

Integratie van voorraad- en transportbeslissingen in een onzekere omgeving

Inge JUVYNS

promotor :
Prof. dr. Gerrit JANSSENS

Woord vooraf

Deze thesis vormt het sluitstuk van mijn studies Handelsingenieur aan de Universiteit Hasselt, campus Diepenbeek. Het onderwerp werd aangebracht door mijn promotor professor dr. Gerrit Janssens en sluit aan bij mijn afstudeerrichting Operationeel Management en Logistiek. Dit onderzoek sprak mij aan, omdat het componenten van operationeel onderzoek en logistiek met elkaar verbindt.

Het onderzoek behandelt de integratie van voorraad- en transportbeslissingen, meer specifiek het splitsen van een bestelling bij één leverancier in meerdere leveringen. In de eerste hoofdstukken wordt de theorie over dit onderwerp die terug te vinden is in de literatuur beschreven. Daarna wordt dieper ingegaan op het optimalisatiemodel van Chiang. De totale kosten van een bestelling die in één keer geleverd wordt en dezelfde bestelling die in twee keren geleverd wordt, worden geminimaliseerd.

Graag zou ik mijn ouders willen bedanken, omdat ze mij de mogelijkheid hebben geboden deze studies te volgen en mij daarin altijd gesteund hebben. Verder wil ik mijn promotor bedanken voor alle geleverde inspanningen en de nuttige aanwijzingen tijdens de uitwerking van deze eindverhandeling. Tenslotte wens ik mijn studiegenoten te bedanken voor hun steun en aanmoedigingen tijdens het schrijven van deze eindverhandeling.

Samenvatting

De opkomst van 'just-in-time'-productie zorgt voor kleinere en frequentere leveringen. 'Just-in-time'-productie streeft naar minimale voorraden om verspillingen te voorkomen. De voorraadkosten dalen, maar de transportkosten stijgen doordat één bestelling in meerdere keren geleverd moet worden. In deze eindverhandeling wordt onderzocht hoe voorraad- en transportbeslissingen met elkaar geïntegreerd kunnen worden via het splitsen van leveringen. In het praktijkonderzoek wordt een model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen onder een periodiek voorraadbeheersysteem uitgewerkt.

Hoofdstuk twee geeft een algemene definitie van bedrijfslogistiek. Bedrijfslogistiek omvat drie sleutelactiviteiten: transport, voorraadbeheer en het behandelen van bestellingen. Transport is een belangrijke logistieke activiteit en vereist beslissingen op vlak van transportwijze, de route van het vervoer en het gebruik van de capaciteit van het transportmiddel. Voorraad vormt een buffer tussen vraag en aanbod en is noodzakelijk om een bepaalde graad van productbeschikbaarheid te garanderen. Een drietal ingrijpende ontwikkelingen die hebben geleid tot de opkomst van 'just-in-time'-leveringen worden aangehaald. Naast het behandelen van bestellingen bestaan een aantal ondersteunende activiteiten zoals goederenbehandeling, verpakking en aankoop.

Het derde hoofdstuk gaat dieper in op het aspect 'just-in-time'. 'Just-in-time' heeft verschillende definities en omschrijvingen en is gebaseerd op acht basisprincipes. De voordelen en nadelen van een 'just-in-time'-systeem worden beschreven. Een overschakeling naar een 'just-in-time'-systeem beïnvloedt de transportbeslissingen: de frequentie van vervoer neemt toe, de verzendgrootte neemt af en het vereist meer betrouwbare transportdiensten. Ook de relatie met de leveranciers wordt beïnvloedt. Het aantal leveranciers wordt verminderd tot drie, twee of zelfs één enkele leverancier.

Hoofdstuk vier geeft een definitie van een gesplitste levering en de voordelen die daaraan verbonden zijn. De verschillende modellen voor het splitsen van een levering die in de literatuur terug te vinden zijn worden besproken en vergeleken. Op het laatste model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen onder een periodiek voorraadbeheer van Chiang wordt verder ingegaan tijdens het praktijkonderzoek. Het model is opgedeeld naar drie situaties. Het één-levering-model waar een bestelling in

één levering wordt geleverd. Het twee-leveringen-model waar een bestelling in twee leveringen wordt geleverd. Het meerdere-leveringen-model waar een bestelling in meer dan twee leveringen wordt geleverd. Deze drie situaties worden uitvoerig besproken in hoofdstuk vijf.

Het laatste hoofdstuk beschrijft de berekening en de uitwerking van het één-levering-model en het twee-leveringen-model via Microsoft Excel. Op het meerdere-leveringen-model wordt niet verder ingegaan, omwille van de beperkte mogelijkheden van Microsoft Excel. In het praktijkonderzoek worden een aantal parameters van het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen onder een periodiek voorraadbeheersysteem gewijzigd, waarna de invloed daarvan op de totale kosten besproken wordt. De eerste parameter waarvan de invloed bekeken wordt, is de servicegraad. Andere parameters zijn de standaardafwijking van de vraag en de gemiddelde vraag. Deze worden zodanig gewijzigd dat de verhouding tussen de standaardafwijking en het gemiddelde constant blijft. Een vergelijking tussen de resultaten van het één-levering-model en het twee-leveringen-model laat toe conclusies te trekken over de invloed van het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen op de kosten van een onderneming.

Het splitsen van een bestelling in twee leveringen is in alle onderzochte situaties voordeliger dan een bestelling in één keer te laten leveren. Bij een veranderende servicegraad kan het kostenvoordeel voor de helft verklaard worden door een daling van de voorraadkosten en voor de andere helft door een daling van de bestelkosten. Bij een veranderende standaardafwijking van de vraag en het gemiddelde van de vraag heeft het splitsen van een bestelling in twee leveringen een kostenvoordeel op vlak van totale kosten. Als enkel naar de bestelkosten of enkel naar de voorraadkosten gekeken wordt, zal het splitsen van een bestelling in twee leveringen onder sommige voorwaarden nadelig zijn.

Inhoudsopgave

Woord vooraf

Samenvatting

1 Probleemstelling en werkwijze	- 1 -
1.1 Praktijkprobleem	- 1 -
1.2 Centrale onderzoeksvraag	- 2 -
1.3 Deelvragen	- 2 -
1.4 Structuur en werkwijze	- 3 -
2 Bedrijfslogistiek	- 4 -
2.1 Transport	- 4 -
2.1.1 De verschillende vervoerswijzen.....	- 4 -
2.1.2 Transportkosten	- 5 -
2.2 Voorraadbeheer.....	- 5 -
2.2.1 De opkomst van 'just-in-time'.....	- 5 -
2.3 Behandelen van bestellingen en administratie	- 6 -
2.4 Ondersteunende activiteiten	- 7 -
2.4.1 Goederenbehandeling	- 7 -
2.4.2 Verpakking	- 7 -
2.4.3 Aankoop	- 7 -
2.4.4 Planning en beheer van informatiestromen en materiaalstromen.....	- 8 -
3 'Just-in-time'	- 9 -
3.1 De acht basisprincipes van 'just-in-time'	- 10 -
3.2 Voordelen en nadelen van 'just-in-time'.....	- 11 -
3.3 Invloed van 'just-in-time' op transport	- 12 -
3.4 Invloed van 'just-in-time' op voorraadbeheer	- 12 -
4 Het splitsen van leveringen	- 15 -
4.1 Definitie en omschrijving van een gesplitste levering	- 15 -
4.2 Modellen voor het splitsen van leveringen	- 16 -

4.2.1 Geïntegreerd model voor klant en leverancier met meerdere leveringen	
.....	- 16 -
4.2.2 Model met verloren verkopen onder een continu voorraadbeheersysteem	
.....	- 18 -
4.2.3 Benaderende analyse van het model voor het splitsen van leveringen	- 18 -
4.2.4 Model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen	 - 19 -
4.3 Vergelijking van de modellen voor het splitsen van leveringen	 - 21 -
4.4 Verantwoording van de keuze van het model voor het praktijkonderzoek	
.....	- 24 -
 5 Praktijkonderzoek: model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen onder een periodiek voorraadbeheersysteem	 - 25 -
5.1 Veronderstellingen van het model	 - 26 -
5.2 Het één-levering-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem	... - 27 -
5.3 Het twee-leveringen-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem	
.....	- 29 -
5.4 Het meerdere-leveringen-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem	 - 33 -
 6 Uitwerking, berekening en bespreking van de resultaten van het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen onder een periodiek voorraadbeheersysteem	 - 35 -
6.1 Uitwerking en berekening van het één-levering-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem	 - 35 -
6.2 Uitwerking en berekening van het twee-leveringen-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem	 - 38 -
6.3 Bespreking van de resultaten van het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen onder periodiek voorraadbeheer bij een veranderende servicegraad	 - 46 -
6.3.1 Invloed van de servicegraad op de kosten van het één-levering-model	 - 47 -
6.3.2 Invloed van de servicegraad op de kosten van het twee-leveringen-model	 - 49 -

6.4 Bespreking van de resultaten van het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen onder periodiek voorraadbeheer bij een veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9 %	- 52 -
6.4.1 Invloed van de gemiddelde vraag en de standaardafwijking van de vraag op de kosten van het één-levering-model	- 53 -
6.4.2 Invloed van de gemiddelde vraag en de standaardafwijking van de vraag op de kosten van het twee-leveringen-model	- 55 -
6.5 Vergelijking van de resultaten van het één-levering-model en het twee-leveringen-model	- 57 -
6.5.1 Invloed van de servicegraad op de kosten	- 57 -
6.5.2 Invloed van de gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9 % op de kosten	- 60 -
7 Conclusie	- 63 -
Lijst van geraadpleegde werken	- 64 -
Lijst van symbolen	- 68 -
Lijst van tabellen	- 69 -
Lijst van grafieken	- 70 -
Bijlagen	

1 Probleemstelling en werkwijze

1.1 Praktijkprobleem

De opkomst van 'just-in-time'-productie heeft gezorgd voor kleinere en frequentere leveringen. 'Just-in-time' betekent dat enkel geleverd wordt als het echt nodig is en in zo klein mogelijke hoeveelheden. De reden hierachter is het voorkomen van verspillingen via minimale voorraden. Voorraad wordt gezien als een verspilling omdat het geen waarde toevoegt, maar ruimte vereist en kost.

De vermindering van voorraden resulteert in een lagere voorraadkost. De kosten van transport stijgen, doordat één bestelling in meerdere keren geleverd moet worden: in de literatuur wordt dit het splitsen van leveringen genoemd. Resulteert dit in een stijging van de totale kosten of wegen de verminderde voorraadkosten op tegen de hogere transportkosten?

Het type transportmiddel speelt ook een rol in een 'just-in-time' omgeving. Niet elk transportmiddel is geschikt voor kleinere leveringen. De traditionele bulktransportmiddelen worden vervangen door kleinere, snellere transportmiddelen. Dit blijkt uit het toenemende gebruik van vrachtwagens en wordt uitvoerig besproken in het Witboek van de Europese Commissie: "European transport policy: time to decide". Dit Witboek (2001, p. 11) vermeldt dat de onevenwichtige groei in transportmiddelen voor vele problemen zorgt. De goederenvervoermarkt bestaat voor 44% uit wegvervoer, 41% zeevervoer, 8% spoorvervoer en 4% binnenvaart. Het aandeel van het wegvervoer zal verder toenemen als er niet ingegrepen wordt, met een toenemende congestie van het wegennet tot gevolg. De belangrijkste maatregelen die het Witboek (2001, p. 15-20) vooropstelt zijn:

- Het spoorvervoer nieuw leven inblazen, via bijvoorbeeld spoorwegen die uitsluitend gebruikt worden voor goederenvervoer.
- Verbeteringen van de kwaliteit in het wegvervoer via een Europese wetgeving.
- Zeevervoer en binnenvaart promoten om de congestie van wegen en het tekort aan spoorweginfrastructuur op te vangen.
- Intermodaal vervoer als competitief alternatief voor wegvervoer.

Kleine, frequente leveringen gaan over het algemeen gepaard met een vermindering van het aantal leveranciers, tot zelfs één enkele leverancier. Daarom is het belangrijk een goede lange-termijn relatie op te bouwen met de leverancier, gebaseerd op wederzijds vertrouwen. De leverancier en de klant moeten samenwerken om het aanbod zo goed mogelijk af te stemmen op de werkelijke klantvraag.

1.2 Centrale onderzoeksvraag

De centrale onderzoeksvraag die volgt uit dit praktijkprobleem luidt als volgt:

"Hoe worden voorraadbeslissingen en transportbeslissingen in een onzekere omgeving beïnvloed door het splitsen van leveringen?"

1.3 Deelvragen

Op basis van het praktijkprobleem en de centrale onderzoeksvraag worden volgende deelvragen geformuleerd.

Om de centrale onderzoeksvraag te beantwoorden moeten we eerst de verschillende modellen voor het splitsen van leveringen bekijken. Een kritische bespreking van deze modellen zal een eerste inzicht geven. Uit deze modellen wordt één model gekozen dat verder uitgewerkt wordt.

- *Welke modellen bestaan er voor het splitsen van leveringen?*

Zijn bij een gesplitste levering enkel de voorraad- en transportkosten van belang of zijn er nog andere kosten die een rol spelen?

- *Met welke kosten moet men rekening houden bij het splitsen van een levering?*

Om een antwoord te vinden op de centrale onderzoeksvraag is het niet enkel van belang de verschillende modellen te bekijken. We moeten een duidelijke omschrijving hebben van het begrip gesplitste levering en waarom dit van belang is bij voorraad- en transportbeslissingen. Het is belangrijk te weten welke trend dit probleem op de voorgrond gebracht heeft. De volgende deelvragen houden hiermee verband.

- *Wat is de invloed van 'just-in-time'-productie op voorraad- en transportbeslissingen?*
- *Wat zijn de voordelen van een levering door één enkele leverancier?*

1.4 Structuur en werkwijze

Om de centrale onderzoeksvraag en de bijhorende deelvragen te kunnen beantwoorden, wordt eerst een grondig literatuuronderzoek uitgevoerd. In hoofdstuk twee wordt nagegaan welke plaats voorraadbeheer en transport innemen in de bedrijfslogistiek en welke kosten hiermee verbonden zijn. Hoofdstuk drie beschrijft het principe van 'just-in-time' en welke invloed dit heeft op voorraadbeheer en transportbeslissingen. Het vierde hoofdstuk definieert het splitsen van leveringen en beschrijft enkele modellen uit de literatuur.

Voor het praktijkonderzoek wordt verder ingegaan op het model van Chiang voor het splitsen van een bestellingen in meerdere leveringen onder een periodiek voorraadbeheersysteem. Dit model optimaliseert de totale kosten bij de splitsing van een levering door één enkele leverancier. De situatie waar een bestelling in één keer geleverd wordt, zal vergeleken worden met de situatie waar een bestelling in twee keren geleverd wordt. De uitwerking en berekening van de beide situaties zal gebeuren via Microsoft Excel. Er wordt nagegaan wat de invloed van de servicegraad en van de standaardafwijking van de vraag en de gemiddelde vraag is op de twee situaties. De resultaten van de twee situaties worden met elkaar vergeleken en daaruit wordt geconcludeerd of het splitsen van een bestelling in twee leveringen voordeliger is dan de volledige bestelling in één keer te laten leveren.

2 Bedrijfslogistiek

Blauwens et al. (2001, p. 239) definiëren bedrijfslogistiek als "het beheer van vervoer, opslag en aanverwante functies tussen enerzijds, de punten waar de onderneming haar grondstoffen en materialen betreft en anderzijds, de punten waar haar producten verbruikt worden".

Uit deze definitie volgen drie sleutelactiviteiten van bedrijfslogistiek: transport, voorraadbeheer en het behandelen van bestellingen. Transport en voorraadbeheer zijn de belangrijkste logistieke activiteiten, ze vertegenwoordigen gemiddeld de helft tot twee derde van de totale logistieke kosten. Transport is essentieel omdat een bedrijf enkel kan draaien als grondstoffen aangeleverd worden en de eindproducten verspreid worden (Ballou, 1992, p. 11). Het vereist beslissingen op vlak van de transportwijze, de route van vervoer en het gebruik van de capaciteit van het transportmiddel. Voorraad vormt een buffer tussen vraag en aanbod en is noodzakelijk om een redelijke graad van productbeschikbaarheid te kunnen garanderen. De kost van het behandelen van bestellingen is minder omvangrijk in vergelijking met transport en voorraadbeheer, maar een goede behandeling van bestellingen is essentieel om goederen op het juiste moment en de juiste plaats bij de klant te krijgen. Naast deze drie sleutelactiviteiten bestaan een aantal ondersteunende activiteiten: opslag, goederenbehandeling, verpakking, aankoop, planning en beheer van informatie (Ballou, 1978, p. 9-11).

In het verleden werd logistiek louter beschouwd als een operationele activiteit. De laatste twintig jaren bestaat een groeiend bewustzijn dat logistiek een belangrijk competitief wapen kan zijn. Een effectieve positionering van de logistieke functie kan nieuwe klantenwaarde creëren, de operationele kosten verlagen en de operationele flexibiliteit bevorderen (Ross, 2004, p. 9).

2.1 Transport

2.1.1 De verschillende vervoerswijzen

De keuze van vervoerswijze beïnvloedt de voorraad tijdens het vervoer en de cyclische voorraad. De voorraad tijdens het vervoer is proportioneel met de vervoerstijd en kan verminderd worden door snellere vervoersmiddelen. De cyclische voorraad is

proportioneel met de partijgrootte en kan verminderd worden door frequente leveringen van kleine partijgroottes (Blauwens et al., 2001, p. 268).

2.1.2 Transportkosten

Transportkosten zijn afhankelijk van het type vervoer: beroepsvervoer of eigen vervoer. Bij beroepsvervoer wordt het vervoer uitbesteed aan derden, een transportfirma. Bij eigen vervoer staat het bedrijf zelf in voor het vervoer. De transportkosten bij beroepsvervoer bestaan uit de vrachtprijs die aan de transportfirma betaald moet worden. Bij eigen vervoer moeten de transportkosten berekend worden. Deze kosten omvatten onder andere kosten voor brandstof, smeermiddelen, banden, onderhoud, tolheffingen, personeelskosten, afschrijvingen, verzekering en verkeersbelasting (Blauwens et al., 2001, p. 108).

2.2 Voorraadbeheer

Voorraadbeheer heeft tot doel een evenwicht te brengen tussen de beschikbaarheid van een product, de klantenservice en de kosten voor het handhaven van het gewenste niveau van productbeschikbaarheid. Productbeschikbaarheid betekent dat een product op het gewenste moment en in de gewenste hoeveelheid beschikbaar is. Dit komt overeen met de servicegraad, de kans dat een onderneming aan een concrete vraag naar een product kan voldoen (Ballou, 1992b, p. 494-495).

Transportbeslissingen hebben een grote invloed op voorraden. Vervoer doet voorraden ontstaan door ineens een hoeveelheid goederen af te leveren die niet onmiddellijk gebruikt kunnen worden. Hoge voorraadkosten doen ondernemingen soms dure transportbeslissingen nemen om de voorraden beperkt te houden. Voorbeelden hiervan zijn de trend naar 'just-in-time'-leveringen en het streven naar nulvoorraden.

2.2.1 De opkomst van 'just-in-time'

Een drietal ingrijpende ontwikkelingen hebben geleid tot de opkomst van 'just-in-time'-leveringen en het streven naar nulvoorraad. Deze ontwikkelingen zijn een hogere inschatting van de kostprijs van voorraadhouding, een vermindering van de vaste instel- en bestelkosten per levering en een betere planning van de vraag, met minder variatie.

'Just-in-time'-levering is voornamelijk aangewezen in een omgeving waarin 'just-in-time'-productie bestaat in de volledige economische keten. 'Just-in-time' betekent een volledige omschakeling van productie op voorraad naar productie op afroep door de klant, een vraag die op voorhand gekend is, variantie van de vraag gelijk aan nul en een exacte planning van de productietijd (Blauwens et al., 2001, p. 265, 267).

Blauwens et al. (2001, p. 266) definiëren een 'just-in-time'-levering als een levering zonder veiligheidsvoorraad en zonder het optreden van voorraadtekorten. De goederen komen juist op tijd; niet te vroeg, als nog voorraad beschikbaar is, en niet te laat, als al een tekort bestaat. Een strikte toepassing van de definitie van een 'just-in-time'-levering is moeilijk realiseerbaar. Hiervoor moet de standaardafwijking van de vraag tijdens de levertermijn nul zijn, dit is in de praktijk niet haalbaar. De standaardafwijking van de vraag wordt bepaald door vier variabelen: de levertermijn, de variantie van de vraag, de gemiddelde vraag en de variantie van de levertermijn. De voorstanders van 'just-in-time' streven naar een vermindering van de variantie van de vraag door strikte planning van het verbruik en een vermindering van de variantie van de levertermijn door stipte levering. Een aanzienlijke vermindering van de veiligheidsvoorraad, zonder volledige eliminatie, is voldoende. Cyclische voorraad, voorraad tijdens het vervoer en eventueel speculatieve voorraad en seizoensvoorraad blijven bestaan bij 'just-in-time'. Als de onderneming streeft naar een nulvoorraad, moeten alle voorraden verminderen. Het streven naar nulvoorraad is een doelstelling, geen regel die letterlijk waargemaakt moet worden (Blauwens et al., 2001, p. 266-268).

2.3 Behandelen van bestellingen en administratie

De kosten voor het behandelen van bestellingen en de administratiekosten kunnen doorwegen bij verzending in kleine lotgroottes. Bij bestellingen in aanzienlijke hoeveelheden of heel dure goederen zijn de orderbehandelingskosten en administratiekosten bijkomstig. Het gebruik van computers maakt de orderbehandelingskosten en administratiekosten steeds minder belangrijk (Blauwens et al., 2001, 263).

2.4 Ondersteunende activiteiten

2.4.1 Goederenbehandeling

Goederenbehandeling gebeurt bij het laden en lossen of bij de overlading van goederen. De kosten voor goederenbehandeling verschillen sterk naargelang het transportmiddel. Het laden van een container op een binnenschip is aanzienlijk duurder dan het laden van dezelfde container op een vrachtwagen (Blauwens et al., 2001, p. 242).

2.4.2 Verpakking

Verschillende transportmiddelen veroorzaken verschillende verpakkingskosten. "Bulk- of tankvervoer vergt evident minder dure verpakking dan stukvervoer in colli. Ook de keuze voor containervervoer kan een besparing inhouden op de verpakkingskosten voor de goederen in de container." (Blauwens et al., 2001, p. 263). Daarnaast verschillen de wettelijke voorschriften in verband met verpakking, vooral bij gevaarlijke stoffen, naargelang de gebruikte transportwijze (Blauwens et al., 2001, p. 263).

2.4.3 Aankoop

Aankoop wordt beschouwd als een waarde-toevoegende activiteit en essentieel in een onderneming. Aangekochte onderdelen en componenten vertegenwoordigen veertig tot zestig procent van de verkoopwaarde van het eindproduct. De aankoopafdeling speelt een sleutelrol in het verbeteren van leveranciersrelaties en kwaliteit van grondstoffen, het reduceren van levertermijnen en transportkosten, het verbeteren van materiaalbeheer en het behalen van nieuwe productiedoelen van kwaliteitsproducten tegen competitieve prijzen. De aankoopafdeling moet het juiste product of dienst op de juiste plaats krijgen op het juiste moment. Daarnaast probeert aankoop het product of de dienst van de juiste leverancier tegen de juiste prijs te bekomen. Ten slotte is de aankoopafdeling verantwoordelijk om de producten of diensten in de juiste hoeveelheid te bekomen, aangezien de bestelhoeveelheid de hoeveelheid cyclische voorraad bepaalt die voorraadkosten veroorzaakt (Zeng, 1998, p. 10-11 en Ballou, 1992b, p. 653).

2.4.4 Planning en beheer van informatiestromen en materiaalstromen

Een 'supply chain' omvat de activiteiten die ruwe materialen verwerven, deze transformeren tot intermediaire goederen en afgewerkte producten en de producten leveren aan de klant via een distributiesysteem (Zeng, 1998, p. 10). 'Supply chains' zijn vaak gefragmenteerd, wat leidt tot trage materiaalstromen doorheen de keten en trage informatiestromen terug naar de bron. De onsamenhangende stroom van voorraad en informatie zorgt voor een gebrek aan 'real-time' informatie en veroorzaakt overtollige veiligheidsvoorraden om onzekerheden in vraag en aanbod op te vangen. Het Internet heeft een grote invloed op de werking van een 'supply chain'. De kosten om een bestelling te plaatsen zijn enorm verminderd door het Internet en de elektronische handel, dit veroorzaakt meer bestellingen van kleinere lotgroottes. Meer kleine bestellingen betekent een hogere transportkost en een lagere voorraadkost. Een integratie van de 'supply chain management'-systemen voor voorraad en transport kan deze problemen oplossen. De integratie zorgt dat variaties in levertermijnen geminimaliseerd kunnen worden, waardoor grote veiligheidsvoorraden niet meer nodig zijn (Mason et al., 2003, p. 142-144).

