

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, de gevraagde informatie in te vullen (en de overeenkomst te ondertekenen en af te geven).

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

Titel: Voorraadpolitiek van slow-moving items

Richting: 3de jaar handelsingenieur - major operationeel management en logistiek

Jaar: 2008

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

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

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

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

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

Ik ga akkoord,

HUVENEERS, Ineke

Datum: 5.11.2008

Voorraadpolitiek van slow-moving items

Ineke Huveneers

promotor :
Prof. dr. Gerrit JANSSENS

Voorwoord

Deze eindverhandeling vormt het sluitstuk van mijn opleiding tot Handelsingenieur aan de Universiteit Hasselt te Diepenbeek. Bij de keuze van het onderwerp heb ik mij voornamelijk laten leiden door mijn interesse in het voorraadbeheer en de wil om mij te verdiepen in het voor mij tot dan toe onbekend gebied van slow-movers. Voor de realisatie van deze verhandeling werden veel tijd en energie geïnvesteerd. Niet enkel door mijzelf, maar eveneens door andere personen zonder wiens medewerking deze totstandkoming onmogelijk zou geweest zijn. Ik zou dan ook graag van de gelegenheid willen gebruikmaken om mijn oprechte dank te betuigen aan al diegenen die een bijdrage leverden.

In het bijzonder gaat mijn erkentelijkheid uit naar Prof. dr. G. Janssens – promotor van deze eindverhandeling – voor zijn deskundige begeleiding, opbouwende kritiek en suggesties.

Daarnaast wil ik Prof. dr. K. Ramaekers bedanken voor het ter beschikking stellen van een simulatiemodel en voor haar hulp tijdens de uitwerking van mijn praktijkonderzoek.

Tenslotte spreek ik een dankwoordje uit aan mijn ouders. Zij zijn immers diegenen die mij de afgelopen vijf jaar zowel financiële als morele steun verleenden. Evenzo wil ik de rest van mijn familie en vrienden, in het bijzonder mijn vriend Kevin, bedanken voor hun houvast en vertrouwen.

Samenvatting

In deze verhandeling wordt de **voorraadpolitiek rond slow-movers** bestudeerd. Slow-movers zijn producten met een lage klantenvraag zowel in termen van bestelhoeveelheid als van het aantal producten besteld per periode. De vraag voor slow-movers is onregelmatig en kan gezien worden als schommelend, wat de uitdaging van het voorraadbeheer nog complexer maakt. In de studie van voorraadbeheer bestaat de traditionele aanpak erin meer belang te hechten aan items wiens vraag ofwel zeer groot ofwel zeer moeilijk te voorspellen is. Daardoor is de studie van items met een kleine vraag op de achtergrond gebleven. De centrale onderzoeksvraag behandeld in deze verhandeling luidt bijgevolg:

"Wat is een optimale voorraadpolitiek voor slow-movers?"

Het eerste deel van deze eindverhandeling omvat een literatuurstudie. Vooreerst wordt een inleiding gegeven in het begrip slow-movers. Het is belangrijk te weten waarvan slow-movers zich onderscheiden van andere producten, zoals fast-movers. Daarnaast worden enkele termen gedefinieerd rond een schommelend vraagpatroon. Deze bespreking maakt de lezer vertrouwd met de verschillende begrippen. Vervolgens worden verschillende methoden besproken die gebruikt kunnen worden bij het voorspellen van de vraag naar slow-movers. Een onderscheid wordt gemaakt tussen managementmethoden en reductiemethoden. Naast een bespreking van de diverse voorspellingsmethoden, volgt een toelichting van de voorraadmodellen die aangeraden worden bij het beheer van slow-movers.

In het tweede deel van de verhandeling volgt een experimenteel onderzoek. Door middel van een simulatiemodel in Microsoft Excel worden de interacties onderzocht tussen twee periodieke voorraadmodellen: het (R, s, S) en het (R, s, Q) systeem en drie voorspellingsmethoden: het gewogen gemiddelde, exponentiële afvlakking en de methode van Croston. Ook worden de prestaties tussen de diverse modellen en methoden vergeleken. Het simulatiemodel veronderstelt een periodiek voorraadsysteem met één product van een groothandelaar. Het product betreft een

III

slow-moving item. In het simulatiemodel worden vier variabelen: vraagfrequentie, bestelkost, opslagkost en tekortkost gewijzigd over drie niveaus, waardoor in totaal 81 simulaties uitgevoerd worden. Voor elke simulatie worden betrouwbaarheidsintervallen opgesteld voor het vergelijken van de prestaties tussen de voorspellingsmethoden, de herzieningsperioden en de voorraadmodellen.

Bij het vergelijken van de voorspellingsmethoden kunnen enkel kostenverschillen waargenomen worden. De methode van Croston blijkt in verschillende simulaties de duurste methode. Bij het vergelijken van de voorraadmodellen kunnen zowel prestatieverschillen als kostenverschillen waargenomen worden. In enkele simulaties presteert het *FOQ* model significant beter (= minder aantal eenheden tekort per periode). Wanneer de talrijke significante kostenverschillen beschouwd worden, komt het *order-up-to-level* model voornamelijk uit als het goedkoopste voorraadmodel. Tenslotte is bij het vergelijken van de diverse herzieningsperioden, de toepassing van een herzieningsperiode gelijk aan de helft van de leveringstermijn het duurste.

Inhoudsopgave

Voorwoord	I
Samenvatting.....	II
Inhoudsopgave	IV
Lijst van symbolen	VII
Lijst van figuren.....	XI
Lijst van tabellen	XII
1 Probleemstelling	- 1 -
1.1 Praktijkprobleem	- 1 -
1.2 Centrale onderzoeksvraag.....	- 2 -
1.3 Deelvragen	- 2 -
1.4 Beschrijving en verantwoording van het onderzoeksopzet.....	- 3 -
1.4.1 Zoekstrategie	- 3 -
1.4.2 Opbouw van de eindverhandeling.....	- 4 -
2 Inleiding.....	- 5 -
2.1 ABC-analyse	- 5 -
2.2 Slow-movers.....	- 7 -
2.3 Intermittent demand.....	- 7 -
2.4 Problemen rond slow-movers	- 11 -
3 Overzicht van de beschikbare literatuur omtrent slow-movers	- 12 -
4 Vraagvoorspelling	- 14 -
4.1 Managementmethoden	- 14 -
4.1.1 <i>Early sales</i>	- 14 -
4.1.2 <i>Order overplanning</i>	- 15 -
4.2 Reductiemethoden.....	- 18 -
4.2.1 Simpel gewogen gemiddelde	- 19 -
4.2.2 Simpel exponentiële afvlakking	- 20 -
4.2.3 Croston's methode	- 21 -
4.2.4 Vergelijking reductiemethoden.....	- 24 -
4.3 Vergelijking management en reductiemethoden	- 27 -
5 Voorraadbeheer betreffende slow-movers	- 29 -
5.1 Literatuur overzicht.....	- 29 -
5.2 Voorraadmodellen met stochastische vragen	- 30 -
5.2.1 <i>Continuous review</i> modellen	- 31 -

5.2.1.1	<i>Order-Point, Order-Quantity</i> (s, Q) systeem	31 -
5.2.1.2	<i>Order-Point, Order-Up-to-level</i> (s, S) systeem	32 -
5.2.2	<i>Periodic review</i> modellen.....	33 -
5.2.2.1	<i>Periodic review, Order-Up-to-Level</i> (R, S) systeem	33 -
5.2.2.2	(R, s, S) systeem	34 -
5.2.2.3	<i>Periodic</i> (R, s, Q) systeem.....	34 -
5.3	De modellen mathematisch uitgewerkt	35 -
5.3.1	<i>Continue review</i> modellen mathematisch:.....	35 -
5.3.2	<i>Periodic review</i> modellen mathematisch	36 -
5.4	Voor-en nadelen van de methoden.....	38 -
5.4.1	(s, Q) systeem.....	38 -
5.4.2	(s, S) systeem.....	38 -
5.4.3	(R, S) systeem	38 -
5.4.4	(R, s, S) systeem	39 -
5.4.5	Model voor slow-movers?.....	39 -
6	Verdeling van de vraag	41 -
7	Praktijkonderzoek	42 -
7.1	Inleiding.....	42 -
7.2	Simulatiebenadering	42 -
7.2.1	Statistische analyse van de resultaten.....	43 -
7.2.2	Gemeenschappelijke toevalsgetallen.....	47 -
7.3	De generatie van de vraag naar slow-movers	47 -
7.4	Experimenteel kader	49 -
7.4.1	Keuze van een voorraadsysteem	50 -
7.4.2	Keuze van een voorspellingsmethode.....	50 -
7.4.3	Simulaties	51 -
7.5	Experimentele opzet	51 -
7.6	Bespreken van de resultaten	53 -
7.6.1	Output	53 -
7.6.2	Resultaten van de 81 simulaties.....	57 -
7.6.2.1	Vergelijking van de voorspellingsmethoden	58 -
7.6.2.2	Vergelijking van de herzieningsperioden	59 -
7.6.2.3	Vergelijking van de voorraadmodellen	59 -
7.6.2.4	Bemerkingen	60 -

VI

7.6.3	De resultaten opgesplitst naar de vraagfrequentie	- 60 -
7.6.3.1	Vergelijking van de voorspellingsmethoden	- 63 -
7.6.3.2	Vergelijking van de herzieningsperioden	- 64 -
7.6.3.3	Vergelijking van de voorraadmodellen	- 64 -
7.6.4	De resultaten opgesplitst naar de bestelkost	- 65 -
7.6.4.1	Vergelijking van de voorspellingsmethoden	- 68 -
7.6.4.2	Vergelijking van de herzieningsperioden	- 69 -
7.6.4.3	Vergelijking van de voorraadmodellen	- 69 -
7.6.5	De resultaten opgesplitst naar de opslagkost	- 70 -
7.6.5.1	Vergelijking van de voorspellingsmethoden	- 73 -
7.6.5.2	Vergelijking van de herzieningsperioden	- 73 -
7.6.5.3	Vergelijking van de voorraadmodellen	- 74 -
7.6.6	De resultaten opgesplitst naar de tekortkost	- 75 -
7.6.6.1	Vergelijking van de voorspellingsmethoden	- 78 -
7.6.6.2	Vergelijking van de herzieningsperioden	- 79 -
7.6.6.3	Vergelijking van de voorraadmodellen	- 79 -
7.7	Conclusies praktijkonderzoek	- 80 -
7.7.1	Conclusies: vergelijking van de voorspellingsmethoden	- 80 -
7.7.2	Conclusie: Vergelijking van de herzieningsperioden.....	- 81 -
7.7.3	Conclusie: Vergelijking van de voorraadmodellen	- 83 -
8	Conclusies en verder onderzoek	- 86 -
8.1	Conclusies	- 86 -
8.2	Verder onderzoek	- 88 -
	Lijst van geraadpleegde werken	- 90 -
	Bijlagen	- 95 -

Lijst van symbolen

$1 - \kappa$	= Betrouwbaarheidscoëfficiënt
C_h	= Opslagkost per product in €
C_H	= Jaarlijkse opslagkost in €
C_o	= Bestelkost per bestelling in €
C_s	= Tekortkost per product in €
C_u	= Variabele eenheidskost in €
CV	= Variatiecoëfficiënt van consumentenvraag
D	= Jaarlijkse vraag in eenheden
e_t	= De voorspellingsfout in periode t
$E(l_t)$	= Verwachte gemiddelde vraag grootte
$E(l_t')$	= Verwachte schatting van de gemiddelde vraag grootte
$E(p_t)$	= Verwachte gemiddelde vraag interval
$E(p_t')$	= Verwachte schatting van de gemiddelde vraag interval
$E(X)$	= Gemiddelde van de geaggregeerde vraag
$E(Y_t')$	= Verwachte vraagschatting van een product in periode t
$E(z)$	= Verwachte gemiddelde veiligheidsfactor
h	= Maat van heterogeniteit
\bar{I}	= Gemiddeld aantal eenheden in voorraad
k	= Aantal te vergelijken alternatieven in een simulatie
l	= Gemiddelde vraag grootte
L	= Leveringstermijn in dagen

VIII

I_l	= $100(1 - \kappa_l)$ betrouwbaarheidsinterval voor de prestatie maatstaf μ_l ($l = 1, 2, \dots, k$)
l_t	= Vraag grootte van een product in periode t
l_t'	= Voorspelling van de gemiddelde vraag grootte in periode t
n	= Aantal
p of ADI	= Gemiddelde vraag interval in dagen
P_i	= De gecumuleerde vraag gegenereerd door de eerste i klanten
p_t	= Gemiddelde vraag interval van een product in periode t
p_t'	= Voorspelling van de gemiddelde vraag interval
q	= Tijdsinterval na de laatste vraag in dagen
$q_{\kappa, k, v}$	= Het bovenste κ punt van de "Studentized range" verdeling
Q	= Bestelhoeveelheid in eenheden
Q_i	= Verwachte vraag van een product in periode i
Q_{ij}	= Voorspellingsorder j van een product in periode i
R	= Herzieningsperiode
s	= Bestelpunt in eenheden
S	= <i>Order-up-to-level</i> in eenheden
T	= Transitie matrix
$Var(X)$	= Variantie van de geaggregeerde vraag
VV	= Veiligheidsvoorraad in eenheden
p_0	= Kans op geen bestelling in een bepaalde periode
p_1	= Kans op een bestelling in een bepaalde periode
P	= Gewenste serviceniveau in percentage
x	= Voorraadniveau

\bar{X}	= De gemiddelde vraag per dag in eenheden
\bar{X}_R	= De gemiddelde vraag per periode R in eenheden
\bar{X}_{R+L}	= De gemiddelde vraag over de periode R en leveringstermijn L in eenheden
\bar{Y}_l	= Het gemiddelde van n uitvoeringen van het l -de alternatief.
\bar{Y}_m	= Het gemiddelde van n uitvoeringen van het m -de alternatief
Y_{mj}	= Het resultaat van de j -de uitvoering van het m -de alternatief
Y_t	= Vraag voor een product in periode t
Y_t'	= Vraagvoorspelling van een product in periode t
Y_{t-1}'	= Vraagvoorspelling van een product in periode $t - 1$
$\bar{Y}(n)$	= Gemiddelde resultaat van de prestatie maatstaf
z	= Veiligheidsfactor
α	= Afvlakkingconstante
β	= Schaalparameter van Gammaverdeling
r	= Kost in euro's om één euro voorraad op te slaan voor één jaar
λ	= Vormparameter van Gammaverdeling
ε_t	= Toevallige afwijking op tijdstip t
σ^2	= Variantie
σ_L	= Standaardafwijking van de vraag over de leveringstermijn L
σ_{R+L}	= Standaardafwijking van de vraag over de leveringstermijn L en de Reviewperiode R
$\sigma^2(n)$	= Variantie van een steekproef met n observaties
ν	= Aantal vrijheidsgraden in Tukey test

- μ = Gemiddelde
- μ_l = Prestatiemaatstaf ($l = 1, 2, \dots, k$)
- r = Kost in euro's om één euro voorraad op te slaan voor één jaar

Lijst van figuren

Figuur 2.1: ABC voorraadanalyse (Tersine R.J., 1994) - 6 -

Figuur 2.2: Vraagpatronen van items..... - 10 -

Figuur 3.1: Overzicht van de literatuur..... - 13 -

Figuur 4.1: De voorspellingsprocedure van *order overplanning*..... - 17 -

Figuur 4.2: Voor- en nadelen van *order overplanning*. - 18 -

Figuur 5.1: (s, Q) systeem (Silver et al., 1985). - 32 -

Figuur 5.2: (s, S) systeem (Silver et al., 1985)..... - 33 -

Figuur 5.3: (R, S) systeem (Silver et al., 1985). - 34 -

Lijst van tabellen

Tabel 7.1: Verschillende waarden van de variabelen.....	51 -
Tabel 7.2: Waarden van de variabelen voor de eerste simulatie	51 -
Tabel 7.3: Berekeningen simulatie eerste run.....	53 -
Tabel 7.4: Resultaten van de 5 simulatieruns voor het Gewogen Gemiddelde.....	54 -
Tabel 7.5: Resultaten van de 5 simulatieruns voor Exponentiële Afvlakking	55 -
Tabel 7.6: Resultaten van de 5 simulatieruns voor de methode van Croston	55 -
Tabel 7.7: Betrouwbaarheidsintervallen voor het vergelijken van de voorspellingsmethoden ...	56 -
Tabel 7.8: Betrouwbaarheidsintervallen voor het vergelijken van de herzieningsperioden	56 -
Tabel 7.9: Betrouwbaarheidsintervallen voor het vergelijken van de voorraadmodellen	57 -
Tabel 7.10: Totaal aantal significantie resultaten over de 81 simulaties.....	58 -
Tabel 7.11: Aantal significantie resultaten bij een vraagfrequentie = 0,10	61 -
Tabel 7.12: Aantal significantie resultaten bij een vraagfrequentie = 0,20	62 -
Tabel 7.13: Aantal significantie resultaten bij een vraagfrequentie = 0,30	63 -
Tabel 7.14: Aantal significantie resultaten bij een bestelkost = 50€ per bestelling	66 -
Tabel 7.15: Aantal significantie resultaten bij een bestelkost = 100€ per bestelling	67 -
Tabel 7.16: Aantal significantie resultaten bij een bestelkost = 200€ per bestelling	68 -
Tabel 7.17: Aantal significantie resultaten bij een opslagkost = 1€ per eenheid.....	71 -
Tabel 7.18: Aantal significantie resultaten bij een opslagkost = 2€ per eenheid.....	72 -
Tabel 7.19: Aantal significantie resultaten bij een opslagkost = 4€ per eenheid.....	73 -
Tabel 7.20: Aantal significantie resultaten bij een tekortkost = 2,5 € per eenheid.....	76 -
Tabel 7.21: Aantal significantie resultaten bij een tekortkost = 5€ per eenheid	77 -
Tabel 7.22: Aantal significantie resultaten bij een tekortkost = 10€ per eenheid.....	78 -
Tabel 7.23: Overzicht van de significante verschillen tussen de voorspellingsmethoden	81 -
Tabel 7.24: Overzicht van de significante verschillen tussen de herzieningsperioden	82 -
Tabel 7.25: Overzicht van de significante verschillen tussen de voorraadmodellen	84 -
Tabel 7.26: Overzicht van de significante verschillen tussen de voorraadmodellen	85 -

1 Probleemstelling

1.1 Praktijkprobleem

Het fenomeen voorraad is een evoluerende problematiek waarvoor geen sluitende oplossing kan gevonden worden, ook doordat het optimum verandert met nieuwe technieken. Het begrip voorraad lijkt eerder een gewone schakel in het productieproces. Een sterk voorraadbeheer kan echter een wereld van verschil betekenen, vooral in deze globaliserende wereld. Voorraden vertegenwoordigen een aanzienlijk kapitaal wanneer ze in geld worden uitgedrukt en kunnen daarom ook beschouwd worden als een kost.

De controle en het onderhoud van de voorraad van fysieke goederen vormt een probleem voor alle ondernemingen in elke sector van een gegeven economie. Het houden van voorraden is noodzakelijk voor bijna alle organisaties die fysieke goederen aanbieden aan klanten (Haddock et al., 1994). Voorraden zijn onvermijdelijk doordat aanbod en vraag onmogelijk perfect te synchroniseren zijn. Vraag en aanbod verschillen vaak in de hoeveelheden in dewelke zij respectievelijk voorraad vereisen en voorzien. Teveel voorraad wordt voornamelijk veroorzaakt door onbetrouwbare voorspellingen en de eerder vermelde schommelingen van vraag en aanbod. Deze schommelingen worden teweeggebracht door late koopleveringen, onnauwkeurige voorraaddocumenten en kwaliteitsproblemen. Soms wordt echter ook te weinig voorraad aangehouden. De gevolgen van stock-outs (= de gevraagde producten ontbreken in voorraad) omvatten vaak productieverlies en hoge kosten, zodat veiligheidsvoorraad vereist is (Kennedy et al., 2002).

Het doel van een leverancier bestaat erin om een goede service te bieden aan zijn klanten. In veel branches levert het eveneens een concurrentievoordeel op als een bedrijf in staat is om een goede service te leveren. Om dit te bereiken, kunnen minstens twee dimensies onderscheiden worden. De eerste bestaat erin een waaier aan producten te voorzien om te voldoen aan de verschillende behoeften van de klanten. Daarnaast is een voldoende voorraad vereist om te kunnen beantwoorden aan de schommelende vraag van de klanten. Een evenwicht dient gevonden te worden tussen de investering in voorraden om een hoog serviceniveau te bekomen en de kost die zich voordoet wanneer een onderneming uit voorraad valt en/of verkopen verliest (Johnston et

al.1996). De voorraad kan niet arbitrair verminderd worden, zonder een effect te hebben op de klantenservice. Businessprocessen moeten veranderd worden, zodat hogere serviceniveaus mogelijk worden met een lagere voorraad (Haddock et al., 1994). Het punt waarop het voorgenoemde evenwicht plaatsvindt, levert het antwoord op fundamentele vragen zoals: Welke onderdelen leggen we op voorraad, in welke hoeveelheden en in welke magazijnen?

Wanneer leveranciers hun voorraden voorzien van een grote waaier aan items, merken ze dat de aangeboden producten verschillen in gevraagde hoeveelheid. Zo worden bepaalde producten heel vaak besteld (= fast-movers), waar andere producten zelden of nooit besteld worden (= slow-movers) (Johnston et al.1996).

Voorraaditems gedragen zich verschillend in een analytische betekenis, vooral afhankelijk van hun vraagprofiel (= de vraagdistributie en de gevraagde hoeveelheid). Slow-moving items, ook wel slow-movers genaamd, zijn producten met een lage klantenvraag zowel in termen van bestelhoeveelheid als van het aantal producten besteld per periode. De vraag voor slow-movers is onregelmatig en kan gezien worden als schommelend (Regattieri et al., 2005). Dit maakt de uitdaging van het voorraadbeheer nog moeilijker. In de studie van voorraadbeheer bestaat de traditionele aanpak erin meer belang te hechten aan items wiens vraag ofwel zeer groot ofwel zeer moeilijk te voorspellen is. Daardoor is de studie van items met een kleine vraag op de achtergrond gebleven.

1.2 Centrale onderzoeksvraag

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

"Wat is een optimale voorraadpolitiek voor slow-movers?"

1.3 Deelvragen

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

Vooraleer overgegaan kan worden tot het voorraadbeleid is het nodig een duidelijk onderscheid te maken tussen slow-movers en andere producten

- *Hoe onderscheiden slow-moving items zich van fast-movers?*

Een optimaal voorraadbeleid kan pas gerealiseerd worden wanneer de vraagvoorspelling voldoende overeenstemt met de reële vraag. Een kritische bespreking van de verschillende technieken zal een inzicht geven in de sterkten en beperkingen van elke methode.

- *Welke vraagvoorspellingsmethode kan toegepast worden voor slow-movers?*

Voorraden bestaan uit allerlei kosten die dienen gebalanceerd te worden met de gewenste serviceniveaus. Eens alle aspecten van het beleid in rekening genomen zijn, kan gesproken worden van een optimaal voorraadbeheer.

- *Wat maakt een voorraadbeleid voor slow-movers optimaal?*

1.4 Beschrijving en verantwoording van het onderzoeksofzet

Door het wetenschappelijk karakter van dit onderzoek, is dit onderzoek deels gebaseerd op een literatuurstudie. Na de literatuurstudie wordt vervolgens een praktijkonderzoek uitgevoerd. In dit praktijkgedeelte wordt via simulaties in Microsoft Excel een fictieve situatie gecreëerd waarbij de prestaties en de kosten van drie voorspellingsmethoden, drie herzieningsperioden en twee voorraadmodellen vergeleken worden. Via deze simulaties is het immers mogelijk de interacties te bestuderen tussen de voorspellingsmethoden en de voorraadmodellen.

1.4.1 Zoekstrategie

In de literatuurstudie wordt hoofdzakelijk beroep gedaan op artikels uit wetenschappelijke tijdschriften. Deze vormen de belangrijkste bron van informatie voor deze eindverhandeling, omdat nagenoeg geen literatuur over het voorraadbeheer van slow-movers in boekvorm is uitgebracht.

Door middel van elektronische zoekmachines zoals ScieneDirect en Ebsco worden relevante artikels opgezocht. Dit door het gebruik van trefwoorden zoals 'slow-movers', 'low-demand items' en 'intermittent demand'.

De gevonden artikels leveren bijgevolg bijkomende literatuur door het bestuderen van de referentielijsten.

Doordat vele artikels elektronisch niet beschikbaar zijn via de Universiteit Hasselt, wordt tevens een beroep gedaan op overige Vlaamse universiteiten, zoals de Universiteit van Antwerpen en de Katholieke Universiteit Leuven. Dit levert nog niet al de gewenste artikels, waardoor auteurs gecontacteerd worden om de betreffende artikels te kunnen ontvangen.

1.4.2 Opbouw van de eindverhandeling

In hoofdstuk twee wordt een inleiding gegeven in het begrip slow-movers. Naast het bespreken van de voornaamste kenmerken van slow-movers, wordt tevens een inzicht gegeven in het begrip '*intermittent demand*'. Het hoofdstuk wordt beëindigd met het bespreken van de problemen omtrent slow-movers.

In hoofdstuk drie wordt een overzicht gegeven van de beschikbare literatuur omtrent slow-movers. Deze literatuur wordt verwerkt in de daaropvolgende hoofdstukken.

Hoofdstukken vier en vijf handelen over de verschillende voorspellingsmethoden en voorraadmodellen die toegepast kunnen worden bij slow-movers. Tevens worden deze methoden en modellen kritisch besproken. In hoofdstuk zes worden vervolgens simulaties uitgevoerd waarbij de prestaties en kosten van de voorspellingsmethoden en de voorraadmodellen worden geanalyseerd.

Tenslotte worden in het laatste hoofdstuk enkele conclusies geformuleerd die volgen uit de literatuurstudie en het praktijkonderzoek. In dit hoofdstuk wordt ook aanleiding gegeven tot verder onderzoek.

