

Voorraadreductie via leveringen door verschillende leveranciers

Yves SEGERS

promotor :
Prof. dr. Gerrit JANSSENS

Woord vooraf

Deze eindverhandeling vormt het sluitstuk van mijn opleiding Handelsingenieur aan de Universiteit Hasselt, Campus Diepenbeek.

Gedurende mijn opleiding, en meer bepaald in het kader van mijn afstudeerrichting Operationeel Management en Logistiek, werd het onderwerp ‘voorraadbeheer’ in verscheidene cursussen behandeld. Vaak worden voorraadmodellen opgesteld waarbij slechts gebruik wordt gemaakt van één enkele leverancier om een bepaald product te bestellen. Een aankoopbeleid waarbij bestellingen bij meer dan één leverancier gelijktijdig worden geplaatst, komt daarbij zelden aan bod. Het gebruik van verschillende leveranciers gelijktijdig brengt mogelijke voordelen op vlak van voorraadbeheer. Bovendien wordt in de praktijk eveneens gezocht naar manieren waarbij zowel het aantal goederen in voorraad als de kans op stockbreuk zo laag mogelijk wordt gehouden. Vandaar leek het mij interessant om dit onderwerp te bestuderen.

Mijn dank gaat vooral uit naar mijn promotor Prof. dr. Gerrit Janssens. In de eerste plaats omwille van het feit dat hij me dit onderwerp heeft aangebracht. Bovendien wil ik hem bedanken voor de goede opvolging en voor alle geleverde inspanningen tijdens de realisatie van deze eindverhandeling. Verder wil ik hem ook bedanken voor alle nuttige aanwijzingen bij de uitvoering van het onderzoek. Zonder zijn hulp was het naar alle waarschijnlijkheid een moeilijke opdracht geweest. Daarnaast zou ik ook nog mijn naaste omgeving en met name vooral mijn ouders willen bedanken die mij gedurende mijn vijfjarige opleiding altijd hebben gesteund.

Samenvatting

Deze eindverhandeling handelt over het voorraadbeheer waarbij bestellingen bij verschillende leveranciers gelijktijdig worden geplaatst. De meeste aankoopmodellen beschouwen slechts één enkele leverancier om een bepaald product te bestellen. Dit kan verklaard worden doordat ondernemingen vaak het JIT-principe hanteren waarbij een langdurig partnerschap wordt afgesloten met één enkele leverancier om een bepaald product te leveren. In deze eindverhandeling wordt onderzocht wat de mogelijkheden tot voorraadreductie zijn indien bestellingen bij twee leveranciers gelijktijdig worden geplaatst.

Het eerste deel van deze eindverhandeling omvat een literatuurstudie. Vooreerst worden verschillende begrippen in verband met een efficiënt aankoopbeheer besproken. Daarnaast worden enkele belangrijke termen in het voorraadbeheer gedefinieerd. Deze bespreking laat toe dat de verschillende begrippen vertrouwd worden gemaakt. Vervolgens worden verschillende technieken van *dual sourcing* besproken die de grootte van voorraden kunnen beïnvloeden.

Een eerste methode bestaat uit een *dual sourcing* beleid waarbij twee identieke leveranciers worden verondersteld. Identieke leveranciers zijn leveranciers die identiek dezelfde levertijden en betrouwbaarheid hebben. Vaak worden onzekere levertijden door een Gamma verdeling gekenmerkt. Indien deze stochastische levertijden worden samengevoegd, is er sprake van een effectieve levertijd. Deze effectieve levertijd bestaat uit de eerste levering van het *dual sourcing* model en heeft een andere ongekende verdeling. Volgens statistische berekeningen is de gemiddelde effectieve levertijd korter dan de gemiddelde levertijd van elke leverancier afzonderlijk. Bovendien heeft deze effectieve levertijd een kleinere standaardafwijking in levertijd dan de standaardafwijking van elke leverancier afzonderlijk. Beide bovenvermelde factoren hebben een positief effect op de verdeling van de vraag gedurende de levertijd. Het bepalen van het bestelpunt en de grootte van de veiligheidsvoorraad gebeurt aan de hand van deze verdeling van de vraag gedurende de levertijd.

De tweede methode van *dual sourcing* handelt over de mogelijkheid van een reductie in de gemiddelde cyclusvoorraad ten opzichte van *single sourcing*. Een combinatie van twee leveranciers met stochastische levertijden leidt tot opeenvolgende leveringen in tijd. Indien twee leveranciers met verschillende levertijden en betrouwbaarheid worden gekozen, is de tijd tussen de twee opeenvolgende leveringen langer. Deze tussenaankomsttijd zorgt ervoor dat de cyclusvoorraad op twee verschillende tijdstippen toeneemt doordat de twee leveringen niet op hetzelfde ogenblik plaatsvinden. Via *dual sourcing* wordt bijgevolg een kleinere gemiddelde cyclusvoorraad waargenomen.

In het tweede deel van de eindverhandeling volgt het experimenteel onderzoek. Dit onderzoek gebeurt uitsluitend aan de hand van simulaties in een simulatiesoftware. Er wordt een model opgesteld waarbij enkele gegevens in een *dual sourcing* omgeving worden berekend. Vervolgens worden enkele berekeningen van prestatie maatstaven voor het voorraadbeheer uitgevoerd.

Eén van de voornaamste vragen die onderzocht wordt, is het nagaan wat het effect van verschillende leverkenmerken op voorraden is. Dit gebeurt door verschillende simulaties uit te voeren waarbij verschillende parameters voor de Gamma verdeling worden beschouwd die de levertijden weergeven. Hierbij wordt steeds het bestelpunt, de grootte van de veiligheidsvoorraad en de gemiddelde cyclusvoorraad berekend. De bekomen resultaten van de verschillende simulaties worden zowel onderling vergeleken als met de resultaten in het geval van *single sourcing*. Uit deze resultaten blijkt dat het gebruik van *dual sourcing* tot een verlaging van de voorraad leidt. Bij identieke leveranciers daalt zowel de veiligheidsvoorraad als de gemiddelde cyclusvoorraad. De daling van de gemiddelde cyclusvoorraad bij niet-identieke leveranciers is echter groter dan de totale daling bij identieke leveranciers.

Inhoudsopgave

WOORD VOORAF	
SAMENVATTING	
INHOUDSOPGAVE	
LIJST VAN FIGUREN	
LIJST VAN TABELLEN	
LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN	
HOOFDSTUK 1: PROBLEEMSTELLING EN ONDERZOEKSOPZET	1
1.1 Probleemstelling	1
1.1.1 Praktijkprobleem	1
1.1.2 Centrale onderzoeksvraag.....	2
1.1.3 Deelvragen.....	2
1.2 Beschrijving en verantwoording van het onderzoeksopzet	3
1.2.1 Zoekstrategie	3
1.2.2 Opbouw van de eindverhandeling	4
HOOFDSTUK 2: SITUERING VAN EEN EFFICIËNT AANKOOPBEHEER	5
2.1 Supply chain management	5
2.2 Aankoopbeleid	6
2.2.1 Single sourcing	7
2.2.2 Multiple sourcing.....	8
2.3 Vraag	10
2.4 Levertijden	12
2.4.1 Lead times	12
2.4.2 Betrouwbaarheid.....	13
2.4.3 Verdeling van de levertijd	13
2.5 Voorraadbeheer	15
2.5.1 Servicegraad	16
2.5.2 Veiligheidsvoorraad	17
2.5.3 Cyclusvoorraad.....	18
2.6 Order splitsing	18
2.7 Besluit	19
HOOFDSTUK 3: EFFECTIEVE LEVERTIJD BIJ MULTIPLE SOURCING	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Multiple sourcing beleid	22

3.2.1	Korte omschrijving	22
3.2.2	Bestelpunt	23
3.3	Levertijden met normale verdeling.....	24
3.3.1	Berekening van de effectieve levertijd	24
3.3.2	Tussenaankomsttijd	26
3.3.3	Uitbreiding naar multiple sourcing	29
3.3.4	Veiligheidsvoorraad	33
3.3.5	Bestelpunt	34
3.4	Levertijden met Gamma verdeling.....	35
3.4.1	De effectieve levertijd	35
3.4.2	Tussenaankomsttijd	36
3.4.3	Vraag gedurende de levertijd.....	37
3.4.4	Bestelpunt en veiligheidsvoorraad	38
3.5	Besluit	40
HOOFDSTUK 4: EFFECT VAN ORDER SPLITSING OP CYCLUSVOORRAAD ..		41
4.1	Uitgangspunt.....	41
4.2	Order splitsing	42
4.3	Levertijdvoorwaarden	43
4.4	Berekening cyclusvoorraad	44
4.4.1	Single sourcing	44
4.4.2	Dual sourcing.....	45
4.5	Besluit	46
HOOFDSTUK 5: SIMULATIE MET ARENA		48
5.1	Inleiding.....	48
5.2	Simulatiemodel	48
5.3	Identieke leveranciers	50
5.3.1	Simulaties	50
5.3.2	Bespreking.....	54
5.4	Niet-identieke leveranciers	57
5.4.1	Simulaties	57
5.4.2	Bespreking.....	60
5.5	Besluit	61
HOOFDSTUK 6: CONCLUSIES		63
LIJST VAN DE GERAADPLEEGDE WERKEN		65
BIJLAGEN.....		

Lijst van figuren

Figuur 1: Dataset met een normale verdeling en een Gamma verdeling.....	14
Figuur 2: Dataset met een Gamma verdeling en een exponentiële verdeling	15
Figuur 3: Illustratie van enkele belangrijke variabelen in een continu bestelbeleid.	23
Figuur 4: Verdeling van de tussenaankomsttijd indien $\mu_1=\mu_2=0$ en $\sigma_1=\sigma_2=1$	28
Figuur 5: Grafische voorstelling van een aankoopbeleid met vier leveranciers.....	29
Figuur 6: Bestelpunt R met een servicegraad van 95%.....	39
Figuur 7: Effect van order splitsing op de cyclusvoorraad.....	42
Figuur 8: Single sourcing vs. dual sourcing.	45

Lijst van tabellen

Tabel 1: Resultaten van simulatie 1.....	51
Tabel 2: Resultaten van simulatie 2.....	52
Tabel 3: Resultaten van simulatie 3.....	53
Tabel 4: Procentuele daling in de standaardafwijking van de levertijd.....	56
Tabel 5: Resultaten van simulatie 4.....	58
Tabel 6: Resultaten van simulatie 5.....	60
Tabel 7: Gemiddelde cyclusvoorraad bij een order splitsing met verhouding 0,7-0,3.....	60
Tabel 8: Totale voorraadreductie via multiple sourcing bij alle simulaties.	62

Lijst van gebruikte symbolen

Q	=	de totale bestelhoeveelheid
n	=	het aantal leveranciers in een <i>multiple sourcing</i> beleid
f	=	fractie van de bestelhoeveelheid toegewezen aan tweede leverancier
VV	=	de veiligheidsvoorraad
R	=	het bestelpunt
s	=	de servicegraad α
I_c	=	de gemiddelde cyclusvoorraad
μ_L	=	de gemiddelde levertijd
D	=	de vraag per tijdseenheid
μ_D	=	de gemiddelde vraag per tijdseenheid
σ_D^2	=	de variantie van de vraag per tijdseenheid
σ_D	=	de standaardafwijking van de vraag per tijdseenheid
LD	=	de vraag gedurende de levertijd
μ_{LD}	=	de gemiddelde vraag gedurende de levertijd
σ_{LD}^2	=	de variantie van de vraag gedurende de levertijd
σ_{LD}	=	de standaardafwijking van de vraag gedurende de levertijd
L_i	=	de levertijd van leverancier i (met $i = 1, \dots, n$)
μ_i	=	de gemiddelde levertijd van leverancier i
σ_i^2	=	de variantie van de levertijd van leverancier i
σ_i	=	de standaardafwijking van de levertijd van leverancier i
Z	=	de effectieve levertijd in een <i>multiple sourcing</i> beleid
μ_Z	=	de gemiddelde effectieve levertijd in een <i>multiple sourcing</i> beleid
σ_Z^2	=	de variantie van de effectieve levertijd in een <i>multiple sourcing</i> beleid
σ_Z	=	de standaardafwijking van de effectieve levertijd in een <i>multiple sourcing</i> beleid
T	=	de tussenaankomsttijd in een <i>dual sourcing</i> beleid
μ_T	=	de gemiddelde tussenaankomsttijd in een <i>dual sourcing</i> beleid
σ_T^2	=	de variantie van de tussenaankomsttijd in een <i>dual sourcing</i> beleid
σ_T	=	de standaardafwijking van de tussenaankomsttijd in een <i>dual sourcing</i> beleid

Hoofdstuk 1: Probleemstelling en onderzoeksopzet

Dit inleidend hoofdstuk schetst het kader waarin deze eindverhandeling past. Het eerste deel geeft de probleemstelling van het onderzoek weer. Het praktijkprobleem wordt gedefinieerd, gevolgd door de centrale onderzoeksvraag en een aantal bijhorende deelvragen. Vervolgens wordt het onderzoeksopzet beschreven. De opbouw en de werkwijze van deze eindverhandeling worden hierbij kort toegelicht en verantwoord.

1.1 Probleemstelling

1.1.1 Praktijkprobleem

Het voorraadbeheer is een belangrijke activiteit in een onderneming. Horngren et al. (2000) formuleren een vaak gehanteerde definitie voor deze term als volgt: “Voorraadbeheer kan gedefinieerd worden als het plannen, coördineren en beheersen van de activiteiten die samenhangen met de stroom van voorraden in, door en uit een organisatie.”

Uit bovenstaande definitie kunnen volgens Horngren et al. (2000) verschillende kostencategorieën afgeleid worden die gepaard gaan met voorraden: goederenkosten, bestelkosten, opslagkosten en kosten van stockbreuk. Deze vaak hoge kosten samen met de tegenwoordig toenemende kostenbesparingen hebben ertoe geleid dat ondernemingen meer aandacht gaan schenken aan een efficiënt voorraadbeheer.

Vele ondernemingen trachten een zo uitgebreid mogelijke voorraad bij te houden om te vermijden zonder voorraad te eindigen. Indien dit zich echter wel voordoet, kan de onderneming niet aan de vraag voldoen en ondergaat ze bijgevolg stockbreuk. Een voorraad goederen aanhouden vereist echter kapitaal en neemt in de meeste gevallen veel ruimte, en dus opslagkosten, in beslag. Vandaar dat ondernemingen zoeken naar alternatieve methodes

van werken om gelijktijdig het aantal goederen in voorraad en de kans op stockbreuk zo laag mogelijk te houden.

Het bestellen van producten bij leveranciers kan op verscheidene manieren gebeuren. Bij *single sourcing* onderhoudt de onderneming een commerciële relatie met slechts één enkele leverancier, en plaatst ze bijgevolg alle bestellingen voor één identiek product bij dezelfde leverancier. Onder *multiple sourcing* wordt verstaan dat een onderneming een bestelling bij meerdere leveranciers plaatst. Eén bestelling wordt bijgevolg gesplitst en verdeeld over meerdere leveranciers die identiek hetzelfde product leveren, maar eventueel verschillende levertijden en betrouwbaarheid kunnen hebben.

Deze laatste methode, namelijk order splitsing via *multiple sourcing*, kan op een zodanige wijze worden gebruikt die resulteert in een voorraadverlaging voor de onderneming. Het betreft hier ten eerste om veiligheidsvoorraden die gereduceerd kunnen worden omwille van verschillende levertijden en betrouwbaarheid van leveranciers die de onzekerheid van een stockbreuk kunnen doen afnemen. Daarnaast kan een opeenvolging van kleine leveringen via order splitsing eveneens leiden tot een reductie van de gemiddelde cyclusvoorraad.

1.1.2 Centrale onderzoeksvraag

Uit bovenstaande omschrijving van het probleem wordt de centrale onderzoeksvraag als volgt geformuleerd: *Hoe draagt een order splitsing via meerdere leveranciers bij tot een voorraadreductie voor een onderneming?*

1.1.3 Deelvragen

Aan de hand van bovenvermelde centrale onderzoeksvraag worden volgende deelvragen afgeleid:

- Wat is de effectieve levertijd in een *multiple sourcing* omgeving, en hoe wordt deze berekend?
- Hoe beïnvloedt de effectieve levertijd bij een order splitsing de veiligheidsvoorraden?
- Welk effect heeft order splitsing op cyclusvoorraden?
- Wat is een ideale combinatie van leveranciers in een *multiple sourcing* omgeving met order splitsing?

1.2 Beschrijving en verantwoording van het onderzoeksopzet

Door het wetenschappelijk karakter van dit onderwerp is dit onderzoek grotendeels gebaseerd op een literatuurstudie. Dit onderzoek doet bijgevolg geen beroep op concrete praktijkgevallen. Na het literatuuronderzoek wordt een indeling gemaakt van enkele belangrijke methodes die een invloed uitoefenen op voorraden. Vervolgens wordt via een simulatiesoftware een fictieve situatie gecreëerd waarbij de levertijden van twee verschillende leveranciers worden bestudeerd. Via deze simulatie is het immers mogelijk de invloed van *dual sourcing* op de effectieve levertijd, de veiligheidsvoorraad en de gemiddelde cyclusvoorraad na te gaan.

1.2.1 Zoekstrategie

Bij de literatuurstudie wordt vooral beroep gedaan op artikels uit wetenschappelijke tijdschriften. Deze vormen de belangrijkste bron van informatie voor deze eindverhandeling omdat nagenoeg geen literatuur over voorraadreductie via order splitsing en *multiple sourcing* in boekvorm is uitgebracht.

De zoektocht naar relevante literatuur wordt aangevangen door gebruik te maken van enkele belangrijke zoekmachines zoals ScienceDirect, Ebsco en Scirus. Aan de hand van enkele relevante trefwoorden zoals 'multiple suppliers', 'multiple sourcing' en 'order splitting' wordt relevante literatuur geïdentificeerd. Vervolgens worden de referentielijsten van de gevonden

artikels bestudeerd om zo bijkomende literatuur te vinden. Nadien wordt via Google Scholar gezocht naar extra artikels die enkele belangrijke, reeds gevonden literatuur of auteurs in dit vakdomein citeren.

Daarnaast worden de online catalogi van de Universiteit Hasselt geraadpleegd om nog aanvullende literatuur te vinden die elektronisch niet beschikbaar is. Dit leverde enkele resultaten op van zowel de bibliotheek van de Universiteit Hasselt als de campusbibliotheek van de Katholieke Universiteit Leuven.

1.2.2 Opbouw van de eindverhandeling

In hoofdstuk twee worden enkele vaak gehanteerde termen uiteengezet die van toepassing zijn bij het voorraadbeheer. Naast de verschillende methoden van aankoopbeleid te hebben gedefinieerd, worden ook belangrijke eigenschappen die kenmerkend zijn voor leveranciers besproken. Daarnaast worden nog de verschillende soorten van voorraden en het belang van het aanhouden van deze voorraden toegelicht.

Hoofdstukken drie en vier handelen over de verschillende methoden van *multiple sourcing* die de grootte van voorraden beïnvloeden. De eerste methode gaat over de mogelijke reductie van veiligheidsvoorraden via leveringen door verschillende leveranciers. De tweede methode geeft een korte toelichting over het effect van order splitsing op de gemiddelde cyclusvoorraad. In hoofdstuk vijf worden vervolgens simulaties uitgevoerd waarbij de voorraadprestaties van *single sourcing* en *dual sourcing* met elkaar worden geanalyseerd. Hierbij wordt tevens onderzocht wat de verschillende invloeden van leveranciers zijn op vlak van levertijden en betrouwbaarheid.

Tenslotte worden in het laatste hoofdstuk enkele belangrijke conclusies geformuleerd die volgen uit de literatuurstudie en het onderzoek. Hierbij wordt kort toegelicht welke leveranciers en levertijden het meest bijdragen tot een voorraadreductie via leveringen door verschillende leveranciers.

Hoofdstuk 2: Situering van een efficiënt aankoopbeheer

2.1 Supply chain management

Chase et al. (2004) beschrijven *supply chain management* als het beheersen van de keten vanaf de toeleveranciers via producenten naar de eindgebruikers toe. Onder ‘keten’ wordt verstaan de volledige stroom van informatie, materialen en diensten vertrekkend van de leveranciers, doorheen de productie- of distributieonderneming, naar de handel en eindgebruikers. De verschillende partners in een dergelijke keten worden door de nauwere onderlinge relaties steeds afhankelijker van elkaar. Indien één van de partners in de keten zich niet houdt aan het schema, brengt dit nadelige gevolgen mee voor het verdere verloop doorheen de keten.

Een goed beheerste *supply chain* resulteert in verscheidene voordelen, waaronder snellere productleveringen, grotere efficiëntie en lagere kosten voor zowel de onderneming zelf als voor de eindgebruikers (Berger et al., 2004). Deze voordelen worden behaald dankzij de betere relaties tussen de leveranciers, productiefaciliteiten, distributiecentra, groothandelaars en eindgebruikers onderling.

In een goed beheerste *supply chain* zorgen alle partners ervoor dat zij de gevraagde producten met de gevraagde kwaliteit op tijd leveren naar de volgende partner in de keten, tot de uiteindelijke verkoper. Geen onderbrekingen doorheen deze hele keten resulteert ten eerste in snelle productleveringen en verminderde kosten. Bij een stockbreuk van een bepaald product dient in een productieonderneming de hele productie immers stopgezet te worden, of in een distributieonderneming de levering uitgesteld te worden. Dit leidt tot verloren tijd en meestal verloren opbrengsten of kosten van laattijdig leveren, kortom tot inefficiëntie.

Daarnaast leiden betrouwbare partners tot efficiënt werken in een onderneming zelf. Indien levertijden van leveranciers op voorhand gekend zijn, kan efficiënt gepland worden. Aan de hand van de geschatte vraag voor een bepaalde periode in de toekomst en de beoogde

servicegraad, kan een optimaal bestelpunt berekend worden waarbij alle voorraadkosten en kosten van stockbreuk worden afgewogen.