3 'Just-in-time'

'Just-in-time' heeft verschillende definities en omschrijvingen. Gomes en Mentzer (1988, p. 73) vermelden er enkele:

- levering van de optimale hoeveelheid op het optimale tijdstip
- een werkrelatie tussen verkoper, verzender en koper; met het gemeenschappelijke doel alle overbodige voorraden te elimineren
- geen vroege en geen late verzendingen
- een flexibele productieaanpak die snelle reactie toelaat op veranderende noden

Een traditionele veronderstelling achter 'just-in-time' is een vermindering van voorraad – zowel de grondstoffenvoorraad, de voorraad goederen in bewerking als de voorraad gereed product - in het volledige logistieke systeem. Maar 'just-in-time' is meer dan dat. Het is een geïntegreerde filosofie van bedrijfsvoering met gecentraliseerde aankoop, één enkele leverancier per product, lange-termijn contracten, kleine lotgroottes, weinig voorraden met aanlevering van materialen juist op tijd (Gomes en Mentzer, 1988, p. 72).

'Just-in-time'-aankoop heeft tot doel een verbetering van de kwaliteit, de flexibiliteit en de servicegraad. Dit door het ontwikkelen van een lange-termijn relatie tussen de leverancier en de klant, gebaseerd op wederzijds vertrouwen. De kleinere lotgroottes bij 'just-in-time' verhogen de productiviteit, door lagere niveaus van voorraad en afval, lagere inspectiekosten voor inkomende goederen en vroegere detectie van defecten. Een mogelijk negatief effect zijn hogere leveringskosten en verlies van hoeveelheidkortingen (Kim en Ha, 2003, p. 1-2; Ansari en Heckel, 1987, p. 24).

'Just-in-time'-aankoop wordt meestal niet toegepast op alle productieonderdelen, omdat het niet voor alle onderdelen significante voordelen oplevert. Dit is het geval voor onderdelen met een lage waarde, onderdelen die weinig gebruikt worden en onderdelen die vaak veranderen. Deze worden beter op conventionele manier aangekocht (Ansari en Heckel, 1987, p. 25).

3.1 De acht basisprincipes van 'just-in-time'

'Just-in-time' is gebaseerd op acht basisprincipes (Schniederjans, 1993, p. 5-9):

1. *Streven naar een productie-op-bestelling productieschema*: de producent wacht met produceren tot de klant een bestelling plaatst. Afgewerkte producten worden juist op tijd voor consumptie geproduceerd, zodat er geen voorraad ontstaat.
2. *Streven naar een eenheidsproductie*: een 'just-in-time' systeem streeft naar lotgroottes van één. Dit laat een flexibele productie toe en reduceert de voorraadkosten. Wijzigingen in de vraag kunnen snel opgevangen worden, waardoor de kosten van ongewenste voorraad of gemiste verkoop verdwijnen. Productie in grote lotgroottes vereist meer planning en een grotere levertijd.
3. *Streven naar het elimineren van afval/verspilling*: niet meer gebruiken dan de minimumhoeveelheid installaties, materialen en mensen voor de productie.
4. *Streven naar continue productstroomverbetering*: het elimineren van knelpuntprocessen en problemen die de productiestroom verlagen.
5. *Streven naar perfecte productkwaliteit*: een 'just-in-time' systeem streeft naar 'zero defects'. Het opvolgen van de productkwaliteit gebeurt voornamelijk door de werknemers die het product produceren. Alle grondstoffen, componenten, halfafgewerkte producten en eindproducten worden geïnspecteerd tijdens het productieproces. Dit betekent een 100% inspectie.
6. *Respect voor mensen*: mensen zijn het meest belangrijke aandeel van een bedrijf. In een 'just-in-time' systeem krijgen de mensen een grotere verantwoordelijkheid en zelfstandigheid.
7. *Streven naar het elimineren van onzekerheden*: onzekerheden in de klantvraag veroorzaken overtollige voorraden en onzekerheden over productie veroorzaken overtollige werknemers, 'just-in-time' systemen proberen dit te vermijden.
8. *Nadruk op het lange-termijn aspect*: een investering in 'just-in-time' moet beschouwd worden als een lange-termijn verbintenis. De voordelen van een 'just-in-time' systeem zijn niet altijd duidelijk op korte termijn en de implementatie vraagt tijd.

Deze acht basisprincipes moeten niet allemaal volledig geïmplementeerd worden. Het bedrijf moet zoeken naar het optimale niveau van implementatie.

3.2 Voordelen en nadelen van 'just-in-time'

Een 'just-in-time' systeem heeft vele voordelen:

1. Lage afvalkosten en lage voorraadkosten (Bagchi, 1988, p. 90).
2. Snelle detectie en verbetering van slechte kwaliteit en uiteindelijk hogere kwaliteit van aangekochte onderdelen en hogere productiviteit (Bagchi, 1988, p. 90) .
3. Snelle reactie op veranderingen in technisch design (Bagchi, 1988, p. 90).
4. Samenwerking tussen leverancier en klant op technisch vlak. Hierdoor kunnen nieuwe producten sneller op de markt gebracht worden, wat de concurrentiepositie van het bedrijf verbeterd (Fawcett en Birou, 1992, p. 4).
5. Hogere administratieve efficiëntie door minder leveranciers: minimale follow-up en vereenvoudigde communicatie en papierwerk (Bagchi, 1988, p. 90).
6. Minder inspectie nodig en minder vertragingen door onbeschikbaarheid van onderdelen (Bagchi, 1988, p. 90).
7. Lagere kapitaalvereisten voor voorraden (Bagchi, 1988, p. 90).

Een grote beperking van een 'just-in-time' systeem is de grote verandering die het vereist in de houding van de werknemers en de werkgewoontes. Daarnaast betekent 'just-in-time' weinig of geen veiligheidsvoorraden; waardoor timing, hoeveelheid en kwaliteit van de leveringen heel belangrijk zijn (Gupta en Bagchi, 1987, p. 76). Doordat er weinig of geen voorraden van grondstoffen zijn, vereist dit:

- een transportmodus met een hoge betrouwbaarheid, beschikbaarheid en consistentie;
- een goede werksfeer en ondersteuning van het topmanagement;
- een integratie van aankoop, productie en distributie;
- de ontwikkeling van nauwe relaties met een beperkt aantal leveranciers, om een hoge graad van betrouwbaarheid en kwaliteit van de materialen te behalen;
- de ontwikkeling van een informatiesysteem dat betrouwbare, up-to-date informatie over distributie en productieplanning kan leveren aan de leveranciers en verzenders, om zo optimale lange-termijn transportplannen te ontwikkelen (Gupta en Bagchi, 1987, p. 88).

3.3 Invloed van 'just-in-time' op transport

'Just-in-time'-leveringen beïnvloeden het transportsysteem op meerdere manieren:

- de frequentie van vervoer neemt toe;
- de verzendgrootte neemt af;
- het vereist meer betrouwbare transportdiensten.

Transport maakt een belangrijk onderdeel uit van een 'just-in-time' systeem. De traditionele leveringen in bulk worden vervangen door kleine, frequente leveringen en de keuze van transportmiddel wordt belangrijker. Verzendders zoeken transportfirma's waar ze een lange-termijn relatie mee kunnen aangaan en die hun specifieke transportnoden begrijpen. Transportfirma's die op maat gemaakte diensten aanbieden, zodat de verzender zijn voorraden beter kan beheren (Bagchi et al., 1987, p. 374-375). Zal de trend naar kleinere bestelhoeveelheden een werkelijke daling van de voorraadkosten veroorzaken of worden de lagere voorraadkosten vervangen worden door hogere transportkosten met geen invloed op de totale kosten?

3.4 Invloed van 'just-in-time' op voorraadbeheer

'Just-in-time'-aankoop heeft als doel de levering door één enkele betrouwbare leverancier, maar dit is niet altijd mogelijk. Veel bedrijven evolueren naar een beleid van één enkele leverancier, maar de meeste bedrijven verminderen hun aantal leveranciers tot twee of drie verschillende. In aankoopomgevingen waar geen ene betrouwbare leverancier kan leveren in kleine lotgroottes, op tijd en in de gewenste hoeveelheden is 'dual sourcing' een goed alternatief (Kelle en Miller, 2001, p. 407). 'Just-in-time'-aankoop werkt met een beperkt aantal leveranciers, aangezien een dergelijke aankoop veel coördinatie en controleactiviteiten tussen de koper en de leverancier vereist en dit kost veel tijd om te ontwikkelen en te onderhouden (Ansari en Heckel, 1987, p. 25).

'Single sourcing' bestaat wanneer alle bestellingen van één product bij éénzelfde leverancier worden gedaan. De klant en de leverancier gaan een lange-termijn partnerschap aan waarin ze beiden streven naar continue verbeteringen. 'Multiple sourcing' is het gebruik van twee of meer leveranciers voor één product. De verschillende leveranciers worden tegen elkaar uitgespeeld, om zo de meest optimale aankoopvoorwaarden te bekomen (Mishra en Tadikamalla, 2004, p. 1). Treleven en

Schweikhart (1988, p. 95-96) definiëren 'single sourcing' als de bevrediging van alle behoeften van een organisatie voor een bepaald onderdeel door één leverancier. Daarnaast moet de relatie reeds ingesteld zijn vóór de productontwikkeling. Onderstaande tabel geeft de voordelen en nadelen van beide methoden weer (Mishra en Tadikamalla, 2004, p. 2).

'Single sourcing'	'Multiple sourcing'
Kosten • hoge kosten van nauwe samenwerking • groot vertrouwen tussen leverancier en klant • schaalvoordelen en voordelen van leercurve voor de leverancier • lagere kosten door hoeveelheidskortingen • hoge instel- en bestelkost	Kosten • lage omschakelkosten • geen enkele leverancier heeft een onredelijk voordeel in de onderhandelingen • lage kosten en hoge prestatie door competitief bieden • langere onderhandelingsstijden die productieschema's kunnen verstoren of vertragen
Productie • betere kwaliteit door lange-termijn relatie en geassocieerde investeringen • beter inzicht in product- en processpecificaties • eenvoudigere kwaliteitscontrole, omwille van één bron van variatie en hierdoor minder uitval en afval • meer consistente producten omwille van één bron van variatie • bevordert 'just-in-time' productie • lagere vraagonzekerheid voor de leverancier	Productie • hoog risico van verstoring van bevoorrading als gevolg van brand, staking, natuurramp, financiële insolventie, etcetera
Concurrentievermogen • superieure kwaliteit verhoogt het concurrentievermogen • slechte kwaliteit van een leverancier	Concurrentievermogen • toegang tot nieuwe en bredere variëteit aan technologie, waaruit de meest geschikte technologie

kan het marktaandeel en het concurrentievermogen verminderen	gekozen kan worden
--	--------------------

Tabel 3.1: Vergelijking 'single sourcing' en 'multiple sourcing'

Een vermindering van het aantal leveranciers verhoogt het belang van de leveranciersselectie. Zeng (1998, p. 13-14) vermeldt vijf factoren waarmee rekening gehouden moet worden bij de keuze van een leverancier:

- Kosten: de relevante kostencomponenten of logistieke kosten waarmee rekening gehouden moet worden zijn de bestelkosten, de aankoopkosten, de voorraadkosten en de transportkosten. Deze kostencomponenten moeten tegen elkaar afgewogen worden.
- Prijs: de aankoopprijs van de materialen en grondstoffen heeft een significante invloed op de verkoopprijs van het eindproduct voor de klant. Deze aankoopprijs is belangrijk voor ondernemingen die een competitieve prijs willen zetten voor hun klanten.
- Kwaliteit: de kwaliteit van de materialen en grondstoffen heeft een directe invloed op de kwaliteit en de productietijd van de eindproducten.
- Levering/transport: de transportkosten zijn onderdeel van de totale relevante kosten. De grootte van de transportkosten wordt beïnvloed door de keuze tussen 'single sourcing' en 'multiple sourcing'.
- Service: de service die de leverancier levert op technisch vlak en op vlak van dienst na verkoop.

De relatie tussen de klant en de enige leverancier bestaat uit een partnerschaprelatie. De selectie van een onbekwame leverancier kan rampzalige gevolgen hebben. De onderneming moet zoeken naar een optimale leverancier, dit is niet noodzakelijk degene die de laagste prijs, de snelste levering of de beste service aanbiedt (Swift, 1995, p. 105).

4 Het splitsen van leveringen

4.1 Definitie en omschrijving van een gesplitste levering

Een gesplitste levering wordt omschreven als een bestelling - geplaatst bij één enkele leverancier - die geleverd wordt in verschillende verzendingen, al dan niet van dezelfde grootte. Hieraan zijn meerdere voordelen verbonden:

- een vermindering van de veiligheidsvoorraad,
- lagere voorraadkosten,
- lagere tekortkosten,
- lagere bestelkosten,
- recht op hoeveelheidkorting,
- een vereenvoudiging van de productieplanning van de leverancier, door gedeelde informatie over toekomstige orders tussen klant en leverancier (Mohebbi en Posner, 2002, p. 118). Deze zelfde voordelen worden eveneens aangehaald door Liao en Yang (1994, p. 214).

Bij het splitsen van een levering wordt de volledige bestelhoeveelheid niet in één keer aangeleverd, maar wordt de bestelhoeveelheid opgesplitst in verschillende kleinere leveringen. Gedeeltes van de bestelhoeveelheid komen aan op verschillende tijdstippen. Hierdoor daalt de gemiddelde cyclische voorraad en stijgen de transport- en inspectiekosten (Chiang, 2001, p. 68).

Het splitsen van leveringen komt niet overeen met het splitsen van bestellingen. Bij het splitsen van bestellingen wordt de bestelhoeveelheid verdeeld onder twee of meer leveranciers, met als doel de variabiliteit van de vraag tijdens de levertermijn te verminderen. De tijd tot de eerste levering en tussen opeenvolgende leveringen wordt aanzienlijk verminderd, waardoor de veiligheidsvoorraad verminderd kan worden zonder een grotere kans op een stockbreuk. Met dezelfde veiligheidsvoorraad kan een hogere servicegraad¹ bereikt worden. Het splitsen van bestellingen leidt tot een hogere bestelkost en een hogere aankoop prijs per eenheid, door een verlies van hoeveelheidkorting omwille van een kleinere bestelhoeveelheid per leverancier (Kelle en Silver, 1990, p. 725). Chiang en Benton (1994, p. 609) argumenteren dat het gebruik

¹ De servicegraad is het percentage van de vraag dat onmiddellijk uit de voorraad kan worden voldaan (Chiang, 2001, p. 69).

van meerdere leveranciers leidt tot een grotere zekerheid van ononderbroken aanlevering bij onverwachte verstoringen in een fabriek. Daarnaast bevordert het de concurrentie tussen leveranciers op vlak van service, productkwaliteit en prijs. De voordelen van het splitsen van bestellingen moeten afgewogen worden tegen de nadelen. Weegt de verminderde veiligheidsvoorraad of het hogere serviceniveau op tegen een gestegen bestelkost en een verlies van hoeveelheidskorting (Chiang en Benton, 1994, p. 610)?

4.2 Modellen voor het splitsen van leveringen

De laatste jaren wordt steeds meer aandacht besteed aan methoden om de voorraad te verminderen, om zo de voorraadkosten, de vereiste magazijnruimte en andere voorraadgerelateerde uitgaven te doen dalen. Een mogelijke methode hiervoor bestaat uit het splitsen van leveringen. Volgens Chiang en Chiang (1996, p. 446) is het splitsen van leveringen vooral aantrekkelijk in de sector van de detailhandel, aangezien de voorraden daar een groot deel van de activa uitmaken en aanzienlijke besparingen bekomen kunnen worden. De literatuur vermeldt verschillende modellen voor het splitsen van leveringen. Het geïntegreerde model voor klant en leverancier houdt rekening met zowel de kosten van de klant als de kosten van de leverancier. Het model met verloren verkopen houdt rekening met verkopen die effectief verloren gaan omwille van een stockbreuk. Het model van Janssen, de Kok en Schouten geeft een benaderende analyse van het model voor het splitsen van leveringen. Dit model is een benaderende analyse, aangezien een benadering werd gebruikt voor het stochastische proces van aankomst van leveringen. Het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen kan zowel bij een continu als bij een periodiek voorraadbeheersysteem gebruikt worden en legt weinig veronderstellingen op.

4.2.1 Geïntegreerd model voor klant en leverancier met meerdere leveringen

Kim en Ha (2003) ontwikkelden een model voor frequente leveringen in kleine lotgroottes dat zowel naar de kosten van de leverancier als naar de kosten van de klant kijkt. De totale kosten van de klant bestaan uit de bestelkosten, de voorraadkosten, de transportkosten en de kosten voor het ontvangen van bestellingen. De kosten van de leverancier bestaan uit voorraadkosten, instelkosten en kosten voor het behandelen van een bestelling. In een geïntegreerd model kunnen de klant en de leverancier allebei

genieten van kostenvoordelen op de totale kosten, door samenwerking en onderhandelingen. De transportkosten en kosten voor het behandelen van een bestelling van de leverancier worden door de klant betaald. De klant krijgt een korting op de eenheidsprijs omwille van een bestelling in grote hoeveelheden (Kim en Ha, 2003, p. 2-3).

Het geïntegreerde model van Kim en Ha veronderstelt een eenvoudige 'just-in-time'-productieomgeving met één klant, één leverancier en één product in een eindige planningshorizon. Het doel van 'just-in-time'-productie is de ontwikkeling van een lange-termijn relatie tussen de klant en de leverancier, gebaseerd op wederzijds vertrouwen. Dit probeert men in het model weer te geven. De doelfunctie van het model bestaat uit een minimalisatie van de geïntegreerde totale relevante kosten van de klant en de leverancier. Hieruit wordt de optimale bestelhoeveelheid, het aantal leveringen en de verzendhoeveelheid bepaald die leiden tot minimale totale kosten. Het model maakt volgende veronderstellingen:

- alle kosten van de klant en van de leverancier worden in het model opgenomen;
- de eenheidsprijs ligt vast;
- de klant en de leverancier werken als een team en wisselen de nodige informatie uit zoals de voorraadkost per eenheid, de vraag, het voorraadniveau van de klant, het productieritme en de insteltijd;
- de vraag, het productieritme, de levertermijn en alle kosten zijn deterministisch en constant;
- nabestellingen zijn niet toegelaten;
- de bestelhoeveelheid wordt in één setup geproduceerd en in gelijke hoeveelheden verscheept;
- elke volgende levering komt aan op het moment dat alle voorraad van de vorige levering juist uitgeput is (Kim en Ha, 2003, p. 3-4).

Doordat de bestelhoeveelheid van de klant in één setup geproduceerd wordt, houdt de leverancier een gedeelte van de voorraad aan tijdens de productie van de bestelhoeveelheid, wat de voorraadkost van de leverancier verklaart (Kim en Ha, 2003, p. 3).

4.2.2 Model met verloren verkopen onder een continu voorraadbeheersysteem

Dit model werd ontwikkeld door Mohebbi en Posner (2002) en probeert een continu voorraadbeheersysteem², verloren verkopen en het splitsen van leveringen met elkaar te integreren. De doelfunctie van het model bestaat uit een minimalisatie van de gemiddelde kosten op lange termijn. De gemiddelde kosten bestaan uit de bestelkosten, de voorraadkosten en de tekortkosten. Het model houdt rekening met verloren verkopen. Verloren verkopen zijn verkopen die effectief verloren gaan door een vraag tijdens een stockbreuk of de overtollige vraag van een bestelling die groter is dan de beschikbare voorraad. De veronderstellingen van het model zijn:

- de vraag ontstaat volgens een Poissonproces met een aankomsttritte van λ ;
- de vraagsgrootte volgt een exponentiële verdeling met gemiddelde μ^{-1} en is onafhankelijk en identiek verdeeld;
- de vraag tijdens een stockbreuk is verloren;
- de levertermijn volgt een exponentiële verdeling met een gemiddelde van σ^{-1} en is onafhankelijk en identiek verdeeld.

Omwillen van de complexe vorm van de doelfunctie gebeurt de praktische oplossing van het model, een kostenminimalisatie, via een niet-lineair optimalisatiesoftwarepakket. Dit softwarepakket genereert optimale waarden van het bestelpunt in eenheden en van de bestelhoeveelheid (Mohebbi en Posner, 2002, p. 119-125).

4.2.3 Benaderende analyse van het model voor het splitsen van leveringen

Janssen, de Kok en Schouten (2000, p. 1136-1137) onderzochten hoe sterk het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen van eenzelfde grootte bijdraagt tot de vermindering van de veiligheidsvoorraad bij de klant. Het onderzoek vertrekt vanuit het standpunt van de leverancier en veronderstelt een continu voorraadbeheer. De klant plaatst een grote bestelling die gesplitst wordt in meerdere leveringen. De informatie over deze leveringen kan gebruikt worden in het voorraadbeleid van de leverancier, zodat de variabiliteit van het vraagproces vermindert. De leverancier heeft expliciete informatie over toekomstige leveringen, dit heeft een positieve invloed op de vereiste

² Een continu voorraadbeheersysteem: het voorraadniveau wordt continu bijgehouden, waardoor altijd informatie beschikbaar is over het voorraadniveau. Elke transactie die het voorraadniveau beïnvloedt wordt onmiddellijk geregistreerd (Ross, 2004, p. 275-276).

veiligheidsvoorraad van de leverancier. De klant krijgt een hoeveelheidskorting en vermijdt opslagproblemen, doordat de bestelhoeveelheid niet in één keer geleverd wordt.

De doelfunctie van het model voor het splitsen van leveringen bestaat uit een kostenfunctie met bestelkosten, voorraadkosten en verzendingskosten die geminimaliseerd moeten worden. Deze doelfunctie ondergaat een beperking van de servicegraad. De uitwerking van het model levert optimale waarden voor het bestelpunt in eenheden en voor de bestelhoeveelheid bij een gegeven maximale leveringshoeveelheid per levering en een gegeven tussenaankomsttijd tussen de leveringen. In het model zijn volgende veronderstellingen opgenomen:

- de bestelkosten zijn proportioneel met het aantal bestellingen;
- de voorraadkosten zijn proportioneel met het verwachte gemiddelde fysische voorraadniveau;
- de verzendingskosten zijn proportioneel met het aantal leveringen aan de klant;
- de vraag ontstaat volgens een Poissonproces met een aankomsttrijde van λ ;
- de levertermijn is deterministisch;
- nabestellingen zijn toegelaten;
- de maximale leveringshoeveelheid per levering is beperkt (Janssen, de Kok en Schouten, 2000, p.1137).

Janssen, de Kok en Schouten (2000, p. 1138-1141) vermelden twee benaderingsmethoden die geen rekening houden met de informatie over toekomstige leveringen. De eerste methode is de meest eenvoudige en houdt geen rekening met de correlaties tussen opeenvolgende leveringen. In de tweede methode zijn deze correlaties opgenomen in het model. Ze vermelden eveneens een alternatief model, dat expliciet rekening houdt met de kennis over toekomstige leveringen van vroegere gesplitste bestellingen. Het model van Janssen, de Kok en Schouten geeft een benadering, omdat een benadering wordt gebruikt voor het stochastische proces van de aankomst van leveringen (Janssen, de Kok en Schouten, 2000, p. 1138, 1142-1144).

4.2.4 Model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen

Het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen heeft als doelfunctie een minimalisatie van de bestelkosten en voorraadkosten. De doelfunctie ondergaat een beperking van de servicegraad, vooraf bepaald door het management. Als

gevolg van deze beperking moeten de tekortkosten niet in de doelfunctie opgenomen en geschat worden. Het model gaat na of de gedaalde voorraadkosten door het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen opwegen tegen de gestegen bestelkosten. Het aantal veronderstellingen dat het model maakt zijn beperkt:

- de vraag volgt een normaalverdeling met een gemiddelde μ en een standaardafwijking σ ;
- de vraag is onafhankelijk en identiek verdeeld;
- de levertermijn en de tussenaankomsttijd tussen opeenvolgende leveringen zijn constant en worden bepaald door de leverancier (Chiang en Chiang, 1996, p. 447 en Chiang, 2001, p. 68).

Het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen wordt onderverdeeld in drie delen. Het één-levering-model veronderstelt dat de volledige bestelling in één keer geleverd wordt. Het twee-leveringen-model veronderstelt dat de bestelling in twee keren geleverd wordt. Het meerdere-leveringen-model veronderstelt dat een bestelling in meer dan twee keren geleverd wordt.