2 Inleiding

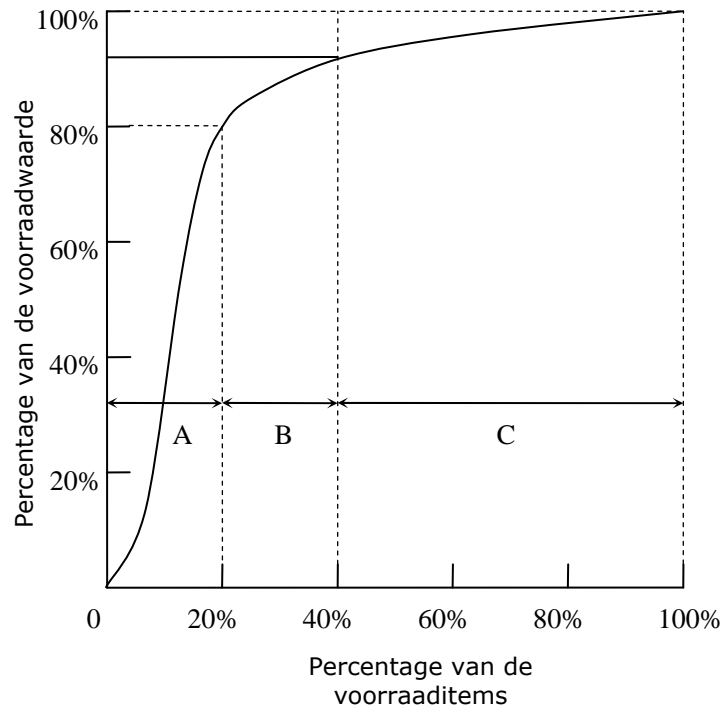
Vooraleer overgegaan kan worden tot het voorraadbeheer, is het belangrijk dat inzicht verkregen wordt in het begrip 'slow-moving' items.

2.1 ABC-analyse

Voorraadcontrole betreft duizenden of zelfs miljoenen individuele transacties per jaar. De meeste controlesystemen zijn geautomatiseerd, doch vereisen manuele inspanningen bij de gegevensinput, de waardecontrole,... . Voor enkele items is een dergelijke inspanning overbodig. Andere items daarentegen vereisen meer aandacht dan de routine berekeningen.

Om efficiënt te kunnen werken, is het belangrijk dat voorraadprocedures van producten, die precisie vereisen, geïsoleerd worden van deze van producten die met minder precisie beheerd kunnen worden. Een ABC-analyse is een manier om producten te categoriseren in mate van nauwkeurigheid. ABC-analyse wordt ook wel "de regel van 80/20" genoemd. Dit betekent dat 80% van de voorraden slechts 20% aandacht nodig hebben, terwijl aan de overige 20%, 80% aandacht besteed dient te worden. Frequent, blijkt een klein percentage van de voorraaditems verantwoordelijk te zijn voor het overgrote deel van de totale voorraadwaarde. De voorraadwaarde voor elk product wordt bepaald door de jaarlijkse vraag te vermenigvuldigen met de eenheidskost. Meer in het bijzonder definieert de ABC-analyse (Waters,1994 en Tersine, 1994):

- A-producten (= fast-movers) als producten met een hoge voorraadwaarde. De kans is groot dat de leverancier een bestelling misloopt, wanneer deze een dergelijk product niet kan leveren. Een hoog serviceniveau (95%) is dan ook vereist.
- B-producten (= medium movers) als ordinaire producten met een gemiddelde voorraadwaarde.
- C-producten (= slow-movers) als producten met een lage voorraadwaarde. De klanten verwachten meestal niet dat een dergelijk product in voorraad aanwezig is. Een serviceniveau van 70-80% is voldoende.



Figuur 2.1: ABC voorraadanalyse (Tersine R.J., 1994)

A-producten vereisen de grootste aandacht en C-producten het minste aandacht. Een bedrijf dient echter een voorraad aan te houden van alle producten, ook de producten die zelden gebruikt (=C-producten) worden om een continue operatie te kunnen verzekeren. Een voorbeeld hiervan is een reserveonderdeel dat goedkoop is en weinig gebruikt wordt, dus geclassificeerd als een C-product. Maar een dergelijk product moet geleverd kunnen worden om een machine te herstellen, zodat een tekort zeer kostelijk zou zijn, waardoor het product wel een speciale aandacht dient te krijgen.

C-producten dienen met meer precisie beheer te worden wanneer zij:

- belangrijker zijn dan hun classificatie veronderstelt
- continue verkopen toestaan van een oud product
- hoge winsten opleveren
- nieuwe producten zijn
- verwacht worden door de klanten
- ...

2.2 Slow-movers

Producten met *intermittent demand* (zie 2.3) omvatten reserveonderdelen voor garages en luchtvaart, industriële verfproducten en hooggeprijsde kapitale goederen; zoals zware machines. Zulke items worden vaak beschreven als 'slow-moving' (Willemain et al., 2004). Kennedy, Patterson en Fredenhall (2002) definiëren slow-movers als producten met een lage klantenvraag zowel in termen van bestelhoeveelheid als van het aantal producten besteld per periode.

Volgens Mitchell (1962) kunnen slow-moving items herkend worden aan de hand van het koopgedrag van consumenten. Hij vermeldt de volgende vier kenmerken:

- Bij iedere aankoop: worden de producten in hoeveelheden van slechts één of meer dan één besteld? Slow-moving items worden meestal in hoeveelheden van één gekocht.
- Als de hoeveelheid per aankoop meer dan één is, zijn er dan één of meerdere gebruikers? Indien bijvoorbeeld de linkse schokdemper defect is, dient de rechtse eveneens vervangen te worden.
- Kunnen prijspromoties de vraag van klanten beïnvloeden? Voor de meeste slow-movers zijn leveranciers niet bereid om te voldoen aan een piekvraag en zullen om deze reden zelden promoties aanbieden.
- Creëert seizoensinvloed een non-stationaire vraagverdeling? De vraag voor sommige slow-movers zal zeker enige seizoensinvloed vertonen (grasmachines). Maar de meeste slow-moving items vertonen een relatief stationaire vraagverdeling.

2.3 Intermittent demand

Silver et al. (1985) beschrijven *intermittent demand* als een onregelmatige vraag met een grote proportie van nulwaarden. Bij een dergelijke vraag zal dus vaak geen order geplaatst worden. Bartezagghi, Verganti en Zotteri (1999) beschouwen vijf kenmerken die het sporadische karakter van de vraag naar producten veroorzaken.

- *Aantal* potentiële klanten in de markt. Verwacht wordt dat als het aantal potentiële klanten afneemt, de vraag naar de unit sporadisch wordt en dus het onregelmatige karakter van de vraag versterkt.

- *Heterogeniteit* van klanten. Dit attribuut neemt toe door de internationalisatie van markten. Heterogeniteit komt voor wanneer de potentiële markt bestaat uit consumenten met aanzienlijk verschillende groottes (= weinig grote consumenten met een groot aantal kleine consumenten). Des te hoger de heterogeniteit van de consumenten, des te onregelmatiger het karakter van de vraag is. Perioden met hoge vragen van een grote klant alterneren met perioden van lage vragen van kleine klanten. Heterogeniteit kan gemeten worden door de Gini index. Deze index kan berekend worden door middel van een Pareto analyse van de consumentengroottes. Wanneer de consumenten gesorteerd worden van de grootste tot de kleinste, dan is P_i de gecumuleerde vraag gegenereerd door de eerste i klanten (P_i is het percentage van de gehele vraag gegenereerd door de i grootste klanten). De maat van heterogeniteit h wordt gegeven door:

$$h = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n (1 - P_i)}$$

(2.1)

- *Frequentie* van de consumentenvragen. Het sporadische karakter neemt af als de frequentie van de aankopen van elke consument toeneemt. In feite: hoe hoger de vraagfrequentie van een klant, hoe groter de vraag voor de unit door verschillende consumenten in een gegeven periode.
- *Variëteit* van de consumentenvraag. Het onregelmatige karakter van een vraag neemt toe wanneer elke consument verschillende hoeveelheden bestelt. De consument alterneert dan perioden van kleine hoeveelheden met perioden van grote hoeveelheden. Variëteit kan gemeten worden door de variatiecoëfficiënt van de vraag van één enkele klant.
- *Correlatie* tussen de consumentenvraag. Een onregelmatige vraag kan eveneens voorkomen in een markt met een groot aantal klanten wanneer hun vragen sterk gecorreleerd zijn met elkaar. Het gelijkaardige gedrag van de consumenten kan leiden tot plotse pieken in de vraag na verschillende perioden zonder vraag.

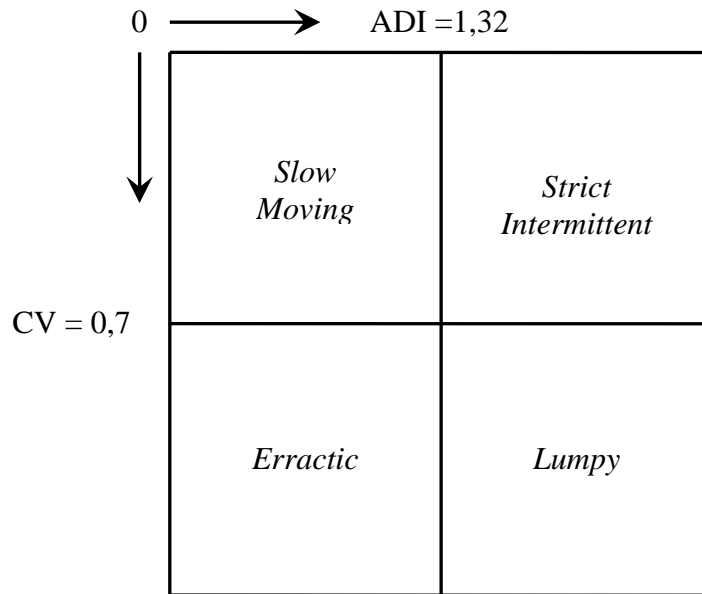
Bartezagghi, Verganti en Zotteri (1999) beschouwen de bovengaande kenmerken als bronnen voor het sporadische karakter van een vraag, dewelke samen of alleen kunnen optreden. *Intermittent*

demand is dus een multi-dimensionaal fenomeen dat voorkomt in allerlei vormen. Verschillende oorzaken genereren verschillende vormen van onregelmatigheid in de vraag. In hun onderzoek tonen ze aan dat het belangrijk is voor een bedrijf met *intermittent demand* een zicht te hebben op de oorzaken van het *intermittent* karakter van de vraag. Het management kan proberen (direct of indirect) het *intermittent* karakter te reduceren. Indien het aantal klanten de belangrijkste oorzaak is, dan kan standaardisatie van het product leiden tot substantiële voordelen. Indien de frequentie of de variëteit van de klanten de grootste oorzaken zijn, dan kunnen promoties of overeenkomsten met consumenten leiden tot een meer vlakke vraag.

Aangezien *intermittent demand* een multi-dimensionaal fenomeen is, kunnen ook verschillende klassen bepaald worden. Volgens Regattieri et al. (2005) worden deze afgeleid van het gemiddelde vraaginterval (ADI) en de variatiecoëfficiënt (CV) ervan. ADI meet het gemiddeld aantal perioden tussen twee opeenvolgende bestellingen. CV stelt de standaarddeviatie voor van de periodieke vraag gedeeld door de gemiddeld periodieke vraag:

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_{ri} - \varepsilon_a)^2}{n}}}{\varepsilon_a} \quad (2.2)$$

waar n het aantal perioden is, ε_{ri} de vraag van het item in periode i en ε_a de gemiddelde vraag van het item voor alle perioden. Ghobbar en Friend (2003) bepalen verschillende grenswaarden voor deze parameters die de verschillende categorieën van *intermittent demand* onderscheiden, namelijk $ADI = 1,32$ en $CV = 0,7$. Deze waarden kunnen gebruikt worden als de grenzen van een *lumpy demand*. Figuur 2.1 (Regattieri et al., 2005) toont de verschillende vraagpatronen a.d.h.v. deze waarden.



Figuur 2.2: Vraagpatronen van items.

Figuur 2.1 heeft volgende kenmerken (met $x = 1,32$ en $y = 0,7$):

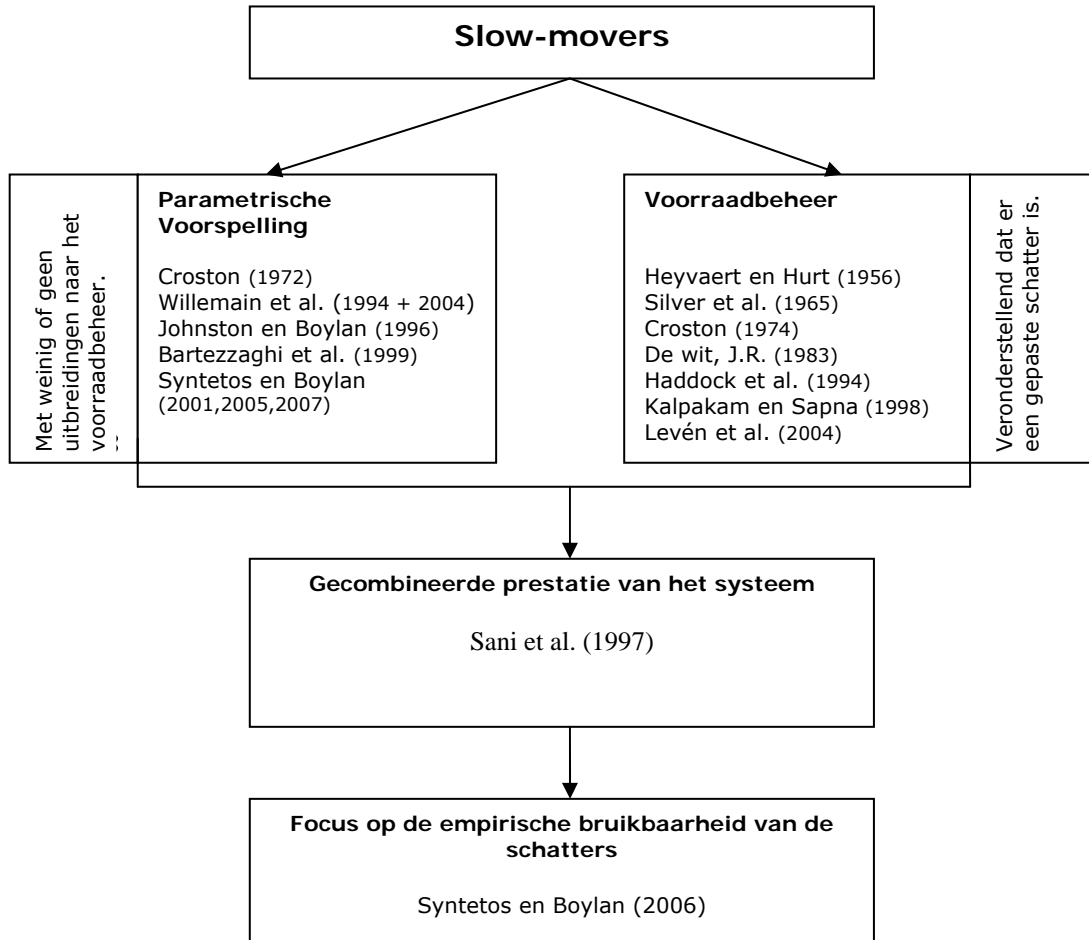
- De " $ADI \leq x, CV \leq y$ " voorwaarde omvat *faster-moving* producten of producten waarvan het vraagpatroon niet leidt tot significante voorspellingsmoeilijkheden. *Slow-moving demand* items zijn items met kleine variaties in de vraagintervallen en de bestelde hoeveelheden voor elke vraag.
- De " $ADI > x, CV \leq y$ " voorwaarde omvat **slow-moving** producten of producten waarvan de gevraagde hoeveelheden niet sterk variëren. *Strictly intermittent demand* items zijn items met weinig variatie in de bestelde hoeveelheid, maar worden in veel perioden niet besteld.
- De " $ADI > x, CV > y$ " voorwaarde staat voor *lumpy demand* items. *Lumpy demand* kan gedefinieerd worden als een vraag met grote verschillen tussen de gevraagde hoeveelheden per periode en met veel perioden met nulvraag.
- De " $ADI \leq x, CV > y$ " voorwaarde staat voor *erratic demand* items. *Erratic demand* toont vooral variaties in de gevraagde hoeveelheid en heeft slechts enkele perioden met een ontbrekende vraag.

2.4 Problemen rond slow-movers

Plannen rond slow-moving producten brengt tal van problemen met zich mee. Eén van de problemen omtrent slow-movers is de onvolledigheid van de vraaggegevens uit het verleden. Hierdoor is betrouwbare informatie meestal niet beschikbaar in de mate dat deze nodig is voor een vraagvoorspelling van een slow-moving item (Kennedy et al., 2002 en Dolgui et al., 2007). Een andere moeilijkheid met slow-movers is hun gebrek aan flexibiliteit. Daar waar een teveel aan voorraad bij 'gewone' producten ('fast-movers') snel kan opgelost worden door natuurlijke consumptie, is dit niet het geval bij slow-movers. Een initieel teveel aan voorraad wordt slechts traag opgelost, doordat het vaak onmogelijk is de items elders te verzenden of het aan andere leveranciers te verkopen. Een initieel teveel aan voorraad is niet de enige oorzaak voor een teveel aan voorraad van slow-moving items. Fast-moving voorraden kunnen makkelijk aangepast worden voor korte termijn schommelingen in de levertijd. Bij slow-moving voorraden daarentegen kan een toename in de voorraad, als reactie op een korte termijn verlenging van de levertijd, leiden tot een significante overopslag wanneer de levertijd terugkeert naar het normale niveau (Mitchell, 1962). Daarbij zijn de kosten voor het opslaan van slow-movers meestal hoger dan deze van gewone producten, doordat deze langer in voorraad dienen gehouden te worden (Kennedy et al., 2002).

3 Overzicht van de beschikbare literatuur omtrent slow-movers

Figuur 3.1 geeft een overzicht weer van de beschikbare literatuur omtrent slow-movers. De vraagvoorspelling van slow-moving items is een complex probleem, waardoor verschillende auteurs zich hierop toegespitst hebben. De meeste papers met betrekking tot slow-movers focussen op het voorraadbeheer, veronderstellend dat een gepaste voorspellingsmethode beschikbaar is om de toekomstige vraagvereisten te voorspellen (figuur 3.1: Voorraadbeheer). Andere auteurs bespreken enkel het aspect van de vraagvoorspelling (figuur 3.1: Parametrische voorspelling) of zowel het aspect van de vraagvoorspelling als deze van het voorraadbeheer (figuur 3.1: Gecombineerde prestatie van het systeem). In plaats van het verbeteren van voorraadmodellen, dewelke veronderstellen dat een nauwkeurige voorspelling kan geleverd worden, onderzoeken Syntetos en Boylan (2006) de implicaties op voorraadcontrole van verschillende *intermittent demand* schattingen in combinatie met een specifiek voorraadmodel. Verder in deze verhandeling wordt meer informatie gegeven over de auteurs en hun bijdrage tot de problematiek rond slow-movers.



Figuur 3.1: Overzicht van de literatuur

4 Vraagvoorspelling

Vraagvoorspelling is één van de meest cruciale problemen van het voorraadbeheer. Voorspellingen vormen immers de basis voor de planning van de voorraadniveaus. Nauwkeurige voorspellingen zijn belangrijk, doch de sporadische aard van de vraag en de onzekerheid die optreedt bij slow-movers maakt het probleem complexer. Daarbij kunnen onnauwkeurige voorspellingen of vragen waaraan niet voldoen kan worden zeer kostelijk zijn, doordat het bedrijf verkopen en/of belangrijke klanten kan verliezen. Het probleem van het voorspellen van slow-movers heeft slechts een beperkte aandacht gekregen in de literatuur. Toch zijn verschillende methoden en technieken ontwikkeld om om te gaan met dergelijke onzekerheid. Deze methoden kunnen onderverdeeld worden in twee verschillende klassen (Bartezagghi et al., 1999): managementmethoden (zoals het toevoegen van overtollige middelen en flexibiliteit aan het proces) en reductiemethoden (zoals voorspellingstechnieken). In de volgende paragrafen worden deze technieken besproken, alsook de kritiek die in de literatuur vermeld wordt.

4.1 Managementmethoden

De eerste benadering om vraagonzekerheid te verminderen, is het verruimen van de informatiebasis van de voorspellingen. Door onmiddellijk naar toekomstige vereisten te kijken, kan gebruik gemaakt worden van de vroege informatie gegenereerd door consumenten. Bartezagghi et al. (1995, 1999) verwijzen naar de volgende twee methoden: *Early sales* en *overstocking*.

4.1.1 *Early sales*

Bij deze methode wordt gebruik gemaakt van de informatie van orders die ontvangen zijn voor toekomstige levering. Dit is mogelijk wanneer de totale vraag voor een gegeven tijdsperiode bestellingen omvat met verschillende leveringstijden en een correlatie bestaat tussen de bestellingen met lange- en korte leveringstijden. De productieplanningbeslissingen worden dan onderverdeeld in twee stappen. De eerste fase omvat de voorspellingen van de vragen met lange leveringstijden en de tweede fase de voorspellingen van de vragen met korte leveringstijden (Fisher et al. (1996). Op het moment van het genereren van de eerste voorspelling zijn enkel de orders van de klanten met lange leveringstijden met zekerheid gekend (*early sales*). De rest van

de vraag is ongekend. Deze laatste kan wel geschat worden door gebruik te maken van de informatie van de actuele orders reeds ontvangen. De gekende en de ontbrekende informatiecomponenten van de vraag zijn immers gecorreleerd. Dit gebeurt bijvoorbeeld in een context van seizoensgebonden vraag, waar vroege kopers de mode en trends anticiperen van de markt (Bartezaghi et al., 1999).

Verschillende algoritmen werden ontwikkeld om voorspellingen te genereren door middel van *Early Sales*. Hiervoor wordt verwezen naar de beschikbare literatuur (Fisher et al., 1996).

4.1.2 *Order overplanning*

Een andere methode om toekomstige vereisten te anticiperen, is door gebruik te maken van de vroege informatie gegenereerd gedurende het koopproces van een consument vooraleer hij zijn bestelling plaatst (Bartezaghi et al., 1999). De voorspellingen zijn niet het numerieke resultaat van een algoritme voor gewogen historische gegevens, maar zijn processen, nauw verbonden aan het koopproces van de klanten. Doordat de vraag naar slow-movers sporadisch is, kan vroegtijdige informatie voor toekomstige vragen enkel verzameld worden door nauwe contacten tussen de verkoopafdeling en elke klant (Bartezaghi et al., 1995 en 1999).

Order overplanning gebruikt daarom als voorspellingseenheid iedere consumentenorder in plaats van de totale vraag van het product. De voorspellingseenheid (= consumentorder, voorspellingsorder) wordt onderscheiden van de planningseenheid (= het product). In plaats van het managen van een actuele order wordt gebruik gemaakt van een voorspellingsorder.

De voorspellingsorder wordt gekenmerkt door de volgende onzekerheden:

1. onzekerheid over het al dan niet ontvangen van de actuele order in periode i
2. onzekerheid over de ontvangstdatum van de actuele order
3. grootte van de actuele order

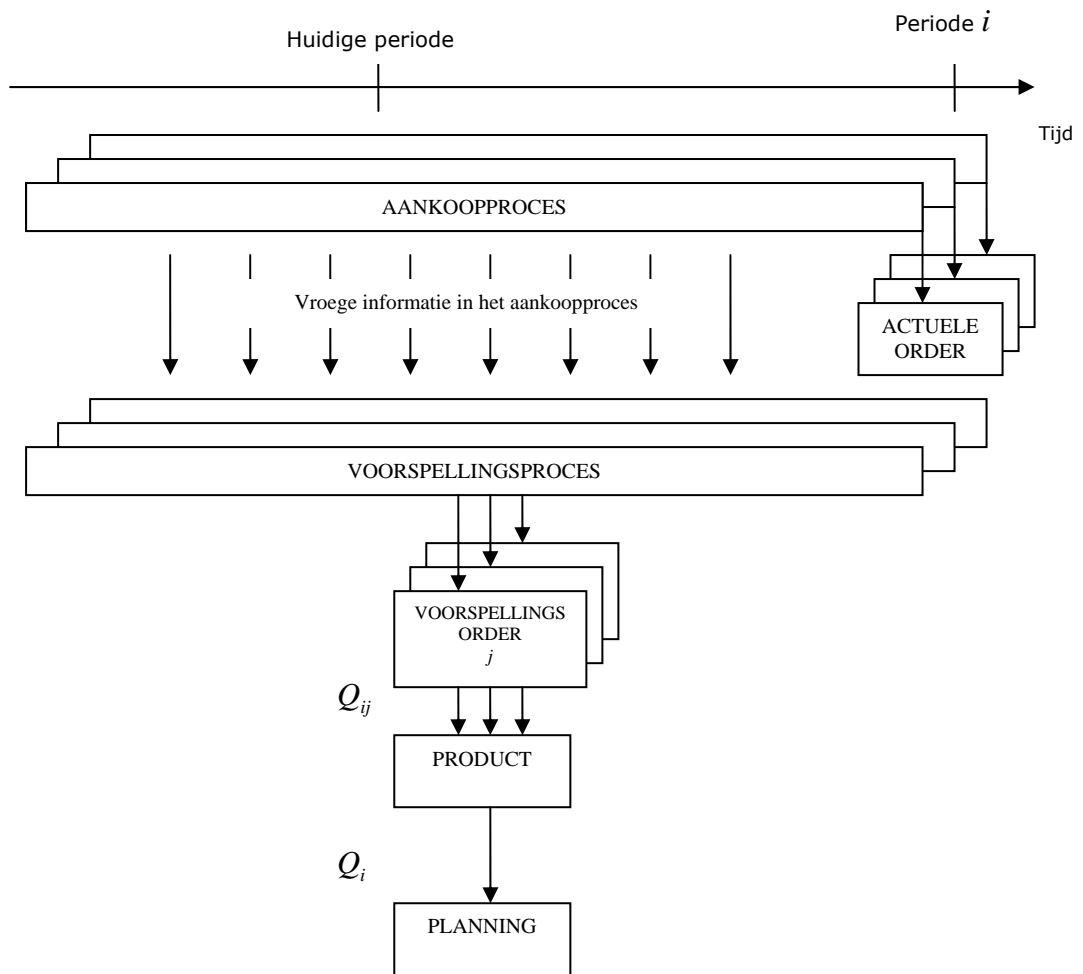
Door te focussen op het aankoopproces van één enkele klant, kan de verkoopafdeling een grote hoeveelheid informatie verzamelen over de toekomstige vereisten van de consument. Deze informatie wordt gebruikt om de meest waarschijnlijke vraag van de consument te schatten. In dit

opzicht, stemt *order overplanning* overeen met *make-to-order* productie, maar wordt een voorspellingsorder in plaats van een actuele order beheerd. Om te kunnen voldoen aan de specifieke vraag van de klant, voorziet de verkoopafdeling enige veiligheidsvoorraad. De verwachte vraag Q_{ij} (voorspellingsorder j van periode i) voor het product Q_i wordt dus overschat. Dezelfde bepalingen vinden plaats wanneer de totale vraagvoorspelling van het product Q_i voor de periode i wordt geschat (Bartezaghi et al., 1995). Meer in het bijzonder, wanneer Q_{ij} de geschatte vraag is voor een product van een voorspellingsorder j in periode i en m_i verschillende bestellingen geplaatst zullen worden in periode i , dan bedraagt de totale voorspelling Q_i voor periode i :

$$Q_i = \sum_{j=1}^{m_i} Q_{ij}$$

(4.1)

In figuur 4.1 worden de basiselementen van *order overplanning* weergegeven.