Een hedendaags *supply chain* beleid wordt steeds beïnvloed door en aangepast aan de ‘*lean*’ filosofie. De basis hierachter is het identificeren van verspilling en achteraf bepalen hoe dit vermeden kan worden (Chase et al., 2004). Verspilling brengt immers niets bij aan het eindproduct en kan bijgevolg gezien worden als overbodig. In een *supply chain* is één van de belangrijkste componenten van deze *lean* filosofie de relatie met leveranciers. Voorbeelden van verspilling in het aankoopbeleid kunnen onnodig hoge voorraden en een te grote kans op stockbreuk zijn. Volgens Van Nieuwenhuysse en Vandaele (2005) kan deze *lean* filosofie in een *supply chain* toegepast worden door een betere synchronisatie tussen de verschillende partners en kleinere maar frequentere leveringen.

2.2 Aankoopbeleid

De identificatie van geschikte leveranciers voor een *supply chain* is een complex probleem. In het algemeen moeten zowel kwantitatieve als kwalitatieve factoren zoals kwaliteit, prijs, flexibiliteit en leveringsprestaties in rekening worden gebracht bij het kiezen van de beste leveranciers. Monczka et al. (2002) vatten het objectief van een dergelijk leveranciersselectieproces samen als volgt: “het reduceren van aankooprisico’s, het maximaliseren van de totale waarde voor de afnemer, en het opbouwen van nauwe en duurzame relaties tussen afnemer en leveranciers”.

De relatie tussen leverancier en afnemer heeft de afgelopen jaren veel aandacht opgeëist. Vele ondernemingen trachten duurzame relaties op te bouwen met leveranciers, bij voorkeur één enkele leverancier om een bepaald product te leveren. Dergelijke lange termijnrelaties hebben als doel samen te werken met elkaar met het oog op betere prestaties en competitiviteit (Chen et al., 2005).

Swaminathan en Shanthikumar (1999) opteren echter voor een beleid waarin een onderneming nooit producten bestelt bij de duurdere en meest betrouwbare leverancier alleen. Zij geven bijgevolg de voorkeur aan een *multiple sourcing* strategie waarin wordt geopteerd voor een zo groot mogelijke diversificatie van leveranciers, niet alleen op basis van prijs maar ook op basis van levertermijnen en leverbetrouwbaarheid. Dit resulteert in een vermindering van het risico en de afhankelijkheid die optreedt indien een onderneming slechts gebruik maakt van één enkele leverancier (Swaminathan en Shanthikumar, 1999).

Bijgevolg kunnen twee verschillende methodes van aankopen onderscheiden worden. De eerste methode is *single sourcing*. De onderneming is volledig afhankelijk van één enkele leverancier om een bepaald product te bestellen. De tweede methode is *multiple sourcing*. Via dit alternatief kan een onderneming bij meerdere leveranciers een order plaatsen om hetzelfde product te bestellen.

2.2.1 Single sourcing

Het concept van *single sourcing* heeft haar oorsprong gevonden dankzij de *just-in-time* (JIT) filosofie. Bij JIT zijn betrouwbare partners nodig die op tijd kunnen leveren (Chase et al., 2004). Daarom wordt bij *single sourcing* een langdurig partnerschap afgesloten met één enkele leverancier die in staat wordt geacht op tijd te kunnen leveren, met andere woorden betrouwbare levertermijnen hebben. Dit wordt bevestigd door Ganeshan et al. (1999): “Een *single sourcing* strategie heeft als gevolg dat nauwer wordt samengewerkt met één leverancier, en in bepaalde gevallen kan een dergelijke samenwerking zelfs leiden tot een synchronisatie van productie en leveringen om de voorraad te verminderen.”

Via een partnerschap bij *single sourcing* wordt een leverancier aangezet om goedkope producten van hoge kwaliteit te leveren (Berger et al., 2004). Via een nauwe samenwerking wordt getracht betere producten aan een lagere kostprijs te produceren en leveren. Onder betere producten wordt vooral verstaan producten die voldoen aan alle eisen van de klant. Sedarage et al. (1999) bevestigen eveneens dat bij lange termijnrelaties de leveranciers

aangemoedigd worden te investeren in nieuwe technologie en verbeteringen in productkwaliteit. Dergelijke investeringen leiden tot goedkopere productiemethodes en een betere productkwaliteit, dit allemaal ten voordele van de klant.

2.2.2 Multiple sourcing

In tegenstelling tot *single sourcing*, wordt bij *multiple sourcing* minder aandacht besteed aan een langdurige partnerschap met leveranciers. Het principe van *multiple sourcing* kan eerder omschreven worden als een zo groot mogelijke diversificatie van verschillende leveranciers aanhouden. Een vaak gehanteerd beleid van *multiple sourcing* is het *dual sourcing* beleid waarbij een onderneming twee verschillende leveranciers gebruikt om bestellingen te plaatsen voor een bepaald product.

Er bestaan twee verschillende benaderingen om gebruik te maken van verscheidene leveranciers (Hollier en Vrat, 1978). De eerste benadering bestaat uit het plaatsen van de bestelling voor bevoorrading bij elke leverancier afwisselend. Bij elke bestelling wordt beroep gedaan op één enkele leverancier, doch de volgende bestelling wordt bij een andere leverancier geplaatst. Dit patroon herhaalt zich tot alle leveranciers aan bod zijn gekomen om vervolgens terug te bestellen bij de eerste leverancier. Bij deze alternerende manier van leveranciersselectie wordt één bestelpunt bepaald per leverancier. Het gemiddelde voorraadniveau bij alle bestelpunten zal in dit geval hoger zijn dan wanneer enkel de meest betrouwbare leverancier met kortste levertijd wordt gebruikt. Indien deze benadering wordt toegepast, zal één leverancier na vergelijking in de meeste gevallen namelijk als beste uitkomen in termen van voorraadefficiëntie. In het ideale geval worden de overige leveranciers bijgevolg overbodig en zullen ze niet meer gebruikt worden om bestellingen bij te plaatsen.

De tweede benadering waarin meerdere leveranciers worden gebruikt, is de bestelling voor bevoorrading in verscheidene delen splitsen en deze gesplitste orders over verschillende leveranciers gelijktijdig plaatsen. Sculli en Wu (1981) beschrijven deze laatste benadering van

multiple sourcing als volgt: “De bestelling voor bevoorrading van een bepaald product wordt gesplitst in verschillende delen, één deel voor elke leverancier, en de verschillende delen van deze bestelling worden gelijktijdig geplaatst bij de respectieve leveranciers.”

Sculli en Shum (1990) halen enkele voordelen aan die gepaard gaan met het gebruik van meerdere leveranciers volgens de tweede benadering voor één productitem. Deze voordelen omvatten onder andere een betere betrouwbaarheid van de levering, competitieve prijzen en betere kwaliteit. Volgens Kelle en Miller (2001) is *multiple sourcing* aangewezen om het risico op voorraadtekort te verminderen. Bovendien zijn in sommige situaties meerdere leveranciers nodig om te voldoen aan een zekere dienstverlening, of om de totale kosten te reduceren in geval van onzekere levertijden (Sedarage et al., 1999). Deze benadering is bijgevolg ideaal indien onzekerheid bestaat in de levertijden. Door een order te splitsen over meerdere leveranciers kan immers handig ingespeeld worden op de variabiliteit van aankomsttijden. Deze stelling wordt eveneens door Horowitz (1986) bevestigd: “Ondernemingen moeten de totale bestelhoeveelheid opsplitsen in verschillende delen om deze vervolgens bij twee of meerdere leveranciers gelijktijdig aan te kopen, dit louter met als doel het risico te diversifiëren.” Smeltzer en Siferd (1998) definiëren dit principe als volgt: “Wanneer een organisatie afhankelijk is van slechts één leverancier, wordt het risico op voorraadtekort voor kritische materialen of producten aanzienlijk groter.”

Daarnaast leidt de afhankelijkheid van één enkele leverancier vaak niet tot de laagste prijzen voor een product (Ganeshan et al., 1999). Bij *multiple sourcing* bestaat een gezonde vorm van concurrentie tussen de verschillende leveranciers die tot betere prijzen kunnen leiden voor de aankopende onderneming. Dit is mogelijk doordat de aankopende onderneming kan handelen over prijzen, en eventueel kan schermen met betere prijzen bij een andere leverancier. Anderzijds kan een onderneming via *multiple sourcing* een hoeveelheidskorting mislopen omdat de bestelhoeveelheid per leverancier kleiner wordt. Een afweging tussen de voordelen en kosten van *multiple sourcing* dient derhalve best gemaakt te worden. Tenslotte zijn leveranciers omwille van de concurrentie ook verplicht meer te investeren in technologie om nieuwe en betere producten te kunnen maken en leveren (Berger et al., 2004).

Zoals net besproken zijn bij JIT betrouwbare leveranciers nodig. Indien geen betrouwbare leverancier beschikbaar is, kan het order nog steeds geplaatst worden bij meerdere leveranciers tot een betrouwbare leverancier wordt gevonden (Kelle en Miller, 2001). Deze redenering vinden we ook terug bij de eerste benadering van *multiple sourcing*. Bestellingen worden afwisselend geplaatst bij verscheidene leveranciers, waarna deze leveranciers op vlak van voorraadefficiëntie worden vergeleken met elkaar. In het beste geval zal één leverancier zich van de andere leveranciers onderscheiden, en zullen de andere leveranciers bijgevolg overbodig worden.

Het gebruik van verscheidene leveranciers om een bestelling te plaatsen brengt ook minpunten met zich mee. Ten eerste is er de bestelkost. Tersine (1994) omschrijft de bestelkost als de uitgave om een aankooporder te plaatsen bij een leverancier, en wordt verondersteld te variëren met het aantal orders geplaatst. In een *multiple supplier* systeem zullen de totale bestelkosten bijgevolg stijgen indien het aantal leveranciers stijgt (Sedarage et al., 1999). Onder normale omstandigheden stijgen deze bestelkosten evenredig met het aantal leveranciers waarover een bestelling wordt gesplitst omdat de verschillende leveranciers onafhankelijk zijn van elkaar. Ramasesh et al. (1991) stellen echter vast dat deze bestelkosten niet evenredig stijgen met het aantal leveranciers. In de meeste gevallen blijft een groot deel van de bestelkosten onveranderd met het aantal leveranciers. Ramasesh et al. (1991) halen als voorbeelden van dergelijke onveranderde kosten het voorbereiden en vastleggen van specificaties voor goederen, het evalueren van de kostprijs per eenheid, en het opstellen van kooporders met het totaal aantal te bestellen eenheden aan. Hieruit kan afgeleid worden dat de stijgende bestelkosten eerder van beperkte mate zijn.

2.3 Vraag

Met de vraag wordt verwezen naar hetgeen de klant wil hebben. Gedurende een bepaalde periode wordt de vraag vaak gekenmerkt door een bepaalde grootte, dit is de omvang van de vraag en wordt uitgedrukt in aantal eenheden per tijdseenheid (Tersine, 1994). Indien de grootte dezelfde is voor elke periode, is de vraag constant. In het andere geval is de vraag

variabel. Wanneer de grootte van de vraag gekend is, heeft men met een deterministische vraag te doen. Meestal is de grootte van de vraag echter niet gekend en wordt ze gekenmerkt door een kansverdeling, dit wordt probabilistisch of stochastisch genoemd (Tersine, 1994).

Volgens Bagchi et al. (1984) is de vraag per tijdseenheid afhankelijk van twee componenten, namelijk de ordergrootte en de orderintensiteit. De ordergrootte wordt gemeten aan de hand van het aantal eenheden dat een klant bij een bepaalde bestelling plaatst. De orderintensiteit wordt gedefinieerd als het aantal bestellingen dat een klant gedurende een periode plaatst. De verdeling van de vraag per tijdseenheid bestaat uit de samenstelling van zowel de ordergrootte als de orderintensiteit (Bagchi, 1984).

Vaak wordt de vraag per tijdseenheid gekenmerkt door een normale verdeling met een gemiddelde van μ_D en een variantie van σ_D^2 (Tersine, 1994). De dichtheidsfunctie voor de vraag met een normale verdeling wordt als volgt geschreven:

$$f(D) = \frac{1}{\sigma_D \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{D - \mu_D}{\sigma_D} \right)^2}, \quad -\infty \leq D \leq \infty. \quad (1)$$

Aan de hand van de levertijd wordt vervolgens de gemiddelde vraag gedurende de levertijd geschat. Indien de vraag en de verdeling van de levertijd onafhankelijk zijn, kan de gemiddelde vraag gedurende de levertijd aan de hand van volgende uitdrukking berekend worden (Tersine, 1994):

$$\mu_{LD} = \mu_D \cdot \mu_L, \quad (2)$$

waarbij μ_L de gemiddelde levertijd is. Een kortere gemiddelde levertijd heeft een positieve invloed op de gemiddelde vraag gedurende de levertijd. De totale verwachte vraag tijdens de levertijd gaat door een kleiner gemiddelde levertijd namelijk lager liggen. De variantie van de vraag gedurende de levertijd kan eveneens berekend worden, namelijk door onderstaande formule (Tersine, 1994):

$$\sigma_{LD}^2 = \mu_L \cdot \sigma_D^2 + \mu_D^2 \cdot \sigma_L^2. \quad (3)$$

Uit bovenstaande uitdrukking wordt afgeleid dat de variantie van de vraag gedurende de levertijd (σ_{LD}^2) afhangt van zowel het gemiddelde van de levertijd (μ_L) als de variantie van de levertijd (σ_L^2). Dit wil zeggen dat de variantie of onzekerheid in de vraag gedurende de levertijd kan verminderen door een kleiner gemiddelde levertijd en een smallere variantie (onzekerheid) in de levertijd. De standaardafwijking van de vraag gedurende de levertijd σ_{LD} wordt berekend door de wortel te nemen van het bekomen resultaat uit formule (3).

2.4 Levertijden

2.4.1 Lead times

'*Lead time*' kan, afhankelijk van de context waarin deze term wordt gebruikt, verschillende definities inhouden. In deze eindverhandeling wordt *lead time* gedefinieerd als de tijd tussen het ogenblik van het plaatsen van een bestelling bij de leverancier en het ogenblik van de levering bij de aankopende onderneming. *Lead time* kan in dit geval kortweg de 'levertijd' worden genoemd.

In een *multiple sourcing* beleid is er sprake van een effectieve levertijd. Dit is kortweg de kortste levertijd, met name de tijd van de eerste levering. De effectieve levertijd kan derhalve omschreven worden als de levertijd van de *multiple sourcing* omgeving op zichzelf. De voorwaarde is echter dat de effectieve levertijd niet enkel afhangt van één enkele leverancier, met andere woorden de leverancier die als eerste levert mag niet steeds dezelfde leverancier zijn (Chiang en Benton, 1994). In het geval dat verschillende leveranciers identiek dezelfde leverkenmerken hebben, is de kans dat elke leverancier als eerste levert stochastisch gezien even groot. Vandaar ook dat studies die de effectieve levertijd bestuderen vaak gelijkaardige leveranciers veronderstellen.

Sedarage et al. (1999) besluiten echter dat, om een optimale voorraadreductie via *dual suppliers* te bereiken, de gemiddelde levertijd en betrouwbaarheid van een tweede leverancier voldoende groter moet zijn dan de levertijd van de eerste leverancier. De achterliggende reden hiervoor is dat de optimale voorraadreductie via *multiple sourcing* enkel behaald wordt indien de levering van de tweede leverancier plaats heeft net voor de voorraadlevering van de eerste leverancier uitgeput raakt.

2.4.2 Betrouwbaarheid

Eén van de belangrijkste kenmerken van een leverancier is de betrouwbaarheid van zijn levertijd. Deze betrouwbaarheid wordt vaak weergegeven aan de hand van de standaardafwijking of variantie van de levertijd. Tersine (1994) definieert deze standaardafwijking als een maatstaf voor de spreiding van een verdeling ten opzichte van het gemiddelde, in dit geval de verdeling van de levertijd. Bij levertijden wordt de standaardafwijking vaak uitgedrukt in aantal dagen ten opzichte van de gemiddelde levertijd, dus het aantal dagen dat de levertijd kan afwijken van de gemiddelde levertijd.

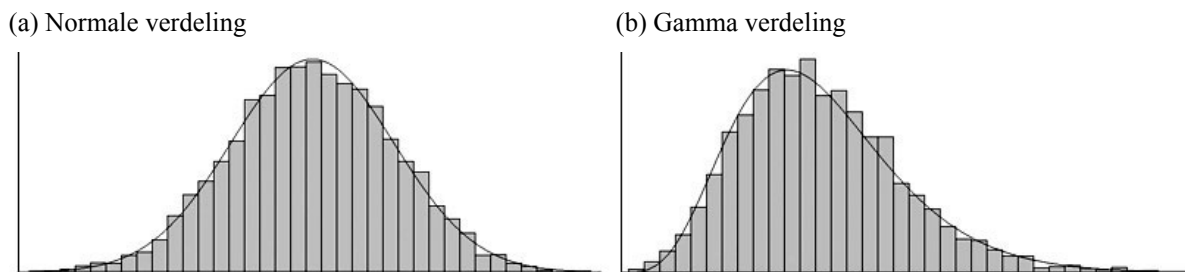
Bij het kiezen van verschillende leveranciers voor een *multiple supplier* beleid dient dus rekening gehouden te worden met het gemiddelde en de standaardafwijking van de levertijd van alle mogelijke leveranciers. Leveranciers met een hogere standaardafwijking hebben een grotere onzekerheid en bijgevolg een kleinere betrouwbaarheid in levertijden. Om deze karakteristieken voor een bepaalde leverancier te berekenen, wordt gebruik gemaakt van historische gegevens.

2.4.3 Verdeling van de levertijd

Verscheidene voorraadmodellen veronderstellen deterministische levertijden. Deze veronderstelling is echter te simplistisch voorgesteld, en is in realiteit in de meeste gevallen

niet correct. Bovendien bestaat in de praktijk de variabiliteit van levertijden (Bagchi et al., 1984).

Een vaak gehanteerde voorstelling voor het gemiddelde en de standaardafwijking van de levertijd is respectievelijk μ_L en σ_L . Continue verdelingen zoals de normale, de Gamma, en de exponentiële verdeling worden vaak gebruikt om deze levertijd te beschrijven (Bagchi et al., 1984). Sculli en Wu (1981), later gevolgd door Sculli en Shum (1990), maakten oorspronkelijk gebruik van de normale verdeling om de verdeling van de levertijd weer te geven. Deze veronderstelling is echter te simplistisch voorgesteld omwille van de symmetrische vorm van deze verdeling (zie figuur 1a).

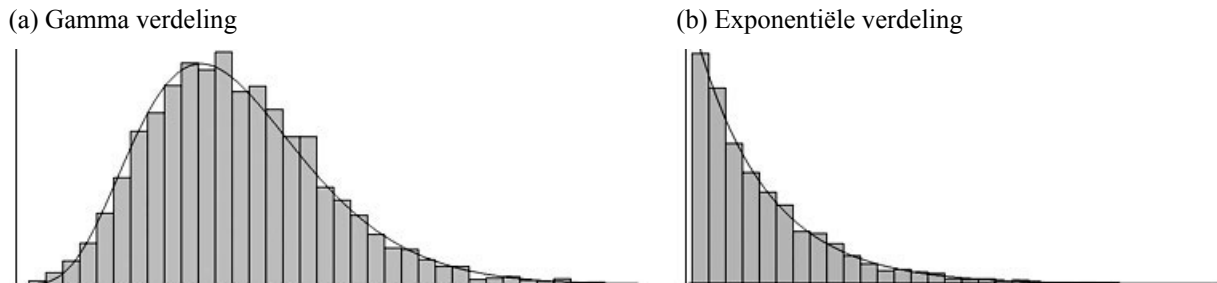


Figuur 1: Dataset met een normale verdeling en een Gamma verdeling.

Bagchi et al. (1984) beweren dat de Gamma verdeling een betere keuze is voor de verdeling van de levertijd. De eigenschappen van levertijden kunnen inderdaad het best weergegeven worden door de Gamma verdeling omdat deze verdeling een schuine helling naar rechts vertoont (zie figuur 1b). Andere verdelingen die eveneens een helling naar rechts vertonen, zijn de Weibull, de lognormale, en de inverse Gaussiaanse verdeling. Deze verdelingen kunnen bijgevolg ook gehanteerd worden voor levertijden.

Ganeshan et al. (1999) stellen eveneens vast dat de Gamma verdeling de levertijd het best voorstelt. Anderzijds maken zij een onderscheid tussen een betrouwbare en onbetrouwbare leverancier. Voor de onbetrouwbare leverancier met een langere levertijd en grotere standaardafwijking gebruiken zij namelijk een exponentiële verdeling voor de levertijd zoals weergegeven in figuur 2b. Een exponentiële verdeling is in principe eveneens een Gamma verdeling waarbij de vormparameter α de waarde 1 heeft. De redenering om een

onbetrouwbare leverancier met een exponentiële levertijd voor te stellen kan ondersteund worden doordat onbetrouwbare leveranciers vaak gekenmerkt worden met nog langere levertijden.



Figuur 2: Dataset met een Gamma verdeling en een exponentiële verdeling.

2.5 Voorraadbeheer

Een goed voorraadbeheer houdt volgens Krever et al. (2005) rekening met twee afwegingen. Enerzijds worden voldoende eenheden in voorraad gehouden om een goede klantenservice na te streven en anderzijds worden de kosten van eenheden in voorraad zo laag mogelijk gehouden.