Chiang en Chiang (1996, p. 454-455) beschrijven het model onder een continu voorraadbeheersysteem. Het één-levering-model leidt tot de optimale bestelhoeveelheid voor een gegeven veiligheidsfactor³. Het twee-leveringen-model resulteert in de optimale bestelhoeveelheid en het optimale percentage van de bestelling dat bij de eerste levering geleverd wordt bij een gegeven veiligheidsfactor. Het meerdere-leveringen-model bepaalt de optimale bestelhoeveelheid bij een gegeven veiligheidsfactor. Zowel het één-levering-model, het twee-leveringen-model als het meerdere-leveringen-model ondergaan een iteratief zoekproces waarin de veiligheidsfactor aangepast wordt totdat de minimale kost bekomen wordt.

Chiang (2001, p. 73-75) beschrijft het model onder een een periodiek voorraadbeheersysteem⁴. Bij een periodiek voorraadbeheersysteem wordt het voorraadniveau op vaste tijdstippen gecontroleerd. In de praktijk wordt de lengte van de periode voor voorraadcontrole vaak vooraf bepaald door de onderneming. Chiang (2001) veronderstelt de lengte van de periode voor voorraadcontrole als een variabele, net zoals

³ Veiligheidsfactor = veiligheidsvoorraad/standaardafwijking van de levertermijn

⁴ Een periodiek voorraadbeheersysteem: de grootte van de voorraad wordt bepaald door een fysieke telling van de gestockeerde goederen op bepaalde tijdstippen. Het exacte voorraadniveau is hierdoor niet altijd gekend (Ross, 2004, p. 275).

de hoogte van het voorraadniveau. Het één-levering-model leidt tot de optimale hoogte van het voorraadniveau bij een gegeven lengte van de periode voor voorraadcontrole. Het twee-leveringen-model en het meerdere-leveringen-model geven de optimale hoogte van het voorraadniveau en het optimale percentage van de bestelling dat bij de eerste levering geleverd wordt bij een gegeven lengte van de periode voor voorraadcontrole. Net zoals bij een continu voorraadbeheersysteem ondergaan de modellen een iteratief zoekproces. Bij een periodiek voorraadbeheersysteem wordt de lengte van de periode voor voorraadcontrole aangepast totdat de minimale kost bekomen wordt.

4.3 Vergelijking van de modellen voor het splitsen van leveringen

Onderstaande tabel vergelijkt de besproken modellen voor het splitsen van leveringen op vlak van voorraadbeheersysteem, de elementen opgenomen in de doelfunctie, de variabelen die geoptimaliseerd worden en de gemaakte veronderstellingen.

<i>Model</i>	<i>Voorraad-beheer</i>	<i>Doelfunctie</i>	<i>Optimalisatie</i>	<i>Veronderstellingen</i>
Geïntegreerd model voor klant en leverancier met meerdere leveringen (Kim en Ha, 2003)		-bestelkosten -voorraadkosten klant en leverancier -transportkosten -kosten voor ontvangen van een bestelling -instelkosten -kosten voor behandeling van een bestelling	-bestelhoeveelheid -aantal leveringen -verzendhoeveelheid per levering	-vraag, productieritme, levertermijn en kosten: deterministisch en constant -nabestellingen: niet toegelaten -gelijke leveringsgrootte -levering komt aan op moment dat voorraad vorige levering juist uitgeput is
Model met verloren verkopen onder een continu voorraadbeheersysteem (Mohebbi en Posner, 2002)	Continu	-gemiddelde bestelkosten -gemiddelde voorraadkosten -gemiddelde tekortkosten	-bestelpunt in eenheden -bestelhoeveelheid	-vraag ontstaat volgens Poissonproces, aankomst ritme λ -vraag grootte exponentieel verdeeld, gemiddelde μ^{-1} -vraag grootte onafhankelijk en identiek verdeeld

				-vraag tijdens stockbreuk verloren -levertermijn exponentieel verdeeld, gemiddelde σ^{-1} -levertermijn onafhankelijk en identiek verdeeld
Benaderende analyse van het model voor het splitsen van leveringen (Janssen, de Kok en Schouten, 2000)	Continu	-bestelkosten -voorraadkosten -transportkosten + beperking van servicegraad	-bestelpunt in eenheden -bestelhoeveelheid bij gegeven maximale leveringshoeveelheid per levering en gegeven tussenaankomsttijd tussen de leveringen	-vraag ontstaat volgens Poissonproces, aankomsttrime λ -levertermijn deterministisch -nabestellingen toegelaten -maximale leveringshoeveelheid per levering beperkt
Model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen:		-bestelkosten -voorraadkosten + beperking van servicegraad		-vraag normaal verdeeld, gemiddelde μ en standaardafwijking σ -vraag onafhankelijk en identiek verdeeld -levertermijn en tussenaankomsttijd tussen opeenvolgende leveringen constant -nabestelling toegelaten
Één-levering-model (Chiang en Chiang, 1996)	Continu		-bestelhoeveelheid bij gegeven veiligheidsfactor	
Twee-leveringen-model (Chiang en Chiang, 1996)	Continu		-bestelhoeveelheid -percentage van bestelling dat bij eerste levering geleverd wordt bij gegeven veiligheidsfactor	
Meerdere-leveringen-model (Chiang	Continu		-bestelhoeveelheid bij een gegeven	

en Chiang, 1996)			veiligheidsfactor	
Eén-levering-model (Chiang, 2001)	Periodiek		-hoogte van voorraadniveau bij gegeven lengte van periode voor voorraadcontrole	
Twee-leveringen-model (Chiang, 2001)	Periodiek		-hoogte van voorraadniveau -percentage van bestelling dat bij eerste levering geleverd wordt bij gegeven lengte van periode voor voorraadcontrole	
Meerdere-leveringen-model (Chiang, 2001)	Periodiek		-hoogte van voorraadniveau -percentage van bestelling dat bij eerste levering geleverd wordt bij gegeven lengte van periode voor voorraadcontrole	

Tabel 4.1: Vergelijking van de modellen voor het splitsen van leveringen

Al de besproken modellen gebruiken een kostenfunctie als doelfunctie, met daarin de bestelkosten en de voorraadkosten opgenomen. Het geïntegreerde model voor leverancier en klant heeft een uitgebreide doelfunctie, aangezien zowel de kosten van de klant als de kosten van de leverancier opgenomen worden. Dit is echter het enige model dat geen rekening houdt met tekortkosten. In het model met verloren verkopen van Mohebbi en Posner zijn de tekortkosten expliciet opgenomen in de doelfunctie. In de benaderende analyse van het model voor het splitsen van leveringen en het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen wordt met de tekortkosten rekening gehouden via de beperking van de servicegraad waaraan de doelfunctie moet voldoen. Het model met verloren verkopen en de benaderende analyse van het model voor het splitsen van leveringen zijn geldig onder een continu voorraadbeheersysteem. In beide modellen wordt het bestelpunt in eenheden en de bestelhoeveelheid geoptimaliseerd. Bij het model met verloren verkopen wordt de vraag tijdens een stockbreuk als verloren beschouwd, terwijl in de benaderende analyse van het model voor het splitsen van leveringen en in het model voor het splitsen van een bestelling in

meerdere leveringen wel nabestellingen toegelaten zijn. Het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen optimaliseert de bestelhoeveelheid onder een continu voorraadbeheersysteem en de hoogte van het voorraadniveau onder een periodiek voorraadbeheersysteem. Het geïntegreerde model voor leverancier en klant optimaliseert de bestelhoeveelheid, het aantal leveringen en de verzendhoeveelheid per levering. In dit model zijn geen nabestellingen toegelaten, elke levering komt aan op het moment dat de voorraad van de vorige levering juist uitgeput is.

4.4 Verantwoording van de keuze van het model voor het praktijkonderzoek

In het praktijkonderzoek wordt verder ingegaan op het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen. Dit model wordt gekozen, omdat het nauw aansluit bij de modellen die beschreven worden in de standaardhandboeken zoals dat van Silver en Peterson (1985) en dat van Brown (1967). Aan de hand van dit model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen wordt de invloed van een tweede levering bestudeerd.

Het gebruik van computersystemen heeft continu voorraadbeheer populairder gemaakt, maar periodiek voorraadbeheer wordt nog steeds in veel situaties gebruikt. Daarom opteren we in de keuze van het model voor het praktijkonderzoek voor een voorraadbeheersysteem met een mogelijkheid tot bestelling na een vaste periode (Chiang, 2001), in tegenstelling tot een systeem waar op eender welk moment kan worden besteld (Chiang en Chiang, 1996). De lengte van de periode voor voorraadcontrole (uitgedrukt in tijdseenheden) wordt dikwijls vastgelegd door de leverancier. In dat geval is het model eenvoudig. In onze implementatie van het model van Chiang (2001) is de lengte van deze periode een beslissingsvariabele. Indien de leverancier meer dan één optie aanbiedt aangaande de lengte van deze periode, kan de optimale waarde die in het model wordt gevonden dienen om een advies te geven welk van de opties van de leverancier de beste blijkt. Indien de lengte van de periode voor voorraadcontrole heel klein wordt gekozen, herleidt het voorraadbeheersysteem zich tot de situatie met continue herzieningen.

5 Praktijkonderzoek: model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen onder een periodiek voorraadbeheersysteem

In het praktijkonderzoek wordt verder ingegaan op het model van Chiang onder een periodiek voorraadbeheersysteem. Het model van Chiang onderzoekt het splitsen van leveringen tijdens de lengte van de periode voor voorraadcontrole. De nadruk ligt op een vermindering van de cyclische voorraad (Chiang, 2001, p. 67).

Onder een periodiek voorraadbeheersysteem wordt op het einde van elke periode voor voorraadcontrole de voorraad gecontroleerd en een bestelling geplaatst die het voorraadniveau terug doet stijgen tot de voorraadhoeveelheid. Klassiek voorraadbeleid neemt algemeen aan dat de volledige bestelhoeveelheid in één enkele levering aankomt. Bedrijven die een lange-termijn relatie onderhouden met hun leveranciers kunnen overeenkomen dat een bestelling in kleinere deeltjes geleverd wordt op verschillende tijdstippen. Deze meervoudige leveringen leiden tot een vermindering van de gemiddelde cyclische voorraad en een stijging van de bestelkosten, welke transport- en inspectiekosten bevatten (Chiang, 2001, p. 68).

Het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen van Chiang (2001) maakt gebruik van volgende variabelen en symbolen:

- A vaste bestelkost per bestelling
- $B(L)$ verwachte nabestelling die ontstaat vooraleer de volgende levering aankomt (in eenheden)
- D gemiddelde jaarlijkse vraag (in eenheden)
- $G(k)$ partiële verwachtingsfunctie van k
- h jaarlijkse voorraadkost per eenheid
- $h(Y)$ kansdichtheidsfunctie van de vraag
- I kosten voor het verwerven van een bestelling (bvb. transportkost, kost voor het behandelen van een bestelling en inspectiekost)
- J kost voor voorraadcontrole
- k veiligheidsfactor
- L levertermijn (in tijdseenheden)
- n aantal leveringen per bestelling

- O kosten voor het afhandelen van een bestelling (bvb. administratiekosten en verwerkingskosten, ook de kosten voor voorraadcontrole worden hierin opgenomen)
- $P(k)$ complement van de cumulatieve standaardnormale distributiefunctie van k
- R lengte van de periode voor voorraadcontrole (in tijdseenheden)
- S hoogte van het voorraadniveau (in eenheden)
- SL servicegraad
- w percentage van de bestelling dat bij de eerste levering geleverd wordt
- Y vraag over een periode
- μ gemiddelde vraag (in eenheden per tijdseenheid)
- σ standaardafwijking van de vraag (in eenheden)
- Ψ servicegraad

5.1 Veronderstellingen van het model

Het model van Chiang voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen onder een periodiek voorraadbeheersysteem maakt volgende veronderstellingen (2001, p. 68):

- R is een beslissingsvariabele;
- S is een beslissingsvariabele;
- L is constant;
- de vraag is niet-negatief en onafhankelijk verdeeld over disjuncte tijdsintervallen;
- de vraag tijdens een tijdsinterval van lengte t volgt een normaalverdeling met gemiddelde μt en variantie $\sigma^2 t$.

Chiang merkt op dat in de praktijk de lengte van de periode voor voorraadcontrole vaak vooraf bepaald wordt door de onderneming, maar in dit model wordt de lengte van die periode beschouwd als een variabele binnen het model.

Het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen onder een periodiek voorraadbeheersysteem kan opgesplitst worden naar:

- het één-levering-model: de volledige bestelling wordt in één keer geleverd;
- het twee-leveringen-model: de bestelling wordt in twee keren geleverd;

- het meerdere-leveringen-model: de bestelling wordt in meer dan twee keren geleverd.

5.2 Het één-levering-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem

Het één-levering-model maakt volgende bijkomende veronderstellingen (Chiang, 2001, p. 68-69):

- L_1 is de constante levertermijn;
- $h_1(Y_1)$ is de kansdichtheidsfunctie van de vraag Y_1 over een periode van lengte R ;
- $h_1(Y_1) \sim N(\mu R, \sigma^2 R)$: $h_1(Y_1)$ volgt een normaalverdeling met gemiddelde μR en variantie $\sigma^2 R$;
- $B(L_1)$ is de gemiddelde nabestelling in eenheden die ontstaat vooraleer de volgende bestelling aankomt.

Veronderstel dat op tijdstip t de voorraad geïnspecteerd wordt en Y_1 is de vraag gedurende de vorige periode, namelijk $(t-R, t)$. Op tijdstip t wordt een bestelling geplaatst van grootte Y_1 die het voorraadniveau doet stijgen tot S , wat voldoende zou moeten zijn om aan de vraag te voldoen in het volgende tijdsinterval van lengte $R+L_1$. De volgende bestelling wordt geleverd op tijdstip $t+R+L_1$ (Chiang, 2001, p. 68-69).

De gemiddelde nabestelling in eenheden die ontstaat vooraleer de volgende bestelling aankomt wordt als volgt gedefinieerd:

$$B(L_1) = \sigma \sqrt{R + L_1} G(k_1) \quad (1)$$

$$\text{waarbij } k_1 = \frac{S - \mu(R + L_1)}{\sigma \sqrt{R + L_1}} \quad (2)$$

$G(k_1)$ is de partiële verwachtingsfunctie van k_1 die getabelleerd wordt in Brown⁵ of in Silver en Peterson⁶. De formule van de partiële verwachtingsfunctie ziet eruit als volgt:

$$G(k) = \int_k^{\infty} (u_0 - k) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-u_0^2 / 2) du_0 = \int_k^{\infty} (u_0 - k) f_u(u_0) du_0$$

Bijlage 1 geeft een volledige omschrijving en definitie van deze partiële verwachtingsfunctie, een speciale functie van de standaardnormale variabele.

Chiang (2001, p. 69) maakt gebruik van een servicegraadbeperving voor de doelfunctie om zo een schatting van de nabestellingkost te vermijden. De servicegraad wordt gedefinieerd als het percentage van de vraag dat onmiddellijk vervuld kan worden vanuit de voorraad. Bij een één-levering benadering wordt de servicegraad (SL) als volgt gedefinieerd:

$$SL = 100 - 100 \frac{B(L_1)}{\mu R} \quad (3)$$

De doelfunctie van het één-levering-model ziet eruit als volgt:

$$\text{Min } C(R, S) = \left[\frac{D(O + I)}{\mu R} \right] + h \left(S - \mu L_1 - \frac{\mu R}{2} \right) \quad (4)$$

$(O + I) = A$ stelt de vaste bestelkost voor. μR geeft de gemiddelde bestelhoeveelheid per periode en de veiligheidsvoorraad bestaat uit $(S - \mu L_1 - \mu R)$ (Chiang, 2001, p. 69).

⁵ Brown, R.G. (1967) *Decision Rules for Inventory Management*, New York, Holt, Rinehart and Winston.

⁶ Silver E.A. en Peterson, R. (1985) *Decision systems for inventory management and production planning*, New York, Wiley.

De doelfunctie van het één-levering-model is onderhevig aan volgende beperking:

$$100 - 100 \frac{B(L_1)}{\mu R} \geq \psi \quad (5)$$

waarbij ψ staat voor de servicegraad (Chiang, 2001, p. 69).

Voor de oplossing van het één-levering-model wordt de Lagrange-functie geformuleerd. Deze Lagrange-functie wordt afgeleid naar R , S en λ en gelijkgesteld aan nul. Dit resulteert in beperking (5) bij gelijkheid. De optimale oplossing van het één-levering-model voldoet dus aan de beperking (5) bij gelijkheid. Via de gelijkheid van beperking (5) wordt een optimale waarde van S gevonden voor een gegeven waarde van R . Daarna volgt een iteratief zoekproces waarin de waarde van R aangepast wordt, totdat de minimale kost bekomen wordt. De waarde van R en de bijhorende waarde van S die leiden tot minimale kosten, geven de optimale oplossing van het één-levering-model (Chiang, 2001, p. 69).

5.3 Het twee-leveringen-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem

Bijkomende veronderstellingen van het twee-leveringen-model zijn (Chiang, 2001, p. 69-70):

- L_2 is de tussenaankomsttijd tussen de eerste en de tweede levering en is kleiner dan R ;
- L_2 is een constante;
- $h_2(Y_2)$ is de kansdichtheidsfunctie van de vraag Y_2 gedurende het tijdsinterval $(t, t+L_1+L_2)$
- $h_2(Y_2) \sim N(\mu(L_1 + L_2), \sigma^2(L_1 + L_2))$: $h_2(Y_2)$ volgt een normaalverdeling met gemiddelde $\mu(L_1 + L_2)$ en variantie $\sigma^2(L_1 + L_2)$.

Veronderstel dat op tijdstip t de voorraad geïnspecteerd wordt en Y_1 is de vraag gedurende de vorige periode. Op tijdstip t wordt een bestelling geplaatst van grootte Y_1 .

De leverancier gaat ermee akkoord een gedeelte w van de bestelhoeveelheid te leveren na L_1 en het resterende gedeelte na $L_1 + L_2$ (Chiang, 2001, p. 69-70).

In het één-levering-model wordt verondersteld dat alle tekorten verdwijnen op het moment van de levering van de bestelling. In het twee-leveringen-model klopt deze veronderstelling niet. Niet alle tekorten verdwijnen op tijdstip $t + L_1$, aangezien een gedeelte van de bestelling pas geleverd wordt op tijdstip $t + L_1 + L_2$. In het twee-leveringen-model kunnen eveneens tekorten ontstaan tussen tijdstip $t + L_1$ en tijdstip $t + L_1 + L_2$. Het model moet de tekorten berekenen die kunnen ontstaan voor de ontvangst van de tweede levering. Hierdoor kunnen mogelijks dubbeltellingen gebeuren van dezelfde tekorten als de eerste levering niet alle tekorten kan opvangen. Dit is echter zeer uitzonderlijk, omdat het gemiddelde nabestellingsniveau relatief laag gehouden wordt. De gemiddelde nabestelling die ontstaat voor de ontvangst van de tweede levering wordt weergegeven door $B(L_2)$ en gedefinieerd als volgt (Chiang, 2001, p. 70):

$$B(L_2) = \sigma \sqrt{L_1 + L_2} G(k_2) \quad (6)$$

$$\text{waarbij } k_2 = \frac{[S - (1 - w)\mu R - \mu(L_1 + L_2)]}{\sigma \sqrt{L_1 + L_2}} \quad (7)$$

$G(k_2)$ is opnieuw de partiële verwachtingsfunctie die getabelleerd wordt in Brown of in Silver en Peterson en weergegeven wordt in bijlage 1.

De servicegraad van het twee-leveringen-model wordt gedefinieerd door:

$$SL = 100 - 100 \frac{B(L_1) + B(L_2)}{\mu R} \quad (8)$$

Door een bestelling in twee leveringen te splitsen, kan de gemiddelde cyclische voorraad gereduceerd worden. De bestelkost A stijgt. De kosten O om een bestelling af te handelen, zoals administratiekosten en verwerkingskosten blijven dezelfde. De kosten I voor het verwerven van een bestelling, zoals transportkosten, kosten van goederenbehandeling en inspectie zullen ongeveer verdubbelen. De bestelkost A wordt dus $A = O + 2I$ (Chiang, 2001, p. 70).

De doelfunctie van het twee-leveringen-model ziet eruit als volgt:

$$\text{Min } C(R, S, w) = \frac{[D(O + 2I)]}{\mu R} + h \left[S - \mu L_1 - \frac{\mu R}{2} - (1 - w)\mu L_2 \right] \quad (9)$$

Deze doelfunctie is onderhevig aan volgende beperkingen:

$$100 - 100 \frac{B(L_1) + B(L_2)}{\mu R} \geq \psi \quad (10)$$

$$0 < w < 1$$

waarbij ψ staat voor de servicegraad. De parameter w mag niet de waarde nul of één aannemen, aangezien de bestelling dan in slechts één levering gebeurt (Chiang, 2001, p. 70-71).

De optimale oplossing van het twee-leveringen-model voldoet aan de eerste beperking (10) bij gelijkheid, dit om dezelfde reden als bij het één-levering-model. De formulering van de Lagrange leidt tot volgende functie:

$$\text{Min } L(R, S, w, \psi) = \frac{[D(O + 2I)]}{\mu R} + h \left[S - \mu L_1 - \frac{\mu R}{2} - (1 - w) \mu L_2 \right] + \lambda \left[B(L_1) + B(L_2) - \frac{(100 - \psi) \mu R}{100} \right] \quad (11)$$

Door de eerste afgeleiden van de Lagrange-functie naar S , w en λ gelijk te stellen aan nul, worden volgende formules bekomen:

$$\frac{L_2}{R} = \frac{P(k_2)}{P(k_1) + P(k_2)} \quad (12)$$

$$B(L_1) + B(L_2) = \frac{(100 - \psi) \mu R}{100} \quad (13)$$

waarbij

- $0 < w < 1$
- $P(k_1)$ en $P(k_2)$ zijn het complement van de cumulatieve verdelingsfunctie voor de standaardnormale variabele
- formule (13) komt overeen met formule (10) bij gelijkheid

De optimale waarden van S en w , gegeven een bepaalde waarde van R , zijn niet afhankelijk van de waarden van O , I en h . Het stelsel van de formules (12) en (13) leidt tot een optimale waarde van S en van w voor een gegeven waarde van R . Daarna volgt een iteratief zoekproces waarin de waarde van R aangepast wordt, totdat de minimale kost bekomen wordt. De waarde van R en bijhorende waarden van S en w die tot minimale kosten leiden, geven de optimale oplossing van het twee-leveringen-model (Chiang, 2001, p. 71).

5.4 Het meerdere-leveringen-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem

Het meerdere-leveringen-model van Chiang (2001, p. 73) veronderstelt dat een bestelling in meer dan twee keer geleverd wordt. De tussenaankomsttijd tussen de leveringen wordt voorgesteld door L_i , waarbij

$$L_i = R/n$$

met $i=2, 3, \dots, n$ en n het aantal leveringen per bestelling.

De formule van de gemiddelde nabestelling in het meerdere-leveringen-model wordt als volgt uitgebreid (Chiang, 2001, p. 74):

$$B(L_i) = \sigma \sqrt{\sum_{j=1}^i L_j} G(k_i) \quad \text{met } i=2, 3, \dots, n.$$

$$\text{waarbij } k_i = \frac{\left[S - (1 - \sum_{j=1}^{i-1} w_j) \mu R - \mu \sum_{j=1}^i L_j \right]}{\sigma \sqrt{\sum_{j=1}^i L_j}}$$

De doelfunctie van het meerdere-leveringen-model wordt eveneens uitgebreid (Chiang, 2001, p. 74):

$$\begin{aligned} \text{Min } C(R, S, w_1, \dots, w_{n-1}) = & \left[\frac{D(O + nI)}{\mu R} \right] \\ & + h \left[S - \mu L_1 - \frac{\mu R}{2} - (1 - w_1) \mu L_2 - (1 - w_1 - w_2) \mu L_3 - \dots - (1 - \sum_{j=1}^{n-1} w_j) \mu L_n \right] \end{aligned}$$

en is onderhevig aan volgende beperkingen (Chiang, 2001, p. 74)

$$\sum_{i=1}^n B(L_i) - \frac{(100 - \psi)\mu R}{100} = 0$$

$$0 < w_j < 1 \quad \text{met } j=1, \dots, n-1$$

$$\sum_{j=1}^{n-1} w_j < 1$$

6 Uitwerking, berekening en bespreking van de resultaten van het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen onder een periodiek voorraadbeheersysteem

In het praktijkonderzoek wordt de situatie waar een bestelling in één keer geleverd wordt vergeleken met de situatie waar een bestelling in twee keren geleverd wordt. De uitwerking en berekening van beide situaties gebeurt via Microsoft Excel. Het onderzoek begint met de uitwerking en berekening van het één-levering-model. Dezelfde inputgegevens worden toegepast op het twee-leveringen-model. Op de situatie waar een bestelling in meer dan twee keren geleverd wordt (het meerdere-leveringen-model), wordt niet verder ingegaan, aangezien de mogelijkheden van Microsoft Excel hiervoor te beperkt zijn. Daarna wordt de invloed van de servicegraad en van de standaardafwijking van de vraag en de gemiddelde vraag op de kosten van de twee situaties onderzocht. De resultaten van de twee situaties worden met elkaar vergeleken en daaruit wordt geconcludeerd of het splitsen van een bestelling in twee leveringen voordeliger is dan een volledige bestelling in één keer te laten leveren.