Figuur 4.1: De voorspellingsprocedure van *order overplanning*

Voordelen	Nadelen
<p>Informatie van toekomstige vereisten, dewelke anders verloren zou zijn, wordt nu volledig gebruikt.</p>	<p>Geplande orders zijn onrealistisch en componentgemeenschappelijkheden worden niet ten volle geëxploiteerd. Gemeenschappelijkheden verminderen onzekerheden bij afhankelijke vragen voor componenten. <i>Overplanning</i> kan echter geen voordeel nemen van deze vermindering om de bruto vereisten te snijden, daar het geen componentafhankelijke buffernormen kan creëren.</p>
<p>Voorraadkosten en verouderde producten worden gereduceerd, doordat de voorraden verplaatst worden naar lagere niveaus van de productstructuur</p>	<p>De onzekerheden van onafhankelijke units worden niet gecombineerd.</p>
<p>De variabiliteit van onzekerheid wordt nauw gevolgd over de tijd.</p>	<p>De georganiseerde kosten om te kunnen omgaan met de informatie van onzekerheid zijn aanzienlijk.</p>

Figuur 4.2: Voor- en nadelen van *order overplanning*.

4.2 Reductiemethoden

De tweede benadering om vraagonzekerheid te verminderen, bestaat erin om traditionele voorspellingstechnieken toe te passen, gebaseerd op de analyse van historische informatie. Hieronder wordt een kort overzicht gegeven van de voorspellingstechnieken die in de literatuur besproken worden.

- Uitbreiding van standaardmethoden, dewelke gebaseerd zijn op een schatting van het gemiddelde niveau van de consumptie en de gemiddelde levertijd.
- Variaties van het Poisson model (Boylan en Johnston, 1996, Bradford en Sugrue, 1997), dewelke de laatste tijd genegeerd worden, omwille van hun onnauwkeurige prestaties bij slow-movers. Enkele Poisson modellen presteren wel goed voor sommige producten in

bepaalde bedrijven. Bedrijven willen echter robuuste voorspellingsmethoden toepasbaar op vele situaties, niet noodzakelijk optimaal voor een beperkt aantal specifieke situaties. (Willemain et al., 2004)

- Exponentiële afvlakking heeft sterkte in zijn eenvoud.
- Croston's variant van exponentiële afvlakking verstrekt afzonderlijke schattingen van de vraag grootte en van de vraagfrequentie toegepast op exponentiële afvlakking.
- Bootstrap methoden gebruiken empirische verdelingen van componentenconsumptie – bijvoorbeeld door gebruik te maken van Monte Carlo simulaties – om voorspellingen te bekomen gebaseerd op deze "bootstrap" verdeling.
- Gewogen gemiddelden en variaties hierop worden vaak gebruikt en afgeleid van technieken om de vraag naar slow-moving items te bestuderen.

In deze verhandeling worden enkel de volgende technieken toegelicht: gewogen gemiddelde, exponentiële afvlakking en Croston's methode. De twee eerstgenoemde technieken worden vaak gebruikt in de praktijk bij de vraagvoorspelling van slow-movers en Croston's methode wordt geacht de standaardmethode te zijn voor het voorspellen van dergelijke items (Syntetos et al., 2005).

4.2.1 Simpel gewogen gemiddelde

De gewogen gemiddelde methode is gepast, wanneer de vraag als volgt gemodelleerd is:

$$Y_t = \mu + \varepsilon_t, \tag{4.2}$$

met Y_t de vraag in een periode t .

Dit is een niveau met willekeurige ruis ε_t met gemiddelde 0. De parameter μ is niet gekend en ondergaat een willekeurige verandering.

Het eenvoudige n -periode gewogen gemiddelde van periode t wordt gegeven door:

$$Y_t' = \frac{Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2} + \dots + Y_{t-n+1}}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n+1}^t Y_i \quad (4.3)$$

waar de Y_t de geobserveerde vraag is in de overeenstemmende periode t . Het gewogen gemiddelde is dus het gemiddelde van de n meest recente observaties. De grootte Y_t' is verdeeld met gemiddelde μ en standaardafwijking $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. Hoe groter n , hoe nauwkeuriger de voorspelling zal zijn. Wanneer echter een verandering optreedt in de waarde μ , dan is een kleine waarde van n te verkiezen. Deze zal meer gewicht geven aan recente gegevens en de verandering dus sneller in rekening brengen (Van Goor et al., 1993).

4.2.2 Simpel exponentiële afvlakking

Deze methode is simpel in vergelijking met andere voorspellingsmethoden, doordat slechts 3 gegevens nodig zijn: de laatste voorspelling, de observatie van de laatste periode en de afvlakkingconstante α . De methode is ook flexibel daar de gebruikte afvlakkingconstante gemakkelijk veranderd kan worden (Anderson et al., 1997).

Exponentiële afvlakking plaatst meer gewicht op de meest recente gegevens, resulterend, in het geval van *intermittent demand*, in een reeks van schattingen die het hoogste zijn vlak na een vraaggebeurtenis en het laagst vlak voor de plaatsing van een nieuwe bestelling. Conventionele exponentiële afvlakking past de schattingen elke herzieningsperiode aan, ook al heeft er geen bestelling plaatsgevonden.

Bij het voorspellen van één periode vooruit, Y_t' , dan wordt de voorspelling van de vraag gemaakt in periode $t-1$, gegeven door:

$$Y_t' = Y_{t-1}' + \alpha e_t = Y_{t-1}' + \alpha(Y_t - Y_{t-1}') = \alpha Y_t + (1 - \alpha)Y_{t-1}' \quad (4.4)$$

waar α de gebruikte afvlakkingconstante is, $0 \leq \alpha \leq 1$, en e_t de voorspellingsfout in periode t . In de literatuur wordt meestal gebruikt gemaakt van een lage waarde voor α (0,05-0,20) (Gutierrez et al., 2007). Indien onder deze assumpties de vraagschattingen enkel geüpdatet worden wanneer een vraag optreedt, dan wordt de verwachte vraagschatting per eenheidsperiode niet gegeven door μ/p , maar door:

$$E(Y_t) = \frac{\mu}{p} \frac{p\alpha}{1 - (1-\alpha)^p} = \frac{\mu\alpha}{1 - \varpi^p} \quad (4.5)$$

waar p de gemiddelde vraaginterval is en $\varpi = 1 - \alpha$. De methode is dus vertekend (= *biased*) (Syntetos et al., 2001 en Willemain et al., 1994).

4.2.3 Croston's methode

In 1972 ontwikkelde Croston een methode die kan omgaan met de moeilijkheden van een schommelende vraag. Croston beweert dat de methode nauwkeurigere voorspellingen oplevert dan exponentiële afvlakking en dat zijn methode wel zuiver (= *unbiased*) is. Daarbij zou deze laatste een lagere variantie tonen dan de exponentiële afvlakkingvoorspelling (Sani et al, 1997). Dit laatste wordt eveneens bevestigd door Willemain et al. (1994). De belangrijkste verandering die Croston met zich meebrengt, is dat de voorspelling enkel vernieuwd wordt wanneer een vraag optreedt en niet wanneer de voorspellingsperiode voorbij is, zoals bij de conventionele exponentiële afvlakking.

Croston's methode focust niet alleen op de grootte van de order, maar neemt ook de tijd tussen de orders in consideratie. Dit maakt het model gepast voor het voorspellen van slow-movers (Levén et al., 2004).

Croston (1972) refereert naar een stochastisch model van aankomst en grootte van de vraag, veronderstellend dat de vraaggroottes, l_t , normaal verdeeld zijn met gemiddelde μ en variantie

σ^2 , $N(\mu, \sigma^2)$. Croston maakt vraagschattingen op basis van samenstellende elementen, namelijk de vraag grootte l_t wanneer een vraag optreedt en de vraagintervallen p_t . Zowel de vraag groottes als de vraagintervallen worden geacht stationair te zijn. De vraag wordt verondersteld voor te komen als een Bernouilli proces. Volgens Croston's model worden afzonderlijke exponentiële schattingen gemaakt van de gemiddelde grootte van de vraag en de gemiddelde vraagintervallen nadat een vraag optreedt. Wanneer geen vraag plaatsvindt, blijft de voorspelling hetzelfde. Wanneer elke periode een vraag optreedt, dan is de methode gelijk aan die van de exponentiële afvlakking.

Croston stelt dus :

p_t' = de exponentiële afvlakking schatting van de gemiddelde vraaginterval, enkel aangepast wanneer een vraag optreedt in periode t zodat $E(p_t') = E(p_t) = p$.

l_t' = de exponentiële afvlakking schatting van de gemiddelde vraag grootte, enkel aangepast wanneer een vraag optreedt in periode t zodat $E(l_t') = E(l_t) = l$.

Als

$$Y_t = 0 \tag{4.6}$$

Dan

$$\begin{aligned} l_t' &= l_{t-1}' \\ p_t' &= p_{t-1}' \\ q &= q + 1 \end{aligned} \tag{4.7}$$

Anders

$$\begin{aligned} l_t' &= l_{t-1}' + \alpha(Y_t - l_{t-1}') \\ p_t' &= p_{t-1}' + \alpha(q - p_{t-1}'), \\ q &= 1 \end{aligned} \tag{4.8}$$

met q het tijdsinterval, uitgedrukt in dagen, na de laatste vraag.

Wanneer de schattingen van de grootte en de intervallen gecombineerd worden, dan wordt de gemiddelde vraagvoorspelling Y_t' voor de volgende periode gegeven door:

$$Y_t' = \frac{l_t'}{p_t'} \tag{4.9}$$

Volgens Croston (1972), is de verwachte schatting van de vraag per periode in dat geval:

$$E(Y_t') = E\left(\frac{l_t'}{p_t'}\right) = \frac{E(l_t')}{E(p_t')} = \frac{l}{p} \tag{4.10}$$

De methode is dus onvertekend.

Ondanks het feit dat Croston's methode ondertussen aanvaard wordt in de literatuur, is ze ook vaak uitgedaagd. (Altay et al., 2007). Syntetos en Boylan (2001) tonen dat de methode wel vertekend is. De vertekening komt tevoorschijn want, indien verondersteld wordt dat de schattingen van de vraag grootte en vraagintervallen onafhankelijk zijn, dan:

$$E\left(\frac{l_t'}{p_t'}\right) = E(l_t')E\left(\frac{1}{p_t'}\right) \tag{4.11}$$

Maar

$$E\left(\frac{1}{p_t'}\right) \neq \frac{1}{E(p_t')} \tag{4.12}$$

Croston's methode is dus vertekend. Het is duidelijk dat dit resultaat niet afhankelijk is van Croston's assumpties van stationariteit en geometrisch verdeelde vraagintervallen. De grootte van

de voorspellingsfout hangt af van de gebruikte waarde van de afvlakkingconstante. De vertekening kan uitgedrukt worden als een percentage van de gemiddelde vraag:

$$100 \frac{\alpha}{2-\alpha} \left(1 - \frac{1}{p}\right) \quad (4.13)$$

Syntetos et al. (2005) stellen een aanpassing voor van de voorspellingsmethode, dewelke rekening houdt met de vooropgestelde vertekening. De nieuwe schatting van de gemiddelde vraag is dan als volgt:

$$Y_t' = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{l_t'}{p_t'} \quad (4.14)$$

4.2.4 Vergelijking reductiemethoden

De exponentiële afvlakking techniek wordt door Croston (1972) beschouwd als zijnde ongepast voor slow-moving items. Croston beweert dat exponentiële afvlakking leidt tot ongepaste voorraadniveaus in voorraadsystemen. Volgens Boylan en Syntetos (2001) echter wordt de exponentiële afvlakking en de gewogen gemiddelde techniek in de praktijk wel vaak gebruikt bij dergelijke items. Ze bevestigen dat Croston's methode van grote waarde kan zijn voor bedrijven met *intermittent demand*, maar talrijke bewijzen tonen beperkte verbeteringen wanneer de methode vergeleken wordt met simpelere voorspellingstechnieken. Enkele bewijzen vermelden zelfs een verlies in prestaties. Boylan en Syntetos vinden de afzonderlijke schattingen van de vraagrootte en vraagintervallen van Croston's methode correct, maar indien gecombineerd als een breuk dan faalt de methode nauwkeurige vraagvoorspellingen te produceren per vraagperiode. Wanneer de vraagvoorspelling gebaseerd is op de afzonderlijke schattingen, treden geen moeilijkheden op. Indien daarentegen enkele regels afhangen van de verwachte vraag per periode, dan moet altijd een vertekening verwacht worden bij Croston's methode. Deze vertekening neemt toe bij een grotere waarde van de afvlakkingconstante α . Hierdoor vermelden de onderzoekers dat de methode enkel aan te raden is voor lage waarden van α ($<0,15$).

Willemain et al. (1994) ontdekken correlaties en verdelingen in reële gegevens die de assumpties van Croston tegenspreken (Croston's methode is gebaseerd op de assumpties van de normaalverdeling van de vraag grootte en van onafhankelijkheid: opeenvolgende intervallen, opeenvolgende vraag groottes en de grootte van de intervallen zijn onafhankelijk). Zij voeren een vergelijkende evaluatie uit door middel van simulaties van exponentiële afvlakking en Croston's methode onder minder ideale condities (zoals bijvoorbeeld: lognormale verdeling van de vraag grootte, crosscorrelatie tussen groottes en intervallen, dewelke de assumpties van Croston tegenspreken). De onderzoekers besluiten dat Croston's methode robuust beter is dan exponentiële afvlakking en tastbaar voordelen kan geven bij het voorspellen van slow-movers. De methoden worden ook vergeleken door gebruik te maken van reële industriële gegevens. Een belangrijk kenmerk van het onderzoek is dat de industriële resultaten slechts beperkte voordelen opleveren, vergeleken met de resultaten van de simulatie.

In 2004 voeren Willemain et al. een nieuw onderzoek op 28000 reserveonderdelen. Ze komen tot de conclusie dat Croston's methode nauwkeurigere voorspellingen oplevert van de gemiddelde vraag per periode, maar dat de methode geen significant voordeel heeft over exponentiële afvlakking bij het voorspellen van de hele vraagverdeling gedurende de levertijd. In feite is Croston's methode minder nauwkeurig elke levertijd. Willemain et al. (2004) menen eveneens dat het gewogen gemiddelde minder vaak gebruikt wordt in de praktijk en geen voordeel lijkt te hebben boven exponentiële afvlakking bij het voorspellen van de gehele verdeling van de vraag tijdens de levertermijn. Ze vermelden daarbij dat exponentiële afvlakking bewezen is een robuuste methode te zijn en waarschijnlijk de meest gebruikte statistische methode is om de vraag van slow-movers te voorspellen. De onderzoekers suggereren tenslotte dat indien er te weinig perioden zijn zonder vraag, het niet nodig is om over te schakelen van exponentiële afvlakking.

Geïnspireerd door deze suggestie onderzoeken Johnston en Boylan (1996) het niveau van de gemiddelde vraaginterval (= ADI), waarop Croston's methode verkiesbaar wordt boven exponentiële afvlakking. Zij rapporteren dat Croston's methode beter zal presteren bij een ADI groter dan 1,25. Dit vertaalt zich in een datastroom met 20% nulvraag. Syntetos et al. (2001) verplaatsen deze grens tot 1,32; wat overeenkomt met ongeveer 24,24% nulvraag.

In de literatuur werden eveneens onderzoeken gevoerd met respect tot de verschillende prestaties tussen zowel het gewogen gemiddelde, exponentiële afvlakking als de methode van Croston. Ghobbar and Friend (2003) vergelijken 13 verschillende voorspellingsmethoden onder de condities van 'intermittent demand'. Het gewogen gemiddelde en de methode van Croston blijken het beste te presteren.

Sani en Kingsman (1997) voeren een vergelijking uit tussen de verschillende alternatieve voorspellingsmethoden met respect tot de kost en het serviceniveau, resulterend van hun implementatie. Een simulatie wordt toegepast in de echte wereld op slow-movers. De resultaten tonen dat de beste voorspellingsmethode in termen van de kosten het gewogen voortschrijdend gemiddelde is, gevolgd door de methode van Croston. Wanneer het serviceniveau gebruikt wordt als prestatiecriteria, dan is exponentiële afvlakking de beste methode, gevolgd door Croston's voorspelling en het gewogen gemiddelde. Wanneer zowel de kost als het serviceniveau in rekening gebracht worden, blijkt het gewogen voortschrijdend gemiddelde het beste te presteren. De methode van Croston komt op de tweede plaats.

Syntetos en Boylan (2005, 2006) verrichten eveneens een vergelijkende studie op 3000 voorraadeenheden uit de automobiellindustrie. De auteurs vergelijken zowel het gewogen gemiddelde, exponentiële afvlakking, de methode van Croston als de aangepaste Croston methode (methode die rekening houdt met de vooropgestelde vertekening van de klassieke methode van Croston). De gemiddelde vraagintervallen variëren tussen 1,04 en 2 maanden. De aangepaste Croston methode blijkt het beste te presteren. Wanneer de onderzoekers het serviceniveau bestuderen, blijkt exponentiële afvlakking de slechtste methode. Deze methode levert wel het hoogste serviceniveau op, wat overeenkomt met de bevindingen van Sani en Kingsman (1997), maar dit ten gevolge van het hoogste aantal eenheden in voorraad. Een serviceniveau boven een bepaalde gespecificeerde waarde is gewenst, maar in de meeste gevallen zal het voorkomen met een hoger aantal eenheden in voorraad. De beste methode, na de aangepaste Croston methode, is het gewogen gemiddelde. In termen van de kosten blijken Croston's methode en het gewogen gemiddelde ongeveer gelijkwaardig te presteren, terwijl exponentiële afvlakking uitkomt als de slechtste methode.

In 2006 voeren Syntetos et al. een nieuwe vergelijkende studie. Uit het onderzoek blijkt dat de Syntetos-Boylan benadering van Croston's methode zuiverdere en licht gereduceerde voorspellingsfouten produceert dan de oorspronkelijke methode van Croston, behalve voor schommelende vraagreeksen met een gemiddelde vraaginterval van 1,1. Deze uitzondering is te verwachten aangezien de benadering van Syntetos en Boylan niet aangeraden is voor licht schommelende gegevens en dan niet vereenvoudigt tot exponentiële afvlakking wanneer er een vraag is in elke periode. Syntetos en Boylan (2006, 2007) melden eveneens dat verder werk nodig is. Het is mogelijk dat de aangepaste Croston methode goed werkt met bepaalde voorraadregels. Een diepgaander begrip van deze methode zal leiden tot een kennis van de gegevenssoorten waarvoor het al dan niet kan aangeraden worden.

Léven en Segerstedt (2004) suggereren een procedure voor een modern ERP systeem (= een periodiek herzieningssysteem gebouwd rond een aangepaste Croston methode) met een Erlang verdeling voor de gegevens gegenereerd op basis van een simulatie. Het doel bestaat erin een procedure te creëren, zowel geschikt voor fast movers als voor slow-movers. Het model is een *periodic review* systeem dat de voorspelling gebruikt, gegenereerd uit de aangepaste Croston methode, om een schatting te bekomen van de gemiddelde vraag gedurende de levertijd. De simulatie genereert eveneens een schatting van de toekomstige variantie, zodat de onzekerheid van de voorspelling wordt geïncorporeerd, wanneer besloten wordt of een order geplaatst dient te worden of niet. Dit model wordt dan vergeleken met een gelijkaardig model gebaseerd op de exponentiële afvlakking techniek en een vraag met een normale verdeling. De Croston's gebaseerde procedure toont minder tekorten dan het systeem gebaseerd op exponentiële afvlakking en de normale verdeling. Boylan en Syntetos (2006) tonen echter aan dat de aangepaste methode van Croston door Léven et al. gebaseerd is op een ongeldige meting van de nauwkeurigheid van de voorspellingen en dat deze methode onzuivere voorspellingen oplevert. Ze vinden dat Croston's methode nauwkeuriger is dan de aangepaste methode.

4.3 Vergelijking management- en reductiemethoden

In de literatuur hebben enkel Bartezagghi et al. (1999) een vergelijkende studie uitgevoerd tussen *order overplanning*, Early Sales en exponentiële afvlakking. Volgens het onderzoek is exponentiële afvlakking enkel toepasbaar met een licht schommelend vraagpatroon. Als het *intermittent*

karakter van de vraag versterkt wordt door een sporadische vraag van klanten, dan wordt *Order overplanning* de overheersende techniek. Wanneer het *intermittent* karakter van de vraag versterkt wordt door de correlatie tussen de klantenvragen, dan wordt Early sales de meest interessante techniek.

5 Voorraadbeheer betreffende slow-movers

5.1 Literatuur overzicht

Eén van de eerste pogingen in het gebied van slow-moving items gebeurde door Heyvaert en Hurt (1956). In deze studie bepalen de auteurs een optimaal voorraadniveau door het minimaliseren van een objectieve kostenfunctie. Een dergelijke functie bestaat uit twee componenten: de opslagkosten en de kost van de non-satisfactie van de klanten. In het onderzoek wordt de kost berekend door elke kost te vermenigvuldigen met zijn gebeurteniskans. De kostenfunctie wordt berekend voor verschillende voorraadniveaus en het optimale voorraadniveau is deze geassocieerd met de laagste waarde.

Een studie van de basisbeslissing om slow-movers al dan niet in voorraad te houden werd onderzocht door Croston (1974). Zijn benadering maakt de *stock-no-stock* beslissing en bepaalt het optimaal voorraadniveau door gebruik te maken van een kostenformule. De beslissing om een product al dan niet op te slaan kan bekomen worden door de kostenfunctie te minimaliseren. De assumpties van het onderzoek zijn dat de vraag een normale distributie volgt en dat de producten bijbesteld worden op vaste intervallen om het voorraadniveau op een voorgespecificeerde waarde te houden.

Silver (1965) verricht een onderzoek om het bestelpunt van een slow-moving item te bepalen op een *Bayesiaanse* manier. Hij veronderstelt een voorraaditem, waarbij de leveringstijd verschillend is van nul. Hierdoor is een veiligheidsvoorraad nodig om tekorten te vermijden. Het voorraadmodel handelt met tekorten door middel van het specificeren van de kans op een stockbreuk of een serviceniveau. Het model veronderstelt daarbij dat de bestelhoeveelheid reeds bepaald is door een economische balans van de bestelkosten en de opslagkosten. Het onderzoek focust zich op het bepalen van een zo laag mogelijk bestelpunt (in een *continuous review* systeem) dat de gewenste kans op een stockbreuk of serviceniveau bereikt. Ook De Wit (1983) bepaalt in zijn onderzoek het bestelpunt van een slow-moving item op een *Bayesiaanse* manier aan de hand van een *continuous review* (s,Q) model.

In 1994 ontwikkelden Haddock, Natarajan en Nagar een heuristiek voor het voorraadbeheer van slow-moving items. De heuristiek wordt eveneens getest door middel van simulaties met verschillende vraagprofielen.

Sani en Kingsman hebben in 1997 een onderzoek uitgevoerd om de beste periodieke voorraadsystemen te selecteren. In het onderzoek worden 3 voorspellingsmethoden vergeleken met 10 periodieke voorraadmethoden.

Kalpakam en Sapna (1998) bepalen een optimaal bestelbeleid voor dure slow-moving producten. Het gebruikte voorraadstelsel bestaat uit arbitraire verdelingen van de vraagintervallen, constante leveringstijden en lineaire opslagkosten. In het stelsel zijn de leveringstijden relatief klein ten opzichte van de gemiddelde tijd tussen bestellingen en de opslagkosten groot in vergelijking met de andere voorraadkosten.

Tenslotte hebben Levén en Segerstedt in 2004 een voorraadstelsel ontwikkeld door middel van een aangepaste Croston procedure en een Erlang verdeling voor de gegevens gegenereerd op basis van een simulatie. Het doel bestaat erin een procedure te ontwikkelen dat zowel kan handelen met fast-movers als met slow-movers. Het stelsel is een *periodic review* stelsel rond een Croston voorspellingsprocedure. Afhankelijk van de kansen op tekorten, afgeleid van de kansverdeling, beslist het stelsel of een bestelling al dan niet geplaatst dient te worden.

5.2 Voorraadmodellen met stochastische vragen

De analytische modellen in voorraadtheorieën kunnen geïnclassificeerd worden in twee groepen, gebaseerd op het feit of de vraag deterministisch is of stochastisch. In deze verhandeling zal gebruik gemaakt worden van stochastische modellen, vermits de vraag naar slow-movers niet met zekerheid voorspeld kan worden, maar probabilistisch bepaald moet worden.

De introductie van toeval in de natuur van de vraagpatronen introduceren verschillende nieuwe overwegingen. Eén van deze overwegingen is hoeveel informatie over de status van het stelsel beschikbaar is op elk ogenblik. Bij deterministische modellen is het mogelijk op elk ogenblik de status van het stelsel precies te beschrijven. Wanneer echter toeval toegevoegd wordt aan het

vraagpatroon, is het niet langer mogelijk om voorspellingen te maken, aangezien de tijden voor het voorkomen van een vraag (en het aantal eenheden) willekeurige variabelen zijn (Haddock et al., 1994). De toestand van het systeem kan dus niet gekend zijn op elk tijdstip, behalve wanneer elke transactie (vraag, plaatsing van bestelling,...) opgeslagen wordt wanneer deze zich voordoet. Op deze manier wordt het mogelijk beslissingen te maken over de operaties van het systeem, zoals de beslissing of een bestelling geplaatst moet worden elke keer een vraag optreedt of niet. Zulk een systeem wordt een *continuous review* systeem genaamd.

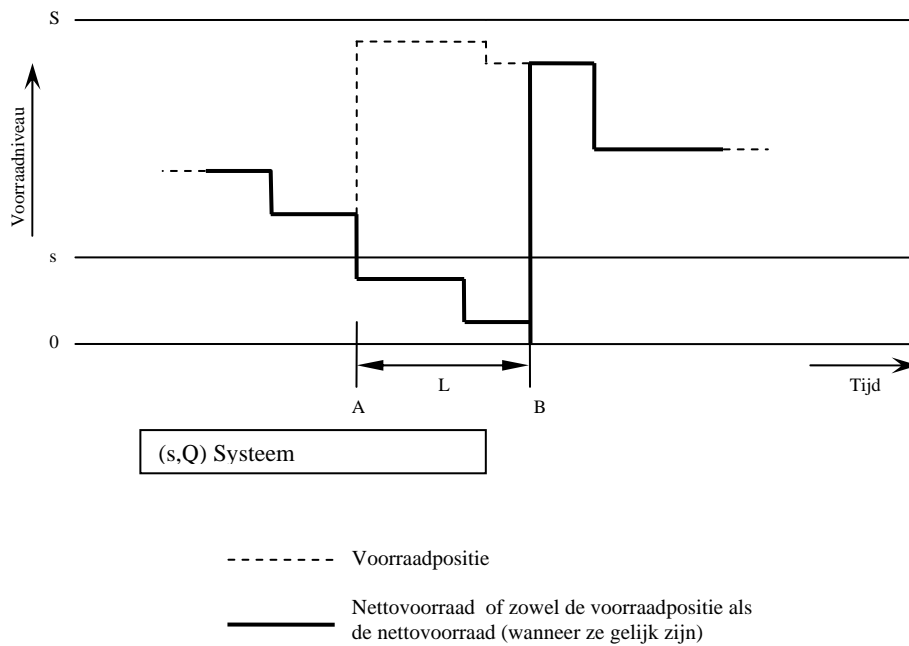
Het is echter niet altijd wenselijk om voorraadsystemen te hebben die gebruik maken van continue controle, aangezien het te duur kan zijn. Een andere procedure die vaak gebruikt wordt, is *periodic review*. Bij deze procedure wordt de status van het systeem enkel op discrete, gelijk gespreide tijden gecontroleerd. Beslissingen om al dan niet een order te plaatsen worden enkel gemaakt op deze herzieningsperioden. De beslissingsmaker zal dus niets weten over de status van het systeem op andere tijdstippen dan het herzieningstijdstip (Haddock et al., 1994 en Silver et al., 1985 + 1998).

5.2.1 *Continuous review* modellen

In de literatuur worden twee soorten *continuous review* (= continue herzieningssystemen) systemen vermeld: het *order-point, order-quantity* systeem (s, Q) en het *order-point, order-up-to-level* systeem (s, S) .

5.2.1.1 *Order-Point, Order-Quantity* (s, Q) systeem

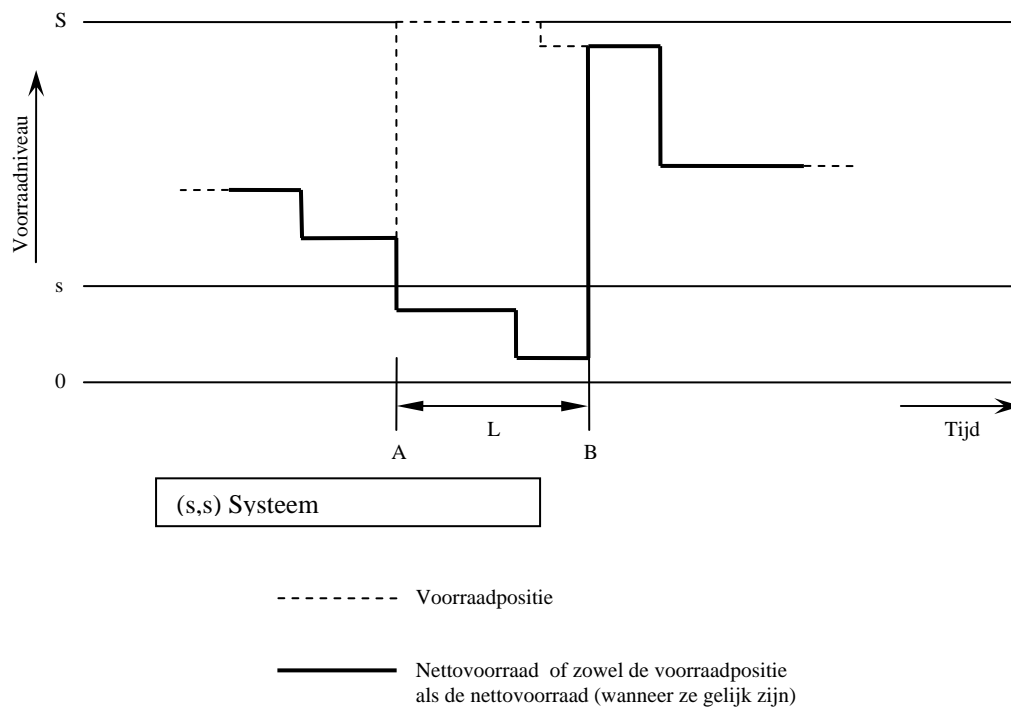
Dit systeem bevat een continue controle. (dus $R = 0$). Een vaste hoeveelheid Q wordt besteld wanneer de voorraad daalt tot of onder het bestelpunt s . Opdat dit klopt, dient het systeem na elke vraag gecontroleerd te worden (Haddock et al., 1994 en Silver et al., 1985 + 1998).



Figuur 5.1: (s, Q) systeem (Silver et al., 1985).

5.2.1.2 Order-Point, Order-Up-to-level (s, S) systeem

Wanneer het gevraagde aantal eenheden inderdaad een willekeurige variabele is, dan bestaat de mogelijkheid dat het bestelpunt overschreden wordt. Voor een dergelijk systeem is het niet meer mogelijk om bij elke order een vaste hoeveelheid Q te bestellen. Een alternatieve procedure bestaat erin om twee niveaus s, S ($S > s$) te zetten, zodat wanneer het voorraadniveau daalt tot x , $x < s$, een order besteld wordt om het niveau S te bereiken. Een hoeveelheid $S - x$ wordt dan besteld. In tegenstelling tot het (s, Q) systeem, wordt hier dus een variabele hoeveelheid gebruikt, genoeg om de voorraadpositie te brengen tot het *order-up-to-level* S . (Haddock et al., 1994 en Silver et al., 1985 + 1998)



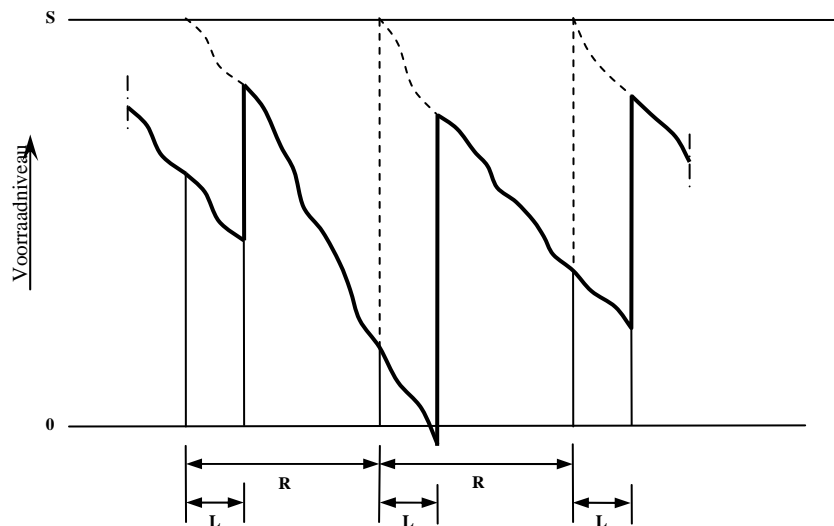
Figuur 5.2: (s, S) systeem (Silver et al., 1985).

5.2.2 Periodic review modellen

In de literatuur worden drie soorten *periodic review* (= periodieke herzieningssystemen) systemen vermeld: Het *Order-up-to-level* systeem (R, S) , het (R, s, S) en het (R, s, Q) systeem.

5.2.2.1 Periodic review, Order-Up-to-Level (R, S) systeem

De controleprocedure bestaat erin dat na elke R tijdseenheden een bedrijf genoeg besteld om de voorraadpositie te brengen tot niveau S . In dit geval plaatst het bedrijf enkel een bestelling, wanneer na een periode R , de voorraadpositie kleiner of gelijk is aan S (Haddock et al., 1994 en Silver et al., 1985 en 1998).



Figuur 5.3: (R, S) systeem (Silver et al., 1985).

5.2.2.2 (R, s, S) systeem

Dit is een combinatie van (s, S) en (R, S) systemen. Het idee is dat bij elke R tijdseenheden de voorraadpositie gecontroleerd wordt. Wanneer deze op of onder het bestelpunt s is, dan worden voldoende eenheden besteld om het bestelpunt te doen stijgen tot S . Als de positie boven s is, dan gebeurt niets tot de volgende periode. Het (s, S) systeem is het speciale geval, waarbij $R=0$ en (R, S) is het speciale geval waar $s = S - 1$. Het (R, s, S) systeem kan bijgevolg beschouwd worden als een periodieke versie van het (s, S) systeem. Zo kan de (R, S) situatie beschouwd worden als een periodieke implementatie van (s, S) met $s = S - 1$ (Silver et al., 1985 + 1998).

5.2.2.3 *Periodic* (R, s, Q) systeem

Dit is een combinatie van (s, Q) en (R, S) systemen. Het idee is dat bij elke R tijdseenheden de voorraadpositie gecontroleerd wordt. Wanneer deze op of onder het bestelpunt s , is dan wordt een vaste hoeveelheid Q besteld. Als de positie boven s is, dan gebeurt niets tot de volgende periode. Het (s, Q) systeem is het speciale geval, waarbij $R = 0$. Zoals bij het voorgaande systeem kan

het (R, s, Q) systeem gezien worden als een periodieke versie van het (s, Q) systeem (Silver et al., 1985 + 1998).

5.3 De modellen mathematisch uitgewerkt

In dit onderdeel zullen de *continue- en periodic review* modellen mathematisch weergegeven worden (Chase et al., 2006 en Silver et al., 1985).

Voor beide systemen worden de totale jaarlijkse kosten als volgt bepaald:

$$TC = DC_u + \frac{D}{Q}C_o + \frac{Q}{2}C_h \quad (5.1)$$

waarbij:

DC_u = De jaarlijkse aanschaffingskost

$\frac{D}{Q}C_o$ = De jaarlijkse bestelkost

$\frac{Q}{2}C_h$ = De jaarlijkse opslagkost

5.3.1 *Continue review* modellen mathematisch:

Bij continue voorraadmodellen wordt het bestelpunt s verkregen door middel van onderstaande vergelijking:

$$s = VV + \bar{X} \quad (5.2)$$

waarbij \bar{X} de gemiddelde vraag per dag is en:

$$VV = z\sigma_L, \quad (5.3)$$

waar z de veiligheidsfactor is en σ_L de standaardafwijking van de vraag over de leveringstermijn L .

$$E(z) = \frac{\bar{X}(1-P)}{\sigma_L}, \quad (5.4)$$

waar P het gewenste serviceniveau is.

Het *order-up-to-level* S is de som van de veiligheidsvoorraad en de gemiddelde vraag over de leveringstermijn:

$$S = VV + \bar{X}_L \quad (5.5)$$

De optimale of economische bestelhoeveelheid wordt als volgt bepaald:

$$Q = \sqrt{\frac{2DC_o}{C_H}} \quad (5.6)$$

5.3.2 *Periodic review* modellen mathematisch

Voor *Periodic review* systemen worden bestellingen geplaatst bij de herzieningstijd R en de veiligheidsvoorraad die besteld dient te worden is gelijk aan:

$$VV = z\sigma_{R+L}, \quad (5.7)$$

waar σ_{R+L} de standaardafwijking is van de vraag over de herzieningsperiode R en de leveringstermijn L . De waarde van z kan bekomen worden door het oplossen van de volgende vergelijking van $E(z)$ en door gebruik te maken van de tabel geleverd door Robert Brown (Chase, Jacobs, Aquilano).

$$E(z) = \frac{\bar{X}_R(1-P)}{\sigma_{R+L}}, \quad (5.8)$$

waar \bar{X}_R de gemiddelde vraag per periode R is en P het gewenste serviceniveau.

Het bestelpunt s wordt gelijkgezet aan de veiligheidsvoorraad plus de gemiddelde vraag gedurende één tijdsperiode:

$$s = VV + \bar{X}_R \quad (5.9)$$

De vaste bestelhoeveelheid Q wordt bepaald door gebruik te maken van de *Economic Order Quantity* (EOQ) formule:

$$Q = \sqrt{\frac{2\bar{X}_R C_o}{C_h}} \quad (5.10)$$

Het *order-up-to-level* S is de som van de veiligheidsvoorraad en de gemiddelde vraag over de gebruikte periode:

$$S = VV + \bar{X}_{R+L} \quad (5.11)$$

5.4 Voor-en nadelen van de methoden

5.4.1 (s, Q) systeem

Dit is een zeer eenvoudig systeem. Het systeem heeft ook voordelen in het feit dat het systeem minder leidt tot fouten in de voorspelling van de productievereisten voor de leverancier. Een nadeel van het systeem is dat het in zijn onaangepaste vorm niet in staat is om effectief om te gaan met de situatie waar individuele transacties van merkbare grootte zijn. Meer in het bijzonder, wanneer een dergelijke transactie een bestelling in een (s, Q) systeem veroorzaakt, zal een bestelling van grootte Q de voorraadpositie niet tot boven het bestelpunt brengen (Silver et al., 1985 + 1998).

5.4.2 (s, S) systeem

Het beste (s, S) systeem is aangetoond lagere totale bestel-, opslag- en tekortkosten te hebben dan het beste (s, Q) systeem. Een nadeel is wel dat het beste (s, S) paar zeer moeilijk te vinden is. Een ander mogelijk nadeel van het (s, S) systeem is het gevaar van fouten in de verwerving in andere operaties, veroorzaakt door de variabele bestelhoeveelheid (Silver et al., 1985 + 1998).

5.4.3 (R, S) systeem

Het (R, S) systeem wordt vaak gebruikt met gerelateerde items. Daarbij levert het (R, S) systeem regelmatig de kans (elke R tijdsperioden) om het *order-up-to-level* S aan te passen; een wenselijke eigenschap wanneer het vraagpatroon verandert over de tijd. Het belangrijkste nadeel van het (R, S) systeem bestaat erin dat de opslagkosten hoger zijn dan in een *continuous review* systeem (Silver et al., 1985 + 1998).

5.4.4 (R, s, S) systeem

Het is aangetoond dat het beste (R, s, S) systeem lagere totale bestel-, opslag- en tekortkosten heeft dan eender welke andere vorm van een systeem. Hoewel om de beste waarden te vinden van de controleparameters, is veel rekenwerk vereist. Daarbij is dit systeem ingewikkelder dan de andere modellen (Silver et al., 1985 en 1998).

5.4.5 Model voor slow-movers?

Volgens Silver et al. (1985) zijn *Continuous review* systemen in het algemeen duurder door de continue rapportering. Dit is deels waar voor fast-moving items waarbij veel transacties plaatsvinden per tijdperiode. Voor slow-moving items daarentegen worden weinig kosten opgelopen, doordat slechts weinig transacties plaatsvinden. Aan de andere kant hebben *periodic review* modellen het voordeel meer effectief te kunnen zijn dan *continu review* in het detecteren van bederf van zulke slow-movers. Dit doordat *periodic review* modellen een occasionele herziening van de situatie forceren, terwijl bij continu systemen geen automatische herziening zal plaatsvinden zonder dat een transactie plaatsvindt. Het belangrijkste voordeel van *continuous review* is dat om hetzelfde serviceniveau te bereiken, minder veiligheidsvoorraad vereist is (dus lagere opslagkosten). Dit komt doordat de periode waarvoor de veiligheidsvoorraad vereist is, groter is bij *periodic review*.

Sani en Kingsman (1997) vermelden dat de periodieke systemen de voorkeur gelden bij slow-moving items. Dit omwille van het gemak van regelmatige orderperioden voor de voorraadbeheerder en voor de aanbieder die efficiënt kan plannen bij de levering van de goederen. De (R, s, S) vorm van het periodieke controle systeem wordt echter theoretisch geacht de beste te zijn voor het management van slow-movers.

Volgens Haddock et al. (1997) zijn *Continuous review* systemen zijn niet gepast voor slow-movers, want ze zijn moeilijk en duur in de praktijk omwille van de kost voor de rapportering van alle transacties. Anderzijds kunnen *periodic review* systemen niet de logische keuze zijn voor slow-movers, gegeven het onregelmatige vraagpatroon en de vraag grootte.

Kalpakam, S. en Sapna, K.P. (1997) en Chandrasekhar D. (1977) vermelden dat voor dure slow-moving items (items waarbij de bestelkost verwaarloosbaar is ten opzichte van de opslag- en tekortkosten) wel *continuous review* methoden gebruikt worden. Zij vermelden hiervoor de *base stock policy* (of (S-1,S) beleid). Onder deze regel wordt een order van telkens 1 eenheid geplaatst wanneer de aanwezige voorraad afneemt met één eenheid door het voorkomen van een vraag/bestelling.

6 Verdeling van de vraag

Een ander centraal probleem bij het beheer van voorraad is de kans op een stockbreuk. Deze kans hangt af van de statistische distributies van de vraag voor één enkel item en ook van de tijd nodig voor het bestellen van de eenheid tot de eenheid ontvangen wordt = leveringstijd. In de literatuur worden verschillende statistische verdelingen vermeld die gebruikt kunnen worden bij het voorraadbeheer.

De normale verdeling wordt het meeste toegepast om de kans op een stockbreuk te bepalen, maar de symmetrische vorm van de normale verdeling is een nadeel bij een schommelende vraag, zoals bij slow-movers.

De Laplace verdeling of de Poisson verdeling worden ook gebruikt. Deze laatste is het meeste geschikt voor schommelende vragen. Een andere interessante statistische verdeling is de Erlang verdeling, dewelke een speciale vorm is van de gamma verdeling. Het verschil tussen deze twee verdelingen is dat één van de parameters van zijn dichtheidsfunctie verschilt voor de verschillende gevallen. Bij de Gamma verdeling is deze parameter continu, maar voor de Erlang distributie is deze parameter een integrale waarde. De gamma verdeling is enkel gedefinieerd voor niet-negatieve waarden en het hoeft niet steeds symmetrisch te zijn, zoals bij de normale verdeling. Deze beide feiten zijn belangrijk bij het bestuderen van de vraag voor een eenheid. Het feit dat de gamma distributie niet gedefinieerd is voor negatieve waarden, impliceert dat er geen negatieve vraag is, wat een redelijke assumptie is. Natuurlijk is een negatieve vraag wel mogelijk in bepaalde situaties, wanneer consumenten hun producten teruggeven, maar dat is een ander probleem.

7 Praktijkonderzoek

7.1 Inleiding

In deze paragraaf wordt een voorraadsysteem bestudeerd met één product van een groothandelaar. Het product wordt verondersteld een *intermittent* karakter te vertonen, meer betreft het een slow-moving item. Diverse voorspellingsmethoden en voorraadmodellen worden gebruikt om de prestaties van deze methoden en modellen te vergelijken. Daarbij worden de resultaten geanalyseerd om na te gaan of een interactie bestaat tussen voorraadbeslissing en vraagvoorspelling. Het praktijkonderzoek vormt een uitbreiding van de doctoraatstudie van Ramaekers, K. (2007): 'A simulation Optimisation Approach for Inventory Management Decision Support based on Incomplete Information'. Meer bepaald zal hoofdstuk 5 van het doctoraat: 'Forecasting and Inventory Management for intermittent demand' nader bestudeerd worden. Wel dient bemerkt te worden dat deze verhandeling betrekking heeft op de vraag naar slow-movers. Het onderzoek van Ramaekers, K. (2007) is gebaseerd op *intermittent demand*. De resultaten van deze verhandeling kunnen wel veralgemeend worden aangezien de vraag naar slow-movers een soort van *intermittent demand* is.

7.2 Simulatiebenadering

In deze verhandeling wordt gebruik gemaakt van een simulatiemodel. Door de onzekerheid in een voorraadsysteem, kunnen mathematische modellen een systeem meestal niet nauwkeurig beschrijven. Simulaties worden vaak toegepast om systeemeigenschappen te onderzoeken op basis van het gemiddelde en de variantie van de prestatie maatstaven (Kelton en Chen, 2008).

Het belangrijkste voordeel van simulatie bestaat erin dat de meest complexe, reële systemen (die niet nauwkeurig beschreven kunnen worden door een mathematisch model) analytisch geëvalueerd kunnen worden. Simulatie laat toe dat de prestaties van een bestaand systeem onder bepaalde voorwaarden geschat kunnen worden. Nog een belangrijk voordeel is dat verschillende methoden via simulatie vergeleken kunnen worden om de best presterende methode te vinden bij een bepaalde set van inputparameters. Een nadeel daarentegen is dat simulatieresultaten van een stochastisch model moeilijk te interpreteren zijn. Elke simulatierun leidt immers slechts tot één

schatting van de werkelijke eigenschappen bij een bepaalde set van inputparameters van het model, waardoor deze schattingen significant kunnen verschillen van de echte kenmerken van het model. Daarom moeten gepaste statistische methoden gebruikt worden om de simulatieresultaten te interpreteren en te analyseren. Twee belangrijke problemen zullen vervolgens besproken worden: de analyse van de resultaten en de generatie van toevalsgetallen (Law en Kelton, 1982).

7.2.1 Statistische analyse van de resultaten

Zoals reeds vermeld, kan een eenmalige uitvoering van een simulatiemodel leiden tot onbetrouwbare beslissingen. Om een puntschatting en een betrouwbaarheidsinterval te kunnen maken van de output van een simulatie zijn meervoudige runs van het simulatiemodel met verschillende toevalsgetallen noodzakelijk (Law en Kelton, 1982).

Veronderstel dat n ($n \geq 2$) uitvoeringen van het simulatiemodel gemaakt worden. De onafhankelijkheid van de uitvoeringen wordt bereikt door bij iedere uitvoering gebruik te maken van verschillende toevalsgetallen. Laat Y_j het resultaat zijn van de prestatie maatstaf van de j -de uitvoering (met $j = 1, 2, \dots, n$). Een onvertekende puntschatter voor het gemiddelde μ wordt gegeven door:

$$\bar{Y}(n) = \frac{\sum_{j=1}^n Y_j}{n} \tag{7.1}$$

en een benaderd $100(1 - \kappa)$ percentage betrouwbaarheidsinterval voor μ wordt gegeven door:

$$\bar{Y}(n) \pm t_{n-1, \kappa/2} \sqrt{\frac{\sigma^2(n)}{n}} \tag{7.2}$$

waar $t_{n-1, \kappa/2}$ het bovenste $\frac{\kappa}{2}$ kritische punt is voor de t -verdeling met $n-1$ vrijheidsgraden en de variantie van de steekproef, $\sigma^2(n)$, gegeven wordt door:

$$\sigma^2(n) = \frac{\sum_{j=1}^n \left(Y_j - \bar{Y}(n) \right)^2}{n-1}. \quad (7.3)$$

Vergelijking van de verwachte resultaten van twee alternatieven

Voor het vergelijken van de verwachte resultaten van twee alternatieven wordt in deze verhandeling gewerkt met de benadering om een betrouwbaarheidsinterval op te stellen voor het verschil tussen de twee alternatieven, in plaats van het uitvoeren van een hypothese test om te kijken het geobserveerde verschil al dan niet verschillend is van de waarde nul. Daar waar een hypothese test enkel resulteert in een "verwerpen" of "niet verwerpen" beslissing, levert een betrouwbaarheidsinterval zowel deze informatie als de mate waarin de resultaten verschillen. Wanneer het aantal uitvoeringen voor elk alternatief hetzelfde is ($n_1 = n_2 = n$), kan een gepaard betrouwbaarheidsinterval opgesteld worden. Wanneer Y_{j1} en Y_{j2} de corresponderende resultaten zijn van de prestatie maatstaf voor de twee alternatieven en $Z_j = Y_{j1} - Y_{j2}$, voor $j = 1, 2, \dots, n$, dan is $E(Z_j)$ de hoeveelheid waarvoor een betrouwbaarheidsinterval dient opgesteld te worden.

Veronderstellende dat Z_j 's willekeurige variabelen (gedefinieerd over een hele uitvoering) zijn, dan:

$$\bar{Z}(n) = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j}{n} \quad (7.4)$$

en

$$\sigma^2(n) = \frac{\sum_{j=1}^n (Z_j - \bar{Z}(n))^2}{n-1} .$$

(7.5)

Het benaderende $100(1 - \kappa)$ percentage betrouwbaarheidsinterval is:

$$\bar{Z}(n) \pm t_{n-1, \kappa/2} \sqrt{\frac{\sigma^2(n)}{n}} ,$$

(7.6)

met $1 - \kappa$ de betrouwbaarheidscoëfficiënt.

Dit wordt het gepaarde betrouwbaarheidsinterval genoemd. Indien dit interval de waarde nul niet bevat, kan geconcludeerd worden dat de twee resultaten verschillend zijn (Kelton en Law, 1982).

Vergelijking van de verwachte resultaten van meer dan twee alternatieven

Het is ook mogelijk om betrouwbaarheidsintervallen te gebruiken bij de vergelijking van meer dan twee alternatieven. Wanneer echter meer dan twee alternatieven vergeleken worden dan kan het volgende probleem zich voordoen:

Veronderstellend dat I_l een $100(1 - \kappa)\%$ betrouwbaarheidsinterval is voor de prestatie maatstaf $\mu_l (l = 1, 2, \dots, k)$, dan is de kans dat alle k betrouwbaarheidsintervallen gelijktijdig hun werkelijke waarde bevatten gelijk aan:

$$P\{\mu_l \in I_l \text{ voor alle } l = 1, 2, \dots, k\} \geq 1 - \sum_{l=1}^k \kappa_l ,$$

(7.7)

met k het aantal te vergelijken alternatieven en $1 - \kappa$ de betrouwbaarheidscoëfficiënt. Dit resultaat is gekend als de Bonferroni ongelijkheid.

Om bovenstaand probleem te vermijden dienen de betrouwbaarheidsintervallen naar boven aangepast worden, zodat de gehele betrouwbaarheid van alle intervallen op het gewenste niveau $(1 - \kappa)$ is. De Bonferroni ongelijkheid wordt gebruikt om te verzekeren dat het betrouwbaarheidsinterval ten minste $(1 - \kappa)$ bedraagt.

Een mogelijke benadering, om betrouwbaarheidsintervallen te gebruiken bij de vergelijking van meer dan twee alternatieven, bestaat erin om alle alternatieven paarsgewijs te vergelijken. Zo vereisen k alternatieven $k(k-1)/2$ gepaarde vergelijkingen. Het individuele betrouwbaarheidsinterval voor elk interval zou gelijk moeten zijn aan $1 - \kappa \frac{k(k-1)}{2}$ om minstens een betrouwbaarheidsinterval te hebben van $(1 - \kappa)$ voor alle intervallen samen (Law en Kelton, 1982).

De literatuur vermeldt verschillende methoden om alternatieven paarsgewijs te vergelijken, maar Nelson et al. (1990) en Barnette et al. (1998) geven aan dat de Tukey test één van de meest gebruikte methoden is om dergelijke vergelijkingen uit te voeren. De Tukey test houdt, in tegenstelling tot de t-test, rekening met het aantal te vergelijken alternatieven. Het $100(1 - \kappa)\%$ betrouwbaarheidsinterval voor $k(k-1)/2$ gepaarde vergelijkingen is gelijk aan:

$$\bar{Y}_m - \bar{Y}_l \pm (q_{\kappa, k, v}) \sqrt{\frac{\sigma(n)^2}{n}} \tag{7.8}$$

waar \bar{Y}_m het gemiddelde is van n uitvoeringen van het m -de alternatief, \bar{Y}_l gemiddelde van n uitvoeringen van het l -de alternatief, waar $q_{\kappa, k, v}$ het bovenste κ kritische punt is van de "Studentized range" verdeling met parameter k en het aantal vrijheidsgraden $v = k(n-1)$ en

$$\sigma^2(n) = \frac{\sum_{m=1}^k \sum_{j=1}^n (Y_{mj} - \bar{Y}_m)^2}{v}$$

(7.9)

waar Y_{mj} het resultaat is van de j -de replicatie van het m -de alternatief.

7.2.2 Gemeenschappelijke toevalsgetallen

Het gebruik van gemeenschappelijke toevalsgetallen is een gekende variantiereductie techniek voor het vergelijken van verschillende alternatieven. Het is de eenvoudigste methode en leidt tot een hogere statistische efficiëntie, gemeten door de varianties van de outputvariabelen van een simulatiestudie (Glasserman et al., 1992).

Indien het mogelijk is om de variantie van een willekeurige output variabele te reduceren zonder zijn verwachting te verstoren, dan kan een grotere precisie, dit is een kleiner betrouwbaarheidsinterval, bekomen worden voor hetzelfde aantal simulaties. Naast een verbeterende efficiëntie en een reductie van de variantie, leidt het gebruik van gemeenschappelijke random getallen ook tot een 'ceteris paribus' interpretatie. Immers bij het gebruik van gemeenschappelijke random getallen kunnen twee alternatieve resultaten eenvoudiger geïnterpreteerd worden. Dit omwille van het feit dat de geobserveerde verschillen in prestaties niet te wijten zijn aan fluctuaties in de genereerde toevalsgetallen, maar aan verschillen in de systeemconfiguraties (Kolsrud, 2008).

In deze simulatiestudie worden meerdere uitvoeringen gebruikt voor elk alternatief en dezelfde toevalsgetallen voor ieder corresponderend paar van alternatieven.

7.3 De generatie van de vraag naar slow-movers

Zoals reeds vermeld, wordt in deze verhandeling verder gewerkt op het doctoraatsonderzoek van Ramaekers, K. (2007). Ramaekers heeft in haar doctoraatstudie bestudeerd of de aankomsttijden tussen bestellingen bij een vraag met *intermittent* karakter al dan niet afhankelijk zijn.

Geobserveerde frequenties van de aankomsttijden tussen de bestellingen (in weken) werden vergeleken met de verwachte frequenties van de aankomsttijden in de veronderstelling van onafhankelijke Poisson aankomsten. Indien de assumptie van een Poisson verdeling verworpen kon worden, dan kon afhankelijkheid tussen de bestellingen verondersteld worden. Uit het onderzoek concludeerde Ramaekers dat de vraagintervallen afhankelijk zijn.

Omwille van de afhankelijkheid tussen de vraagintervallen, worden de vraaggebeurtenissen gegenereerd op basis van een eerste orde Markov proces met transitie matrix T :

$$T = \begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{pmatrix} \tag{7.10}$$

waar p_{00} de kans is op geen bestelling in de volgende periode, wanneer geen bestelling geplaatst wordt in de huidige periode en p_{10} de kans op geen bestelling in de volgende periode, wanneer een bestelling geplaatst wordt in de huidige periode.

Individuele bestelhoeveelheden worden gegenereerd uit een Gammaverdeling met vormparameter λ en schaalparameter β .

I wordt gedefinieerd als een indicatorvariabele dewelke de waarden 0 of 1 kan aannemen. Wanneer I de waarde 0 aanneemt, zal geen bestelling geplaatst worden in een bepaalde periode. Wanneer I de waarde 1 aanneemt, zal een individuele bestelling met grootte Q geplaatst worden. Het gemiddelde en de variantie van de geaggregeerde vraag kunnen dan berekend worden als:

$$E(X) = E(I) * E(Q) \tag{7.11}$$

en

$$\text{Var}(X) = E(I) * \text{Var}(Q) + E^2(Q) * \text{Var}(I) \quad (7.12)$$

waarbij

$$E(I) = 0 * p_0 + 1 * p_1 \quad (7.13)$$

en

$$\text{Var}(I) = 0^2 * p_0 + 1^2 * p_1 - p_1^2 \quad (7.14)$$

waar $E(I)$ het gemiddelde is van de vraagfrequentie, $E(Q)$ het gemiddelde van de individuele vraag, $\text{Var}(I)$ de variantie van de vraagfrequentie, $\text{Var}(Q)$ de variantie van de individuele vraag, p_0 de kans dat geen bestelling plaatsvindt in een bepaalde periode en p_1 de kans dat een bestelling plaatsvindt in een bepaalde periode. Deze kansen worden ook wel de evenwichtskansen genaamd.

7.4 Experimenteel kader

Deze sectie beschrijft het voorraadstelsel dat gebruikt wordt om de prestaties van de verschillende voorspellingsmethoden voor slow-movers te vergelijken en om resultaten te bekomen over de interacties tussen voorraadbeslissingen en vraagvoorspelling. De studie focust op een groothandelaar met één product, een slow-mover. Het simulatiemodel is ontwikkeld in Microsoft Excel spreadsheets en maakt gebruik van Visual Basic. Het simulatiemodel start bij het genereren van *intermittent demand*, zoals beschreven in de vorige paragraaf. Vervolgens wordt het voorraadstelsel gesimuleerd voor 52 perioden. Bij iedere herzieningsperiode worden een vraagvoorspelling en een bestelbeslissing gemaakt. De totale kosten en de prestatie maatstaven (het aantal perioden met een tekort en het aantal eenheden tekort) van het stelsel worden bepaald.

7.4.1 Keuze van een voorraadstelsel

In dit experiment worden twee periodieke herzieningsstelsels (= *periodic review*) gebruikt. Het eerste is het (R, s, S) stelsel, waarbij R de herzieningsperiode is in weken, s het bestelpunt en S het *order-up-to-level*. Het tweede stelsel, (R, s, Q) , is gelijkaardig aan het eerste (R, s, S) stelsel, maar gebruikt een vaste bestelhoeveelheid Q in plaats van een *order-up-to-level* S . De vaste bestelhoeveelheid Q wordt berekend aan de hand van de EOQ-formule. Hier dient te worden bemerkt dat deze formule enkel mag gebruikt worden bij een constante vraag. Toch wordt in deze verhandeling gebruik gemaakt van deze formule, omdat verondersteld wordt dat de conclusies hierdoor niet zullen beïnvloed worden.

Een deterministische leveringstermijn L wordt verondersteld. Drie mogelijke herzieningsperiodes worden beschouwd: herzieningsperiode gelijk aan leveringstermijn ($R = L$), herzieningsperiode gelijk aan twee keer de leveringstermijn ($R = 2L$) en een herzieningsperiode gelijk aan de helft van de leveringstermijn ($2R = L$).

Wanneer beslissingen gemaakt moeten worden over de grootte van de veiligheidsvoorraad, het bestelpunt, de bestelhoeveelheid en het *order-up-to-level* dan dienen de volgende kosten beschouwd te worden: opslagkost van het product per periode C_h , de bestelkost C_o en de tekortkost van het product per periode C_s . Het simulatiemodel start met een initieel voorraadniveau I_0 .

7.4.2 Keuze van een voorspellingsmethode

In dit experiment wordt gebruik gemaakt van drie verschillende voorspellingsmethoden. In de literatuurstudie werd reeds vermeld welke voorspellingsmethoden het meeste gebruikt worden bij de vraagvoorspelling van slow-movers. Omwille van deze reden worden deze technieken gebruikt in het simulatiemodel. Het simulatiemodel zal dus de prestaties vergelijken van het simpel gewogen voortschrijdend gemiddelde, simpel exponentiële afvlakking en de methode van Croston.

7.4.3 Simulaties

Ross (1988) vermeldt dat een onderzoek dient te beginnen met 2 niveaus en vele factoren. Na een initieel onderzoek kan bepaald worden welke variabelen significant zijn en kan gewerkt worden met meerdere niveaus. Uit eerder onderzoek blijkt dat voor dit simulatiemodel vier variabelen belangrijk zijn: de vraagfrequentie, de bestelkost, de opslagkost en het aantal herzieningsperioden (Ramaekers, 2007). Hierdoor zal in deze verhandeling gewerkt worden met 3 niveaus. Elke variabele neemt 3 waarden aan: een lage, midden en hoge waarde. Door het gebruik van lage, midden en hoge waarden kunnen invloeden achterhaald worden. In Tabel 8.1 wordt een overzicht gegeven van de variabelen en de desbetreffende waarden. In totaal worden 81 simulaties uitgevoerd. Voor de vraagfrequentie p_1 wordt geopteerd voor een maximale waarde van 30%, doordat bij een hogere waarde het *intermittent* karakter minder uitgesproken is.

Variabele	Symbool	Waarde 1	Waarde 2	Waarde 3
Vraagfrequentie	p_1	10%	20%	30%
Bestelkost per bestelling (in €)	C_o	50	100	200
Opslagkost per eenheid (in €)	C_h	1	2	4
Tekortkost per eenheid (in €)	C_h	2,5	5	10

Tabel 7.1: Verschillende waarden van de variabelen

7.5 Experimentele opzet

In deze sectie wordt de experimentele opzet van het simulatiemodel besproken voor de eerste simulatie, waarbij:

Variabele	Symbool	Waarde 1
Vraagfrequentie	p_1	10%
Bestelkost per bestelling (in €)	C_o	50
Opslagkost per eenheid (in €)	C_h	1
Tekortkost per eenheid (in €)	C_s	2,5

Tabel 7.2: Waarden van de variabelen voor de eerste simulatie

De vraaggebeurtenis wordt gegeneerd door gebruik te maken van een eerste order Markov proces. De evenwichtskansen kunnen berekend worden door gebruik te maken van de volgende evenwichtsvergelijkingen:

$$p_0 = p_0 p_{00} + p_1 p_{10} \quad (7.15)$$

en

$$p_1 = p_0 p_{01} + p_1 p_{11} \quad (7.16)$$

waarbij,

$p_0 = 0,90$ en $p_1 = 0,10$. Aangezien p_{10} de kans is op geen bestelling in de volgende periode wanneer een bestelling geplaatst wordt in de huidige periode, dient deze hoger te zijn dan p_1 . Deze wordt vervolgens vastgelegd op 0,95. Hierbij dient te worden bemerkt dat verschillende transitie matrices mogelijk zijn, maar slechts één mogelijke transitie matrix gebruikt wordt. Dit leidt tot de volgende transitie matrix:

$$T = \begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,8944 & 0,1056 \\ 0,95 & 0,05 \end{pmatrix} \quad (7.17)$$

De vraag grootte wordt gegeneerd volgens een Gammaverdeling met vormparameter $\lambda = 6$ en schaalparameter $\beta = 1$ (met gemiddelde = variantie = 6). Dit komt overeen met een gemiddelde en variantie van de geaggregeerde vraag van 0,6 en 3,84 (berekend op basis van formule 8.2). In bijlage 1 worden de berekeningen weergegeven voor een vraagfrequentie van 20% en 30%.

Op basis van deze gegevens worden de veiligheidsvoorraad VV , de vaste bestelhoeveelheid Q en het *order-up-to-level* S berekend voor drie verschillende waarden van de herzieningsperiode:

$L = R$, $L = 2R$ en $R = 2L$, met L de leveringstermijn en R de herzieningsperiode. In Tabel 8.2 worden deze waarden weergegeven. In bijlage 2 worden de berekeningen van de overige simulaties weergegeven.

	R=L	2R=L	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Vaste bestelhoeveelheid Q	8	8	8
Order-up-to-level S	8	9	8

Tabel 7.3: Berekeningen simulatie eerste run

Drie voorspellingsmethoden worden vergeleken: exponentiële afvlakking met afvlakkingparameter $\alpha = 0,5$; gewogen gemiddelde door gebruik te maken van de 4 meest recente gegevenswaarden in de tijdreeks als de voorspelling voor de volgende periode en de methode van Croston met afvlakkingparameter $\alpha = 0,5$.

7.6 Bespreken van de resultaten

7.6.1 Output

In Tabel 8.3, 8.4 en 8.5 worden de resultaten van de eerste run weergegeven van de experimentele set-up besproken in de vorige sectie. Deze tabellen tonen het gemiddelde en de variantie van de totale kosten, de stock-out perioden en de stock-out eenheden van de vijf uitvoeringen. 95% betrouwbaarheidsintervallen worden opgesteld om de impact van de voorspellingsmethode, de impact van de herzieningsperiode en de impact van het voorraadmodel te bepalen. De gepaarde t-test wordt gebruikt om de twee voorraadmodellen te vergelijken. Om de drie voorspellingsmethoden te vergelijken wordt de Tukey test gebruikt. De betrouwbaarheidsintervallen kunnen teruggevonden worden in tabel 8.6, 8.7 en 8.8.

In de onderstaande tabellen wordt gebruikt gemaakt van de volgende afkortingen:

$L = R$: Leveringstermijn is gelijk aan de herzieningsperiode

$L = 2R$: Leveringstermijn is gelijk aan het dubbele van de herzieningsperiode

$R = 2L$: Leveringstermijn is gelijk aan de helft van de herzieningsperiode

- EA* : Exponentiële afvlakking
GG : Gewogen gemiddelde
CR : Croston's methode
S : *Order-up-to-level* model
Q : *Fixed order quantity* model

			Gemiddelde	Variantie
L=R	<i>Order-up-to-level S</i>	Totale kosten	1049,50	15020,88
		Stock-out perioden	2,60	1,30
		Stock-out eenheden	3,80	5,70
	Vaste bestelhoeveelheid Q	Totale kosten	1233,30	4571,82
		Stock-out perioden	0,60	0,30
		Stock-out eenheden	0,60	0,30
L=2R	<i>Order-up-to-level S</i>	Totale kosten	1266,30	11176,70
		Stock-out perioden	2,60	1,80
		Stock-out eenheden	4,20	5,20
	Vaste bestelhoeveelheid Q	Totale kosten	1295,80	11875,83
		Stock-out perioden	1,20	1,20
		Stock-out eenheden	1,20	1,20
R=2L	<i>Order-up-to-level S</i>	Totale kosten	949,60	10239,30
		Stock-out perioden	4,20	2,20
		Stock-out eenheden	7,60	10,80
	Vaste bestelhoeveelheid Q	Totale kosten	1249,30	10185,32
		Stock-out perioden	0,60	0,30
		Stock-out eenheden	0,60	0,30

Tabel 7.4: Resultaten van de 5 simulatieruns voor het Gewogen Gemiddelde

			Gemiddelde	Variantie
L=R	<i>Order-up-to-level S</i>	Totale kosten	1049,50	15020,88
		Stock-out perioden	2,60	1,30
		Stock-out eenheden	3,80	5,70
	Vaste bestelhoeveelheid Q	Totale kosten	1247,70	4937,82
		Stock-out perioden	0,60	0,30
		Stock-out eenheden	0,60	0,30
L=2R	<i>Order-up-to-level S</i>	Totale kosten	1345,70	17865,70
		Stock-out perioden	1,60	1,30
		Stock-out eenheden	2,40	4,80
	Vaste bestelhoeveelheid Q	Totale kosten	1386,20	6882,83
		Stock-out perioden	1,20	1,20
		Stock-out eenheden	1,20	1,20
R=2L	<i>Order-up-to-level S</i>	Totale kosten	949,60	10239,30
		Stock-out perioden	4,20	2,20
		Stock-out eenheden	7,60	10,80
	Vaste bestelhoeveelheid Q	Totale kosten	1230,10	3626,93
		Stock-out perioden	0,60	0,30
		Stock-out eenheden	0,60	0,30

Tabel 7.5: Resultaten van de 5 simulatieruns voor Exponentiële Afvlakking

			Gemiddelde	Variantie
L=R	<i>Order-up-to-level S</i>	Totale kosten	1049,50	15020,88
		Stock-out perioden	2,60	1,30
		Stock-out eenheden	3,80	5,70
	Vaste bestelhoeveelheid Q	Totale kosten	1361,70	11461,83
		Stock-out perioden	0,60	0,30
		Stock-out eenheden	0,60	0,30
L=2R	<i>Order-up-to-level S</i>	Totale kosten	1345,70	17865,70
		Stock-out perioden	1,60	1,30
		Stock-out eenheden	2,40	4,80
	Vaste bestelhoeveelheid Q	Totale kosten	1519,80	7566,83
		Stock-out perioden	1,20	1,20
		Stock-out eenheden	1,20	1,20
R=2L	<i>Order-up-to-level S</i>	Totale kosten	949,60	10239,30
		Stock-out perioden	4,20	2,20
		Stock-out eenheden	7,60	10,80
	Vaste bestelhoeveelheid Q	Totale kosten	1395,70	16295,83
		Stock-out perioden	0,60	0,30
		Stock-out eenheden	0,60	0,30

Tabel 7.6: Resultaten van de 5 simulatieruns voor de methode van Croston

			R=L	L=2R	R=2L
EA-GG	S	Totale kosten	-206,80 ; 206,80	-290,39 ; 131,59	-170,74 ; 170,74
		Stock-out perioden	-1,92 ; 1,92	-1,04 ; 3,04	-2,50 ; 2,50
		Stock-out eenheden	-4,03 ; 4,03	-1,95 ; 5,55	-5,55 ; 5,55
	Q	Totale kosten	-155,48 ; 126,68	-248,46 ; 67,66	-149,84 ; 188,24
		Stock-out perioden	-0,92 ; 0,92	-1,85 ; 1,85	-0,92 ; 0,92
		Stock-out eenheden	-0,92 ; 0,92	-1,85 ; 1,85	-0,92 ; 0,92
EA-CR	S	Totale kosten	-206,80 ; 206,80	-210,99 ; 210,99	-170,74 ; 170,74
		Stock-out perioden	-1,92 ; 1,92	-2,04 ; 2,04	-2,50 ; 2,50
		Stock-out eenheden	-4,03 ; 4,03	-3,75 ; 3,75	-5,55 ; 5,55
	Q	Totale kosten	-255,08 ; 27,08	-291,66 ; 24,46	-334,64 ; 3,44
		Stock-out perioden	-0,92 ; 0,92	-1,85 ; 1,85	-0,92 ; 0,92
		Stock-out eenheden	-0,92 ; 0,92	-1,85 ; 1,85	-0,92 ; 0,92
GG-CR	S	Totale kosten	-206,80 ; 206,80	-290,39 ; 131,59	-170,74 ; 170,74
		Stock-out perioden	-1,92 ; 1,92	-1,04 ; 3,04	-2,50 ; 2,50
		Stock-out eenheden	-4,03 ; 4,03	-1,95 ; 5,55	-5,55 ; 5,55
	Q	Totale kosten	-269,48 ; 12,68	-382,06 ; -65,94	-315,44 ; 22,64
		Stock-out perioden	-0,92 ; 0,92	-1,85 ; 1,85	-0,92 ; 0,92
		Stock-out eenheden	-0,92 ; 0,92	-1,85 ; 1,85	-0,92 ; 0,92

Tabel 7.7: Betrouwbaarheidsintervallen voor het vergelijken van de voorspellingsmethoden

			EA	GG	CR
R=L-L=2R	S	Totale kosten	-498,51 ; -93,89	-402,76 ; -30,84	-498,51 ; -93,89
		Stock-out perioden	-1,13 ; 3,13	-2,24 ; 2,24	-1,13 ; 3,13
		Stock-out eenheden	-3,10 ; 5,90	-4,94 ; 4,14	-3,10 ; 5,90
	Q	Totale kosten	-259,58 ; -17,42	-221,48 ; 96,48	-341,20 ; 25,00
		Stock-out perioden	-1,91 ; 0,71	-1,91 ; 0,71	-1,91 ; 0,71
		Stock-out eenheden	-1,91 ; 0,71	-1,91 ; 0,71	-1,91 ; 0,71
R=L-R=2L	S	Totale kosten	-102,41 ; 302,21	-86,06 ; 285,86	-102,41 ; 302,21
		Stock-out perioden	-3,73 ; 0,53	-3,84 ; 0,64	-3,73 ; 0,53
		Stock-out eenheden	-8,30 ; 0,70	-8,34 ; 0,74	-8,30 ; 0,70
	Q	Totale kosten	-103,48 ; 138,68	-174,98 ; 142,98	-217,10 ; 149,10
		Stock-out perioden	-1,31 ; 1,31	-1,31 ; 1,31	-1,31 ; 1,31
		Stock-out eenheden	-1,31 ; 1,31	-1,31 ; 1,31	-1,31 ; 1,31
L=2R-R=2L	S	Totale kosten	193,79 ; 598,41	130,74 ; 502,66	193,79 ; 598,41
		Stock-out perioden	-4,73 ; -0,47	-3,84 ; 0,64	-4,73 ; -0,47
		Stock-out eenheden	-9,70 ; -0,70	-7,94 ; 1,14	-9,70 ; -0,70
	Q	Totale kosten	35,02 ; 277,18	-112,48 ; 205,48	-59,00 ; 307,20
		Stock-out perioden	-0,71 ; 1,91	-0,71 ; 1,91	-0,71 ; 1,91
		Stock-out eenheden	-0,71 ; 1,91	-0,71 ; 1,91	-0,71 ; 1,91

Tabel 7.8: Betrouwbaarheidsintervallen voor het vergelijken van de herzieningsperioden

		EA	GG	CR	
R=L	Totale kosten	-309,39 ; -87,01	-292,89 ; -74,71	-405,30 ; -219,10	
	Stock-out perioden	0,76 ; 3,24	0,76 ; 3,24	0,76 ; 3,24	
	Stock-out eenheden	0,37 ; 6,03	0,37 ; 6,03	0,37 ; 6,03	
S-Q	L=2R	Totale kosten	-126,29 ; 45,29	-105,30 ; 46,30	-293,83 ; -54,37
		Stock-out perioden	-0,28 ; 1,08	0,29 ; 2,51	-0,28 ; 1,08
		Stock-out eenheden	-1,02 ; 3,42	0,22 ; 5,78	-1,02 ; 3,42
R=2L	Totale kosten	-409,56 ; -151,44	-432,64 ; -166,76	-530,95 ; -361,25	
	Stock-out perioden	1,93 ; 5,27	1,93 ; 5,27	1,93 ; 5,27	
	Stock-out eenheden	3,17 ; 10,83	3,17 ; 10,83	3,17 ; 10,83	

Tabel 7.9: Betrouwbaarheidsintervallen voor het vergelijken van de voorraadmodellen

7.6.2 Resultaten van de 81 simulaties

In Tabel 8.8 worden de significante resultaten weergegeven over de 81 simulaties heen. Hierbij wordt de letter 'N' gebruikt om negatieve en de letter 'P' om positieve betrouwbaarheidsintervallen weer te geven. In bovenstaande tabel 8.7 wordt bijvoorbeeld het betrouwbaarheidsinterval van de totale kosten bij exponentiële afvlakking en een herzieningsperiode gelijk aan de leveringstermijn weergegeven door de letter 'N'. Hier kan geconcludeerd worden dat het *order-up-to-level* model significant goedkoper is dan het *FOQ* model. Het betrouwbaarheidsinterval van het aantal *stock-out* perioden bij exponentiële afvlakking en een herzieningsperiode gelijk aan de leveringstermijn wordt weergegeven door de letter 'P'. Dit betekent dat het *FOQ* model hier beter presteert dan het *order-up-to-level* model.

		R=L L=2R R=2L			
EA GG	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tc	1N		
		St-Op			
		St-Oe			
EA CR	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tc	9N	20N	15N
		St-Op			
		St-Oe			
GG CR	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tc	18N	38N	27N
		St-Op			
		St-Oe			

		EA	GG	CR	
R=L L=2R	S	Tk	68N	65N	70N
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	31N	27N	39N
		St-Op	1N	1N	1N
		St-Oe			
R=L R=2L	S	Tk	3N	2N	3N
		St-Op	2N	2N	2N
		St-Oe	1N	2N	1N
	Q	Tk	4P	2N en 1P	4N
		St-Op	1N	1N	1N
		St-Oe	1N	1N	
L=2R R=2L	S	Tk	70P	65P	73P
		St-Op	2N	1N	2N
		St-Oe	2N		2N
	Q	Tk	28P	13P	24P
		St-Op	1N	1N	1N
		St-Oe	1N	1N	

		EA	GG	CR	
S-Q	R=L	Tk	50N en 7P	45N en 8P	56N en 6P
		St-Op	10P	10P	10P
		St-Oe	9P	10P	9P
	L=2R	Tk	14N en 21P	8N en 23P	28N en 11P
		St-Op	3P	4P	2P
		St-Oe	1P	2P	1P
	R=2L	Tk	55N en 6P	51N en 6P	64N en 4P
		St-Op	12P	11P	12P
		St-Oe	6P	6P	6P

Tabel 7.10: Totaal aantal significantie resultaten over de 81 simulaties

7.6.2.1 Vergelijking van de voorspellingsmethoden

In tabel 7.10 worden de resultaten over de 81 simulaties bestudeerd. Indien het *order-up-to-level* model gebruikt wordt, kunnen geen significante verschillen waargenomen worden tussen de kosten en de prestaties van de diverse voorspellingsmethoden: exponentiële afvlakking, het gewogen gemiddelde en Croston's methode. Wanneer daarentegen het *FOQ* model beschouwd wordt, blijkt Croston's methode in bepaalde omstandigheden (= afhankelijk van de combinaties tussen de gewijzigde variabelen) significant duurder dan exponentiële afvlakking en het gewogen gemiddelde. Dit hoofdzakelijk (voor 20 simulaties) wanneer de herzieningsperiode gelijk is aan de helft van de leveringstermijn. Ook bij een herzieningsperiode gelijk aan het dubbele van de leveringstermijn komt de methode van Croston in respectievelijk 27 en 15 simulaties duurder uit dan het gewogen gemiddelde en exponentiële afvlakking. Bij een herzieningsperiode gelijk aan de leveringstermijn is het aantal significante verschillen beduidend kleiner.

In de literatuur wordt de methode van Croston door enkele auteurs (Croston, 1972; Willemain et al., 1994; ...) geacht de nauwkeurigste methode te zijn, waardoor verwacht wordt dat deze methode de beste prestaties levert. De resultaten wijzen echter niet op significante verschillen in de prestaties tussen de verschillende voorspellingsmethoden. Zoals eerder vermeld blijkt Croston's methode wel duurder te zijn, maar geldt dit niet over alle 81 simulaties. Uit de vergelijkende studies van Sani et al. (1997) en Syntetos et al. (2005 en 2006) blijkt exponentiële afvlakking, los van het gemiddeld aantal eenheden in voorraad, het beste te presteren. Ook blijkt exponentiële afvlakking de duurste methode te zijn. Deze conclusies zijn tegenstrijdig met bovenstaande

resultaten. In verschillende simulaties is exponentiële afvlakking wel duurder dan het gewogen gemiddelde, maar zijn deze verschillen meestal niet significant. Enkel bij een herzieningsperiode gelijk aan de leveringstermijn kan één significant kostenverschil waargenomen worden.

7.6.2.2 Vergelijking van de herzieningsperioden

De impact van de herzieningsperioden op de kosten is significant. Een herzieningsperiode gelijk aan de helft van de leveringstermijn is significant duurder dan de andere twee herzieningsperioden. Een mogelijke verklaring hiervoor kan zijn dat bij de keuze van deze herzieningsperiode meer bestellingen geplaatst kunnen worden en dus leiden tot hogere bestelkosten. Kenmerkend is dat deze conclusie voornamelijk geldt wanneer het *order-up-to-level* voorraadmodel gebruikt wordt (minimum 65 significante betrouwbaarheidsintervallen). De verschillen in kosten zijn minder onderscheidend indien het *FOQ* model beschouwd wordt (maximum 39 significante betrouwbaarheidsintervallen).

Tussen een herzieningsperiode gelijk aan de leveringstermijn en een herzieningsperiode gelijk aan het dubbele van de leveringstermijn bestaan slechts maximum 4 significante kostenverschillen.

De impact van de herzieningsperiode op de prestaties is sporadisch significant.

7.6.2.3 Vergelijking van de voorraadmodellen

De resultaten duiden op significante kosten- en prestatieverschillen tussen de verschillende voorraadmodellen.

Ingeval een herzieningsperiode gelijk aan of het dubbele van de leveringstermijn, dan is het *FOQ* model significant duurder (bij minimum 45 simulaties) en presteert het *FOQ* model significant beter. Dit laatste geldt slechts voor maximum 10 simulaties, waardoor het belangrijk is dat dit nader bestudeerd zal worden. Wel dient opgemerkt te worden dat eveneens positieve significante resultaten (maximum 8 significante verschillen) waargenomen kunnen worden bij de kostenverschillen. Hierdoor is het duidelijk dat in bepaalde situaties (= afhankelijk van de waarden

van de vier gewijzigde variabelen) het *FOQ* model significant goedkoper is dan het *order-up-to-level* model.

Wanneer de herzieningsperiode gelijk is aan de helft van de leveringstermijn, is het moeilijk een besluit te vormen over de significante kostenverschillen, doordat zowel positieve als negatieve betrouwbaarheidsintervallen verspreid zijn over de 81 simulaties. Merkwaardig is dat bij de toepassing van exponentiële afvlakking en het gewogen gemiddelde minder negatieve, maar bij de methode van Croston meer positieve kostenverschillen waargenomen kunnen worden. Tenslotte presteert het *FOQ* model presteert voor maximum 4 simulaties beter dan de *S* politiek.

7.6.2.4 Bemerkingen

Aangezien in de 81 simulaties vier variabelen gewijzigd worden over drie niveaus, is het belangrijk voorzichtig met de bovenstaande conclusies om te gaan. Een afzonderlijke bespreking van de resultaten naar deze variabelen is noodzakelijk en zal meer inzicht geven in de significante verschillen. Zo kan nagegaan worden of de significante verschillen over de 81 simulaties al dan niet overeenkomen met de significante resultaten opgedeeld naar de vier variabelen. Eveneens kan bestudeerd worden of het aantal significante resultaten gespreid liggen over de 81 simulaties of specifiek gelden voor één waarde van een variabele.

In de volgende sectie worden daarom de significante resultaten opgesplitst naar de factoren: vraagfrequentie, bestelkost, opslagkost en tekortkost.

7.6.3 De resultaten opgesplitst naar de vraagfrequentie

De tabellen 7.11, 7.12 en 7.13 geven de significante resultaten weer bij een vraagfrequentie gelijk aan respectievelijk 0,10; 0,20 en 0,30.

			R=L	L=2R	R=2L						
EA GG	S	Tk				R=L L=2R	S	Tk	24N	24N	24N
		St-Op						St-Op			
		St-Oe						St-Oe			
	Q	Tk					Q	Tk	6N	4N	12N
		St-Op					St-Op	1N		1N	
		St-Oe					St-Oe				
EA CR	S	Tk				R=L R=2L	S	Tk			
		St-Op						St-Op	2N	2N	2N
		St-Oe						St-Oe	1N	2N	1N
	Q	Tk	2N	9N	2N		Q	Tk	3P	1P	
		St-Op					St-Op	1N	1N	1N	
		St-Oe					St-Oe	1N	1N		
GG CR	S	Tk				L=2R R=2L	S	Tk	25P	24P	25P
		St-Op						St-Op	2N	1N	2N
		St-Oe						St-Oe	2N		2N
	Q	Tk	3N	14N	4N		Q	Tk	9P	4P	11P
		St-Op					St-Op	1N	1N	1N	
		St-Oe					St-Oe	1N	1N		

			EA	GG	CR
S-Q	R=L	Tk	18N en 3P	18N en 3P	19N en 2P
		St-Op	10P	10P	10P
		St-Oe	9P	10P	9P
	L=2R	Tk	9N en 7P	8N en 8P	13N en 4P
		St-Op	3P	4P	2P
		St-Oe	1P	2P	1P
	R=2L	Tk	22N en 2P	19N en 2P	23N en 2P
		St-Op	12P	11P	12P
		St-Oe	6P	6P	6P

Tabel 7.11: Aantal significantie resultaten bij een vraagfrequentie = 0,10

			R=L	L=2R	R=2L
EA GG	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
EA CR	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	2N	6N	6N
		St-Op			
		St-Oe			
GG CR	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tc	7N	13N	8N
		St-Op			
		St-Oe			

			EA	GG	CR
R=L L=2R	S	Tk	22N	22N	22N
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	14N	14N	16N
		St-Op		1N	
		St-Oe			
R=L R=2L	S	Tk	2N	1N	2N
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk		1N	2N
		St-Op			
		St-Oe			
L=2R R=2L	S	Tk	22P	22P	23P
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	9P	4P	8P
		St-Op			
		St-Oe			

			EA	GG	CR
S-Q	R=L	Tk	17N en 2P	16N en 2P	19N en 2P
		St-Op			
		St-Oe			
	L=2R	Tk	5N en 7P	9P	11N en 4P
		St-Op			
		St-Oe			
	R=2L	Tk	18N en 2P	18N en 2P	21N en 1P
		St-Op			
		St-Oe			

Tabel 7.12: Aantal significantie resultaten bij een vraagfrequentie = 0,20

			R=L	L=2R	R=2L
EA GG	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	1N		
		St-Op			
		St-Oe			
EA CR	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	5N	5N	7N
		St-Op			
		St-Oe			
GG CR	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	8N	11N	15N
		St-Op			
		St-Oe			

			EA	GG	CR
R=L L=2R	S	Tk	22N	19N	24N
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	11N	9N	11N
		St-Op			
		St-Oe			
R=L R=2L	S	Tk	1N	1N	1N
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	1P	1N	2N
		St-Op			
		St-Oe			
L=2R R=2L	S	Tk	23P	19P	25P
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	10P	5P	5P
		St-Op			
		St-Oe			

			EA	GG	CR
R=L	S-Q	Tk	15N en 2P	11N en 3P	18N en 2P
		St-Op			
		St-Oe			
L=2R	S-Q	Tk	7P	6P	4N en 3P
		St-Op			
		St-Oe			
R=2L	S-Q	Tk	15N en 2P	14N en 2P	20N en 1P
		St-Op			
		St-Oe			

Tabel 7.13: Aantal significantie resultaten bij een vraagfrequentie = 0,30

7.6.3.1 Vergelijking van de voorspellingsmethoden

Zoals reeds vermeld in de vorige sectie blijkt, bij het vergelijken van de voorspellingsmethoden, de methode van Croston in bepaalde simulaties significant duurder wanneer het *FOQ* model gebruikt wordt. Bovendien kunnen bij het bestuderen van bovenstaande tabellen enkele lichte trends waargenomen worden. Zo daalt het aantal significante verschillen, bij de grootste leveringstermijn, wanneer de vraaghoeveelheid toeneemt. Bij een herzieningsperiode gelijk aan of het dubbele van de leveringstermijn stijgt het aantal significante resultaten, naarmate de vraagfrequentie toeneemt. Een mogelijke oorzaak hiervan is echter moeilijk te achterhalen, omwille van de interactie tussen de vier variabelen.

7.6.3.2 Vergelijking van de herzieningsperioden

Bij het vergelijken van de resultaten voor de diverse herzieningsperioden, kan een afname in de significante kostenverschillen over de drie waarden van de vraagfrequentie waargenomen worden wanneer de S politiek en het gewogen gemiddelde beschouwd worden. Bij de toepassing van exponentiële afvlakking en de methode van Croston blijken de significante verschillen evenredig verdeeld te zijn over de drie waarden van de vraagfrequentie.

Indien de FOQ politiek gebruikt wordt, is het aantal significante verschillen tussen een herzieningsperiode gelijk aan en de helft van de leveringstermijn het hoogste bij een vraagfrequentie van 0,20. Bij de vergelijking tussen een herzieningsperiode gelijk aan de helft van de leveringstermijn en een herzieningsperiode gelijk aan het dubbele van de leveringstermijn, neemt het aantal significante verschillen bij de methode van Croston af, naarmate de vraagfrequentie toeneemt. Bij exponentiële afvlakking en het gewogen gemiddelde liggen de significante verschillen evenredig verdeeld over de drie waarden.

7.6.3.3 Vergelijking van de voorraadmodellen

De 81 simulaties tonen significante verschillen in de kosten en de prestaties tussen de verschillende voorraadmodellen. Uit de tabellen 7.11, 7.12 en 7.13 kan afgeleid worden dat de factor vraagfrequentie deze verschillen mogelijk beïnvloedt.

Zo vermindert het aantal negatieve significante resultaten voor de totale kosten, bij een herzieningsperiode gelijk aan of het dubbele van de leveringstermijn, naarmate de variabele een hogere waarde aanneemt. De positieve significante resultaten zijn gelijkmatig verdeeld over de drie waarden van de vraagfrequentie.

In de simulaties met een herzieningsperiode gelijk aan de helft van de leveringstermijn blijken zowel verschillen waargenomen te worden over de diverse vraaghoeveelheden als tussen de drie voorspellingsmethoden. Aldus kan bij een vraagfrequentie gelijk aan 0,10; voor exponentiële afvlakking en het gewogen gemiddelde, geen van beide voorraadmodellen als goedkoper beschouwd worden. Dit door de aanwezigheid van zowel negatieve als positieve significante

verschillen. Bij het gebruik van Croston's methode kunnen duidelijk meer negatieve dan positieve significante verschillen geconstateerd worden. Toch kan niet geconcludeerd worden dat het *order-up-to-level* model goedkoper is dan het *FOQ* model, doordat dit afhankelijk is van de waarden van de vier variabelen. Bij een vraagfrequentie gelijk aan 0,20 kan bij exponentiële afvlakking een evenredig aantal negatieve en positieve significante verschillen waargenomen worden. Bij de toepassing van Croston's methode zijn duidelijk meer negatieve verschillen dan positieve aanwezig. Echter bij het gewogen gemiddelde is het *S* model significant duurder dan het *FOQ* model. Voor een vraagfrequentie van 0,30 tenslotte is het *order-up-to-level* model zowel voor exponentiële afvlakking als voor het gewogen gemiddelde duurder dan het *FOQ* model. Indien de methode van Croston beschouwd wordt, kan geen van de beide voorraadtechnieken als goedkoper beschouwd worden. Afhankelijk van de interactie tussen de diverse variabelen, zal ofwel het *FOQ* model of het *S* model goedkoper zijn.

De vraagfrequentie blijkt duidelijk een invloed te hebben op de prestaties van de voorraadmodellen, doordat de significante prestatieverschillen zich enkel bij een vraagfrequentie van 0,10 bevinden.

7.6.4 De resultaten opgesplitst naar de bestelkost

De tabellen 7.14, 7.15 en 7.16 geven de significante resultaten weer bij een bestelkost gelijk aan respectievelijk 50€, 100€ en 200€ per bestelling.

			R=L	L=2R	R=2L
EA	S	Tk			
GG		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	1N		
		St-Op			
		St-Oe			
EA	S	Tk			
CR		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	5N	14N	8N
		St-Op			
		St-Oe			
GG	S	Tk			
CR		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	11N	16N	13N
		St-Op			
		St-Oe			

			EA	GG	CR
R=L	S	Tk	26N	26N	26N
		St-Op			
		St-Oe			
L=2R	Q	Tk	20N	16N	21N
		St-Op			
		St-Oe			
R=L	S	Tk	1N	1N	1N
		St-Op	1N	1N	1N
		St-Oe	1N	1N	1N
R=2L	Q	Tk	3P	2N en 1P	2N
		St-Op	1N	1N	1N
		St-Oe	1N	1N	
L=2R	S	Tk	27P	26P	27P
		St-Op	2N	1N	2N
		St-Oe	2N		2N
R=2L	Q	Tk	17P	11P	16P
		St-Op	1N	1N	1N
		St-Oe	1N	1N	

		EA	GG	CR
R=L	Tk	26N	23N	27N
	St-Op	3P	3P	3P
	St-Oe	3P	3P	3P
L=2R	Tk	9N	5N en 1P	17N
	St-Op	1P	1P	
	St-Oe		1P	
R=2L	Tk	25N	25N	27N
	St-Op	4P	3P	4P
	St-Oe	2P	2P	2P

Tabel 7.14: Aantal significantie resultaten bij een bestelkost = 50€ per bestelling

			R=L	L=2R	R=2L
EA GG	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
EA CR	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	3N	3N	6N
		St-Op			
		St-Oe			
GG CR	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	5N	13N	10N
		St-Op			
		St-Oe			

			EA	GG	CR
R=L L=2R	S	Tk	23N	22N	24N
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	9N	8N	15N
		St-Op	1N	1N	1N
		St-Oe			
R=L R=2L	S	Tk	1N		1N
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	1P		2N
		St-Op			
		St-Oe			
L=2R R=2L	S	Tk	22P	21P	25P
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	11P	1P	6P
		St-Op			
		St-Oe			

			EA	GG	CR
S-Q	R=L	Tk	17N	15N	20N
		St-Op	3P	3P	3P
		St-Oe	2P	3P	2P
	L=2R	Tk	4N en 8P	2N en 8P	9N
		St-Op	1P	1P	1P
		St-Oe			
	R=2L	Tk	20N	19N	25N
		St-Op	4P	4P	4P
		St-Oe	1P	1P	1P

Tabel 7.15: Aantal significantie resultaten bij een bestelkost = 100€ per bestelling

			R=L	L=2R	R=2L
EA GG	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
EA CR	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	1N	3N	1N
		St-Op			
		St-Oe			
GG CR	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	2N	9N	4N
		St-Op			
		St-Oe			

			EA	GG	CR
R=L L=2R	S	Tk	19N	17N	20N
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	2N	3N	3N
		St-Op			
		St-Oe			
R=L R=2L	S	Tk	1N	1N	1N
		St-Op		1N	
		St-Oe		1N	
	Q	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
L=2R R=2L	S	Tk	21P	18P	21P
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk		1P	2P
		St-Op			
		St-Oe			

			EA	GG	CR
S-Q	R=L	Tk	7N en 7P	7N en 8P	9N en 6P
		St-Op	4P	4P	4P
		St-Oe	4P	4P	4P
	L=2R	Tk	1N en 13P	1N en 14P	2N en 11P
		St-Op	1P	2P	1P
		St-Oe	1P	1P	1P
	R=2L	Tk	10N en 6P	7N en 6P	12N en 4P
		St-Op	4P	4P	4P
		St-Oe	3P	3P	3P

Tabel 7.16: Aantal significantie resultaten bij een bestelkost = 200€ per bestelling

7.6.4.1 Vergelijking van de voorspellingsmethoden

Het aantal significante verschillen tussen het gewogen gemiddelde, exponentiële afvlakking en Croston's methode neemt af, naarmate de bestelkost per bestelling toeneemt.

Bij een bestelkost van 50€ per bestelling is Croston's methode significant duurder dan exponentiële afvlakking en het gewogen gemiddelde wanneer het *FOQ* model gebruikt wordt en bij een herzieningsperiode gelijk aan de helft van de leveringstermijn. Wanneer de overige

herzieningsperioden toegepast worden, blijkt Croston's methode voornamelijk duurder dan het gewogen gemiddelde en in minder simulaties duurder dan exponentiële afvlakking.

7.6.4.2 Vergelijking van de herzieningsperioden

Ook bij het overlopen van de significante verschillen tussen de diverse herzieningsperioden, is een neerwaartse trend merkbaar. Deze neerwaartse trend zou verklaard kunnen worden doordat bij een hogere bestelkost, minder en grotere bestellingen geplaatst worden. Verwacht wordt dat een hogere bestelkost gecompenseerd wordt door minder bestellingen. Dit geldt zowel wanneer het *FOQ* model als het *order-up-to-level* model beschouwd worden. Bij een bestelkost van 50€ per bestelling is het aantal significante verschillen tussen een herzieningsperiode gelijk aan de helft van de leveringstermijn en de overige herzieningsperioden bijna maximaal wanneer het *order-up-to-level* model gebruikt wordt.

7.6.4.3 Vergelijking van de voorraadmodellen

Zoals de resultaten over de 81 simulaties weergeven, bestaan significante kostenverschillen tussen de verscheidene voorraadmodellen. Indien de resultaten opgedeeld zijn naar de factor bestelkost, kan een zekere spreiding waargenomen worden.

Bij een bestelkost ter waarde van 50€ per bestelling is het aantal significante verschillen bij een herzieningsperiode gelijk aan of het dubbele van de leveringstermijn bijna maximaal. Het *FOQ* model is significant duurder dan het *order-up-to-level* model. Deze verschillen nemen echter af, naarmate de bestelkost duurder wordt. Indien een bestelkost ter waarde van 200€ per bestelling beschouwd wordt, kan geen besluit gevormd worden, doordat zowel negatieve als positieve resultaten gespreid liggen over de 27 simulaties. Opmerkelijk hierbij is dat de positieve resultaten die zich hier bevinden de enige zijn over de 81 simulaties. Bovenstaande zou verklaard kunnen worden, doordat bij een lage bestelkost vele en kleine bestellingen geplaatst worden. S is dan de betere politiek, wat kan wijzen op het feit dat S nauwkeuriger inspeelt door de variabele bestelgrootte.

Bij de toepassing van een herzieningsperiode gelijk aan de helft van de leveringstermijn kunnen verschillen waargenomen worden over de diverse voorspellingsmethoden. Hier neemt eveneens het aantal negatieve significante resultaten af en de positieve significante resultaten toe, naarmate de bestelkost in waarde stijgt. Aldus kan bij een bestelkost van 50€ per bestelling het *FOQ* model significant duurder beschouwd worden dan het *order-up-to-level* model, maar is dit het meeste uitgesproken voor de Croston methode en het minste voor het gewogen gemiddelde. Bij het gewogen gemiddelde kan immers ook een positief significant verschil waargenomen worden. Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat de methode van Croston toch in enkele situaties nauwkeuriger presteert en dat bij het *order-up-to-level* model hier efficiënter zou kunnen op ingespeeld worden. Bij het *FOQ* model dienen namelijk vaste bestelhoeveelheden besteld te worden. Bijgevolg bestaat de mogelijkheid dat de nauwkeurigheid van de methode van Croston eerder tot uiting komt bij kleinere bestelhoeveelheden.

Een bestelkost van 100€ per bestelling vertoont nog steeds dat het *order-up-to-model* goedkoper is dan het *FOQ* model bij de methode van Croston, maar bij de overige voorspellingsmethoden zijn meer positieve resultaten aanwezig dan negatieve. Bij een bestelkost gelijk aan 200€ tenslotte worden overwegend positieve betrouwbaarheidsintervallen waargenomen, waardoor het *FOQ* model voor de meeste situaties goedkoper is dan het *order-up-to-level* model.

7.6.5 De resultaten opgesplitst naar de opslagkost

De tabellen 7.17, 7.18 en 7.19 geven de significante resultaten weer bij een opslagkost gelijk aan respectievelijk 1€, 2€ en 4€ per eenheid.

			R=L	L=2R	R=2L								
EA GG	S	Tk				EA GG	S	Tk	15N	14N	17N		
		St-Op						St-Op					
		St-Oe						St-Oe					
	Q	Tk						EA CR	S	Tk			
		St-Op								St-Op			
		St-Oe								St-Oe			
Q	Tk		3N	2N	EA CR	S	Tk						
	St-Op						St-Op						
	St-Oe						St-Oe						
S	Tk						GG CR	S	Tk				
	St-Op								St-Op				
	St-Oe								St-Oe				
Q	Tk	3N	7N	7N	GG CR	Q			Tk				
	St-Op								St-Op				
	St-Oe								St-Oe				

			R=L	L=2R	R=2L	EA	GG	CR
R=L L=2R	S	Tk				15N	14N	17N
		St-Op						
		St-Oe						
	Q	Tk				7N	5N	7N
		St-Op						
		St-Oe						
R=L R=2L	S	Tk						
		St-Op				1N	1N	1N
		St-Oe						
	Q	Tk						
		St-Op						
		St-Oe						
L=2R R=2L	S	Tk				17P	14P	20P
		St-Op				2N	1N	2N
		St-Oe				2N		2N
	Q	Tk				4P	2P	2P
		St-Op						
		St-Oe						

			EA	GG	CR
S-Q	R=L	Tk	8N en 7P	5N en 7P	11N en 6P
		St-Op	3P	3P	3P
		St-Oe	3P	3P	3P
	L=2R	Tk	1N en 16P	16P	3N en 9P
		St-Op	2P	3P	2P
		St-Oe		1P	
	R=2L	Tk	10N en 6P	8N en 6P	16N en 4P
		St-Op	5P	5P	5P
		St-Oe	3P	3P	3P

Tabel 7.17: Aantal significantie resultaten bij een opslagkost = 1€ per eenheid

			R=L	L=2R	R=2L						
EA GG	S	Tk				R=L L=2R	S	Tk	26N	24N	26N
		St-Op						St-Op			
		St-Oe						St-Oe			
	Q	Tk	1N				Q	Tk	11N	9N	15N
		St-Op						St-Op		1N	
		St-Oe						St-Oe			
EA CR	S	Tk				R=L R=2L	S	Tk			
		St-Op						St-Op			
		St-Oe						St-Oe			
	Q	Tk	4N	7N	5N		Q	Tk		2N	3N
		St-Op						St-Op			
		St-Oe						St-Oe			
GG CR	S	Tk				L=2R R=2L	S	Tk	26P	24P	26P
		St-Op						St-Op			
		St-Oe						St-Oe			
	Q	Tk	6N	12N	8N		Q	Tk	8P	3P	9P
		St-Op						St-Op			
		St-Oe						St-Oe			

			EA	GG	CR
S-Q	R=L	Tk	17N	15N en 1P	18N
		St-Op	1P	1P	1P
		St-Oe	1P	1P	1P
	L=2R	Tk	3N en 4P	2N en 6P	10N en 2P
		St-Op			
		St-Oe			
	R=2L	Tk	18N	18N	21N
		St-Op	3P	3P	3P
		St-Oe	1P	1P	1P

Tabel 7.18: Aantal significantie resultaten bij een opslagkost = 2€ per eenheid

			R=L	L=2R	R=2L						
EA GG	S	Tk				R=L L=2R	S	Tk	27N	27N	27N
		St-Op						St-Op			
		St-Oe						St-Oe			
	Q	Tk					Q	Tk	13N	13N	17N
		St-Op						St-Op	1N		1N
		St-Oe						St-Oe			
EA CR	S	Tk				R=L R=2L	S	Tk	3N	2N	3N
		St-Op						St-Op	1N	1N	1N
		St-Oe						St-Oe	1N	2N	1N
	Q	Tk	5N	10N	8N		Q	Tk	4P	1P	1N
		St-Op						St-Op	1N	1N	1N
		St-Oe						St-Oe	1N	1N	
GG CR	S	Tk				L=2R R=2L	S	Tk	27P	27P	27P
		St-Op						St-Op			
		St-Oe						St-Oe			
	Q	Tk	9N	19N	12N		Q	Tk	16P	8P	13P
		St-Op						St-Op			
		St-Oe						St-Oe			

			EA	GG	CR
S-Q	R=L	Tk	25N	25N	27N
		St-Op	6P	6P	6P
		St-Oe	5P	6P	5P
	L=2R	Tk	10N en 1P	6N en 1P	15N
		St-Op	1P	1P	
		St-Oe	1P	1P	1P
	R=2L	Tk	27N	25N	27N
		St-Op	4P	3P	4P
		St-Oe	2P	2P	2P

Tabel 7.19: Aantal significantie resultaten bij een opslagkost = 4€ per eenheid

7.6.5.1 Vergelijking van de voorspellingsmethoden

De significantie van de verschillen tussen de diverse voorspellingsmethoden neemt toe bij een hogere waarde van de opslagkost.

7.6.5.2 Vergelijking van de herzieningsperioden

Een vergelijking tussen de verschillende herzieningsperioden duidt eveneens op een opwaartse trend, wat verwacht kan worden doordat bij een hogere opslagkost mogelijk meer en kleinere

bestellingen geplaatst worden. Verwacht wordt immers dat een hogere opslagkost gecompenseerd wordt door meer bestellingen en hierdoor elke periode minder voorraad dient aangehouden te worden. Dit zowel wanneer het *order-up-to-level* als het *FOQ* model gebruikt wordt. Indien het *order-up-to-level* model beschouwd wordt bij een opslagkost van 4€ per eenheid, is de toepassing van een herzieningsperiode gelijk aan de helft van de leveringstermijn duidelijk duurder dan de toepassing van de overige herzieningsperioden. Het aantal significante verschillen is hier namelijk maximaal.

7.6.5.3 Vergelijking van de voorraadmodellen

De tabellen 7.17, 7.18 en 7.19 geven ook verschillen aan tussen de twee voorraadmodellen over de drie bedragen van de opslagkost. Zo vermeerderd het aantal negatieve significante kostenverschillen, bij een herzieningsperiode gelijk aan of het dubbele van de leveringstermijn, wanneer de opslagkost stijgt in waarde. Deze opwaartse trend is het grootst bij de overgang van een opslagkost van 1€ naar 2€ per eenheid. Opmerkelijk is dat de positieve significante kostenverschillen zich bijna enkel bevinden bij een opslagkost van 1€ per eenheid. Hierdoor kan bij deze waarde niet geconcludeerd worden dat het *FOQ* model duurder is dan het *order-up-to-level* model, vermits dit afhankelijk is van de combinatie van de waarden van de overige drie variabelen. Wel dient bemerkt te worden dat bij de methode van Croston het verschil tussen de negatieve en positieve resultaten groter is.

Wanneer gebruik gemaakt wordt van een herzieningsperiode gelijk aan de helft van de leveringstermijn, kan eveneens een neerwaartse trend waargenomen worden over de positieve resultaten en een opwaartse trend over de negatieve resultaten. Daarbij kunnen verschillen waargenomen worden tussen de diverse voorspellingsmethoden. Zo is bij een opslagkost van 1€ per eenheid het *order-up-to-level* model significant duurder bij exponentiële afvlakking en het gewogen gemiddelde, mits één positief betrouwbaarheidsinterval. Bij de methode van Croston kan het *FOQ* model niet goedkoper beschouwd worden over de 27 simulaties door de aanwezigheid van negatieve en positieve significante kostenverschillen.

Indien de opslagkost 2€ per eenheid bedraagt, is het aantal negatieve en positieve significante verschillen ongeveer gelijk voor exponentiële afvlakking en het gewogen gemiddelde, maar bevinden zich bij Croston's methode duidelijk meer negatieve kostenverschillen.

Bij een opslagkost van 4€ per eenheid is het *FOQ* model significant duurder dan het *order-up-to-level* model, maar geldt dit hoofdzakelijk wanneer Croston's methode beschouwd wordt. Een eventuele verklaring hiervoor kan zijn dat de methode van Croston toch in enkele gevallen nauwkeuriger presteert dan exponentiële afvlakking en het gewogen gemiddelde. De nauwkeurigheid zou tot uiting kunnen komen bij kleinere bestelhoeveelheden. De *FOQ* politiek zou hier vervolgens minder efficiënt kunnen op inspelen omwille van de vaste bestelhoeveelheden. Het bovengemelde werd eveneens vastgesteld bij een bestelkost van 50€ per bestelling.

De positieve significante prestatieverschillen tussen de twee voorraadmodellen zijn gespreid over de drie waarden van de opslagkost. Echter bij een opslagkost van 1€ per eenheid bevinden de meeste positieve betrouwbaarheidsintervallen zich bij een leveringstermijn gelijk aan de helft van de herzieningsperiode. Bij een opslagkost van 4€ daarentegen bevinden de meeste positieve significante verschillen zich bij een leveringstermijn gelijk aan de herzieningsperiode. Bijgevolg kan verwacht worden dat de opslagkost enige invloed heeft op deze spreiding.

7.6.6 De resultaten opgesplitst naar de tekortkost

De tabellen 8.17, 8.18 en 8.19 geven de significante resultaten weer bij een tekortkost gelijk aan respectievelijk 2,5€, 5€ en 10€ per eenheid.

			R=L	L=2R	R=2L
EA GG	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	1N		
		St-Op			
		St-Oe			
EA CR	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	1N	7N	6N
		St-Op			
		St-Oe			
GG CR	S	Tk			
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	4N	13N	8N
		St-Op			
		St-Oe			

			EA	GG	CR
R=L L=2R	S	Tk	24N	23N	26N
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	8N	9N	13N
		St-Op			
		St-Oe			
R=L R=2L	S	Tk	2N	1N	2N
		St-Op			
		St-Oe			
	Q	Tk	1P	2N	3N
		St-Op			
		St-Oe			
L=2R R=2L	S	Tk	25P	23P	26P
		St-Op	2N	1N	2N
		St-Oe	2N		2N
	Q	Tk	9P	3P	9P
		St-Op			
		St-Oe			

			EA	GG	CR
S-Q	R=L	Tk	17N en 3P	16N en 3P	19N en 3P
		St-Op	2P	2P	2P
		St-Oe	2P	2P	2P
	L=2R	Tk	4N en 7P	2N en 7P	10N en 3P
		St-Op	1P	1P	
		St-Oe		1P	
	R=2L	Tk	19N en 3P	16N en 3P	22N en 2P
		St-Op	4P	3P	4P
		St-Oe	1P	1P	1P

Tabel 7.20: Aantal significantie resultaten bij een tekortkost = 2,5 € per eenheid

			R=L	L=2R	R=2L						
EA GG	S	Tk				EA CR	S	Tk			
		St-Op						Tk	22N	20N	22N
		St-Oe						St-Op			
	Q	Tk						St-Oe			
		St-Op						Tk	11N	9N	14N
		St-Oe						St-Op		1N	
EA CR	S	Tk				GG CR	S	Tk			
		St-Op						St-Op			
		St-Oe						St-Oe			
	Q	Tk	4N	7N	6N			Tk	3P	1P	
		St-Op						St-Op			
		St-Oe						St-Oe			
GG CR	S	Tk				L=2R R=2L	S	Tk	22P	19P	23P
		St-Op						St-Op			
		St-Oe						St-Oe			
	Q	Tk	7N	12N	10N			Tk	9P	5P	9P
		St-Op						St-Op			
		St-Oe						St-Oe			

			EA	GG	CR
S-Q	R=L	Tk	17N en 2P	14N en 3P	19N en 2P
		St-Op	4P	4P	4P
		St-Oe	4P	5P	4P
	L=2R	Tk	4N en 6P	3N en 7P	9N en 3P
		St-Op			
		St-Oe			
	R=2L	Tk	18N en 2P	18N en 2P	21N en 1P
		St-Op	3P	3P	3P
		St-Oe	1P	1P	1P

Tabel 7.21: Aantal significantie resultaten bij een tekortkost = 5€ per eenheid

			R=L	L=2R	R=2L											
EA GG	S	Tk				EA GG CR	S	Tk	22N	22N	22N					
		St-Op						St-Op								
		St-Oe						St-Oe								
	Q	Tk						R=L L=2R	Q	Tk	10N	9N	12N			
		St-Op								St-Op	1N		1N			
		St-Oe								St-Oe						
S	Tk				R=L R=2L		S			Tk	1N	1N	1N			
	St-Op									St-Op	2N	2N	2N			
	St-Oe									St-Oe	1N	2N	1N			
Q	Tk	4N	6N	3N					L=2R R=2L	Q	Tk			1N		
	St-Op										St-Op	1N	1N	1N		
	St-Oe										St-Oe	1N	1N			
S	Tk						GG CR				S	Tk	23P	23P	24P	
	St-Op											St-Op				
	St-Oe											St-Oe				
Q	Tk	7N	13N	7N						L=2R R=2L		Q	Tk	10P	5P	7P
	St-Op												St-Op	1N	1N	1N
	St-Oe												St-Oe	1N	1N	

			EA	GG	CR
S-Q	R=L	Tk	16N en 2P	15N en 2P	18N en 1P
		St-Op	4P	4P	4P
		St-Oe	3P	3P	3P
	L=2R	Tk	7N en 7P	3N en 9P	9N en 5P
		St-Op	2P	3P	2P
		St-Oe	1P	1P	1P
	R=2L	Tk	18N en 1P	17N en 1P	21N en 1P
		St-Op	5P	5P	5P
		St-Oe	4P	4P	4P

Tabel 7.22: Aantal significantie resultaten bij een tekortkost = 10€ per eenheid

7.6.6.1 Vergelijking van de voorspellingsmethoden

Bij het bestuderen van bovenstaande resultaten, kan geen trend waargenomen worden over de significante verschillen tussen de voorspellingsmethoden. Bij een herzieningsperiode gelijk aan de helft van de leveringstermijn blijken de significante betrouwbaarheidsintervallen evenredig verdeeld te zijn over de drie waarden van de tekortkost. Bij de overige herzieningsperioden liggen de significante verschillen gespreid over de drie waarden van de tekortkost. Hierdoor kan geen rechtstreeks verband verondersteld worden tussen de kostenverschillen bij de voorspellingsmethoden en de factor tekortkost.

7.6.6.2 Vergelijking van de herzieningsperioden

De tabellen van de vergelijkingen tussen de diverse herzieningsperioden geven geen trend aan. De significante resultaten zijn evenredig verdeeld over de drie waarden van tekortkost. Hieruit kan verondersteld worden dat de tekortkost geen bepalende factor is voor het verklaren van de verschillen tussen de herzieningsperioden.

7.6.6.3 Vergelijking van de voorraadmodellen

Wanneer tenslotte de betrouwbaarheidsintervallen bestudeerd worden tussen de voorraadmodellen kunnen variaties waargenomen worden over de drie waarden van de tekortkost.

Bij een herzieningsperiode gelijk aan of het dubbele van de leveringstermijn liggen zowel de negatieve als de positieve significante kostenverschillen evenredig gespreid over de 81 simulaties. De positieve overwegen duidelijk op de negatieve resultaten, waardoor het *order-up-to-level* model overwegend goedkoper is dan het *FOQ* model. Enkele combinaties van de variabelen vertegenwoordigen echter het omgekeerde.

Ondanks het feit dat de significante resultaten gespreid liggen, kunnen verschillen geobserveerd worden tussen de diverse voorspellingsmethoden indien de leveringstermijn het dubbele is van de herzieningsperiode. Een tekortkost ter waarde van 2,5€; 5€ en 10€ per eenheid tonen meer positieve dan negatieve significante kostenverschillen bij exponentiële afvlakking en het gewogen gemiddelde, maar meer negatieve dan positieve bij de methode van Croston.

Indien de herzieningsperiode gelijk is aan de leveringstermijn bevinden de meeste significante prestatieverschillen zich bij een tekortkost van 5€ per eenheid. Bij een herzieningsperiode gelijk aan de helft of het dubbele van de leveringstermijn lijken de prestatieverschillen zich voornamelijk te situeren bij een tekortkost ter waarde van 10€ per eenheid. Ondanks weinig in aantal, zou dit, afhankelijk van de combinatie tussen de verschillende variabelen, kunnen wijzen op een invloed van de tekortkost.

7.7 Conclusies praktijkonderzoek

In dit hoofdstuk werd een voorraadsysteem bestudeerd van een *slow-mover*. Door middel van simulaties werden de prestaties en de kosten van diverse voorspellingsmethoden en voorraadmodellen vergeleken.

In deze sectie worden de conclusies besproken van het praktijkonderzoek. Dit gebeurt voornamelijk met behulp van tabellen (zie ook 7.6.1). De toepassing van deze tabellen geeft een duidelijk overzicht van de waargenomen significante verschillen, opgesplitst naar de vier variabelen: vraagfrequentie, bestelkost, opslagkost en tekortkost. Deze tabellen kunnen vervolgens gebruikt worden voor verder onderzoek, doordat alle mogelijke trends hierin worden opgenomen.

7.7.1 Conclusies: vergelijking van de voorspellingsmethoden

Enkel wanneer het *FOQ* model beschouwd wordt, blijkt Croston's methode in bepaalde omstandigheden (= afhankelijk van de combinaties tussen de gewijzigde variabelen) significant duurder dan exponentiële afvlakking en het gewogen gemiddelde.

In tabel 7.23 worden deze significante verschillen en de waargenomen trends weergegeven.

		R=L			L=2R			R=2L		
		10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Vraagfrequentie	EA-CR Q TK	2N	2N	5N	9N	6N	5N	2N	6N	7N
		Aantal neemt toe met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt toe met de vraagfrequentie		
	GG-CR Q TK	3N	7N	8N	14N	13N	11N	4N	8N	15N
		Aantal neemt toe met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt toe met de vraagfrequentie		
		50 €	100 €	200 €	50 €	100 €	200 €	50 €	100 €	200 €
Bestelkost	EA-CR Q TK	5N	3N	1N	14N	3N	3N	8N	6N	1N
		Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie		
	GG-CR Q TK	11N	5N	2N	16N	13N	9N	13N	10N	4N
		Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie		
		1 €	2 €	4 €	1 €	2 €	4 €	1 €	2 €	4 €
Opslagkost	EA-CR Q TK		4N	5N	3N	7N	10N	2N	5N	8N
		Aantal neemt toe met de opslagkost			Aantal neemt toe met de opslagkost			Aantal neemt toe met de opslagkost		
	GG-CR Q TK	3N	6N	8N	7N	12N	19N	7N	8N	12N
		Aantal neemt toe met de opslagkost			Aantal neemt toe met de opslagkost			Aantal neemt toe met de opslagkost		
		2,5 €	5 €	10 €	2,5 €	5 €	10 €	2,5 €	5 €	10 €
Tekortkost	EA-CR Q TK	1N	4N	4N	7N	7N	6N	6N	6N	3N
		Spreiding van de resultaten over de 3 waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			Spreiding van de verschillen over de 3 waarden		
	GG-CR Q TK	4N	7N	7N	13N	12N	13N	8N	10N	7N
		Spreiding van de resultaten over de 3 waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			Spreiding van de verschillen over de 3 waarden		

Tabel 7.23: Overzicht van de significante verschillen tussen de voorspellingsmethoden

7.7.2 Conclusie: Vergelijking van de herzieningsperioden

De impact van de herzieningsperioden op de kosten is significant. Een herzieningsperiode gelijk aan de helft van de leveringstermijn is significant duurder dan de andere twee herzieningsperioden.

De kostenverschillen zijn minder onderscheidend indien het *FOQ* model gebruikt wordt.

In tabel 7.24 worden deze significante verschillen weergegeven, alsook de waargenomen trends. De overige significante verschillen worden niet weergegeven, omwille van het sporadische karakter.

		EA			GG			CR					
		10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%			
Vraagfrequentie	R=L	S	Tk	24N	22N	22N	24N	22N	19N	24N	22N	24N	
	L=2R			Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			
		Q	Tk	6N	14N	11N	4N	14N	9N	12N	16N	11N	
					Spreiding van de verschillen over de 3 waarden			Spreiding van de verschillen over de 3 waarden			Spreiding van de verschillen over de 3 waarden		
	L=2R R=2L	S	Tk	25P	22P	23P	24P	22P	19P	25P	23P	25P	
				Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			
Q		Tk	9P	9P	10P	4P	4P	5P	11P	8P	5P		
			Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			Aantal neemt af met de vraagfrequentie				
				50 €	100 €	200 €	50 €	100 €	200 €	50 €	100 €	200 €	
Bestelkost	R=L	S	Tk	26N	23N	19N	26N	22N	17N	26N	24N	20N	
	L=2R			Aantal neemt af met de bestelkost			Aantal neemt af met de bestelkost			Aantal neemt af met de bestelkost			
		Q	Tk	20N	9N	2N	16N	8N	3N	21N	15N	3N	
			Aantal neemt af met de bestelkost			Aantal neemt af met de bestelkost			Aantal neemt af met de bestelkost				
	L=2R R=2L	S	Tk	27P	22P	21P	26P	21P	18P	27P	25P	21P	
				Aantal neemt af met de bestelkost			Aantal neemt af met de bestelkost			Aantal neemt af met de bestelkost			
Q		Tk	17P	11P		11P	1P	1P	16P	6P	2P		
		Aantal neemt af met de bestelkost			Aantal neemt af met de bestelkost			Aantal neemt af met de bestelkost					
				1 €	2 €	4 €	1 €	2 €	4 €	1 €	2 €	4 €	
Opslagkost	R=L	S	Tk	15N	26N	27N	14N	24N	27N	17N	26N	27N	
	L=2R			Aantal neemt toe met de bestelkost			Aantal neemt toe met de bestelkost			Aantal neemt toe met de bestelkost			
		Q	Tk	7N	11N	13N	5N	9N	13N	7N	15N	17N	
			Aantal neemt toe met de bestelkost			Aantal neemt toe met de bestelkost			Aantal neemt toe met de bestelkost				
	L=2R R=2L	S	Tk	17P	26P	27P	14P	24P	27P	20P	26P	27P	
				Aantal neemt toe met de bestelkost			Aantal neemt toe met de bestelkost			Aantal neemt toe met de bestelkost			
Q		Tk	4P	8P	16P	2P	3P	8P	2P	9P	13P		
		Aantal neemt toe met de bestelkost			Aantal neemt toe met de bestelkost			Aantal neemt toe met de bestelkost					
				2,5 €	5 €	10 €	2,5 €	5 €	10 €	2,5 €	5 €	10 €	
Tekortkost	R=L	S	Tk	24N	22N	22N	23N	20N	22N	26N	22N	22N	
	L=2R			Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			
		Q	Tk	8N	11N	10N	9N	9N	9N	13N	14N	12N	
			Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			Evenredig verdeeld over de drie waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden				
	L=2R R=2L	S	Tk	25P	22P	23P	23P	19P	23P	26P	23P	24P	
				Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			
Q		Tk	9P	9P	10P	3P	5P	5P	9P	9P	7P		
		Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de 3 waarden					

Tabel 7.24: Overzicht van de significante verschillen tussen de herzieningsperioden

7.7.3 Conclusie: Vergelijking van de voorraadmodellen

De resultaten tonen significante verschillen in de kosten en de prestaties tussen de verschillende voorraadmodellen. Indien de herzieningsperioden gelijk aan of het dubbele is van de leveringstermijn, dan is het FOQ model significant duurder en presteert het FOQ model in enkele simulaties significant beter. In enkele simulaties echter is het FOQ model significant goedkoper dan het *order-up-to-level* model. Wanneer de herzieningsperiode gelijk is aan de helft van de leveringstermijn, is het moeilijk een besluit te vormen doordat zowel positieve als negatieve betrouwbaarheidsintervallen verspreid liggen over de 81 simulaties.

In tabel 7.25 en 7.26 worden deze significante verschillen weergegeven, alsook de waargenomen trends.

		EA			GG			CR			
		10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%	
Vraagfrequentie	R=L	Tk	18N en 3P	17N en 2P	15N en 2P	18N en 3P	16N en 2P	11N en 3P	19N en 2P	19N en 2P	18N en 2P
			Aantal N neemt af en aantal P ongeveer evenredig verdeeld			Aantal N neemt af en aantal P ongeveer evenredig verdeeld			Aantal N neemt af en aantal P ongeveer evenredig verdeeld		
		St-Op	10P			10P			10P		
			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie		
		St-Oe	9P			10P			9P		
			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie		
	L=2R	Tk	9N en 7P	5N en 7P	7P	8N en 8P	9P	6P	13N en 4P	11N en 4P	4N en 3P
			Aantal N neemt af en aantal P ongeveer evenredig verdeeld			Aantal N neemt af en aantal P ongeveer evenredig verdeeld			Aantal N neemt af en aantal P ongeveer evenredig verdeeld		
		St-Op	3P			4P			2P		
			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie		
		St-Oe	1P			2P			1P		
			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie		
R=2L	Tk	22N en 2P	18N en 2P	15N en 2P	19N en 2P	18N en 2P	14N en 2P	23N en 2P	21N en 1P	20N en 1P	
		Aantal N neemt af en aantal P ongeveer evenredig verdeeld			Aantal N neemt af en aantal P ongeveer evenredig verdeeld			Aantal N neemt af en aantal P ongeveer evenredig verdeeld			
	St-Op	12P			11P			12P			
		Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			
	St-Oe	6P			6P			6P			
		Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			Aantal neemt af met de vraagfrequentie			
		50 €	100 €	200 €	50 €	100 €	200 €	50 €	100 €	200 €	
Bestelkost	R=L	Tk	26N	17N	7N en 7P	23N	15N	7N en 8P	27N	20N	9N en 6P
			Aantal N neemt af en aantal P neemt toe met de bestelkost			Aantal N neemt af en aantal P neemt toe met de bestelkost			Aantal N neemt af en aantal P neemt toe met de bestelkost		
		St-Op	3P	3P	4P	3P	3P	4P	3P	3P	4P
			Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden		
		St-Oe	3P	2P	4P	3P	3P	4P	3P	2P	4P
			Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden		
	L=2R	Tk	9N	4N en 8P	1N en 13P	5N en 1P	2N en 8P	1N en 14P	17N	9N	2N en 11P
			Aantal N neemt af en aantal P neemt toe met de bestelkost			Aantal N neemt af en aantal P neemt toe met de bestelkost			Aantal N neemt af en aantal P neemt toe met de bestelkost		
		St-Op	1P	1P	1P	1P	1P	2P	1P	1P	1P
			Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden		
		St-Oe			1P	1P		1P			1P
			Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden		
R=2L	Tk	25N	20N	10N en 6P	25N	19N	7N en 6P	27N	25N	12N en 4P	
		Aantal N neemt af en aantal P neemt toe met de bestelkost			Aantal N neemt af en aantal P neemt toe met de bestelkost			Aantal N neemt af en aantal P neemt toe met de bestelkost			
	St-Op	4P	4P	4P	3P	4P	4P	4P	4P	4P	
		Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden			
	St-Oe	2P	1P	3P	2P	1P	3P	2P	1P	3P	
		Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden			Ongeveer evenredig verdeeld over de drie waarden			

Tabel 7.25: Overzicht van de significante verschillen tussen de voorraadmodellen

		EA			GG			CR				
		1 €	2 €	4 €	1 €	2 €	4 €	1 €	2 €	4 €		
		Aantal N neemt toe en aantal P af met de opslagkost										
Opslagkost	R=L	Tk	8N en 7P	17N	25N	5N en 7P	15N en 1P	25N	11N en 6P	18N	27N	
		St-Op	3P	1P	6P	3P	1P	6P	3P	1P	6P	
		St-Oe	3P	1P	5P	3P	1P	6P	3P	1P	5P	
		L=2R	Tk	1N en 16P	3N en 4P	10N en 1P	16P	2N en 6P	6N en 1P	3N en 9P	10N en 2P	15N
		St-Op	2P		1P	3P		1P	2P			
		St-Oe			1P	1P		1P			1P	
	R=2L	Tk	10N en 6P	18N	27N	8N en 6P	18N	25N	16N en 4P	21N	27N	
	St-Op	5P	3P	4P	5P	3P	3P	5P	3P	4P		
	St-Oe	3P	1P	2P	3P	1P	2P	3P	1P	2P		
	Tekortkost	R=L	Tk	2,5 €	5 €	10 €	2,5 €	5 €	10 €	2,5 €	5 €	10 €
			St-Op	2P	4P	4P	2P	4P	4P	2P	4P	4P
			St-Oe	2P	4P	3P	2P	5P	3P	2P	4P	3P
L=2R			Tk	4N en 7P	4N en 6P	6N en 7P	2N en 7P	3N en 7P	3N en 9P	10N en 3P	9N en 3P	9N en 5P
St-Op			1P		2P	1P		3P			2P	
St-Oe					1P	1P		1P			1P	
R=2L		Tk	19N en 3P	18N en 2P	18N en 1P	16N en 3P	18N en 2P	17N en 1P	22N en 2P	21N en 1P	21N en 1P	
St-Op		4P	3P	5P	3P	3P	5P	4P	3P	5P		
St-Oe		1P	1P	4P	1P	1P	4P	1P	1P	4P		

Tabel 7.26: Overzicht van de significante verschillen tussen de voorraadmodellen

8 Conclusies en verder onderzoek

In deze verhandeling werd de voorraadpolitiek rond slow-movers bestudeerd. De centrale onderzoeksvraag luidde als volgt:

“Wat is een optimale voorraadpolitiek voor slow-movers?”

In het eerste onderdeel van de verhandeling werden diverse voorspellingsmethoden en voorraadmodellen besproken die toegepast kunnen worden bij slow-moving items. In het tweede onderdeel werden door middel van een simulatiemodel in Microsoft Excel de interacties onderzocht tussen de voorraadmodellen en de voorspellingsmethoden. Ook werden de prestaties tussen de diverse modellen en methoden vergeleken. De resultaten werden opgesplitst naar vier variabelen: vraagfrequentie, bestelkost, opslagkost en tekortkost.

In deze sectie zullen de voornaamste bevindingen samengevat worden en zal aanleiding gegeven worden voor verder onderzoek.

8.1 Conclusies

In de bespreking van de literatuur werd reeds duidelijk dat grote onenigheid bestaat omtrent de bruikbaarheid van de diverse voorspellingsmethoden voor slow-movers. Zo tonen enkele auteurs, waaronder Croston (1972) en Willemain et al. (1994), aan dat de methode van Croston nauwkeurigere voorspellingen oplevert. Boylan en Syntetos (2001) daarentegen melden dat de methode van Croston enkel aan te raden is voor lage waarden van α ($<0,15$). Ook werden verschillende studies uitgevoerd om de drie voorspellingsmethoden bij slow-movers te vergelijken. In het algemeen blijkt exponentiële afvlakking, los van het gemiddeld aantal eenheden in voorraad, de beste methode wanneer het serviceniveau bestudeerd wordt. In termen van de kosten blijken Croston's methode en het gewogen gemiddelde ongeveer gelijkwaardig te presteren, terwijl exponentiële afvlakking uitkomt als de duurste methode.

In tegenspraak met de literatuur, tonen de resultaten van de simulaties uitgevoerd in deze verhandeling geen significante prestatieverschillen tussen de diverse voorspellingsmethoden.

Echter bij een bestelkost ter waarde van 50€ per bestelling en een opslagkost van 4€ per eenheid, lijkt de methode van Croston nauwkeuriger te presteren dan de overige voorspellingsmethoden bij de S politiek. Wel worden significante kostenverschillen waargenomen, maar niet in overeenstemming met de literatuur. Wanneer het FOQ model beschouwd wordt, blijkt Croston's methode in bepaalde gevallen significant duurder dan exponentiële afvlakking en het gewogen gemiddelde. Dit voornamelijk wanneer de herzieningsperiode gelijk is aan de helft van de leveringstermijn. In tegenstelling tot de literatuur, wordt tussen het gewogen gemiddelde en exponentiële afvlakking slechts één significant kostenverschil waargenomen.

De bekomen resultaten in deze verhandeling tonen significante kostenverschillen tussen de diverse herzieningsperiodes. Een herzieningsperiode gelijk aan de helft van de leveringstermijn is significant duurder dan de overige herzieningsperiodes. Het aantal significante verschillen is wel beduidend groter wanneer het *order-up-to-level* model gebruikt wordt.

In deze verhandeling werd gewerkt met twee periodieke herzieningssystemen: het (R, s, S) systeem en het (R, s, Q) systeem. In de literatuur wordt het (R, s, S) systeem theoretisch geacht het beste voorraadsysteem te zijn voor slow-movers (Sani en Kingsman, 1997). Het is aangetoond dat het beste (R, s, S) systeem lagere totale bestel-, opslag- en tekortkosten heeft dan eender welke andere vorm van een systeem. De FOQ politiek leidt wel tot minder fouten in de voorspelling van de productievereisten voor de leverancier (Silver et al., 1985 + 1998).

In het algemeen leiden de resultaten, bekomen in het praktijkonderzoek van deze verhandeling, tot conclusies overeenkomstig met de literatuur. Indien de herzieningsperiode gelijk aan of het dubbele is van de leveringstermijn, dan is het FOQ model significant duurder voor de meeste simulaties, behalve wanneer de bestelkost 200€ per bestelling en de opslagkost 1€ per eenheid bedraagt. Dit kan te verklaren zijn, doordat bij de overige waarden van opslagkost en bestelkost kleinere bestellingen geplaatst worden en de S politiek hier nauwkeurig op kan inspelen omwille van de variabele bestelgrootte. Bij een vraagfrequentie van 0,10 blijkt het FOQ model beter te presteren, door het significante kleiner aantal tekortperioden en -eenheden.

8.2 Verder onderzoek

Het gedrag van simulaties is zeer moeilijk te beschrijven omwille van de niet-lineaire reactie tussen de modelparameters. De resultaten bekomen in deze verhandeling wijzen op invloeden van de gewijzigde parameters: de vraagfrequentie, de bestelkost, de opslagkost en de tekortkost. Naar de toekomst toe, zou het interessant zijn deze mogelijke trends te onderzoeken door middel van het testen van hypotheses. Indien de trends vervolgens bevestigd worden, is het belangrijk de oorzaak hiervan te achterhalen. Door middel van de simulaties uitgevoerd in deze eindverhandeling, was het zeer moeilijk een eventuele oorzaak te achterhalen, doordat zoveel variabelen van belang zijn in een optimaal voorraadbeheer. Alles is afhankelijk van de combinatie van de waarden van deze variabelen en de interactie tussen deze variabelen. Het aantal significante verschillen in de resultaten was soms maar gering, maar juist dit wijst op specifieke combinaties die deze verschillen kenmerken, waardoor verdere studies aangeraden zijn.

Verder leek de tekortkost op het eerste zicht niet zo belangrijk te zijn, doch verwacht wordt dat de tekortkost relatief ten opzichte van de andere kosten toch van belang kan zijn. Bij een tekortkost ter waarde van 10€ per eenheid kunnen meer positieve prestatieverschillen waargenomen worden tussen de voorraadmodellen, wat wijst op een zekere invloed van de tekortkost.

Omwille van de onenigheid die bestaat in het gebied van de voorspellingsmethoden, kan dit nog verder behandeld worden. In de simulaties kwamen reeds enkele mogelijke invloeden naar boven. Zo zou het mogelijk kunnen zijn dat de methode van Croston toch nauwkeuriger is, maar dat dit slechts in bepaalde situaties tot uiting komt. Hierbij dient ook onderzocht te worden of de nauwkeurigheid al dan niet eerder tot uiting komt bij kleinere bestelhoeveelheden. Een ander aspect dat in dit opzicht verder onderzocht kan worden, is het gebruik van andere afvlakkingconstanten α . In de literatuur bemerken Syntetos en Boylan (2001) immers dat de methode van Croston enkel aan te raden is voor lage waarden van α ($<0,15$) en in deze verhandeling werd gewerkt met een α -waarde van 0,5. Aangezien Syntetos en Boylan (2005 en 2006) een aangepaste Croston methode ontwikkeld hebben, kunnen ook studies uitgevoerd worden aan de hand van deze methode.

Een laatste, maar zeker niet onbelangrijk aspect waar in volgende studies nadruk op gelegd kan worden, is het gebruik van reële gegevens. Het is noodzakelijk dat resultaten bekomen door middel van simulaties gestaafd kunnen worden aan de werkelijkheid.

Lijst van geraadpleegde werken

Boeken

Anderson, D.R., Sweeney, D.J. en Williams, T.A. (1997) *Statistiek voor economie en bedrijfskunde*, Academic Service, Schoonhoven.

Chase, Jacobs en Aquilano, (2006), eleventh edition, *Operations management for competitive advantage with global cases*, Irwin, McGraw-Hill.

Kelton, W. en Law, A.M. (1982), *Simulation modelling and analysis*, McGraw-Hill International Editions, Singapore.

Lambrecht, M. (1994), *Productie en voorraadbeheer*, Leuven, Wolters.

Ross, R.J. (1988), *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw Hill International Editions, Singapore.

Silver, E.A., Pyke, D.F. en Peterson, R. (1985, 1998), tweede en derde editie, *Inventory management and production planning and scheduling*, New York, Wiley.

Tersine, R. (1994) *Principles of inventory and materials management*, Prentice Hall, New Jersey.

Van Goor, A.R., Kruijtzter, A.H.I.M. en Esmeijer, G.W. (1993) *Goederenstroombesturing, voorraadbeheer en materials handling*, Stenfert Kroese, Groningen.

Artikels en wetenschappelijke publicaties

Altay, N., Rudisill, F. en Litteral, L.A. (2007), 'Adapting Wright's modification of Holt's method to forecasting intermittent demand', *International Journal of Production Economics*, doi:10.1016/j.ijpe.2007.01.009.

Barnette, J.J. en McLean, J.E. (1998) 'Protected versus Unprotected Multiple Comparison Procedures', *Mid-South Educational Research Association*, New Orleans, LA.

Bartezzaghi, E. en Verganti, R. (1995) 'Managing demand uncertainty through *order overplanning*', *International Journal of Production Economics*, 40, 107-120.

Bartezzaghi, E.; Verganti, R. en Zotteri, G. (1999) 'A simulation framework for forecasting uncertain lumpy demand', *International Journal of Production Economics*, 59, 499-510.

Bradford, J. en Sugrue, P. (1997) 'Estimating the demand pattern for C category items', *Journal of the Operational Research Society*, 48:5, 530-532.

Chandrasekhar, D., (1977), 'The (S-1,S) Inventory Model under Time Limit on Backorders', *Operations Research*, 25:5, 835-849.

Chen, E.J. en Kelton, W.D. (2008) 'Estimating steady-state distributions via simulated-generated histograms', *Computers and Operations Research*, 35, 1003-1016.

Croston, J.D. (1972) 'Forecasting and Stock Control for Intermittent Demands', *Operational Research Quarterly*, 23:3, 289-304.

Croston, J.D. (1974) 'Stock levels for slow-moving items', *Operational Research Quarterly*, 25:1, 123-130.

De Wit, J.R. (1983) 'Inventory problems with slow-moving items: A Bayesian approach', *The Statistician*, 32:1/2, 201-206.

Dolgui, A. en Pashkevich, M. (2007) 'Demand forecasting for multiple slow-moving items with short request history and unequal demand variance', *International Journal of Production Economics*, doi: 10.1016/j.ijpe.2007.07.008

Fisher, M. en Raman, A. (1996) 'Reducing the cost of demand uncertainty through accurate response to early sales', *Operations Research*, 44:1, 87-99

Ghobbar, A.A. en Friend, C.H. (2003) 'Evaluation of forecasting methods for intermittent parts demand in the field of aviation: a predictive model', *Computers & Operations Research*, 30, 2097-2114.

Glasserman, P. en Yao, D.D. (1992) 'Some guidelines and guarantees for common random numbers', *Management Science*, 38:6, 884-908.

Gutierrez, R. S., Solis, A.O. en Mukhopadhyay, S. (2007) 'Lumpy demand forecasting using neural networks', *International Journal of Production Economics*, doi: 10.

Haddock, J., Iyer, T. en Nagar, A. (1994) 'A heuristic for inventory management of slow-moving items', *Production Planning en Control*, 5:2, 163-174.

Heyvaert, A.C. en Hurt, A. (1956) 'Inventory management of slow-moving parts', *Operations Research*, 4, 572-580.

Johnston, F.R. en Boylan, J.E. (1996) 'Forecasting for items with intermittent demand', *The Journal of the Operational Research Society*, 47:1, 113-121.

Johnston, F.R. en Boylan, J.E. (1996) 'Variance law for inventory management', *International Journal of Production Economics*, 45, 343-352.

Kalpakam, S. en Sapna, K.P. (1998) 'Optimum ordering policies for expensive slow moving items', *Applications Mathematic Letters*, 11:3, 95-99.

Kennedy, W.J., Wayne Patterson, J. en D. Friendendall, L. (2002) 'On overview of recent literature on spare parts inventory', *International Journal of Production Economics*, 76, 201-215.

Kolsrud, D.O. (2008), 'Stochastic ceteris paribus simulations', *Computational Economics*, doi 10.1007/s10614-007-9105-3.

Levén, E. en Segerstedt A. (2004) 'Inventory control with a modified Croston procedure and Erlang distribution', *International Journal of Production Economics*, 90, 361-367.

Mitchell, G.H. (1962) 'Problems of controlling slow-moving engineering spares', *Operations Research*, 1, 23-39.

Nelson, B.L. en Yang, W. (1990) 'Using common random numbers and control variates in multiple-comparison procedures', *Operations Research*, 39:4, 583-591.

Regattieri, A., Gamberi, M., Gamberini, R. en Manzini, R. (2005) 'Managing lumpy demand for aircraft spare parts', *Journal of Air Transport Management*, 11, 426-431.

Sani, B. en Kingsman, B.G. (1997), 'Selecting the Best Periodic Inventory Control and Demand Forecasting Methods for Low Demand Items', *The Journal of the Operational Research Society*, 48:7, 700-713.

Silver, E.A., (1965), 'Bayesian determination of the reorder point of a slow moving item', *Operations Research*, 13:6, 989-997.

Snyder R. (2002) 'Forecasting sales of slow and fast moving inventories', *European Journal of Operational Research*, 140, 684-699.

Syntetos, A.A. en Boylan, J.E. (2001) 'On the bias of intermittent demand estimates', *International Journal of Production Economics*, 71, 457-466.

Syntetos, A.A. en Boylan, J.E. (2005) 'The accuracy of intermittent demand estimates', *International Journal of Forecasting*, 21, 303-314.

Syntetos, A.A. en Boylan, J.E. (2006a) 'Comments on the attribution of an intermittent demand estimator', *International Journal of Forecasting*, 22, 201.

Syntetos, A.A. en Boylan, J.E. (2006b) 'On the stock control performance of intermittent demand estimators', *International Journal of Production Economics*, 103, 36-47.

Syntetos, A.A. en Boylan, J.E. (2007) 'The accuracy of a Modified Croston procedure', *International Journal of Production Economics*, 107, 511-517.

Willemain, T.R., Smart, C.N., De Sautels, P.A. en Shockor J.H. (1994) 'Forecasting intermittent demand in manufacturing: a comparative evaluation of Croston's method', *International Journal of Forecasting*, 10, 529-538.

Willemain, T.R., Smart, C.N. en Schwarz, H.F. (2004) 'A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories', *International Journal of Forecasting*, 20, 375-387.

Williams, T.M. (1984) 'Stock control with sporadic and slow-moving demand', *The journal of the Operational Research Society*, 35:10, 939-948.

Bijlagen

Bijlage 1:

De berekeningen voor een vraagfrequentie van 20% en 30%.

Bijlage 2:

De berekeningen van de veiligheidsvoorraad, de vaste bestelhoeveelheid en het *order-up-to level* voor alle simulaties.

Bijlage 1:

Berekeningen voor een vraagfrequentie van 20% en 30%.

Experimentele opzet (2.2.2.2)

In deze sectie wordt de experimentele opzet van het simulatiemodel besproken voor de simulatie, waarbij:

Variabele	Symbool	Waarde 1
Vraagfrequentie	p_1	20%
Bestelkost per bestelling (in €)	C_o	100
Opslagkost per eenheid (in €)	C_h	2
Tekortkost per eenheid (in €)	C_s	5

De vraaggebeurtenis wordt gegeneerd door gebruik te maken van een eerste order Markov proces. De evenwichtskansen kunnen berekend worden door gebruik te maken van de volgende evenwichtsvergelijkingen:

$$p_0 = p_0 p_{00} + p_1 p_{10}$$

en

$$p_1 = p_0 p_{01} + p_1 p_{11}$$

waarbij,

$p_0 = 0,80$ en $p_1 = 0,20$. Aangezien p_{10} de kans is op geen bestelling in de volgende periode wanneer een bestelling geplaatst wordt in de huidige periode, dient deze hoger te zijn dan p_1 . Deze wordt vervolgens vastgelegd op 0,85. Hierbij dient te worden bemerkt dat verschillende transitie matrices mogelijk zijn, maar slechts één mogelijke transitie matrix gebruikt wordt. Dit leidt tot de volgende transitie matrix:

- Bijlage 1 -

$$T = \begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,7875 & 0,2125 \\ 0,85 & 0,15 \end{pmatrix}$$

De vraag grootte wordt gegenereerd volgens een Gammaverdeling met vormparameter $\lambda = 6$ en schaalparameter $\beta = 1$ (met gemiddelde = variantie = 6). Dit komt overeen met een gemiddelde en variantie van de geaggregeerde vraag van 1,2 en 6,96.

Op basis van deze gegevens worden de veiligheidsvoorraad VV , de vaste bestelhoeveelheid Q en het *order-up-to-level* S berekend voor drie verschillende waarden van de herzieningsperiode: $L = R$, $L = 2R$ en $R = 2L$, met L de leveringstermijn en R de herzieningsperiode. In onderstaande tabel worden deze waarden weergegeven:

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	11	11	11
Order-up-to-level S	10	13	12

Experimentele opzet (3.3.3.3)

In deze sectie wordt de experimentele opzet van het simulatiemodel besproken voor de eerste simulatie, waarbij:

Variabele	Symbol	Waarde 1
Vraagfrequentie	p_1	30%
Bestelkost per bestelling (in €)	C_o	200
Opslagkost per eenheid (in €)	C_h	4
Tekortkost per eenheid (in €)	C_s	10

De vraaggebeurtenis wordt gegeneerd door gebruik te maken van een eerste order Markov proces. De evenwichtskansen kunnen berekend worden door gebruik te maken van de volgende evenwichtsvergelijkingen:

$$P_0 = P_0 P_{00} + P_1 P_{10}$$

en

$$P_1 = P_0 P_{01} + P_1 P_{11}$$

waarbij,

$p_0 = 0,70$ en $p_1 = 0,30$. Aangezien p_{10} de kans is op geen bestelling in de volgende periode wanneer een bestelling geplaatst wordt in de huidige periode, dient deze hoger te zijn dan p_1 . Deze wordt vervolgens vastgelegd op 0,75. Hierbij dient te worden bemerkt dat verschillende transitie matrices mogelijk zijn, maar slechts één mogelijke transitie matrix gebruikt wordt. Dit leidt tot de volgende transitie matrix:

- Bijlage 1 -

$$T = \begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,6786 & 0,3214 \\ 0,75 & 0,25 \end{pmatrix}$$

De vraagrootte wordt gegenereerd volgens een Gammaverdeling met vormparameter $\lambda = 6$ en schaalparameter $\beta = 1$ (met gemiddelde = variantie = 6). Dit komt overeen met een gemiddelde en variantie van de geaggregeerde vraag van 1,8 en 9,36.

Op basis van deze gegevens worden de veiligheidsvoorraad VV , de vaste bestelhoeveelheid Q en het *order-up-to-level* S berekend voor drie verschillende waarden van de herzieningsperiode: $L = R$, $L = 2R$ en $R = 2L$, met L de leveringstermijn en R de herzieningsperiode. Deze worden in onderstaande tabel weergegeven:

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	14	14	14
Order-up-to-level S	12	16	14

Bijlage 2:

De berekeningen van de veiligheidsvoorraad, de vaste bestelhoeveelheid en het *order-up-to level* voor alle simulaties.

- Bijlage 2 -

Run 1:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	50
Opslagkost	1
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	6	6	6
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 2:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	50
Opslagkost	1
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	6	6	6
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 3:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	50
Opslagkost	2
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	6	6	6
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 4:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	100
Opslagkost	1
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	11	11	11
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 5:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	50
Opslagkost	2
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	6	6	6
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 6:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	100
Opslagkost	2
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	8	8	8
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 7:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	100
Opslagkost	1
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	7	7	7
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 8:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	100
Opslagkost	2
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	7	6
Fixed Order Quantity Q	11	11	11
Order-up-to-level S	8	9	8

- Bijlage 2 -

Run 9:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	50
Opslagkost	1
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	8	8	8
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 10:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	50
Opslagkost	4
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	4	4	4
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 11:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	200
Opslagkost	1
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	16	16	16
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 12:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	50
Opslagkost	4
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	4	4	4
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 13:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	200
Opslagkost	4
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	8	8	8
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 14:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	200
Opslagkost	1
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	16	16	16
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 15:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	200
Opslagkost	4
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	7	7	7
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 16:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	100
Opslagkost	2
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	8	8	8
Order-up-to-level S	8	9	8

- Bijlage 2 -

Run 17:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	100
Opslagkost	4
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	6	6	6
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 18:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	200
Opslagkost	2
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	11	11	11
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 19 :

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	200
Opslagkost	4
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	8	8	8
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 20:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	200
Opslagkost	2
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	11	11	11
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 21:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	100
Opslagkost	4
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	6	6	6
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 22:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	50
Opslagkost	2
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	6	6	6
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 23:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	100
Opslagkost	4
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	6	6	6
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 24 :

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	50
Opslagkost	4
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	4	4	4
Order-up-to-level S	8	9	8

- Bijlage 2 -

Run 25:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	200
Opslagkost	2
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	11	11	11
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 26:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	200
Opslagkost	1
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	16	16	16
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 27:

Vraagfrequentie	0,1
Bestelkost	100
Opslagkost	1
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	6	7	6
Fixed Order Quantity Q	11	11	11
Order-up-to-level S	8	9	8

Run 28:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	100
Opslagkost	2
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	11	11	11
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 29:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	100
Opslagkost	2
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	11	11	11
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 30:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	100
Opslagkost	1
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	16	16	16
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 31:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	50
Opslagkost	2
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	8	8	8
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 32:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	100
Opslagkost	1
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	16	16	16
Order-up-to-level S	10	13	12

- Bijlage 2 -

Run 33:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	50
Opslagkost	1
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	11	11	11
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 34:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	50
Opslagkost	2
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	8	8	8
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 35:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	50
Opslagkost	1
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	11	11	11
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 36:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	100
Opslagkost	2
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	11	11	11
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 37:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	100
Opslagkost	4
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	8	8	8
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 38:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	200
Opslagkost	2
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	16	16	16
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 39:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	100
Opslagkost	4
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	8	8	8
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 40:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	200
Opslagkost	4
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	16	16	16
Order-up-to-level S	10	13	12

- Bijlage 2 -

Run 41:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	200
Opslagkost	2
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	16	16	16
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 42:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	200
Opslagkost	7
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	11	11	11
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 43:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	200
Opslagkost	4
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	11	11	11
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 44:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	200
Opslagkost	1
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	22	22	22
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 45:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	50
Opslagkost	4
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	6	6	6
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 46:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	50
Opslagkost	1
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	11	11	11
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 47:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	50
Opslagkost	4
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	6	6	6
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 48:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	50
Opslagkost	4
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	6	6	6
Order-up-to-level S	10	13	12

- Bijlage 2 -

Run 49:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	200
Opslagkost	1
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	22	22	22
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 50:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	100
Opslagkost	1
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	16	16	16
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 51:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	100
Opslagkost	4
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	8	8	8
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 52:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	200
Opslagkost	1
Tekortkost	

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	22	22	22
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 53:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	200
Opslagkost	2
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	16	16	16
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 54:

Vraagfrequentie	0,2
Bestelkost	50
Opslagkost	2
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	8	8	8
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 55:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	200
Opslagkost	4
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	14	14	14
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 56:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	200
Opslagkost	4
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	14	14	14
Order-up-to-level S	12	16	14

- Bijlage 2 -

Run 57:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	200
Opslagkost	1
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	27	27	27
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 58:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	50
Opslagkost	4
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	7	7	7
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 59:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	200
Opslagkost	1
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	7	9	8
Fixed Order Quantity Q	22	22	22
Order-up-to-level S	10	13	12

Run 60:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	50
Opslagkost	1
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	14	14	14
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 61:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	50
Opslagkost	4
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	7	7	7
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 62:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	50
Opslagkost	1
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	14	14	14
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 63:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	200
Opslagkost	4
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	14	14	14
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 64:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	200
Opslagkost	2
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	19	19	19
Order-up-to-level S	12	16	14

- Bijlage 2 -

Run 65:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	100
Opslagkost	4
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	10	10	10
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 66:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	200
Opslagkost	2
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	19	19	19
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 67:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	100
Opslagkost	2
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	14	14	14
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 68:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	100
Opslagkost	4
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	10	10	10
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 69:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	100
Opslagkost	2
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	14	14	14
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 70:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	100
Opslagkost	2
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	14	14	14
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 71:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	100
Opslagkost	1
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	27	27	27
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 72:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	50
Opslagkost	2
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	7	7	7
Order-up-to-level S	12	16	14

- Bijlage 2 -

Run 73:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	50
Opslagkost	1
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	7	7	7
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 74:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	50
Opslagkost	2
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	7	7	7
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 75:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	100
Opslagkost	1
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	19	19	19
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 76:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	200
Opslagkost	1
Tekortkost	5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	27	27	27
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 77:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	200
Opslagkost	2
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	19	19	19
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 78:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	50
Opslagkost	2
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	7	7	7
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 79 :

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	100
Opslagkost	1
Tekortkost	10

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	14	14	14
Order-up-to-level S	12	16	14

Run 80:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	50
Opslagkost	4
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	7	7	7
Order-up-to-level S	12	16	14

- Bijlage 2 -

Run 81:

Vraagfrequentie	0,3
Bestelkost	100
Opslagkost	4
Tekortkost	2,5

	R = L	L = 2R	R=2L
Veiligheidsvoorraad VV	8	10	8
Fixed Order Quantity Q	10	10	10
Order-up-to-level S	12	16	14