In de praktijk kunnen twee verschillende methoden van voorraadbeleid onderscheiden worden: het *continuous review* systeem en het *periodic review* systeem. Het *continuous review* systeem wordt genoteerd als een (s,Q) -model waarbij een vooraf bepaalde constante bestelhoeveelheid Q wordt geplaatst zodra de voorraad een bepaald bestelpunt R bereikt. In een *periodic review* systeem, genoteerd als een (R,S) -model, is het bestelinterval vast maar de bestelhoeveelheid variabel. Deze bestelgrootte is gelijk aan het verschil tussen een vooropgesteld maximum voorraदनiveau en de beschikbare voorraad. In het verdere verloop van deze eindverhandeling wordt het *continuous review* systeem verondersteld. Het *periodic review* systeem valt bijgevolg buiten het bestek van deze eindverhandeling.

Bij voorraadmodellen met een vaste bestelhoeveelheid maakt Lambrecht (1994) een onderscheid naargelang de kosten van een stockbreuk gekend zijn of niet. Wanneer deze

kosten gekend zijn, dan kan de optimale kans van een stockbreuk berekend worden en bijgevolg het bestelpunt bepaald worden. Meestal zijn deze kosten van stockbreuk in de praktijk echter niet gekend, vandaar de belangrijke veronderstelling dat kosten van stockbreuk niet gekend zijn in deze verdere studie.

2.5.1 Servicegraad

Indien de kosten van een stockbreuk niet gekend zijn, wordt de maatstaf 'servicegraad' bij het voorraadbeheer gehanteerd om het bestelpunt en de veiligheidsvoorraad te bepalen. Deze servicegraad kan op verschillende manieren gedefinieerd worden. Lambrecht (1994) maakt een onderscheid tussen twee vaak gebruikte definities. Volgens de eerste definitie wordt de servicegraad meestal omschreven als het aantal levertermijnen op 100 dat een bestelling uit voorraad kan geleverd worden. De tweede definitie omschrijft de servicegraad als het percentage van alle producten die uit voorraad kunnen geleverd worden. Indien een onderneming altijd uit voorraad wil leveren, dient ze een servicegraad van 100% te hanteren. Dit impliceert echter hoge voorraadkosten. Vandaar dat de meeste ondernemingen akkoord gaan met een vooraf bepaald aantal stockbreuken.

De eerste definitie kan gegeven worden op basis van de bestelcyclus, met name het aantal bestelcycli dat een onderneming geen stockbreuk ondergaat. Hierbij wordt niet gekeken naar het aantal eenheden dat tekort is, er wordt enkel rekening gehouden met het aantal perioden waarin tekorten optreden. Deze servicegraad wordt als volgt bepaald (Lambrecht, 1994):

$$\text{Servicegraad} = \frac{\text{aantal levertermijnen zonder tekorten}}{\text{totaal aantal levertermijnen}}$$

Een vaak gehanteerde servicegraad is 95%, hetgeen betekent dat in 95% van de gevallen geen tekorten zullen voordoen. Op 100 bestelcycli worden bijgevolg 5 bestelcycli verwacht waarin wel een stockbreuk zal optreden.

De tweede definitie voor servicegraad houdt rekening met het aantal eenheden tekort (Lambrecht, 1994). Deze servicegraad is de ratio van de vraag waaraan werd voldaan op de totale vraag (Thomopoulos, 2004). Via onderstaande formule is het mogelijk om deze servicegraad te berekenen:

$$\text{Servicegraad} = \frac{\text{aantal gevraagde eenheden per jaar geleverd}}{\text{totaal aantal gevraagde eenheden per jaar}}$$

2.5.2 Veiligheidsvoorraad

Een veiligheidsvoorraad, ook wel buffervoorraad genoemd, wordt aangehouden om de kans op een mogelijke stockbreuk te reduceren (Chase et al., 2004). Veiligheidsvoorraden worden normaliter weinig aangesproken zodat de eindvoorraad iedere maand gelijk is aan de veiligheidsvoorraad van de desbetreffende maand. Vandaar ook dat deze voorraden worden gedefinieerd als een bepaalde hoeveelheid voorraad bovenop de verwachte vraag (Chase et al., 2004).

Dergelijke veiligheidsvoorraden worden gebruikt indien de werkelijke vraag de verwachte vraag overtreft, hetgeen bijvoorbeeld voorkomt indien vraagschommelingen optreden (Tersine, 1994). Bovendien kunnen deze veiligheidsvoorraden ook gebruikt worden in geval van onbetrouwbare levertijden van leveranciers (Horngren et al., 2000). Door allerlei omstandigheden kunnen leveranciers onbetrouwbare levertijden hebben waardoor zij later dan gepland leveren bij de aankopende onderneming. In bovenstaande gevallen kan de onderneming beroep doen op haar veiligheidsvoorraad om klanten verder te bedienen.

Bovenstaande definities sluiten bijgevolg aan met de vaststellingen van Chopra et al. (2004). Zij stelden vast dat de veiligheidsvoorraad kan uitgedrukt worden als een functie van de servicegraad, de vraagonzekerheid, de levertijd ter bevoorrading, en de levertijdonzekerheid. Anders geformuleerd wil dit zeggen dat drie factoren de veiligheidsvoorraad beïnvloeden: de vraagonzekerheid, de levertijd ter bevoorrading, en de levertijdonzekerheid.

2.5.3 Cyclusvoorraad

De cyclusvoorraad is het gedeelte van de voorraad dat de onderneming op basis van vraagvoorspellingen plant te verkopen gedurende een bepaalde periode. Deze voorraad wordt tevens vaak beschreven als de gemiddelde voorraad gedurende een bepaalde tijdsyclus, waarbij geen rekening wordt gehouden met de veiligheidsvoorraad. Vandaar ook dat Chase et al. (2004) de veiligheidsvoorraad beschrijven als de voorraad bovenop de verwachte vraag. Indien de verwachte vraag overeenstemt met de werkelijke vraag, zal de cyclusvoorraad op het einde van de tijdsperiode gelijk zijn aan nul. De gemiddelde voorraad kan bijgevolg benaderd worden via de formule $Q/2$, met Q de totale beginvoorraad uitgezonderd de veiligheidsvoorraad. Bovenstaande formule is echter enkel geldig in de veronderstelling dat de totale bestelhoeveelheid op het beginpunt wordt geleverd.

2.6 Order splitsing

Order splitsing is het opsplitsen van een totale bestelhoeveelheid over twee of meerdere leveranciers. Deze techniek moedigt het gebruik van meerdere bronnen aan en kan gunstig zijn inzake onzekere levertijden van leveranciers (Hayya et al., 1987). Een dergelijke order splitsing in een *multiple sourcing* beleid kan op twee verschillende manieren gebeuren: een verdeling in gelijke groottes of in ongelijke groottes.

Bij *gelijke* groottes wordt de totale bestelhoeveelheid Q gesplitst door het aantal leveranciers waarover de bestelling wordt verdeeld. Er worden bijgevolg n orders gelijktijdig geplaatst met elk een orderhoeveelheid van Q/n eenheden, waarbij n het aantal leveranciers is in het *multiple sourcing* beleid. Indien een *dual sourcing* beleid uit twee leveranciers bestaat die identiek dezelfde verdeling van levertijd hebben, lijkt het logisch dat de totale bestelhoeveelheid in gelijke delen wordt gesplitst. Dit kan ondersteund worden doordat elke leverancier statistisch gezien dezelfde kans heeft om als eerste te leveren.

In een *dual sourcing* beleid waarbij leveranciers een verschillende verdeling van levertijd hebben, zijn ongelijke ordergroottes echter voordeliger. Ramasesh et al. (1993) beweren dat, indien de variabiliteit in levertijd van de tweede leverancier groter is, het voordeliger is een kleinere hoeveelheid toe te wijzen aan deze tweede leverancier. Deze stelling wordt eveneens bevestigd door Kelle en Miller (2001). Om het risico op stockbreuk dat gebaseerd is op levertijdkenmerken te reduceren, dient een groter gedeelte van de totale bestelling toegewezen te worden aan de leverancier met betere leverkenmerken. Indien de totale bestelhoeveelheid echter aanzienlijk groter is dan de vraag gedurende twee opeenvolgende leveringen, is het aangewezen om een kleinere voorraad toe te wijzen aan de leverancier met de kortste levertijd (Fong et al., 2000).

Volgens bevindingen van zowel Chiang en Benton (1994) als Ramasesh et al. (1993) stijgt de totale bestelhoeveelheid bij *dual sourcing*. Sedarage et al. (1999) beweren dat deze stijging te wijten is aan het feit dat de bestelkosten zullen stijgen indien het aantal leveranciers toeneemt. Door de totale bestelhoeveelheid doen laten toenemen, zal het effect van de stijgende bestelkosten per eenheid worden gereduceerd. Indien de bestelhoeveelheid groot is vergeleken met de verwachte vraag gedurende de levertijd, dan is *dual sourcing* aantrekkelijker (Kelle en Miller, 2001).

2.7 Besluit

Zoals Thomas en Tyworth (2005) aanhalen, kunnen enkele voordelen behaald worden aan de hand van een beleid met order splitsing over verschillende leveranciers. Ten eerste is het samenvoegen van levertijdonzekerheden van meerdere identieke leveranciers een mogelijkheid om veiligheidsvoorraden te reduceren, of voor een bepaalde veiligheidsvoorraad een hogere servicegraad te bereiken via *multiple sourcing*. Daarnaast leidt een opeenvolging van leveringen van kleine gesplitste bestellingen door middel van een tweede minder betrouwbare leverancier tot een verlaging van de gemiddelde cyclusvoorraad.

De voordelen van order splitsing kunnen dus in twee verschillende klassen ingedeeld worden. Een eerste klasse baseert zich op statistische theorieën en methoden voor het schatten van de effecten van een order splitsing op de verdeling van de effectieve levertijd. Deze effecten zouden een invloed hebben op de veiligheidsvoorraden en het risico op stockbreuk. De tweede klasse baseert zich op een economische analyse, meer bepaald de relatie tussen *multiple sourcing* modellen en *single sourcing* modellen op vlak van voorraadefficiëntie. Order splitsing bij *multiple sourcing* zou de gemiddelde cyclusvoorraad kunnen reduceren.

Hoofdstuk 3: Effectieve levertijd bij multiple sourcing

3.1 Inleiding

Het concept van 'effectieve levertijd' werd het eerst door Sculli en Wu (1981) bestudeerd. Dit concept kan omschreven worden als de basis van het samenvoegen van alle levertijdonzekerheden door middel van order splitsing. Het samenvoegen van meerdere identieke levertijden reduceert zowel het gemiddelde als de variantie van de effectieve levertijd en kan bijgevolg leiden tot een vermindering van de veiligheidsvoorraad bij een vooraf bepaalde servicegraad. Anderzijds kan voor een bepaalde grootte van veiligheidsvoorraad een hogere servicegraad behaald worden waarbij de kans op stockbreuk kleiner is.

In een *multiple sourcing* model bestaat de effectieve levertijd steeds uit de eerste levering van meerdere leveranciers. Opdat de effectieve levertijd in een *multiple sourcing* beleid betere leverkenmerken heeft dan de levertijd van elke leverancier afzonderlijk, stellen Chiang en Benton (1994) als voorwaarde dat de eerste levering voortdurend afwisselt van leverancier. Dit is vaak gebruikelijk bij identieke leveranciers op vlak van leverkenmerken. De kans dat een bepaalde leverancier als eerste levert is statistisch gezien even groot als de kans dat een andere leverancier als eerste levert.

Daarnaast stellen Thomas en Tyworth (2005) vast dat de levertijden van de verschillende leveranciers in een *multiple sourcing* beleid niet mogen correleren. Indien de levertijden van beide leveranciers in het *dual sourcing* beleid niet positief correleren, zal de effectieve levertijd doeltreffender zijn. De levertijden dienen bijgevolg willekeurige, onafhankelijke levertijden te zijn.

Tenslotte halen Kelle en Silver (1990) nog twee voorwaarden aan opdat de voordelen van order splitsing het grootst zijn. Ten eerste moet de onzekerheid van de levertijden redelijk groot zijn, hetgeen wil zeggen dat de leveranciers in een *multiple sourcing* beleid een

redelijke onbetrouwbaarheid moeten hebben. In dit geval heeft de effectieve levertijd een groter positief effect op de reductie van de veiligheidsvoorraad. Bovendien moet de totale bestelhoeveelheid relatief groot zijn ten opzichte van de gemiddelde vraag gedurende de effectieve levertijd. Deze bestelhoeveelheid dient namelijk om aan de totale vraag gedurende de volgende effectieve levertijd te voldoen.

3.2 Multiple sourcing beleid

3.2.1 Korte omschrijving

Sculli en Wu (1981) hebben de invloed van de effectieve levertijd bij *dual sourcing* op veiligheidsvoorraden bestudeerd. Hiervoor hebben zij een methode uitgewerkt waarbij het gemiddelde en de standaardafwijking van de vraag gedurende de effectieve levertijd wordt bepaald, indien een bestelling in twee orders wordt gesplitst en deze twee orders gelijktijdig worden geplaatst bij twee verschillende leveranciers. Sculli en Shum (1990) hebben deze methode nadien uitgewerkt voor een *multiple sourcing* beleid met meer dan twee leveranciers. Zowel Sculli en Wu (1981) als Sculli en Shum (1990) beschouwen de verdeling voor de levertijd van elke leverancier als normaal verdeeld.

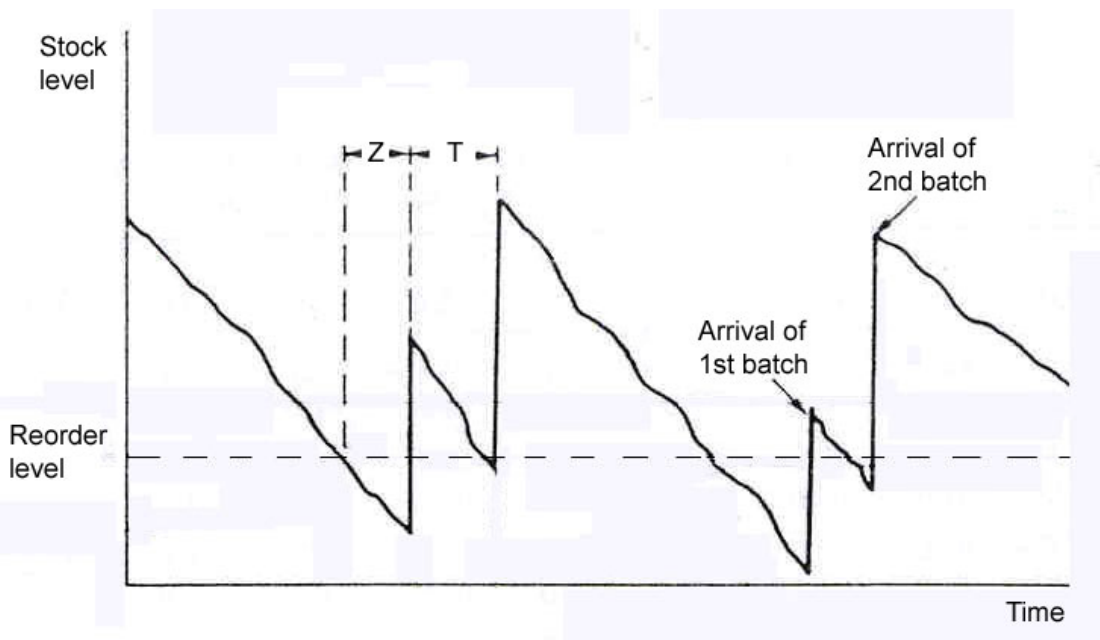
Bovendien hebben Sculli en Wu (1981) een techniek uitgewerkt om het gemiddelde en de standaardafwijking van de vraag gedurende de tussenaankomsttijd te berekenen. Dit is de tijd tussen de aankomsten van de twee leveringen die gelijktijdig werden geplaatst bij twee verschillende leveranciers.

De veronderstelling van normaal verdeelde levertijden is echter te simplistisch voorgesteld en vaak niet het geval in de realiteit. Om het idee achter de effectieve levertijd aan te tonen, zullen de methodes van Sculli en Wu (1981) en Sculli en Shum (1990) desalniettemin analytisch beschreven worden. Via deze uitwerking kan immers aangetoond worden hoe het gebruik van meerdere leveranciers een daling in de veiligheidsvoorraad kan realiseren.

Vervolgens gaat de effectieve levertijd besproken worden waarbij de levertijden van beide leveranciers in een *dual sourcing* beleid een Gamma verdeling hebben. Omdat deze levertijden een Gamma verdeling hebben, gebeurt de bepaling van het bestelpunt en de veiligheidsvoorraad immers op een andere manier.

3.2.2 Bestelpunt

Zodra de huidige voorraad daalt tot een vooraf bepaald punt, wordt een bestelling ter bevoorrading geplaatst. Dit punt noemt het bestelpunt en wordt uitgedrukt in aantal eenheden in voorraad op het betreffende moment. Indien een nieuwe bestelling wordt geplaatst, wordt de totale bestelhoeveelheid bij *dual sourcing* gesplitst in twee delen en kunnen bijgevolg beschouwd worden als twee verschillende bestellingen. Deze bestellingen worden gelijktijdig geplaatst bij twee leveranciers. De effectieve levertijd is het minimum van de levertijden van deze leveranciers.



Figuur 3: Illustratie van enkele belangrijke variabelen in een continu bestelbeleid (Bron: Sculli en Wu, 1981).

Het systeem van een dergelijk continu bestelbeleid via twee leveranciers wordt weergegeven in figuur 3. De willekeurige variabele Z vertegenwoordigt de effectieve levertijd in een continu bestelbeleid. Dit is de tijd tussen het ogenblik van bestellen en de eerste levering door één van de leveranciers. De willekeurige variabele T vertegenwoordigt de tijd tussen de aankomst van de twee verschillende leveringen voor bevoorrading die op hetzelfde ogenblik werden geplaatst bij elke leverancier.

3.3 Levertijden met normale verdeling

3.3.1 Berekening van de effectieve levertijd

Aan de hand van het artikel ‘Stock Control with Two Suppliers and Normal Lead Times’ door Sculli en Wu (1981) zal het *dual sourcing* model met normaal verdeelde levertijden beschreven worden. Dit artikel houdt enkel rekening met de levertijden van de verschillende leveranciers. Alle andere factoren waaronder de prijs en andere kosten worden buiten beschouwing gelaten.

Bij *dual sourcing* wordt een bestelling in twee orders gesplitst, waarbij elk order bij een verschillende leverancier wordt geplaatst om hetzelfde product te leveren. De verdeling van de effectieve levertijd is de willekeurige variabele Z , waarbij:

$$Z = \min\{L_1, L_2\}. \quad (4)$$

L_1 is de levertijd van de eerste leverancier dat beschouwd wordt als normaal verdeeld met gemiddelde μ_1 en variantie σ_1^2 . L_2 is de levertijd van de tweede leverancier dat eveneens beschouwd wordt als normaal verdeeld met gemiddelde μ_2 en variantie σ_2^2 . Beide levertijden zijn verschillende onafhankelijke, willekeurige levertijden van elkaar (Sculli en Wu, 1981).

De dichtheidsfunctie van Z indien de eerste leverancier als eerste levert, kan als volgt uitgedrukt worden:

$$f[Z(L_1 \leq L_2)] = N(Z, \mu_1, \sigma_1) \cdot \int_Z^{\infty} N(t, \mu_2, \sigma_2) dt, \quad 0 \leq Z \leq \infty. \quad (5)$$

De functie $N(Z, \mu_1, \sigma_1)$ is de normale dichtheidsfunctie van de eerste leverancier met gemiddelde μ_1 en standaardafwijking σ_1 . De functie $N(t, \mu_2, \sigma_2)$ is de dichtheidsfunctie van de tweede leverancier met gemiddelde μ_2 en standaardafwijking σ_2 . De levering van deze leverancier gebeurt nadat de eerste levering heeft plaatsgevonden, dus tijdens de periode $[Z, \infty]$.

Een gelijkaardige uitdrukking kan eveneens verkregen worden voor de dichtheidsfunctie van Z indien de tweede leverancier als eerste levert. Aangezien beide situaties wederzijds uitsluitend zijn, namelijk de leverancier die als eerste levert verhindert de andere leverancier om als eerste te leveren, kunnen de twee uitdrukkingen gesommeerd worden om de dichtheidsfunctie van Z te bekomen:

$$f(Z) = N(Z, \mu_1, \sigma_1) \cdot \int_Z^{\infty} N(t, \mu_2, \sigma_2) dt + N(Z, \mu_2, \sigma_2) \cdot \int_Z^{\infty} N(t, \mu_1, \sigma_1) dt, \quad 0 \leq Z \leq \infty. \quad (6)$$

Alhoewel bovenstaande functie $f(Z)$ vier parameters heeft, kan dit aantal naar twee parameters worden gereduceerd via de volgende lineaire transformatie:

$$v = \frac{(Z - \mu_2)}{\sigma_2}. \quad (7)$$

Via deze transformatie wordt een normaal verdeelde variabele Z met gemiddelde μ_2 en variantie σ_2^2 omgezet in een standaardnormale variabele v (Gujarati, 2003). Een belangrijk kenmerk van een standaardnormale variabele is haar gemiddelde waarde van 0 en variantie 1. Na vervanging van (7) in (6) kan de aangepaste dichtheidsfunctie als volgt worden herschreven:

$$g(v) = N(v, 0, 1) \cdot \int_v^{\infty} N(t, A, B) dt + N(v, A, B) \cdot \int_v^{\infty} N(t, 0, 1) dt \quad (8)$$

met $A = \frac{(\mu_1 - \mu_2)}{\sigma_2}$ en $B = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$.

De gemiddelde waarde μ_v en de standaardafwijking σ_v van de standaardnormale variabele v kan nu uit de tabel in bijlage 1 worden gehaald. Deze tabel met twee parameters werd door Sculli en Wu (1981) berekend met behulp van numerieke integratie.