6.1 Uitwerking en berekening van het één-levering-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem

De uitwerking en berekening van het één-levering-model gebeurt via Microsoft Excel. Aan de bovenzijde van het Microsoft Excel blad bevinden zich de inputgegevens waarnaar in de formules van het model verwezen wordt. De inputgegevens waarvan vertrokken wordt, zijn bekomen uit tabel drie (Chiang, 2001, p. 72).

Inputgegevens		
<i>Constanten</i>		
$\mu =$	10	eenheden/dag
$\sigma =$	2	eenheden
1 jaar =	250	dagen
$A =$	1,5	euro
$O =$	1	euro
$I =$	0,5	euro
$\psi =$	99,9	(servicegraad)
$h =$	0,5	euro/eenheid/jaar
$L_1 =$	10	dagen
<i>Parameter</i>		
$R =$	12	dagen

Tabel 6.1: Inputgegevens van het één-levering-model

Naast de inputgegevens bevinden zich een aantal eenvoudige berekeningen, die de uitwerking van de formules vereenvoudigen.

$D = 250 \text{ dagen/jaar} * \mu$	
$D =$	2500
$R + L_1 =$	22
$\text{WORTEL}(R + L_1) =$	4,690416
$\mu R =$	120

Tabel 6.2: Berekeningen ter vereenvoudiging van de uitwerking van het één-levering-model

De uitwerking van het één-levering-model begint met de berekening van de waarde van k_1 door het invullen van de benodigde inputgegevens in formule (2)⁷. De waarde van k_1 hangt af van de waarde van S , welke in de eerste kolom van de tabel opgenomen wordt en zo mee ingevuld kan worden in formule (2). Op basis van de waarde van k_1 kan de waarde van $G(k_1)$ bepaald worden, door de waarde van k_1 op te zoeken in de tabel van de partiële verwachtingsfunctie in bijlage 1 en de bijhorende waarde van $G(k_1)$ over te nemen. Via de waarde van $G(k_1)$, kan de waarde van $B(L_1)$ berekend worden door de benodigde inputgegevens in te vullen in formule (1)⁸. De waarde van $B(L_1)$ wordt ingevuld in de beperking van de doelfunctie, welke voorgesteld wordt door formule (5)⁹.

⁷ Formule (2) onder 5.2 Het één-levering-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem

⁸ Formule (1) onder 5.2: Het één-levering-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem

⁹ Formule (5) onder 5.2 Het één-levering-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem

Formule (5) is bij een optimale oplossing gelijk aan de servicegraad ψ . Het verschil van formule (5) geeft het verschil van de beperking en de servicegraad, namelijk

$$100 - 100 \frac{B(L_1)}{\mu R} - \psi = \text{verschil formule (5)}. \text{ Onderstaande tabel geeft een gedeelte van de}$$

tabel uit het Microsoft Excel blad weer.

S	k_1	$G(k_1)$	$B(L_1)$	verschil formule (5)
200	-2,13	2,145800000	20,129388275	-16,674490229
201	-2,03	2,037800000	19,116258471	-15,830215392
202	-1,92	1,930500000	18,109695249	-14,991412707
203	-1,81	1,833600000	17,200692674	-14,233910562
204	-1,71	1,727800000	16,208200700	-13,406833916
205	-1,60	1,623200000	15,226965723	-12,589138102
206	-1,49	1,529300000	14,346105643	-11,855088036
207	-1,39	1,427500000	13,391136994	-11,059280829
208	-1,28	1,327500000	12,453053842	-10,277544869
209	-1,17	1,238400000	11,617221754	-9,581018128
210	-1,07	1,142800000	10,720414261	-8,833678551
211	-0,96	1,049900000	9,848935012	-8,107445844
212	-0,85	0,968000000	9,080644911	-7,467204093
213	-0,75	0,881200000	8,266388735	-6,788657279
214	-0,64	0,798000000	7,485903553	-6,138252961
215	-0,53	0,725700000	6,807669434	-5,573057862
216	-0,43	0,650300000	6,100354737	-4,983628948
217	-0,32	0,579200000	5,433377616	-4,427814680
218	-0,21	0,518600000	4,864899226	-3,954082688
219	-0,11	0,456400000	4,281411506	-3,467842921
220	0,00	0,398900000	3,742013693	-3,018344744
221	0,11	0,350900000	3,291733780	-2,643111484
222	0,21	0,302700000	2,839577701	-2,266314751
223	0,32	0,263000000	2,467158690	-1,955965575

Tabel 6.3: Berekening van het één-levering-model

De waarde in de laatste kolom van tabel 6.3, namelijk "verschil formule (5)", die de waarde 0 het dichtste benadert, geeft een optimale waarde van S bij de gegeven waarde van R . Deze optimale waarde van S is verbonden met een bepaalde waarde van k_1 . Beide waarden worden vanonder in het Microsoft Excel blad ingevuld, waarna de waarde van de doelfunctie, voorgesteld door formule (4) ¹⁰, berekend wordt.

¹⁰ Formule (4) onder 5.2 Het één-levering-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem

Resultaat:	S	k_1	Doelfunctie
	237,00	1,812206089	69,75

Tabel 6.4: Resultaten van het één-levering-model

Deze berekeningen worden tijdens een iteratief zoekproces herhaald worden voor verschillende waarden van R , door de waarde van de parameter vanboven in het Microsoft Excel blad te wijzigen. De berekeningen van het één-levering-model worden automatisch herrekend. Het enige dat manueel dient te gebeuren, is de waarde van "verschil formule (5)" die het dichtste bij 0 ligt en de bijhorende waarden van S en van k_1 vanonder in het Microsoft Excel blad in te geven. Hierdoor wordt de waarde van de doelfunctie herrekend. Door de waarde van de doelfunctie van het één-levering-model te berekenen voor verschillende waarden van R , kan de optimale oplossing bekomen worden. De optimale oplossing van het model bestaat uit die waarde van R en de bijhorende waarde van S waarvoor de waarde van de doelfunctie geminimaliseerd wordt.

6.2 Uitwerking en berekening van het twee-leveringen-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem

Na de uitwerking en berekening van het één-levering-model volgt deze van het twee-leveringen-model. Het twee-leveringen-model geeft een uitbreiding van het één-levering-model. De uitwerking hiervan gebeurt in een apart Microsoft Excel bestand. Bovenaan het Microsoft Excel blad staan, net zoals bij het één-levering-model, de inputgegevens waarnaar in de formules van het model verwezen wordt. Een bijkomende inputfactor is L_2 , de tussenaankomsttijd tussen de twee leveringen. Deze inputfactor wordt niet bij de inputgegevens van het één-levering-model opgenomen, aangezien L_2 niet voorkomt in de formules van het één-levering-model.

Inputgegevens	
<i>Constanten</i>	
$\mu =$	10 eenheden/dag
$\sigma =$	2 eenheden
1 jaar =	250 dagen
$A =$	1,5 euro
$O =$	1 euro
$I =$	0,5 euro
$\psi =$	99,9 (servicegraad)
$h =$	0,5 euro/eenheid/jaar
$L_1 =$	10 dagen
$L_2 =$	8 dagen
<i>Parameter</i>	
$R =$	19 dagen

Tabel 6.5: Inputgegevens van het twee-leveringen-model

Naast de inputgegevens bevinden zich een aantal eenvoudige berekeningen, die de uitwerking van de formules vereenvoudigen.

$\mu \cdot R =$	190,00
$L_1 + L_2 =$	18,00
WORTEL ($L_1 + L_2$)	
$=$	4,242640687
$D =$	2500
$O + 2I =$	2
$D(O+2I) =$	5000

Tabel 6.6: Berekeningen ter vereenvoudiging van de uitwerking van het twee-leveringen-model

De uitwerking van het twee-leveringen-model begint zoals die van het één-levering-model met de berekening van de waarde van k_1 door het invullen van de benodigde inputgegevens in dezelfde formule (2)¹¹. De waarde van k_1 hangt af van de waarde van S , welke opnieuw in de eerste kolom van de tabel opgenomen wordt. Op basis van de waarde van k_1 kan de waarde van $G(k_1)$ bepaald worden, door de waarde van k_1 op te zoeken in de tabel van de partiële verwachtingsfunctie in bijlage 1 en de overeenstemmende waarde van $G(k_1)$ over te nemen. Via de waarde van k_1 kan ook de

¹¹ Formule (2) onder 5.2 Het één-levering-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem

waarde van $P(k_1)$ ¹² berekend worden. Dit gebeurt via een voorgeprogrammeerde functie van Microsoft Excel, een voorbeeld hiervan is (1 - STAND.NORM.VERD(B21)). Via de waarde van $G(k_1)$ kan de waarde van $B(L_1)$ berekend worden, door de benodigde inputgegevens in te geven in formule (1)¹³. Onderstaande tabel geeft een gedeelte van de tabel uit het Microsoft Excel blad weer.

S	k_1	$G(k_1)$	$P(k_1)$	$B(L_1)$
300	0,93	0,096800000	0,176580154	1,042567907
301	1,02	0,080190000	0,153550408	0,863672732
302	1,11	0,067270000	0,132602741	0,724520073
303	1,21	0,056100000	0,113712341	0,604215491
304	1,30	0,046500000	0,096823281	0,500820327
305	1,39	0,037480000	0,081853043	0,403671954
306	1,49	0,030670000	0,068697444	0,330326009
307	1,58	0,024940000	0,057235686	0,268612021
308	1,67	0,019670000	0,047335337	0,211852384
309	1,76	0,015780000	0,038857045	0,169955801
310	1,86	0,012570000	0,031658831	0,135383043
311	1,95	0,009957000	0,025599848	0,107240172
312	2,04	0,007623000	0,020543544	0,082102223
313	2,14	0,005952000	0,016360184	0,064105002
314	2,23	0,004616000	0,012928747	0,049715841
315	2,32	0,003453000	0,010138225	0,037189948
316	2,41	0,002640000	0,007888374	0,028433670
317	2,51	0,002004000	0,006089997	0,021583741
318	2,60	0,001511000	0,004664826	0,016273968
319	2,69	0,001095000	0,003545099	0,011793511
320	2,79	0,000813800	0,002672897	0,008764894

Tabel 6.7: Berekening van de waarden van k_1 , $G(k_1)$, $P(k_1)$ en $B(L_1)$ voor het twee-leveringen-model

De berekening van de waarde van k_2 door het invullen van de benodigde inputgegevens in formule (7)¹⁴ gebeurt in een matrix die waarden van S en van w met elkaar combineert, aangezien k_2 afhangt van zowel de waarde van S als de waarde van w . De waarden van w liggen tussen 0 en 1 en worden opgesplitst tot twee getallen na de komma. Volgende tabel geeft een beeld van de opbouw van de matrix in het Microsoft Excel blad.

¹² Het complement van de cumulatieve standaardnormale verdelingsfunctie van k_1

¹³ Formule (1) onder 5.2 Het één-levering-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem

¹⁴ Formule (7) onder 5.3 Het twee-leveringen-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem

k_2					
S / w	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
300	-8,025661966	-7,801744819	-7,577827672	-7,353910524	-7,129993377
301	-7,907810836	-7,683893689	-7,459976542	-7,236059394	-7,012142247
302	-7,789959706	-7,566042559	-7,342125411	-7,118208264	-6,894291117
303	-7,672108576	-7,448191428	-7,224274281	-7,000357134	-6,776439986
304	-7,554257446	-7,330340298	-7,106423151	-6,882506004	-6,658588856
305	-7,436406315	-7,212489168	-6,988572021	-6,764654873	-6,540737726
306	-7,318555185	-7,094638038	-6,870720891	-6,646803743	-6,422886596
307	-7,200704055	-6,976786908	-6,752869760	-6,528952613	-6,305035466
308	-7,082852925	-6,858935778	-6,635018630	-6,411101483	-6,187184335
309	-6,965001795	-6,741084647	-6,517167500	-6,293250353	-6,069333205
310	-6,847150664	-6,623233517	-6,399316370	-6,175399222	-5,951482075
311	-6,729299534	-6,505382387	-6,281465240	-6,057548092	-5,833630945
312	-6,611448404	-6,387531257	-6,163614109	-5,939696962	-5,715779815
313	-6,493597274	-6,269680127	-6,045762979	-5,821845832	-5,597928684
314	-6,375746144	-6,151828996	-5,927911849	-5,703994702	-5,480077554
315	-6,257895014	-6,033977866	-5,810060719	-5,586143571	-5,362226424
316	-6,140043883	-5,916126736	-5,692209589	-5,468292441	-5,244375294
317	-6,022192753	-5,798275606	-5,574358458	-5,350441311	-5,126524164
318	-5,904341623	-5,680424476	-5,456507328	-5,232590181	-5,008673033
319	-5,786490493	-5,562573345	-5,338656198	-5,114739051	-4,890821903
320	-5,668639363	-5,444722215	-5,220805068	-4,996887920	-4,772970773

Tabel 6.8: Berekening van k_2 voor het twee-leveringen-model

Op basis van de waarde van k_2 , kan de waarde van $G(k_2)$ bepaald worden door de waarde van k_2 op te zoeken in de tabel van de partiële verwachtingsfunctie in bijlage 1 en de overeenstemmende waarde van $G(k_2)$ over te nemen. De waarde van $P(k_2)$ ¹⁵ wordt berekend via een voorgeprogrammeerde functie van Microsoft Excel. Een voorbeeld hiervan is (1 - STAND.NORM.VERD(H331)). De waarde van $B(L_2)$ wordt berekend door het invullen van de benodigde inputgegevens in formule (6)¹⁶. De waarden van $G(k_2)$, $P(k_2)$ en $B(L_2)$ worden eveneens in een matrix voorgesteld, met waarden van S op de verticale as en van w op de horizontale as.

Deze berekende waarden moeten ingevuld worden in formule (12) en formule (13)¹⁷. Van beide formules moet het verschil berekend worden. Dit resulteert in een matrix met op de verticale as waarden van S en op de horizontale as waarden van w . Het verschil van formule (12) is een stijgende functie. Het verschil van formule (13) is een dalende

¹⁵ Het complement van de cumulatieve standaardnormale verdelingsfunctie van k_2

¹⁶ Formule (6) onder 5.3 Het twee-leveringen-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem

¹⁷ Formule (12) en (13) onder 5.3 Het twee-leveringen-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem

functie. Onderstaande tabel geeft een gedeelte van de matrix uit het Microsoft Excel blad weer.

Verschil formule (12)					
S / w	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43
300	-0,219358111	-0,154812441	-0,078011793	0,008405047	0,098774873
301	-0,219728804	-0,150332642	-0,068250244	0,022983618	0,116527807
302	-0,219304224	-0,144884501	-0,057429903	0,038471212	0,134716147
303	-0,218048383	-0,138431598	-0,045543438	0,054807506	0,153204749
304	-0,215925531	-0,130939822	-0,032593020	0,071915784	0,171847311
305	-0,212899770	-0,122377986	-0,018591902	0,089702533	0,190489589
306	-0,208934794	-0,112718676	-0,003566086	0,108057622	0,208973293
307	-0,203993773	-0,101939354	0,012444039	0,126855185	0,227140498
308	-0,198039396	-0,090023722	0,029382172	0,145955302	0,244838319
309	-0,191034125	-0,076963332	0,047174859	0,165206516	0,261923585
310	-0,182940654	-0,062759426	0,065730654	0,184449179	0,278267206
311	-0,173722637	-0,047424956	0,084939880	0,203519501	0,293757931
312	-0,163345687	-0,030986703	0,104675126	0,222254155	0,308305262
313	-0,151778690	-0,013487394	0,124792612	0,240495162	0,321841348
314	-0,138995437	0,005012329	0,145134504	0,258094776	0,334321765
315	-0,124976595	0,024432253	0,165532200	0,274920030	0,345725207
316	-0,109711998	0,044671458	0,185810498	0,290856648	0,356052175
317	-0,093203216	0,065607909	0,205792484	0,305812056	0,365322845
318	-0,075466343	0,087098957	0,225304893	0,319717310	0,373574326
319	-0,056534871	0,108982947	0,244183597	0,332527863	0,380857545
Verschil formule (13)					
S / w	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43
300	2,583565307	2,065114615	1,658924196	1,379503880	1,184851525
301	2,105139700	1,657965371	1,328397043	1,085293731	0,928061467
302	1,726702106	1,326027120	1,050934298	0,852548419	0,727135960
303	1,381537568	1,043993075	0,817266357	0,662919088	0,558380422
304	1,087732690	0,816882508	0,621975595	0,498939015	0,417480314
305	0,831315585	0,608237538	0,451259832	0,354357919	0,293815437
306	0,626193221	0,444693052	0,324032351	0,244355559	0,198322907
307	0,464946882	0,310769319	0,215819020	0,156659639	0,120079591
308	0,319516054	0,201231232	0,123251496	0,078271019	0,051152060
309	0,206852225	0,113853541	0,053955940	0,020260888	0,001033240
310	0,116361463	0,044151718	0,000265843	-0,026174294	-0,040064699
311	0,047828652	-0,010711304	-0,043591769	-0,062929725	-0,072840534
312	-0,011674687	-0,055967855	-0,080278186	-0,093795240	-0,101219861
313	-0,055755662	-0,087830026	-0,106658865	-0,116289660	-0,121454650
314	-0,089779764	-0,113479155	-0,127047120	-0,133826011	-0,137263398
315	-0,116874885	-0,134150918	-0,143518669	-0,148520742	-0,150849103
316	-0,135541972	-0,148745070	-0,155322011	-0,158752611	-0,160310508
317	-0,150325640	-0,159710361	-0,164272897	-0,166526587	-0,167621613
318	-0,161303580	-0,167688754	-0,171011590	-0,172516031	-0,173229813
319	-0,169782302	-0,174204830	-0,176450036	-0,177442050	-0,177887867

Tabel 6.9: Berekening van het verschil van de afgeleiden van de Lagrange-functie voor het twee-leveringen-model

Om na te gaan bij welke waarden van S en van w het verschil van formule (12) en het verschil van formule (13) 0 wordt, wordt gebruik gemaakt van een "als"-functie in Microsoft Excel. De waarde van het verschil van formule (12) en van het verschil van formule (13) wordt immers 0, als de waarden in twee aangrenzende kolommen overgaan van negatief naar positief bij een stijgende functie of omgekeerd bij een dalende functie. In Microsoft Excel wordt dit berekend door te controleren waar het product van de waarden uit twee aangrenzende kolommen kleiner is dan 0. Een voorbeeld van de formule die hiervoor gebruikt wordt, ziet eruit als volgt: =ALS((B641*C641)<0;1;0). De resultaten van de uitvoering van deze functie worden opgeslagen in een nieuwe matrix, met op de verticale as waarden van S en op de horizontale as voor elke kolom twee waarden van w . In de matrix zelf, komen enkel de waarden 0 en 1 voor. Volgende tabel geeft hiervan een voorbeeld.

formule (12), waar van negatief naar positief (stijgende functie)					
S / w	0,38 - 0,39	0,39 - 0,40	0,40 - 0,41	0,41 - 0,42	0,43 - 0,44
300	0	0	0	1	0
301	0	0	0	1	0
302	0	0	0	1	0
303	0	0	0	1	0
304	0	0	0	1	0
305	0	0	0	1	0
306	0	0	0	1	0
307	0	0	1	0	0
308	0	0	1	0	0
309	0	0	1	0	0
310	0	0	1	0	0
311	0	0	1	0	0
312	0	0	1	0	0
313	0	0	1	0	0
314	0	1	0	0	0
315	0	1	0	0	0
316	0	1	0	0	0
317	0	1	0	0	0
318	0	1	0	0	0
319	0	1	0	0	0
320	0	1	0	0	0
formule (13), waar van positief naar negatief (dalende functie)					
S / w	0,38 - 0,39	0,39 - 0,40	0,40 - 0,41	0,41 - 0,42	0,43 - 0,44
300	0	0	0	0	0
301	0	0	0	0	0
302	0	0	0	0	0

303	0	0	0	0	0
304	0	0	0	0	0
305	0	0	0	0	0
306	0	0	0	0	0
307	0	0	0	0	0
308	0	0	0	0	0
309	0	0	0	0	0
310	0	0	0	1	0
311	0	1	0	0	0
312	1	0	0	0	0
313	0	0	0	0	0
314	0	0	0	0	0
315	0	0	0	0	0
316	0	0	0	0	0
317	0	0	0	0	0
318	0	0	0	0	0
319	0	0	0	0	0
320	0	0	0	0	0

Tabel 6.10: Berekening van het nulpunt van het verschil van de afgeleiden van de Lagrange-functie voor het twee-leveringen-model

In de matrix van tabel 6.10 wordt per waarde van S nagegaan voor welke waarden van w de als-functie de waarde 1 aangeeft. Deze waarden van w worden in een nieuwe tabel gekopieerd, welke hieronder gedeeltelijk weergegeven is.

formule (12) van negatief naar positief	
S	w
300	0,41 - 0,42
301	0,41 - 0,42
302	0,41 - 0,42
303	0,41 - 0,42
304	0,41 - 0,42
305	0,41 - 0,42
306	0,41 - 0,42
307	0,40 - 0,41
308	0,40 - 0,41
309	0,40 - 0,41
310	0,40 - 0,41
311	0,40 - 0,41
312	0,40 - 0,41
313	0,40 - 0,41
314	0,39 - 0,40
315	0,39 - 0,40
316	0,39 - 0,40
317	0,39 - 0,40
318	0,39 - 0,40
319	0,39 - 0,40
320	0,39 - 0,40

formule 13 van positief naar negatief	
S	w
300	#N/B
301	#N/B
302	#N/B
303	#N/B
304	#N/B
305	#N/B
306	#N/B
307	#N/B
308	#N/B
309	0,43 - 0,44
310	0,41 - 0,42
311	0,39 - 0,40
312	0,38 - 0,39
313	0,37 - 0,38
314	0,37 - 0,38
315	0,36 - 0,37
316	0,35 - 0,36
317	0,35 - 0,36
318	0,34 - 0,35
319	0,34 - 0,35
320	0,33 - 0,34

Tabel 6.11: Berekening van de waarden van w waarvoor het verschil van de afgeleiden van de Lagrange-functie het nulpunt bereiken in het twee-leveringen-model

In tabel 6.11 wordt voor elke waarde van S nagegaan waar de waarden van w voor formule (12) van negatief naar positief overeenstemmen met de waarden van w voor formule (13) van positief naar negatief. Deze waarden van S en van w geven de oplossing van het stelsel van formule (12) en formule (13) en worden naar een nieuwe tabel overgebracht voor de berekening van de optimale waarde van S en van w bij de gegeven waarde van R .

	w	verschil formule (12)	w	verschil formule (13)
S = 310	0,40	-0,062759426	0,41	0,000265843
	0,41	0,065730654	0,42	-0,026174294
S = 311	0,40	-0,047424956	0,39	0,047828652
	0,41	0,084939880	0,40	-0,010711304

	w uit formule 12	w uit formule 13	verschil tussen w uit formule 12 en 13
S = 310	0,405115621	0,410100545	0,004984924
S = 311	0,406417103	0,398170258	-0,008246845

Tabel 6.12: Berekening van de optimale waarde van S en van w , bij een gegeven waarde van R in het twee-leveringen-model

De " w uit formule (12)" in het onderste gedeelte van tabel 6.12 bij een waarde van S van 310 en van 311 is een extrapolatie van de waarde van w die ligt tussen 0,40 en 0,41 op basis van de waarden van het verschil van formule (12). De berekening van " w uit formule (13)" gebeurt analoog. Daarna worden de verschillen tussen " w uit formule (12)" en " w uit formule (13)" berekend. De waarde van S waar dit verschil in absolute waarde het kleinste is, geeft een optimale waarde van S bij de gegeven waarde van R . De kleinste waarde van w die overeenkomt met die optimale waarde van S geeft de optimale waarde van w bij dezelfde gegeven waarde van R . De optimale waarden van S en van w bij een gegeven waarde van R worden ingevuld in de doelfunctie, weergegeven door formule (9)¹⁸, om te totale kosten te berekenen. Deze berekeningen worden herhaald voor verschillende waarden van R . De waarde van R en de bijhorende waarden van S en van w die leiden tot minimale kosten, geven de optimale oplossing van het twee-leveringen-model.

Resultaat			
S	w	$(1-w)$	Doelfunctie
310	0,41	0,59	60,02

Tabel 6.13: Resultaten van het twee-leveringen-model

6.3 Bespreking van de resultaten van het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen onder periodiek voorraadbeheer bij een veranderende servicegraad

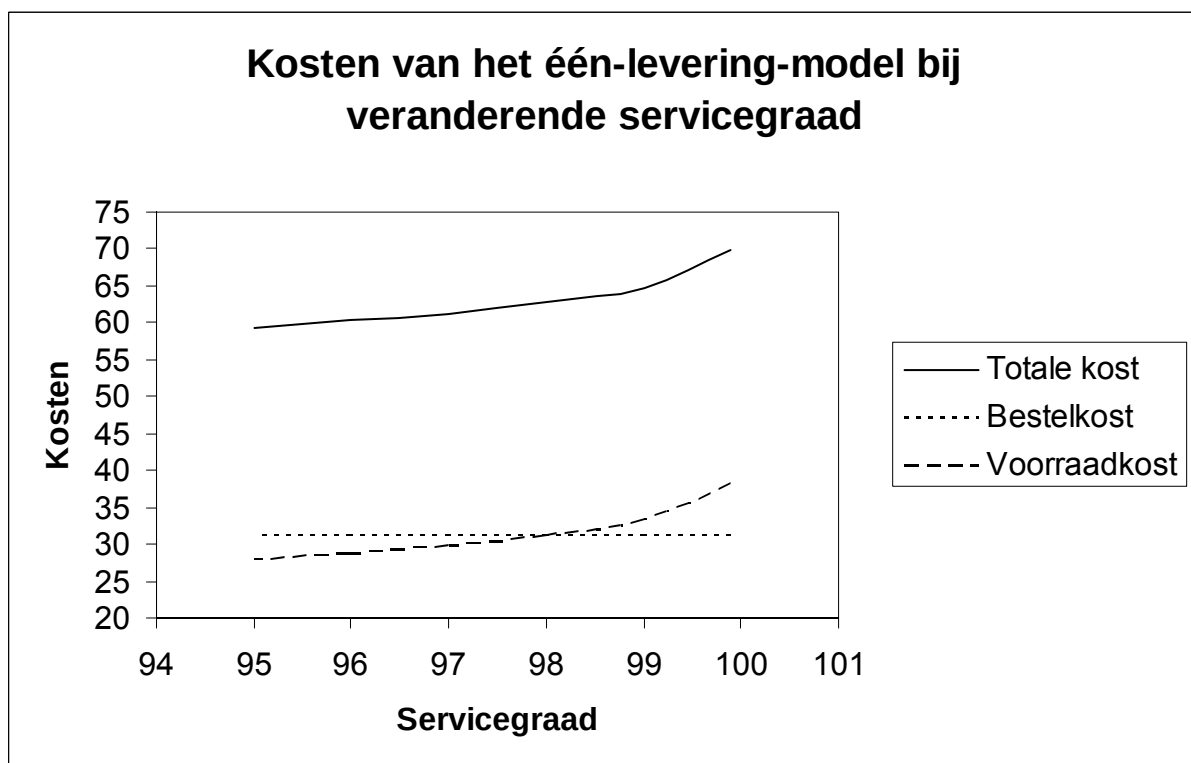
Hieronder wordt besproken hoe een veranderende servicegraad de kosten van het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen beïnvloedt. De servicegraad is het percentage van de vraag dat onmiddellijk uit de voorraad kan voldaan worden. Grafiek 6.1 en 6.4 geven de kosten van het één-levering-model en het twee-leveringen-model weer bij een veranderende servicegraad. De totale kosten worden opgesplitst naar bestelkosten en voorraadkosten. De grafieken tonen dat de kosten van beide modellen analoog verlopen, namelijk stijgende totale kosten bij een stijgende servicegraad als gevolg van stijgende voorraadkosten. Vanaf een servicegraad van 99% bestaat een sterke kostenstijging. Hoe hoger de servicegraad, hoe duurder een verdere verhoging wordt.

¹⁸ Formule (9) onder 5.3 Het twee-leveringen-model onder een periodiek voorraadbeheersysteem

6.3.1 Invloed van de servicegraad op de kosten van het één-levering-model

De resultaten van het één-levering-model geven de kosten weer van een bestelling die in één keer geleverd wordt. De totale kosten in grafiek 6.1 vertonen een stijgend verloop bij een stijgende servicegraad, net zoals de voorraadkosten. De bestelkosten blijven constant bij elke servicegraad.

De bestelkosten van het één-levering-model worden weergegeven door volgende formule: $\frac{D(O+I)}{\mu R}$, waarbij $(O+I) = A$ de vaste bestelkost voorstelt en $\frac{D}{\mu R}$ het aantal bestellingen per jaar. De bestelkosten blijven constant bij een veranderende servicegraad, aangezien de servicegraad geen invloed heeft op de vaste bestelkosten of op het aantal bestellingen per jaar.



Grafiek 6.1: Kosten van het één-levering-model bij veranderende servicegraad

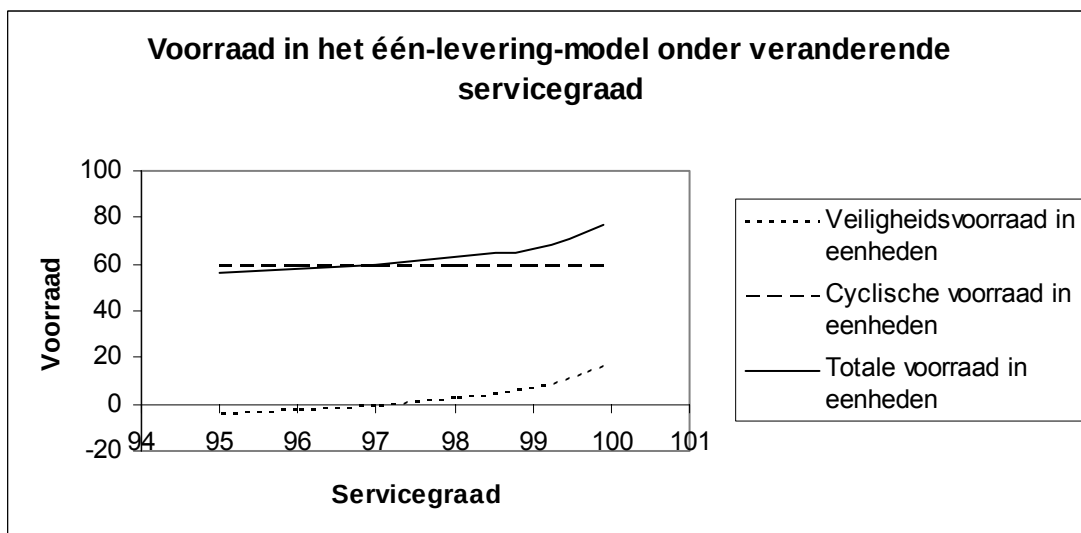
De voorraadkosten van het één-levering-model worden als volgt berekend:

$h\left(S - \mu L_1 - \frac{\mu R}{2}\right)$, waarbij h de jaarlijkse voorraadkost per eenheid voorstelt.

$\left(S - \mu L_1 - \frac{\mu R}{2}\right)$ geeft de gemiddelde jaarlijkse voorraad in eenheden weer en bestaat uit

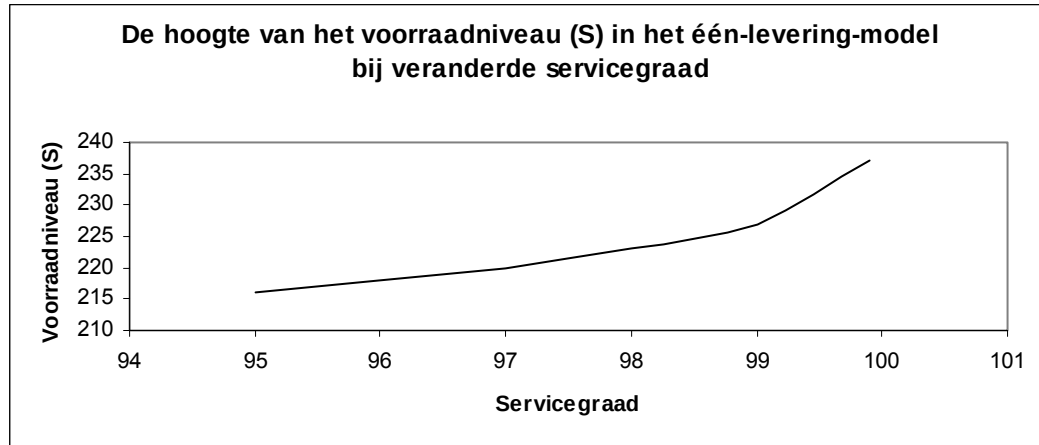
de som van de veiligheidsvoorraad $(S - \mu L_1 - \mu R)$ en de cyclische voorraad $\frac{\mu R}{2}$. De

veiligheidsvoorraad stijgt bij een stijgende servicegraad (zie grafiek 6.2), omwille van een stijging in de hoogte van het voorraadniveau S , noodzakelijk om aan de hogere servicegraad te voldoen. Een veiligheidsvoorraad wordt aangelegd omwille van onzekerheid over de vraag en wordt door Silver en Peterson (1985, p. 253) gedefinieerd als de gemiddelde voorraad juist voordat een levering toekomt. Een positieve veiligheidsvoorraad kan een groter dan gemiddelde vraag tijdens de levertermijn opvangen. Bij een servicegraad van 95% en 96% wordt de veiligheidsvoorraad negatief. Dit wijst op een nabestelling, welke toegelaten is in het model. Als nabestellingen niet toegelaten waren, zou de veiligheidsvoorraad nooit negatief mogen worden. De cyclische voorraad in het één-levering-model blijft constant bij elke servicegraad, aangezien de servicegraad hierop geen invloed heeft. Een cyclische voorraad ontstaat wanneer goederen aangevoerd worden die gedurende een bepaalde tijd de behoeften van de onderneming dekken (Blauwens et al. 2001, p. 243).



Grafiek 6.2: Voorraad in het één-levering-model onder veranderende servicegraad

De hoogte van het voorraadniveau stijgt bij een stijgende servicegraad. Als een groter percentage van de vraag onmiddellijk uit de voorraad voldaan moet worden, vereist dit een hoger voorraadniveau.



Grafiek 6.3: Hoogte van het voorraadniveau in een één-levering-model bij veranderende servicegraad

6.3.2 Invloed van de servicegraad op de kosten van het twee-leveringen-model

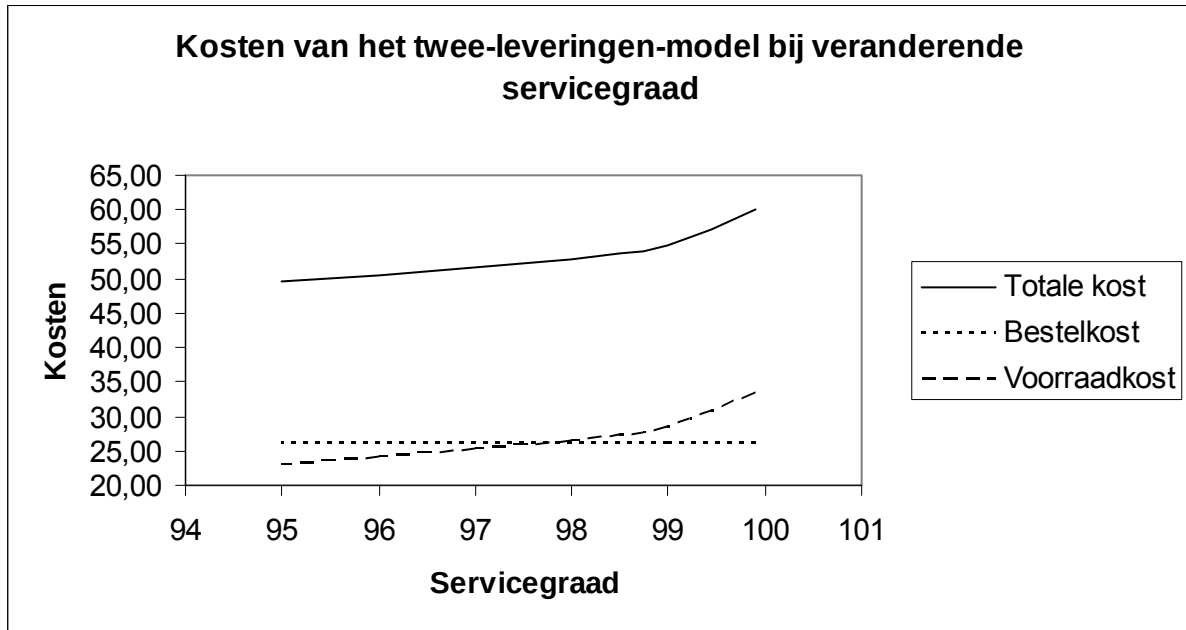
De resultaten van het twee-leveringen-model geven de kosten weer van een bestelling die in twee keren geleverd wordt. De totale kosten in grafiek 6.4 vertonen een stijgend verloop bij een stijgende servicegraad, net zoals de voorraadkosten. De bestelkosten blijven constant bij elke servicegraad.

De bestelkosten van het twee-leveringen-model worden weergegeven door volgende formule: $\frac{D(O + 2I)}{\mu R}$, waarbij $(O + 2I)$ de vaste bestelkost voorstelt. De kosten I voor

het verwerven van een bestelling verdubbelen, doordat een bestelling in twee keer geleverd wordt. Deze kosten omvatten transportkosten, kosten voor het behandelen van

een bestelling en inspectiekosten. $\frac{D}{\mu R}$ geeft net zoals bij het één-levering-model het

aantal bestellingen per jaar weer. De bestelkosten blijven constant bij een veranderende servicegraad, aangezien de servicegraad geen invloed heeft op de vaste bestelkost of op het aantal bestellingen per jaar.

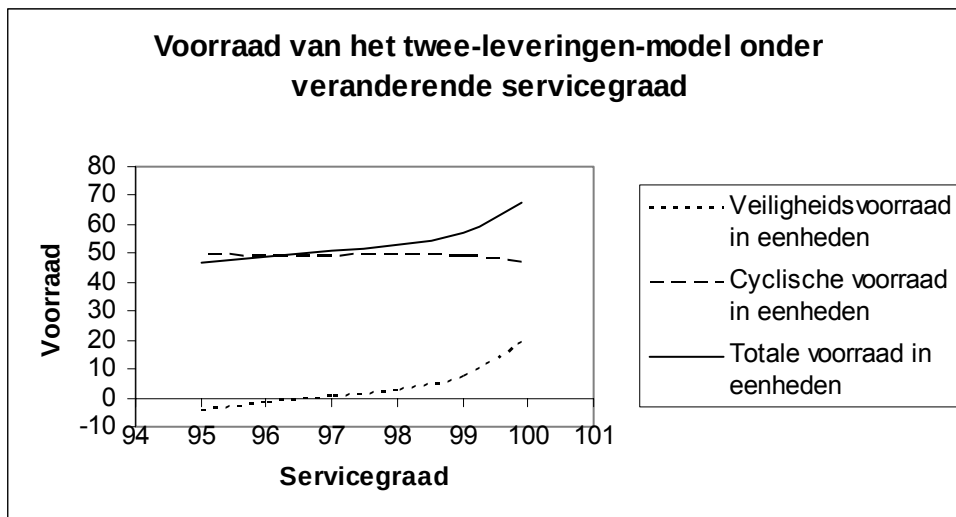


Grafiek 6.4: Kosten van het twee-leveringen-model bij een veranderende servicegraad

De voorraadkosten van het twee-leveringen-model worden als volgt berekend:

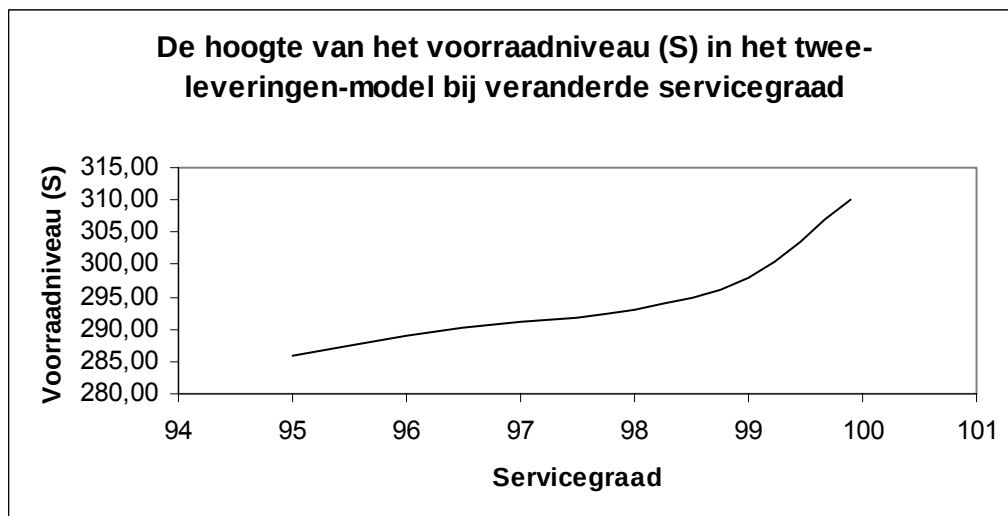
$h(S - \mu L_1 - \frac{\mu R}{2} - (1-w)\mu L_2)$, met h de jaarlijkse voorraadkost per eenheid. De gemiddelde jaarlijkse voorraad in eenheden bestaat uit de som van de veiligheidsvoorraad $(S - \mu L_1 - \mu R)$ en de cyclische voorraad $(\frac{\mu R}{2} - (1-w)\mu L_2)$. De

veiligheidsvoorraad stijgt met een stijgende servicegraad (zie grafiek 6.5), door een stijging in de hoogte van het voorraadniveau S , noodzakelijk om aan de hogere servicegraad te voldoen. Een servicegraad van 95% en van 96% leidt opnieuw tot een negatieve veiligheidsvoorraad, met nabestellingen tot gevolg. De cyclische voorraad vertoont een lichte daling, doordat een groter percentage van de bestelling pas bij de tweede levering aangeleverd wordt als de servicegraad stijgt.



Grafiek 6.5: Voorraad van het twee-leveringen-model onder veranderende servicegraad

De stijging in de hoogte van het voorraadniveau S bij een toenemende servicegraad veroorzaakt de stijging in de veiligheidsvoorraad, welke nodig is als een groter percentage van de vraag onmiddellijk uit de voorraad moet voldaan worden.



Grafiek 6.6: Hoogte van het voorraadniveau in het twee-leveringen-model bij veranderende servicegraad

6.4 Bespreking van de resultaten van het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen onder periodiek voorraadbeheer bij een veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9 %

Hieronder wordt besproken hoe een verandering van de gemiddelde vraag en de standaardafwijking van de vraag de kosten van het model voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen beïnvloedt. De gemiddelde vraag en de standaardafwijking van de vraag worden gewijzigd, maar de variatiecoëfficiënt wordt constant gehouden op één vijfde. De variatiecoëfficiënt wordt gedefinieerd als de verhouding van de standaardafwijking σ tot het gemiddelde μ . Het is een beschrijvende statistische maat die aangeeft hoe groot de standaardafwijking is in verhouding met het gemiddelde. De variatiecoëfficiënt is een nuttige maat om de spreiding van gegevens met verschillende standaardafwijkingen en verschillende gemiddeldes te vergelijken (Anderson et al., 2000, p. 56). De servicegraad wordt constant gehouden op 99,9%.

Onderstaande tabel verklaart de getallen van de variatiecoëfficiënten in de volgende grafieken.

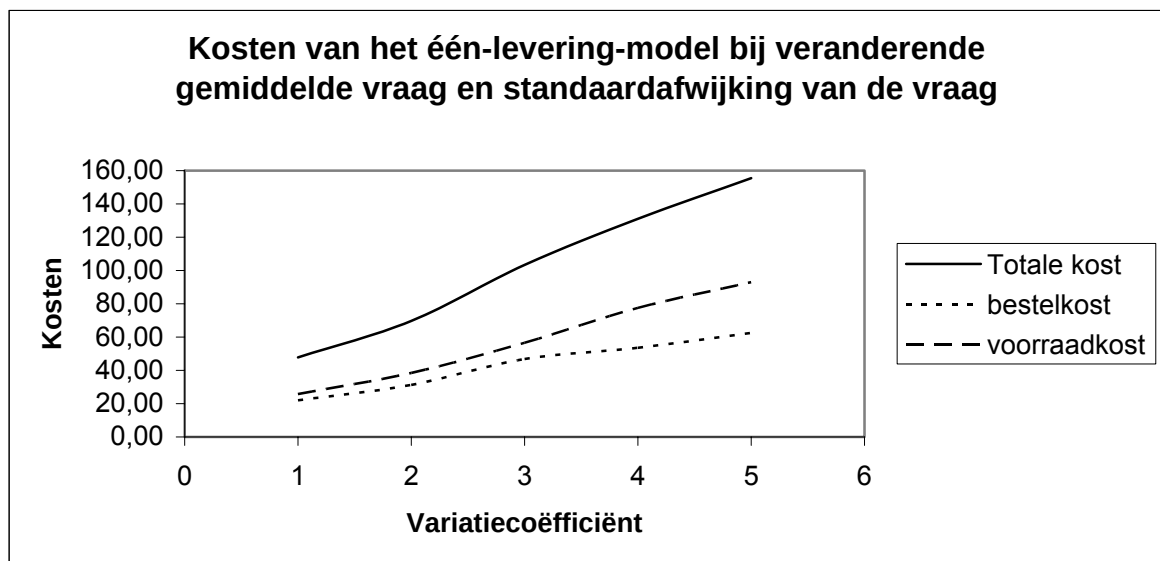
Variatiecoëfficiënt	σ/μ
1	1/5
2	2/10
3	4/20
4	6/30
5	8/40

Tabel 6.14: Verklaring variatiecoëfficiënten uit de grafieken bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

Grafiek 6.7 en 6.10 tonen dat in het één-levering-model en in het twee-leveringen model de totale kosten lineair stijgen bij een toenemende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag.

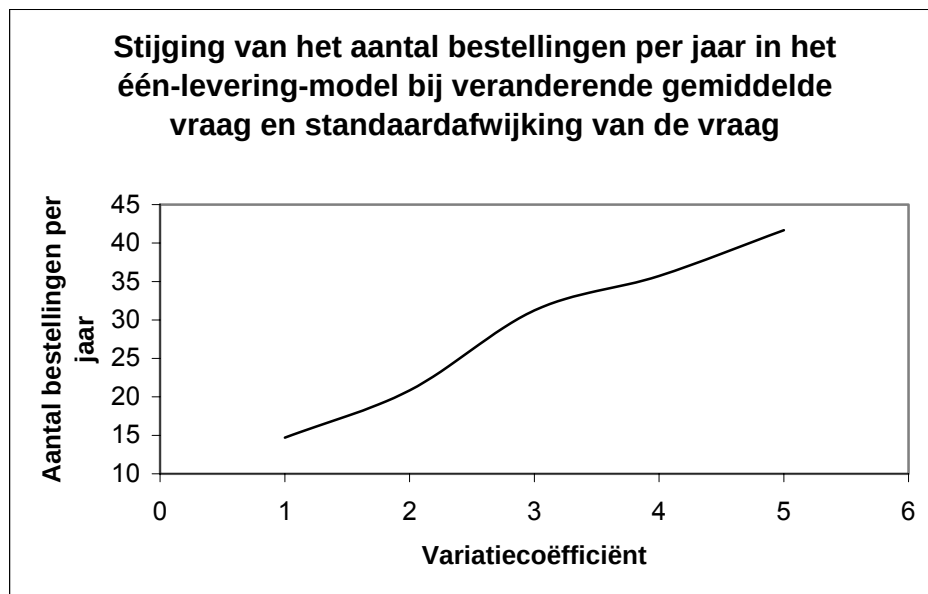
6.4.1 Invloed van de gemiddelde vraag en de standaardafwijking van de vraag op de kosten van het één-levering-model

De resultaten van het één-levering-model geven de kosten weer van een bestelling die in één keer geleverd wordt. De totale kosten in grafiek 6.7 vertonen een lineair stijgend verloop bij een stijgende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag. De bestelkosten en de voorraadkosten zijn eveneens lineair stijgend.



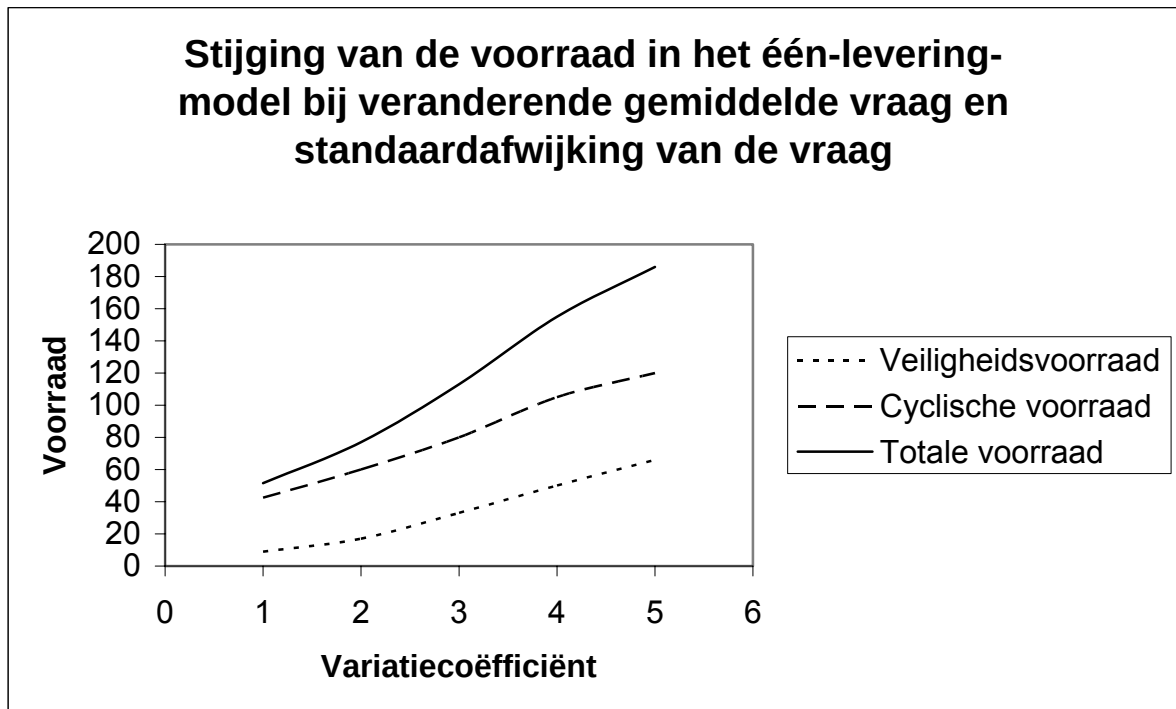
Grafiek 6.7: Kosten van het één-levering-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

De bestelkosten van het één-levering-model stijgen bij een stijgende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag, door een daling van de lengte R van de periode voor voorraadcontrole. Een kortere lengte van de periode voor voorraadcontrole veroorzaakt een toename van het aantal bestellingen per jaar, voorgesteld door $\frac{D}{\mu R}$ en dus een stijging van de totale bestelkosten.



Grafiek 6.8: Stijging van het aantal bestellingen per jaar in het één-levering-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

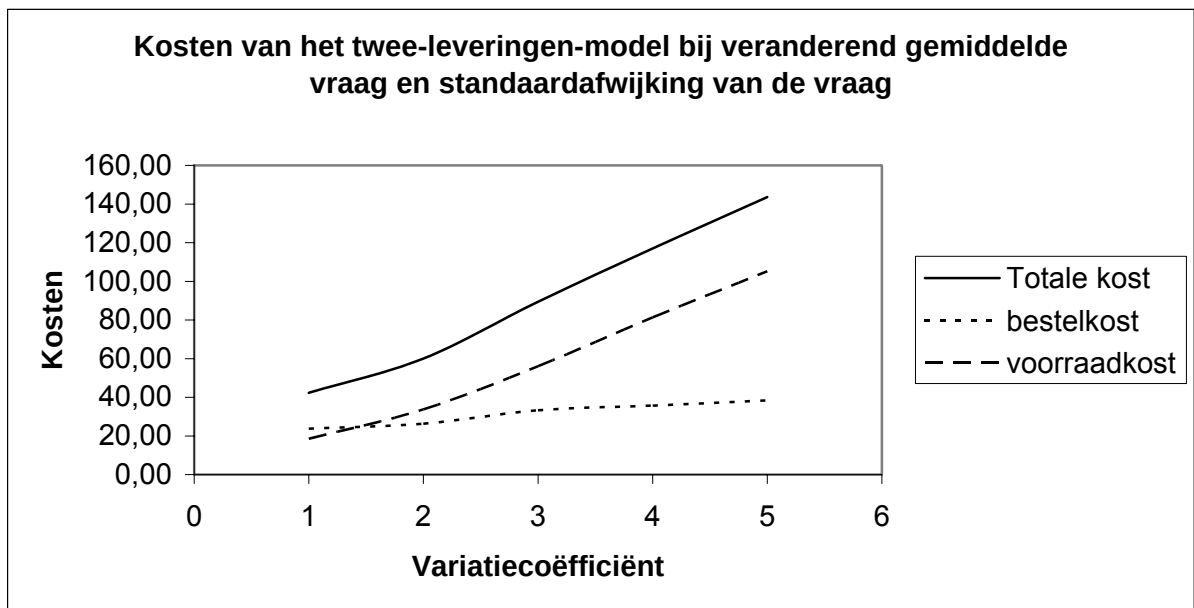
De stijging van de voorraadkosten wordt veroorzaakt door een stijging van de voorraad (zie grafiek 6.9), als gevolg van een sterke stijging van de hoogte van het voorraadniveau S en een toename van de gemiddelde vraag. De totale voorraad bestaat uit de veiligheidsvoorraad $(S - \mu L_1 - \mu R)$ en de cyclische voorraad $\frac{\mu R}{2}$. De veiligheidsvoorraad stijgt door een sterk stijgend voorraadniveau S omwille van een hogere gemiddelde vraag. De cyclische voorraad stijgt eveneens door de hogere gemiddelde vraag. De stijging van het voorraadniveau verzekert het behoud van de servicegraad bij een hogere gemiddelde vraag met een grotere standaardafwijking.



Grafiek 6.9: Stijging van de voorraad in het één-levering-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

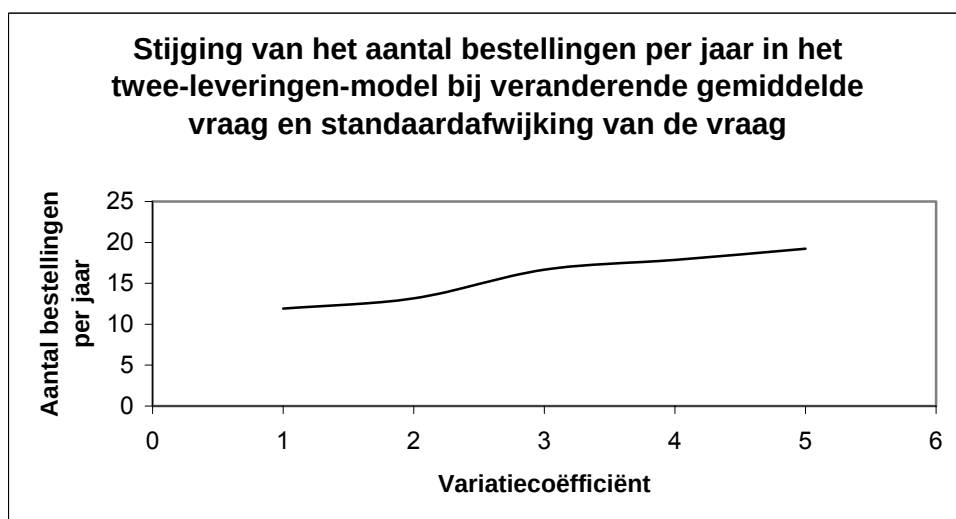
6.4.2 Invloed van de gemiddelde vraag en de standaardafwijking van de vraag op de kosten van het twee-leveringen-model

De resultaten van het twee-leveringen-model geven de kosten weer van een bestelling die in twee keren geleverd wordt. De totale kosten in grafiek 6.10 vertonen een lineair stijgend verloop bij een stijgende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag, net zoals de voorraadkosten. De bestelkosten stijgen minder sterk in verhouding met de voorraadkosten bij een toenemende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag.



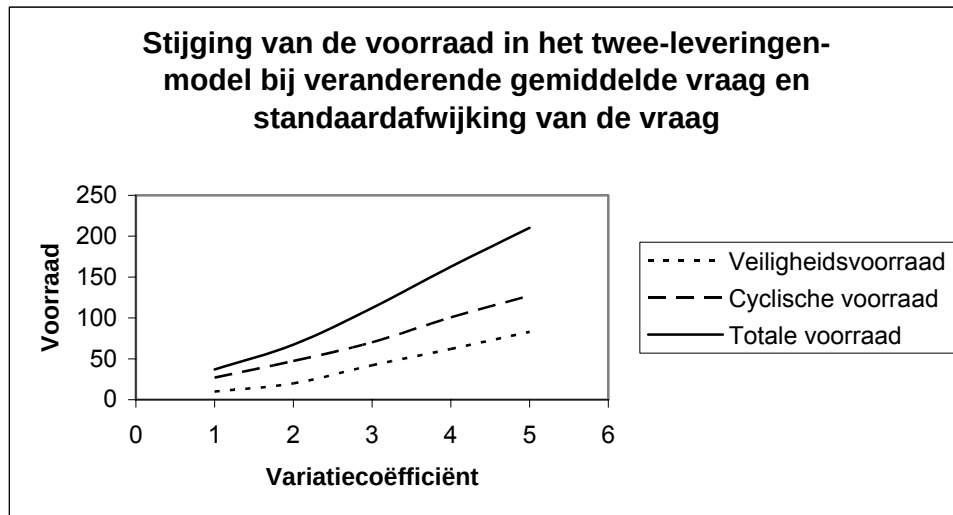
Grafiek 6.10: Kosten van het twee-leveringen-model bij veranderend gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

De stijging in de bestelkosten bij een toenemende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag wordt veroorzaakt door een stijging van het aantal bestellingen per jaar. Deze stijging is het gevolg van een daling van de lengte R van de periode voor voorraadcontrole bij een grotere gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag.



Grafiek 6.11: Stijging van het aantal bestellingen per jaar in het twee-leveringen-model onder veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

De voorraadkosten stijgen sterker in vergelijking met de bestelkosten. Deze stijging wordt veroorzaakt door een toename van de totale voorraad als gevolg van een sterke stijging van de hoogte S van het voorraadniveau en een toename van de gemiddelde vraag. De totale voorraad bestaat uit de veiligheidsvoorraad $(S - \mu L_1 - \mu R)$ en de cyclische voorraad $\left(\frac{\mu R}{2} - (1-w)\mu L_2\right)$, welke allebei stijgen. De stijging van de veiligheidsvoorraad kan verklaard worden door een toegenomen hoogte van het voorraadniveau. De cyclische voorraad stijgt omwille van de gestegen gemiddelde vraag. De toename van het voorraadniveau bij een hogere gemiddelde vraag met een grotere standaardafwijking verzekert het behoud van de servicegraad.



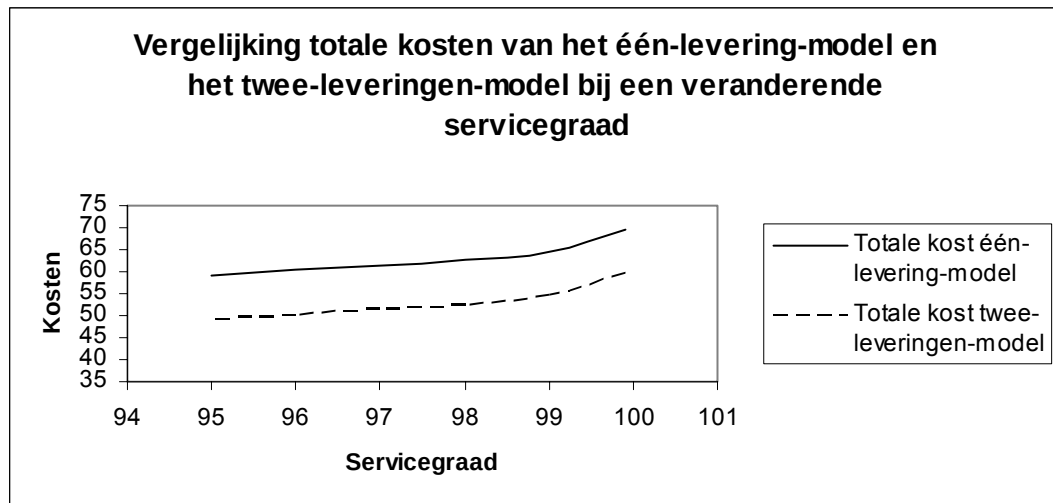
Grafiek 6.12: Stijging van de voorraad in het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

6.5 Vergelijking van de resultaten van het één-levering-model en het twee-leveringen-model

6.5.1 Invloed van de servicegraad op de kosten

Onder het één-levering-model wordt een volledige bestelling in één keer geleverd. Onder het twee-leveringen-model wordt een bestelling in twee keren geleverd. De totale kosten van het één-levering-model liggen bij elke servicegraad hoger dan deze van het twee-leveringen-model. Dit betekent dat het twee-leveringen-model bij elke servicegraad

beter presteert dan het één-levering-model. Bij elke servicegraad is het voordeliger een bestelling in twee keren te laten leveren.



Grafiek 6.13: Vergelijking totale kosten van het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij een veranderende servicegraad

De procentuele besparing in de totale kosten als een bestelling in twee keren geleverd wordt, wordt kleiner naarmate de servicegraad stijgt (zie tabel 6.15). Het splitsen van een bestelling in twee leveringen is voordeliger bij een lagere servicegraad. Een bestelling die in twee leveringen wordt opgesplitst is minder kwetsbaar voor stockbreuken. Dit komt overeen met de bevindingen van Chiang (2001, p. 73). Een lagere servicegraad betekent dat een kleiner percentage van de vraag onmiddellijk uit de voorraad kan worden voldaan.

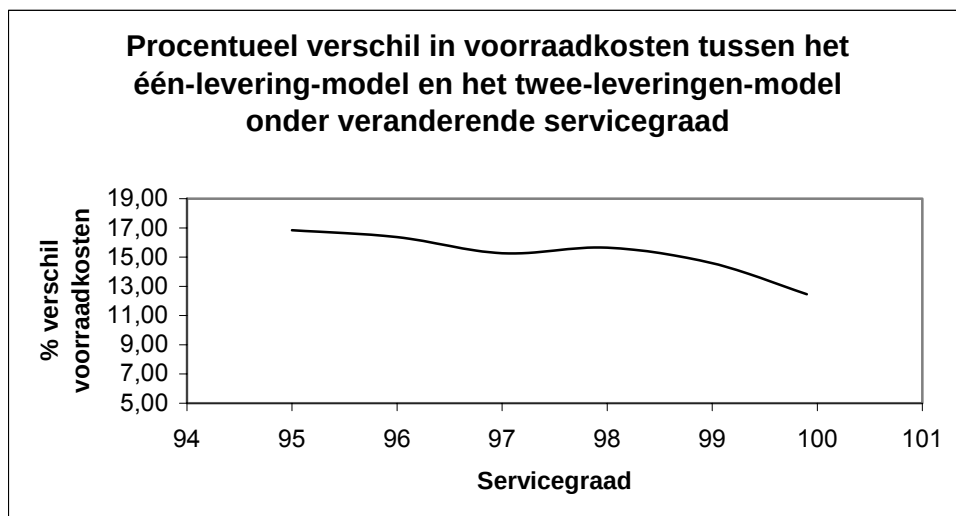
ψ	Totale kost één-levering-model	Totale kost twee-leveringen-model	Absolute besparing totale kosten	Procentuele besparing totale kosten
99,9	€ 69,75	€ 60,02	€ 9,73	13,95 %
99	€ 64,75	€ 54,93	€ 9,82	15,17 %
98	€ 62,75	€ 52,89	€ 9,86	15,72 %
97	€ 61,25	€ 51,74	€ 9,51	15,53 %
96	€ 60,25	€ 50,57	€ 9,68	16,07 %
95	€ 59,25	€ 49,60	€ 9,65	16,29 %

Tabel 6.15: Verschil in totale kosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende servicegraad

De besparingen van het splitsen van een bestelling in twee leveringen kunnen opgedeeld worden naar besparingen in bestelkosten en besparingen in voorraadkosten. De besparingen in totale kosten kunnen ongeveer voor de helft verklaard worden door een besparing in de bestelkosten en voor de andere helft door een besparing in de voorraadkosten.

Het verschil tussen de bestelkosten van het één-levering-model en het twee-leveringen-model is constant bij elke servicegraad, aangezien de bestelkosten in beide modellen constant zijn bij een veranderende servicegraad.

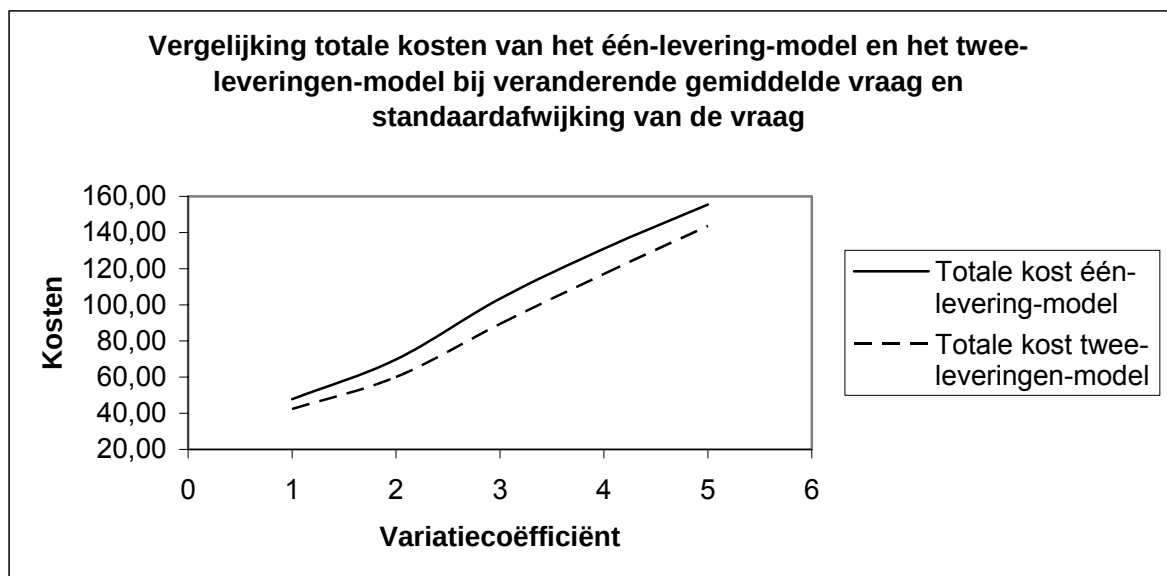
Het verschil tussen de voorraadkosten van het één-levering-model en het twee-leveringen-model is over het algemeen procentueel dalend bij een stijgende servicegraad. Bij een hogere servicegraad is het verschil in voorraadkosten kleiner dan bij een lagere servicegraad. Dit verklaart de bevindingen van Chiang (2001, p. 73) dat het splitsen van een bestelling in twee leveringen vooral goede resultaten geeft bij een lage servicegraad.



Grafiek 6.14: Procentueel verschil in voorraadkosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende servicegraad

6.5.2 Invloed van de gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9 % op de kosten

Onder het één-levering-model wordt een volledige bestelling in één keer geleverd. Onder het twee-leveringen-model wordt een bestelling in twee keren geleverd. De totale kosten van het één-levering-model liggen bij elke variatiecoëfficiënt hoger dan deze van het twee-leveringen-model. Hieruit kunnen we concluderen dat het twee-leveringen-model beter presteert dan het één-levering-model bij elke variatiecoëfficiënt. Bij elke variatiecoëfficiënt is het voordeliger een bestelling op te splitsen in twee leveringen.



Grafiek 6.15: Vergelijking totale kosten van het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

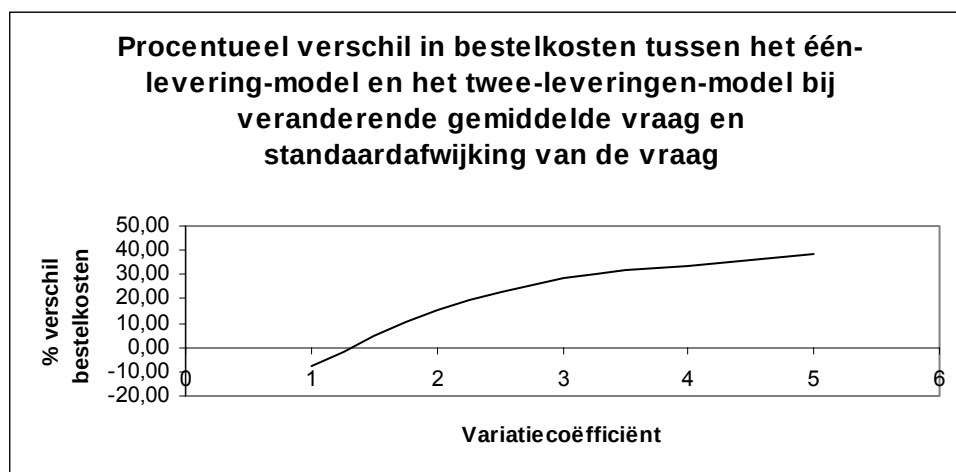
De procentuele besparing in de totale kosten als een bestelling in twee keren geleverd wordt, bereikt hogere waarden bij een middelmatige gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag (zie tabel 6.16). Het splitsen van een bestelling in twee leveringen is voordeliger bij een middelmatige gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag.

σ/μ	Totale kost één-levering-model	Totale kost twee-leveringen-model	Absolute besparing totale kosten	Procentuele besparing totale kosten
1/5	€ 47,81	€ 42,32	€ 5,49	11,48 %
2/10	€ 69,75	€ 60,02	€ 9,73	13,95 %
4/20	€ 103,38	€ 89,42	€ 13,96	13,50 %
6/30	€ 131,07	€ 117,04	€ 14,03	10,70 %
8/40	€ 155,50	€ 143,61	€ 11,89	7,65 %

Tabel 6.16: Verschil in totale kosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

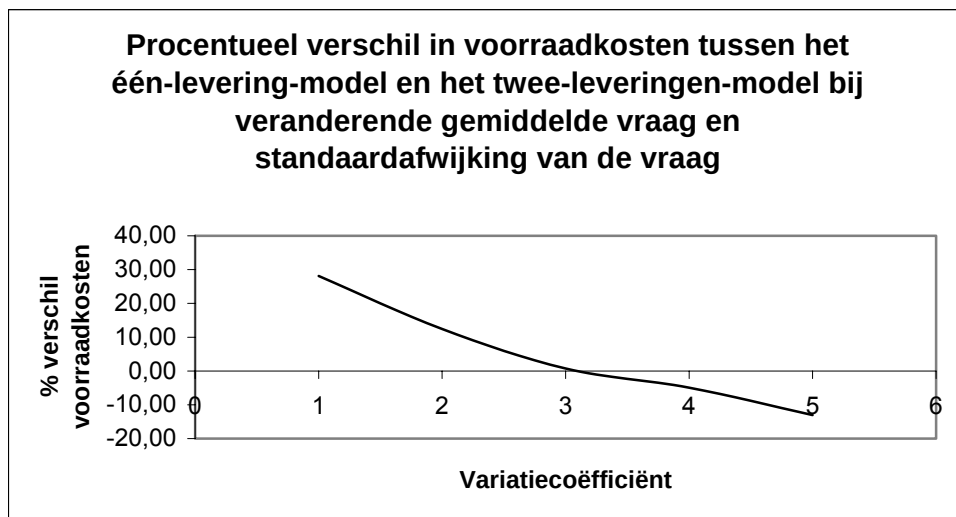
De besparingen van het splitsen van een bestelling in twee leveringen kunnen opgedeeld worden naar besparingen in bestelkosten en besparingen in voorraadkosten.

De besparingen in bestelkosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model stijgen bij een toenemende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag. Bij een lage gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag is het op vlak van bestelkosten voordeliger om een bestelling in één keer te laten leveren.



Grafiek 6.16: Procentueel verschil in bestelkosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model onder veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

De besparingen in voorraadkosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model dalen bij een toenemende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag. Bij een hoge gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag is het op vlak van voorraadkosten voordeliger om een bestelling in één keer te laten leveren.



Grafiek 6.17: Procentueel verschil in voorraadkosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

7 Conclusie

Het splitsen van een bestelling in twee leveringen in plaats van een volledige bestelling in één keer te laten leveren beïnvloedt de voorraadbeslissingen en transportbeslissingen.

De totale bestelkosten per jaar, welke de transportkosten bevatten, zijn in de meeste situaties lager indien gekozen wordt voor het splitsen van leveringen. Als een bedrijf kiest voor het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen, betekent dit dat minder bestellingen per jaar gemaakt moeten worden. Dit compenseert de gestegen vaste bestelkost. In de gevallen dat de bestelkosten stijgen door het splitsen van een bestelling in twee leveringen, worden deze hogere bestelkosten ruimschoots gecompenseerd door lagere voorraadkosten.

De totale voorraadkosten per jaar dalen door het splitsen van een bestelling in meerdere leveringen. Dit is echter niet altijd het geval. In situaties met een grote gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag kunnen de voorraadkosten hoger liggen bij het splitsen van een bestelling in twee leveringen. Dit omwille van een hoge cyclische voorraad. Deze hoge cyclische voorraad wordt veroorzaakt door de vermindering van het aantal bestellingen per jaar en een toename van de bestelgrootte als bestellingen in meerdere leveringen gesplitst worden. De hogere voorraadkosten worden echter ruimschoots gecompenseerd door de lagere bestelkosten.

De algemene conclusie van deze eindverhandeling luidt dat het altijd voordeliger is een bestelling in meerdere leveringen te splitsen. Het kan voorvallen dat de totale bestelkosten per jaar of de totale voorraadkosten per jaar hoger zijn dan indien de bestelling in één keer geleverd werd, maar deze hogere kosten worden altijd gecompenseerd door respectievelijk lagere voorraadkosten of lagere bestelkosten. In geen enkele onderzochte situatie zijn zowel de bestelkosten per jaar als de voorraadkosten per jaar hoger als een bestelling in twee keren geleverd wordt.

Lijst van geraadpleegde werken

Anderson, D.R., Sweeney, D.J. en Williams, T.A. (2000) *Statistiek voor economie en bedrijfskunde*, Schoonhoven, Academic Service.

Ansari, A. en Heckel, J. (1987) 'JIT Purchasing: Impact of Freight and Inventory Costs', *Journal of Purchasing and Materials Management*, 23: 2, p. 24-27.

Bagchi, P.K. (1988) 'Management of materials under just-in-time inventory system: a new look', *Journal of Business Logistics*, 9: 2, p. 89-102.

Bagchi, P.K., Raghunathan, T.S. en Bardi, E.J. (1987) 'The Implications of Just-In-Time Inventory Policies on Carrier Selection', *The Logistics and Transportation Review*, 23:4, p. 373-384.

Ballou, R.H. (1978) *Basic Business Logistics*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall.

Ballou, R.H. (1973) *Business Logistics Management*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall.

Ballou, R.H. (1992a) *Business Logistics Management*, New Jersey, Prentice-Hall.

Ballou, R.H. (1992b) *Logistiek Management*, Schoonhoven, Academic Service Economie en Bedrijfskunde.

Blauwens, G., de Baere, P. en van de Voorde, E. (2001) *Vervoerseconomie*, Antwerpen, Standaard.

Bouma, J.L. (1992) *Leerboek der bedrijfseconomie: Deel II*, Wassenaar, Delwel.

Bowersox, D.J. (1990) *Logistical Management*, New York, MacMillan Comp..

Brown, R.G. (1967) *Decision Rules for Inventory Management*, New York, Holt, Rinehart and Winston.

Chase, R.B., Jacobs, F.R. en Aquilano, N.J. (2004) *Operations management for competitive advantage*, New York, McGraw-Hill.

Chiang, C. (2001) 'Order splitting under periodic review inventory systems', *International journal of production economics*, 70: 1, p. 67-76.

Chiang, C. en Benton, W.C. (1994) 'Sole Sourcing versus Dual Sourcing under Stochastic Demands and Lead Times', *Naval Research Logistics*, 41: 5, p. 609-624.

Chiang, C. en Chiang, W.-C. (1996) 'Reducing inventory costs by order splitting in the sole sourcing environment', *Journal of the Operational Research Society*, 47: 3, p. 446-456.

Choi, T.-M., Li, D. en Yan, H. (2004) 'Optimal single ordering policy with multiple delivery modes and Bayesian information updates', *Computers & Operations Research*, 31: 12, p. 1965-1984.

Europese Commissie (2001) *White paper: European transport policy for 2010: time to decide*, Luxemburg, Bureau voor officiële publicaties der Europese Gemeenschappen.

Fawcett, S.E. en Birou, L.M. (1992) 'Exploring the Logistics Interface between Global and JIT Sourcing', *Physical Distribution & Logistics management*, 22: 1, p. 3-14.

Gomes, R. en Mentzer, J.T. (1988) 'A systems approach to the investigation of just-in-time', *Journal of Business Logistics*, 9: 2, p. 71-88.

Gupta, Y.P. en Bagchi, P.K. (1987) 'Inbound freight consolidation under just-in-time procurement: application of clearing models', *Journal of Business Logistics*, 8: 2, p. 74-94.

Horngren, C.T., Datar, S.M. en Foster, G. (2003) *Cost Accounting: a managerial emphasis*, New Jersey, Prentice-Hall.

Janssen, F., de Kok, T. en Schouten, F.D. (2000) 'Approximate analysis of the delivery splitting model', *Journal of the Operational Research Society*, 51: 10, p. 1136-1147.

Kelle, P. en Miller, P.A. (2001) 'Stockout risk and order splitting', *International journal of production economics*, 71: 1-3, p. 407-415.

Kelle, P. en Silver, E.A. (1990) 'Safety Stock Reduction by Order Splitting', *Naval Research Logistics*, 37: 5, p. 725-743.

Kim, S.-L. en Ha, D. (2003) 'A JIT lot-splitting model for supply chain management: Enhancing buyer-supplier linkage', *International journal of production economics*, 86: 1, p. 1-10.

Liao, C.-J en Yang, W.-H. (1994) 'An inventory system with multiple replenishment scheduling', *Operations Research Letters*, 15: 4, p. 213-222.

Mason, S.J., Ribera, P.M., Farris, J.A. en Kirk, R.G. (2003) 'Integrating the warehousing and transportation functions of the supply chain', *Transportation Research Part E*, 39: 2, p. 141-159.

Mishra, A.K. en Tadikamalla, P.R. (2006) 'Order splitting in single sourcing with scheduled-release orders', *Journal of the Operational Research Society*, 57: 2, p. 177-189.

Mohebbi, E. en Posner, M.J.M. (2002) 'Multiple replenishment orders in a continuous-review inventory system with lost sales', *Operations Research Letters*, 30: 2, p. 117-129.

Ross, D.F. (2004) *Distribution, Planning and Control: Managing in the Era of Supply Chain Management*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers Group.

Schniederjans, M.J. (1993) *Topics In Just-In-Time Management*, Massachusetts, Allyn & Bacon.

Silver E.A. en Peterson, R. (1985) *Decision systems for inventory management and production planning*, New York, Wiley.

Swift, C.O. (1995) 'Preferences for Single Sourcing and Supplier Selection Criteria', *Journal of Business Research*, 32: 2, p. 105-111.

Treleven, M. en Schweikhart, S.B. (1988) 'A risk/benefit analysis of sourcing strategies: single vs. multiple sourcing', *Journal of Operations Management*, 7: 4, p. 93-114.

van Goor, A.R., Ploos van Amstel, M.J. en Ploos van Amstel, W. (1999) *Fysieke distributie: denken in toegevoegde waarde*, Houten, Educatieve Partners Nederland BV.

Zeng, A.Z. (1998) 'Single of multiple sourcing: an integrated optimization framework for sustaining time-based competitiveness', *Journal of Marketing: Theory and practice*, 6: 4, p. 10-25.

Lijst van symbolen

A	Vaste bestelkost per bestelling
B(L)	De verwachte nabestelling die ontstaat vooraleer de volgende levering aankomt (in eenheden)
D	Gemiddelde jaarlijkse vraag (in eenheden)
G(k)	Partiële verwachtingsfunctie van k
h	Jaarlijkse voorraadkost per eenheid
h(Y)	Kansdichtheidsfunctie van de vraag
I	Kosten voor het verwerven van een bestelling (bvb. transportkost, kost voor het behandelen van een bestelling en inspectiekost)
J	Kost voor voorraadcontrole
k	Veiligheidsfactor
L	Levertermijn (in tijdseenheden)
n	Aantal leveringen per bestelling
O	Kosten voor het afhandelen van een bestelling (bvb. administratiekosten en verwerkingskosten, ook de kosten voor voorraadcontrole worden hierin opgenomen)
P(k)	Complement van de cumulatieve standaardnormale distributiefunctie van k
R	Lengte van de periode voor voorraadcontrole (in tijdseenheden)
S	Hoogte van het voorraadniveau (in eenheden)
SL	Servicegraad
w	Percentage van de bestelling dat bij de eerste levering geleverd wordt
Y	Vraag over een periode van lengte R (periode voor voorraadcontrole)
μ	Gemiddelde vraag (in eenheden per tijdseenheid)
σ	Standaardafwijking van de vraag (in eenheden)
Ψ	Servicegraad

Lijst van tabellen

Tabel 3.2: Vergelijking 'single sourcing' en 'multiple sourcing'

Tabel 4.2: Vergelijking van de modellen voor het splitsen van leveringen

Tabel 6.5: Inputgegevens van het één-levering-model

Tabel 6.6: Berekeningen ter vereenvoudiging van de uitwerking van het één-levering-model

Tabel 6.7: Berekening van het één-levering-model

Tabel 6.8: Resultaten van het één-levering-model

Tabel 6.5: Inputgegevens van het twee-leveringen-model

Tabel 6.6: Berekeningen ter vereenvoudiging van de uitwerking van het twee-leveringen-model

Tabel 6.7: Berekening van de waarden van k_1 , $G(k_1)$, $P(k_1)$ en $B(L_1)$ voor het twee-leveringen-model

Tabel 6.8: Berekening van k_2 voor het twee-leveringen-model

Tabel 6.9: Berekening van het verschil van de afgeleiden van de Lagrange-functie voor het twee-leveringen-model

Tabel 6.10: Berekening van het nulpunt van het verschil van de afgeleiden van de Lagrange-functie voor het twee-leveringen-model

Tabel 6.11: Berekening van de waarden van w waarvoor het verschil van de afgeleiden van de Lagrange-functie het nulpunt bereiken in het twee-leveringen-model

Tabel 6.12: Berekening van de optimale waarde van S en van w , bij een gegeven waarde van R in het twee-leveringen-model

Tabel 6.13: Resultaten van het twee-leveringen-model

Tabel 6.14: Verklaring variatiecoëfficiënten uit de grafieken bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

Tabel 6.15: Verschil in totale kosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende servicegraad

Tabel 6.16: Verschil in totale kosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

Lijst van grafieken

Grafiek 6.2: Kosten van het één-levering-model bij veranderende servicegraad

Grafiek 6.2: Voorraad in het één-levering-model onder veranderende servicegraad

Grafiek 6.3: Hoogte van het voorraadniveau in een één-levering-model bij veranderende servicegraad

Grafiek 6.4: Kosten van het twee-leveringen-model bij een veranderende servicegraad

Grafiek 6.5: Voorraad van het twee-leveringen-model onder veranderende servicegraad

Grafiek 6.6: Hoogte van het voorraadniveau in het twee-leveringen-model bij veranderende servicegraad

Grafiek 6.7: Kosten van het één-levering-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

Grafiek 6.8: Stijging van het aantal bestellingen per jaar in het één-levering-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

Grafiek 6.9: Stijging van de voorraad in het één-levering-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

Grafiek 6.10: Kosten van het twee-leveringen-model bij veranderend gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

Grafiek 6.11: Stijging van het aantal bestellingen per jaar in het twee-leveringen-model onder veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

Grafiek 6.12: Stijging van de voorraad in het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

Grafiek 6.13: Vergelijking totale kosten van het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij een veranderende servicegraad

Grafiek 6.14: Procentueel verschil in voorraadkosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende servicegraad

Grafiek 6.15: Vergelijking totale kosten van het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

Grafiek 6.16: Procentueel verschil in bestelkosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model onder veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

Grafiek 6.17: Procentueel verschil in voorraadkosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag

Bijlagen

Bijlage 1: Partiële verwachtingsfunctie

Figuur 1: Partiële verwachtingsfunctie

Bijlage 2: Resultaten van het praktijkonderzoek

Tabel 1: Resultaten van het één-levering-model onder veranderende servicegraad

Tabel 2: Bestelkost van het één-levering-model onder veranderende servicegraad

Tabel 3: Voorraadkost van het één-levering-model onder veranderende servicegraad

Tabel 4: Resultaten van het twee-leveringen-model onder veranderende servicegraad

Tabel 5: Bestelkost van het twee-leveringen-model onder veranderende servicegraad

Tabel 6: Voorraadkost van het twee-leveringen-model onder veranderende servicegraad

Tabel 7: Resultaten van het één-levering-model onder veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9%

Tabel 8: Bestelkost van het één-levering-model onder veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9%

Tabel 9: Voorraadkost van het één-levering-model onder veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9%

Tabel 10: Resultaten van het twee-leveringen-model onder veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9%

Tabel 11: Bestelkost van het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9%

Tabel 12: Voorraadkost van het twee-leveringen-model onder veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9%

Tabel 13: Verschil in totale kosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende servicegraad

Tabel 14: Verschil in bestelkost tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende servicegraad

Tabel 15: Verschil in voorraadkost tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende servicegraad

Tabel 16: Verschil in totale kosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende servicegraad, opgesplitst naar bestelkosten en voorraadkosten

Tabel 17: Verschil in totale kosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9%

Tabel 18: Verschil in bestelkost tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9%

Tabel 19: Verschil in voorraadkost tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9%

Tabel 20: Verschil in totale kosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag, opgesplitst naar voorraadkosten en bestelkosten

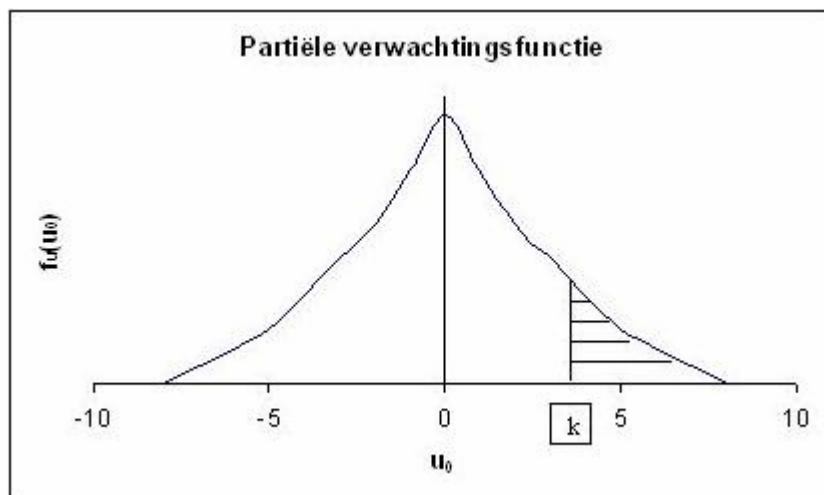
Bijlage 1: Partiële verwachtingsfunctie

$$G(k) = \int_k^{\infty} (u_0 - k) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-u_0^2 / 2) du_0 = \int_k^{\infty} (u_0 - k) f_u(u_0) du_0$$

waarbij k een veiligheidsfactor is. Brown (1967, p. 169, 173) definieert k als volgt:

$$k = \frac{\text{veiligheidsvoorraad}}{\sigma_L}, \text{ met } \sigma_L \text{ de standaardafwijking van de levertermijn.}$$

$G(k)$ is een speciale functie van de standaardnormale variabele, met gemiddelde nul en standaardafwijking één. $G(k)$ is de kans dat een standaardnormale variabele een waarde aanneemt van k of groter dan k (Silver en Peterson, 1985, p. 271, 695).



Figuur 1: Partiële verwachtingsfunctie

Uit Silver en Peterson (1985, p. 271, 695) volgt dat $G(-k) = G(k) + k$.

k	G(k)	k	G(k)	k	G(k)
-4,00	4,000000000	-3,54	3,540000000	-3,08	3,080300000
-3,99	3,990000000	-3,53	3,530100000	-3,07	3,070300000
-3,98	3,980000000	-3,52	3,520100000	-3,06	3,060300000
-3,97	3,970000000	-3,51	3,510100000	-3,05	3,050300000
-3,96	3,960000000	-3,50	3,500100000	-3,04	3,040300000
-3,95	3,950000000	-3,49	3,490100000	-3,03	3,030300000
-3,94	3,940000000	-3,48	3,480100000	-3,02	3,020400000
-3,93	3,930000000	-3,47	3,470100000	-3,01	3,010400000
-3,92	3,920000000	-3,46	3,460100000	-3,00	3,000400000
-3,91	3,910000000	-3,45	3,450100000	-2,99	2,990400000
-3,90	3,900000000	-3,44	3,440100000	-2,98	2,980400000
-3,89	3,890000000	-3,43	3,430100000	-2,97	2,970400000
-3,88	3,880000000	-3,42	3,420100000	-2,96	2,960400000
-3,87	3,870000000	-3,41	3,410100000	-2,95	2,950500000
-3,86	3,860000000	-3,40	3,400100000	-2,94	2,940500000
-3,85	3,850000000	-3,39	3,390100000	-2,93	2,930500000
-3,84	3,840000000	-3,38	3,380100000	-2,92	2,920500000
-3,83	3,830000000	-3,37	3,370100000	-2,91	2,910500000
-3,82	3,820000000	-3,36	3,360100000	-2,90	2,900500000
-3,81	3,810000000	-3,35	3,350100000	-2,89	2,890600000
-3,80	3,800000000	-3,34	3,340100000	-2,88	2,880600000
-3,79	3,790000000	-3,33	3,330100000	-2,87	2,870600000
-3,78	3,780000000	-3,32	3,320100000	-2,86	2,860600000
-3,77	3,770000000	-3,31	3,310100000	-2,85	2,850600000
-3,76	3,760000000	-3,30	3,300100000	-2,84	2,840700000
-3,75	3,750000000	-3,29	3,290100000	-2,83	2,830700000
-3,74	3,740000000	-3,28	3,280100000	-2,82	2,820700000
-3,73	3,730000000	-3,27	3,270100000	-2,81	2,810700000
-3,72	3,720000000	-3,26	3,260100000	-2,80	2,800800000
-3,71	3,710000000	-3,25	3,250200000	-2,79	2,790800000
-3,70	3,700000000	-3,24	3,240200000	-2,78	2,780800000
-3,69	3,690000000	-3,23	3,230200000	-2,77	2,770800000
-3,68	3,680000000	-3,22	3,220200000	-2,76	2,760900000
-3,67	3,670000000	-3,21	3,210200000	-2,75	2,750900000
-3,66	3,660000000	-3,20	3,200200000	-2,74	2,740900000
-3,65	3,650000000	-3,19	3,190200000	-2,73	2,731000000
-3,64	3,640000000	-3,18	3,180200000	-2,72	2,721000000
-3,63	3,630000000	-3,17	3,170200000	-2,71	2,711000000
-3,62	3,620000000	-3,16	3,160200000	-2,70	2,701100000
-3,61	3,610000000	-3,15	3,150200000	-2,69	2,691100000
-3,60	3,600000000	-3,14	3,140200000	-2,68	2,681100000
-3,59	3,590000000	-3,13	3,130200000	-2,67	2,671200000
-3,58	3,580000000	-3,12	3,120200000	-2,66	2,661200000
-3,57	3,570000000	-3,11	3,110300000	-2,65	2,651200000
-3,56	3,560000000	-3,10	3,100300000	-2,64	2,641300000
-3,55	3,550000000	-3,09	3,090300000	-2,63	2,631300000

k	G(k)	k	G(k)	k	G(k)
-2,62	2,621400000	-2,16	2,165500000	-1,70	1,718300000
-2,61	2,611400000	-2,15	2,155600000	-1,69	1,708700000
-2,60	2,601500000	-2,14	2,145800000	-1,68	1,699200000
-2,59	2,591500000	-2,13	2,136000000	-1,67	1,689700000
-2,58	2,581600000	-2,12	2,126100000	-1,66	1,680100000
-2,57	2,571600000	-2,11	2,116300000	-1,65	1,670600000
-2,56	2,561700000	-2,10	2,106500000	-1,64	1,661100000
-2,55	2,551700000	-2,09	2,096600000	-1,63	1,651600000
-2,54	2,541800000	-2,08	2,086800000	-1,62	1,642200000
-2,53	2,531800000	-2,07	2,077000000	-1,61	1,632700000
-2,52	2,521900000	-2,06	2,067200000	-1,60	1,623200000
-2,51	2,511900000	-2,05	2,057400000	-1,59	1,613800000
-2,50	2,502000000	-2,04	2,047600000	-1,58	1,604400000
-2,49	2,492100000	-2,03	2,037800000	-1,57	1,594900000
-2,48	2,482100000	-2,02	2,028000000	-1,56	1,585500000
-2,47	2,472200000	-2,01	2,018300000	-1,55	1,576100000
-2,46	2,462300000	-2,00	2,008500000	-1,54	1,566700000
-2,45	2,452300000	-1,99	1,998700000	-1,53	1,557400000
-2,44	2,442400000	-1,98	1,989000000	-1,52	1,548000000
-2,43	2,432500000	-1,97	1,979200000	-1,51	1,538600000
-2,42	2,422600000	-1,96	1,969400000	-1,50	1,529300000
-2,41	2,412600000	-1,95	1,959700000	-1,49	1,520000000
-2,40	2,402700000	-1,94	1,950000000	-1,48	1,510700000
-2,39	2,392800000	-1,93	1,940200000	-1,47	1,501400000
-2,38	2,382900000	-1,92	1,930500000	-1,46	1,492100000
-2,37	2,373000000	-1,91	1,920800000	-1,45	1,482800000
-2,36	2,363100000	-1,90	1,911100000	-1,44	1,473600000
-2,35	2,353200000	-1,89	1,901300000	-1,43	1,464300000
-2,34	2,543300000	-1,88	1,891600000	-1,42	1,455100000
-2,33	2,333400000	-1,87	1,881900000	-1,41	1,445900000
-2,32	2,323500000	-1,86	1,872300000	-1,40	1,436700000
-2,31	2,313600000	-1,85	1,862600000	-1,39	1,427500000
-2,30	2,303700000	-1,84	1,852900000	-1,38	1,418300000
-2,29	2,293800000	-1,83	1,843200000	-1,37	1,409200000
-2,28	2,283900000	-1,82	1,833600000	-1,36	1,400000000
-2,27	2,274000000	-1,81	1,823900000	-1,35	1,390900000
-2,26	2,264100000	-1,80	1,814300000	-1,34	1,381800000
-2,25	2,254200000	-1,79	1,804600000	-1,33	1,372700000
-2,24	2,244400000	-1,78	1,795000000	-1,32	1,363600000
-2,23	2,234500000	-1,77	1,785400000	-1,31	1,354600000
-2,22	2,224600000	-1,76	1,775800000	-1,30	1,345500000
-2,21	2,214700000	-1,75	1,766200000	-1,29	1,336500000
-2,20	2,204900000	-1,74	1,756600000	-1,28	1,327500000
-2,19	2,195000000	-1,73	1,747000000	-1,27	1,318500000
-2,18	2,185200000	-1,72	1,737400000	-1,26	1,309500000
-2,17	2,175300000	-1,71	1,727800000	-1,25	1,300600000

k	G(k)	k	G(k)	k	G(k)
-1,24	1,291700000	-0,78	0,904500000	-0,32	0,579200000
-1,23	1,282700000	-0,77	0,896700000	-0,31	0,573000000
-1,22	1,273800000	-0,76	0,888900000	-0,30	0,566800000
-1,21	1,265000000	-0,75	0,881200000	-0,29	0,560600000
-1,20	1,256100000	-0,74	0,873400000	-0,28	0,554500000
-1,19	1,247300000	-0,73	0,865800000	-0,27	0,548400000
-1,18	1,238400000	-0,72	0,858100000	-0,26	0,542400000
-1,17	1,229600000	-0,71	0,850500000	-0,25	0,536300000
-1,16	1,220900000	-0,70	0,842900000	-0,24	0,530400000
-1,15	1,212100000	-0,69	0,835300000	-0,23	0,524400000
-1,14	1,203400000	-0,68	0,827800000	-0,22	0,518600000
-1,13	1,194600000	-0,67	0,820300000	-0,21	0,512700000
-1,12	1,185900000	-0,66	0,812800000	-0,20	0,506900000
-1,11	1,177300000	-0,65	0,805400000	-0,19	0,501100000
-1,10	1,168600000	-0,64	0,798000000	-0,18	0,495400000
-1,09	1,160000000	-0,63	0,790600000	-0,17	0,489700000
-1,08	1,151400000	-0,62	0,783300000	-0,16	0,484000000
-1,07	1,142800000	-0,61	0,775900000	-0,15	0,478400000
-1,06	1,134200000	-0,60	0,768700000	-0,14	0,472800000
-1,05	1,125700000	-0,59	0,761400000	-0,13	0,467300000
-1,04	1,117200000	-0,58	0,754200000	-0,12	0,461800000
-1,03	1,108700000	-0,57	0,747100000	-0,11	0,456400000
-1,02	1,100200000	-0,56	0,739900000	-0,10	0,450900000
-1,01	1,091700000	-0,55	0,732800000	-0,09	0,445600000
-1,00	1,083300000	-0,54	0,725700000	-0,08	0,440200000
-0,99	1,074900000	-0,53	0,718700000	-0,07	0,434900000
-0,98	1,066500000	-0,52	0,711700000	-0,06	0,429700000
-0,97	1,058200000	-0,51	0,704700000	-0,05	0,424400000
-0,96	1,049900000	-0,50	0,697800000	-0,04	0,419300000
-0,95	1,041600000	-0,49	0,690900000	-0,03	0,414100000
-0,94	1,033300000	-0,48	0,684000000	-0,02	0,409000000
-0,93	1,025000000	-0,47	0,677200000	-0,01	0,404000000
-0,92	1,016800000	-0,46	0,670400000		
-0,91	1,008600000	-0,45	0,663700000		
-0,90	1,000400000	-0,44	0,656900000		
-0,89	0,992300000	-0,43	0,650300000		
-0,88	0,984200000	-0,42	0,643600000		
-0,87	0,976100000	-0,41	0,637000000		
-0,86	0,968000000	-0,40	0,630400000		
-0,85	0,960000000	-0,39	0,623900000		
-0,84	0,952000000	-0,38	0,617400000		
-0,83	0,944000000	-0,37	0,610900000		
-0,82	0,936000000	-0,36	0,604500000		
-0,81	0,928100000	-0,35	0,598100000		
-0,80	0,920200000	-0,34	0,591800000		
-0,79	0,912300000	-0,33	0,585500000		

k	G(k)	k	G(k)	k	G(k)
0,00	0,398900000	0,46	0,210400000	0,92	0,096800000
0,01	0,394000000	0,47	0,207200000	0,93	0,095030000
0,02	0,389000000	0,48	0,204000000	0,94	0,093280000
0,03	0,384100000	0,49	0,200900000	0,95	0,091560000
0,04	0,379300000	0,50	0,197800000	0,96	0,089860000
0,05	0,374400000	0,51	0,194700000	0,97	0,088190000
0,06	0,369700000	0,52	0,191700000	0,98	0,086540000
0,07	0,364900000	0,53	0,188700000	0,99	0,084910000
0,08	0,360200000	0,54	0,185700000	1,00	0,083320000
0,09	0,355600000	0,55	0,182800000	1,01	0,081740000
0,10	0,350900000	0,56	0,179900000	1,02	0,080190000
0,11	0,346400000	0,57	0,177100000	1,03	0,078660000
0,12	0,341800000	0,58	0,174200000	1,04	0,077160000
0,13	0,337300000	0,59	0,171400000	1,05	0,075680000
0,14	0,332800000	0,60	0,168700000	1,06	0,074220000
0,15	0,328400000	0,61	0,165900000	1,07	0,072790000
0,16	0,324000000	0,62	0,163300000	1,08	0,071380000
0,17	0,319700000	0,63	0,160600000	1,09	0,069990000
0,18	0,315400000	0,64	0,158000000	1,10	0,068620000
0,19	0,311100000	0,65	0,155400000	1,11	0,067270000
0,20	0,306900000	0,66	0,152800000	1,12	0,065950000
0,21	0,302700000	0,67	0,150300000	1,13	0,064650000
0,22	0,298600000	0,68	0,147800000	1,14	0,063360000
0,23	0,294400000	0,69	0,145300000	1,15	0,062100000
0,24	0,290400000	0,70	0,142900000	1,16	0,060860000
0,25	0,286300000	0,71	0,140500000	1,17	0,059640000
0,26	0,282400000	0,72	0,138100000	1,18	0,058440000
0,27	0,278400000	0,73	0,135800000	1,19	0,057260000
0,28	0,274500000	0,74	0,133400000	1,20	0,056100000
0,29	0,270600000	0,75	0,131200000	1,21	0,054960000
0,30	0,266800000	0,76	0,128900000	1,22	0,053840000
0,31	0,263000000	0,77	0,126700000	1,23	0,052740000
0,32	0,259200000	0,78	0,124500000	1,24	0,051650000
0,33	0,255500000	0,79	0,122300000	1,25	0,050590000
0,34	0,251800000	0,80	0,120200000	1,26	0,049540000
0,35	0,248100000	0,81	0,118100000	1,27	0,048510000
0,36	0,244500000	0,82	0,116000000	1,28	0,047500000
0,37	0,240900000	0,83	0,114000000	1,29	0,046500000
0,38	0,237400000	0,84	0,112000000	1,30	0,045530000
0,39	0,233900000	0,85	0,110000000	1,31	0,044570000
0,40	0,230400000	0,86	0,108000000	1,32	0,043630000
0,41	0,227000000	0,87	0,106100000	1,33	0,042700000
0,42	0,223600000	0,88	0,104200000	1,34	0,041790000
0,43	0,220300000	0,89	0,102300000	1,35	0,040900000
0,44	0,216900000	0,90	0,100400000	1,36	0,040020000
0,45	0,213700000	0,91	0,098600000	1,37	0,039160000

k	G(k)	k	G(k)	k	G(k)
1,38	0,038310000	1,86	0,012260000	2,34	0,003255000
1,39	0,037480000	1,87	0,011950000	2,35	0,003159000
1,40	0,036670000	1,88	0,011640000	2,36	0,003067000
1,41	0,035870000	1,89	0,011340000	2,37	0,002977000
1,42	0,035080000	1,90	0,011050000	2,38	0,002889000
1,43	0,034310000	1,91	0,010770000	2,39	0,002804000
1,44	0,033560000	1,92	0,010490000	2,40	0,002720000
1,45	0,032810000	1,93	0,010220000	2,41	0,002640000
1,46	0,032080000	1,94	0,009957000	2,42	0,002561000
1,47	0,031370000	1,95	0,009698000	2,43	0,002484000
1,48	0,030670000	1,96	0,009445000	2,44	0,002410000
1,49	0,029980000	1,97	0,009198000	2,45	0,002337000
1,50	0,029310000	1,98	0,008957000	2,46	0,002267000
1,51	0,028650000	1,99	0,008721000	2,47	0,002199000
1,52	0,028000000	2,00	0,008491000	2,48	0,002132000
1,53	0,027360000	2,01	0,008266000	2,49	0,002067000
1,54	0,026740000	2,02	0,008046000	2,50	0,002004000
1,55	0,026120000	2,03	0,007832000	2,51	0,001943000
1,56	0,025520000	2,04	0,007623000	2,52	0,001883000
1,57	0,024940000	2,05	0,007418000	2,53	0,001826000
1,58	0,024360000	2,06	0,007219000	2,54	0,001769000
1,59	0,023800000	2,07	0,007024000	2,55	0,001715000
1,60	0,023240000	2,08	0,006835000	2,56	0,001662000
1,61	0,022700000	2,09	0,006649000	2,57	0,001610000
1,62	0,022170000	2,10	0,006468000	2,58	0,001560000
1,63	0,021650000	2,11	0,006292000	2,59	0,001511000
1,64	0,021140000	2,12	0,006120000	2,60	0,001464000
1,65	0,020640000	2,13	0,005952000	2,61	0,001418000
1,66	0,020150000	2,14	0,005788000	2,62	0,001373000
1,67	0,019670000	2,15	0,005628000	2,63	0,001330000
1,68	0,019200000	2,16	0,005472000	2,64	0,001288000
1,69	0,018740000	2,17	0,005320000	2,65	0,001247000
1,70	0,018290000	2,18	0,005172000	2,66	0,001207000
1,71	0,017850000	2,19	0,005028000	2,67	0,001169000
1,72	0,017420000	2,20	0,004887000	2,68	0,001132000
1,73	0,016990000	2,21	0,004750000	2,69	0,001095000
1,74	0,016580000	2,22	0,004616000	2,70	0,001060000
1,75	0,016170000	2,23	0,004486000	2,71	0,001026000
1,76	0,015780000	2,24	0,004358000	2,72	0,000992800
1,77	0,015390000	2,25	0,004235000	2,73	0,000960700
1,78	0,015010000	2,26	0,004114000	2,74	0,000929500
1,79	0,014640000	2,27	0,003996000	2,75	0,000899200
1,80	0,014280000	2,28	0,003882000	2,76	0,000869900
1,81	0,013920000	2,29	0,003770000	2,77	0,000841400
1,82	0,013570000	2,30	0,003662000	2,78	0,000813800
1,83	0,013230000	2,31	0,003556000	2,79	0,000787000
1,84	0,012900000	2,32	0,003453000	2,80	0,000761100
1,85	0,012570000	2,33	0,003352000	2,81	0,000735900

k	G(k)	k	G(k)	k	G(k)
2,82	0,000711500	3,30	0,000127300	3,78	0,000018530
2,83	0,000687900	3,31	0,000122500	3,79	0,000017760
2,84	0,000665000	3,32	0,000117900	3,80	0,000017020
2,85	0,000642800	3,33	0,000113500	3,81	0,000016320
2,86	0,000621300	3,34	0,000109300	3,82	0,000015630
2,87	0,000600400	3,35	0,000105100	3,83	0,000014980
2,88	0,000580200	3,36	0,000101200	3,84	0,000014350
2,89	0,000560600	3,37	0,000097340	3,85	0,000013750
2,90	0,000541700	3,38	0,000093650	3,86	0,000013170
2,91	0,000523300	3,39	0,000090090	3,87	0,000012620
2,92	0,000505500	3,40	0,000086660	3,88	0,000012080
2,93	0,000488300	3,41	0,000083350	3,89	0,000011570
2,94	0,000471600	3,42	0,000080160	3,90	0,000011080
2,95	0,000455500	3,43	0,000077090	3,91	0,000010610
2,96	0,000439800	3,44	0,000074130	3,92	0,000010160
2,97	0,000424700	3,45	0,000071270	3,93	0,000009723
2,98	0,000410100	3,46	0,000068520	3,94	0,000009307
2,99	0,000395900	3,47	0,000065870	3,95	0,000008908
3,00	0,000382200	3,48	0,000063310	3,96	0,000008525
3,01	0,000368900	3,49	0,000060850	3,97	0,000008158
3,02	0,000356000	3,50	0,000058480	3,98	0,000007806
3,03	0,000343600	3,51	0,000056200	3,99	0,000007469
3,04	0,000331600	3,52	0,000054000	4,00	0,000007145
3,05	0,000319900	3,53	0,000051880	4,01	0,000007000
3,06	0,000308700	3,54	0,000049840	4,02	0,000007000
3,07	0,000297800	3,55	0,000047880	4,03	0,000006000
3,08	0,000287300	3,56	0,000045990	4,04	0,000006000
3,09	0,000277100	3,57	0,000044170	4,05	0,000006000
3,10	0,000267200	3,58	0,000042420	4,06	0,000005000
3,11	0,000257700	3,59	0,000040730	4,07	0,000005000
3,12	0,000248500	3,60	0,000039110	4,08	0,000005000
3,13	0,000239600	3,61	0,000037550	4,09	0,000005000
3,14	0,000231100	3,62	0,000036050	4,10	0,000005000
3,15	0,000222700	3,63	0,000034600	4,11	0,000004000
3,16	0,000214700	3,64	0,000033210	4,12	0,000004000
3,17	0,000207000	3,65	0,000031880	4,13	0,000004000
3,18	0,000199500	3,66	0,000030590	4,14	0,000004000
3,19	0,000192200	3,67	0,000029350	4,15	0,000004000
3,20	0,000185200	3,68	0,000028160	4,16	0,000003000
3,21	0,000178500	3,69	0,000027020	4,17	0,000003000
3,22	0,000172000	3,70	0,000025920	4,18	0,000003000
3,23	0,000165700	3,71	0,000024860	4,19	0,000003000
3,24	0,000159600	3,72	0,000023850	4,20	0,000003000
3,25	0,000153700	3,73	0,000022870	4,21	0,000003000
3,26	0,000148000	3,74	0,000021930	4,22	0,000003000
3,27	0,000142600	3,75	0,000021030	4,23	0,000003000
3,28	0,000137300	3,76	0,000020160	4,24	0,000002000
3,29	0,000132200	3,77	0,000019330	4,25	0,000002000

k	G(k)
4,26	0,000002000
4,27	0,000002000
4,28	0,000002000
4,29	0,000002000
4,30	0,000002000
4,31	0,000002000
4,32	0,000002000
4,33	0,000002000
4,34	0,000002000
4,35	0,000001000
4,36	0,000001000
4,37	0,000001000
4,38	0,000001000
4,39	0,000001000
4,40	0,000001000
4,41	0,000001000
4,42	0,000001000
4,43	0,000001000
4,44	0,000001000
4,45	0,000001000
4,46	0,000001000
4,47	0,000001000
4,48	0,000001000
4,49	0,000001000
4,50	0,000001000

Bijlage 2: Resultaten van het praktijkonderzoek

Tabel 1: Resultaten van het één-levering-model onder veranderende servicegraad

ψ	R	S	Totale kost	Bestelkost	Voorraadkost
99,9	12	237	€ 69,75	€ 31,25	€ 38,5
99	12	227	€ 64,75	€ 31,25	€ 33,5
98	12	223	€ 62,75	€ 31,25	€ 31,5
97	12	220	€ 61,25	€ 31,25	€ 30
96	12	218	€ 60,25	€ 31,25	€ 29
95	12	216	€ 59,25	€ 31,25	€ 28

Tabel 2: Bestelkost van het één-levering-model onder veranderende servicegraad

ψ	Aantal bestellingen per jaar	Bestelkost per bestelling	Totale bestelkost
99,9	21	€ 1,5	€ 31,25
99	21	€ 1,5	€ 31,25
98	21	€ 1,5	€ 31,25
97	21	€ 1,5	€ 31,25
96	21	€ 1,5	€ 31,25
95	21	€ 1,5	€ 31,25

Tabel 3: Voorraadkost van het één-levering-model onder veranderende servicegraad

ψ	Veiligheidsvoorraad in eenheden	Cyclische voorraad in eenheden	Totale voorraad in eenheden	Voorraadkost
99,9	17	60	77	€ 38,5
99	7	60	67	€ 33,5
98	3	60	63	€ 31,5
97	0	60	60	€ 30
96	-2	60	58	€ 29
95	-4	60	56	€ 28

Tabel 4: Resultaten van het twee-leveringen-model onder veranderende servicegraad

ψ	R	S	Totale kost	w	Bestelkost	Voorraadkost
99,9	19	310	€ 60,02	0,41	€ 26,32	€ 33,70
99	19	298	€ 54,93	0,43	€ 26,32	€ 28,61
98	19	293	€ 52,89	0,44	€ 26,32	€ 26,57
97	19	291	€ 51,74	0,44	€ 26,32	€ 25,42
96	19	289	€ 50,57	0,43	€ 26,32	€ 24,25
95	19	286	€ 49,60	0,44	€ 26,32	€ 23,28

Tabel 5: Bestelkost van het twee-leveringen-model onder veranderende servicegraad

ψ	Aantal bestellingen per jaar	Bestelkost per bestelling	Totale bestelkost
99,9	13	€ 2	€ 26,32
99	13	€ 2	€ 26,32
98	13	€ 2	€ 26,32
97	13	€ 2	€ 26,32
96	13	€ 2	€ 26,32
95	13	€ 2	€ 26,32

Tabel 6: Voorraadkost van het twee-leveringen-model onder veranderende servicegraad

ψ	Veiligheidsvoorraad in eenheden	Cyclische voorraad in eenheden	Totale voorraad in eenheden	Voorraadkost
99,9	20	47	67	€ 33,70
99	8	49	57	€ 28,61
98	3	50	53	€ 26,57
97	1	50	51	€ 25,42
96	-1	50	49	€ 24,25
95	-4	51	47	€ 23,28

Tabel 7: Resultaten van het één-levering-model onder veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9 %

$\psi = 99,9$					
σ/μ	R	S	Totale kost	bestelkost	voorraadkost
1/5	17	144	€ 47,81	€ 22,06	€ 25,75
2/10	12	237	€ 69,75	€ 31,25	€ 38,5
4/20	8	393	103,38	€ 46,88	€ 56,5
6/30	7	560	€ 131,07	€ 53,57	€ 77,5
8/40	6	706	€ 155,50	€ 62,50	€ 93

Tabel 8: Bestelkost van het één-levering-model onder veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9 %

σ/μ	Aantal bestellingen per jaar	Bestelkost per bestelling	Totale bestelkost
1/5	15	€ 1,5	€ 22,06
2/10	21	€ 1,5	€ 31,25
4/20	31	€ 1,5	€ 46,88
6/30	36	€ 1,5	€ 53,57
8/40	42	€ 1,5	€ 62,50

Tabel 9: Voorraadkost van het één-levering-model onder veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9 %

σ/μ	Veiligheidsvoorraad in eenheden	Cyclische voorraad in eenheden	Totale voorraad in eenheden	Voorraadkost
1/5	9	43	52	€ 25,75
2/10	17	60	77	€ 38,5
4/20	33	80	113	€ 56,5
6/30	50	105	155	€ 77,5
8/40	66	120	186	€ 93

Tabel 10: Resultaten van het twee-leveringen-model onder veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9 %

$\psi = 99,9$						
σ/μ	R	S	Totale kost	w	bestelkost	voorraadkost
1/5	21	165	€ 42,32	0,36	€ 23,81	€ 18,51
2/10	19	310	€ 60,02	0,41	€ 26,32	€ 33,70
4/20	15	542	€ 89,42	0,50	€ 33,33	€ 56,08
6/30	14	782	€ 117,04	0,54	€ 35,71	€ 81,33
8/40	13	1003	€ 143,61	0,59	€ 38,46	€ 105,14

Tabel 11: Bestelkost van het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9 %

σ/μ	Aantal bestellingen per jaar	Bestelkost per bestelling	Totale bestelkost
1/5	12	€ 2	€ 23,81
2/10	13	€ 2	€ 26,32
4/20	17	€ 2	€ 33,33
6/30	18	€ 2	€ 35,71
8/40	19	€ 2	€ 38,46

Tabel 12: Voorraadkost van het twee-leveringen-model onder veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9 %

σ/μ	Veiligheidsvoorraad in eenheden	Cyclische voorraad in eenheden	Totale voorraad in eenheden	Voorraadkost
1/5	10	27	37	€ 18,51
2/10	20	47	67	€ 33,70
4/20	42	70	112	€ 56,08
6/30	62	101	163	€ 81,33
8/40	83	127	210	€ 105,14

Tabel 13: Verschil in totale kosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende servicegraad

ψ	Totale kost één-levering-model	Totale kost twee-leveringen-model	Absoluut verschil totale kosten	Procentueel verschil totale kosten
99,9	€ 69,75	€ 60,02	€ 9,73	13,95 %
99	€ 64,75	€ 54,93	€ 9,82	15,17 %
98	€ 62,75	€ 52,89	€ 9,86	15,72 %
97	€ 61,25	€ 51,74	€ 9,51	15,53 %
96	€ 60,25	€ 50,57	€ 9,68	16,07 %
95	€ 59,25	€ 49,60	€ 9,65	16,29 %

Tabel 14: Verschil in bestelkost tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende servicegraad

ψ	Bestelkosten één-levering-model	Bestelkosten twee-levering-model	Absoluut verschil bestelkosten	Procentueel verschil bestelkosten
99,9	€ 31,25	€ 26,32	€ 4,93	15,79 %
99	€ 31,25	€ 26,32	€ 4,93	15,79 %
98	€ 31,25	€ 26,32	€ 4,93	15,79 %
97	€ 31,25	€ 26,32	€ 4,93	15,79 %
96	€ 31,25	€ 26,32	€ 4,93	15,79 %
95	€ 31,25	€ 26,32	€ 4,93	15,79 %

Tabel 15: Verschil in voorraadkost tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende servicegraad

ψ	Voorraadkosten één-levering-model	Voorraadkosten twee-leveringen-model	Absoluut verschil voorraadkosten	Procentueel verschil voorraadkosten
99,9	€ 38,5	€ 33,70	€ 4,80	12,46 %
99	€ 33,5	€ 28,61	€ 4,89	14,59 %
98	€ 31,5	€ 26,57	€ 4,93	15,65 %
97	€ 30	€ 25,42	€ 4,58	15,27 %
96	€ 29	€ 24,25	€ 4,75	16,37 %
95	€ 28	€ 23,28	€ 4,72	16,84 %

Tabel 16: Verschil in totale kosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende servicegraad, opgesplitst naar bestelkosten en voorraadkosten

ψ	Absoluut verschil totale kosten	Procentueel verschil totale kosten	Absoluut verschil bestelkosten	% van het verschil van totale kosten	Absoluut verschil voorraadkosten	% van het verschil van totale kosten
99,9	€ 9,73	13,95 %	€ 4,93	50,71 %	€ 4,80	49,29 %
99	€ 9,82	15,17 %	€ 4,93	50,24 %	€ 4,89	49,76 %
98	€ 9,86	15,72 %	€ 4,93	50,02 %	€ 4,93	49,98 %
97	€ 9,51	15,53 %	€ 4,93	51,86 %	€ 4,58	48,14 %
96	€ 9,68	16,07 %	€ 4,93	50,97 %	€ 4,75	49,03 %

95	€ 9,65	16,29 %	€ 4,93	51,13 %	€ 4,72	48,87 %
----	--------	---------	--------	---------	--------	---------

Tabel 17: Verschil in totale kosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9 %

σ/μ	Totale kost één-levering-model	Totale kost twee-leveringen-model	Absoluut verschil totale kosten	Procentueel verschil
1/5	€ 47,81	€ 42,32	€ 5,49	11,48 %
2/10	€ 69,75	€ 60,02	€ 9,73	13,95 %
4/20	€ 103,38	€ 89,42	€ 13,96	13,50 %
6/30	€ 131,07	€ 117,04	€ 14,03	10,70 %
8/40	€ 155,50	€ 143,61	€ 11,89	7,65 %

Tabel 18: Verschil in bestelkost tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9 %

σ/μ	Bestelkosten één-levering-model	Bestelkosten twee-levering-model	Absoluut verschil bestelkosten	Procentueel verschil bestelkosten
1/5	€ 22,06	€ 23,81	€ -1,75	-7,94 %
2/10	€ 31,25	€ 26,32	€ 4,93	15,79 %
4/20	€ 46,88	€ 33,33	€ 13,54	28,89 %
6/30	€ 53,57	€ 35,71	€ 17,86	33,33 %
8/40	€ 62,50	€ 38,46	€ 24,04	38,46 %

Tabel 19: Verschil in voorraadkost tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag met een servicegraad van 99,9 %

σ/μ	Voorraadkosten één-levering-model	Voorraadkosten twee-leveringen-model	Absoluut verschil voorraadkosten	Procentueel verschil voorraadkosten
1/5	€ 25,75	€ 18,51	€ 7,24	28,11 %
2/10	€ 38,5	€ 33,70	€ 4,80	12,46 %
4/20	€ 56,5	€ 56,08	€ 0,42	0,74 %
6/30	€ 77,5	€ 81,33	€ -3,83	-4,94 %
8/40	€ 93	€ 105,14	€ -12,14	-13,06 %

Tabel 20: Verschil in totale kosten tussen het één-levering-model en het twee-leveringen-model bij veranderende gemiddelde vraag en standaardafwijking van de vraag, opgesplitst naar voorraadkosten en bestelkosten

σ/μ	Absoluut verschil totale kosten	Procentueel verschil totale kosten	Absoluut verschil bestelkosten	% van het verschil van totale kosten	Absoluut verschil voorraadkosten	% van het verschil van totale kosten
1/5	€ 5,49	11,48 %	€ -1,75	-31,91 %	€ 7,24	131,91 %
2/10	€ 9,73	13,95 %	€ 4,93	50,71 %	€ 4,80	49,29 %
4/20	€ 13,96	13,50 %	€ 13,54	97,00 %	€ 0,42	3,00 %
6/30	€ 14,03	10,70 %	€ 17,86	127,31 %	€ -3,83	-27,31 %
8/40	€ 11,89	7,65 %	€ 24,04	202,09 %	€ -12,14	-102,09 %

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:

Integratie van voorraad- en transportbeslissingen in een onzekere omgeving

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,

Inge JUVYNS

Datum: