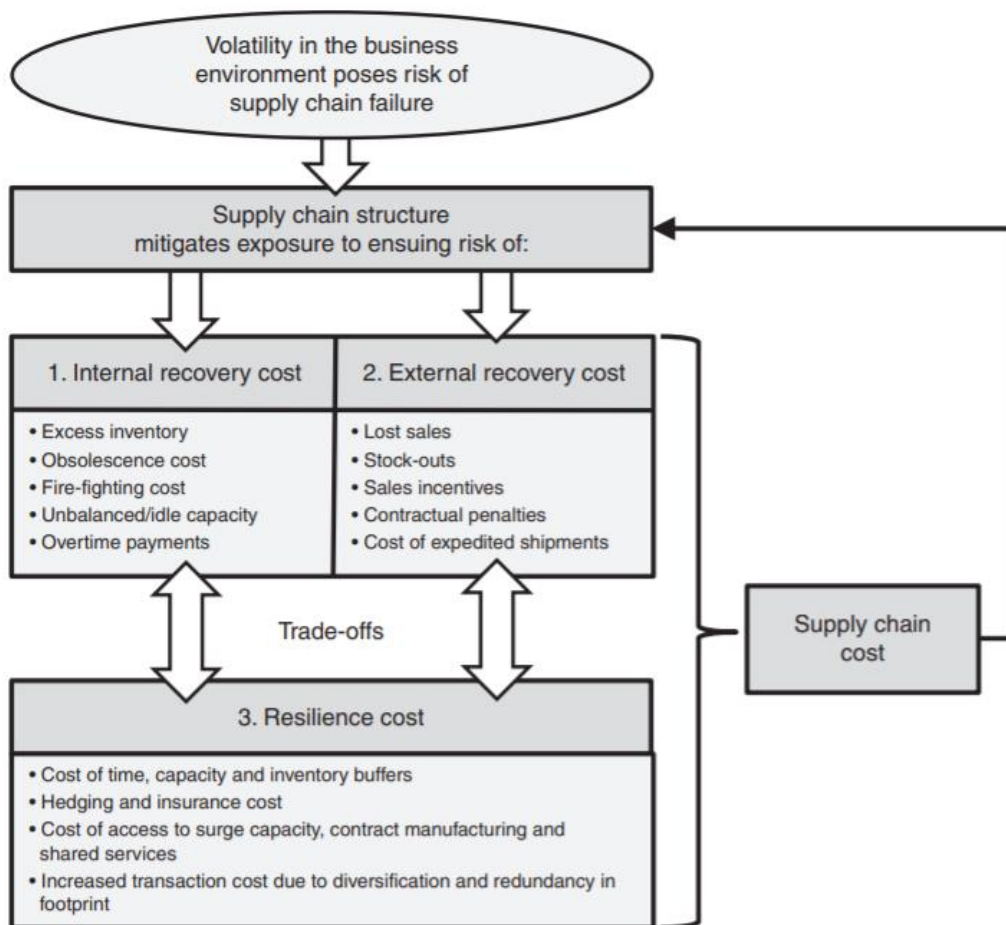
Figuur 4 Hoe het bullwhip effect kosten veroorzaakt in een enkele schakel in de keten (Disney & Lambrecht, 2008)

4.2 In kaart brengen van de kosten

Het is aangetoond dat turbulentie en volatiliteit supply chains kwetsbaar maken voor stringen en onverwachte gebeurtenissen. Bijgevolg wordt voorgesteld om de supply chains opnieuw in te richten zodat de weerbaarheid en capaciteit verhoogd worden (Sheffi & Rice, 2005). Gewoonlijk komt deze weerbaarheid in de vorm van verhoogde voorraad die dient als een buffer tegen de onregelmatigheden. Daarnaast kan de supply chain zich versterken door de flexibiliteit te verhogen. Dit houdt in dat de supply chain zich snel kan aanpassen bij wijzigende omstandigheden. Beide hebben een effect op de supply chain resilience (SCR). Een hoge SCR betekent dat een bedrijf beter om kan met onverwachte gebeurtenissen, en bijgevolg de schommelingen in de vraag beter kan opvangen. Onafhankelijk van de keuze voor weerbaarheid of flexibiliteit, het verhogen van de supply

chain resilience gaat hoe dan ook gepaard met verhoogde kosten. Deze kosten moeten daarom afgewogen worden met de voordelen die de gekozen aanpak met zich mee kan brengen.

Vanuit een financieel standpunt, is het houden van extra voorraad of uitbreiden van de capaciteit waar zelden gebruik van gemaakt wordt een slechte investering. Het wordt echter aangewezen in de literatuur dat meer SCR beter is (Bandaly, Satir & Shanker, 2016). De kosten van SCR worden echter niet altijd erkend in deze studies. De uitdaging is daarom om een cijfer te plakken op de kosten wanneer alles mis loopt. Wanneer de beheerders van de supply chain hierin slagen, wordt inzicht bereikt in hoeveel de investeringen in maatregelen mogen bedragen. Christopher & Holweg (2016) stellen drie categorieën op waar kosten veroorzaakt worden door volatiliteit in de supply chain. De structuur van de categorisering is te zien in Figuur 5.



Figuur 5 Framework om kosten van volatiliteit te berekenen (Christopher & Holweg, 2016)

De drie categorieën van volatiliteitskosten zijn interne en externe herstelkosten, en kosten van verhoogde SCR. Gecombineerd bepalen deze drie elementen de kosten van volatiliteit in de supply chain. Bedrijven in de keten moeten daarom elk kostenelement in kaart brengen en de kans dat het voorvalt schatten. Hierdoor zijn beleidsmakers in staat om te bepalen welke investeringen in maatregelen tegen volatiliteit verantwoord zijn. In deze masterproef ligt de nadruk op volatiliteit veroorzaakt door het bullwhip effect. De kosten die hiermee gepaard gaan moeten afgewogen worden tegenover de investering die benodigd is om een aantal van de maatregelen toe te passen.

5 Oplossingen

In dit hoofdstuk worden de oplossingen voor het bullwhip effect besproken. De literatuur omtrent de oplossingen is erg uitgebreid en omvat het grootste deel van het onderzoek naar het bullwhip effect. Om het onderzoek goed af te bakenen wordt eerst gekeken naar het onderzoek van Geary et al. (2006). Hier werden tien principes van bullwhip reductie gedefinieerd. Deze worden geëvalueerd en mogelijk aangepast met nieuwe bevindingen in onderzoek dat hierna is gebeurd. Een aangepaste structuur wordt voorgesteld, en vormt de basis voor de bespreking van de oplossingen.

In de volgende sectie worden de oplossingen individueel besproken. De bedoeling is om een globaal beeld weer te geven, waarbij gekeken wordt naar de eigenschappen en belangrijkste bevindingen bij elke oplossing. Zo wordt de literatuur per onderdeel overzichtelijk weergegeven, zonder dat het noodzakelijk is om in te gaan op uitgebreide en complexe mathematische modellen.

Tijdens de literatuurstudie wordt rekening gehouden met het onderling verband tussen de oplossingen. Hierdoor is het mogelijk om op het einde van dit hoofdstuk een visuele weergave te maken van de linken tussen de oplossingen. Bij het toekennen van oplossingen aan de oorzaken zal dit helpen om een optimale aanpak voor te stellen.

5.1 Structureren van de oplossingen

Om een definitieve lijst met oplossingen op te stellen wordt gestart met de bevindingen van Geary et al. (2006), waarbij tien principes van bullwhip reductie gedefinieerd worden. Nadien zijn geen nieuwe grootschalige syntheses gemaakt van de maatregelen tegen het bullwhip effect. Daarom zal hun onderzoek dienen als basis voor de oplossingen die besproken worden in deze masterproef. De originele principes zijn:

- (1) Control system principle
- (2) Time compression principle
- (3) Information transparency principle
- (4) Echelon elimination principle
- (5) Synchronisation principle
- (6) Multiplier principle
- (7) Demand forecast principle
- (8) Order batching principle
- (9) Price fluctuation principle
- (10) Gaming principle

Tijdens de literatuurstudie zal onderzocht worden of de principes van Geary et al. (2006) nog steeds relevant zijn in de hedendaagse context. Deze kunnen daardoor aangepast, uitgebreid of verwijderd worden. Daarnaast zullen nieuwe oplossingen geïntroduceerd worden op basis van recente bevindingen in de literatuur. Om oplossingen te vinden zal naast artikelen over het bullwhip effect, gekeken worden naar het begrip supply chain resilience (SCR). Dit begrip heeft een nauw verband met het bullwhip effect omdat het de prestaties van de keten in het algemeen aangeeft. Een hoge SCR betekent dat een bedrijf beter om kan met onverwachte gebeurtenissen, en bijgevolg de schommelingen in de vraag beter kan opvangen (Bandaly et al., 2016).

5.1.1 Aanpassingen

Na een uitvoerig onderzoek van de literatuur zijn een aantal veranderingen gemaakt aan de structuur van Geary et al. (2006). Zo zijn sommige principes verdwenen wegens een gebrek aan relevante literatuur. Andere thema's zijn toegevoegd op basis van de mogelijke impact die ze kunnen hebben op het bullwhip effect.

(1) Control System Principle

Deze zal niet in beschouwing genomen worden tijdens het bespreken van de oplossingen. De literatuur omvat geen artikels die dit principe concreet uitbreiden sinds het origineel aangehaald werd. De redenering die Geary et al. (2006) bij dit principe aangaven is:

“De noodzaak bestaat om het meest geschikte controle systeem te selecteren waarmee de doelstellingen bereikt kunnen worden. Dit zal het mogelijk maken om belangrijke statussen van de supply chain te bezichtigen, waardoor onnodig giswerk uit het systeem gehaald wordt.”

Deze beschrijving leunt dicht aan bij acties die de collaboratie tussen supply chain partners vergroot. Het aspect collaboratie wordt opgenomen in een nieuw principe van bullwhip vermindering (Zie nr. 11). Systemen opzetten die de deling van informatie bevorderen kan eveneens deel uitmaken van dit principe. Dit zal opgenomen in het information transparency principe (Zie nr. 3).

(2) Time compression principle

Dit principe beschrijft het effect van lead-time op het bullwhip effect. Tot heden is dit principe uitvoerig bestudeert en zal daarom tot de hoofdoorzaken blijven behoren. De naam van dit principe wordt veranderd in 'lead-time reductie' om een duidelijker beeld te geven van de inhoud.

(3) Information transparency principle

Delen en transparant maken van informatie is nog steeds de meest besproken oplossing voor het bullwhip effect. Dit principe zal daarom nog steeds deel uitmaken van de oplossingen. De naam wordt veranderd in 'Informatie delen'.

(4) Echelon elimination principle

Een vermindering van het aantal schakels dat nodig is om het eindproduct af te leveren, kan een grote impact hebben op de variabiliteit die bovenaan de keten teweeg gebracht wordt. Het behandelt een van de oorzaken voorgesteld in deze masterproef, namelijk 'Aantal schakels' (Zie 3.2.2.3). Dit principe wordt daarom verder geanalyseerd, met naam 'Echelon eliminatie'.

(5) Synchronisation principle

Met dit principe doelt Geary et al. (2006) op het voeren van een gezamenlijk orderbeleid, waarbij orders continu en gesynchroniseerd geplaatst worden doorheen de supply chain. Studies die de gevolgen van een gezamenlijk orderbeleid bestuderen, zullen bestudeerd worden onder dit principe. Daarnaast wordt dit topic uitgebreid met de keuze van een correct orderbeleid aangezien dit eveneens een grote impact heeft op de voortzetting van het bullwhip effect. Daarom wordt dit principe herbenaemd naar 'Synchronisatie en orderbeleid'.

(6) Multiplier principle

Net zoals bij het control system principle, is de literatuur omtrent het multiplier principe erg beperkt. De nadruk in deze masterproef ligt op toepasbare maatregelen om het bullwhip effect te verminderen in een hedendaagse context. Daarnaast is het voorbeeld aangehaald door Sterman (2006) (zie sectie 3.2.1.6) een rechtstreeks gevolg van het bullwhip effect, waarbij een piek in de vraag leidt tot nog grotere pieken in de productie. Met de oplossingen die in dit hoofdstuk voorgesteld worden, is het mogelijk om de effecten van het bullwhip effect te verminderen waardoor het multipliereffect zal verdwijnen. Hierdoor zal het 'multiplier principle' niet opgenomen worden bij de bespreking van de oplossingen.

(7) Demand forecast principle

Correcte voorspellingen van de vraag zijn een belangrijk thema binnen de literatuur. Vele toepassingen en methodes zijn besproken en zullen dan ook aan bod komen bij de oplossingen. Het 'demand forecast principle' zal in deze masterproef voorgesteld worden in de oplossingen als 'Vraagvoorspelling'.

(8) Order batching principle

Het principe van order batching is een oorzaak van het bullwhip effect dat nog steeds bestaat in hedendaagse supply chains. Daarnaast is heel wat nieuwe literatuur over dit onderwerp geschreven in de jaren na de synthese van Geary et al. (2006). Order batching zal daarom deel uitmaken van de oplossingen.

(9) Price fluctuation principle

Schommelingen in de prijs, al dan niet veroorzaakt door de bedrijven zelf, zijn een drijvende factor in het ontstaan van het bullwhip effect (Lee et al., 1997). Studies over dit onderwerp blijven nog steeds verschijnen en duiden de impact van een stabiel prijsbeleid duidelijk aan. Dit principe zal opgenomen worden onder de naam 'Prijschommelingen'.

(10) Gaming principle

Dit principe is afkomstig van het onderzoek door Lee et al. (1997), waarbij vier oorzaken van het bullwhip effect aangehaald werden. De thema's rantsoeneren en shortage gaming behoren tot dit principe. Onderzoek naar dit thema is beperkt, maar artikels zijn nog steeds te vinden waarbij een uitbreiding gemaakt werd op het eerdere onderzoek. Dit geeft aan dat het nog steeds relevant is in de huidige context. Daarom zal deze topic tot de lijst van oplossingen blijven behoren, weergegeven als 'Rantsoeneren'.

(11) Collaboratie in de supply chain

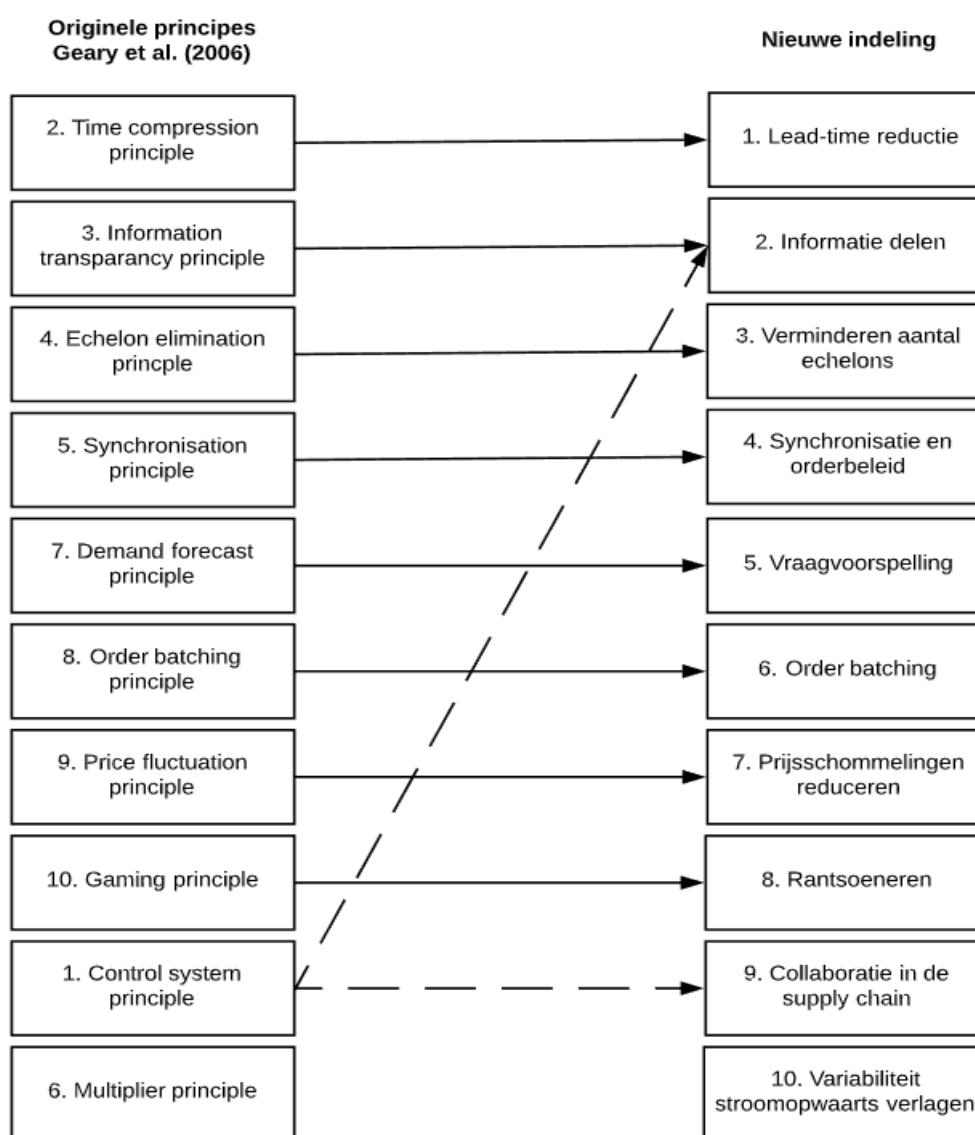
Een goed gecoördineerde supply chain zal beter resistent zijn tegen de gevolgen van het bullwhip effect. Opbouwen van vertrouwen en relaties tussen de leden van de supply chain staat centraal binnen dit thema. Het gedrag van de beleidsmakers is doorslaggevend om deze acties te laten slagen. Daarom zal binnen deze categorie extra aandacht gaan naar het gedragsaspect van de bullwhip literatuur.

(12) Variabiliteit stroomopwaarts verlagen

Balakrishnan, Geunes & Pangburn (2004) stellen in hun onderzoek voor om de supply chain te coördineren door de variabiliteit die zich stroomopwaarts doorzet te controleren. Dit wordt bereikt door volgens de methodes van order- en production smoothing te werken. De voordelen die voortkomen uit een stabielere productie zullen in de hele supply chain voelbaar zijn, waarbij ten eerste kosten uitgespaard worden, en onder andere lead-times verkorten en stabiliseren.

5.1.2 Definitieve structuur

Op basis van vorige sectie volgt hier een visuele weergave van de nieuwe structuur. In totaal worden tien oplossingen voorgesteld. De control system en multiplier principes zijn verwijderd uit de lijst met oplossingen. De overgebleven oplossingen zijn anders benoemd om een beter beeld te schetsen van de inhoud van elk thema. De nieuwe indeling is weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6 Oude versus nieuwe indeling van de oplossingen voor het bullwhip effect.

5.2 Bespreking oplossingen

De oplossingen die in de vorige sectie vastgelegd zijn, worden hier besproken. Zoals eerder vermeld is de literatuur over het bullwhip effect zeer uitgebreid. Veel is reeds geweten over de gekozen oplossingen, met een overvloed aan uitgebreide en gesofisticeerde analyses per onderdeel. Een duidelijke afbakening van de literatuurstudie dringt zich daarom aan. De bedoeling van deze sectie is om een globaal beeld weer te geven van elke oplossing, waarbij gekeken wordt naar de eigenschappen en belangrijkste bevindingen per oplossing. Daarnaast wordt getracht om de linken met andere oplossingen te achterhalen.

5.2.1 Lead-time reductie

Dit principe is letterlijk te vertalen naar het verkorten van de lead-time. Met lead-time wordt in de literatuur verwezen naar de periode tussen het plaatsen van een order en de ontvangst door de koper. Dit kan verder opgesplitst worden in de tijd gespendeerd aan productie of aan transport. Wanneer de tijd waarin goederen van a naar b overgebracht worden verkort, brengt dit een aantal voordelen met zich mee die een positieve impact hebben op het bullwhip effect (Ponte, Costas, Puche, Pino & de la Fuente, 2018). Als eerste wordt de algemene impact van lead-time op het bullwhip effect beschreven. Daarna volgt een bespreking van de twee eigenschappen verbonden aan de lead-time, namelijk de lengte en de standaardafwijking.

5.2.1.1 Algemeen

Bedrijven in de moderne economie nemen heel wat initiatieven, zoals offshore outsourcing, om competitief te blijven. Hierdoor worden ze blootgesteld aan een verhoogd risico op verstoringen in de supply chain. Wanneer de outsourcing op een globale schaal plaatsvindt, vergroot de onzekerheid over goederen in transit. Niet alleen de lead-time wordt langer, maar ook de variabiliteit neemt toe. De algemene consensus in de literatuur is: hoe korter de lead-time, hoe lager de veiligheidsvoorraad die nodig is om de vraagonzekerheid op te vangen. Een korte lead-time stelt de bedrijven in staat om dynamisch om te gaan met veranderende klantvraag en overtollige voorraad snel weg te werken. Als tweede is bewezen dat een lange lead-time zorgt voor stijgende variantie van de orders bij bedrijven bovenaan de supply chain (Kim, Chatfield, Harrison & Hayya, 2006). Heel wat onderzoekers (Geary et al., 2006; Hussain et al., 2012) suggereren daarom dat het verlagen van de lead-time een grote impact heeft op het bullwhip effect (Chang & Lin, 2019).

Volgens de Treville et al. (2004) is het zelfs aangeraden om eerst te focussen op lead time reductie. Leden van de supply chain proberen vaak in eerste instantie de informatieoverdracht te verbeteren, terwijl ze het probleem van de lange lead-times negeren. Eerdere studies tonen de beperkte impact van informatie delen aan bij lange lead-times (Lee et al., 1997). De vraag die dan nog rest is hoe hard de lead-time verminderd moet worden vooraleer systemen voor informatiedeling geïnstalleerd kunnen worden.

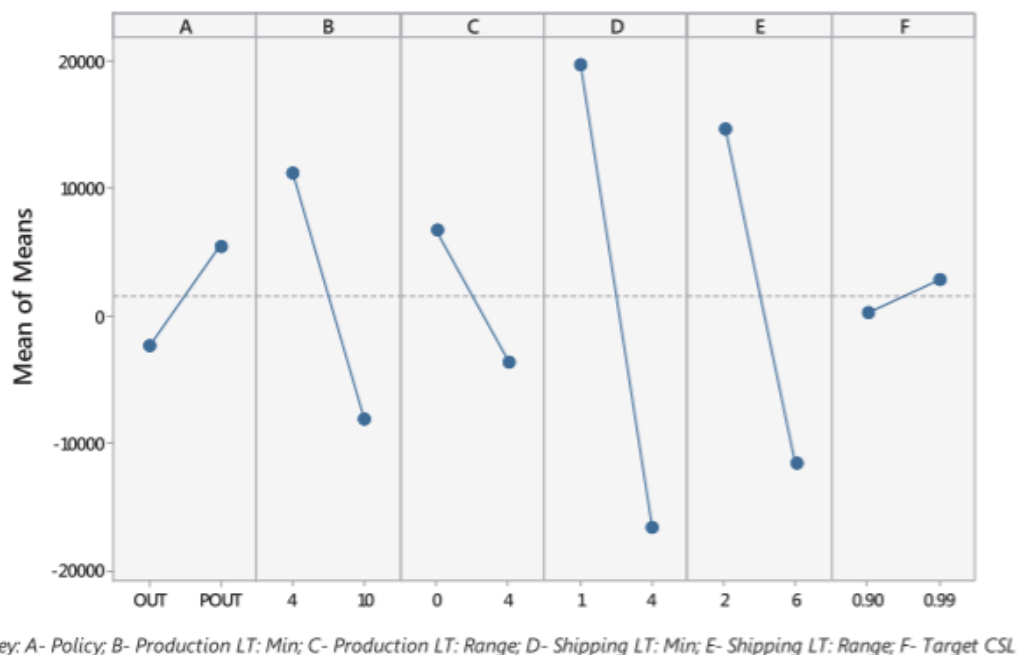
De algemene consensus bij managers is dat reductie van de lead-time niet evident is, heel wat kosten veroorzaakt en dat een goed informatiesysteem lead-time reductie zal vergemakkelijken. Veel bedrijven zijn na vele investeringen tot de conclusie gekomen dat dit niet het geval is. Cases over bedrijven die begonnen zijn met implementeren van informatietechnologie zonder succes, en daarna

overschakelden op lead-time reductie mét verbetering van de supply chain performance zijn niet onbestaand (de Treville et al., 2004).

5.2.1.2 Minimale lead-time versus standaardafwijking

Zoals reeds werd vermeld is de lead-time op te splitsen in de lengte en de spreiding. De totale lengte van de lead-time is een samenstelling van de productietijd en de tijd om het product te transporteren. De lengte wordt uitgedrukt als een gemiddelde of als minimaal haalbare lengte. De spreiding geeft aan hoe hard en hoe vaak de werkelijke lead-time afwijkt van de normale lengte. De gegevens lengte en spreiding zijn van toepassing op zowel de verzending als productie lead-time.

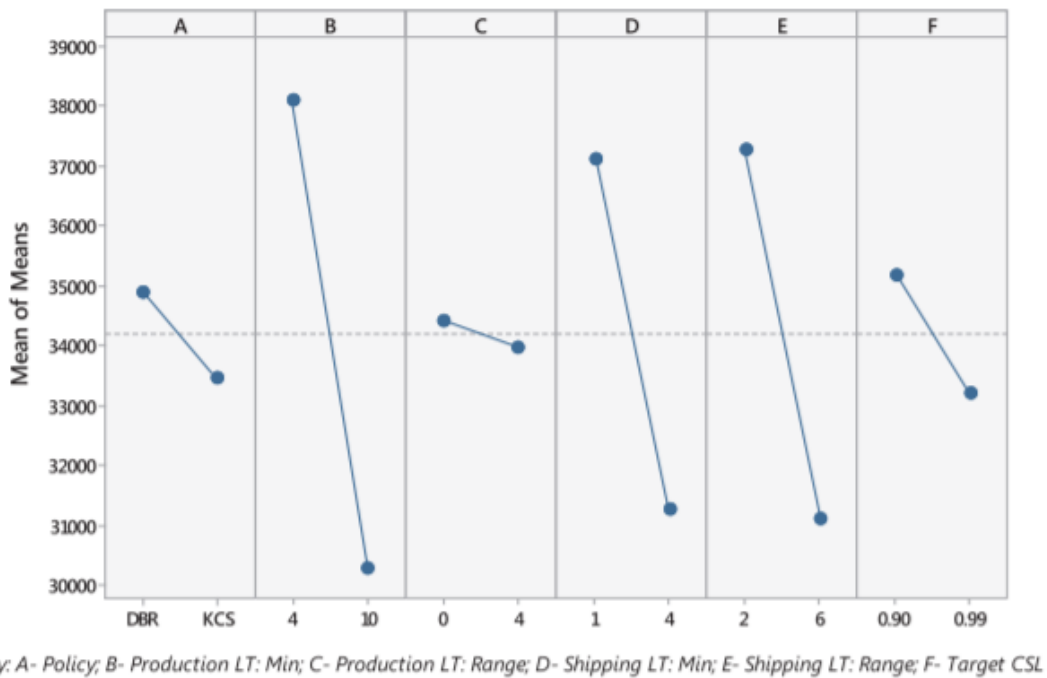
Een studie uitgevoerd door Ponte et al. (2018) toont aan dat voor een traditionele supply chain (zonder collaboratie), de minimale transport lead-time de grootste impact heeft op de winstgevendheid van de supply chain, gevolgd door de spreiding van de transport lead-time. De minimale productie lead-time komt op de derde plaats. In de Figuur 7 werden zes factoren besproken, namelijk de keuze van voorraadbeleid(A), minimale productie lead-time(B) en spreiding(C), minimale transport lead-time(D) en spreiding(E), en als laatste het customer service level (CSL) (F). Voor de productie- en transport lead-time geven de assen de reductie van lengte of standaardafwijking aan. Wanneer de lead-time kleiner wordt, verschuiven de lijnen duidelijk naar links en wordt winst gemaakt, zoals te zien is op de y-as.



Figuur 7 Belangrijkste effecten op de gemiddelde winst in de traditionele supply chain (Ponte et al., 2018)

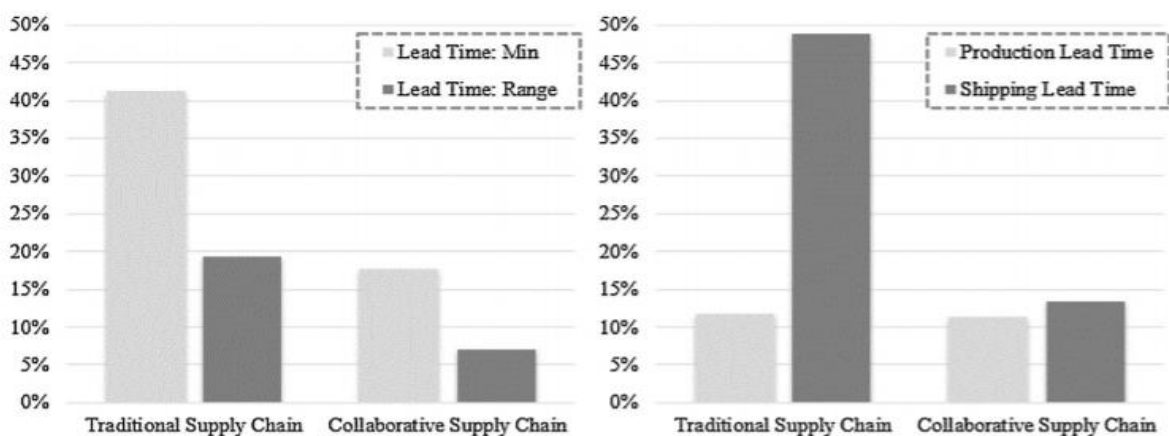
In deze figuur is duidelijk te zien dat de spreiding van de transport lead-time een grote invloed kan hebben op de prestaties van een supply chain. Recentere artikels gebruiken daarom stochastische lead-times om de impact van het bullwhip effect op de supply chain te evalueren (e.g. Michna et al., 2018). Zo worden de door onderzoekers uitgevoerde simulaties realistischer, aangezien lead-times in de praktijk vaak niet deterministisch zijn.

Dezelfde studie werd daarna uitgewerkt voor een collaboratieve supply chain. De eerste bevinding die voor de collaboratieve supply chain gemaakt wordt, is dat de winst gemiddeld veel hoger ligt dan bij de traditionele supply chain. Wanneer het traditioneel systeem onvoorziene condities ondergaat, resulteert dit in economische schade, terwijl de collaboratieve supply chain erin slaagt om winst te blijven maken in elk scenario. In de situatie van een collaboratieve supply chain wijzigen daarnaast de verhoudingen tussen de verschillende factoren. De minimale productiecyclus staat nu bovenaan, met de spreiding van de transport lead-time op een nipte tweede plaats. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 8. Dezelfde indeling zoals deze van Figuur 7 werd hier gebruikt.



Figuur 8 Belangrijkste effecten voor gemiddelde winst in collaboratieve supply chain (Ponte et al., 2018)

Door de studie uit te voeren voor zowel een traditionele als een collaboratieve supply chain is het mogelijk om de resultaten naast elkaar te zetten en te vergelijken. Figuur 9 toont de verhoudingen tussen de verschillende lead-times voor beide scenario's.



Figuur 9 **Links**: Procentuele impact van de minimale lengte en spreiding (range) van de lead time op de netto winst van de supply chain voor een traditionele en collaboratieve supply chain; **Rechts**: Idem voor de productie en transport (shipping) lead times. (Ponte et al., 2018)

Aan de linkse kant is de verhouding tussen de minimale lead-time en de spreiding weergegeven voor beide supply chains. De rechtse grafiek toont de impact aan van productie en transport lead-time. De y-as is de procentuele impact op de netto winst van de supply chain. In de linkse grafiek is het opvallend dat reductie van de minimale lead-time de grootste impact zal hebben op de supply chain. De verhouding blijft voor beide supply chains gelijkmatig. Andere artikels menen echter dat de spreiding net zo belangrijk is, of zelfs belangrijker dan de minimale lead time (Kim et al., 2006). Er blijkt dus wat onenigheid te zijn in de literatuur over dit thema. Wat betreft de impact zijn er wel duidelijke verschillen. De minimale lengte van de lead-time heeft een impact op de interne prestaties van de keten. Reduceren van de lead-time zorgt onder andere voor lagere voorraden omdat de tijd die overbrugd moet worden tussen leveringen verkort wordt. Aan de andere kant heeft de spreiding een impact op het serviceniveau. Het is de reden dat werkelijke serviceniveaus kunnen afwijken van de overeengekomen waarden. Het verlaagt daarom de externe prestaties die geleverd kunnen worden, en bijgevolg de opbrengsten uit verkoop.

Aan de rechtse kant zijn de verhoudingen tussen productie en verzendingen lead-time duidelijk anders. In traditionele systemen hebben de verzendingen lead-times een beduidend grotere impact dan de productie lead-time. Dit is te verklaren door het bullwhip effect, dat sterke gevolgen heeft in dergelijke supply chains en de bedrijven belet om dynamisch te reageren op de schommelingen. In collaboratieve supply chains zijn heel wat optimalisaties gemaakt die de robuustheid vergroten, waardoor het verbeteren van de productie lead-time relatief meer impact zal hebben (Ponte et al., 2018).

Naast deze bevindingen valt op dat de mogelijke impact van lead-time reductie kleiner wordt wanneer supply chains van een traditionele naar een collaboratieve vorm overschakelen. Experimenten uitgevoerd door Barlas & Gunduz (2011) geven weer dat lead-time op zich niet voldoende is om het bullwhip effect te creëren. Echter, wanneer het bullwhip effect reeds aanwezig is in de supply chain, zal een lange lead-time het effect aanzienlijk versterken. Het geeft aan dat lead-time een versterker is van het bullwhip effect, en niet meteen de oorzaak. Dit bevestigt het gegeven dat de impact van lead-time reductie daalt in supply chains waar het bullwhip effect niet zo sterk aanwezig is (e.g. collaboratieve supply chains).

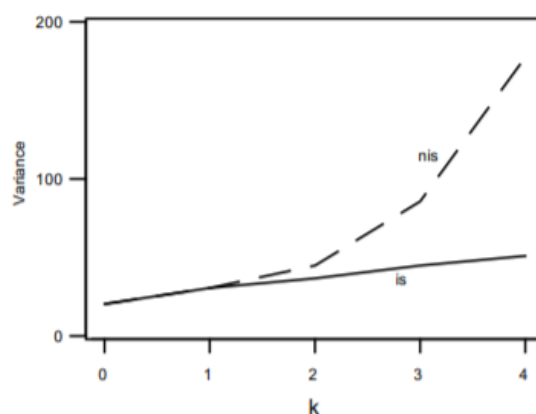
5.2.2 Informatie delen

Deze sectie behandelt het delen van informatie tussen de leden van de supply chain. Het delen van informatie wordt gezien als een van de meest effectieve manieren om de impact van het bullwhip effect te verminderen. Door informatie zoals de werkelijke eindvraag, bestelgegevens, voorraadniveaus en capaciteit te delen, bestaat de mogelijkheid om een goede coördinatie op te stellen tussen de leden van de supply chain. Daarnaast laat dit toe de capaciteit beter af te stemmen op de werkelijke behoefte door correctere interpretatie van de inkomende orders (Lee et al., 1997; Kiyong & Jae-dong, 2019).

Wanneer bedrijven niet over deze verschillende vormen van informatie beschikken, kunnen ze geen optimale beslissingen maken. Bijvoorbeeld voorspellingen voor de toekomstige vraag moeten bij gebrek aan informatie over de eindvraag gemaakt worden op basis van de orders van de eerstvolgende partner in de keten. Het maken van voorspellingen op deze orders kan een

omgekeerde werking hebben en het bullwhip effect versterken (Lee et al., 1997). Bijgevolg zijn conventionele maatregelen zoals vraagvoorspelling vaak nutteloos wanneer kritieke informatie ontbreekt.

In de literatuur zijn vele studies terug te vinden die bewijzen dat delen van informatie zorgt voor stabiliteit binnen de supply chain en een vermindering van het bullwhip effect. Onder andere Kim et al. (2006) hebben deze vaststelling gemaakt. De effecten van informatiedeling worden door hen gegeneraliseerd in Figuur 10, waarin te zien is dat het niet delen van informatie zorgt voor een exponentiële stijging van de variantie van de orders. Wanneer informatie wel gedeeld wordt, op een correcte manier, zet dit zich om naar een lineaire stijging. De juiste manier van informatie delen komt later in dit hoofdstuk aan bod.



Figuur 10 Amplificatie van de variantie: geen informatie delen (nis) versus informatie delen (is) (Kim et al., 2006)

Het delen van informatie is de basis voor een goede coördinatie tussen de bedrijven, en daardoor een voorwaarde om heel wat oplossingen te ondersteunen. Doordat informatie delen een erg grote topic is binnen het onderzoek naar het bullwhip effect, gaat deze masterproef uitgebreid in op de aspecten binnen dit thema. Om een algemeen overzicht te geven over het topic, wordt als eerste gekeken naar de soorten informatie die gedeeld kunnen worden. Daarna wordt de mogelijke impact bekeken, en als laatste het belang van kwaliteit van de informatie.

5.2.2.1 Soorten informatie

Informatie is geen eenduidig gegeven. Verschillende vormen van informatie zijn te vinden in de supply chain en hebben telkens een andere toepassing. Huang, Lau & Mak (2003) beschrijven in hun artikel de impact van allerhande informatie op de prestaties van een supply chain. Vier categorieën worden uit dit artikel overgenomen, namelijk informatie over vraag en orders, het product, de processen, en voorraad.

5.2.2.1.1 Vraag- en orderinformatie

Bij het delen van informatie wordt het vaakst gedacht aan 'point of sales' (POS) data. Dit omvat informatie over de werkelijke verkoop aan de eindconsument door de retailer. Croson & Donohue (2003) tonen aan dat het delen van POS data een drastisch verschil maakt wat betreft de

schommelingen in de orders. Dit vooral bij bedrijven die meer stroomopwaarts gelegen zijn, zoals de distributeurs en producenten. Voor groothandelaars en retailers is dit verschil minder groot.

De impact van POS data vertaalt zich in de praktijk naar operationele verbeteringen die gemaakt kunnen worden bij de bedrijven bovenaan de keten. Deze bedrijven hebben het meeste te winnen doordat de inkomende orders beter geïnterpreteerd kunnen worden (Lee, 2010). Retailers en verkopers die willen investeren in goede informatiedeling software, kunnen daarom best beginnen bij de bedrijven bovenaan in de keten om het beste resultaat te bekomen. Deze partijen kunnen daarnaast het meeste voordeel halen met zulke technologie, waardoor de kans groter is dat ze deze investering mee willen financieren.

Het delen van informatie heeft ook een impact op het gedrag van beleidsmakers. Beschikbaarheid van POS data zorgt voor meer spreiding van orders bij de eigen leveranciers. Door het vergelijken van de inkomende orders met de werkelijke verkoop, kunnen ze beter geïnterpreteerd worden. Doorgaans wegen bij voorraadbeslissingen de POS data harder door dan de orders van de afnemers (Croson & Donohue, 2003).

5.2.2.1.2 Productinformatie

Productinformatie beschrijft de karakteristieken van de producten die gemaakt worden binnen de supply chain en de processen die hiervoor nodig zijn. Een belangrijke eigenschap hierbij is de bill-of-materials (BOM). De structuur en kostgegevens van deze BOM hebben een grote invloed op de producerende bedrijven die stroomopwaarts gelegen zijn. Het is de basis om initiatieven zoals component sharing en standaardisatie van onderdelen toe te passen. Deze initiatieven maken lagere productiekosten en doorlooptijden mogelijk (Huang et al., 2003)

5.2.2.1.3 Procesinformatie

Procesinformatie beschrijft de karakteristieken van het bedrijfsproces die waarde toevoegen aan het eindproduct. In het algemeen zijn drie categorieën te onderscheiden binnen bedrijfsprocessen. Deze betreffen bestellingen, productie en verzendingen. Relevante informatie over deze processen zijn het gemiddelde en variantie van de lead-time, kostenstructuur, kwaliteit van het proces, en het beleid dat deze processen beheert (Huang et al., 2003).

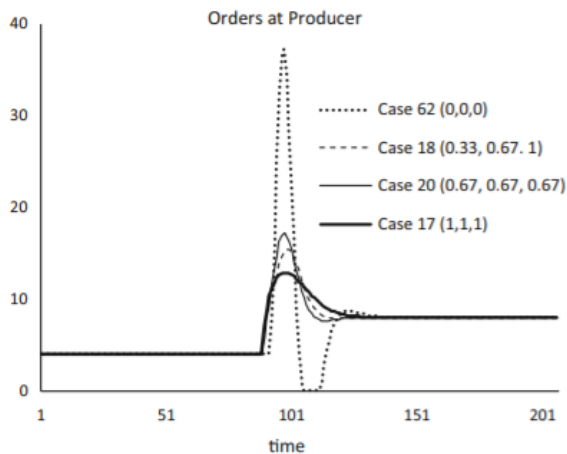
5.2.2.1.4 Voorraadgegevens

Voorraadinformatie omvat de hoeveelheid producten die in voorraad zijn, eventuele backlog orders en de artikelen in bewerking. Het delen van deze gegevens kan keuzes zoals niveau van veiligheidsvoorraad en orderbeleid positief beïnvloeden. Kennis van de voorraadniveaus bij de bedrijven stroomafwaarts, maakt optimalisatie van de voorraadkost voor de hele supply chain mogelijk. Transparante gegevens over de voorraad bij de klant is daarnaast erg gelijkend op een systeem zoals 'Vendor Managed Inventory' (Huang et al., 2003). Deze bevindingen worden bevestigd door Croson & Donohue (2006). Zij maken nog een extra opmerking dat het aangeraden is om te starten met implementatie bij de retailer en groothandelaar wegens de hoge kost van volgsystemen van de voorraad. Dergelijk volgsysteem kan zelfs positieve effecten hebben wanneer de bedrijven stroomopwaarts onwillig of niet in staat zijn om de voorraadniveaus te delen met andere leden van de supply chain.

5.2.2.2 Impact van informatie delen

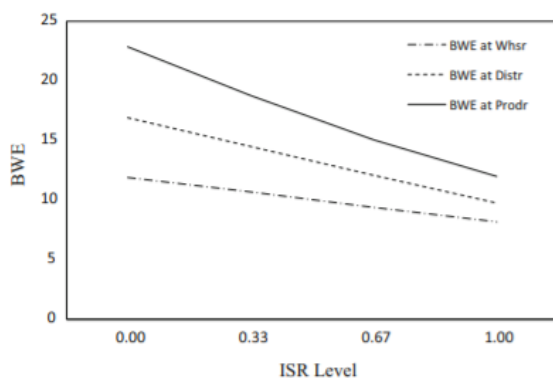
Ojha et al. (2019) tonen in hun onderzoek aan dat het delen van informatie gemiddeld voor een reductie van tot wel 71% van het bullwhip effect zorgt. Zij maken immers gebruik van dezelfde maatstaf zoals besproken in Hoofdstuk 1.2: BWE Meten, namelijk de coëfficiënt van variatie (CV).

Kiyoung & Jae-Dong (2019) benaderden het onderzoek naar de effecten van informatie delen op een andere manier. Ze zijn van mening dat het vaak moeilijk is om volledige informatie te delen met de rest van de supply chain. Dit vraagt heel wat investeringen in informatietechnologie, die vaak belet worden door non-financiële zaken zoals wantrouwen. Daarom hebben ze in hun studie gebruik gemaakt van een parameter genaamd 'information sharing rate' (ISR). Deze geeft een waarde aan tussen 0 en 1 naargelang de hoeveelheid gedeelde informatie. De ISR wordt toegepast op elke schakel in een keten die bestaat uit drie bedrijven. Combinaties tussen verschillende groottes van ISR onder de bedrijven werden afgewogen in dit onderzoek.



Figuur 11 Overzicht belangrijkste combinaties ISR (Kiyoung & Jae-Dong, 2019)

gemiddeld evenveel data gedeeld, maar de impact van de verdeling in case 18 op het bullwhip effect is toch groter. Het duidt aan dat met een stijgend patroon van informatie delen de beste resultaten behaald kunnen worden indien niet voor volledige informatie transparantie gegaan wordt. Uiteraard is perfecte informatietransparantie de beste combinatie, zoals gedemonstreerd bij case 17.



Figuur 12 Impact van hoeveelheid informatie bij elke schakel (Kiyoung & Jae-Dong, 2019)

Figuur 11 toont aan dat het niet noodzakelijk is om alle beschikbare informatie te delen om een verschil te kunnen maken. In deze figuur zijn vier cases te zien waarbij telkens een ander niveau van informatie delen werd ingesteld. De schaal van informatie delen schommelt tussen nul en één. In het voorbeeld gaat het om een supply chain van drie bedrijven, waar telkens een andere combinatie van informatie transparantie werd ingesteld. De y-as stelt de orders aan de producent voor. Uit case 18 is af te leiden dat hoe meer stroomafwaarts een bedrijf gelegen is, hoe belangrijker de hoeveelheid beschikbare informatie is. In vergelijking met case 20 wordt

Figuur 12 bevestigt de inzichten uit Figuur 11. Ten eerste is duidelijk zichtbaar dat het delen van informatie een positieve impact heeft op het bullwhip effect en dit bij elk bedrijf in de keten. Dit staft de resultaten van onder andere Kim et al. (2006), Hussain et al. (2012) en Ojha et al. (2019). De impact van informatie is daarnaast groter bij bedrijven die meer stroomopwaarts gelegen zijn. De curve voor de producent is duidelijk steiler dan die van de groothandel. Dit heeft onder andere te maken met het feit dat variantie van de orders

stroomopwaarts toeneemt en hier groter is dan voor bedrijven die dicht bij de klant gelegen zijn. Als laatste wordt aangetoond dat de grootte van het bullwhip effect een direct gevolg is van de ISR bij het eigen bedrijf én bij de bedrijven stroomafwaarts. De informatie beschikbaar in het eigen bedrijf heeft de grootste impact. Geen bewijzen zijn gevonden over de impact van ISR bij bedrijven die stroomopwaarts gelegen zijn. Wanneer men tracht het bullwhip effect te verminderen in een specifieke schakel, is allereerst nood aan verhoogde ISR voor dat bedrijf zelf. Daarna moet informatie gedeeld worden met bedrijven stroomafwaarts in de supply chain om de impact te vergroten.

5.2.2.3 Kwaliteit van de informatie

Wanneer informatie gedeeld wordt, vertaalt dit zich niet noodzakelijk in een positief resultaat. Veel hangt af van de kwaliteit van de betreffende informatie. Incorrecte, incomplete of vertraagde informatie kunnen de supply chain beschadigen. Ovum, een globaal bureau voor economische analyses, heeft geschat dat de Amerikaanse economie ongeveer 30% verliest als gevolg van slechte informatie. Dit vertaalt zich in 700\$ miljard gemiste inkomsten. Dit hoge cijfer is mede het gevolg van het toenemende aantal bedrijven die gebruik maken van geavanceerde informatietechnologieën. Enterprise Resource Planning (ERP), en Electronic Data Interchange (EDI) zijn voorbeelden van informatiesystemen die de efficiëntie van informatie delen tussen partners sterk doet stijgen. Echter, door deze verhoogde efficiëntie wordt de data sneller verspreid en toegankelijk voor meer personen. Een voorbeeld van een informatiesysteem met incorrecte weergave van data is te vinden bij Nike. De zelf ontworpen 'demand-planning software' genaamd i2, was te traag, integreerde niet goed met het bestaande systeem en het personeel was niet tijdig opgeleid. Dit resulteerde in een daling van het aandeel met 20% en 100\$ miljoen aan gemiste inkomsten (Lu, Feng, Lai & Wang, 2017).

De waarde van informatiedeling systemen hangt daarnaast af van de geloofwaardigheid van deze informatie. Cases waarbij retailers overdreven vraagvoorspellingen delen met leveranciers om voldoende aanbod te verzekeren zijn vaak te vinden in alle sectoren. Het gebrek aan vertrouwen dat leveranciers stroomopwaarts hebben, zorgt voor limitatie in de supply chain om te voldoen aan de eindvraag (de Almeida et al., 2015). Barratt (2004) duidt aan dat delen van informatie slechts kan voorkomen in een collaboratieve supply chain, waarbij vertrouwen, openheid, eerlijkheid, respect en verbintenis te vinden zijn.

5.2.3 Echelon eliminatie

Het bullwhip effect is een fenomeen waarbij de orders geplaatst bij de leverancier een grotere variantie kennen dan de orders geplaatst door de klanten. Dit zet zich verder bij elk stadium in de supply chain en vergroot naarmate de orders stroomopwaarts bewegen. Hoe langer de keten, hoe sterker dit effect zich kan doorzetten. Door het aantal stadia in de keten te verminderen, worden punten waar deze stijging van variantie zich kan voordoen geëlimineerd. De impact hiervan zal te voelen zijn op het einde van de keten, waar onder andere de producent een stabiel orderpatroon zal waarnemen. Daarnaast verlaagt de lead-time van materiaal en informatie over de hele keten (Paik & Bagchi, 2007). Dit betekent dat de supply chain sneller kan inspelen op wijzigingen in de vraag.

De inspanningen om het aantal stadia in de keten te verminderen zijn echter groot. Een volledig nieuw ontwerp en uitvoering van de supply chain is nodig om deze maatregel toe te passen. Daarom is het vaak aangeraden om te kijken naar andere methodes om de schommelingen in de vraag aan te pakken, tenzij de grootte van het bullwhip effect is te herleiden naar de lengte van de keten. Bepaalde vormen van integratie zijn mogelijk al een stap in de juiste richting om het aantal beslissingspunten te verminderen. Een voorbeeld hiervan is het Vendor Managed Inventory model. Bij dergelijke manier van samenwerken wordt de voorraad bij de retailer beheerd door de verkoper van de goederen. Hierdoor wordt het beslissingspunt van de retailer weggenomen door een distributeur of producent, waardoor distorsies in de orders zich niet meer kunnen voordoen tussen deze twee stadia (Disney & Lambrecht, 2008)

Door een gebrek aan wetenschappelijke literatuur zal dit topic niet verder in detail besproken worden. Het is duidelijk dat deze oplossing een impact kan hebben op de grootte van het bullwhip effect, maar het aantal echelons zal in veel gevallen niet de hoofdoorzaak zijn. Daarnaast gaat heel wat tijd en geld verloren aan een nieuw ontwerp van de keten, en zal een vermindering van het aantal schakels niet altijd mogelijk blijken.

5.2.4 Synchronisatie en orderbeleid

Met synchronisatie bedoelen Geary et al. (2006) het voeren van een gezamenlijk orderbeleid, waarbij orders continu en gesynchroniseerd geplaatst worden doorheen de supply chain. In deze sectie zal als eerste een evaluatie van de verschillende ordermethodes gebeuren met hun impact op het bullwhip effect. Daarna zal gekeken worden naar studies die de gevolgen van een gezamenlijk orderbeleid bestuderen.

5.2.4.1 Vergelijk soorten orderbeleid

De keuze voor een bepaald orderbeleid, is een rationele beslissing die het bedrijf maakt met oog op verbetering van het voorraadbeheer en het behalen van een bepaald serviceniveau. Wanneer bedrijven deze keuze maken zonder rekening te houden met de rest van de supply chain, kan deze voor het eigen bedrijf optimale beslissing mogelijk het bullwhip effect veroorzaken en bijgevolg zorgen voor inefficiënties (Disney & Lambrecht, 2008).

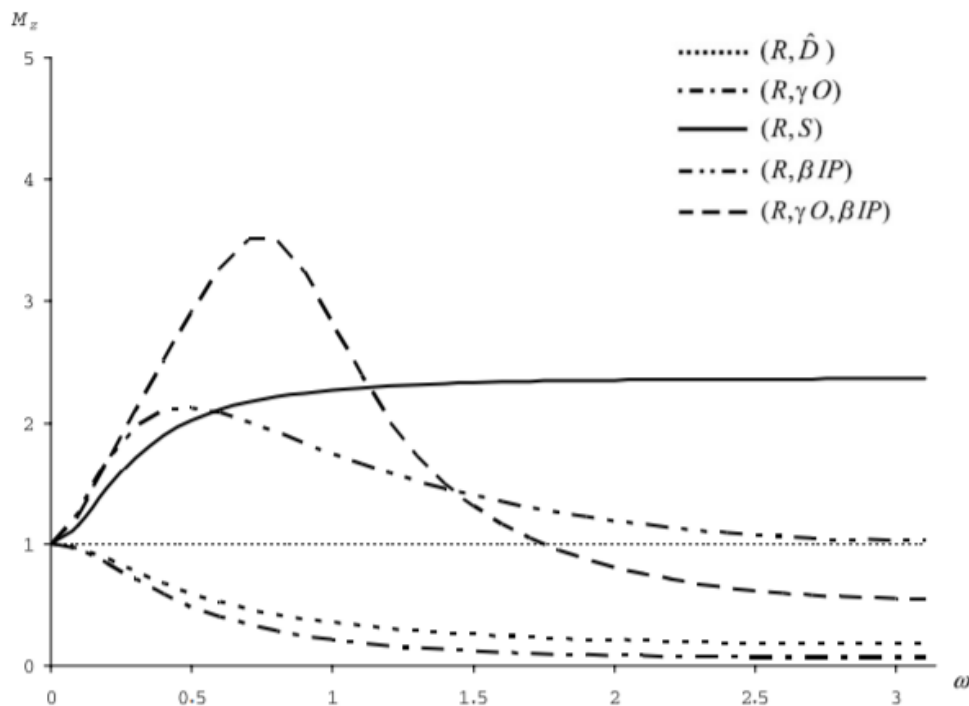
Heel wat ordermethodes worden gebruikt in de praktijk en in wetenschappelijk onderzoek. De meest gebruikte methode zowel in de praktijk als in wetenschappelijk context is de order-up-to methode (OUT). Hierbij wordt de actuele stand van de voorraad (= hoeveelheid in voorraad + geplaatste bestellingen – backlog) bijgehouden, en aangevuld tot aan een order-up-to voorraadmiveau op een vast tijdstip (bijv. dagelijks, wekelijks,...). Het order-up-to niveau wordt vastgelegd aan de hand van de verwachte vraag tijdens de te overbruggen periode. Deze periode staat gelijk aan de som van de lead-time en de review periode (Disney & Lambrecht, 2008). De wetenschappelijke schrijfwijze voor een OUT ordersysteem is (R,S). Hierbij staat R voor het review interval en S voor het order-up-to niveau.

Naast de OUT-methode bestaan nog een aantal alternatieve methodes. Jaksic & Rusjan (2008) vergeleken vijf verschillende ordermethodes in hun onderzoek. Het gaat telkens om periodische modellen, met een aantal variaties die toegepast worden met het oog op bullwhip reductie. Zo kan bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van een smoothing constante, die de gemaakte orders afvlakt

om een regelmatig orderpatroon te verkrijgen. De methodes gehanteerd in het onderzoek, naast de order-up-to methode (R,S), zijn:

- (1) (R, \hat{D}) = Simple exponential smoothing vergelijking waarbij de bestelhoeveelheid altijd de voorspelde vraag voor de volgende periode volgt (\hat{D}). In dit model wordt geen veiligheidsvoorraad aangehouden.
- (2) $(R, \gamma O)$ = Zelfde principe als (1) wordt gehanteerd, met toevoeging van een extra smoothing constante γ , die de gemaakte orders afvlakt (γO). In dit model wordt eveneens geen veiligheidsvoorraad aangehouden.
- (3) $(R, \beta IP)$ = Dit model is een aangepast versie van de OUT methode, met een gedeeltelijke correctie van de order-up-to grens. Deze wordt verminderd met de voorspelling van de volgende periode.
- (4) $(R, \gamma O, \beta IP)$ = Deze methode is beter gekend als Bowman's regel. Het is een variatie van het OUT-principe, met afvlakking van zowel de bestelde hoeveelheid (γO) en de order-up-to grens (βIP).

In Figuur 13 worden de verschillende ordermethodes die hier opgesomd werden met elkaar vergeleken. Deze grafiek wordt uitgedrukt in de vorm van $M_z(\omega)$. Het is de ratio tussen de standaardafwijking van het orderpatroon van het bedrijf (M_z) en de standaardafwijking van het vraagpatroon (ω).



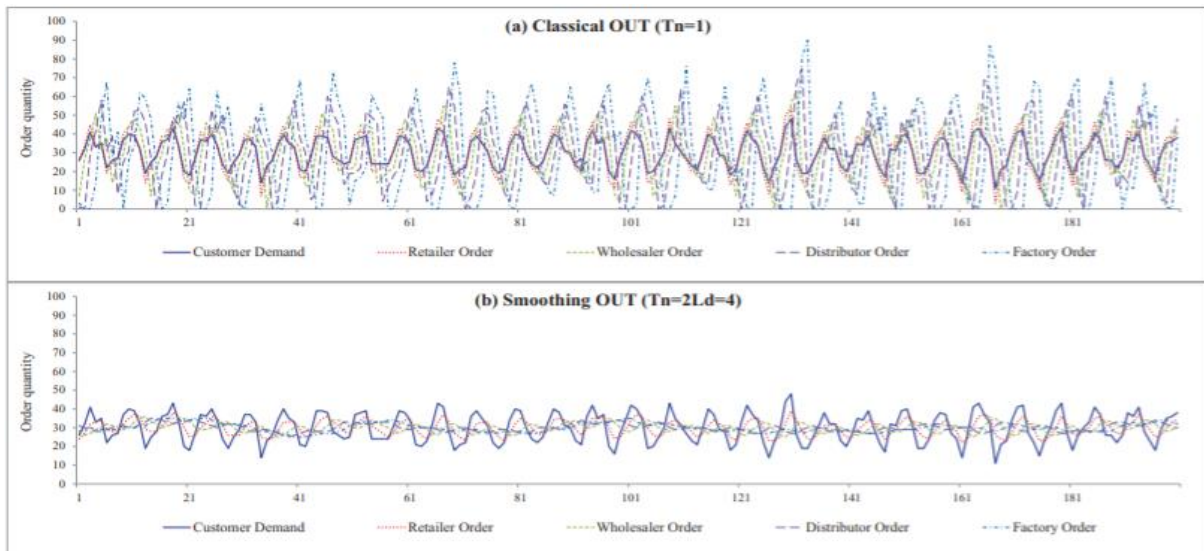
Figuur 13 Vergelijking van de ordermethodes bij stijgende standaardafwijking van het vraagpatroon (Jaksic & Rusjan, 2008)

Door gebruik te maken van de twee eerste modellen (R, \hat{D} en $R, \gamma O$) waarbij geen veiligheidsvoorraad wordt aangehouden, kan het bullwhip effect vermeden worden. In sommige situaties wordt zelfs aangetoond dat de amplificatie afneemt. De bestelde hoeveelheid bij het (R, \hat{D}) beleid, staat gelijk

aan de voorspelde vraag voor de volgende periode. Dit betekent dat de reactie op de vraag altijd kleiner zal zijn doordat exponential smoothing automatisch de vraag afvlakt. Met het $(R, \gamma O)$ beleid wordt een extra reductie van het bullwhip effect behaald door afvlakking van de bestelhoeveelheid. Een stijging van de vraag zal altijd gevolgd worden door een minder grote stijging van de vraagvoorspelling en bijgevolg de orders. Jaksic & Rusjan (2008) tonen aan dat de overige ordermethodes het bullwhip effect veroorzaken, vooral de vaak gebruikte OUT-methode. Bij gebruik van de OUT methode is het bullwhip effect onvermijdelijk en zal het blijven bestaan bij stijgende variabiliteit van de orders. De twee andere variaties, (3) en (4), slagen er wel in om het bullwhip effect te verlagen. Dit vooral bij grotere standaardafwijking van het vraagpatroon (ω).

In deze studie werd daarnaast aangetoond dat verhoogde veiligheidsvoorraad zorgt voor verhoging van het bullwhip effect. Dit is te verklaren doordat het niveau van de veiligheidsvoorraad bepaald wordt door de vraagvoorspelling en de lengte van de lead-time. Een directe link bestaat tussen de veiligheidsvoorraad, de lengte van de lead-time en het bullwhip effect. Het gebruik van een veiligheidsvoorraad verlengt in feite de lead-time van transport, die niet enkel bestaat uit de effectieve lead-time, maar eveneens een ingebouwde veiligheidsperiode. Bijgevolg wordt de voorspelling van toekomstige vraag vergroot met een extra marge voor de lead-time. Dit resulteert in hogere variantie van de orderhoeveelheden (Jaksic & Rusjan, 2008).

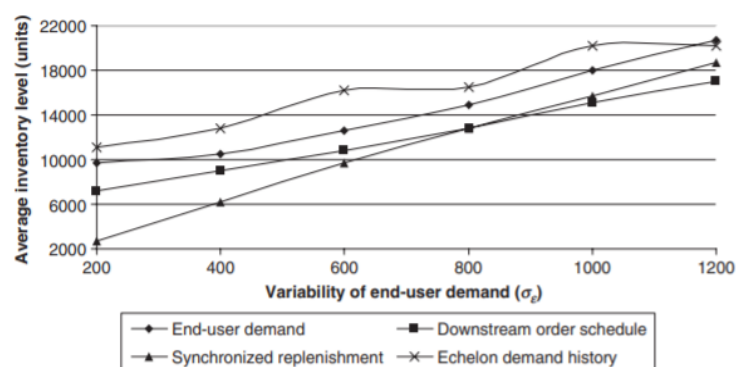
Als laatste wordt de 'proportional order-up-to' (POUT), ook wel smoothing OUT methode genoemd, besproken in meerdere studies (Disney, Hoshiko, Polley & Weigel, 2013; Constantino, Di Gravio, Shaban & Tronci, 2016). Het is een generalisatie van de OUT-methode, waarbij de aan te vullen hoeveelheid gereguleerd wordt door een aantal 'controllers'. Deze controllers reguleren het herstel van fouten gemaakt in de vraagvoorspelling over een bepaalde periode en vlakken daarmee de gemaakte orders af. Constantino et al. (2016) tonen aan dat de POUT-methode een grote impact kan hebben op de stabiliteit van de orders wanneer de controllers optimaal afgestemd zijn. Algemeen geldt dat een lagere keuze van smoothing constante α leidt tot stabielere orders. Een lage α wilt zeggen dat het model minder sensitief is voor veranderingen in de vraag. Dit wordt bevestigd door Jaksic & Rusjan (2008). Het effect van de POUT-methode op de orders vergeleken met de klassieke OUT-methode wordt weergegeven in Figuur 14. In deze figuur worden de orderhoeveelheden van elke partij in de supply chain weergegeven over een bepaalde periode. In scenario (a) wordt de klassieke OUT-methode weergegeven. Hier is te zien dat orders bij elk stadia meer en meer volatiliteit kennen. Dit in tegenstelling tot scenario (b) waar de POUT-methode gebruikt wordt. Hier is zelfs een afvlakking tegenover de originele vraag te bemerken. Meerdere bevindingen van deze aard werden gemaakt in het onderzoek van Constantino et al. (2016), waardoor het gebruiken van de POUT-methode aanbevolen wordt wanneer de supply chain onderhevig is aan het bullwhip effect.



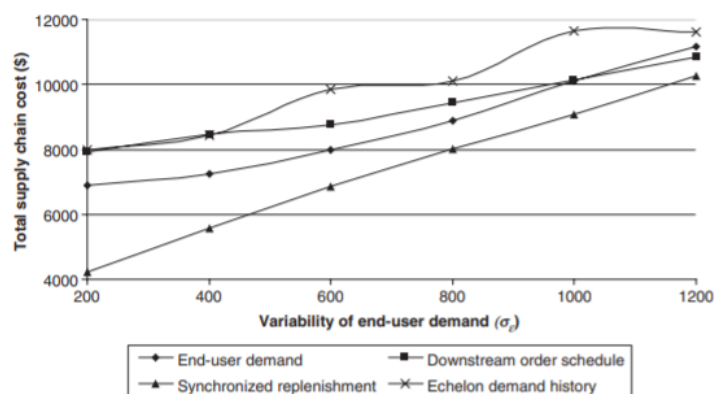
Figuur 14 Variatie van de orders over tijd bij verschillende smoothing parameters (Constantino et al., 2016)

5.2.4.2 Synchronisatie van orderbeleid

Viswanathan, Widiarta & Piplani (2007) hebben het effect van een gesynchroniseerd orderbeleid bestudeerd, en concluderen dat het een positieve impact kan hebben op het bullwhip effect. Het gesynchroniseerd orderbeleid is een simpel coördinatie schema, waarbij alle leden van de supply chain zich ertoe binden om orders te plaatsen en te herzien op vastgelegde tijdsintervallen, zonder informatie te delen over de werkelijke eindvraag. Orders worden tegelijkertijd gemaakt en zijn gebaseerd op de orders van de bedrijven die het dichtst bij de consument gelegen zijn. In deze studie werd de impact van gesynchroniseerd orderbeleid afgewogen tegenover drie verschillende vormen van vraaginformatie. Dit zijn vraag van de eindconsument, orders geplaatst door stroomafwaarts gelegen bedrijven, en orders van de naaste partner in de supply chain. De resultaten van deze studie tonen aan dat de methode van gesynchroniseerd bestellen een grotere impact kan hebben dan de andere niet gesynchroniseerde methodes waarbij informatie wel gedeeld wordt. De bevindingen zijn te zien in Figures 15 en 16 voor respectievelijk de gemiddelde voorraad en de totale supply chain kosten. Het voornaamste voordeel van deze methode is dat het verzamelen van orders gelimiteerd wordt. Door vaste tijdstippen te kiezen verbinden bedrijven zich ertoe om de ordergrootte te beperken en zodoende worden pieken als gevolg van gebundelde orders vermeden.



Figuur 15 Gemiddelde voorraadniveau voor een stijgende variabiliteit in de vraag door de eindconsument (Viswanathan et al., 2007)



Figuur 16 Totale supply chain kost voor een stijgende variabiliteit in de vraag door de eindconsument (Viswanathan et al., 2007)

In bovenstaande figuren is de impact te zien van de verschillende vormen van informatie en daarnaast de methode van gesynchroniseerd bestellingen plaatsen. De variabiliteit van orders geplaatst door de eindconsument wordt hier afgemeten tegen enerzijds het gemiddelde niveau van de voorraad (Figuur 15) en anderzijds de totale supply chain kost (Figuur 16). In beide gevallen is het daarom voordelig om de waarde op de y-as te minimaliseren. Zo blijkt in beide figuren dat ordergegevens van de eerstvolgende in de supply chain steeds voor de slechtste resultaten zorgt. Informatie over de eindvraag heeft de grootste impact op de supply chain, op de methode van een gesynchroniseerd orderbeleid na.

In alle situaties bestudeerd door Viswanathan et al. (2007), blijkt dat het gebruik van een gesynchroniseerd orderbeleid (zonder delen van vraag informatie) consistent resulteerde in lagere kosten en minder volatiliteit. De resultaten van deze studie suggereren daarom dat veel meer waarde gecreëerd kan worden door het orderbeleid te synchroniseren, dan simpelweg informatie over de eindvraag te delen. Dergelijk systeem is makkelijker op te stellen dan uitgebreide informatiedeling software. In Tabel 3 is de impact van de verschillende methodes naast elkaar weergegeven. Het gebruik van een gesynchroniseerd orderbeleid heeft de mogelijkheid om het gemiddelde voorraadniveau tot wel 59% te reduceren. De kosten voor de supply chain kunnen daarnaast potentieel met 39% verlaagd worden.

Tabel 3 Samenvatting van de simulaties: Percentage van de mogelijke besparingen bij de verschillende informatie deling mechanismes (Viswanathan et al., 2007)

Dependent variable	Mechanism ^a	Retailer (%)	Wholesaler (%)	Distributor (%)	Manufacturer (%)	Total savings (%)
Average inventory level (units)	EDH	0	0	0	0	0
	EUD	-1.46	-2.32	18.54	29.73	17.69
	DOS	-0.07	1.75	26.46	49.61	29.41
	SR	-53.82	69.94	73.59	71.93	59.84
Total cost (\$)	EDH	0	0	0	0	0
	EUD	-0.54	3.21	19.75	26.96	15.02
	DOS	-0.10	-23.97	0.62	19.76	1.52
	SR	-7.20	43.09	51.61	52.74	39.85

^aEDH, echelon demand history; EUD, end-user demand; DOS, downstream order schedule; SR, synchronized replenishment.

Verdere contributies aan dit thema werden gemaakt door Keshari, Mishra, Shukla, McGuire & Khorana (2017). Zij gebruiken een variatie op het gesynchroniseerd orderbeleid, namelijk 'multiple order-up-to'. Hierbij worden optimale multiple OUT niveau's toegewezen aan elke supply chain partner, wat een referentie voorziet bij de beslissing over de hoeveelheid die besteld wordt per transport. De optimale niveaus van de multiple OUT worden bepaald met oog op maximalisatie van de winst in de supply chain. Dit model verzekert de controle over de voorraadniveaus, serviceniveau behaald bij de retailer en de tijdige keuze van beschikbare transportmodi. Gezien de complexiteit van deze methode wordt niet verder ingegaan op dit onderzoek. Het is echter duidelijk dat synchronisatie van orders een grote impact kan hebben op de stabiliteit van de orders over de hele supply chain. Daarnaast zijn minimale investeringen nodig om dergelijk systeem te implementeren. Enkel bestaat de voorwaarde dat de partners een vlotte communicatie en coördinatie moeten onderhouden, wat niet altijd mogelijk is (e.g. de Almeida et al., 2015).

5.2.5 Vraagvoorspelling

Vraagvoorspellingen zijn een essentieel onderdeel van elke supply chain. Ze zijn noodzakelijk om te voldoen aan de toekomstige vraag. Zaken zoals voorraadbeheer en productieplanningen worden afgestemd op deze gegevens, waardoor correcte voorspellingen van cruciaal belang zijn. In deze sectie wordt besproken welke impact vraagvoorspellingen kunnen hebben op het bullwhip effect door eerst een algemene beschrijving te geven van het thema, en bijgevolg dieper in te gaan op de verschillende methodes die gehanteerd kunnen worden.

5.2.5.1 Algemeen

Gewoonlijk voert elk lid van de supply chain een voorspelling van de vraag uit om bijgevolg het voorraadbeheer en/of de productieplanning hierop af te stemmen. Het is echter aangeraden om hiervoor de juiste data en voorspellingsmethode te gebruiken aangezien negatieve gevolgen gegenereerd worden bij slechte vraagvoorspellingen. De kans dat het bullwhip effect ontstaat wanneer leden van de supply chain voorspellingen maken op basis van de afnames van de eerstvolgende in de keten is erg reëel (Lee et al., 1997). De beste manier om dit te voorkomen is het delen van werkelijke vraaggegevens met de bedrijven die stroomopwaarts gelegen zijn. Delen van werkelijke vraaggegevens is daarom een voorwaarde om degelijke voorspellingen te maken (Croson & Donohue, 2003). Dit is echter geen totaaloplossing, aangezien het nog steeds kan zijn dat onnodige schommelingen in de orders zich voor doen.

Indien informatie over de eindvraag niet beschikbaar is, zullen de inkomende orders dienen als een indicatie van de vraag. Het is echter aangeraden om deze signalen niet letterlijk te interpreteren. In plaats daarvan dienen bedrijven te verstaan wat zich achter deze signalen afspeelt. Dit is vooral van toepassing voor bedrijven die aan het einde van de keten liggen, aangezien zij het meest onderhevig zijn aan de variabiliteit veroorzaakt door het bullwhip effect. Een voorbeeld hiervan is te vinden voor bedrijven in de industrie van halfgeleiders. De economische crisis van 2008 had heel wat bullwhips veroorzaakt doorheen de wereld, ook voor de halfgeleiders. Als gevolg van vorige ervaringen waren heel wat managers zich bewust van het bullwhip effect. Extra aandacht werd daarom besteed aan het onderscheiden van orders enerzijds om de veiligheidsvoorraad opnieuw aan te vullen, en anderzijds om aan de werkelijke vraag te voldoen. Het idee was dat veel bedrijven in de supply chain de veiligheidsvoorraad hadden verlaagd, en deze nu terug aan het opbouwen waren om met

zekerheid te voldoen aan de toenemende vraag. Voor de producenten van halfgeleiders was het onderscheid tussen de opbouw van veiligheidsvoorraad en werkelijke vraag belangrijk om de productieplanning af te stemmen op de toekomstige vraag (Lee, 2010), en zo overtollige voorraad te vermijden.

5.2.5.2 Vraagvoorspellingsmethodes

Heel wat hangt af van de methode die gebruikt wordt om de vraag te voorspellen. Binnen het topic van vraagvoorspelling zijn een aantal methodes te onderscheiden. In dit hoofdstuk zal de focus gelegd worden op twee traditionele methodes, moving average (MA) en exponential smoothing (ES), met ter vergelijking een nieuwere vorm van voorspellen genaamd 'Statistical Process Control' (SPC) forecasting. De impact van deze voorspellingsmethodes op het bullwhip effect staat centraal. Hierna zal gekeken worden naar de verhouding tussen de drie gekozen voorspellingsmethodes, en de impact van voorspellingen op het bullwhip effect in het algemeen.

Constantino, Di Gravio, Shaban & Tronci (2015) gaan verder in op het principe van demand signal processing, aangehaald door Lee et al. (1997) (zie 3.2.1.1). Veel studies hebben de impact van verschillende voorspellingsmethodes op het bullwhip effect bestudeerd. Het periodieke order-up-to orderbeleid (OUT) wordt vaak gebruikt in de praktijk en wordt daarom gebruikt in de meeste wetenschappelijke studies. Met deze methode wordt het order gegenereerd om het verschil tussen de huidige voorraadstand en het order-up-to niveau aan te vullen. Het order-up-to niveau wordt dynamisch geüpdatet met de vraagvoorspelling tijdens elke review periode. Vraagvoorspellingen gebruikt in studies zijn voornamelijk de moving average methode (MA), exponential smoothing (ES). Deze methodes zijn populair in de praktijk doordat ze makkelijk in gebruik en robuust zijn bij het voorspellen van non-lineaire gegevensreeksen (Constantino, Di Gravio, Shaban & Tronci, 2014). Het steeds aanpassen van het order-up-to niveau aan de vraagvoorspelling brengt echter meer variatie in de orders, waardoor het bullwhip effect kan ontstaan. Bovendien mankeren MA en ES heel wat flexibiliteit. Het zijn rigide methodes die geen rekening houden met uitzonderlijke situaties en uitlopers. Ruimte voor verbetering is dus te vinden in voorspelling systemen die rekening houden met pieken in de vraag op korte termijn.

Empirisch onderzoek uitgevoerd door Makridakis et al. (1982) heeft aangetoond dat ES een goede keuze is om één periode vooruit te kijken. Dit bleek uit een vergelijk met 24 andere tijdreeks modellen. Echter, wanneer rekening gehouden wordt met het bullwhip effect blijkt dat de MA methode voor lagere bullwhip niveaus zorgt dan ES (Babai, Ali, Boylan & Syntetos., 2013). Hoewel voorspellingsmethodes een essentieel component zijn van voorraadbeheer in supply chains, wordt door wetenschappers erkend dat ze een grote bijdrage hebben aan de variantie van orders en voorraad. Het grootste probleem bij de MA en ES methodes is de hoge sensitiviteit aan plotse veranderingen in de vraag, wat in essentie de hoofdoorzaak is van het bullwhip effect en andere vormen van supply chain instabiliteit. Constantino et al. (2015) hebben geprobeerd om met de SPC voorspellingsmethode de frequente reacties op wijzigingen in de vraag te vermijden, zonder daarbij een invloed te hebben op de prestaties van het voorraadbeheer. De kracht van het SPC-voorspellingssysteem komt van de flexibele structuur met verschillende parameters die ingebouwd zijn om de reacties op de vraag te reguleren zonder de responsiviteit op grote vraagwisselingen te negeren. Het is in feite een gemodificeerde versie van de MA-methode met verhoogde flexibiliteit

waarbij de sensitiviteit aangepast kan worden aan veranderingen in de vraag. Hierdoor blijft het relatief makkelijk in gebruik, waardoor het een competitieve methode is in vergelijking met MA en ES (Constantino et al., 2015).

In Tabel 4 werd het bullwhip effect berekend voor de drie voorspellingsmethodes (MA, ES en SPC) bij een supply chain bestaande uit vier partijen. Hierbij werden twee scenario's uitgewerkt. In het eerste scenario zijn de voorspellingsmodellen erg sensitief aan wisselingen in de vraag. In scenario twee wordt deze sensitiviteit verlaagd. Daarnaast werd lead-time in deze berekeningen verwerkt, waarbij elk scenario afgewogen werd voor drie verschillende lengtes, uitgedrukt in weken ($L_d = 1$; $L_d = 3$; $L_d = 5$). De waardes die vertoond worden zijn de 'Total Variance Amplification' (TVA), waarmee wordt aangeduid hoe hard de variantie van de orders stijgt doorheen de keten. In de tabel is duidelijk te zien dat SPC in elk scenario een lagere TVA vertoond dan de twee andere modellen. Eerdere studies worden daarnaast bevestigd aangezien MA beter presteert dan ES. De impact van de voorspellingsparameters op de verschillende modellen toont aan dat een verlaagde sensitiviteit aan veranderingen in de vraag leidt tot een vermindering van het bullwhip effect. MA en ES hebben slechts een enkele parameter om deze sensitiviteit aan te passen, terwijl SPC vele dimensies heeft om dit te controleren.

Tabel 4 Sensitiviteit van het bullwhip effect bij verschillende lead-times onder verschillende voorspellingsmethodes (1 = hoge sensitiviteit aan vraagwisselingen, 2 = lage sensitiviteit aan vraagwisselingen, TVA = Total Variance Amplification) (Constantino et al., 2015)

TVA _i	Forecasting system								
	MA			ES			SPC-FS		
	$L_d = 1$	$L_d = 3$	$L_d = 5$	$L_d = 1$	$L_d = 3$	$L_d = 5$	$L_d = 1$	$L_d = 3$	$L_d = 5$
<i>1 - Tm = 15, Ta = 7, Ts = 15</i>									
Retailer	1.50	1.90	2.39	1.94	2.70	3.61	1.16	1.26	1.37
Wholesaler	2.35	4.00	6.61	3.74	7.34	13.04	1.33	1.60	1.88
Distributor	3.84	9.05	19.71	7.22	19.44	41.50	1.56	2.03	2.67
Factory	6.48	21.08	53.50	13.86	45.86	106.91	1.83	2.61	3.85
<i>2 - Tm = 30, Ta = 14.5, Ts = 30</i>									
Retailer	1.24	1.41	1.59	1.45	1.78	2.15	1.15	1.25	1.34
Wholesaler	1.56	2.05	2.68	2.10	3.16	4.58	1.33	1.56	1.85
Distributor	1.97	3.06	4.74	3.01	5.58	9.76	1.54	1.98	2.59
Factory	2.53	4.71	8.70	4.32	9.86	20.25	1.80	2.54	3.71

In deze studie wordt de klassieke OUT-methode uitgevoerd onder verschillende voorspellingsmethodes. Een sterke link is te vinden met de ordermethodes besproken in vorige sectie aangezien de vraagvoorspelling het order-up-to niveau bepaald van de voorraad. De parameters die gebruikt werden om de orders af te vlakken en zo het bullwhip effect te vermijden, worden hier vervangen door de keuze van een voorspellingsmethode. De methodes MA en ES staan hier voor een klassieke OUT methode waarbij geen extra parameters gebruikt worden om de vraag af te vlakken. SPC komt meer in de buurt van een POUT-methode, waarbij orders afgevlakt en gespreid worden over een bepaalde periode.

5.2.6 Order Batching

In een supply chain plaatst elk lid orders bij een bedrijf dat stroomopwaarts gelegen is. Vraag komt binnen waardoor de voorraad slinkt, maar bedrijven kunnen ervoor kiezen om deze niet meteen aan te vullen. Vaak worden orders geaccumuleerd vooraleer een bestelling plaatsvindt. Hierdoor weerspiegelen de orders de letterlijke vraag niet en wordt een onregelmatig orderpatroon gegenereerd. Lee et al. (1997) geven aan dat het principe van order batching een van de

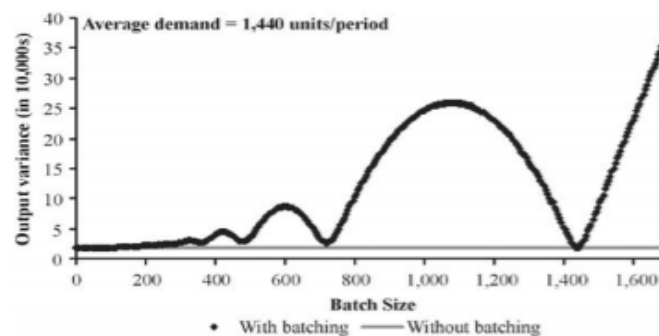
hoofdoorzaken van het bullwhip effect vormt. Orders worden namelijk gebundeld en zorgen zo voor een amplificatie van de ordergrootte stroomopwaarts. In deze sectie wordt een algemeen beeld gegeven over het topic order batching door eerst te kijken naar de redenen voor batching, en daarna strategieën voor minimalisatie van het bullwhip effect te voorzien.

5.2.6.1 Redenen voor order batching

Potter & Disney (2005) identificeren twee vormen van order batching. De eerste is de op tijd gebaseerde, of periodieke batching waarbij orders minder vaak geplaatst worden dan ontvangen. Vaak zijn rationele argumenten te vinden, zoals bijvoorbeeld in de supermarkt, waar meerdere afnames doorheen de dag gebeuren maar orders slechts per dag of twee dagen geplaatst worden. Om kosten-efficiënt te blijven is de winkel genoodzaakt om de aanvoer te bundelen in een gezamenlijk order. De andere vorm van batching is gerelateerd aan de bestelhoeveelheden. Vaak is dit het gevolg van bestelmethode zoals Economic Order Quantity (EOQ) waarbij bestelkosten en voorraadkosten geminimaliseerd worden. Daarnaast leggen fabrikanten soms minimum bestelhoeveelheden op aan de afnemers om zo aan een minimale batchgrootte te voldoen. Beslissingen omtrent verpakking spelen ook een rol, waarbij goederen in veelvoud van vaste hoeveelheden besteld worden. Als laatste worden orders soms geplaatst in veelvoud van transportladingen, zoals een FTL of container. Zo wordt bespaard op de kosten van transport.

5.2.6.2 Best practices voor batching

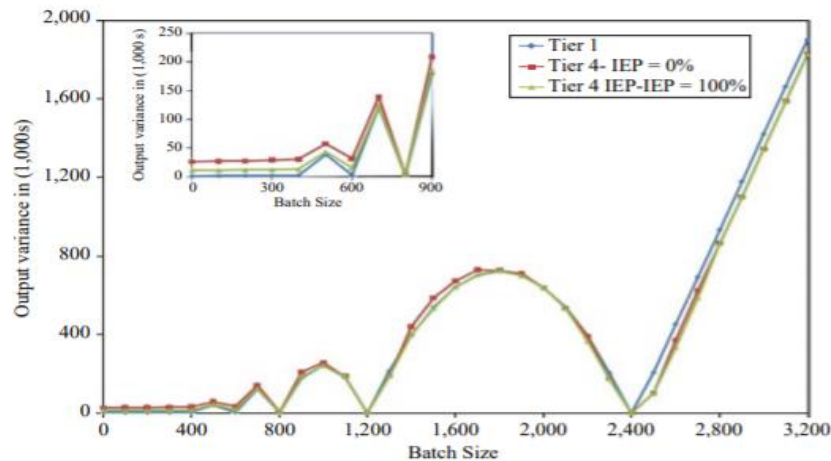
Potter & Disney (2005) stellen vast dat het bullwhip effect kan verminderd worden door in veelvoud van de gemiddelde vraag te bestellen. Wanneer het quotiënt tussen de gemiddelde vraag en de bestelhoeveelheid een integer getal is, zal het bullwhip effect niet vergroten. Hoe dit zich voor doet is weergegeven in Figuur 17. Hier wordt de variantie van de output weergegeven als resultaat van de batchgrootte. Het niveau van bullwhip schommelt in een golfvorm, waarbij elke piek behaald wordt in het midden tussen twee veelvoud van de gemiddelde vraag.



Figuur 17 Impact van batching op het bullwhip effect met stochastische vraag (Potter & Disney, 2005)

Deze vaststelling wordt bevestigd door Hussain & Drake (2011). Zij hebben dit werk aangevuld door de impact van informatie delen toe te passen op een supply chain met vaste batchgroottes. Door verschillende batchgroottes te testen in dit model zijn een aantal nieuwe inzichten ontwikkeld. Resultaten van deze studie zijn weergegeven in Figuur 18, waar opnieuw de variantie van output afgewogen is tegenover de batchgrootte. Ditmaal zijn drie scenario's weergegeven, die elk een andere graad van informatie delen voorstellen. Belangrijk zijn Tier 1, die volledige informatie transparantie voorsteld, en Tier 4- IEP = 0%, waarbij informatie niet gedeeld wordt. Op het eerste

zicht lopen de lijnen erg gelijk op, vooral bij de grotere batchgroottes is weinig verschil te merken. Wanneer echter de kleine batchgroottes links bovenaan de grafiek uitvergroot worden is de impact van informatie delen goed merkbaar. Met de toenemende drang om te investeren in informatietechnologieën, bestaat een groeiende rechtvaardiging om de bestelhoeveelheden te verkleinen.



Figuur 18 Impact van informatie delen op de batchgrootte (Hussain & Drake, 2011)

Kleine batchgroottes vergroten daarnaast de reactiviteit van het systeem waardoor onverwachte gebeurtenissen beter opgevangen kunnen worden. Tabel 5 geeft de impact van een plotse stijging van de gemiddelde vraag op de variantie weer. Hier is duidelijk te zien dat bij grote batchgroottes het bullwhip effect veel groter wordt dan bij de kleinere batchgroottes. Daarom blijft het aangeraden om kleine batchgroottes aan te houden om zo het bullwhip effect te minimaliseren.

Tabel 5 Impact van de batchgrootte op het bullwhip effect bij wijzigende eindvraag (Potter & Disney, 2005)

Batch size	Variance when average demand = 1440 units/period	Variance when average demand = 1600 units/period	% change (%)
1440	20,095	205,980	925
720	26,414	90,296	242
480	28,111	53,660	91
360	27,607	37,049	34
288	25,286	30,226	20
240	23,522	27,400	16

5.2.7 Prijschommelingen reduceren

Prijschommelingen worden aangehaald door Lee et al. (1997) als een van de hoofdoorzaken van het bullwhip effect. Schommelingen in de prijs zorgen voor een onregelmatig vraagpatroon door de afnemers, en kunnen bijgevolg het bullwhip effect veroorzaken of versterken. Het fenomeen 'forward buying' zorgt ervoor dat het vraagpatroon verandert doordat afnemers goederen inslaan voor een langere periode dan nodig, om zo kosten te besparen. De prijschommelingen als gevolg van promoties kunnen zich doorheen de hele supply chain verspreiden doordat promoties aan klanten kunnen geboden worden in heel de keten.

Zoals gezegd wordt een groot deel van de prijschommelingen veroorzaakt door de bedrijven zelf. De makkelijkste manier om de prijschommelingen te verminderen is door de frequentie en grootte van de promoties te beperken. De producent kan de stimulans voor de retailer om aan forward buying te doen verminderen door een uniforme prijs in te voeren voor alle afnemers. Het concept van 'Everyday Low Price' is een goede maatregel hiervoor (Lee et al., 1997). In dergelijk model worden geen kortingen aangeboden, om zo voordeel te halen uit de stabielere afnames en bijgevolg een lagere prijs te moeten vragen voor de producten. Deze manier van werken vergt geen grote investeringen en kan door elk bedrijf zelfstandig uitgevoerd worden.

In sommige situaties kunnen bedrijven echter geen invloed uitoefenen op deze prijschommelingen doordat ze zich elders in de supply chain voor doen. Een alternatieve manier zal daarom gezocht moeten worden om de negatieve gevolgen van prijschommelingen te reduceren. Lu, Humphreys, McIvor, Maguire & Wiengarten (2012) onderzoeken de impact van 'Genetic Algorithms' (GA) op prijschommelingen als gevolg van promoties. De GA stelt een ordermethode op voor elk lid van de supply chain waarbij kosten geminimaliseerd worden. Op deze manier kunnen kostenvoordelen behaald worden wanneer plotse promoties worden gelanceerd.

Prijschommelingen kunnen zoals hierboven weergegeven zowel intern als extern veroorzaakt worden. Wanneer ze intern veroorzaakt zijn is het belangrijk dit te herkennen en het probleem aan te pakken door de promoties te verminderen of verwijderen en over te slaan op een Everyday Low Price model. Dit maakt dat het een haalbare oplossing is waar geen zware investeringskosten aan verbonden zijn. Wanneer de prijschommelingen veroorzaakt worden buiten het eigen bedrijf dienen complexere oplossingen toegepast te worden, zoals GA om een optimale bestelmethode vast te leggen.

5.2.8 Rantsoeneren

In hoofdstuk 3 werd het principe van rantsoeneren en shortage gaming besproken als een van de oorzaken van het bullwhip effect. In deze sectie worden de oplossingen voorgeschreven om de negatieve effecten te voorkomen.

Wanneer een leverancier tekorten heeft in de voorraad, zal de beschikbare hoeveelheid verdeeld moeten worden onder de klanten. In plaats van dit te doen op basis van een verhouding tussen de geplaatste orders, kan de leverancier ervoor kiezen om de historische verkoop van de klanten te gebruiken om de verdeelsleutel te maken. Bijgevolg hebben klanten geen reden meer om hun orders te plaatsen die groter zijn dan hun werkelijke behoefte, om zo een groter deel van de voorraad binnen te halen. Het principe van orders overdrijven, behaalt een piek wanneer de klanten weinig informatie hebben over de aanvoersituatie bij de leverancier. Het delen van informatie omtrent de capaciteit en voorraad kan helpen om de angst die bij klanten ontstaat te verminderen. Dit is echter ontoereikend wanneer werkelijke tekorten voorvallen. Sommige bedrijven gaan daarom nog een stap verder, en leggen samen met hun klanten de orders voor een lange periode vast. Zo kan de productiecapaciteit beter afgesteld worden en is de kans dat het productieplan niet gehaald wordt klein. Als laatste is het retourbeleid van bedrijven vaak te genereus. Door strengere retourvoorwaarden op te leggen zal de klant minder geneigd zijn om orders te overdrijven (Lee et al., 1997).

5.2.9 Collaboratie in de supply chain

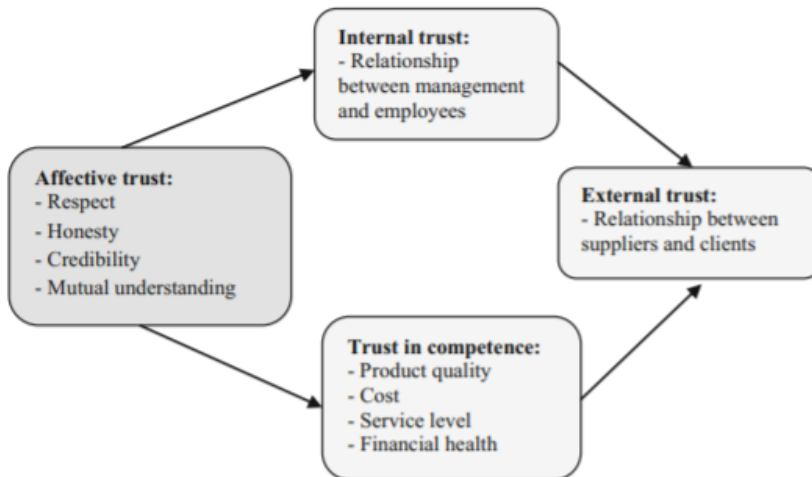
Collaboratie heeft heel wat positieve gevolgen voor de supply chain. Een nauwe link met de gedragsaspecten valt op binnen dit thema, aangezien collaboratie slechts kan ontstaan wanneer goede lange termijn relaties bestaan tussen de leden van de supply chain. Barratt (2004) haalt de elementen vertrouwen en collaboratie aan als belangrijke factoren om goede relaties op te bouwen met andere leden van de supply chain en bijgevolg de prestaties en klanttevredenheid te verhogen. Collaboratie tussen partners versterkt de lange termijn relaties wanneer ze gebaseerd zijn op vertrouwen. Dit brengt een aantal voordelen met zich mee zoals gezamenlijke creatie van kennis, delen van expertise en het verstaan van elkaars intenties, waardoor logistieke kosten dalen en waarde gecreëerd wordt voor de hele supply chain. Hierna worden de aspecten vertrouwen en collaboratie in detail besproken.

5.2.9.1 Vertrouwen

Synchronisatie in de supply chain kan enkel plaatsvinden wanneer de leden van de supply chain elkaar vertrouwen. In veel studies worden gedragsaspecten genegeerd, terwijl ze een merkbare impact hebben op het bullwhip effect. De notie van optimaal gedrag is iets waar managers vaak beslissingen op afstemmen. Deze notie is gebaseerd op vertrouwen in de naaste collega's. Wanneer een persoon overtuigd is dat zijn collega's op een onvoorspelbare manier zullen handelen, kan dit leiden tot verhoogde instabiliteit in de supply chain. Daarnaast kunnen initiatieven om bijvoorbeeld de coördinatie binnen de supply chain te verbeteren een negatieve impact hebben op het bullwhip effect wanneer de partijen geen vertrouwen hebben in elkaar of ervaring ontbreekt. Omgekeerd, wanneer managers vertrouwen hebben in elkaars vermogen om optimale beslissingen te nemen, zullen de prestaties van de supply chain verbeteren. Daarom wordt opbouwen van vertrouwen als een effectief mechanisme beschouwd om het bullwhip effect te controleren (Croson, Donohue, Katok & Sterman, 2014).

Factoren van vertrouwen zijn onder andere respect, eerlijkheid, geloofwaardigheid, trots en vriendschappelijkheid (Great Place to Work Institute, 2013). Goede prestaties op deze factoren resulteren in betere omzetting van acties die operationele resultaten bevorderen. In een omgeving waar kennis gedeeld wordt zal de leercurve versnellen en toegang tot informatie vergemakkelijken, wat dit proces nog versneld. Met een toename in de leercurve kunnen beleidsmakers sneller reageren wanneer ze beslissingen moeten maken, waardoor betere resultaten behaald worden (Nold III, 2012).

De Almeida et al. (2015) leggen vier vormen van vertrouwen vast in hun onderzoek. Dit zijn als eerste affectief vertrouwen, waaruit intern en vertrouwen in competenties kunnen voortkomen, om zo als laatste extern vertrouwen uit te stralen. De vier vormen van vertrouwen zijn weergegeven in Figuur 19.



Figuur 19 Relatie tussen affectief, intern, extern vertrouwen, en vertrouwen in competenties (de Almeida et al., 2015).

Affectief vertrouwen heeft een sterke invloed op het delen van informatie. Wanneer leveranciers affectief vertrouwen opbouwen met hun partners, zullen ze zich comfortabeler voelen om frequent contact op te nemen met de andere leden in de supply chain, wat communicatie en informatie delen bevordert. Dit betekent echter niet dat klanten moeten deelnemen in de gezamenlijke beslissingen van de leveranciers. Beslissingen over bijvoorbeeld strategische thema's, moeten gedeeld worden tussen partners met genoeg technische kennis om een toevoeging te hebben aan de prestaties. (de Almeida et al., 2015).

Vertrouwen in competenties beïnvloedt de mogelijkheid tot collaboratie en gezamenlijke beslissingen en wordt bepaald door de efficiëntie in verband met de kwaliteit van de materialen, de kost, het serviceniveau en de financiële gezondheid. Algemeen weerspiegelt vertrouwen het geloof dat de andere partij niet opportunistisch zal handelen of de zwakke punten van de tegenpartij zal uitbuiten.

Intern vertrouwen is ook een factor die bijdraagt tot de prestaties van een bedrijf of supply chain. Dit wordt bereikt bij goed beheer van de interne relaties tussen management en de werknemers. Het komt voort uit het opgebouwd affectief vertrouwen binnen het bedrijf. Dit zal bijdragen aan de training van werknemers en betere interne organisatie van het bedrijf, wat de mogelijkheid om aan de verwachtingen van de klanten te voldoen vergroot. Incompetentie als gevolg van slechte interne organisatie, zoals frequente vertragingen van leveringen, heeft als gevolg dat klanten een veiligheidsvoorraad gaan aanhouden om zich te beschermen tegen dergelijke inefficiënties. Het vertrouwen dat intern wordt opgebouwd helpt om dit fenomeen te verhelpen (de Almeida et al., 2015).

De combinatie tussen intern vertrouwen en vertrouwen in competenties leidt tot extern vertrouwen, dat zich uitstraalt naar de buitenwereld en helpt om goede relaties op te bouwen met de leden van de supply chain. Extern vertrouwen is een voorwaarde waaraan voldaan moet zijn, vooraleer een geïntegreerde supply chain met overkoepelende informatiesystemen gevormd kan worden (de Almeida et al., 2015).

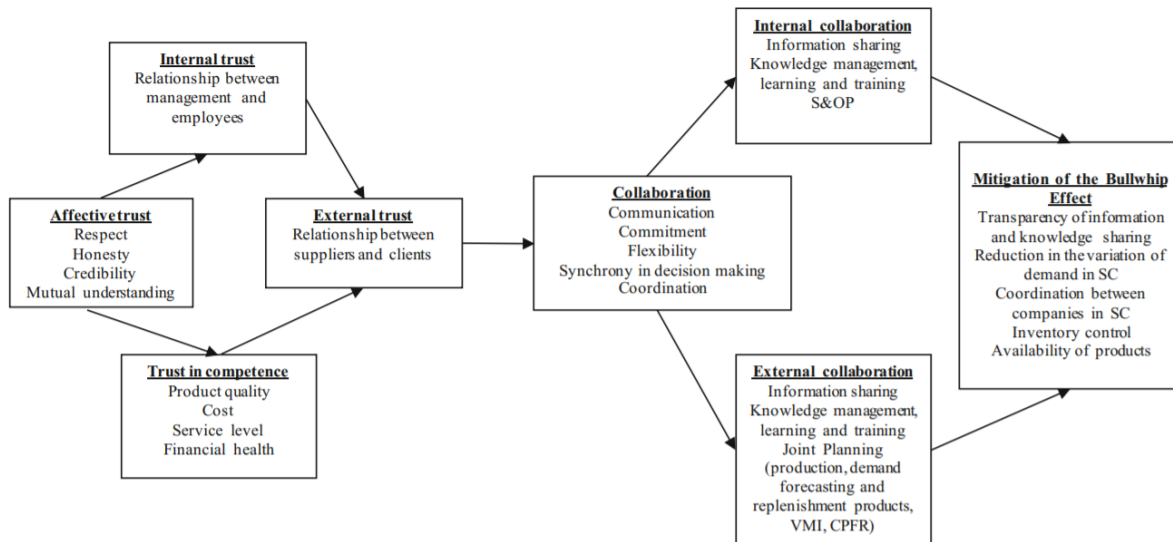
De link met informatie delen is hier opnieuw sterk van toepassing. De effectiviteit van de beschikbare informatie zal bepaald worden door de gebruikers. Vele wetenschappelijke onderzoekers nemen de factoren vertrouwen en collaboratie in de cultuur van een bedrijf niet mee in rekening. Deze hebben echter een grote impact op het gedrag van de personen binnen het bedrijf, en bijgevolg beïnvloedt dit de impact van informatie delen (de Almeida et al., 2015).

5.2.9.2 Collaboratie

Oorzaken van slechte coördinatie zijn een gebrek aan communicatie, collaboratie en vertrouwen tussen de leden van de supply chain. Door dit gebrek aan coördinatie zal een toename van misinformatie, opportunisme en gebrek aan kennis en opleiding zich voor doen. De Almeida et al. (2015) identificeren collaboratie als het proces dat samenwerking tussen de bedrijven promoot en delen van informatie en kennis bevordert, waarbij twee of meer onafhankelijke organisaties samenwerken om hun processen op elkaar af te stemmen. De volgende karakteristieken horen hier in thuis: communicatie, verbintenis, flexibiliteit, synchronisatie in beslissingen en coördinatie.

Communicatie levert een belangrijke bijdrage aan de collaboratie wanneer deze transparant kan verlopen. Het laat toe om informatie beter te delen, waardoor gesynchroniseerde beslissingen en gecoördineerde activiteiten tussen de organisaties kunnen plaatsvinden. Zoals eerder besproken zijn vormen van synchronisatie een effectieve manier om het bullwhip effect te verminderen. Collaboratie tussen de klanten en leveranciers laat toe om met grotere flexibiliteit te reageren op aankooporders, waardoor een snellere respons kan opgezet worden bij onverwachte wijzigingen van de vraag (de Almeida et al., 2015). Volgens Barratt (2004), zorgen eerlijkheid en oprechtheid voor de ontwikkeling van verbintenis. Bijvoorbeeld wanneer een levering vertragingen oploopt, zal een partner die oprecht handelt meteen de ontvanger hierover verwittigen. De afnemer kan daardoor snel actie ondernemen en zodoende vertragingen in beslissingen vermijden.

Deze basisaspecten zijn een voorwaarde om verbeterde interne en externe collaboratie op te zetten. Interne collaboratie bevat alle afdelingen binnen een organisatie, die vlot moeten kunnen communiceren, om zo het delen van kennis optimaal te laten verlopen. Methodes zoals 'Sales and Operations Planning' (S&OP) dragen bij tot het bevorderen van deze interne collaboratie. Dezelfde voordelen zijn ook haalbaar buiten het bedrijf. Informatiedeling tussen de bedrijven, kennisuitwisseling en gezamenlijke planning zorgen voor een meer robuuste supply chain, wat uiteindelijk leidt tot het beheersen van het bullwhip effect. De collaboratie kan nog verder uitgebreid worden met methodes zoals 'Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment' (CPFR) en 'Vendor Managed Inventory' (de Almeida et al., 2015). In Figuur 20 is afgebeeld hoe vertrouwen en collaboratie gelinkt zijn aan het bullwhip effect, waarbij de hierboven besproken aspecten schematisch worden weergegeven. Deze figuur vormt daarbij een samenvatting van het hele thema collaboratie en vertrouwen. Een vertrouwensband dient als basis om collaboratieve acties te ondernemen. Deze kunnen zowel intern als extern zijn, en zorgen samen voor het verminderen van het bullwhip effect.



Figuur 20 Relatie tussen vertrouwen, collaboratie en het reduceren van het bullwhip effect (de Almeida et al., 2015).

5.2.10 Variabiliteit stroomopwaarts verlagen

Balakrishnan et al. (2004) stellen in hun onderzoek voor om volatiliteit in de supply chain aan te pakken door de variabiliteit die zich stroomopwaarts doorzet te controleren. Wanneer bedrijven onafhankelijk handelen, wordt geen rekening gehouden met de kosten die veroorzaakt worden bij leveranciers als gevolg van een onregelmatig orderbeleid. Het idee is dat prestaties van de keten verbeterd kunnen worden door afvlakking van orderhoeveelheden, zodat bedrijven die bovenaan de keten gelegen zijn optimalisaties kunnen behalen die de volledige supply chain ten goede komen.

Een gekend mechanisme dat hierin thuis hoort is 'production smoothing'. Deze methode heeft zowel een aantal voordelen als nadelen voor de verschillende leden van de keten. In dit hoofdstuk zal het principe van order- en production smoothing bekeken worden samen met de impact die het kan hebben op het bullwhip effect. Daarnaast wordt de integratie genaamd 'Vendor Managed Inventory' (VMI) besproken als een manier om de orders af te vlakken.

5.2.10.1 Order- en Production smoothing

Boute et al. (2007) beschrijven de invloed van production smoothing op de supply chain, en de bijhorende gevolgen voor de afnemers. Voor producenten is het vaak optimaal om een stabiele productie aan te houden. Daarnaast zal een stabiele vraag de producent in staat stellen om de kosten van aanhouden van grondstoffen te minimaliseren. De economische redenen om production smoothing toe te passen zijn vrij logisch. Production smoothing is te verantwoorden wanneer productie (bestellingen) en voorraadkosten convexe functies zijn, of wanneer hoge omstelkosten van toepassing zijn. In deze situaties is het voordelig als de afname geen grote variabiliteit kent.

Een stabilisatie van bestelhoeveelheden, ofwel order smoothing, aan het begin van de keten heeft als gevolg dat de voorraad daar meer volatiliteit zal kennen. De voorraad bij de retailer dient als een buffer tegen de stijgingen en dalingen van de vraag, terwijl de producent relatief stabiel kan produceren. Daarnaast is een stijging van de veiligheidsvoorraad benodigd om een buffer te vormen tegen het verhoogde verschil tussen vraag en aanbod. Daarnaast wordt het voor de retailer moeilijker

om het customer service level te handhaven. Hierdoor is het principe van order smoothing niet 'gratis', en is de retailer niet altijd te overtuigen om zijn orders af te vlakken zodat bedrijven stroomopwaarts optimalisaties kunnen maken.

Echter, op het einde van de rit is volgens Boute (2007) smooth gelijk aan 'smart'. Afgevlakte orders verminderen de variabiliteit in het productieproces, waardoor de productie sneller en efficiënter kan verlopen. Dit resulteert in kortere productie lead-times en bijgevolg kortere totale lead-time. Dit veroorzaakt in eerste instantie een verlaging van de veiligheidsvoorraad bij de leden stroomafwaarts, en bijgevolg compenseert het de gestegen variantie van de orders. Daarnaast kunnen de leveranciers de prijzen verlagen doordat ze kostenefficiënter kunnen produceren. In andere woorden moeten de bedrijven aan het begin van de keten deze beslissing van afvlakking in een bredere supply chain context bekijken.

Veel retailers zullen de optimalisaties in de supply chain niet aanvaarden als een goede compensatie van de gestegen variabiliteit in de eigen voorraad en daling van het customer service niveau. Kunnumkal & Topaloglu (2008) stellen voor om dit op te lossen door middel van kortingen van de leverancier, met in ruil stabielere afnames door de retailer. De leverancier telt hierbij de mogelijke besparingen op die behaald kunnen worden als gevolg van afgevlakte orders, en speelt een percentage hiervan door naar de retailer. Kunnumkal & Topaloglu (2008) tonen aan dat beide partijen kostenvoordeel halen uit dergelijke aanpak, waarbij de voordelen voor de producent groter zijn dan voor de afnemer.

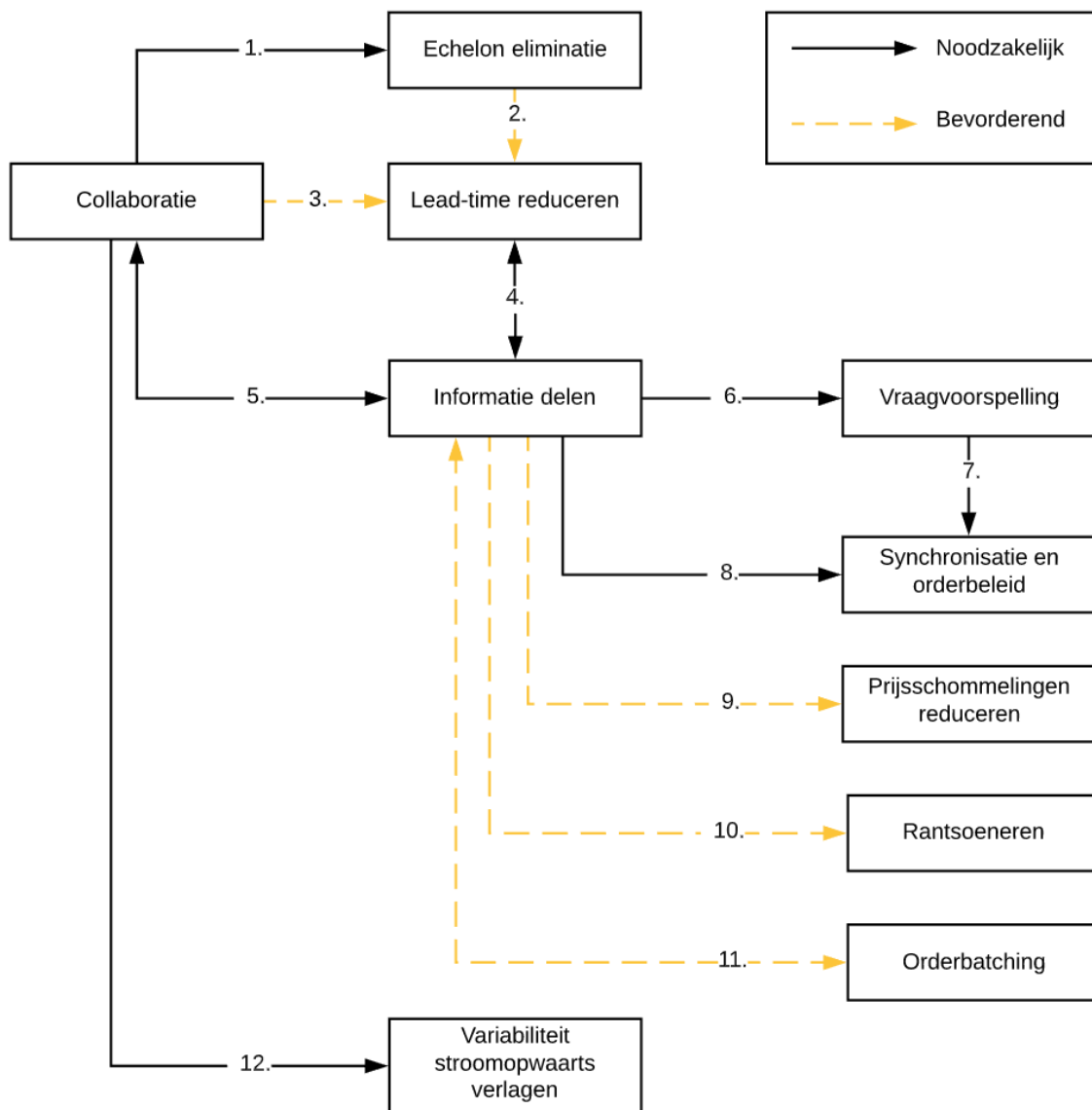
5.2.10.2 Vendor Managed Inventory

In een traditionele supply chain maakt elk bedrijf op zich orders zonder rekening te houden met de situatie bij de andere partijen in de supply chain. Dit is hoe de meeste supply chains nog steeds opereren, namelijk geen formele collaboratie tussen afnemers en leveranciers. Collaboratie kan echter in heel wat vormen geïnstalleerd worden met een hele reeks initiatieven, zoals Collaborative Forecasting Planning and Replenishment, systemen voor informatiedeling en VMI.

Met VMI neemt de leverancier beslissingen van de klant omtrent het voorraadbeheer op een operationeel niveau over. Dit laat toe om de zichtbaarheid in de planning van haar eigen aanvoer operaties te verbeteren. Door het gebruik van VMI wordt een beslissingspunt verwijderd en kan het aanvulbeleid samengevoegd worden met deze van de productie- en materiaalplanning van de leverancier. Met VMI kunnen meerdere leden van de supply chain beleid voeren alsof het om een enkele schakel gaat in de keten, en bijgevolg hun beleid optimaal afstemmen (Disney & Towill, 2003).

5.3 Onderling verband

Bij de bespreking van de oplossingen werd vaak aangehaald dat linken te vinden zijn met andere methodes. In deze sectie worden de linken overzichtelijk weergegeven. Om deze linken op te stellen werd gebruik gemaakt van de literatuurstudie in dit hoofdstuk. De linken kunnen soms noodzakelijk zijn opdat een bepaalde maatregel kan slagen. Deze worden aangeduid met de zwarte pijlen. Andere zijn eerder bevorderend en kunnen helpen om de behaalde resultaten te optimaliseren. Bevorderende linken zijn aangeduid met een gele stippellijn. De visuele weergave van de linken is te zien in Figuur 21. Daarnaast zijn alle linken genummerd. Aan de hand van deze nummering wordt in Tabel 6 een verklaring gegeven waarom de betreffende link gelegd werd.



Figuur 21 Verband tussen de voorgestelde oplossingen, opgesplitst in noodzakelijk en bevorderend

Tabel 6 Verklaring onderling verband van de oplossingen weergegeven in Figuur 20

Nr	Link	Verklaring
1.	Collaboratie & Echelon eliminatie	De eliminatie van echelons vraagt om een aanpassing van de huidige werkwijze, op niveau van de supply chain. Hiervoor is samenwerking benodigd zodat een gezamenlijke aanpak opgesteld kan worden. Daarnaast zijn methodes zoals VMI een goede start doordat een beslissingspunt wegvalt, wat een goede manier is om het aantal plaatsen waar vraagdistorsie kan ontstaan te verminderen.
2.	Echelon eliminatie & Lead-time	Wanneer het aantal echelons in de supply chain daalt, wordt de totale lead-time van zowel materiaal als informatie verkort. Hierdoor zal de supply chain sneller kunnen reageren op wijzigende vraag.
3.	Collaboratie & Lead-time	(1) Verbeterde interne collaboratie zorgt voor een stabielere bedrijfsvoering, waardoor de operationele processen minder variatie vertonen. De extra stimuli voor innovatie die gecreëerd worden zullen ervoor zorgen dat de lengte van de lead-time verkort kan worden. (2) Collaboratieve supply chains zijn minder onderhevig aan het bullwhip effect. De verhoudingen tussen verzendingen en productie lead-time worden veranderd tegenover een traditionele supply chain (Ponte et al., 2018).
4.	Informatie delen & Lead-time reduceren	De impact van informatie delen wordt beperkt wanneer de supply chain onderhevig is aan lange lead-times (e.g. de Treville et al., 2004). Daarom is het vaak voordelig om eerst de lead-times te verkorten en daarna pas te investeren in systemen voor informatie delen.
5.	Collaboratie & informatie delen	(1) Transparantie van informatie en collaboratie gaan hand in hand. Om collaboratie te laten slagen moet informatie beschikbaar zijn. Langs de andere kant moet voldoende vertrouwen aanwezig zijn om deze informatiedeling op te zetten. (2) Geloofwaardigheid van de informatie speelt een belangrijke rol. Wanneer een goede vertrouwensband is opgebouwd tussen de leden van de supply chain wordt de geloofwaardigheid en kwaliteit van de informatie bevordert.
6.	Informatie delen & vraagvoorspelling	Vraagvoorspellingen kunnen best gemaakt worden op basis van de eindvraag. Wanneer dit niet gebeurt wordt het bullwhip effect mogelijk versterkt (Lee et al., 1997). Delen van informatie is daarom een voorwaarde om goede voorspellingen te kunnen maken.
7.	Vraagvoorspelling & synchronisatie en orderbeleid	Vaak worden bestellingen gebaseerd op basis van de verwachte vraag voor de volgende periode. Het maken van een goede voorspelling is daarom noodzakelijk om de bestellingen vast te leggen. Daarnaast speelt de keuze van voorspellingsmethode een belangrijke rol in het reduceren van het bullwhip effect.

8.	Informatie delen & synchronisatie en orderbeleid	<p>(1) Orders gemaakt door de afnemers kunnen beter geïnterpreteerd worden wanneer de eindvraag bekend is. Daarnaast is informatie over de voorraadstanden bij andere leden van de supply chain handig om de eigen orders af te stemmen.</p> <p>(2) Om synchronisatie van de orders op te zetten is een minimum aan informatie benodigd. Viswanathan et al. (2007) tonen aan dat voor de synchronisatie geen dure informatiesystemen benodigd zijn, maar een minimum aan informatie blijft noodzakelijk om deze methode te doen slagen.</p>
9.	Informatie delen & prijsschommelingen reduceren	<p>Hoewel delen van informatie niet noodzakelijk is om de prijsschommelingen te reduceren, kan het helpen om zicht te hebben op de eindvraag of ordergegevens bij andere leden van de supply chain. Zo kunnen plaatsen waar vraagdistorsie zich voordoet als gevolg van prijsschommelingen makkelijker geïdentificeerd worden (Lee et al., 1997).</p>
10.	Informatie delen & rantsoeneren	<p>Informatie over verkoop en voorraadstanden kan helpen om angst bij de afnemers te vermijden zodat orders niet overdreven worden.</p>
11.	Informatie delen & order batching	<p>Informatie delen en order batching zijn beide aan elkaar gelinkt. Hussain & Drake (2011) geven aan dat bij grotere batchgroottes het delen van informatie weinig invloed heeft op het bullwhip effect. Echter wanneer kleine batchgroottes gehanteerd worden kan informatie helpen om de voordelen ervan te versterken en andersom.</p>
12.	Collaboratie & variabiliteit stroomopwaarts verlagen	<p>(1) Het mogelijk maken van production smoothing door behaalde winsten te delen met de retailer vraagt enige vorm van collaboratie. De retailer verbindt zich ertoe zijn orders af te vlakken zodat de productie stabiel kan verlopen (Kunnumkal & Topaloglu, 2008)</p> <p>(2) VMI is een andere manier om de variabiliteit stroomopwaarts te reduceren. Dit vraagt echter meer inspanningen en de voorwaarden om een goede collaboratie op te stellen moeten eerst voldaan zijn.</p>

6 Samenvatting van de oorzaken en oplossingen

In dit hoofdstuk wordt getracht om de oorzaken en oplossingen met elkaar in verband te brengen. Dit zal gebeuren op basis van de literatuurstudie gemaakt in deze masterproef. Op deze manier is het mogelijk om een geïntegreerde aanpak op te stellen om de negatieve gevolgen van het bullwhip effect te reduceren of te elimineren. De bedoeling is om te vertrekken vanuit de oorzaken. Deze dienen allereerst geïdentificeerd te worden zodat bedrijven aangepaste oplossingen kunnen voorzien die de oorzaken aanpakken. Eens de oorzaken bekend zijn wordt gekeken welke kosten veroorzaakt worden als gevolg van het bullwhip effect. Dit zal een beeld geven over de omvang van het probleem, en bijgevolg hoeveel geïnvesteerd mag worden om de oorzaken aan te pakken. Daarna wordt het tijd om gepaste oplossingen te vinden. Hierbij is het belangrijk om het onderlinge verband tussen de oplossingen voorgesteld in deze masterproef in rekening te brengen. Sommige maatregelen hebben namelijk een aantal voorwaarden die voldaan moeten zijn om op de juiste manier te functioneren.

De oorzaken en oplossingen worden hierna besproken per categorie. De categorieën zijn zoals vastgelegd in hoofdstuk 3, namelijk organisatorische, verticale en gedragsaspecten. Dit is voornamelijk door de verschillende aard die de categorieën vertonen. Maatregelen nemen om het bullwhip effect te verminderen brengen een zekere investering en inspanning met zich mee. Hierbij valt op te merken dat investeringen in organisatorische verbeteringen minder groot zijn en makkelijker uit te voeren dan de verticale. De communicatie kan volledig intern gebeuren, waardoor veel obstakels die zich voor doen bij externe samenwerking vermeden worden. Daarnaast wordt de investering gedaan binnen een enkel bedrijf in de keten, waar het bij verticale maatregelen van toepassing moet zijn voor twee of meer leden van de supply chain. De gedragsoorzaken zitten hier tussenin. Verbeteringen voor het gedrag kunnen zowel intern als extern gemaakt worden. Voor deze categorie zijn de investeringen vaak minder groot, maar de haalbaarheid wordt beïnvloedt door heel wat obstakels. Deze bevindingen werden weergegeven in Tabel 1, waar de beïnvloedbaarheid van organisatorische oorzaken een hogere score krijgt dan de verticale, en gedragsoorzaken als minst beïnvloedbaar aangegeven worden (Nitsche & Durach, 2018).

6.1 Organisatorisch

De eerste categorie die besproken wordt is de organisatorische. Dit zijn oorzaken die zich binnen het bedrijf voor doen, en daarom volledig zelfstandig op te lossen zijn. Op gebied van haalbaarheid en investeringen hebben deze aspecten daarom een voordeel tegenover de verticale. Wanneer het budget voor investeringen beperkt is, kan mogelijk in eerste instantie gekeken worden naar deze oplossingen. Door het onderlinge verband vastgelegd in sectie 5.3, zijn mogelijk meerdere oplossingen nodig om een bepaalde oorzaak aan te pakken. Deze kunnen enerzijds bevorderend zijn, en anderzijds noodzakelijk om de aanpak te doen slagen. Door dit onderlinge verband wordt duidelijk dat bepaalde oorzaken die organisatorisch van aard zijn, een oplossing vereisen waarbij andere leden van de supply chain betrokken worden. Dit is vaak in de vorm van informatie die beschikbaar moet zijn om een optimaal resultaat te behalen. Bijvoorbeeld voor vraagvoorspelling is informatie een voorwaarde om goede resultaten te behalen. Wanneer bedrijven enkel kunnen beschikken over ordergegevens van de directe afnemers, zal dit in vele gevallen leiden tot een toename van het bullwhip effect. De benodigde informatie in deze situatie is de eindvraag, waardoor uitgebreide systemen voor informatie deling niet noodzakelijk zijn. De organisatorische oorzaken vastgelegd in Sectie 3.2.1 worden gelinkt aan de oplossingen in Tabel 7.

Tabel 7 Organisatorische oorzaken en oplossingen

Organisatorische oorzaken en oplossingen	
Oorzaken	Oplossingen
Order batching	5.2.6 Order Batching 5.2.2 Informatie delen (Bevorderend)
Prijsschommelingen	5.2.7 Prijsschommelingen reduceren 5.2.2 Informatie delen (Bevorderend)
Foute voorspellingen	5.2.5 Vraagvoorspellingen 5.2.2 Informatie delen (Noodzakelijk)
Multipliereffect	Het multipliereffect is een direct gevolg van het bullwhip effect. Door maatregelen te nemen om het bullwhip effect te reduceren, zal hier een impact zichtbaar zijn.
Onstabiele bedrijfsprocessen	5.2.9 Collaboratie in de supply chain (Intern) Enkel verbeterde interne collaboratie kan soms onvoldoende zijn. Investerings in nieuwe apparatuur of software kunnen benodigd zijn om de processen te verbeteren.
Voorraad en orderbeleid	5.2.4.1 Orderbeleid 5.2.5 Vraagvoorspelling (Noodzakelijk)
Misperceptie van feedback	5.2.2 Informatie delen
Rantsoeneringen en shortage gaming	5.2.8 Rantsoeneren 5.2.2 Informatie delen (Bevorderend)

6.2 Verticaal

Verticale aspecten zijn iets complexer dan de organisatorische. De vertrouwensband die bestaat tussen de leden van de supply chain is van uitermate belang. Bij gebrek aan deze connectie zijn veel initiatieven op supply chain niveau onmogelijk om uit te voeren. Een vlotte communicatie dient eerst te ontstaan vooraleer een groot deel van de initiatieven opgezet kunnen worden. Dit weerspiegelt zich in een lagere beïnvloedbaarheid dan de organisatorische aspecten, zoals weergegeven door Nitsche & Durach (2018). Het is echter de moeite waard om tijd en geld te investeren in de verticale oplossingen, aangezien de impact even significant kan zijn en het bullwhip effect iets is dat zich over de hele supply chain verspreidt. Een bedrijf kan voor zichzelf de effecten van het bullwhip effect reduceren, maar de behaalde resultaten zullen nooit optimaal zijn zonder samenwerking met de andere leden van de supply chain. Het bullwhip effect blijft tenslotte een fenomeen dat zich afspeelt over de hele keten. De oorzaken vastgelegd in sectie 3.2.2 worden in Tabel 8 gelinkt aan de oplossingen.

Tabel 8 Verticale oorzaken en oplossingen

Verticale oorzaken en oplossingen	
Oorzaken	Oplossingen
Lokale optimalisatie zonder globale visie	5.2.9 Collaboratie in de supply chain 5.2.4 Synchronisatie en orderbeleid (Bevorderend) 5.2.10 Variabiliteit stroomopwaarts verlagen (Bevorderend)
Lead-time	5.2.1 Lead-time reductie 5.2.9 Collaboratie in de supply chain (Bevorderend)
Gebrek aan informatie transparantie	5.2.2 Informatie delen 5.2.9 Collaboratie in de supply chain (Noodzakelijk)
Aantal schakels	5.2.3 Echelon Eliminatie 5.2.9 Collaboratie in de supply chain (Noodzakelijk)
Gebrek aan synchronisatie	5.2.4.2 Synchronisatie van orderbeleid 5.2.5 Vraagvoorspelling (Bevorderend) 5.2.2 Informatie delen (Bevorderend)
Slecht controlesysteem	5.2.2 Informatie delen 5.2.9 Collaboratie in de supply chain

6.3 Gedrag

De gedragsoorzaken worden vooral opgelost door vormen van collaboratie binnen de supply chain. Binnen collaboratie staan de gedragsaspecten centraal, met vertrouwen als een absolute voorwaarde om vele initiatieven te doen slagen. Training en overdragen van kennis is een van de elementen voor interne collaboratie. Een goede band tussen management en werknemers, in combinatie met een open cultuur die gebouwd is op vertrouwen, zorgt voor een vlotte overdracht van deze kennis en informatie. Dit breidt zich uit bij externe collaboratie, waar kennis overgedragen wordt tussen de verschillende bedrijven. Daarnaast zorgen toenemend respect, eerlijkheid, geloofwaardigheid en wederzijds begrip voor een drastische vermindering van het opportunistisch gedrag. Als laatste is vrees voor stock-outs, zoals aangehaald bij de oorzaken, een gevolg van onder andere verkeerd updaten van de vraagvoorspelling. Als afnames door de consument onbekend zijn, worden nieuw geplaatste orders gezien als een signaal voor toekomstige vraag. Door informatie over de eindvraag beschikbaar te stellen wordt deze problematiek enigszins vermeden. De kennisoverdracht als gevolg van verhoogde collaboratie kan hierbij bevorderend zijn. De gedragsoorzaken vastgelegd in sectie 3.3 zijn in Tabel 9 gelinkt aan de oplossingen.

Tabel 9 Oorzaken en oplossingen voor gedrag

Oorzaken en oplossingen voor gedrag	
Oorzaken	Oplossingen
Opportunisme	5.2.9.1 Vertrouwen
Training	5.2.9 Collaboratie in de supply chain
Vrees voor stock-outs	5.2.2 Informatie delen 5.2.9.2 Collaboratie (Bevorderend)

7 Conclusie en toekomstig onderzoek

7.1 Conclusie

Het bullwhip effect is een bron van inefficiënties binnen de supply chain, met kosten die hoog op kunnen lopen wanneer het effect genegeerd wordt. In deze masterproef werd getracht een duidelijk overzicht te maken van de literatuur geschreven tot op dit moment. Hierbij stonden de oorzaken, gevolgen en oplossingen centraal. Tijdens deze studie werden zoveel mogelijk recente artikelen gebruikt om de reeds bestaande literatuurstudies aan te vullen met nieuwe gegevens en inzichten. Daarnaast is een studie waar zowel de oorzaken, gevolgen als de oplossingen besproken worden in een coherent geheel zeldzaam of onbestaande. De mogelijkheid ontstond hierdoor om de oplossingen te linken aan de oorzaken. De gevolgen, en vooral het in kaart brengen van de kosten, maken dit plaatje compleet en laten toe om een gestructureerde aanpak op te stellen met oog op reductie van het bullwhip effect.

In eerste instantie moet onderzocht worden of de supply chain onderhevig is aan het bullwhip effect. Dit kan door gebruik te maken van de coëfficiënt van variatie (CV), voorgesteld in Hoofdstuk 2.2. Deze maatstaf kan toegepast worden zowel voor een enkel bedrijf als voor de supply chain. Wanneer blijkt dat de supply chain bullwhip effecten vertoont, dient een onderzoek naar de oorzaken te gebeuren. In deze masterproef werden 17 oorzaken geïdentificeerd. Deze kunnen zich voor doen binnen het bedrijf, de supply chain of als gevolg van gedrag van beleidsmakers. De oorzaken werden geplaatst in bijhorende categorieën, namelijk de organisatorische, verticale en gedragsoorzaken. Deze opsplitsing werd gemaakt door een verschil in aard, impact en beïnvloedbaarheid. De zoektocht naar de oorzaken kan gebeuren aan de hand van de eerder voorgestelde maatstaven. Interne maatstaven kunnen helpen om de amplificatie van orders binnen het eigen bedrijf te lokaliseren bij de verzendingen, productie of de geplaatste orders. Aan de andere kant laten interprofessionele en intra-specifieke maatstaven toe om de amplificatie tussen bedrijven in de supply chain te identificeren.

Eens de oorzaken bekend zijn kunnen de gevolgen in kaart gebracht worden. Hierbij kunnen de frameworks van Disney & Lambrecht (2008) en Christopher & Holweg (2016) helpen. In het framework worden drie gebieden aangegeven waar kosten kunnen ontstaan als gevolg van verhoogde volatiliteit. Kosten van intern herstel komen als eerste aan bod. Dit kan zijn in de vorm van overtollige voorraad, vervallen producten, ongebalanceerde capaciteit... Daarnaast zijn externe kosten van toepassing, die de vorm aannemen van gemiste inkomsten, stock-outs en contractuele boetes. Als laatste worden kosten gemaakt om de gevolgen van verhoogde ordervolatiliteit in te perken. Verhoogde veiligheidsvoorraad en buffers, verzekeringskosten en kosten van capaciteitstekorten horen hier bij. Eens deze kosten bekend zijn kan een budget opgesteld worden om maatregelen te treffen tegen het bullwhip effect.

De oplossingen omvatten het grootste deel van deze masterproef. Dit geldt eveneens voor de literatuur in het algemeen. Het uitgangspunt voor dit onderzoek was de synthese gemaakt door Geary et al. (2006). Hierbij werden tien principes van bullwhip reductie aangegeven. De eerste stap was om de literatuur grondig te analyseren om zo deze principes te valideren, wijzigen ofwel verwerpen en te vervangen door nieuwe methodes. Het resultaat was dat twee principes verwijderd

werden en daarnaast twee nieuwe methodes werden toegevoegd, wat het totaal aantal voorgestelde oplossingen nog steeds op tien laat staan. De oplossingen zijn lead-time reductie, delen van informatie, verminderen van het aantal echelons, orderbeleid en de synchronisatie ervan, vraagvoorspelling, order batching, reductie van prijschommelingen, oplossingen voor rantsoeneren, collaboratie in de supply chain en als laatste de variabiliteit stroomopwaarts verlagen om zo voordelen te behalen voor de hele keten. De literatuurstudie naar de oplossingen stond toe om een globaal beeld te krijgen over de thema's binnen het bullwhip effect, en bijgevolg de samenhang te begrijpen. Voor sommige oplossingen is het noodzakelijk dat eerst een andere maatregel reeds geïmplementeerd is of in beperkte mate aanwezig is. Wanneer dit niet het geval is kunnen de resultaten beperkt worden of zelfs een omgekeerd effect hebben op het bullwhip effect. Anderzijds kunnen bepaalde oplossingen bevorderend zijn, waardoor verdere optimalisaties kunnen behaald worden. Met deze inzichten werd op het einde van het hoofdstuk over de oplossingen het onderlinge verband overzichtelijk weergegeven.

Als laatste werden de oplossingen aan de oorzaken gelinkt, wat het mogelijk maakt om een gerichte aanpak op te stellen wanneer de oorzaken bekend zijn. Hierbij was het onderling verband erg belangrijk om een juiste indeling te maken. Een aantal van de oplossingen pakken een oorzaak specifiek aan, maar kunnen verder geoptimaliseerd worden door toevoeging van een aantal andere maatregelen. Het onderscheid tussen de organisatorische, verticale en gedragscategorieën werd in dit hoofdstuk behouden. De reden hiervoor is het verschil in benodigde investeringen en haalbaarheid. Bij gebrek aan voldoende investeringsbudget kan het lonen om eerst de organisatorische oplossingen toe te passen. De investeringen zijn voor een enkel bedrijf, wat de kost vaak lager zal maken dan wanneer iets voor de hele supply chain toegepast moet worden. Daarnaast is de haalbaarheid veel hoger doordat de externe communicatie en samenwerking met andere bedrijven beperkt blijft. Indien de oorzaken herleid worden naar de verticale aspecten is het natuurlijk noodzakelijk om hierop in te spelen. Belangrijk hierbij is dat in eerste instantie vertrouwen opgebouwd wordt tussen de leden van de supply chain. Dit is nodig om heel wat van de collaboratieve initiatieven te doen slagen. Hierdoor worden de grootste obstakels voor samenwerking binnen de supply chain vermeden, wat de haalbaarheid van veel initiatieven beïnvloedt. De gedragsaspecten vallen in het midden van deze twee categorieën en zijn daarnaast niet operationeel van aard. Het aanpassen van gedrag leunt vaak naar een collaboratieve aanpak, waarbij overdracht van kennis, ervaring en informatie een grote invloed kunnen hebben op de aspecten binnen dit thema.

Het bullwhip effect is een fenomeen waarbij geen aanpak bestaat die het probleem zal oplossen voor elke supply chain. Door de literatuur als een geheel te bekijken wordt het echter mogelijk om deze problematiek vanuit een nieuwe invalshoek te benaderen. Door te vertrekken vanuit de oorzaken wordt het bullwhip effect opgesplitst in de deelaspecten, en is het mogelijk om gericht te zoeken naar een oplossing. Zo wordt het niet meer het bullwhip effect dat in het algemeen moet gereduceerd worden, maar een oorzaak van volatiliteit die eerst geïdentificeerd wordt en bijgevolg opgelost door middel van een geïntegreerde aanpak.

7.2 Suggesties voor toekomstig onderzoek

Met de geïntegreerde aanpak die voorgesteld werd in deze masterproef, is onderscheid gemaakt met eerdere studies. Door alles bij elkaar te zetten en de linken tussen de verschillende hoofdstukken te doorgronden, is het mogelijk om tot nieuwe inzichten te komen. Verder onderzoek kan daarom uitgevoerd worden met dezelfde insteek. Aandacht kan onder andere gaan naar de interactie tussen de verschillende onderzoeksdomeinen omtrent de oplossingen. In deze masterproef werd getracht een samenhang te vinden tussen de oplossingen op basis van de gemaakte literatuurstudie. Mogelijk kan onderzoek waarbij gericht gezocht wordt naar het onderlinge verband tussen de oplossingen tot nieuwe vaststellingen leiden.

Een volgende stap kan zijn om de aanpak voor elke oorzaak uit te breiden. In deze masterproef werd op basis van de literatuurstudie getracht hier een richting aan te geven van de te nemen maatregelen. Onderzoek waarbij de oorzaken meer specifiek behandeld worden kan ertoe leiden dat ongeacht het type supply chain een manier voorzien wordt om de betreffende problematiek aan te pakken.

Bibliografie

- Babai, M., Ali, M., Boylan, J., & Syntetos, A. (2011). Forecasting and inventory performance in a two-stage supply chain with ARIMA(0,1,1) demand: Theory and empirical analysis. *International Journal of Production Economics*, 463-471. doi:10.1016/j.ijpe.2011.09.004
- Balakrishnan, A., Geunes, J., & Pangburn, M. (2004). Coordinating supply chains by controlling upstream variability propagation. *Manufacturing & iService Operations Management*, 163-183. doi:10.1287/msom.1030.0031
- Balasubramanian, S. (2001). *Causes and Remedies of Bullwhip Effect in Supply Chain*. Wichita, Kansas. 67260- 0035, USA: Department of Industrial and Manufacturing Engineering Wichita State University. Opgeroepen op 10 29, 2019, van <https://pdfs.semanticscholar.org/17c5/a9df4e02f6a916abf867086f766d3a547a58.pdf>
- Bandaly, D., Satir, A., & Shanker, L. (2016). Impact of lead time variability in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics*, 88-100. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.07.014
- Barlas, Y., & Gunduz, B. (2011). Demand forecasting and sharing strategies to reduce fluctuations and the bullwhip effect in supply chains. *Journal of the operational research society*, 458-473. doi:10.1057/jors.2010.188
- Barratt, M. (2004). Understanding the meaning of collaboration in the supply chain. *Supply chain management: an international Journal*, 30-42. doi:10.1108/13598540410517566
- Bayraktar, E. S., Koh, L., Gunasekaran, A., Sari, K., & Tatoglu, E. (2008). The role of forecasting on bullwhip effect for E-SCM applications. *International Journal of Production Economics*, 193-204. doi:10.1016/j.ijpe.2007.03.024
- Bendoly, E., Donohue, K., & Schultz, K. L. (2006). Behavior in operations management: Assessing recent findings and revisiting old assumptions. *Journal of Operations Management*, 737-752. doi:10.1016/j.jom.2005.10.001
- Bhattacharya, R., & Bandyopadhyay, S. (2011). A review of the causes of bullwhip effect in a supply chain. *International Journal of Manufacturing Technology*, 1245-1261. doi:10.1007/s00170-010-2987-6
- Boute, R. (2007). *The impact of replenishment rules with endogenous lead-times on supply chain performance*. Katholieke Universiteit Leuven (Belgium): 4OR quarterly journal of the Belgian, French and Italian Operations Research Societies. doi: 10.1007/s10288-006-0032-2
- Bray, R. L., & Menseson, H. (2012). Information Transmission and the Bullwhip Effect: An Empirical Investigation. *Management science*, 860-875. doi:http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.1110.1467
- Bray, R., & Mendelson, H. (2015). Production smoothing and the bullwhip effect. *Manufacturing Service Operations management*, 208-220. doi:10.1287/msom.2014.0513

- Cachon, G., Randall, T., & Schmidt, G. (2007). In search of the bullwhip effect. *Manufacturing & service operations management*, 457-479. doi:10.1287/msom.1060.0149
- Carlsson, C., & Fullér, R. (2000). A fuzzy approach to the bullwhip effect. *Austrian Society for Cybernetic Studies*, 228-233.
doi:https://www.researchgate.net/publication/2825499_A_Fuzzy_Approach_to_the_Bullwhip_Effect?enrichId=rgreq-66b57b41bc97c389d26682f924ee9020-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzI4MjU0OTk7QVM6MTM0NzIxMzc1MDU4OTQ0QDE0MDkxMzM4NzIwMDk%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCover
- Chaharsooghi, S., Faramarzi, H., & Heydari, J. (2008). A simulation study on the impact of forecasting methods on the bullwhip effect in the supply chain. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering management*, 1875-1879.
doi:10.1109/IEEM.2008.4738197
- Chang, W.-S., & Lin, Y.-T. (2019). The effect of lead-time on supply chain resilience performance. *Asia Pacific Management Review*, 298-309.
doi:https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.10.004
- Chen, L., & Lee, H. (2012). Bullwhip effect measurement and its implications. *Operations Research*, 771-784. doi:http://dx.doi.org/10.1287/opre.1120.1074
- Childerhouse, P., Disney, S., & Towill, D. (2008). On the impact of order volatility in the european automotive sector. *International Journal of Production Economics*, 2-13.
doi:10.1016/j.ijpe.2007.09.008
- Christopher, M., & Holweg, M. (2011). Supply chain 2.0: Managing supply chains in the era of turbulence. *International Journal of Physical Distribution & Logistics*, 63-82.
doi:10.1108/09600031111101439
- Constantino, F., Di Gravio, G., Shaban, A., & Tronci, M. (2014). The impact of information sharing and inventory control coordination on supply chain performances. *Computers & Industrial Engineering* 76, 292-306. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2014.08.006
- Constantino, F., Di Gravio, G., Shaban, A., & Tronci, M. (2015). SPC forecasting system to mitigate the bullwhip effect and inventory variance in supply chains. *Expert systems with Applications* 42, 1773-1797. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2014.09.039
- Constantino, F., Di Gravio, G., Shaban, A., & Tronci, M. (2016). Smoothing inventory decision rules in seasonal supply chains. *Expert Systems With Applications*, 304-319.
doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2015.08.052
- Crosron, R., & Donohue, K. (2003). Impact of POS data sharing on supply chain management: an experimental study. *Production and Operations Management*, 1-11. doi:10.1111/j.1937-5956.2003.tb00194.x
- Crosron, R., & Donohue, K. (2006). Behavioral causes of the bullwhip effect and the observed value of inventory information. *Management science*, 323-336. doi:10.1287/mnsc.1050.0436

- Croson, R., Donohue, K., Katok, E., & Serman, J. (2014). Order stability in supply chains: coordination risk and the role of coordination stock. *Production and operations management*, 176-196. doi:10.1111/j.1937-5956.2012.01422.x
- de Almeida, M. M., Marins, F. A., Salgado, A. M., Santos, F. C., & da Silva, S. L. (2015). Mitigation of the bullwhip effect considering trust and collaboration in supply chain management: a literature review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 495-513. doi:10.1007/s00170-014-6444-9
- de Treville, S., Bicer, I., Chavez-Demoulin, V., Hagspiel, V., Schürhoff, N., Tasserit, C., & Wager, S. (2014). Valuing lead time. *Journal of operations management*, 567-590. doi:https://doi.org/10.1016/j.jom.2014.06.002
- de Treville, S., Shapiro, R., & Hameri, A. (2004). From supply chain to demand chain: the role of lead time reduction in improving demand chain performance. *Journal of Operations Management*, 613-627. doi:https://doi.org/10.1016/j.jom.2003.10.001
- Disney, S. M., & Lambrecht, M. R. (2008). On replenishment rules, forecasting and the bullwhip effect in supply chains. *Foundations and Trends in Technology, Information and Operations Management*. Opgeroepen op 4 4, 2020, van https://core.ac.uk/download/pdf/8810127.pdf
- Disney, S. M., Hoshiko, L., Polley, L., & Weigel, C. (2013). Removing bullwhip from Lexmark's toner operations. *Removing bullwhip from Lexmark's toner operations*. Denver, USA: Production and Operations Management society annual conference. Opgeroepen op 25 4, 2020, van https://www.researchgate.net/publication/263578518_Removing_bullwhip_from_Lexmark's_toner_operations/citation/download
- Disney, S., & Towill, D. (2003). The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in supply chains. *International Journal of Production Economics*, 199-215. doi:10.1016/S0925-5273(03)00110-5
- Forrester, J. (1958). Industrial Dynamics - a major breakthrough for decision makers. *Harvard Business Review*, 37-66. Opgeroepen op 12 20, 2019
- Forslund, H., & Jonsson, P. (2009). Obstacles to supply chain integration of the performance management process in buyer-supplier dyads The buyers' perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, 77-95. doi:10.1108/01443570910925370
- Geary, S., Disney, M., & Towill, D. (2006). On bullwhip in supply chains - Historical review, present practice and expected future impact. *International Journal of Production Economisch* 101(1), 2-18. doi:10.1016/j.ijpe.2005.05.009
- Giard, V., & Sali, M. (2013). The bullwhip effect in supply chains: a study of contingent and incomplete literature. *International Journal of production research*, Vol. 51, No. 13, 3880-3893. doi:http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2012.754552

- Gino, F., & Pisano, G. (2008). Toward a Theory of Behavioral Operations. *Manufacturing & service operations management*, 676-691. doi:10.1287/msom.1070.0205
- Gunasekaran, A., Subramanian, N., & Papadopoulos, T. (2017). Information technology for competitive advantage within logistics and supply chains: A review. *Transportation Research Part E*, 14-33. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2016.12.008
- Holt, C. C. (1960). Planning production, inventories and the work force. *American Journal of Agricultural Economics*, Volume 44, Issue 2, 650-652. doi:https://doi.org/10.2307/1235878
- Huang, G. Q., Lau, J. S., & Mak, K. L. (2003). The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: a review of the literature. *International Journal of Production Research*, 1483-1517. doi:10.1080/0020754031000069625
- Hussain, M., & Drake, P. R. (2011). Analysis of the bullwhip effect with order batching in multi-echelon supply chains. 972-990. doi:10.1108/09600031111185248
- Jaksic, M., & Rusjan, B. (2008). The effect of replenishment policies on the bullwhip effect: A transfer function approach. *European Journal of Operational Research*, 946-961. doi:10.1016/j.ejor.2006.12.018
- Jin, M., DeHoratius, N., & Schmidt, G. (2016). Inter and intra-firm bullwhips in a multi-echelon pharmaceutical supply chain. *Working paper, University of Utah*. Opgeroepen op 12 10, 2019
- Jin, M., DeHoratius, N., & Schmidt, G. (2017). Want to reduce the bullwhip? Measure it. Here's how. *Supply chain management: an international journal*, 297-304. doi:10.1108/SCM-02-2017-0088
- Keshari, A., Mishra, N., Shukla, N., Mcguire, S., & Khorana, S. (2017). Multiple order-up-to policy for mitigating bullwhip effect in supply chain network. *Annals of Operations Research*, 361-386. doi:https://doi.org/10.1007/s10479-017-2527-y
- Kim, J., Chatfield, D., Harrison, T., & Hayya, J. (2006). Quantifying the bullwhip effect in a supply chain with stochastic lead time. *European Journal of Operational Research*, 617-636. doi:10.1016/j.ejor.2005.01.043
- Kiyong, J., & Jae-Dong, H. (2019). The impact of information sharing on bullwhip effect reduction in a supply chain. *J Intell Manuf*, 1739-1751. doi:https://doi.org/10.1007/s10845-017-1354-y
- Kouvelis, P., Chambers, C., & Wang, H. (2006). Supply chain management research and production and operations management: Review, Trends, and Opportunities. *Production and operations management*, 449-469. Opgeroepen op 12 17, 2019, van https://search.proquest.com/docview/228759342?accountid=27889

- Kunnumkal, S., & Topaloglu, H. (2008). Price discounts in exchange for reduced customer demand variability and applications to advance demand information acquisition. *International Journal of Production Economics*, 543-561. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.02.029>
- Lee, H. L. (2010). Taming the bullwhip. *Journal of Supply Chain Management*, 7. doi:10.1111/j.1745-493X.2009.03180.x
- Lee, H. L., Padmanabhan, V., & Whang, S. (1997). The bullwhip effect in supply chains. *MIT Sloan Management Review*, 93-102. Opgeroepen op 12 5, 2019, van <https://sloanreview.mit.edu/article/the-bullwhip-effect-in-supply-chains/>
- Li, G., Yu, G., Wang, S., & Yan, H. (2017). Bullwhip and anti-bullwhip effects in a supply chain. *International journal of production research*, 5423-5434. doi:<https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1319087>
- Lu, J., Feng, G., Lai, K. K., & Wang, N. (2017). The bullwhip effect on inventory: a perspective on information quality. *Applied Economics*, 2322-2338. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/00036846.2016.1237762>
- Lu, J., Humphreys, P., McIvor, R., Maguire, L., & Wiengarten, F. (2012). Applying genetic algorithms to dampen the impact of price fluctuations in a supply chain. *International Journal of Production Research*, 5396-5414. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2011.630041>
- Ma, J., & Ma, X. (2017). Measure of the bullwhip effect considering the market competition between two retailers. *International Journal of Production Research*, 313-326. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2016.1154996>
- Makridakis, S., Andersen, A., Carbone, R., Fildes, R., Hibon, M., Lewandowski, R., . . . Winkler, R. (1982). The accuracy of extrapolation (time series) methods: Results of a forecasting competition. *Journal of forecasting*, 111-153. doi:<https://doi.org/10.1002/for.3980010202>
- Michna, Z., Nielsen, P., & Nielsen, I. E. (2018). The impact of stochastic lead-times on the bullwhip effect - a theoretical insight. *Production & Manufacturing Research*, 190-200. doi:<https://doi.org/10.1080/21693277.2018.1484822>
- Nitsche, B., & Durach, C. F. (2018). Much Discussed, little conceptualized: supply chain volatility. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 866-886. doi:10.1108/IJPDLM-02-2017-0078
- Nold III, H. A. (2012). Linking knowledge processes with firm performance: organizational culture. *Journal of intellectual capital*, 16-38. doi:10.1108/14691931211196196
- Ojha, D., Sahin, F., Shockley, J., & Sridharan, S. (2019). Is there a performance tradeoff in managing order fulfillment and the bullwhip effect in supply chains? The role of informatino sharing and information type. *International Journal of Production Economics*, 529-543. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.12.021>

- Paik, S.-K., & Bagchi, P. K. (2007). Understanding the causes of the bullwhip effect in a supply chain. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 308-324. doi:10.1108/09590550710736229
- Pastore, E., Alfieri, A., Zotteri, G., & Boylan, J. E. (2019). The impact of demand parameter uncertainty on the bullwhip effect. *European Journal of Operational Research*. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.10.031
- Ponte, B., Costas, J., Puche, J., Pino, R., & de la Fuente, D. (2018). The value of lead time reduction and stabilization: A comparison between traditional and collaborative supply chains. *Transportation Research Part E*, 165-185. doi:https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.01.014
- Potter, A., & Disney, S. M. (2005). Bullwhip and batching: an exploration. *International Journal of Production Economics*, 408-418. doi:10.1016/j.ijpe.2004.10.018
- Sadeghi, A. (2015). Providing a measure for bullwhip effect in a two-product supply chain with exponential smoothing forecasts. *International Journal of Production Economics*, 44-54. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.07.012
- Sheffi, Y., & Rice, J. (2005). A supply chain view of the resilient enterprise. *MIT Sloan Management Review*, 41-48. Opgeroepen op 4 7, 2020, van <https://search.proquest.com/docview/224969684?accountid=27889>
- Silitonga, R., & Jelly, N. (2018). An impact analysis of forecasting methods and forecasting parameters on bullwhip effect. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing Ltd. doi:10.1088/1757-899X/337/1/012026
- Sohn, S., & Lim, M. (2008). The effect of forecasting and information sharing in SCM for multi-generation products. *European Journal of Operations Research*, 276-287. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.01.034
- Sterman, J. (1989). Modeling managerial behavior: misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. *Management Science*, 321-339. Opgeroepen op 12 19, 2019, van <https://search.proquest.com/docview/213165087?accountid=27889>
- Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics : systems thinking and modeling for a complex world*. New York, N.Y.: McGraw Hill. Opgeroepen op 12 17, 2019, van <https://anet.be/record/uhassektopacdt/c:lvd:3172384/N>
- Sterman, J. D. (2006). Operational and behavioral causes of supply chain instability. In O. Carranza, & F. Villegas, *The bullwhip effect in supply chains*. Palgrave McMillan. Opgeroepen op 12 19, 2019, van <https://pdfs.semanticscholar.org/81cc/2a3118c5c7d2bd475335549b0b943009d66c.pdf>
- Svensson, G. (2003). The bullwhip effect in intra-organisational echelons. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 103-131. doi: 10.1108/09600030310469135

- Taylor, D. H. (1999). Measurement and analysis of demand amplification across the supply chain. *International Journal of Logistics Management*, 55-70. doi:10.1108/09574099910805996
- Taylor, D., & Fearn, A. (2009). Demand management in fresh food value chains: a framework for analysis and improvement. *Supply chain management: An International Journal*, 379-392. doi:10.1108/13598540910980297
- Trapero, J., & Pedregal, D. (2016). A novel time-varying bullwhip effect metric: an application to promotional sales. *International Journal of Production Economics*, 465-471. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.10.004
- Vandenbosch, M., & Sapp, S. (2010). Opportunism Knocks. *MIT SLOAN Management Review*, 17-19. Opgeroepen op 12 17, 2019, van <https://sloanreview.mit.edu/article/opportunism-knocks/>
- Viswanathan, S., Widiarta, H., & Piplani, R. (2007). Value of information exchange and synchronization in a multi-tier supply chain. *International Journal of Production Research*, 5057-5074. doi:10.1080/00207540600930057
- Wang, X. D. (2016). The bullwhip effect: Progress, trends and directions. *European Journal of Operational Research* 250, 691-701. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.07.022
- Wang, X., Liu, Z., Zhen, C., & Quan, C. (2008). The impact of lead-time on bullwhip effect in supply chain. *International colloquium on computing, communication, control and management*, 93-97. doi:10.1109/CCCM.2008.224
- Warburton, R., & Disney, S. (2007). Order and inventory variance amplification: the equivalence of discrete and continuous time analyses. *International Journal of Production Economics*, 128-137. doi:10.1016/j.ijpe.2007.02.021
- Yan, W., & Katok, E. (2006). Learning, communication, and the bullwhip effect. *Journal of Operations Management*, 839-850. doi:10.1016/j.jom.2005.08.006