Het gemiddelde en de standaardafwijking van Z kan nu bekomen worden voor om het even welke waarden voor de vier parameters. De volgende stappen dienen hiervoor gevolgd te worden:

1. Bereken B , waarbij $B = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$. B moet altijd kleiner zijn dan 1. Dit is altijd mogelijk aangezien L_1 en L_2 onderling verwisseld kunnen worden in formule (4).
2. Bereken A , waarbij $A = \frac{(\mu_1 - \mu_2)}{\sigma_2}$.
3. Haal uit de tabel in bijlage 1 de waarden voor μ_v en σ_v .
4. Bereken de gemiddelde waarde van Z : $\mu_z = \mu_2 + \mu_v \cdot \sigma_2$. (9)
5. Bereken de standaardafwijking van Z : $\sigma_z = \sigma_v \cdot \sigma_2$. (10)

Hierbij veronderstellen Sculli en Wu (1981) dat de effectieve levertijd Z eveneens normaal verdeeld is zoals de levertijd van elke leverancier afzonderlijk. Daarnaast wordt de vraag gedurende de effectieve levertijd ook verondersteld normaal verdeeld te zijn (Sculli en Wu, 1981).

3.3.2 Tussenaankomsttijd

De tussenaankomsttijd is de tijd tussen de aankomsten van de twee leveringen voor bevoorrading indien de bestellingen, één voor elke leverancier, op hetzelfde ogenblik worden

geplaatst. De verdeling van deze tussenaankomsttijd wordt genoteerd via de willekeurige variabele T , waarbij:

$$T = |L_1 - L_2|. \quad (11)$$

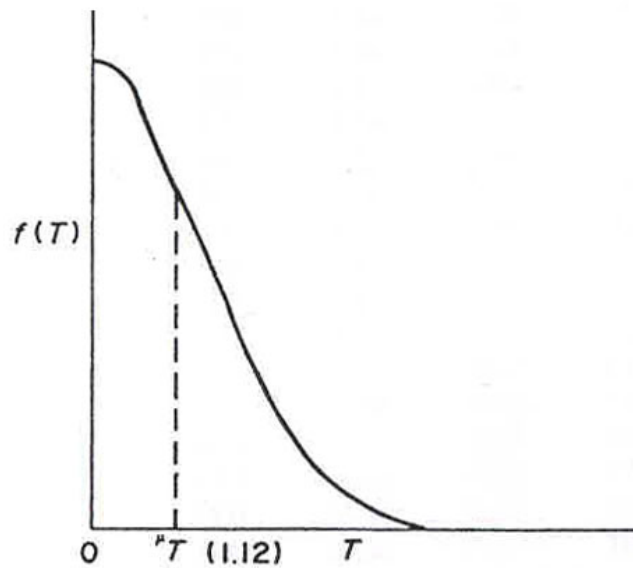
L_1 en L_2 werden reeds eerder verklaard, en zijn respectievelijk de levertijd van de eerste leverancier en de levertijd van de tweede leverancier. De verdeling van T kan afgeleid worden door eerst de tekens van vaste waarde uit bovenstaande vergelijking te negeren. Sculli en Wu (1981) veronderstellen dat deze verdeling normaal verdeeld is met gemiddelde p en standaardafwijking q :

$$p = \mu_1 - \mu_2 \quad \text{en} \quad q = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}. \quad (12)$$

Om de werkelijke dichtheidsfunctie van T te bekomen, d.w.z. de tekens van vaste waarde herintroduceren, moet de negatieve kant van de normale verdeling omgevouwd worden naar de positieve zijde. Dit geeft de volgende dichtheidsfunctie voor T :

$$f(T) = \frac{e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(T-p)}{q}\right]^2} + e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(T+p)}{q}\right]^2}}{q\sqrt{2\pi}}, \quad 0 \leq T \leq \infty. \quad (13)$$

De verdeling van T indien L_1 en L_2 twee onafhankelijke standaardnormale variabelen zijn, wordt weergegeven in figuur 4.



Figuur 4: Verdeling van de tussenaankomsttijd indien $\mu_1 = \mu_2 = 0$ en $\sigma_1 = \sigma_2 = 1$ (Bron: Sculli en Wu, 1981).

Hoewel de functie $f(T)$ twee parameters heeft, namelijk p en q , kan dit aantal gereduceerd worden naar slechts één parameter na volgende transformatie:

$$x = T/p \quad \text{en} \quad p \neq 0. \quad (14)$$

De dichtheidsfunctie van x kan na substitutie als volgt worden herschreven:

$$g(x) = \frac{e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{(x-1)}{c} \right]^2} + e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{(x+1)}{c} \right]^2}}{\sqrt{2\pi}} \quad (15)$$

$$c = q/p, \quad 0 \leq T \leq \infty.$$

Via numerieke integratie werden waarden voor het gemiddelde en de standaardafwijking van x in tabelvorm omgezet (zie tabel in bijlage 2). Deze tabel kan gebruikt worden om het gemiddelde en de standaardafwijking van T te berekenen, namelijk μ_T en σ_T . Volgende stappen dienen hiervoor gehanteerd te worden:

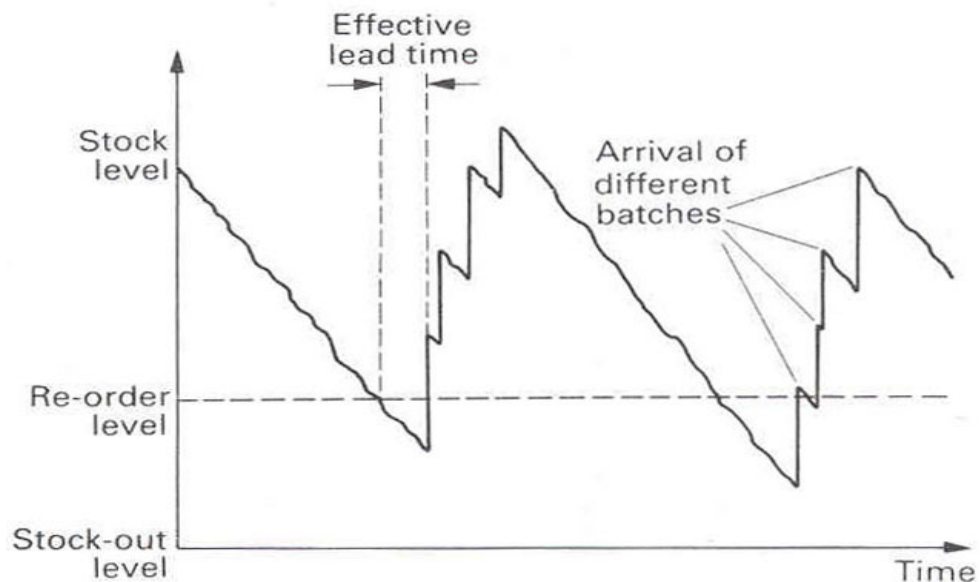
1. Bereken p , waarbij $p = |\mu_1 - \mu_2|$.
2. Bereken q , waarbij $q = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$.

3. Indien $p = 0$: de overeenkomstige waarden voor μ_T en σ_T kunnen gevonden worden in de rechterzijde van de tabel in bijlage 2.
4. Indien $p \neq 0$: bereken c , waarbij $c = q/p$. De corresponderende waarden voor μ_x en σ_x kunnen gevonden worden in de linkerzijde van de tabel in bijlage 2. De waarden voor μ_T en σ_T worden vervolgens berekend via onderstaande formules:

$$\mu_T = \mu_x \cdot p \quad \text{en} \quad \sigma_T = \sigma_x \cdot p. \quad (16)$$

3.3.3 Uitbreiding naar multiple sourcing

Sculli en Shum (1990) hebben in het artikel 'Analysis of a Continuous Review Stock-control Model with Multiple Suppliers' bovenstaand model nadien uitgebreid voor meerdere leveranciers. Het objectief van dit uitgebreid model is het bepalen van het gemiddelde en de variantie van de effectieve levertijd indien meer dan twee leveranciers worden gebruikt om een bepaald product te bestellen.



Figuur 5: Grafische voorstelling van een aankoopbeleid met vier leveranciers (Bron: Sculli en Shum, 1990).

Het voorraadniveau wordt grafisch weergegeven in figuur 5 waarbij een bestelling gesplitst wordt over vier verschillende leveranciers. De tijd tussen het plaatsen van de vier orders en de eerste levering varieert, maar is telkens de eerste levering van de vier orders die gelijktijdig werden geplaatst. Deze tijd noemt de effectieve levertijd van het *multiple sourcing* model.

Berekening van de effectieve levertijd

De levertijd is afhankelijk van verschillende factoren die niet te beheersen zijn en wordt daarom beschouwd als een willekeurige variabele. Om de verdeling van een levertijd te bepalen, zijn gegevens van vroegere levertijden nodig. Via historische gegevens kan het gemiddelde en de variantie van levertijden voor elke leverancier afzonderlijk berekend worden. Bij de bespreking die volgt beschouwen Sculli en Shum (1990) levertijden met een normale verdeling.

De bestelling voor bevoorrading wordt gesplitst in n delen, waarbij n het aantal onafhankelijke leveranciers is waar de orders gelijktijdig worden geplaatst. Er worden geen beperkingen opgelegd op de grootte van elk deel. Bovendien wordt verondersteld dat er geen stockbreuk voorkomt, zelfs nadat het kleinste deel wordt geleverd. Overigens wordt ook aangenomen dat de totale bestelhoeveelheid voldoende groot is zodat alle gesplitste orders reeds geleverd werden voordat een nieuwe bestelling moet worden geplaatst.

De levertijd van leverancier i , L_i , wordt verondersteld onafhankelijk te zijn van de andere leveranciers en heeft de normale dichtheidsfunctie $f_i(L_i)$, waarbij $i=1, \dots, n$. De effectieve levertijd is de kleinste van alle levertijden omdat de eerste levering het gevaar op stockbreuk opheft. De dichtheidsfunctie van de effectieve levertijd, $f(Z)$, staat als volgt in verband met de individuele levertijden. De i^{de} leverancier levert het eerst indien $L_j > L_i$, voor alle j waarbij $j \neq i$:

$$f(Z | Z = L_i) = f_i(L_i) \cdot \text{Pr ob}(L_j > L_i), \quad \text{voor alle } j \text{ waarbij } j \neq i. \quad (17)$$

Aangezien de leverancier die als eerste levert de andere leveranciers uitsluit om ook als eerste te leveren, kan de effectieve levertijd $f(Z)$ bekomen worden door bovenstaande vergelijking te sommeren voor alle i :

$$f(Z) = \sum_{i=1}^n f(Z | Z = L_i) = \sum_{i=1}^n \left(f_i(L_i) \times \prod_{j=1, j \neq i}^n \int_Z^{\infty} f_j(t) dt \right). \quad (18)$$

Het gemiddelde μ_Z en de standaardafwijking σ_Z van de effectieve levertijd kan in theorie bekomen worden door bovenstaande vergelijking te integreren. Deze vergelijking is enkel bruikbaar als symbolische uitdrukking omdat het vrijwel onmogelijk is dit vanuit rekenstandpunt te berekenen (Sculli en Shum, 1990).

Een alternatieve wijze die Sculli en Shum (1990) aanhalen om het minimum van een dergelijke reeks te berekenen, is een theorie door Clark (1961; geciteerd door Sculli en Shum, 1990) om het maximum van een reeks normale variabelen te bepalen. Het minimum kan namelijk als volgt gerelateerd worden met het maximum:

$$\min(L_1, \dots, L_n) = -\max(-L_1, \dots, -L_n). \quad (19)$$

De beredenering van Clark (1961; geciteerd door Sculli en Shum) voor het maximum van twee onafhankelijke normale variabelen met gemiddelde μ_1 en μ_2 met een variantie van respectievelijk σ_1^2 en σ_2^2 , kan eenvoudig herschreven worden om het gemiddelde E_2 en de variantie V_2 te berekenen van het minimum van twee normale variabelen. Hiervoor kunnen volgende formules gebruikt worden:

$$E_2 = -[(-\mu_1)\varphi(\alpha_2) + (-\mu_2)\varphi(-\alpha_2) + a_2\psi(\alpha_2)] \quad (20)$$

$$V_2 = (\mu_1^2 + \sigma_1^2)\varphi(\alpha_2) + (\mu_2^2 + \sigma_2^2)\varphi(-\alpha_2) + [(-\mu_1) + (-\mu_2)]a_2\psi(\alpha_2) - E_2^2 \quad (21)$$

waarbij $a_2^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$, $\alpha_2 = \frac{(-\mu_1) - (-\mu_2)}{a_2}$, $\psi(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2}\right)$ (22)

$$\text{en } \varphi(\alpha) = \int_{-\infty}^{\alpha} \psi(t) dt . \quad (23)$$

Via deze benadering behaalde Clark (1961; geciteerd door Sculli en Shum, 1990) goede benaderingen voor het geval waarin meer dan twee variabelen betrokken zijn, dit door te veronderstellen dat het maximum van twee normale variabelen eveneens normaal is. Deze veronderstelling kan evengoed gebruikt worden in het geval van het minimum van een set normale variabelen.

Indien wordt verondersteld dat $\min(N_1, \dots, N_{n-1})$ een willekeurige normale variabele is, dan is $\min[\min(N_1, \dots, N_{n-1}), N_n]$ eveneens een normale variabele. Hiervoor kan vervolgens het gemiddelde en de variantie berekend worden, waarbij dit eigenlijk het gemiddelde en de variantie van $\min(N_1, \dots, N_n)$ is (Sculli en Shum, 1990).

Via deze stapsgewijze methode wordt begonnen met twee levertijden om een eerste tijdelijke effectieve levertijd te berekenen. Het gemiddelde en de variantie van deze tijdelijke effectieve levertijd wordt respectievelijk berekend aan de hand van formule (20) en (21). Vervolgens wordt een nieuwe levertijd van een derde leverancier geïntroduceerd waarna deze wordt vergeleken met de tijdelijke effectieve levertijd uit de vorige stap. De nieuwe tijdelijke effectieve levertijd met gemiddelde en variantie wordt eveneens berekend aan de hand van formules (20) en (21). Deze stappen worden steeds herhaald tot leverancier n werd geïntroduceerd.

Het gemiddelde en de variantie van de uiteindelijk effectieve levertijd kan analytisch weergegeven worden aan de hand van volgende uitdrukkingen:

$$\mu_Z = E_n = -[(-E_{n-1})\varphi(\alpha_n) + (-\mu_n)\varphi(-\alpha_n) + a_n\psi(\alpha_n)] \quad (24)$$

$$\sigma_Z^2 = V_n = (E_{n-1}^2 + V_{n-1})\varphi(\alpha_n) + (\mu_n^2 + \sigma_n^2)\varphi(-\alpha_n) + [(-E_{n-1}) + (-\mu_n)]a_n\psi(\alpha_n) - E_n^2 \quad (25)$$

$$\text{waarbij } a_n^2 = V_{n-1} + \sigma_n^2, \quad \alpha_n = \frac{(-E_{n-1}) - (-\mu_n)}{a_n} \quad (26)$$

en n het aantal leveranciers in het *multiple sourcing* aankoopbeleid.

3.3.4 Veiligheidsvoorraad

Zoals eerder werd beschreven, is de veiligheidsvoorraad een bepaalde hoeveelheid bovenop de verwachte vraag gedurende de levertijd. In het geval de vraag gedurende de levertijd normaal verdeeld is met gemiddelde $\mu_{LD} = \mu_D \cdot \mu_L$ (zie formule (2) in paragraaf 2.3) en standaardafwijking σ_{LD} , dan geldt de definitie dat de veiligheidsvoorraad afhankelijk is van twee termen, namelijk van een vooraf bepaalde servicegraad en van de standaardafwijking van de vraag gedurende de levertijd (Tersine, 1994).

In een *multiple sourcing* beleid met σ_{LD} de standaardafwijking van de vraag gedurende de effectieve levertijd kan de veiligheidsvoorraad VV berekend worden via onderstaande formule:

$$VV = z \cdot \sigma_{LD} \quad (27)$$

$$\text{met } \sigma_{LD} = \sqrt{\mu_Z \cdot \sigma_D^2 + \mu_D^2 \cdot \sigma_Z^2}, \quad (28)$$

waarbij z het aantal standaardafwijkingen is van de veiligheidsvoorraad. Deze waarde wordt bepaald aan de hand van de standaardnormale verdeling, waarvan de gegevens kunnen teruggevonden worden in de tabel in bijlage 3. Een vaak gehanteerde servicegraad is 95%, hetgeen omgerekend een z -waarde van 1,645 geeft. Deze z -waarde blijft onveranderd waardoor de veiligheidsvoorraad enkel zal afhangen van de variabiliteit in de vraag gedurende de effectieve levertijd.

Wanneer de levertijden van alle leveranciers stochastisch zijn, wordt gemiddeld genomen een kortere effectieve levertijd bekomen in een *multiple sourcing* omgeving met identieke leveranciers dan in het geval van *single sourcing*. Bovendien heeft deze effectieve levertijd eveneens een kleinere variabiliteit omwille van dezelfde achterliggende reden (Sculli en Wu, 1981; Sculli en Shum, 1990). Meerdere leveranciers gelijktijdig gebruiken resulteert bijgevolg

in een vermindering van het gemiddelde en de variantie van de levertijd. Uit formule (28) blijkt dat een daling in zowel het gemiddelde als de variantie van de effectieve levertijd tot een daling in de standaardafwijking van de vraag gedurende de effectieve levertijd leidt.

Chiang en Benton (1994) besluiten hieruit dat, voor een gegeven servicegraad, de veiligheidsvoorraad kan gereduceerd worden. Dit kan inderdaad afgeleid worden uit formule (27) doordat een daling in de standaardafwijking tot een reductie van de veiligheidsvoorraad leidt. Wanneer niet wordt gekozen voor een verlaging van de veiligheidsvoorraad, dan kan een hogere servicegraad bereikt worden (Kelle en Silver, 1990).

3.3.5 Bestelpunt

De grootte van het bestelpunt is afhankelijk van twee delen, namelijk de verwachte vraag gedurende de levertijd en de veiligheidsvoorraad dat bepaald wordt door de servicegraad. Aan de hand van onderstaande formule kan het bestelpunt R berekend worden (Tersine, 1994):

$$R = \mu_D \cdot \mu_Z + z \cdot \sigma_{LD} \cdot \quad (29)$$

Het tweede deel uit formule (29) wijst erop dat het bestelpunt afhankelijk is van de grootte van de veiligheidsvoorraad, zoals wordt afgeleid uit formule (27). Het eerste deel kan omschreven worden als de gemiddelde (verwachte) vraag gedurende de levertermijn. Uit historische gegevens wordt de gemiddelde vraag per tijdseenheid μ_D bepaald, waarna deze vraag wordt vermenigvuldigd met de duur van de levertijd in aantal tijdseenheden.

Het bestelpunt in het *dual sourcing* model is bijgevolg lager vergeleken met het *single sourcing* model. Dit komt doordat de effectieve levertijd in het *dual sourcing* model een verdeling heeft waarvan het gemiddelde en de standaardafwijking lager ligt dan het gemiddelde en de standaardafwijking van elke leverancier afzonderlijk (Ramasesh et al., 1991).

3.4 Levertijden met Gamma verdeling

3.4.1 De effectieve levertijd

Voorgaande studies hebben echter vastgesteld dat levertijden het vaakst gekenmerkt worden door een Gamma verdeling. Vergeleken met een normale verdeling, vertoont de Gamma verdeling een helling met een lange staart naar rechts. Volgens Ramasesh et al. (1991) leidt deze eigenschap van de Gamma verdeling in een *dual sourcing* model tot een grotere reductie in de variabiliteit van de effectieve levertijd vergeleken met normale verdelingen.

Een model om het gemiddelde en de standaardafwijking van de effectieve levertijd te berekenen waarbij de levertijd van elke leverancier een Gamma verdeling heeft, is analytisch moeilijk te berekenen (Hayya et al., 1987). Bovendien heeft een dergelijke uitwerking immers weinig zin. Via een simulatie is het namelijk mogelijk deze gegevens te berekenen voor willekeurige levertijden en betrouwbaarheid.

De dichtheidsfunctie f van een Gamma verdeling met parameters $\alpha > 0$ en $\beta > 0$ kan als volgt worden uitgedrukt:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\Gamma(\alpha)} & \text{voor } x > 0 \\ 0 & \text{elders} \end{cases} \quad (30)$$

waarbij Γ de volledige Gamma functie is met $\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$. De parameter α is de vormparameter en β is de schaalparameter, beiden zijn positieve waarden.

Het gemiddelde en de variantie van een Gamma verdeling kan berekend worden aan de hand van volgende formules:

$$E(X) = \alpha \cdot \beta \quad \text{en} \quad V(X) = \alpha \cdot \beta^2. \quad (31)$$

Wanneer L de levertijd is van de eerste levering en T de tijd tussen twee leveringen, dan kan de marginale dichtheidsfunctie van de effectieve levertijd als volgt geschreven worden:

$$f(Z | Z = L) = \int_0^\infty f_1(L, \alpha_1, \beta_1) f_2(L + T, \alpha_2, \beta_2) dt + \int_0^\infty f_2(L, \alpha_2, \beta_2) f_1(L + T, \alpha_1, \beta_1) dt. \quad (32)$$

De eerste integraal in bovenstaande functie is het geval waarin de eerste leverancier met dichtheidsfunctie f_1 en parameters α_1 en β_1 als eerste levert met een levertijd L. In het tweede gedeelte levert de tweede leverancier als eerste, en de eerste leverancier als laatste met een tijd van L+T. Deze vergelijking is geldig doordat beide situaties wederzijds uitsluitend zijn, de ene leverancier verhindert de andere namelijk om als eerste te leveren.

In de veronderstelling dat de effectieve levertijd waarbij de afzonderlijke levertijden Gamma verdeeld zijn eveneens Gamma verdeeld is, dan kan de dichtheidsfunctie van de effectieve levertijd Z als volgt uitgedrukt worden:

$$f(Z) = \frac{\beta^{-\alpha} Z^{\alpha-1} e^{-Z/\beta}}{\Gamma(\alpha)}, \quad 0 \leq Z \leq \infty. \quad (33)$$

3.4.2 Tussenaankomsttijd

De tussenaankomsttijd is de tijd tussen de twee leveringen in een *dual sourcing* beleid. De grootte van de tussenaankomsttijd is van minder belang indien de totale bestelhoeveelheid voldoende groot is. Om een stockbreuk gedurende de tussenaankomsttijd te vermijden, dient de eerste levering met een hoeveelheid van Q/2 eenheden voldoende groot te zijn om tegemoet te komen aan de vraag gedurende de tussenaankomsttijd.

3.4.3 Vraag gedurende de levertijd

De verdeling van de vraag gedurende de levertijd is essentieel voor het bepalen van de veiligheidsvoorraad. De grootte van de veiligheidsvoorraad is namelijk afhankelijk van zowel de variabiliteit van de vraag als van de levertijd (Bagchi et al., 1984). Om de verdeling van de vraag gedurende de effectieve levertijd te bepalen, dient rekening te worden gehouden met de verdeling van de vraag en de verdeling van de effectieve levertijd (Bagchi et al., 1984).

De vraag per tijdseenheid wordt verondersteld een normale verdeling te hebben (zie paragraaf 2.3). De dichtheidsfunctie van de vraag gedurende een vaste tijdsperiode Z kan als volgt worden genoteerd (Burgin, 1972):

$$f(D | Z) = \frac{1}{\sigma_D \sqrt{2\pi Z}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{D - Z\mu_D}{\sigma_D \sqrt{Z}} \right)^2} \quad (34)$$

Indien de dichtheidsfunctie van de effectieve levertijd een Gamma verdeling heeft zoals in formule (33), dan kan de dichtheidsfunctie van de vraag gedurende de effectieve levertijd als volgt geschreven worden (Burgin, 1972):

$$f(LD) = \int_0^{\infty} f(D | Z) f(Z) dZ \quad (35)$$

↓

$$f(LD) = \frac{2\beta^{-\alpha}}{\Gamma(\alpha)\sigma_{LD}\sqrt{2\pi}} \left(\frac{LD}{\theta} \right)^{\alpha-(1/2)} K_{\alpha-(1/2)} \left(\frac{LD \cdot \theta}{\sigma_{LD}^2} \right) e^{\left(\frac{\mu_{LD} \cdot LD}{\sigma_{LD}^2} \right)} \quad (36)$$

$$\text{met } \theta^2 = \mu_{LD}^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \sigma_{LD}^2$$

waarbij K naar de Bessel functie van het denkbeeldig argument verwijst (Burgin., 1972).

Bovenstaande vergelijking is de dichtheidsfunctie van de vraag gedurende de effectieve levertijd, waarbij de vraag per tijdseenheid normaal verdeeld is en de levertijd Gamma

verdeeld is. Volgens experimentele bevindingen van Burgin (1972) benadert de verdeling van de vraag gedurende de levertijd een Gamma verdeling. In het verdere verloop van de studie wordt de vraag gedurende de effectieve levertijd bijgevolg verondersteld Gamma verdeeld te zijn.

In het onderzoeksgedeelte zal worden nagegaan wat de werkelijke verdeling van de vraag gedurende de effectieve levertijd is. Dit is namelijk mogelijk door de bekomen resultaten uit een simulatie te analyseren met de *Input Analyzer* van het simulatiesoftwarepakket Arena.

3.4.4 Bestelpunt en veiligheidsvoorraad

De kans op een stockbreuk voor een bepaald product is de waarschijnlijkheid dat de vraag gedurende de levertijd het bestelpunt R overschrijdt (Yeh et al., 1997). Bij een servicegraad van α is de kans op een stockbreuk $(1-\alpha)$. Bij continue verdelingen wordt de kans op een stockbreuk gelijkgesteld aan de integraal van de dichtheidsfunctie van de vraag gedurende de levertijd vanaf het bestelpunt tot in de oneindigheid (Lambrecht, 1994):

$$\text{Pr ob}[LD > R] = \int_R^{\infty} f(LD)dLD = (1 - \alpha). \quad (37)$$

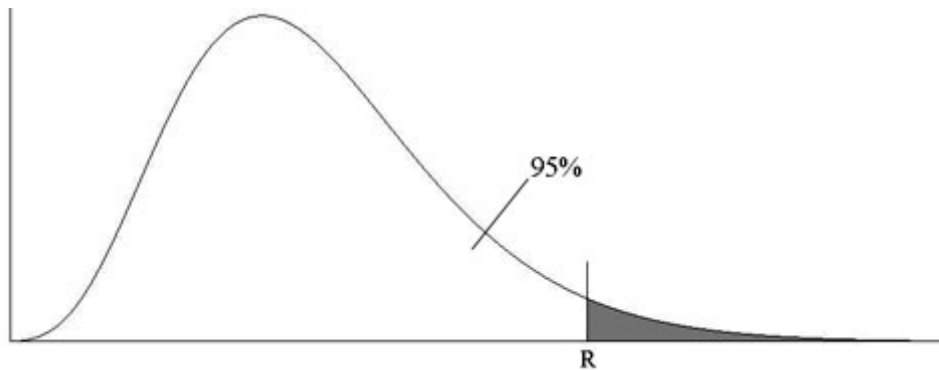
Bij het bepalen van het bestelpunt dient bijgevolg een servicegraad vastgelegd te worden. Volgens de eerste definitie voor de servicegraad α (zie paragraaf 2.5.1) is deze servicegraad de verhouding van het aantal levertermijnen zonder tekorten op het totaal aantal levertermijnen. Het bestelpunt R kan vervolgens bepaald worden door de servicegraad gelijk te stellen aan de waarschijnlijkheid dat de grootte van het bestelpunt voldoende is om tegemoet te komen aan de vraag gedurende de levertijd:

$$\text{Pr ob}[LD \leq R] \leq \alpha. \quad (38)$$

Een vaak gehanteerde servicegraad is 95%, hetgeen betekent dat het bestelpunt voor 95 levertermijnen op 100 voldoende groot is om te voldoen aan de vraag gedurende de levertijd. De waarschijnlijkheid dat het bestelpunt voldoende is bij een servicegraad van 95% wordt als volgt uitgedrukt:

$$\text{Pr ob}[X_{\text{Gamma}(\alpha,\beta)} \leq R] \leq 95\% \quad (39)$$

waarbij $X_{\text{Gamma}(\alpha,\beta)}$ de grootte van de vraag gedurende de levertijd is met een Gamma verdeling met parameters α en β . Het bestelpunt R is het punt waarbij 95% van de cumulatieve verdelingsfunctie van de vraag gedurende de levertijd is afgedekt (zie figuur 6).



Figuur 6: Bestelpunt R met een servicegraad van 95%.

De cumulatieve verdelingsfunctie van de vraag gedurende de levertijd kan als volgt worden uitgedrukt:

$$F(R; \alpha, \beta) = \int_0^R G(\alpha, \beta) dLD = 0,95 \quad (40)$$

waarbij $G(\alpha, \beta)$ de dichtheidsfunctie met Gamma verdeling is van de vraag gedurende de levertijd. Om het bestelpunt R te bepalen, dient de inverse van deze Gamma verdeling genomen te worden.

De grootte van de veiligheidsvoorraad kan bepaald worden door het verschil tussen het bestelpunt en de gemiddelde vraag gedurende de levertijd te nemen. De veiligheidsvoorraad

wordt dus beschouwd als het aantal eenheden in voorraad dat beschikbaar is indien de werkelijke vraag gedurende de levertijd de verwachte vraag overstijgt (Tersine, 1994).

$$VV = R - \mu_{LD} \quad (41)$$

3.5 Besluit

Bovenstaande techniek van *multiple sourcing* waarbij de effectieve levertijd wordt berekend, baseert zich op twee of meerdere identieke leveranciers. Identieke leveranciers zijn leveranciers die dezelfde leverkenmerken hebben, met name dezelfde levertijd en betrouwbaarheid. In dit geval is het mogelijk een effectieve levertijd te bekomen die korter is dan de gemiddelde levertijd van elke leverancier afzonderlijk. Als voorwaarde mag dezelfde leverancier niet steeds als eerste leveren, de eerste levering moet dus afwisselend gebeuren van leverancier. De effectieve levertijd bij *multiple sourcing* is bijgevolg korter waardoor het bestelpunt later kan gezet worden. Dit resulteert in een daling van de veiligheidsvoorraad.

In het andere geval, namelijk dat steeds dezelfde leverancier als eerste levert, is de effectieve levertijd gelijk aan de levertijd van deze leverancier. In het beste geval kan de onderneming overschakelen naar een *single sourcing* beleid waarbij enkel bij deze leverancier wordt besteld.

Latere studies hebben echter uitgewezen dat een *multiple sourcing* beleid met niet-identieke leveranciers, dit zijn leveranciers die een verschillende levertijd en betrouwbaarheid hebben, eveneens voordelen kan opleveren. Bij een order splitsing volgen de verschillende leveringen elkaar op in tijd. Volgens Ganeshan et al. (1999) leiden opeenvolgende leveringen door niet-identiek leveranciers tot een reductie van cyclusvoorraden die groter is dan de reductie van veiligheidsvoorraden met identieke leveranciers. Dit zal in het volgend hoofdstuk besproken worden.

Hoofdstuk 4: Effect van order splitsing op cyclusvoorraad

4.1 Uitgangspunt

Voorgaande studies die het effect van order splitsing op de effectieve levertijd bestudeerden, hebben een eerste aanzet gegeven om het effect van order splitsing op de gemiddelde cyclusvoorraad te onderzoeken. Bij een order splitsing worden meerdere bestellingen gelijktijdig geplaatst bij verschillende leveranciers. Doordat levertermijnen van leveranciers stochastisch worden bepaald, gaan leveringen niet gelijktijdig plaatsvinden, maar zullen deze leveringen elkaar opvolgen in tijd. Deze tussenaankomsttijd gaat een positieve invloed hebben op de gemiddelde cyclusvoorraad. Volgens Thomas en Tyworth (2005) leiden opeenvolgende leveringen van kleine gesplitste orders immers tot een reductie in de gemiddelde cyclusvoorraad.

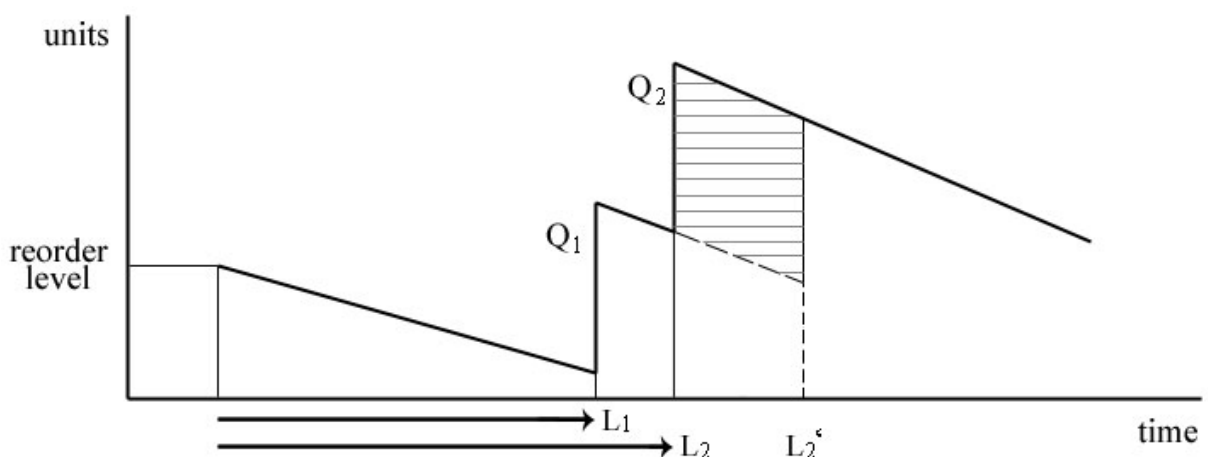
Bij het concept van effectieve levertijd worden gelijkaardige leveranciers verondersteld op vlak van levertijden en betrouwbaarheid. Omdat identieke leveranciers bij benadering eenzelfde gemiddelde levertijd hebben, hebben de twee leveringen in een *dual sourcing* beleid plaats met een redelijk korte tussenaankomsttijd ten opzichte van de effectieve levertijd. De gemiddelde tussenaankomsttijd kan echter wijzigen naarmate de betrouwbaarheid van leveranciers. Bij onbetrouwbare leveranciers bestaat een grotere onzekerheid in levertijden. Hierdoor gaat de tussenaankomsttijd tussen de verschillende leveringen groter worden. Als voorwaarde mogen de levertijden echter niet positief correleren (Thomas en Tyworth, 2005).

Om een langere tussenaankomsttijd tussen twee leveringen te bekomen, opteren Ganeshan et al. (1999) in een *dual supplier* omgeving voor een tweede leverancier met een langere gemiddelde levertijd vergeleken met de eerste leverancier. Deze techniek leidt volgens Ganeshan et al. (1999) tot een reductie in de gemiddelde cyclusvoorraad die groter is dan de reductie in veiligheidsvoorraad volgens het principe van de effectieve levertijd.

Een optimale reductie is mogelijk indien de tweede levering plaats heeft op het ogenblik dat de eerste levering uitgeput raakt. Volgens Thomas en Tyworth (2005) kan een order splitsing van Q eenheden in n gelijke hoeveelheden, verdeeld over n verschillende leveranciers, in dit geval leiden tot een reductie van de gemiddelde cyclusvoorraad van $Q/2$ eenheden tot $(Q/n)/2$ eenheden. Deze optimale reductie is echter enkel mogelijk met deterministische levertijden en een constante vraag. Indien deze gegevens gekend zijn, kan het optimaal bestelpunt en de optimale bestelhoeveelheid berekend worden opdat de eindvoorraad bij elke levering gelijk is aan nul (Lambrecht, 1994).

4.2 Order splitsing

De gemiddelde cyclusvoorraad kan benaderd worden aan de hand van de formule $Q/2$. Dit is in de veronderstelling dat de totale voorraad met Q eenheden stijgt op hetzelfde ogenblik, namelijk alle eenheden worden op hetzelfde ogenblik geleverd. Omdat levertijden stochastisch zijn, hebben de verschillende leveringen niet plaats op hetzelfde ogenblik. De cyclusvoorraad gaat bijgevolg op verschillende tijdstippen stijgen zoals wordt aangetoond in figuur 7. In dit voorbeeld worden orders gelijk verdeeld over twee leveranciers met willekeurige, onafhankelijke levertijden L_1 voor de eerste leverancier en L_2 voor de tweede leverancier.



Figuur 7: Effect van order splitsing op de cyclusvoorraad.

Indien beide leveranciers gelijkaardige levertijden hebben, zullen de leveringen van Q_1 en Q_2 kort na elkaar volgen. De eerste levering vindt plaats met een levertijd van L_1 , hetgeen de cyclusvoorraad doet stijgen met Q_1 eenheden. De levering van de tweede leverancier heeft plaats met een levertermijn van L_2 en doet de voorraad stijgen met Q_2 eenheden, zoals blijkt uit figuur 7. De tussenaankomsttijd is de tijd tussen deze twee leveringen.

Indien de gemiddelde levertijd van de tweede leverancier echter langer is dan de gemiddelde levertijd van de eerste leverancier, zullen de twee leveringen met een langere tussenaankomsttijd plaatsvinden. Deze situatie wordt eveneens voorgesteld in figuur 7, waarbij L_2' de nieuwe levertijd is van de tweede leverancier. Het gearceerde gebied is het verschil in voorraadreductie ten opzichte van de vorige situatie. Wanneer de geleverde hoeveelheid Q_1 voldoende groot is om tegemoet te komen aan de vraag gedurende de tussenaankomsttijd, is het voordeliger om een tweede leverancier te kiezen met een langere levertijd.

4.3 Levertijdvoorwaarden

Zoals blijkt uit bovenstaand voorbeeld, is het voordeliger om een tweede leverancier te kiezen met een langere gemiddelde levertijd. Ganeshan et al. (1999) stellen hierbij vast dat de eerste leverancier als gevolg het bepalend element is voor de servicegraad van het *dual sourcing* beleid. Vandaar dat vaak geopteerd wordt voor een betrouwbare leverancier als de leverancier met de kortste gemiddelde levertijd. De betrouwbaarheid van de tweede leverancier is van minder belang voor de servicegraad van het *dual sourcing* beleid. Ganeshan et al. (1999) beweren echter dat een twee leverancier met een mindere betrouwbaarheid vanuit economisch standpunt beter is. Dergelijke leveranciers met onzekere levertijden zijn namelijk bereid een betere prijs aan te bieden.

In het geval van twee niet-identieke leveranciers, namelijk een betrouwbare en een onbetrouwbare leverancier, is een ongelijke verdeling van de totale bestelhoeveelheid over twee leveranciers voordeliger. Wanneer de variabiliteit in levertijd van de tweede leverancier

groter is, is het voordeliger een kleinere hoeveelheid toe te wijzen aan deze leverancier (Ramasesh et al., 1993). Fong et al. (2000) stellen echter vast dat, indien de totale bestelhoeveelheid aanzienlijk groter is dan de vraag gedurende de tussenaankomsttijd, een kleinere gemiddelde cyclusvoorraad waargenomen wordt wanneer een kleinere bestelling wordt geplaatst bij de leverancier met de kortste levertijd. Bij een order splitsing via twee niet-identieke leveranciers is de grootte van de twee orders bijgevolg van belang. De grootte van de eerste levering dient voldoende te zijn om tegemoet te komen aan de vraag gedurende de tussenaankomsttijd.

4.4 Berekening cyclusvoorraad

Om de voorraadefficiënte van *dual sourcing* ten opzichte van *single sourcing* na te gaan, zullen beide soorten beleid besproken worden. De vraag per tijdseenheid is normaal verdeeld met gemiddelde μ_D en standaardafwijking σ_D .

4.4.1 Single sourcing

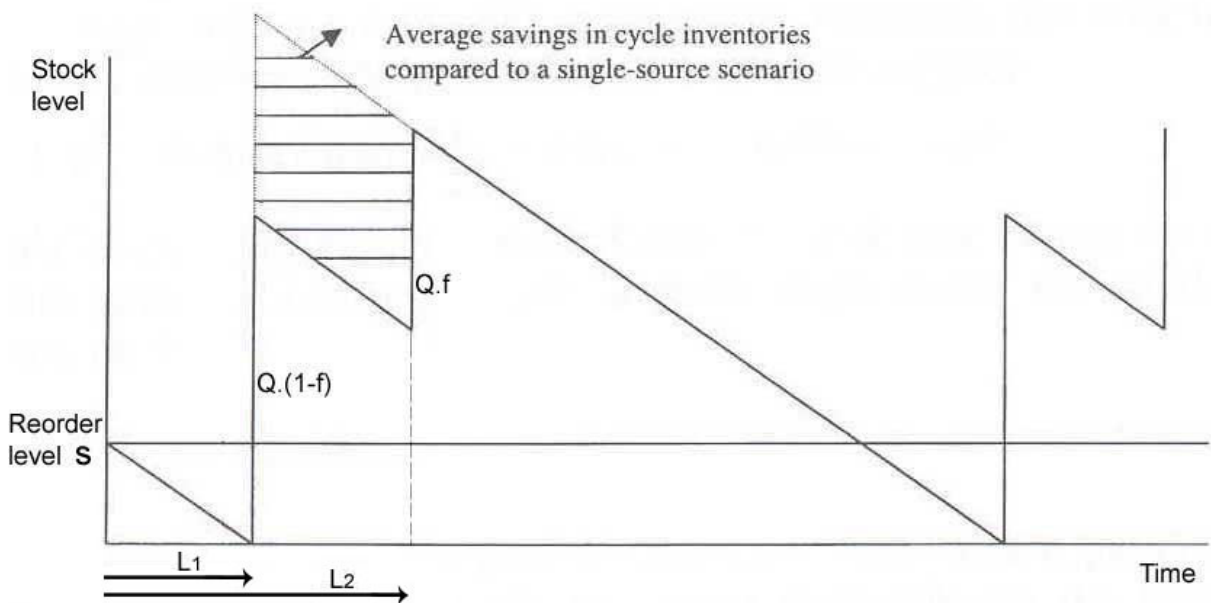
Bij *single sourcing* gaat de onderneming enkel bij de eerste betrouwbare leverancier met de kortste levertijd bestellen. Een totale bestelhoeveelheid van Q eenheden wordt geplaatst zodra het bestelpunt wordt bereikt. Deze levering gebeurt op hetzelfde ogenblik als de eerste levering bij *dual sourcing*. Het voorraadniveau stijgt echter meer omdat de totale bestelhoeveelheid niet werd gesplitst. De gemiddelde cyclusvoorraad I_c in dit beleid kan benaderd worden aan de hand van volgende formule:

$$I_c = Q/2. \quad (42)$$

4.4.2 Dual sourcing

In een *dual sourcing* beleid met order splitsing wordt de totale bestelhoeveelheid van Q eenheden gesplitst in twee delen. Zodra het bestelpunt wordt bereikt, worden deze twee gesplitste bestellingen gelijktijdig geplaatst bij de twee leveranciers. Aangezien een optimale splitsing volgens Ramasesh et al. (1993) bekomen wordt door een ongelijke verdeling, wordt een fractie f van de totale bestelhoeveelheid bij de onbetrouwbare leverancier geplaatst, hetgeen neerkomt op een bestelhoeveelheid van $Q \cdot f$ eenheden. Een bestelling met het verschil, namelijk $Q \cdot (1-f)$, wordt bij de betrouwbare leverancier geplaatst.

Het grootste order van de twee gesplitste orders komt het eerst aan met een levertijd van L_1 . Dit wordt steeds zo beschouwd omdat de tweede onbetrouwbare leverancier een langere gemiddelde levertijd heeft. De kans dat de tweede leverancier toch als eerste levert, wordt verwaarloosd. Het order dat bij de onbetrouwbare leverancier werd geplaatst, komt derhalve als laatste aan met een levertijd van L_2 . Doordat $L_1 < L_2$ wordt aangenomen, beweren Ganeshan et al. (1999) dat de eerste levering met levertijd L_1 het bepalende element is van de servicegraad van het *dual suppliers* aankoopmodel. Bij het bepalen van het bestelpunt zal bijgevolg enkel rekening moeten gehouden worden met de eerste leverancier.



Figuur 8: Single sourcing vs. dual sourcing (Bron: Ganeshan et al., 1999).

Aan de hand van figuur 8 kan grafisch eenvoudig weergegeven worden wat het voordeel van *dual sourcing* op *single sourcing* is op vlak van voorraadefficiëntie.

Het gearceerde gebied geeft het verschil in voorraadreductie weer indien wordt geopteerd voor een *dual sourcing* beleid met één betrouwbare en één onbetrouwbare leverancier, waarbij de onbetrouwbare leverancier een langere levertijd heeft. De gemiddelde cyclusvoorraad I_c bij *dual suppliers* kan gemakkelijk berekend worden door de oppervlakte van het gearceerde gebied af te trekken van de gemiddelde cyclusvoorraad $Q/2$ in het *single supplier* beleid. Hiervoor hanteren Ganeshan et al. (1999) volgende formule:

$$I_c = (Q/2) - (\mu_2 - \mu_1) \cdot \mu_D \cdot f . \quad (43)$$

Het laatste deel van de vergelijking is de totale oppervlakte van het gearceerde gebied. De eerste term hiervan is het verschil tussen de gemiddelde levertijden van beide leveranciers, en is bijgevolg de tijd tussen de twee opeenvolgende leveringen of de tussenaankomsttijd. De tweede term, namelijk μ_D , is de gemiddelde vraag per tijdseenheid. Het product van deze twee termen is de gemiddelde vraag gedurende de twee opeenvolgende leveringen. De laatste term is de fractie f van de totale bestelhoeveelheid Q dat werd besteld bij de onbetrouwbare leverancier. Het product van deze drie termen geeft een schatting van het gearceerde oppervlak (Ganeshan et al., 1999).

4.5 Besluit

Ramasesh et al. (1991) halen aan dat, indien de levertijden van beide leveranciers in een *dual sourcing* beleid verschillend zijn, het gelijktijdig aankopen bij deze leveranciers kan leiden tot besparingen in voorraadkosten. Een voorraad aanhouden vereist naast kapitaal ook kosten zoals verzekering, goederenbehandeling, goederenopslag, veroudering en bederf. Tersine (1994) maakt de vereenvoudigde veronderstelling dat deze aanhoudingskost in verhouding staat met de grootte van de voorraad. Een kleinere gemiddelde voorraad aanhouden kan bijgevolg leiden tot lagere kosten.

De minder betrouwbare leverancier kan bovendien een voordeel hebben voor de aankopende onderneming. Langere levertijden kunnen aantrekkelijk zijn omdat de leverancier geneigd is hiervoor een korting toe te wijzen aan de aankopende onderneming (Ganeshan et al., 1999).

Gelijktijdig aankopen bij twee verschillende leveranciers leidt echter ook tot hogere kosten. De belangrijkste component is wellicht de bestelkost die vermoedelijk zal stijgen ten opzichte van *single sourcing*. Daarnaast is er nog de transportkost. De transportkost per eenheid geleverd wordt verondersteld een dalende functie te zijn naargelang het totaal aantal te leveren eenheden (Ganeshan et al., 1999). Bij een order splitsing ligt de bestelhoeveelheid per leverancier echter lager dan bij *single sourcing*. Hogere transportkosten worden bijgevolg verwacht in het *dual sourcing* beleid.

Hoofdstuk 5: Simulatie met Arena

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden twee soorten van onderzoek besproken. Beide onderzoeken gebeuren aan de hand van een simulatiemodel dat werd opgesteld in het simulatiesoftwarepakket Arena 7.01.

Het eerste onderzoek beschouwt twee identieke leveranciers op vlak van leverkenmerken. Aan de hand van het simulatiemodel zullen enkele simulaties worden uitgevoerd waarbij de effectieve levertijd, de tussenaankomsttijd en de vraag gedurende de effectieve levertijd in een *dual sourcing* model worden berekend. De bekomen gegevens zullen vervolgens worden geanalyseerd om het effect van order splitsing op de veiligheidsvoorraad en de gemiddelde cyclusvoorraad na te gaan. Dit gebeurt zowel door het *dual sourcing* model te vergelijken met *single sourcing* als de verschillende simulaties van *dual sourcing* onderling te vergelijken.

Het tweede onderzoek baseert zich op twee verschillende leveranciers, zowel op vlak van gemiddelde levertijd als leverbetrouwbaarheid. Omwille van verschillende levertijden zullen de twee leveringen elkaar met een grotere tussentijd opvolgen in tijd. In dit onderzoek wordt bijgevolg nagegaan wat de invloed van de tussenaankomsttijd op de gemiddelde cyclusvoorraad is.

5.2 Simulatiemodel

Het opgesteld model (zie figuur in bijlage 4) bevat één entiteit, namelijk de bestellingen. Per bestelling worden twee orders gelijktijdig geplaatst bij twee verschillende leveranciers. Vandaar dat twee verschillende variabelen worden geïdentificeerd, elke variabele stelt één levertijd voor met een Gamma verdeling en wordt respectievelijk als LT1 en LT2 genoteerd.

Om de effectieve levertijd na te gaan, wordt een derde variabele toegewezen. Deze variabele bestaat telkens uit de kortste tijd van LT1 en LT2, en wordt genoteerd als *EffectiveLT*. Daarnaast wordt de tussenaankomsttijd bijgehouden, dit is het tijdsverschil tussen LT1 en LT2. Dit gebeurt aan de hand van de variabele *InterarrivalTime* en wordt berekend door de absolute waarde van het verschil tussen LT1 en LT2 te nemen. Een laatste variabele is de vraag die normaal verdeeld is, deze zal nodig zijn voor het berekenen van de vraag gedurende de effectieve levertijd.

Elke simulatierun heeft een duurtijd van 1000 replicaties. Het simulatiemodel wordt opgesteld zodat de statistieken van vier verschillende waardes door Arena worden bijgehouden bij elke simulatierun. Deze zijn de LT1, LT2, *InterarrivalTime* en *EffectiveLT*. Bovendien worden deze waardes voor elke run weggeschreven in een tekstbestand. Dit maakt het mogelijk om enkele statistieken zoals het gemiddelde en de standaardafwijking van deze gegevens te berekenen via de *Input Analyzer* van Arena.

Daarnaast wordt de vraag gedurende de effectieve levertijd weggeschreven in een tekstbestand. Via de *Input Analyzer* wordt nagegaan welke verdeling de vraag gedurende de effectieve levertijd heeft. De bekomen parameters voor de verdeling zullen nadien gebruikt worden om het bestelpunt R bij een servicegraad van 95% te berekenen.

Bij de bespreking van het model wordt een vraag per tijdseenheid beschouwd die normaal verdeeld is met gemiddelde μ_D en standaardafwijking σ_D . Om de gemiddelde cyclusvoorraad te berekenen, wordt een totale bestelhoeveelheid van 500 eenheden verondersteld zowel bij *single sourcing* als *dual sourcing*.

- $\mu_D = 10$ eenheden per dag
- $\sigma_D = 2$ eenheden per dag
- $Q = 500$ eenheden per bestelling

De beoordeling van de resultaten van de simulaties gebeurt aan de hand van enkele berekeningen. Om de verschillende simulaties met elkaar te vergelijken, worden enkele

gegevens berekend zoals het bestelpunt, de veiligheidsvoorraad en de gemiddelde cyclusvoorraad. Bij deze berekeningen wordt een onderscheid gemaakt tussen twee verschillende methodes. De eerste methode is enkel van toepassing indien de vraag gedurende de levertijd normaal verdeeld is. Volgens experimentele bevindingen van Burgin (1972), waarbij de vraag normaal verdeeld is en de levertijd Gamma verdeeld, blijkt de vraag gedurende de levertijd een Gamma verdeling te hebben. Vandaar de tweede methode die van toepassing is bij dergelijke Gamma verdelingen, hetgeen toelaat om de afwijking volgens de foutieve methode na te gaan.

5.3 Identieke leveranciers

Het eerste gedeelte van het onderzoek beschouwt twee identieke leveranciers. Beide leveranciers hebben bijgevolg dezelfde parameters om hun levertijden met Gamma verdeling te bepalen. Bovendien wordt de totale bestelhoeveelheid in twee gelijke ordergroottes verdeeld. Om de prestaties van *dual sourcing* na te gaan, worden de prestaties van *single sourcing* per simulatie eveneens vermeld.

Om de invloed van leverbetrouwbaarheid na te gaan, zullen meerdere simulaties gehouden worden. Dit gebeurt door de parameters α en β te wijzigen, waarbij de gemiddelde levertijd ($= \alpha \cdot \beta$) bij elke simulatie constant wordt gehouden. Dit maakt het mogelijk om de simulaties onderling te vergelijken.

5.3.1 Simulaties

Simulatie 1

Bij de eerste simulatie worden Gamma verdeelde levertijden met volgende waarden voor de parameters α en β beschouwd:

- $\alpha_1 = \alpha_2 = 10$
- $\beta_1 = \beta_2 = 1$

De gemiddelde levertijd van elke leverancier: $\mu_1 = \mu_2 = \alpha_1 \cdot \beta_1 = \alpha_2 \cdot \beta_2 = 10$ dagen

De standaardafwijking van elke leverancier: $\sigma_1 = \sigma_2 = \sqrt{\alpha_1 \cdot \beta_1^2} = \sqrt{\alpha_2 \cdot \beta_2^2} = 3,16$ dagen

Tabel 1: Resultaten van simulatie 1.

	Single sourcing	Dual sourcing	Single sourcing	Dual sourcing
	methode volgens normale verdeling		methode volgens Gamma verdeling	
Gemiddelde levertijd (#dagen)	10	8,18	10	8,18
Standaardafwijking levertijd (#dagen)	3,16	2,29	3,16	2,29
Gemiddelde vraag gedurende levertijd	100	81,8	100	81,8
Standaardafwijking vraag gedurende levertijd	32,23	23,61	32,23	23,61
Gemiddelde tussenaankomsttijd (#dagen)	-	3,59	-	3,59
Standaardafwijking tussenaankomsttijd (#dagen)	-	2,68	-	2,68
Gemiddelde vraag gedurende tussenaankomsttijd	-	35,9	-	35,9
Standaardafwijking vraag gedurende tussenaankomsttijd	-	27,07	-	27,07
Bestelpunt (servicegraad van 95%)	153,01	120,63	176,23	136,15
Veiligheidsvoorraad	53,01	38,83	76,23	54,35
Reductie veiligheidsvoorraad	26,76%		28,71%%	
Gemiddelde cyclusvoorraad	250	232,05	250	232,05
Reductie gemiddelde cyclusvoorraad	7,18%		7,18%	

Uit tabel 1 blijkt dat het gebruik van het *dual sourcing* model tot een reductie van 28,71% in de veiligheidsvoorraad leidt. Bovendien wordt een daling in de gemiddelde cyclusvoorraad waargenomen. De totale gemiddelde voorraad zal met 39 eenheden afnemen, hetgeen neerkomt op een totale voorraadreductie van 12,21%.

Simulatie 2

In de tweede simulatie worden leveranciers met een grotere betrouwbaarheid verondersteld. Een gemiddelde levertijd van 10 dagen wordt aangehouden, waarbij de parameters α en β voor beide leveranciers de volgende waarden hebben:

- $\alpha_1 = \alpha_2 = 20$
- $\beta_1 = \beta_2 = 0,5$

De gemiddelde levertijd van elke leverancier: $\mu_1 = \mu_2 = \alpha_1 \cdot \beta_1 = \alpha_2 \cdot \beta_2 = 10$ dagen

De standaardafwijking van elke leverancier: $\sigma_1 = \sigma_2 = \sqrt{\alpha_1 \cdot \beta_1^2} = \sqrt{\alpha_2 \cdot \beta_2^2} = 2,24$ dagen

Tabel 2: Resultaten van simulatie 2.

	Single sourcing	Dual sourcing	Single sourcing	Dual sourcing
	methode volgens normale verdeling		methode volgens Gamma verdeling	
Gemiddelde levertijd (#dagen)	10	8,7	10	8,7
Standaardafwijking levertijd (#dagen)	2,24	1,69	2,24	1,69
Gemiddelde vraag gedurende levertijd	100	87	100	87
Standaardafwijking vraag gedurende levertijd	23,28	17,9	23,28	17,9
Gemiddelde tussenaankomsttijd (#dagen)	-	2,56	-	2,56
Standaardafwijking tussenaankomsttijd (#dagen)	-	1,88	-	1,88
Gemiddelde vraag gedurende tussenaankomsttijd	-	25,6	-	25,6
Standaardafwijking vraag gedurende tussenaankomsttijd	-	19,07	-	19,07
Bestelpunt (servicegraad van 95%)	138,29	116,45	159,50	134,55
Veiligheidsvoorraad	38,29	29,45	59,50	47,55
Reductie veiligheidsvoorraad	23,10%		20,09%	
Gemiddelde cyclusvoorraad	250	237,2	250	237,2
Reductie gemiddelde cyclusvoorraad	5,12%		5,12%	

Uit tabel 2 blijkt dat een combinatie van twee betrouwbare leveranciers in een *dual sourcing* beleid eveneens tot een reductie in de veiligheidsvoorraad leidt. Er wordt een daling van 20,09% in de veiligheidsvoorraad waargenomen ten opzichte van *single sourcing*. Bovendien

doet zich een daling van 5,12% in de gemiddelde cyclusvoorraad voor. De totale gemiddelde voorraadreductie bedraagt 24 eenheden, hetgeen neerkomt op een daling van 8,00%.

Simulatie 3

In deze simulatie worden onbetrouwbare leveranciers verondersteld, waarbij beide leveranciers een gemiddelde levertijd van 10 dagen hebben. Voor elke leverancier gelden volgende waarden voor de parameters α en β :

- $\alpha_1 = \alpha_2 = 5$
- $\beta_1 = \beta_2 = 2$

De gemiddelde levertijd van elke leverancier: $\mu_1 = \mu_2 = \alpha_1 \cdot \beta_1 = \alpha_2 \cdot \beta_2 = 10$ dagen

De standaardafwijking van elke leverancier: $\sigma_1 = \sigma_2 = \sqrt{\alpha_1 \cdot \beta_1^2} = \sqrt{\alpha_2 \cdot \beta_2^2} = 4,47$ dagen

Tabel 3: Resultaten van simulatie 3.

	Single sourcing	Dual sourcing	Single sourcing	Dual sourcing
	methode volgens normale verdeling		methode volgens Gamma verdeling	
Gemiddelde levertijd (#dagen)	10	7,46	10	7,46
Standaardafwijking levertijd (#dagen)	4,47	3,03	4,47	3,03
Gemiddelde vraag gedurende levertijd	100	74,6	100	74,6
Standaardafwijking vraag gedurende levertijd	45,15	30,79	45,15	30,79
Gemiddelde tussenaankomsttijd (#dagen)	-	4,99	-	4,99
Standaardafwijking tussenaankomsttijd (#dagen)	-	3,85	-	3,85
Gemiddelde vraag gedurende tussenaankomsttijd	-	49,9	-	49,9
Standaardafwijking vraag gedurende tussenaankomsttijd	-	38,76	-	38,76
Bestelpunt (servicegraad van 95%)	174,26	125,25	199,65	140,91
Veiligheidsvoorraad	74,26	50,65	99,65	66,31
Reductie veiligheidsvoorraad	31,80%		33,45%	
Gemiddelde cyclusvoorraad	250	225,05	250	225,05
Reductie gemiddelde cyclusvoorraad	9,98%		9,98%	

Zoals blijkt uit tabel 3, wordt in deze laatste simulatie van *dual sourcing* met twee onbetrouwbare leveranciers een daling van 33,45% in de veiligheidsvoorraad verwacht. Daarnaast wordt een daling van 9,98% in de gemiddelde cyclusvoorraad waargenomen. Beide dalingen vormen een totale reductie in de gemiddelde voorraad van 58 eenheden, hetgeen neerkomt op 16,67%.

5.3.2 Bespreking

Zoals blijkt uit bovenstaande simulatieresultaten daalt zowel de veiligheidsvoorraad als de gemiddelde cyclusvoorraad in een *dual sourcing* model met twee identieke leveranciers. Op vlak van voorraadefficiëntie scoort het model met twee identieke leveranciers bijgevolg beter dan het geval waarbij slechts bij één enkele leverancier wordt besteld.

Verdeling van de vraag gedurende levertijd

Bij het opstellen van de simulatie werden twee voorwaarden vastgelegd. Ten eerste is de vraag per tijdseenheid normaal verdeeld, zoals reeds werd aangehaald in paragraaf 5.2. Daarnaast is de levertijd van elke leverancier Gamma verdeeld met identiek dezelfde parameters. Na het lopen van de simulatie werden twee eigenschappen geanalyseerd, namelijk de verdeling van de effectieve levertijd en de verdeling van de vraag gedurende de effectieve levertijd.

Een eerste vaststelling die aan de hand van de *Input Analyzer* werd gemaakt, is een effectieve levertijd die doorgaans eveneens Gamma verdeeld is. De combinatie van twee identieke Gamma verdeelde levertijden benadert bijgevolg een Gamma verdeling.

Na het analyseren van de bekomen data voor de vraag gedurende de effectieve levertijd, blijkt dat de vraag gedurende de effectieve levertijd doorgaans het best weergegeven wordt door een

Gamma verdeling. Bijgevolg kan worden vastgesteld dat de formules voor de Gamma verdeling een betrouwbare maatstaf zijn bij het bepalen van de veiligheidsvoorraad.

Methodes van berekening

In tabellen 1 tot en met 3 worden de resultaten weergegeven van twee verschillende methodes. Aangezien de vraag gedurende de levertijd Gamma verdeeld is, geeft de tweede methode de correcte resultaten weer voor het bepalen van de veiligheidsvoorraad.

De grootte van de veiligheidsvoorraad ligt doorgaans hoger indien gebruikt wordt gemaakt van de meest betrouwbare methode. Dit wordt verklaard doordat de methode voor normale verdelingen de onzekerheid in de vraag gedurende de levertijd wellicht onderschat. Deze onzekerheid ligt vermoedelijk in de lange staart naar rechts bij Gamma verdelingen, zoals grafisch wordt weergegeven door figuur 1 in paragraaf 2.4.3. De verdeling van de vraag gedurende de levertijd heeft bijgevolg een grote impact op het berekenen van het bestelpunt en de veiligheidsvoorraad.

Veiligheidsvoorraad

De daling in de veiligheidsvoorraad ten opzichte van *single sourcing* is te wijten aan twee variabelen. De eerste variabele is de gemiddelde levertijd. Bij *dual sourcing* wordt een kortere gemiddelde effectieve levertijd gemeten, hetgeen wil zeggen dat de eerste levering gemiddeld gezien vroeger zal plaatsvinden. Een kleinere levertijd verklaart bovendien de kleinere vraag gedurende de levertijd. De tweede variabele is de standaardafwijking van de levertijd. Zoals blijkt uit bovenstaande resultaten, heeft de eerste levering bij *dual sourcing* een grotere betrouwbaarheid. Zowel een kortere levertijd als een kleinere standaardafwijking van de levertijd resulteert in een kleinere standaardafwijking van de vraag gedurende de levertijd. Dit wordt eveneens afgeleid uit onderstaande formule:

$$\sigma_{LD} = \sqrt{\mu_Z \cdot \sigma_D^2 + \mu_D^2 \cdot \sigma_Z^2} .$$

De grootte van de reductie in veiligheidsvoorraad is echter afhankelijk van de betrouwbaarheid van leveranciers. De grootste voorraadreductie wordt gemeten in het *dual sourcing* model met de minst betrouwbare leveranciers (zie tabel 3). Dit wordt verklaard door de kortste gemiddelde effectieve levertijd in deze simulatie. Bovendien wordt de grootste daling in de standaardafwijking eveneens waargenomen in de simulatie met de minst betrouwbare leveranciers (zie tabel 4).

Tabel 4: Procentuele daling in de standaardafwijking van de levertijd.

	Single sourcing	Dual sourcing	Procentuele daling
Simulatie 1	3,16	2,29	27,53%
Simulatie 2	2,24	1,69	24,55%
Simulatie 3	4,47	3,03	32,21%

Anderzijds meet het *dual sourcing* model met de meest betrouwbare leveranciers de kleinste totale veiligheidsvoorraad. Uit de resultaten van de simulatie blijkt dat dit wordt verklaard door de kleinste standaardafwijking in de levertijd.

Bij het selecteren van leveranciers moet bijgevolg een afweging worden gemaakt tussen enerzijds de grootte van de totale veiligheidsvoorraad en anderzijds het voordeel dat behaald kan worden via *dual sourcing*. Vaak wordt geopteerd voor een zo klein mogelijke voorraad, hetgeen ten goede komt van de voorraad- en opslagkosten. Anderzijds halen Ganeshan et al. (1999) aan dat minder betrouwbare leveranciers meestal gekenmerkt worden door lagere eenheidsprijzen.

Gemiddelde cyclusvoorraad

Een tweede voordeel dat blijkt uit de simulaties, is een daling in de gemiddelde cyclusvoorraad. Omdat de daling in de gemiddelde cyclusvoorraad afhankelijk is van de

grootte van de tussenaankomsttijd, is deze daling eerder van beperkte mate ten opzichte van de totale cyclusvoorraad.

De grootste daling in gemiddelde cyclusvoorraad wordt vastgesteld in het *dual supplier* model met de minst betrouwbare leveranciers. De verklaring hiervoor is de grootste tussenaankomsttijd in deze simulatie.

5.4 Niet-identieke leveranciers

Het tweede gedeelte van het onderzoek beschouwt een *dual sourcing* model met twee niet-identieke leveranciers. In onderstaande simulaties zal uitsluitend rekening worden gehouden met de tussenaankomsttijd. Volgens Ganeshan et al. (1999) leidt deze methode tot een grotere voorraadreductie dan in het geval van identieke leveranciers.

De leverancier met de kortste gemiddelde levertijd wordt verondersteld betrouwbaar te zijn. Bij het bepalen van de veiligheidsvoorraad zal enkel rekening worden gehouden met de leverprestaties van deze leverancier. De kans dat de tweede leverancier als eerste levert wordt verwaarloosd. Indien dit zich toch voordoet, zal deze levering geen invloed hebben op het bepalen van de veiligheidsvoorraad.

5.4.1 Simulaties

Simulatie 4

In deze simulatie wordt de betrouwbare leverancier gekenmerkt door volgende parameters voor de Gamma verdeling:

- $\alpha_1 = 20$
- $\beta_1 = 0,5$

De onbetrouwbare leverancier wordt gekenmerkt door volgende parameters:

- $\alpha_2 = 20$
- $\beta_2 = 1$

De gemiddelde levertijd van de betrouwbare leverancier: $\mu_1 = \alpha_1 \cdot \beta_1 = 10$ dagen

De standaardafwijking van de betrouwbare leverancier: $\sigma_1 = \sqrt{\alpha_1 \cdot \beta_1^2} = 2,24$ dagen

De gemiddelde levertijd van de onbetrouwbare leverancier: $\mu_2 = \alpha_2 \cdot \beta_2 = 20$ dagen

De standaardafwijking van de onbetrouwbare leverancier: $\sigma_2 = \sqrt{\alpha_2 \cdot \beta_2^2} = 4,47$ dagen

Tabel 5: Resultaten van simulatie 4.

	Single sourcing	Dual sourcing
	methode volgens Gamma verdeling	
Gemiddelde levertijd (#dagen)	10	10
Standaardafwijking levertijd (#dagen)	2,24	2,24
Gemiddelde vraag gedurende levertijd	100	100
Standaardafwijking vraag gedurende levertijd	23,28	23,28
Gemiddelde tussenaankomsttijd (#dagen)	-	9,66
Standaardafwijking tussenaankomsttijd (#dagen)	-	4,9
Gemiddelde vraag gedurende tussenaankomsttijd	-	96,6
Standaardafwijking vraag gedurende tussenaankomsttijd	-	49,39
Bestelpunt (servicegraad van 95%)	159,50	159,50
Veiligheidsvoorraad	59,50	59,50
Reductie veiligheidsvoorraad	0%	
Gemiddelde cyclusvoorraad	250	201,7
Reductie gemiddelde cyclusvoorraad	19,32%	

Het bovenstaand model met twee verschillende leveranciers resulteert in een daling van 19,32% in de gemiddelde cyclusvoorraad. Hierbij werd de totale bestelhoeveelheid in twee gelijke orders gesplitst ($Q/2 = 250$). Zoals blijkt uit tabel 5, is de eerste levering van 250 eenheden voldoende om tegemoet te komen aan de vraag gedurende de tussenaankomsttijd.

Simulatie 5

In deze simulatie wordt de betrouwbare leverancier gekenmerkt door dezelfde parameters voor de Gamma verdeling zoals in simulatie 4:

- $\alpha_1 = 20$
- $\beta_1 = 0,5$

De onbetrouwbare leverancier wordt gekenmerkt door een Gamma verdeling waarbij de vormparameter α de waarde 1 heeft. Zoals reeds vermeld in paragraaf 2.4.3, is een Gamma verdeling met waarde 1 voor α eveneens een exponentiële verdeling.

- $\alpha_2 = 1$
- $\beta_2 = 20$

De gemiddelde levertijd van de betrouwbare leverancier: $\mu_1 = \alpha_1 \cdot \beta_1 = 10$ dagen

De standaardafwijking van de betrouwbare leverancier: $\sigma_1 = \sqrt{\alpha_1 \cdot \beta_1^2} = 2,24$ dagen

De gemiddelde levertijd van de onbetrouwbare leverancier: $\mu_2 = \alpha_2 \cdot \beta_2 = 20$ dagen

De standaardafwijking van de onbetrouwbare leverancier: $\sigma_2 = \sqrt{\alpha_2 \cdot \beta_2^2} = 20$ dagen

Bij de berekening van het bestelpunt en de veiligheidsvoorraad in het *dual sourcing* model wordt enkel rekening gehouden met de levertijd van de betrouwbare leverancier.

Het gebruik van een zeer onbetrouwbare leverancier resulteert in een daling van de gemiddelde cyclusvoorraad met 30,20%. Bij de order splitsing werd de totale bestelhoeveelheid verdeeld in twee gelijke ordergroottes. Uit tabel 6 wordt echter afgeleid dat de eerste levering van 250 eenheden onvoldoende zal zijn om altijd tegemoet te komen aan de vraag gedurende de tussenaankomsttijd.

Tabel 6: Resultaten van simulatie 5.

	Single sourcing	Dual sourcing
	methode volgens Gamma verdeling	
Gemiddelde levertijd (#dagen)	10	10
Standaardafwijking levertijd (#dagen)	2,24	2,24
Gemiddelde vraag gedurende levertijd	100	100
Standaardafwijking vraag gedurende levertijd	23,28	23,28
Gemiddelde tussenaankomsttijd (#dagen)	-	15,1
Standaardafwijking tussenaankomsttijd (#dagen)	-	17,8
Gemiddelde vraag gedurende tussenaankomsttijd	-	151
Standaardafwijking vraag gedurende tussenaankomsttijd	-	178,17
Bestelpunt (servicegraad van 95%)	159,50	159,50
Veiligheidsvoorraad	59,50	59,50
Reductie veiligheidsvoorraad	0%	
Gemiddelde cyclusvoorraad	250	174,5
Reductie gemiddelde cyclusvoorraad	30,20%	

Een alternatief om de kans op stockbreuk gedurende de tussenaankomsttijd te vermijden, is een grotere bestelhoeveelheid toe te wijzen aan de betrouwbare leverancier. In tabel 7 werd de gemiddelde cyclusvoorraad berekend waarbij de totale bestelhoeveelheid in een verhouding van 0,7-0,3 is gesplitst. De eerste levering bedraagt in dit geval 350 eenheden.

Tabel 7: Gemiddelde cyclusvoorraad bij een order splitsing met verhouding 0,7-0,3.

	Single sourcing	Dual sourcing
Gemiddelde cyclusvoorraad	250	204,7
Reductie gemiddelde cyclusvoorraad	18,12%	

5.4.2 Bespreking

Het gebruik van twee niet-identieke leveranciers in een *dual sourcing* beleid resulteert in een daling van de gemiddelde cyclusvoorraad. De grootte van de daling is echter afhankelijk van

de betrouwbaarheid van de tweede leverancier die gekenmerkt wordt door een langere gemiddelde levertijd.

Naargelang de tijd tussen twee opeenvolgende leveringen langer wordt, stijgt de kans op een stockbreuk net voor de tweede levering. Hierbij dient worden nagegaan of de grootte van de eerste levering voldoende is om tegemoet te komen aan de vraag gedurende de tussenaankomsttijd. Desnoods kan een grotere bestelhoeveelheid worden toegewezen aan de meer betrouwbare leverancier. Deze toewijzing heeft als nadelig effect dat de gemiddelde cyclusvoorraad terug zal stijgen.

Na onderlinge vergelijking van simulatie 4 en 5, blijkt het model met de minst betrouwbare leverancier (simulatie 5) de laagste gemiddelde cyclusvoorraad te hebben. Anderzijds ligt de vraag gedurende de tussenaankomsttijd bij simulatie 5 veel hoger. Bovendien is de standaardafwijking van de vraag gedurende de tussenaankomsttijd bij simulatie 5 een veelvoud van de standaardafwijking bij simulatie 4. Om de kans op stockbreuk te reduceren, dient dus een grotere bestelhoeveelheid toegewezen te worden aan de meer betrouwbare leverancier. Zoals blijkt uit tabel 7, doet deze verandering in toewijzing de gemiddelde cyclusvoorraad stijgen tot zelfs boven de gemiddelde cyclusvoorraad bij simulatie 4 (zie tabel 5).

5.5 Besluit

Het gebruik van meerdere leveranciers gelijktijdig om een bepaald product te leveren leidt tot een daling in de voorraad. Zoals blijkt uit tabel 8 wordt de grootste voorraadreductie ten opzichte van *single sourcing* behaald in simulatie 4. Daarnaast heeft simulatie 4 eveneens de kleinste gemiddelde voorraad. Op vlak van voorraadefficiëntie scoort het model met twee niet-identieke leveranciers, waarbij de tweede leverancier slechts een iets grotere onzekerheid heeft, dus het best. Het gebruik van een tweede leverancier met een veel grotere onzekerheid is nadeliger omdat de kans op een stockbreuk voor de tweede levering veel groter is.

Tabel 8: Totale voorraadreductie via multiple sourcing bij alle simulaties.

	Gemiddelde voorraad (# eenheden)	Totale voorraadreductie
Simulatie 1	287	12,21%
Simulatie 2	285	8,00%
Simulatie 3	292	16,67%
Simulatie 4	262	19,32%
Simulatie 5	265	18,12%

Het *dual sourcing* model met twee identieke leveranciers resulteert vooral in een daling van de veiligheidsvoorraad. Naargelang de onzekerheid in levertijden van beide leveranciers stijgt, is het effect van voorraadreductie via meerdere leveranciers groter. Wanneer niet wordt gekozen voor een daling in de veiligheidsvoorraad, kan de onderneming een grotere servicegraad behalen waarbij de kans op een stockbreuk kleiner is. Het gebruik van meerdere identieke leveranciers is dus interessant wanneer de onderneming een betere klantenservice wenst te bieden.

Hoofdstuk 6: Conclusies

Het gebruik van *multiple sourcing* om een bepaald product te bestellen wordt in de praktijk momenteel beperkt toegepast. Dit is vooral te wijten doordat een hedendaags *supply chain* beleid aangepast is aan de *lean* filosofie waarbij alle mogelijke vormen van verspilling worden vermeden. Vaak hanteren ondernemingen hiervoor het JIT-principe waarbij een langdurig partnerschap wordt afgesloten met één enkele leverancier. Dit laat toe om duurzame relaties op te bouwen tussen leverancier en afnemer om een bepaald product te leveren.

Het *multiple sourcing* beleid is een beleid waarin een onderneming een bestelling bij meerdere leveranciers kan plaatsen om hetzelfde product te bestellen. Een vaak gehanteerd beleid van *multiple sourcing* is het *dual sourcing* beleid waarbij twee leveranciers worden ingeschakeld. In een *dual sourcing* beleid met order splitsing wordt een totale bestelhoeveelheid gesplitst in twee verschillende orders die gelijktijdig worden geplaatst bij twee verschillende leveranciers. Omwille van de variabiliteit in levertijden vinden beide leveringen niet gelijktijdig plaats.

Een eerste mogelijkheid van *multiple sourcing* is het gebruik van identieke leveranciers op vlak van levertijden en betrouwbaarheid. In een dergelijk *multiple sourcing* beleid is sprake van een effectieve levertijd. Deze effectieve levertijd bestaat telkens uit de eerste levering van de verschillende orders die gelijktijdig werden geplaatst, en kan bijgevolg gezien worden als de levertijd van het *multiple sourcing* beleid. Bij identieke leveranciers ligt de gemiddelde effectieve levertijd lager dan de gemiddelde levertijd van elke leverancier afzonderlijk. Bovendien is de standaardafwijking van de effectieve levertijd eveneens kleiner. Met de standaardafwijking wordt de spreiding ten opzichte van de gemiddelde levertijd bedoeld, met andere woorden een maatstaf voor de betrouwbaarheid of de onzekerheid van de levertijd. Indien de standaardafwijking van de levertijd van elke leverancier afzonderlijk groter is, wordt een grotere daling in de gemiddelde effectieve levertijd verwacht. Anderzijds is de standaardafwijking van de effectieve levertijd kleiner indien voor meer betrouwbare leveranciers wordt gekozen.

Voor het bepalen van de grootte van de veiligheidsvoorraad, wordt gebruik gemaakt van de vraag gedurende de levertijd. Doordat de vraag gedurende de levertijd zowel afhankelijk is van de grootte van de levertijd als van de standaardafwijking, zal de vraag gedurende de effectieve levertijd bij *multiple sourcing* kleiner zijn ten opzichte van *single sourcing*. Hieruit kan worden afgeleid dat de grootte van de veiligheidsvoorraad kleiner is bij *multiple sourcing*. Anderzijds wil dit zeggen dat, gegeven een bepaalde veiligheidsvoorraad, een hogere servicegraad kan behaald worden via *multiple sourcing*. De kans op stockbreuk wordt immers kleiner hetgeen kan resulteren in een hogere klantenservice.

Het gebruik van meerdere leveranciers gelijktijdig kan echter ook voordelen bieden op vlak van de gemiddelde cyclusvoorraad. Omwille van de variabiliteit in levertijden zullen de verschillende bestellingen bij order splitsing niet gelijktijdig geleverd worden. Hierdoor stijgt de cyclusvoorraad op verschillende tijdstippen. Indien bij *dual sourcing* voor niet-identieke leveranciers wordt gekozen waarbij de tweede leverancier een langere levertijd heeft, zullen de verschillende leveringen met een langere tussenaankomsttijd plaatsvinden. Dit kan leiden tot een reductie in de gemiddelde cyclusvoorraad die vaak groter is dan de totale voorraadreductie bij identieke leveranciers. Anderzijds dient de bestelhoeveelheid bij de eerste levering voldoende groot te zijn om tegemoet te komen aan de vraag gedurende de tussenaankomsttijd om stockbreuk voor de tweede levering te vermijden.

Het belang van deze resultaten kan voor een efficiënt aankoopbeleid als volgt verduidelijkt worden. Indien het kostenvoordeel behaald uit de reductie van de voorraden opweegt tegen de meerkost van het gelijktijdig plaatsen van verschillende orders bij meerdere leveranciers, dan kan het gebruik van *multiple sourcing* gestaafd worden in een beleid van kostenreductie.

Lijst van de geraadpleegde werken

Bagchi, U., Hayya, J.C. and Ord, J.K. (1984) 'Modeling demand during lead time', *Decision Sciences*, 15, 157-176.

Berger, P.D., Gerstenfeld, A. and Zeng, A.Z. (2004) 'How many suppliers are best? A decision-analysis approach', *Omega*, 32, 9-15.

Burgin, T.A. (1972) 'Inventory control with normal demand and gamma lead times', *Operational Research Quarterly*, 23, 73-80.

Chase, R.B., Jacobs, F.R. and Aquilano, N.J. (2004) *Operations Management for Competitive Advantage* (10th edn), New York, The McGraw-Hill Companies Inc.

Chen, C.-T., Lin, C.-T. and Huang, S.-F. (2005) 'A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management', *International Journal of Production Economics* (online since 25 May 2005). Available from <URL:<http://www.sciencedirect.com>>.

Chiang, C. and Benton, W.C. (1994) 'Sole sourcing versus dual sourcing under stochastic demands and lead times', *Naval Research Logistics*, 41, 609-624.

Chopra, S., Reinhardt, G. and Dada, M. (2004) 'The effect of lead time uncertainty on safety stocks', *Decision Sciences*, 35, 1-24.

Clark, C.E. (1961) 'The greatest of a finite set of random variables', *Operations Research*, 9, 145-162.

Fong, D.K.H., Gempesaw, V.M. and Ord, J.K. (2000) 'Analysis of a dual sourcing inventory model with normal unit demand and Erlang mixture lead times', *European Journal of Operational Research*, 120, 97-107.

Ganeshan, R., Tyworth, J.E. and Yuanming, G. (1999) 'Dual sourced supply chains: the discount supplier option', *Transportation Research Part E*, 35, 11-23.

Gujarati, D.N. (2003) *Basic Economics* (4th edn), New York, The McGraw-Hill Companies Inc.

Hayya, J.C., Christy, D.P. and Pan, A. (1987) 'Reducing inventory uncertainty: a reorder point system with two vendors', *Production and Inventory Management*, 2nd Quarter, 43-48.

Hollier, R.H. and Vrat, P. (1978) 'A proposal for classification of inventory systems', *Omega*, 6, 277-279.

Horngren, C.T., Foster, G. and Datar, S.M. (2000) *Cost Accounting: A Managerial Emphasis* (10th edn), New Jersey, Prentice-Hall Inc.

Horowitz, I. (1986) 'On two-source factor purchasing', *Decision Sciences*, 17, 274-279.

Kelle, P. and Miller, P.A. (2001) 'Stockout risk and order splitting', *International Journal of Production Economics*, 71, 407-415.

Kelle, P. and Silver, E.A. (1990) 'Safety stock reduction by order splitting', *Naval Research Logistics*, 37, 725-743.

Krever, M., Wunderink, S., Dekker, R. and Schorr, B. (2005) 'Inventory control based on advanced probability theory, an application', *European Journal of Operational Research*, 162, 342-358.

Lambrecht, M. (1994) *Productie- en voorraadbeheer* (2^e druk), Leuven, Wolters.

Monczka, R., Trent, R. and Handfield, R. (2002) *Purchasing and Supply Chain Management* (2nd edn), Ohio, South-Western College Publishing.

Ramasesh, R.V., Ord, J.K., Hayya, J.C. and Pan, A. (1991) 'Sole versus dual sourcing in stochastic lead-time (s, Q) inventory models', *Management Science*, 37, 428-443.

Ramasesh, R.V., Ord, J.K. and Hayya, J.C. (1993) 'Note: Dual sourcing with nonidentical suppliers', *Naval Research Logistics*, 40, 279-288.

Sculli, D. and Shum, Y.W. (1990) 'Analysis of a continuous review stock-control model with multiple suppliers', *Journal of the Operational Research Society*, 41, 873-877.

Sculli, D. and Wu, S.Y. (1981) 'Stock control with two suppliers and normal lead times', *Journal of the Operational Research Society*, 32, 1003-1009.

Sedarage, D., Fujiwara, O. and Luong, H.T. (1999) 'Determining optimal order splitting and reorder level for N-supplier inventory systems', *European Journal of Operational Research*, 116, 389-404.

Smeltzer, L.R. and Siferd, S.P. (1998) 'Proactive supply management: the management of risk', *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 34, 38-45.

Swaminathan, J.M. and Shanthikumar, J.G. (1999) 'Supplier diversification: effect of discrete demand', *Operations Research Letters*, 24, 213-221.

Tersine, R.J. (1994) *Principles of Inventory and Materials Management* (4th edn), New Jersey, Prentice Hall.

Thomas, D.J. and Tyworth, J.E. (2005) 'Pooling lead-time risk by order splitting: A critical review', *Transportation Research Part E* (online since 16 February 2005). Available from <URL:<http://www.sciencedirect.com>>.

Thomopoulos, N.T. (2004) 'Demands, backorders, service level, lost sales and effective service level', *International Applied Business Research*, International Conference Proceedings, March, Puerto Rico.

Van Nieuwenhuysse, I. and Vandaele, N. (2005) 'The impact of delivery lot splitting on delivery reliability in a two-stage supply chain', *International Journal of Production Economics* (online since 27 May 2005). Available from <URL:<http://www.sciencedirect.com>>.

Yeh, Q.-J., Chang, T.-P. and Chang, H.-C. (1997) 'An inventory control model with gamma distribution', *Microelectronics Reliability*, 37, 1197-1201.

Bijlagen

Bijlage 1: Tabel met waarden voor μ_v en σ_v : μ_v is het bovenste getal en σ_v het onderste getal.

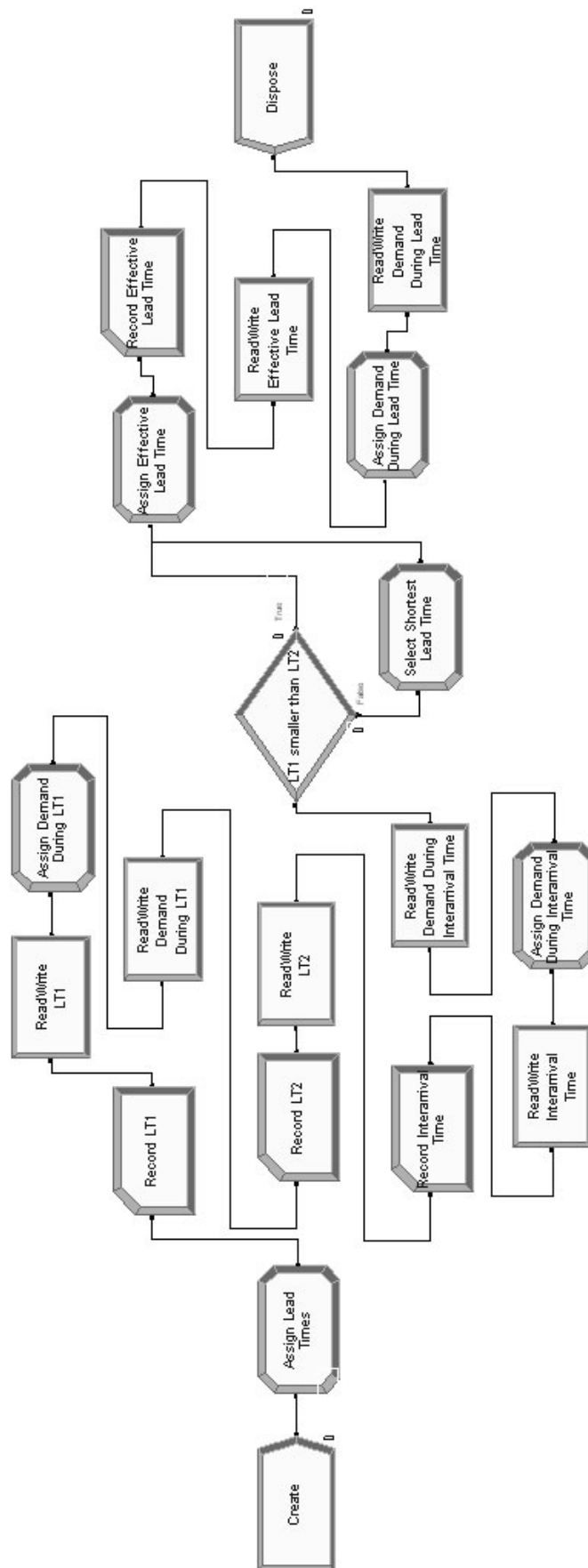
A	B									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
-3.25	-3.25 0.10	-3.25 0.20	-3.25 0.30	-3.25 0.40	-3.25 0.50	-3.25 0.60	-3.25 0.70	-3.25 0.80	-3.25 0.89	-3.36 0.99
-3.00	-3.00 0.10	-3.00 0.20	-3.00 0.30	-3.00 0.40	-3.00 0.50	-3.00 0.60	-3.00 0.70	-3.00 0.79	-3.01 0.89	-3.01 0.99
-2.75	-2.75 0.10	-2.75 0.20	-2.75 0.30	-2.75 0.40	-2.75 0.50	-2.75 0.60	-2.76 0.69	-2.76 0.79	-2.76 0.89	-2.76 0.98
-2.50	-2.50 0.11	-2.50 0.20	-2.50 0.30	-2.50 0.40	-2.50 0.50	-2.51 0.59	-2.51 0.69	-2.51 0.79	-2.52 0.88	-2.52 0.97
-2.25	-2.25 0.11	-2.25 0.21	-2.26 0.30	-2.26 0.40	-2.26 0.50	-2.26 0.59	-2.27 0.69	-2.27 0.78	-2.28 0.87	-2.28 0.96
-2.00	-2.01 0.12	-2.01 0.21	-2.01 0.30	-2.01 0.40	-2.02 0.49	-2.02 0.59	-2.03 0.68	-2.03 0.77	-2.04 0.86	-2.05 0.95
-1.75	-1.77 0.15	-1.77 0.22	-1.77 0.31	-1.77 0.40	-1.78 0.49	-1.78 0.58	-1.79 0.67	-1.80 0.75	-1.81 0.83	-1.82 0.91
-1.50	-1.53 0.18	-1.53 0.24	-1.54 0.32	-1.54 0.41	-1.55 0.50	-1.55 0.58	-1.56 0.67	-1.58 0.75	-1.59 0.83	-1.60 0.91
-1.25	-1.30 0.22	-1.30 0.27	-1.31 0.34	-1.32 0.42	-1.32 0.50	-1.33 0.58	-1.35 0.66	-1.36 0.74	-1.38 0.82	-1.40 0.89
-1.00	-1.08 0.28	-1.09 0.32	-1.09 0.38	-1.10 0.44	-1.11 0.51	-1.13 0.59	-1.14 0.66	-1.16 0.73	-1.18 0.80	-1.20 0.87
-0.75	-0.88 0.34	-0.89 0.37	-0.89 0.42	-0.90 0.47	-0.92 0.53	-0.93 0.60	-0.95 0.66	-0.97 0.73	-0.99 0.79	-1.02 0.85
-0.50	-0.70 0.42	-0.70 0.44	-0.71 0.47	-0.73 0.52	-0.74 0.56	-0.76 0.62	-0.78 0.67	-0.80 0.73	-0.82 0.78	-0.85 0.84
-0.25	-0.54 0.50	-0.54 0.52	-0.55 0.54	-0.57 0.57	-0.58 0.60	-0.60 0.64	-0.62 0.69	-0.65 0.73	-0.67 0.78	-0.70 0.83
0.00	-0.40 0.59	-0.41 0.60	-0.42 0.61	-0.43 0.63	-0.45 0.65	-0.47 0.68	-0.49 0.71	-0.51 0.75	-0.54 0.79	-0.56 0.83
0.25	-0.29 0.67	-0.29 0.67	-0.30 0.68	-0.32 0.69	-0.33 0.71	-0.35 0.72	-0.37 0.74	-0.40 0.77	-0.52 0.80	-0.45 0.83
0.50	-0.20 0.74	-0.20 0.75	-0.21 0.75	-0.23 0.75	-0.24 0.76	-0.26 0.77	-0.28 0.78	-0.30 0.80	-0.32 0.82	-0.35 0.84
0.75	-0.13 0.81	-0.14 0.81	-0.14 0.81	-0.15 0.81	-0.17 0.81	-0.18 0.81	-0.20 0.82	-0.22 0.83	-0.24 0.84	-0.27 0.85
1.00	-0.08 0.87	-0.09 0.86	-0.09 0.86	-0.10 0.86	-0.11 0.86	-0.13 0.86	-0.14 0.86	-0.16 0.86	-0.18 0.86	-0.20 0.87
1.25	-0.05 0.91	-0.05 0.91	-0.06 0.90	-0.07 0.90	-0.07 0.90	-0.08 0.89	-0.10 0.89	-0.11 0.89	-0.13 0.89	-0.15 0.89
1.50	-0.03 0.94	-0.03 0.94	-0.04 0.94	-0.04 0.93	-0.05 0.93	-0.05 0.92	-0.06 0.92	-0.08 0.91	-0.09 0.91	-0.10 0.91
1.75	-0.02 0.96	-0.02 0.96	-0.02 0.96	-0.02 0.96	-0.03 0.95	-0.03 0.95	-0.04 0.94	-0.05 0.94	-0.06 0.93	-0.07 0.93
2.00	-0.01 0.98	-0.01 0.98	-0.01 0.98	-0.01 0.97	-0.02 0.97	-0.02 0.96	-0.03 0.96	-0.03 0.96	-0.04 0.95	-0.05 0.95
2.25	0.00 0.99	0.00 0.99	-0.01 0.99	-0.01 0.98	-0.01 0.98	-0.01 0.98	-0.02 0.97	-0.02 0.97	-0.03 0.96	-0.03 0.96
2.50	0.00 0.99	0.00 0.99	0.00 0.99	0.00 0.99	0.00 0.99	-0.01 0.99	-0.01 0.98	-0.01 0.98	-0.02 0.98	-0.02 0.97
2.75	0.00 1.00	0.00 1.00	0.00 1.00	0.00 1.00	0.00 0.99	0.00 0.99	-0.01 0.99	-0.01 0.99	-0.01 0.98	-0.01 0.98
3.00	0.00 1.00	0.00 1.00	0.00 1.00	0.00 1.00	0.00 1.00	0.00 1.00	0.00 0.99	0.00 0.99	-0.01 0.99	-0.01 0.99
3.25	0.00 1.00	0.00 1.00	0.00 1.00	0.00 1.00	0.00 1.00	0.00 1.00	0.00 1.00	0.00 1.00	0.00 0.99	-0.01 0.99

Bijlage 2: Tabel met waarden voor het gemiddelde en de standaardafwijking van de tussenaankomsttijd.

c	$p \neq 0$		q	$p = 0$	
	μ_x	σ_x		μ_T	σ_T
0.0	1.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.1	1.00	0.10	0.1	0.08	0.06
0.2	1.00	0.20	0.2	0.16	0.12
0.3	1.00	0.30	0.3	0.24	0.18
0.4	1.0	0.40	0.4	0.32	0.24
0.5	1.00	0.48	0.5	0.40	0.30
0.6	1.02	0.63	0.6	0.48	0.36
0.7	1.05	0.63	0.7	0.56	0.42
0.8	1.08	0.69	0.8	0.64	0.48
0.9	1.12	0.74	0.9	0.72	0.54
1.0	1.17	0.80	1.0	0.80	0.60
1.1	1.22	0.85	1.1	0.88	0.66
1.2	1.27	0.91	1.2	0.95	0.72
1.3	1.33	0.96	1.3	1.04	0.78
1.4	1.39	1.01	1.4	1.12	0.84
1.5	1.45	1.07	1.5	1.20	0.90
1.6	1.52	1.12	1.6	1.27	0.96
1.7	1.58	1.17	1.7	1.36	1.02
1.8	1.65	1.22	1.8	1.43	1.09
1.9	1.72	1.28	1.9	1.52	1.15
2.0	1.79	1.34	2.0	1.60	1.21
2.2	1.93	1.45	2.2	1.76	1.33
2.4	2.08	1.56	2.4	1.91	1.45
2.6	2.23	1.67	2.6	2.07	1.57
2.8	2.38	1.79	2.8	2.23	1.69
3.0	2.52	1.90	3.0	2.39	1.81
3.5	2.91	2.19	3.5	2.79	1.81
4.0	3.29	2.48	4.0	3.19	2.41
4.5	3.68	2.78	4.5	3.59	2.71
5.0	4.07	3.07	5.0	3.99	3.01
5.5	4.46	3.37	5.5	4.39	3.32
6.0	4.85	3.67	6.0	4.79	3.62
6.5	5.19	3.92	6.5	5.25	3.96
7.0	5.64	4.26	7.0	5.59	4.22
7.5	5.98	4.52	7.5	6.04	4.56
8.0	6.43	4.86	8.0	6.38	4.82
8.5	6.78	5.12	8.5	6.83	5.16
9.0	7.23	5.46	9.0	7.18	5.43
9.5	7.58	5.73	9.5	7.26	5.76
10.0	8.01	6.06	10.0	7.98	6.03
11.0	8.81	6.66	11.0	8.78	6.63
12.0	9.61	7.26	12.0	9.57	7.23
13.0	10.40	7.86	13.0	10.37	7.84
14.0	11.20	8.46	14.0	11.17	8.44
15.0	11.99	9.06	15.0	11.96	9.04
16.0	12.77	9.65	16.0	12.79	9.66
17.0	13.56	10.25	17.0	13.59	10.27
18.0	14.36	10.85	18.0	14.38	10.87
19.0	15.16	11.45	19.0	15.18	11.46

For large values of the parameters, c and q , the relationship between the moments and parameter becomes linear.

Bijlage 4: Simulatiemodel in Arena 7.01.



Bijlage 5: Resultaten van de 5 simulaties (zie volgende pagina's).

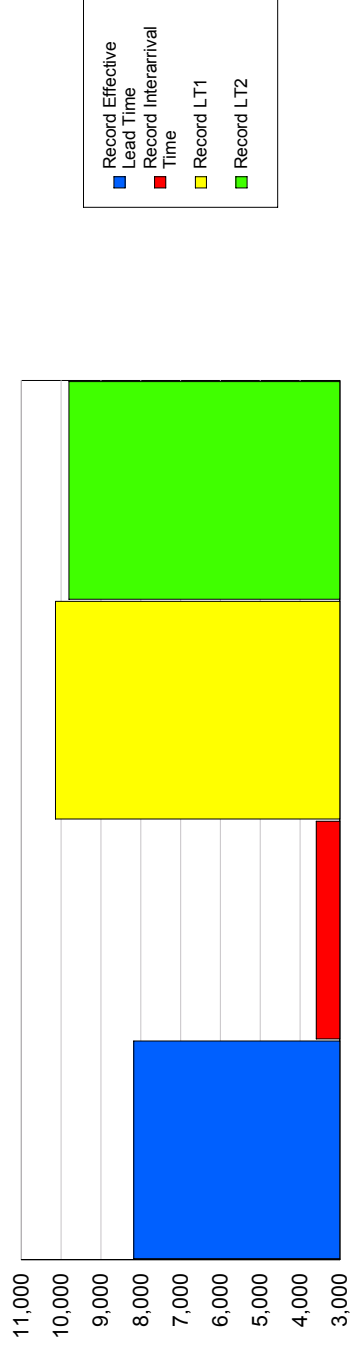
Dual Supplier Model – Simulation 1

Replications: 1.000 Time Units: Days

Key Performance Indicators

User Specified

Tally Expression	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Record Effective Lead Time	8.1778	< 0,45	3.2236	16.0334	3.2236	16.0334
Record Interarrival Time	3.5891	< 0,53	0.00750896	14.9512	0.00750896	14.9512
Record LT1	10.1422	< 0,62	3.5432	22.1180	3.5432	22.1180
Record LT2	9.8026	< 0,61	3.2236	22.3887	3.2236	22.3887



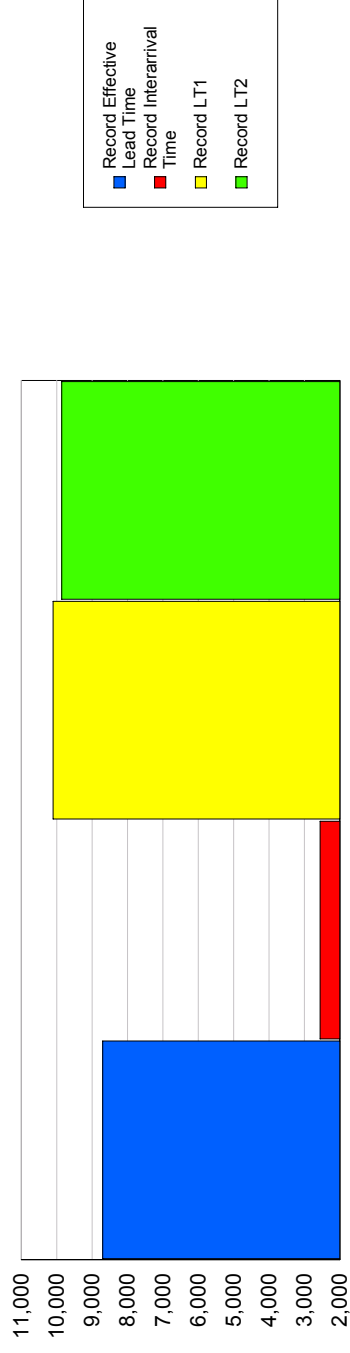
Dual Supplier Model – Simulation 2

Replications: 1.000 Time Units: Days

Key Performance Indicators

User Specified

Tally Expression	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Record Effective Lead Time	8.7014	< 0,33	4.5390	14.1478	4.5390	14.1478
Record Interarrival Time	2.5597	< 0,37	0.00523975	10.2427	0.00523975	10.2427
Record LT1	10.1029	< 0,44	4.9011	18.0597	4.9011	18.0597
Record LT2	9.8596	< 0,43	4.5390	18.2313	4.5390	18.2313



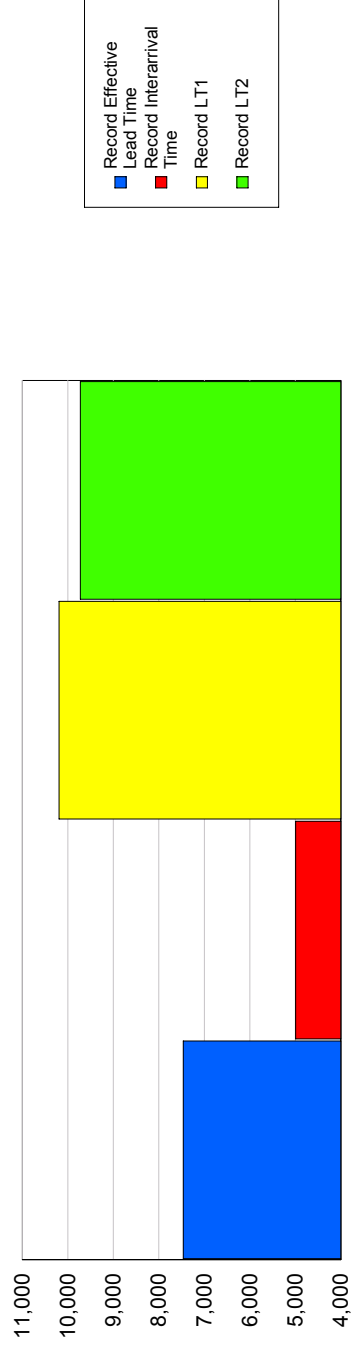
Dual Supplier Model – Simulation 3

Replications: 1.000 Time Units: Days

Key Performance Indicators

User Specified

Tally Expression	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Record Effective Lead Time	7.4628	< 0,59	1.9760	18.8481	1.9760	18.8481
Record Interarrival Time	4.9919	< 0,75	0.01031547	22.0535	0.01031547	22.0535
Record LT1	10.1935	< 0,88	2.1900	28.5993	2.1900	28.5993
Record LT2	9.7240	< 0,85	1.9760	29.0394	1.9760	29.0394



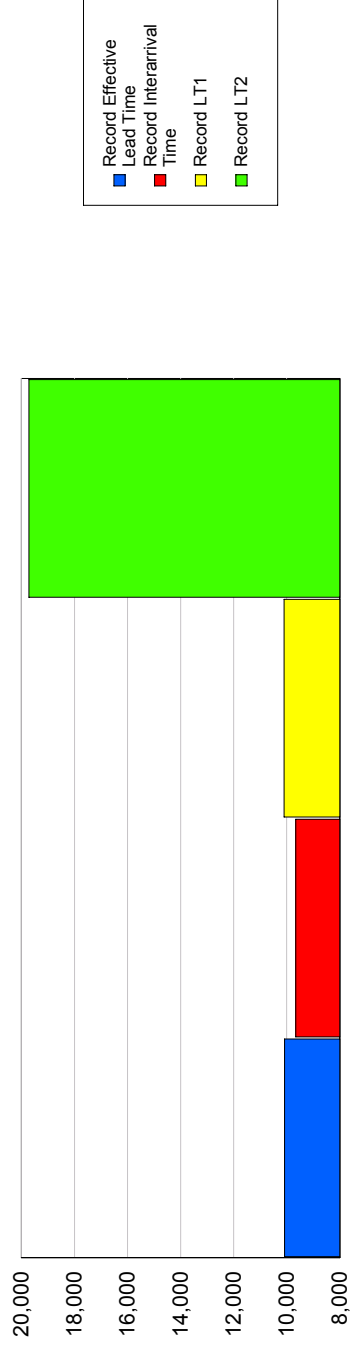
Dual Supplier Model – Simulation 4

Replications: 1.000 Time Units: Days

Key Performance Indicators

User Specified

Tally Expression	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Record Effective Lead Time	10.0811	< 0,43	4.9011	18.0597	4.9011	18.0597
Record Interarrival Time	9.6597	< 0,96	0.00524416	27.7963	0.00524416	27.7963
Record LT1	10.1029	< 0,44	4.9011	18.0597	4.9011	18.0597
Record LT2	19.7191	< 0,86	9.0780	36.4627	9.0780	36.4627



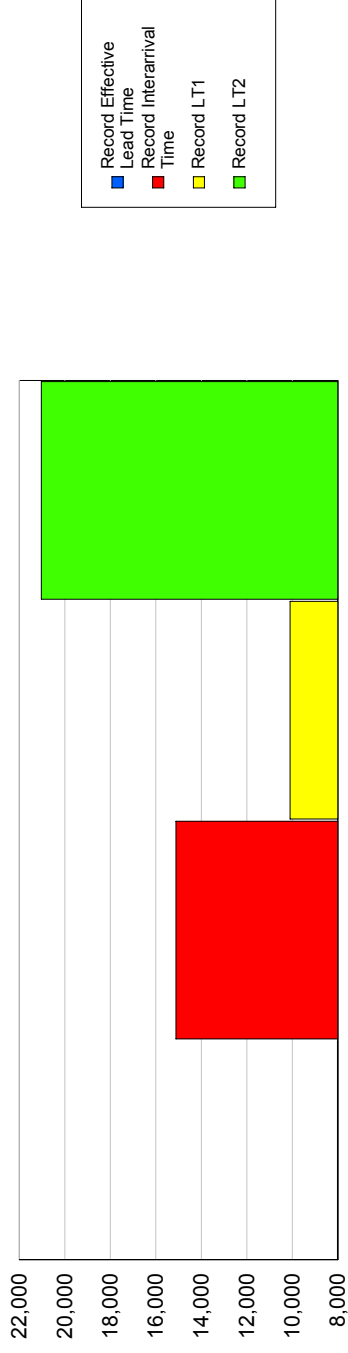
Dual Supplier Model – Simulation 5

Replications: 1.000 Time Units: Days

Key Performance Indicators

User Specified

Tally Expression	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Record Effective Lead Time	8.0133	< 0,69	0.02616136	18.0465	0.02616136	18.0465
Record Interarrival Time	15.1125	< 3,48	0.05008435	171.72	0.05008435	171.72
Record LT1	10.1029	< 0,44	4.9011	18.0597	4.9011	18.0597
Record LT2	21.0362	< 4,03	0.02616136	182.69	0.02616136	182.69



Auteursrechterlijke overeenkomst

Opdat de Universiteit Hasselt uw eindverhandeling wereldwijd kan reproduceren, vertalen en distribueren is uw akkoord voor deze overeenkomst noodzakelijk. Gelieve de tijd te nemen om deze overeenkomst door te nemen en uw akkoord te verlenen.

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

Voorraadreductie via leveringen door verschillende leveranciers.

Richting: **Handelsingenieur**

Jaar: **2006**

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

Deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt houdt in dat ik/wij als auteur de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij kan reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

U bevestigt dat de eindverhandeling uw origineel werk is, en dat u het recht heeft om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. U verklaart tevens dat de eindverhandeling, naar uw weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

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

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

Ik ga akkoord,

Yves SEGERS

Datum: