
Voorraadbeheer- optimalisatie van een retailer

Bachelorscriptie

student:

A.A. Nazarian

voorzitter:

dr.ir. L.L.M. van der Wegen

begeleider:

dr. J.M.G. Heerkens



Openbare, geanonimiseerde uitgave

Universiteit Twente

Enschede, 23 oktober 2015

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	2
Voorwoord	4
Samenvatting	5
Inleiding	6
1) Het voorraadbeheer	7
1.1 Beslissingen in de supply chain	7
1.2 Strategische afstemming	9
1.3 Supply chain prestaties	10
1.4 De voorraad	10
1.5 Samenvatting van het voorraadbeheer	12
2) Huidige situatie	13
2.1 Huidige voorraadprocessen	13
2.1.1 Strategische beslissingen	13
2.1.2 Bepaling van het voorraadniveau	14
2.1.3 Bepaling bestelhoeveelheid en bestelmoment	14
2.1.4 Afhandeling producten	15
2.2 Knelpunten	16
2.2.1 Model van knelpunten	16
2.2.2 Het hoofdprobleem	16
2.2.3 Conclusie van knelpunten en hoofdvraag	19
2.3 Probleemaanpak	19
2.3.1 Procedures en restricties	19
2.3.2 Terugkoppeling met literatuur	19
2.3.3 Te onderzoeken vragen	20
3) Literatuuronderzoek	22
3.1 Voorraad bij deterministische vraag	22
3.1.1 Beslissingen aangaande voorraad	22
3.1.2 Economic Order Quantity	23
3.2 Voorraad bij stochastische vraag	26
3.2.1 Backorders	26
3.2.2 Veiligheidsvoorraad	27
3.2.3 Replenishment Policies	28
3.2.4 Het meten van productbeschikbaarheid en service levels	30
3.2.5 Impact van centralisatie op veiligheidsvoorraad	32

3.3 Prioriteiten in voorraad	33
3.3.1 ABC-kwalificatie	33
3.4 Voorspelling	35
3.4.1 Kenmerken van voorspellingen	35
3.4.2 Time series voorspellingen	36
3.4.3 Causale voorspellingen en nauwkeurigheid	37
3.5 Samenvatting van het literatuuronderzoek	38
4) Oplossingsrichting	40
4.1 Reflectie op de huidige situatie	40
4.2 De gewenste situatie	42
4.2.1 ABC-kwalificatie toegepast	42
4.2.2 Data-verzameling	43
4.2.3 Analyse van de vraag	44
4.2.4 Analyse van de vraag tijdens levertijd	46
4.2.5 Resultaat - het standaardmodel	47
4.2.6 Resultaat - verbeterd model en bestelmodule	51
4.2.7 Resultaat - stappenplan van de uiteindelijke handelswijze	58
4.3 Implementatieplan	59
4.3.1 Stappenplan voor implementatie	59
4.3.2 Aanvullende aandachtspunten en toekomstige mogelijkheden	62
5) Conclusie	64
Referentielijst	66
Appendices	67
Appendix A - Cyclusvoorraad (aanvullend)	67
A.1 Volumekorting bij de EOQ	67
A.2 Betrouwbaarheid van EOQ	67
A.3 Bestellingen aggregeren	68
Appendix B - Aggregatie en tailored sourcing	71

Voorwoord

Deze bachelorscriptie is voor de opleiding Technische Bedrijfskunde aan de faculteit 'Behavioural, Management and Social Sciences' van de Universiteit Twente geschreven. Ik heb hierin getracht het voorraadbeheer van een internationale retailer van foto- en videoapparatuur die te verbeteren.

Het proces is erg interessant en plezierig geweest. Dergelijke opdrachten hebben me altijd het meeste geboeid. Onderwerpen die niet alleen praktisch van aard zijn, maar ook daadwerkelijk een bestaand bedrijf betreffen - waarin je verantwoordelijk kan zijn voor eventueel een (grote) verbetering. Ook heb ik veel interesse en overeenkomstige interesses met het bedrijf, aangezien hun branche (fotoapparatuur) in mijn interessegebied ligt en gezien de aangename en energieke reacties en begeleiding van het personeel.

Ik hoop van harte dat mijn onderzoek van enig nut is geweest voor het bedrijf en dat het belang van bepaalde aspecten duidelijk is geworden. Hen wil ik ook hartelijk bedanken voor de fijne samenwerking, alsmede mijn begeleiders op Universiteit Twente. Dit verslag is met veel genoegen geschreven, mede door deze prettige sfeer op alle fronten! Veel leesplezier!

Arthur Nazarian,

Enschede, 23 oktober 2015

Samenvatting

Het betrokken bedrijf is een retailer in de fotoapparatuur die met verschillende problemen kampt betreffende het voorraadbeheer. Deze scriptie beschrijft literatuuronderzoek over voorraadbeheer en vergelijkt dit met de huidige situatie van het bedrijf. De huidige processen binnen het bedrijf zijn in kaart gebracht door interviews af te nemen en bedrijfsdata te analyseren.

Zo blijkt dat het voorraadbeheer bij het bedrijf enige verbetering kan gebruiken aangezien er nauwelijks kwantitatieve onderbouwing gebruikt wordt in de uitvoering.

Dit verslag beschrijft een onderzoek dat is gedaan naar verschillende methoden die het bedrijf zullen helpen de voorraadprocessen te optimaliseren. Zo komt er aan de orde hoe producten ingedeeld kunnen worden naar de mate van aandacht en service die ze nodig hebben aan de hand van 'ABC-kwalificatie'; wanneer een product ingekocht moet worden is bepaald met 'review policies'; hoe groot de bestelhoeveelheid van producten zal zijn bleek onder andere met de 'Economic Order Quantity' te maken hebben; en welke mate van service er aan de klant geleverd moet worden heeft het 'Cyclus Service Level' als basis. Deze en meer technieken cumuleren tot een algeheel systeem waar kwantitatieve modellen de basis zijn voor de standaardinstellingen van de bestellingen. Dit systeem helpt de verantwoordelijken voor het voorraadbeheer goede en verantwoorde beslissingen te nemen waarbij kosten gereduceerd worden en de service naar klanten verbetert.

Vervolgens is een stappenplan opgesteld hoe dit nieuwe systeem door de verantwoordelijke kan worden toegepast met behulp van een voorbeeld-bestelmodule. Hier wordt getoond welke analytische tools er ter ondersteuning gebruikt kunnen worden en hoe een typisch bestelproces er uit kan zien. Daar kan het 'Cyclus Service Level' en de bestelhoeveelheid aangepast worden naar inzicht van de verantwoordelijke.

Tot slot wordt er beschreven hoe het systeem geïmplementeerd kan worden. Dat begint met de fundamentele aspecten als het groeperen van producten, databases aggregeren en het toewijzen van 'Cyclus Service Levels'. Dit zijn relatief kleine ingrepen waar ook het huidige systeem baat bij heeft. Vervolgens kan het systeem met de voorgestelde modellen ge-update worden en daarna getest worden met behulp van een simulatie en/of pilot. Volledige implementatie is hierna mogelijk en met het resultaat dat het bedrijf haar beleidsvoering betreffende de voorraad succesvol kan verbeteren.

Inleiding

Het bedrijf waar deze scriptie gedaan is zal voortaan “Firma Jansen” (fictieve naam) genoemd worden. Het is een bedrijf dat al lange tijd gespecialiseerd is in foto- en videoapparatuur. Naast een aantal fysieke winkels is het bedrijf in verschillende landen actief in de retail middels een webshop. Hierbij bedient men vele klanten met een groot assortiment. De afzetmarkt in Nederland loopt echter achteruit, en het bedrijf heeft in 2013 een groot aantal werknemers moeten ontslaan. Op veel vlakken is de afgelopen tijd bezuinigd en verscheidene processen zijn verbeterd. Het voorraadbeheer verloopt echter nog niet optimaal, en men hoopt ook dit te kunnen verbeteren.

De aanleiding van dit onderzoek zijn dan ook enerzijds de vele backorders en anderzijds de grote hoeveelheid producten die onnodig lang in de voorraad liggen. Het huidige voorraadbeheer leidt tot te hoge kosten en te weinig service.

De oorzaken voor de grote aantallen backorders en de producten die lang op voorraad liggen moeten aangepakt worden. Daarvoor zal in het eerste hoofdstuk in de literatuur onderzocht worden wat er bij voorraadbeheer komt kijken om een goed inzicht te krijgen naar welke variabelen belangrijk zijn voor een succesvol beleid wat betreft het voorraadbeheer. Daarna zal het huidige voorraadbeheer van Firma Jansen in het tweede hoofdstuk bekeken en met de literatuur vergeleken worden zodat eventuele discrepanties naar voren zullen komen. De focus zal dan in het derde hoofdstuk gelegd worden op aanvullend onderzoek naar de onderwerpen die van belang blijken te zijn om de situatie van het bedrijf te verbeteren. Het doel is de discrepanties te elimineren opdat Firma Jansen ook op het vlak van voorraadbeheer de processen kan verbeteren en zodoende geld kan besparen. In het vierde hoofdstuk zal vervolgens een aanbeveling gegeven worden aan de hand van de verkregen resultaten.

1) Het voorraadbeheer

Zoals in de aanleiding is aangegeven heeft Firma Jansen veel backorders en producten die te lang onverkocht blijven liggen - aspecten die te maken hebben met het voorraadbeheer. Om over de huidige situatie van het bedrijf iets te kunnen zeggen zal dit hoofdstuk aan de hand van literatuuronderzoek belichten wat er bij voorraadbeheer komt kijken. De focus zal gedurende de paragrafen bij algemene processen en beslissingen beginnen die invloed hebben op het voorraadbeheer en daarna naar het specifieke voorraadbeheer verschuiven. In het volgende hoofdstuk kan vervolgens gekeken worden naar de situatie bij Firma Jansen en deze vergelijken met de in dit literatuuronderzoek verkregen theorie.

Als eerste zal er naar de 'supply chain' gekeken worden, daarna hoe een afstemming in alle strategieën is te verkrijgen, en vervolgens naar welke aspecten er bij het tot stand brengen van de strategische afstemming komen kijken. De vierde paragraaf zal meer inzicht proberen te geven in de voorraad. Dit hoofdstuk is gebaseerd op *Supply Chain Management* (Chopra & Meindl, 2013)¹, dat een goed beeld geeft over de nodige onderwerpen op globaal niveau.

1.1 Beslissingen in de supply chain

Een 'supply chain' bestaat uit alle betrokken partijen die direct of indirect de wensen van een klant vervullen. Dit betreft de fabrikanten, leveranciers, transporteurs, magazijnen, retailers, en zelfs klanten zelf. Binnen elke organisatie bevat de supply chain alle handelingen die te maken hebben met het aanpakken van de vraag van de klant.

Het doel van elke supply chain is het maximaliseren van de totale verkregen waarde. De 'waarde' (ook 'supply chain surplus' genoemd) die een supply chain verzorgt is het verschil tussen de waarde voor de klant van het eindproduct en de kosten die de supply chain met zich meebrengt in het vervullen van de wensen van de klant. Samengevat geldt het volgende: *supply chain surplus = waarde voor klant - kosten van supply chain*.

Het maximaliseren van deze functie kan door de waarde die de klant toekent aan het eindproduct te maximaliseren en/of de kosten van de supply chain te minimaliseren.

Om dit te verwezenlijken moeten veel beslissingen genomen worden die gerelateerd zijn aan de stroom van informatie, van producten, en van kapitaal. Elke beslissing moet

¹ Chopra, S., & Meindl, P. (2013).

bijdragen aan het vergroten van de supply chain surplus. Deze beslissingen kunnen in drie fases geplaatst worden afhankelijk van de frequentie van elke beslissing en het tijdsbestek waarin de beslissing invloed heeft¹.

1. Supply Chain Strategie. Hierin beslist het bedrijf hoe hun structuur van de supply chain de komende jaren zal zijn - wat de configuratie precies zal zijn, hoe kapitaal wordt gealloceerd, en welke processen elk stadium zal bevatten. De strategie wordt meestal voor langere termijn bepaald, en is duur om op korte termijn te veranderen. Het gevolg is dat bedrijven rekening moeten houden met onzekerheden in de markt bij het maken van deze beslissingen.

2. Supply Chain Planning. De supply chain configuratie is al in de strategische fase bepaald en eisen en/of beperkingen zijn opgelegd waaraan de supply chain planning moet voldoen. Het doel van de supply chain planning is het maximaliseren van het supply chain surplus in een tijdsbestek van enkele maanden tot een jaar, de eisen/beperkingen in het oog houdend. Bedrijven beginnen de planningsfase met een voorspelling van de vraag en andere factoren, zoals de kosten en prijzen, van het komende jaar. Ook beslissingen over welke klanten van welke locaties bediend worden, welke leveranciers er gebruikt worden, welk voorraadbeheer er nagestreefd wordt, en de timing en grootte van marketing en promoties worden hier genomen. Het resultaat van de planningsfase is dat het bedrijf een operationeel beleid heeft gedefinieerd dat korte-termijn handelingen bepaalt.

3. Supply Chain Operaties. In deze fase neemt het bedrijf beslissingen die individuele bestellingen van klanten betreffen. Op operationeel niveau zijn de configuratie van de supply chain en het planningsbeleid al bepaald. Het doel van de operaties is de bestellingen te verwerken op de best mogelijke manier. In deze fase alloceert het bedrijf voorraad voor de bestellingen, geeft de bestellingen een planning, maakt een 'pick list', alloceert de bestelling naar een bepaalde verzendmethode, plant de verzending, en neemt bestellingen om de voorraad aan te vullen. Aangezien operationele beslissingen op korte termijn worden genomen (minuten tot dagen) is er minder onzekerheid over de vraag. Gegeven de eisen/beperkingen van de configuratie en het beleid van de planning is het doel van de operationele fase de vermindering van de onzekerheden te exploiteren en de prestaties te optimaliseren.

Hoewel de strategie grote invloed heeft op het voorraadbeheer, valt dit niet binnen de scope van dit onderzoek en zal er weinig aandacht aan worden besteed. De aanpak van het specifieke beheer van de voorraad wordt in de planningsfase gedaan, en vervolgens wordt deze dagelijks uitgevoerd in de operationele fase. De focus ligt in dit onderzoek bij het vinden van een juiste aanpak van het beheer van de voorraad; het gaat dus om de

planningsfase. De processen die vervolgens in de operationele fase aan bod komen zijn ook van belang, maar deze zijn afhankelijk van de bij de planningsfase verkregen aanpak voor het voorraadbeheer.

1.2 Strategische afstemming

Het succes van een bedrijf hangt niet alleen van het goed handelen in de drie bovengenoemde fases af.¹ Cruciaal is dat de algemene competitieve strategie ten opzichte van de concurrenten van het bedrijf afgestemd is op de supply chain strategie. Om deze strategische afstemming te bereiken moet het beleid op alle vlakken consistent gecoördineerd zijn om het totale competitieve doel te bereiken. De verschillende functies van het bedrijf moeten op de juiste wijze hun processen en kapitalen structureren om deze strategieën succesvol uit te voeren. Het ontwerp van de gehele supply chain en de rol van elke fase moet zo afgestemd dat het de supply chain strategie ondersteunt.

De eerste stap hierin is om de klant te begrijpen en de onzekerheden die hierbij komen kijken. Over het algemeen zal de vraag van de klant in verschillende segmenten verschillen waarbij de volgende onderwerpen belangrijk zijn:

- Welke kwantiteit van van elke product is er nodig? Sommige producten hebben veel vraag, en/of klanten willen direct een groot aantal per keer kopen, en voor andere producten kan het andersom zijn.
- Welke responstijd zullen klanten tolereren? Hoe snel moet men bepaalde informatie kunnen verschaffen en hoe snel moet het product geleverd zijn?
- Welke variëteit van de producten is nodig? Klanten kunnen bereid zijn meer te betalen als alle gewenste producten bij één bedrijf beschikbaar zijn.
- Welke mate van service is er nodig? Een klant die met spoed een bestelling wil plaatsen verwacht een hoge mate van productbeschikbaarheid en zal elders zijn aankoop doen als niet alle producten op voorraad zijn. Aan de andere kant zullen klanten het tolereren als een specifiek en/of duur product niet direct verkrijgbaar is.
- Welke prijs is geschikt? Klanten die bijvoorbeeld snel hun producten geleverd willen kunnen bereid zijn meer hiervoor te betalen.

Om de strategische afstemming te bereiken moet de aanpak van deze vragen overeenstemmen met de strategie en beleid van de supply chain van het bedrijf. Is de keuze om efficiënt (kostenbesparend, en naar de klant toe goedkoop) te zijn en de klanten te bedienen waarvan de vraag van de producten vrij zeker is? Of om responsief te zijn en de klanten een hoge mate van service te verlenen tegen een hogere prijs?

1.3 Supply chain prestaties

Een goede balans tussen de bovengenoemde responsiviteit en efficiëntie zal dus de strategie op een juiste manier afstemmen¹. Om iets over het wel of niet succesvol optreden van een bedrijf wat de supply chain en de responsiviteit/ efficiëntie betreft te kunnen zeggen, worden belangrijke aspecten bekeken die de prestatie van de supply chain beïnvloeden:

- Faciliteiten - de fysieke plekken in de supply chain met een bepaalde rol zoals opslag, montage, fabricage. Ook de locatie, capaciteit, en flexibiliteit hebben een groot effect op het functioneren van de supply chain.
- Transport - het verplaatsen van voorraad tussen verschillende punten in de supply chain. Dit kan met verschillende middelen, snelheden, routes.
- Informatie - data en analyse van de faciliteiten, voorraad, transport, kosten, prijzen, en klanten. De onderlinge informatieoverdracht is van groot belang op het functioneren van elk individueel aspect.
- Prijs - hoeveel het bedrijf voor haar producten en service vraagt te betalen. De prijs bepaalt het gedrag van klanten, en heeft dus veel invloed op het presteren van de supply chain.
- 'Sourcing' - wie welke activiteit in de supply chain zal uitoefenen. Voorbeelden zijn productie, levering, opslag, transport, en management van informatie. Op strategisch niveau betekent dit welke functies het bedrijf zelf zal doen, en welke het zal uitbesteden. De beslissingen hierin zullen zowel de efficiëntie als responsiviteit beïnvloeden
- Voorraad - bevat alle producten in de supply chain. Het veranderen van het voorraadbeleid kan drastisch de supply chain efficiëntie en responsiviteit beïnvloeden. Met name dit deel is voor Firma Jansen van belang, en dit zal in de onderstaande paragrafen uitgelicht worden

1.4 De voorraad

Nu de aan het voorraadbeheer voorafgaande processen wat betreft de strategie duidelijk zijn gemaakt, kan er gefocust worden op het voorraadbeheer zelf; dat is immers de essentie van dit onderzoek.

Met voorraad heeft iedereen te maken. Als je naar de supermarkt gaat koop je bijvoorbeeld brood, boter, en een pak suiker; dit verbruik je niet in één keer, maar het wordt in de (koel)kast opgeborgen voor toekomstig gebruik - dat is je voorraad. De strategische keuzes die hierin worden gemaakt (bijvoorbeeld vaak inkopen doen die je

alleen op dat moment nodig hebt, of in één keer veel inkopen en zo tijd besparen), kunnen echter verschillend zijn. Voor een verkooppunt als Firma Jansen is dat net zo.

In een ideale wereld zou een klant bij Firma Jansen aangeven wat hij wil kopen, de winkel bestelt dit product bij een leverancier, het product wordt ogenblikkelijk door de leverancier geleverd, en Firma Jansen kan gelijk de inkomsten van zijn verkoop innen. In dit geval is voorraad overbodig. Helaas werkt dit natuurlijk zo niet in de realiteit. Het proces van het bestellen van het product bij de leverancier en het daadwerkelijk geleverd krijgen is niet verwaarloosbaar. Doordat levertijd in de praktijk nooit verwaarloosbaar is, is er voorraad nodig om toch de klant iets te kunnen verkopen.²

Voorraad heeft een grote rol in een bedrijfsstrategie¹. De vorm, locatie, en hoeveelheid voorraad geven een bedrijf de mogelijkheid om efficiënt (kostenbesparend) maar niet responsief (slecht reagerend op de vraag) te zijn, of andersom - responsief maar met hogere kosten. Het doel van goed voorraadbeheer is om de juiste vorm, locatie, en kwantiteit van voorraad te vinden die het juiste niveau van respons geeft voor de laagst mogelijke prijs. Voor een goede strategie voor een retailer worden de volgende typen voorraden gedefinieerd:

Cyclusvoorraad is de gemiddelde hoeveelheid voorraad die gebruikt wordt om de vraag van de klanten te voorzien. Bedrijven kopen (of produceren) producten in grote aantallen om van de voordelen van volumebestellingen (of -producties) gebruik te maken. Een grotere bestelhoeveelheid heeft echter het gevolg dat andere kosten, zoals de opslagkosten, stijgen. Hierover moet een efficiënte afweging gemaakt worden.

Veiligheidsvoorraad is voorraad die wordt aangehouden voor het geval de vraag groter blijkt dan de verwachting - het is er dus om het onzekere karakter van de vraag op te vangen. Ook wordt de veiligheidsvoorraad gebruikt voor als de levertijd langer is dan gepland. In dat geval zou er aan klanten voor langere tijd uit voorraad geleverd moeten worden, en bij afwezigheid van een veiligheidsvoorraad zouden er backorders of zelfs 'lost sales' optreden. De mate van service naar de klant toe wordt dus door veiligheidsvoorraad bepaald. Hierbij zijn strategisch bepaalde momenten van bestellen van de voorraad cruciaal om een bepaalde servicegraad te kunnen hanteren.

Dus door de probabilistische aard van het tijdstip en de hoeveelheid van de vraag, en de niet exacte levertijden, moet er een veiligheidsvoorraad aangehouden worden. Hoe groter deze voorraad, des te hoger de mate van service er is, echter tegen hogere kosten.

² Slack, N., Chambers, S., & Johnston R. (2010)

Het belang van het verlenen van hoge service verschilt per product. Producten waar weinig vraag naar is worden '*slow moving items*' genoemd en producten die erg in trek zijn worden als '*fast-moving items*' bestempeld. Voor de laatste producten wordt typisch lagere service gegeven aangezien dit significant lagere kosten met zich meebrengt en de producten over het algemeen toch een kortere levertijd hebben.

Seizoensvoorraad¹ of anticipatievoorraad² wordt aangehouden om te anticiperen op voorspelbare variabiliteit in de vraag. Dit wil zeggen dat de voorraad van tevoren, in een rustiger seizoen, wordt verhoogd om de vraag in een komend druk seizoen te kunnen voorzien. Dit geldt als het bedrijf in het drukke seizoen niet de capaciteit heeft om in het drukke seizoen voldoende te produceren, of in het geval van een retailer - als de leverancier niet genoeg kan leveren. Ook kan het zijn dat het verhogen van de capaciteit meer kost dan het houden van extra voorraad het seizoen ervoor. Seizoensvoorraad wordt meestal kwalitatief bepaald.

1.5 Samenvatting van het voorraadbeheer

In dit hoofdstuk is gekeken naar de beslissingen over de supply chain die genomen worden in een bedrijf, die onderverdeeld kunnen worden in beslissingen op strategisch, plannings-, en operationeel niveau. De eerste en grootste beslissingen zijn van strategische aard, en deze moeten zo genomen worden dat er een strategische afstemming bereikt wordt (paragraaf 2). Hierbij gaat het vooral om de juiste balans van responsiviteit en efficiëntie te vinden en deze door te voeren naar de verschillende aspecten over de supply chain die in de derde paragraaf behandeld zijn. Eén van deze aspecten is het voorraadbeheer (paragraaf 4). De totale voorraad kan uit cyclusvoorraad, veiligheidsvoorraad, en seizoensvoorraad bestaan. Wanneer de strategie is bepaald, kan de juiste manier van deze verschillende voorraden beheren op de strategie worden afgestemd.

Zoals al aangegeven is de voorraad voornamelijk van belang voor dit onderzoek. Om met de situatie van Firma Jansen te kunnen vergelijken, zal gekeken worden naar de types voorraad (cyclus-, veiligheids-, en seizoensvoorraad) en hoe het bedrijf hiermee omgaat. De manier van het toepassen van responsiviteit/ efficiëntie zijn van belang voor de vergelijking van de huidige en de 'gewenste' situatie. Eén van de variabelen is de manier waarop Firma Jansen prioriteit geeft aan verschillende producten en het voorraadbeleid hierop aanpast. Andere variabelen zijn de beslissingen omtrent bestelhoeveelheid (bij de cyclusvoorraad) en bestelmoment (veiligheidsvoorraad).

2) Huidige situatie

Nu het eerste hoofdstuk duidelijk heeft gemaakt welke variabelen invloed op het voorraadbeheer hebben en wat er specifiek bij voorraad daarna beheerd kan worden, zal dit volgende hoofdstuk de huidige situatie van Firma Jansen met behulp van dezelfde aspecten van het eerste hoofdstuk beschrijven om vervolgens iets te kunnen zeggen over eventuele discrepanties tussen de theorie en de huidige situatie. De variabelen hoe er prioriteit aan producten wordt gegeven en hoe er wordt omgegaan met de bestelhoeveelheid en bestelmoment komen hier terug.

De strategische beslissingen van het bedrijf worden in de eerste paragraaf beschreven. Het voorraadbeheer bestaat uit een aantal processen, zoals de bepaling van het voorraadniveau, de bestelling van nieuwe producten, en het verwerken van deze bestellingen. Deze worden in de tweede paragraaf beschreven. In de derde paragraaf zullen eventuele knelpunten betreffende het voorraadbeheer in de huidige situatie bij Firma Jansen bekeken worden en er zal een conclusie getrokken worden over nader te onderzoeken vragen om deze knelpunten op te lossen. De vierde paragraaf zal de probleemaanpak hiervoor beschrijven.

2.1 Huidige voorraadprocessen

De situatie is in dit hoofdstuk met behulp van interviews met de medewerkers en onderzoek in het gebruikte ERP-pakket³ ('Enterprise Resource Planning' - een geïntegreerd computersysteem dat alle informatie omtrent het functioneren van het bedrijf beheert) van Firma Jansen bepaald. De interviews zijn één op één met de verschillende medewerkers gedaan aan de hand van vooraf bepaalde onderwerpen. De directeur, coördinator, bedrijfsleider van de winkel en de medewerkers van de inkoop, telefonische afdeling en financiële afdeling zijn geïnterviewd.

2.1.1 Strategische beslissingen

Op strategisch niveau heeft Firma Jansen de in het eerste hoofdstuk genoemde onderwerpen reeds behandeld. De inkoopafdeling is bijvoorbeeld bezig met de variëteit van producten en het vinden van nieuwe aantrekkelijke producten. De beslissingen over de balans van efficiëntie en responsiviteit worden per product op kwalitatieve wijze genomen. Zo wordt er over de juiste prijs nagedacht, over de responstijd, over de service, en dit wordt ook onder andere met de concurrenten vergeleken. Zoals gezegd valt de

³ ERP-systeem, naam anoniem

strategische fase niet binnen de scope van dit onderzoek, en er zijn ook geen bijzondere grote problemen in deze fase ontdekt die invloed kunnen hebben op het voorraadbeheer waar het onderzoek over gaat. Vanaf nu zal dit onderzoek zich alleen op de planningsfase richten totdat er een conclusie kan worden getrokken waarna de bijbehorende operationele fase ook belicht zal worden.

2.1.2 Bepaling van het voorraadniveau

De planningsfase bevat onder andere de bepaling van het juiste voorraadniveau die de strategie ondersteunt. De daadwerkelijke hoeveelheid die door Firma Jansen besteld wordt bij de leverancier en gedistribueerd wordt tussen de twee filialen en het magazijn is onder andere afhankelijk van de 'minimum voorraad' die een bepaald product heeft. Dit is een bepaalde voorraadhoeveelheid die door de verantwoordelijke is ingesteld, waarvoor geldt dat als het voorraadpeil onder deze minimum voorraad daalt, het systeem een hoeveelheid zal adviseren te bestellen dat het huidige voorraadpeil precies tot de minimum voorraad aanvult. In geval van de filialen zullen deze producten bij het centrale magazijn 'besteld' worden, en als het magazijn hiervoor te weinig voorraad heeft en zelf onder de minimum voorraad komt, zal het vervolgens bij de leveranciers de bestellingen moeten doen.

De prioriteit van producten en de daadwerkelijke hoeveelheid van de minimum voorraad wordt kwalitatief bepaald - men probeert intuïtief en met ervaring het juiste voorraadpeil hiervoor in te stellen. Een helpende factor is de 'omloopsnelheid' - deze geeft aan hoe lang een product gemiddeld in de voorraad ligt voordat het verkocht wordt. De voorraad van het magazijn en van Winkel A worden centraal bepaald; de voorraad van Winkel B door een lokale verantwoordelijke.

2.1.3 Bepaling bestelhoeveelheid en bestelmoment

Een voorbeeld om het bestelproces met behulp van de minimum voorraad te verduidelijken: stel dat een product een ingestelde minimum voorraad van 10 stuks heeft, en er worden een bepaald aantal exemplaren verkocht waardoor het peil tot 8 stuks daalt. Indien er vervolgens gekozen wordt om bestellingen bij de leveranciers te plaatsen, zal het systeem voor dit product een hoeveelheid van 2 stuks adviseren te bestellen.

In de literatuur komt dit overeen met een (R,S)-beleid, waarbij op elk tijdsinterval van 'R' de situatie van de voorraad bekeken wordt en vervolgens een aantal besteld dat het voorraadpeil tot 'S' aanvult.¹⁴ Firma Jansen plaatst elke twee dagen bestellingen, dus 'R' is gelijk aan 2 of 2/7 als het per week bekeken wordt. 'S' ('minium voorraad') wordt echter meer als een 'trigger' gebruikt bij Firma Jansen. Het systeem zal weliswaar volgens

⁴ Winston, W.L. (2004)

het eerder gebruikte voorbeeld een bestelhoeveelheid van 2 stuks adviseren, maar Firma Jansen stelt dit aantal altijd bij. De 'S' is dus eigenlijk in de uitvoering meer een bestelpunt of bestelmoment, en dit is volgens de literatuur een 's' (geen hoofdletter).

Praktisch wordt er dus een (R,s)-beleid uitgevoerd: elke 'R' intervallen wordt er gekeken of het voorraadpeil tot 's' of lager is gedaald, en in dat geval wordt er een bestelling geplaatst. De exacte hoeveelheid wordt dan kwalitatief bepaald.

Terugkomend naar de situatie van het bedrijf - het systeem zal tijdens de het bestelproces met een druk op de knop een lijst van alle te bestellen producten en hun hoeveelheid (die de producten aanvult tot de "minimum voorraad") genereren. Ook wordt de lijst ingedeeld per leverancier, zodat bestellingen daarna makkelijk bij elke leverancier geplaatst kunnen worden. Hiervoor is bij de producten een standaard-leverancier ingesteld, met eventueel andere leveranciers als mogelijkheid. Ook de prijzen per leverancier zijn hierin opgenomen.

Vervolgens zal de verantwoordelijke de lijst bekijken en eventueel naar eigen inzicht, kwalitatief, de bestelhoeveelheden aanpassen en of een andere leverancier dan de standaard ingestelde leverancier te kiezen. Factoren hiervoor zijn wederom de omloopsnelheid en de intuïtieve kennis van andere zaken als geschatte levertijd en geschatte verandering van de vraag.

Als de lijst definitief is gemaakt wordt hij doorgestuurd naar de administratie die de daadwerkelijke bestellingen bij de leveranciers plaatsent.

De bovengenoemde beslissingen worden op twee plekken genomen - centraal voor het magazijn en Winkel A en als tweede plek in Winkel B.

2.1.4 Afhandeling producten

Het systeem van Firma Jansen houdt nauwkeurig de huidige voorraadpeil en - locatie bij. Praktisch betekent dit dat als producten geleverd worden door de leverancier, ze gescand worden en automatisch met de bijbehorende leverbon gecontroleerd worden. Eventuele discrepanties kunnen dan direct aangepakt worden.

Vervolgens worden de producten gealloceerd aan hun vooraf ingestelde locatie: voor de twee filialen is een bepaald voorraadvolume bepaald, en de overgebleven producten blijven in het magazijn. Als de producten daadwerkelijk in hun bestemde plek in het magazijn worden geplaatst, verschijnen ze in het systeem als "beschikbaar" en zal de website dit ook automatisch direct updaten.

Bij inname van de producten bij de filialen worden ze ook eerst gescand en vergeleken met de leverbon, en daarna ingeboekt als daadwerkelijke voorraad in het systeem. Ook dan zal de website de (winkel)voorraad automatisch updaten.

2.2 Knelpunten

Na de beschrijving van de huidige situatie in de eerste paragraaf kan deze vergeleken worden met de in het eerste hoofdstuk beschreven theorie. Eventuele discrepanties tussen de huidige en de volgens de theorie gewenste situatie om het voorraadbeheer te verbeteren zullen in deze paragraaf behandeld worden.

Het door de directie aangegeven probleem is dat het bedrijf veel backorders heeft. Tegelijkertijd blijft daarbij ruim 22% van de voorraad (gemiddelde over alle vestigingen) meer dan een jaar onverkocht liggen. Dit percentage is verkregen uit de omloopsnelheden van alle producten van 12/12/2013 tot 01/08/2014³. Een eventuele vooruitgang kan hierin geboekt worden door het inkoopbeleid te verbeteren en/of het voorraadbeheer in het magazijn en de vestigingen. Daarvoor worden eerst verschillende aspecten geanalyseerd in de huidige situatie.

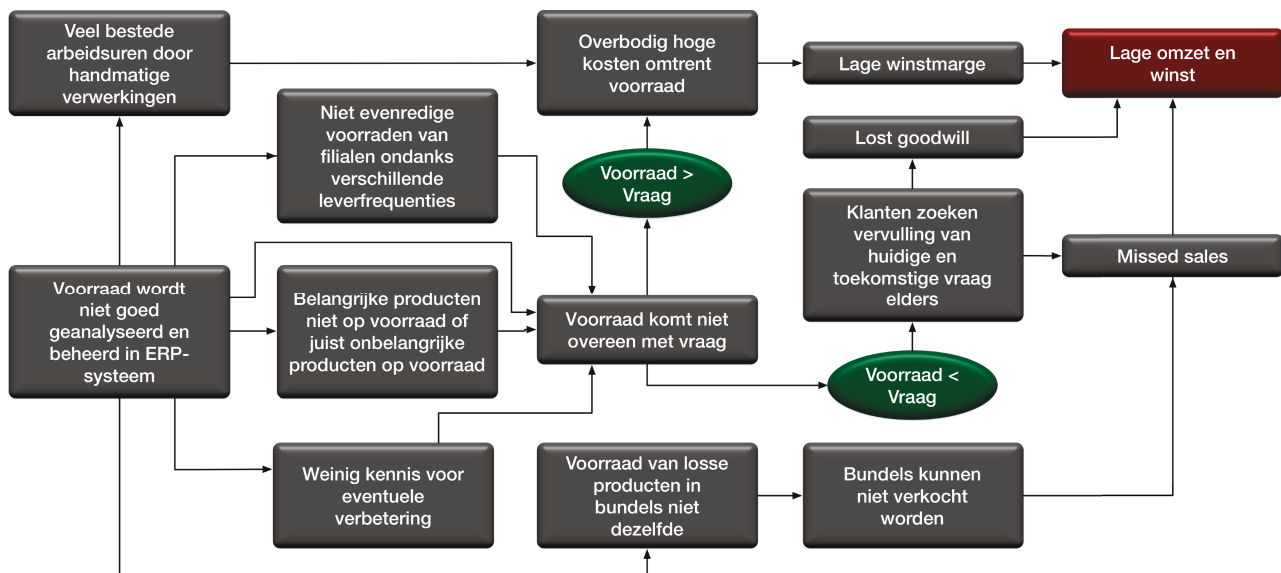
2.2.1 Model van knelpunten

Om de processen rondom het voorraadbeheer goed te analyseren worden eerst alle bijbehorende knelpunten geïdentificeerd aan de hand van de eerder uitgevoerde interviews en de hierboven uitgezette voorraadprocessen en aan de hand van onderzoek met behulp van het ERP-pakket³. Praktisch elk aspect van het bedrijf is dus meegenomen - het resultaat zal volledig en correct moeten zijn. De variabelen en normen voor het bepalen van knelpunten in het bedrijf zijn gebaseerd op de eerder gedane literatuuronderzoek in het eerste hoofdstuk. Het is belangrijk om alleen beïnvloedbare knelpunten mee te nemen waarvan zeker is dat ze ook daadwerkelijk een probleem van het betreffende proces. Dit is gedaan door na te gaan of verandering van het betreffende knelpunt ook daadwerkelijk het hele opvolgende proces zou beïnvloeden.

Met behulp van deze knelpunten is in *figuur 1.1* een probleemkluwen opgesteld. Deze toont dat het uiteindelijke gevolg een “Lage omzet en winst” is, die door een aantal knelpunten veroorzaakt wordt. De twee groene ovalen splitsen de processen in twee scenario's waarbij de voorraad hoger blijkt te zijn dan de vraag en andersom.

2.2.2 Het hoofdprobleem

Het mag duidelijk zijn dat ‘bron’ van alle opeenvolgende knelpunten naar “voorraad wordt niet goed geanalyseerd en beheerd in het ERP-systeem” getraceerd kan worden. Het systeem dat speciaal voor Firma Jansen ontworpen is, heeft namelijk weinig kwantitatieve analyse over voorraadverloop, vraag, bestelhoeveelheid, bestelmoment, etc. Dit probleem van weinig analyse in het ERP-systeem wordt voortaan als het hoofdprobleem gezien.



Figuur 1.1- Probleemkluwen van het voorraadbeheer

Een voorbeeld waar te zien is dat een inefficiënte handeling plaatsvindt, is het volgende: de twee winkels hebben een verschillend budget waarmee ze hun voorraad kunnen bepalen ("Niet evenredige voorraden van filialen ondanks verschillende leverfrequenties" in *figuur 1.1*). Echter wordt winkel A veel minder vaak dan Winkel B bevoorraadt, waarbij laatstgenoemde ook nog op 5 minuten reisafstand van het centrale magazijn is. Het verschil in de relatieve levertijd (vanuit het centrale magazijn) van de twee winkels is dus erg groot en het budget van winkel B is groter, terwijl de verkoop van de twee winkels niet erg verschilt.

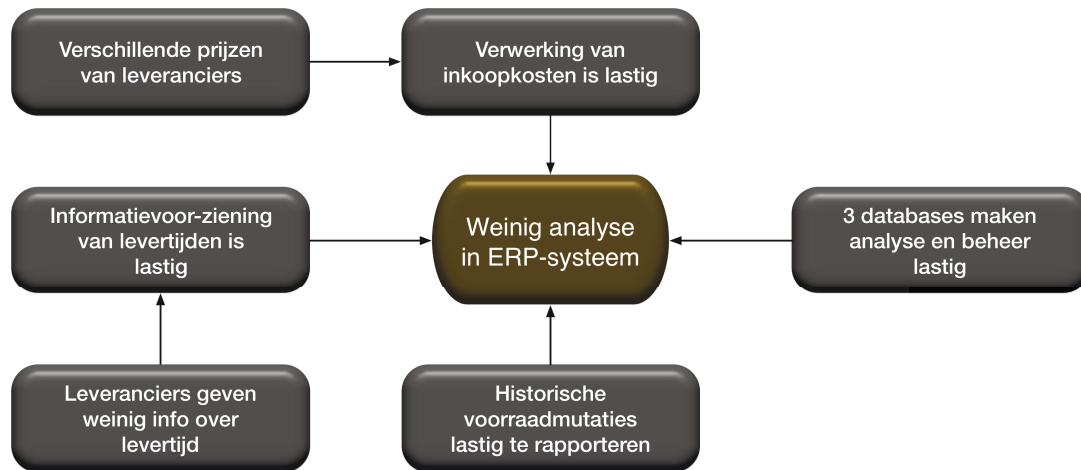
Winkel B zou door de kortere levertijd met een kleiner budget dezelfde service kunnen verlenen als Winkel A, of andersom: Winkel A zou een veel groter budget (groter dan Winkel B) moeten hebben om dezelfde service te kunnen verlenen.

Als het ERP-systeem wel goede kwantitatieve analyses had, was een dergelijke inefficiënte handeling niet voorgekomen of het was direct opgevallen. Dan had dit aangepakt kunnen worden, of er zou in ieder geval bekeken kunnen worden wat voor concrete gevolgen dit heeft wat betreft de kosten en de service naar klanten.

Een ander voorbeeld is dat deze 'minimum voorraden' handmatig gekozen moeten worden voor elk product en dat er geen historische uiteenzetting is van de prestaties van de voorraad van producten om zo eventuele verbeteringen door te voeren.

Om het hoofdprobleem aan te kunnen pakken, is dit probleem nader onderzocht en in *figuur 1.2* is dat wat ervoor zorgt dat analyse in het ERP-systeem lastig maakt gevisualiseerd.

Hieronder wordt de figuur nader toegelicht:



Figuur 1.2- Oorzaken van hoofdp probleem

- *Verschillende prijzen van leveranciers* - Firma Jansen maakt gebruik van verschillende leveranciers, vaak ook voor hetzelfde product. Dit om de goedkoopste inkoopprijs te verkrijgen. De moeilijkheid hierin is dat analyse lastiger is dan bijvoorbeeld een enkele vaste prijs. Ook veranderen prijzen dikwijls, terwijl dit in het ERP-systeem nog niet is doorgevoerd, en zodoende beslissingen met verkeerde data gedaan kunnen worden.
- *Leveranciers geven weinig info over levertijd* - het gevolg hiervan is dat klanten door Firma Jansen ook niet goed op de hoogte gehouden kunnen worden wat resulteert dat klanten contact opnemen met het bedrijf over de levering. De handmatige afhandeling hiervan kost Firma Jansen extra tijd, en men zou meer tevreden zijn als men van het begin op de hoogte werd gehouden en niet zelf contact moest opnemen. Een tweede gevolg is dat het bedrijf zelf slechter rekening kan houden met de levertijd en dit de beslissingen omtrent de bestelhoeveelheid en bestelpunt bemoeilijkt.
- *Historische voorraadmutaties lastig te rapporteren* - het is mogelijk de inkomende of uitgaande mutaties te rapporteren, maar om direct de historische voorraadpeilen te bekijken is niet mogelijk. Bovendien moet dit rapport handmatig gegenereerd worden en bekeken worden om kwalitatief een bepaald beeld te krijgen. Dit bemoeilijkt automatische analyse over de voorraadpeilen en de vraag.
- *3 databases maken analyse en beheer lastig* - het bedrijf heeft voor elke locatie (centraal magazijn en twee winkels) een database. Een geaggregeerde analyse kan als gevolg daarvan niet (gemakkelijk) gedaan worden, terwijl praktisch de gehele informatie- en productstroom wel centraal geregeld wordt.

2.2.3 Conclusie van knelpunten en hoofdvraag

Evident is dat de meeste knelpunten naar een beperkte analyse van de voorraad wijzen, met als gevolg dat beslissingen van de inkoop en voorraad kwantitatief slecht ondersteund kunnen worden door het ERP-systeem. Ten eerste moet bepaald worden welke analyses überhaupt van toepassing kunnen zijn bij Firma Jansen, en daarna moet er gekeken worden hoe het ERP-systeem hiermee om zou kunnen gaan.

Aan de hand van de in dit hoofdstuk gegeven informatie wordt de volgende hoofdvraag geformuleerd om het aangegeven probleem van te veel backorders en te veel voorraad te verbeteren:

“Hoe kan Firma Jansen haar kwantitatieve analyses verbeteren en met behulp daarvan het voorraadbeheer optimaliseren om zo een efficiënter proces tegen lagere kosten te realiseren?”

2.3 Probleemaanpak

2.3.1 Procedures en restricties

Om de verschillende onderwerpen te behandelen moeten eerst een aantal handelingen verricht worden, eventuele restricties in het oog houdend. Er moet met concrete data gewerkt worden om het voorraadbeheer goed en kwantitatief te analyseren, zeker om een eventuele oplossing te kunnen implementeren. De directeur heeft toegang gegeven tot de verschillende databases inclusief alle rechten. Hij is ook altijd bereid te assisteren.

Restricties zijn er niet veel, er bestaat zelfs de mogelijkheid de programmeur van het ERP-pakket te contacteren en eventuele aanpassingen te laten doen. Echter moet er rekening worden gehouden dat dit ook kosten met zich meebrengt. Ook kan het ERP-pakket eigen beperkingen hebben aangezien het op maat gemaakt is voor Firma Jansen en extra functionaliteiten niet standaard aanwezig zijn. Bepaalde rekencapaciteiten kunnen wellicht afwezig zijn.

2.3.2 Terugkoppeling met literatuur

Het model van de knelpunten is onder andere gebaseerd op de kennis die in het eerste hoofdstuk is opgedaan in het literatuuronderzoek. Nu zal hier iets dieper op de relatie tussen de literatuur en de situatie van Firma Jansen ingegaan worden.

In de eerste paragraaf van het literatuurhoofdstuk (§1.1) is over de fases van de beslissingen gesproken. Het voorraadbeheer behoort typisch tot de *supply chain planning*, aangezien die een aanpak beschrijft voor langere termijn die de procedures van de (dagelijkse) operationele fase bepaalt. Als retailer in de camera-industrie die meer dan

10.000 producten levert³, is zowel *responsiviteit* als *efficiëntie* van belang. Al die producten zijn namelijk verschillend, en bevatten zowel ‘slow-moving’ als ‘fast-moving’ producten: producten die respectievelijk relatief zelden verkocht worden en producten die vaak verkocht worden.⁵ Verschillende strategieën zijn dus hiervoor nodig.

Om goede *strategische afstemming* (§1.2) te bereiken is het doel om de juiste vorm, locatie, en kwantiteit van voorraad te vinden om het juiste niveau van responsiviteit tegen de laagst mogelijke kosten te verwezenlijken - dus in hoeverre service verleend zal worden aan de klant.¹ Firma Jansen houdt hier wel rekening mee, maar dit is voornamelijk kwalitatief - een kwantitatieve ondersteuning zou een goede aanvulling zijn.

Wat de *supply chain prestaties* (§1.3) betreft zal het onderzoek zich beperken tot de voorraad en diens informatie ter analyse. De faciliteiten, transport, prijs, en ‘sourcing’ zullen daarom niet behandeld worden. Opvallend is dat de in de literatuur (§1.4) voorgestelde *cyclusvoorraad*, *veiligheidsvoorraad*, *seizoensvoorraad* (deze laatste wordt weliswaar meestal kwalitatief bepaald¹) en de *bestelgroottes* en *bestelmomenten* bij Firma Jansen niet kwantitatief worden gebruikt. De basis om deze voorraden te bepalen ontbreekt zelfs al, namelijk de (kwantitatief bepaalde) verwachte vraag.

2.3.3 Te onderzoeken vragen

Ter herhaling de eerder opgestelde hoofdvraag voor deze scriptie:

“Hoe kan Firma Jansen haar kwantitatieve analyses verbeteren en met behulp daarvan het voorraadbeheer optimaliseren om zo een efficiënter proces tegen lagere kosten te realiseren?”

Om deze te beantwoorden is in de voorgaande hoofdstukken besproken welke kwantitatieve theorieën de literatuur voorstelt die Firma Jansen wellicht nog niet in gebruik heeft. Verder moet er bekeken worden hoe deze theorieën in de praktijk geïmplementeerd kunnen worden. Hiervoor zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld, in twee categorieën verdeeld:

Theoretische onderzoeksvragen (voor kennisproblemen)

- *Hoe wordt cyclusvoorraad bepaald?*
- *Welke bestelgroottes moeten gehanteerd worden?*
- *Hoe wordt veiligheidsvoorraad bepaald?*
- *Welke bestelpunten moeten gehanteerd worden?*
- *Welke servicemaat moet er gehanteerd worden voor welke producten?*
- *Hoe worden ‘slow- en fast-moving’ producten bepaald?*

⁵ Ralph Snyder (2002)

-
- *Hoe kan de verwachte vraag bepaald worden?*
 - *Welke data zijn voor al deze onderwerpen nodig?*

Onderzoeksvragen betreffende de implementatie (voor handelingsproblemen)

- *Hoe kan de behandelde theorie worden toegepast?*
- *Wat moet er veranderd worden bij het bedrijf?*
- *In welke fases kunnen deze veranderingen geïmplementeerd worden?*
- *Welke voordelen en nadelen zal de implementatie met zich meebrengen?*
- *Zijn er nog potentiële verbeterpunten voor de toekomst? Welke zijn dat?*

3) Literatuuronderzoek

Om de genoemde onderzoeksvragen adequaat te kunnen beantwoorden en het voorraadbeheer van Firma Jansen te kunnen verbeteren zullen de onderwerpen in dit hoofdstuk in de literatuur concreter onderzocht worden. Dit hoofdstuk zal dus de missende theorie specifiek behandelen. De toepassing van de theorie zal daarna in de Aanbeveling (hoofdstuk 4) worden behandeld.

De eerste paragraaf begint met de cyclusvoorraad en de bijbehorende aanbevolen bestelgroottes. Daarna worden in §3.2 veiligheidsvoorraad behandeld, verschillende *'replenishment policies'*, *'service levels'* voor het bepalen van de beschikbaarheid van producten en de impact van centralisatie van producten. De derde paragraaf zal de prioriteiten van producten beschrijven aan de hand van ABC-kwalificatie, waarna de vierde paragraaf tenslotte een beknopt overzicht over het voorspellen van de vraag bevat.

3.1 Voorraad bij deterministische vraag

3.1.1 Beslissingen aangaande voorraad

De verantwoordelijke voor de operaties heeft op elk punt in het voorraadbeheer taken om het systeem te onderhouden. Orders van klanten komen continu binnen en verminderen de voorraad, dus nieuwe bestellingen moeten bij de leveranciers geplaatst worden en geleverd worden aan de verschillende filialen. Bij beheer van dit systeem heeft de verantwoordelijke met de volgende drie hoofdbeslissingen te maken²:

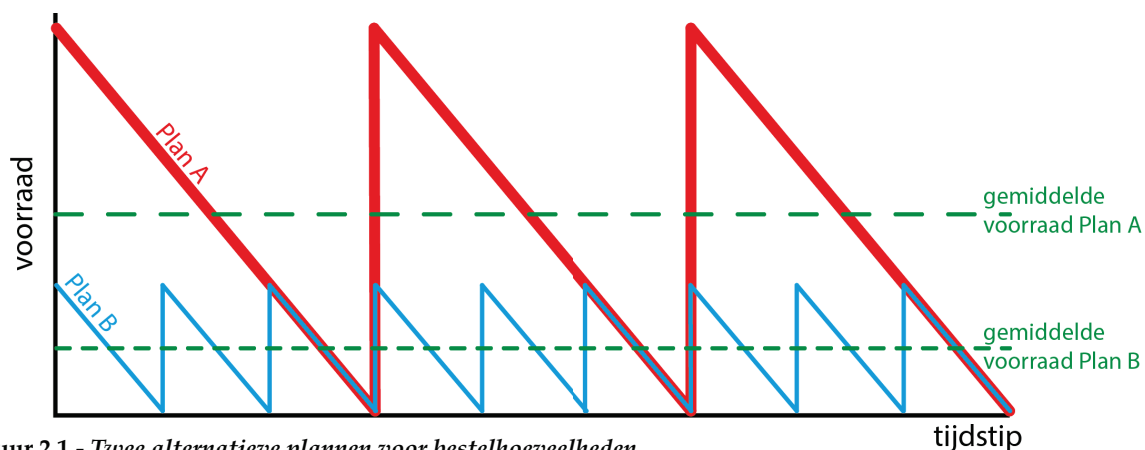
- *Hoeveel producten te bestellen.* Er moet een afweging gemaakt worden of het beter is vaker kleine bestellingen te plaatsen, of in één keer een grote bestelling te plaatsen bij de leverancier.
- *Wanneer te bestellen.* Moet er elke maand een bestelling geplaatst worden, of als de voorraad is gedaald tot een bepaalde hoeveelheid (en welke hoeveelheid)?
- *Hoe het systeem te beheren.* Welke procedures en welke informatie moeten er aanwezig zijn om de bovenstaande beslissingen goed te kunnen nemen? Moeten verschillende producten verschillend aangepakt worden? Hoe moet de informatie opgeslagen en getoond worden?

3.1.2 Economic Order Quantity

De meest gebruikelijke aanpak voor het bepalen van de bestelhoeveelheid waar de meeste literatuur het met elkaar over eens is, is de *Economic Order Quantity (EOQ)*.^{1,2,4} Hierbij wordt getracht de ideale balans te vinden tussen de voor- en nadelen van het houden van voorraad. Er wordt dan wel gesimplificeerd en er wordt van een deterministische vraag uitgegaan - dat wil zeggen dat de vraag constant en voorspelbaar is waarbij er geen onzekerheden zijn.

Figuur 2.1 toont twee plannen om de voorraad in te kopen. Plan A bestelt minder vaak producten dan Plan B, en bestelt dus in één keer grotere hoeveelheden om aan de vraag te kunnen voldoen. De gemiddelde voorraad (groene stippellijn) is hierbij hoger dan bij Plan B. De opslagkosten zijn hierbij dan ook hoger.

Het nadeel van Plan B is echter dat door de frequentere bestellingen de bestelkosten een stuk hoger uitpakken dan bij Plan A.



Figuur 2.1 - Twee alternatieve plannen voor bestelhoeveelheden

Het EOQ-model maakt gebruik van de filosofie van kostenminimalisering. Daarvoor moeten eerst de totale kosten bepaald worden, om vervolgens deze te kunnen minimaliseren met de bestelhoeveelheid als variabele.

De volgende terminologie wordt gedefinieerd:

- q - bestelhoeveelheid van eenheden van een product per bestelling
- K - bestelkosten per bestelling
- h - 'holding costs': voorraadkosten per eenheid product per jaar
- D - 'demand': hoeveelheid vraag naar het product per jaar
- p - aanschafprijs per eenheid product
- L - 'lead time', leveringsduur

In de voorraadkosten ' h ' wordt het volgende opgenomen¹:

- *Werkkapitaal-kosten*. Omdat het bedrijf voor de producten in de voorraad betaald heeft en niet direct geld ervoor terugkrijgt van haar klanten, zit een hoeveelheid geld in

deze voorraad vast: het werkkapitaal van voorraad. De kosten worden geassocieerd met de rente van de lening die aan de bank betaald wordt voor het financieren van deze voorraad, of de 'opportunity costs' van het niet investeren van dit geld in iets anders (bijvoorbeeld de rente die de bank zou betalen voor het aanhouden van geld op een bankrekening).

- *Opslagkosten*, zoals de huur, verwarming, verzekering, beveiliging, en onderhoud van de opslagruimte. De ruimte die de voorraad inneemt kan eventueel nuttiger gebruikt worden voor andere doeleinden. Ook kan voorraad schade oplopen door bijvoorbeeld transport en kunnen producten kwijtgeraakt of gestolen worden.
- *Verouderingskosten*. Als een product lang op voorraad ligt, is er een risico dat het veroudert. Er kan een nieuwer model uitkomen, de populariteit kan dalen of het kan kapot gaan wegens eindige houdbaarheid.
- Wellicht zijn er nog verwerkingskosten die afhankelijk zijn van de voorraadhoeveelheid, zoals de tijd dat personeel aan voorraadonderhoud in het magazijn besteedt.

Elke keer dat een bestelling is geplaatst vinden er een aantal procedures plaats die bestelkosten 'K' met zich meebrengen voor het bedrijf. Deze zijn bijvoorbeeld administratiekosten (salaris van de betrokken werknemers), verzendkosten, verwerkingskosten voor het opslaan en in ontvangst nemen van de orders (onafhankelijk van de bestelhoeveelheid), en de door de leverancier opgelegde kosten.

De totale kosten bestaan uit⁴: bestelkosten + aanschafkosten + voorraadkosten. De bestelkosten per jaar zijn de bestelkosten vermenigvuldigd met het aantal bestellingen per jaar. De vraag per jaar is D en de bestelgrootte per bestelling is q , dus de totale bestelkosten zijn $K \cdot \frac{D}{q}$.

De aanschafkosten zijn de aanschafprijs vermenigvuldigd met het aantal producten dat per jaar worden ingekocht. Dus $p \cdot D$.

Zoals ook uit *figuur 2.1* blijkt is de gemiddelde voorraad de helft van de bestelhoeveelheid (bij een constante vraag), dus $\frac{q}{2}$. Een cyclus is de tijd tussen twee bestellingen, en is dan de fractie $\frac{q}{D}$. Elk jaar komen dan ook $\frac{1}{\frac{q}{D}} = \frac{D}{q}$ cycli voor. De

voorraadkosten per cyclus zijn dan de gemiddelde voorraad * cycluslengte * voorraadkosten. Dit alles samengenomen:

$$\frac{\text{voorraadkosten}}{\text{jaar}} = \frac{\text{voorraadkosten}}{\text{cyclus}} \cdot \frac{\text{cycli}}{\text{jaar}} = \left(\frac{q}{2} \cdot \frac{q}{D} \cdot h \right) \cdot \left(\frac{D}{q} \right) = \frac{h \cdot q}{2}$$

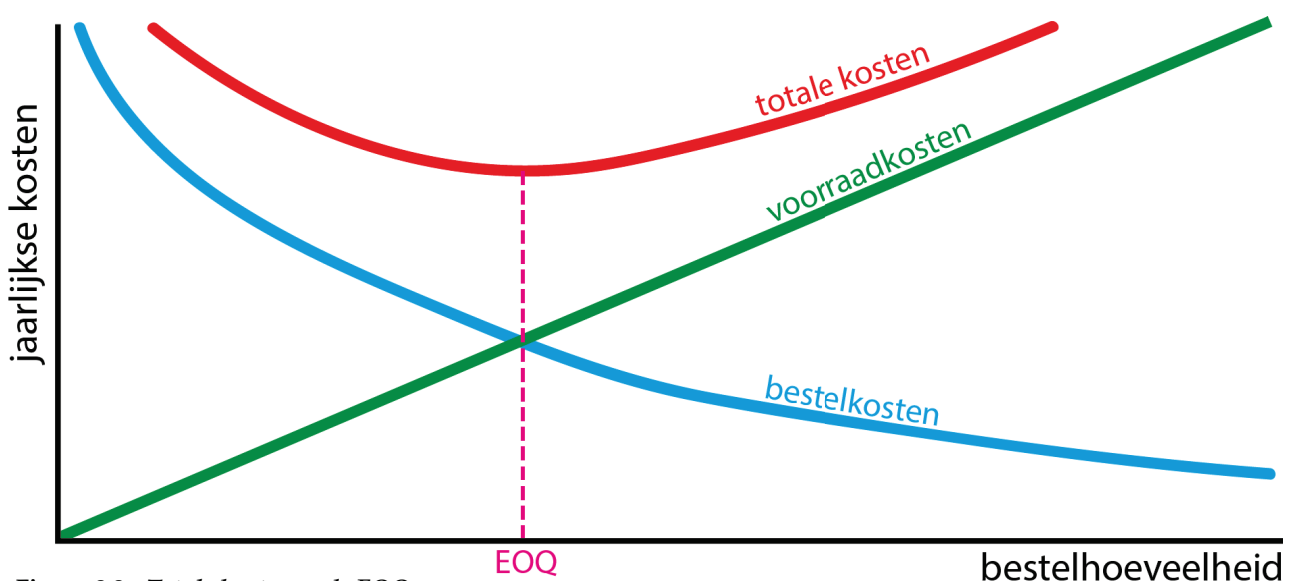
Terugkerend naar de totale kosten (TC) van bestelkosten + aanschafkosten + voorraadkosten wordt het volgende verkregen:

$$TC(q) = \frac{KD}{q} + pD + \frac{hq}{2}$$

Om de waarde van q te krijgen die de TC minimaliseert, wordt de formule gedifferentieerd naar q , en gelijkgesteld aan 0. De minimaliserende bestelgrootte q^* , de EOQ , is dan:

$$EOQ = q^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$$

Dus de optimale bestelgrootte is gelijk aan twee maal de bestelkosten per bestelling vermenigvuldigd met de vraag per jaar, gedeeld door de voorraadkosten per eenheid product per jaar, en over dit alles de wortel genomen. Een grafische representatie van de bestelhoeveelheid die de totale kosten minimaliseert is in *figuur 2.2* weergegeven.



Figuur 2.2 - Totale kosten en de EOQ

Opvallend is dat de aanschafkosten niet in de formule terugkomen. Maar logischerwijs moet er ook per jaar net zoveel besteld worden als dat er vraag is, en de bestelhoeveelheid heeft dan inderdaad geen effect op de aanschafkosten (mits er geen volumekorting is, zie daarvoor *Appendix A.1*).

Ook zijn de totale kosten rondom de EOQ vrij constant omdat de functie daar gestaag zijn minimum bereikt. Dit wil zeggen dat een kleine afwijking in de bestelhoeveelheid rond de EOQ weinig gevolgen zal hebben. Als de EOQ dus een bestelhoeveelheid van bijvoorbeeld 567.6 producten geeft, zal het weinig uitmaken of de

uiteindelijke bestelling 567, 568, of 570 producten zal zijn. Een kleine afwijking van de EOQ zal dus geen grote gevolgen hebben.

Appendix A zal een aantal onderwerpen beschrijven die verder op de EOQ ingaan. Zo geven leveranciers soms korting als er een grote hoeveelheid besteld wordt in één keer. *Appendix A.1* zal de EOQ-formule iets uitbreiden om deze volumekorting ook te mee te kunnen nemen. Verder is het gebruik van de EOQ-formule gebaseerd op een vraag die redelijk constant is. Voor de betrouwbaarheid van de formule is een bepaalde maat bedacht (§A.2). Ook geeft de EOQ een optimale bestelhoeveelheid per type product, maar in de praktijk worden meestal meerdere producten samen besteld. Hiervoor is het handig om in plaats van de EOQ op vergelijkbare wijze een optimale bestelfrequentie te bepalen en welke producten en in welke kwantiteit daarbij besteld worden. Dit behandelt *Appendix A.3*.

De EOQ gaat uit van kostenminimalisering van de cyclusvoorraad, terwijl er vaak ook een veiligheidsvoorraad gehouden wordt. Later zal bij de implementatie nogmaals naar de EOQ gekeken worden.

3.2 Voorraad bij stochastische vraag

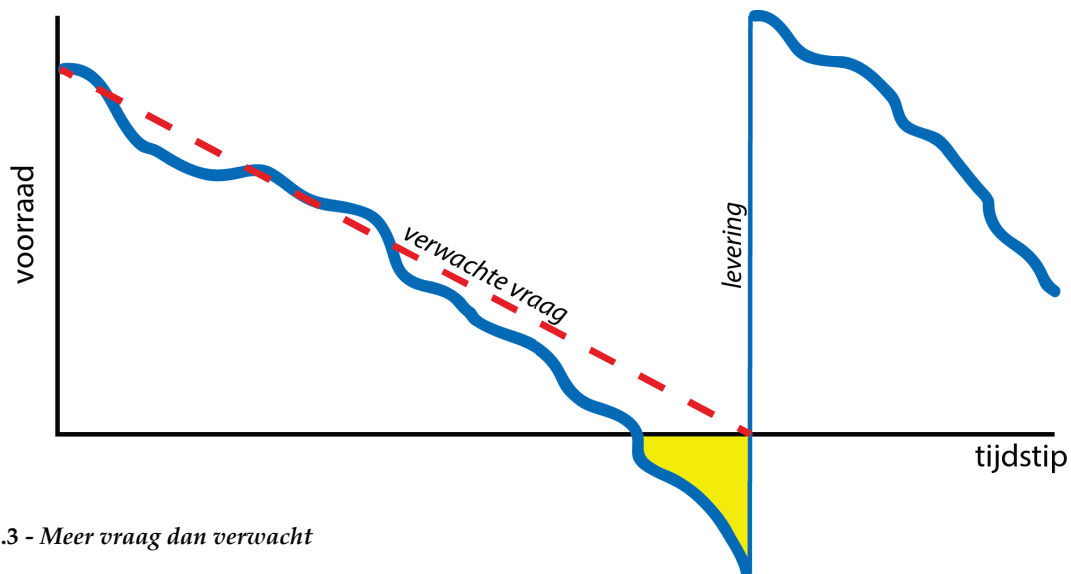
3.2.1 Backorders

De EOQ-methodes houden geen rekening met de mogelijkheid tot negatieve voorraad, oftewel met 'backorders'. De realiteit is natuurlijk dat de verkoop niet deterministisch maar stochastisch is - er bestaan onzekerheden waardoor de vraag kan fluctueren. Er bestaat wel een uitbreiding tot de EOQ-formule⁴ die de variabelen 'backorder costs', 'stockout costs' en 'lost sales costs' gebruikt. Als een product namelijk niet op voorraad is, terwijl er wel vraag naar is door klanten, kunnen deze klanten besluiten het product pas te kopen als het weer op voorraad is. Zo loopt het bedrijf directe omzet mis. In de tijd dat het product geleverd wordt is er ook een risico dat de klant alsnog van de koop afziet. Nog slechter is als de klant besluit het product elders aan te schaffen, en wellicht ook zijn toekomstige aankopen elders te blijven verrichten.

Echter, deze variabelen houden geen rekening met hoe lang een product besteld en nog niet geleverd is (backorder), terwijl realistisch gezien klanten misschien bereid zijn om een week op een product te wachten, maar niet een maand. Bovendien zijn deze 'backorder' of 'lost sales costs' extreem moeilijk kwantitatief in te schatten. Dit onderzoek zal daarom een andere methode gebruiken die gebruik maakt van 'service levels' die ook rekening houden met backorders en bovendien stochastisch zijn.^{1,4}

3.2.2 Veiligheidsvoorraad

De optimale bestelhoeveelheden en -bestellingen worden bepaald ervan uitgaande dat de vraag precies is zoals verwacht, en dat de bestellingen precies aankomen wanneer gepland. De in de praktijk aanwezige onzekerheden van de vraag en levering worden opgevangen door de *veiligheidsvoorraad*² die in dit hoofdstuk besproken zal worden. De *veiligheidsvoorraad* of '*safety inventory*' ('ss') kan gezien worden als een '*minimum-voorraad*' als de vraag deterministisch was en niet zou fluctueren.



Figuur 2.3 - Meer vraag dan verwacht

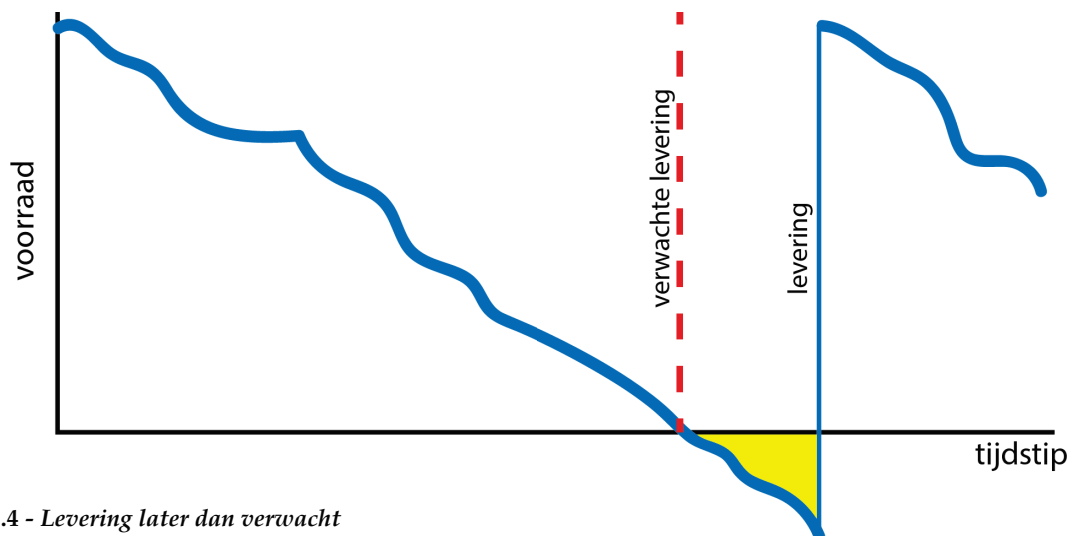
Figuur 2.3 illustreert wat er kan gebeuren in een regulier geval (als er geen veiligheidsvoorraad is aangemaakt) en de vraag groter was dan geanticipeerd. De levering was zo gepland dat het precies aansloot met de verwachte vraag (rode stippellijn), maar dit is dus niet het geval geweest. In het geel gemarkeerde stuk kon er niet uit voorraad geleverd worden waardoor er backorders zijn geplaatst en zo zijn directe inkomsten uitgesteld. Wellicht had er ook meer verkocht kunnen worden omdat klanten bewust van hun koop hebben afgezien omdat ze een snelle levering gewild hadden.

In *figuur 2.4* zijn de producten later geleverd dan gepland en is er in het gele gebied wederom een stuk dat in bestelling is geplaatst en niet direct verkocht.

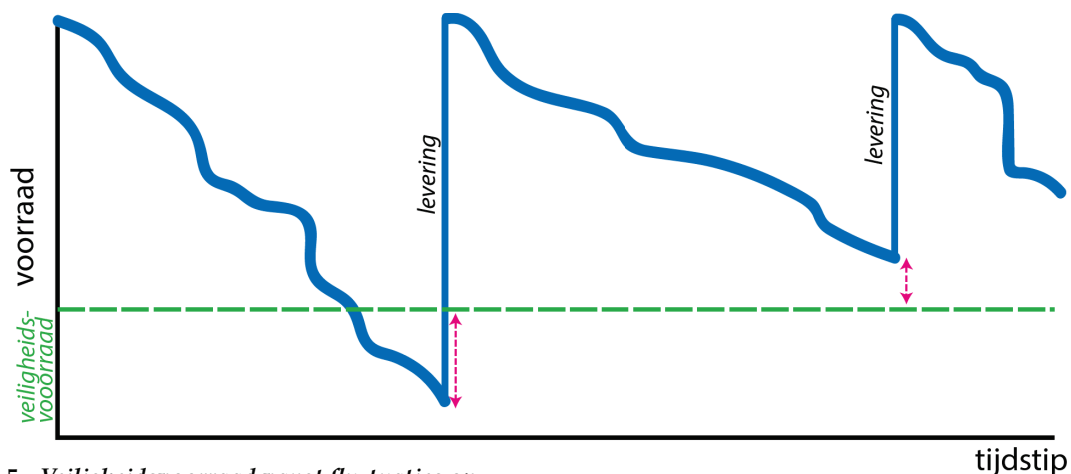
Uiteraard is een combinatie van deze twee, waarbij en de levertijd en de vraag fluctueert, ook mogelijk en zelfs zeer waarschijnlijk. De afwijking van de verwachte vraag met de daadwerkelijke vraag zal dan nog meer versterkt worden. Indien een extra veiligheidsvoorraad geïntroduceerd wordt, zullen de fluctuaties van het voorraadpeil door de onzekerheid van de vraag en levertijd opgevangen worden zoals *figuur 2.5* illustreert.

Het niveau van de veiligheidsvoorraad zal afhangen van de onzekerheid van de vraag en levering, en van het gewenste niveau van de beschikbaarheid van het product.

Hoe meer onzekerheid, des te grotere veiligheidsvoorraad is er nodig om de grotere fluctuaties op te kunnen vangen. En hoe meer beschikbaarheid ('service' naar de klant toe) er gewenst is, des te groter de veiligheidsvoorraad die vereist is. Bij een lage gewenste beschikbaarheid van het product zal er vaker een zogenaamde 'stockout' voorkomen: een klant verschijnt voor het product wanneer het niet op voorraad is, wat een 'lost sale' als gevolg heeft.



Figuur 2.4 - Levering later dan verwacht



Figuur 2.5 - Veiligheidsvoorraad vangt fluctuaties op

3.2.3 Replenishment Policies

Het beleid omtrent de beslissingen wanneer een bestelling te plaatsen en in welke hoeveelheid heet de 'replenishment policy'^{1,2,4}. Het beleid en de beslissingen bepalen de voorraad en het niveau van service (daarover later meer).

Zoals eerder gezegd hanteert Firma Jansen een (R,s) -beleid: er worden op bepaalde punten in de tijd met een interval van 'R' bestellingen geplaatst indien het voorraadpeil

tot 's' of lager is gedaald. De bestelhoeveelheid wordt per bestelling kwalitatief bepaald. Aangezien er op bepaalde tijdstippen naar de voorraad gekeken wordt, heet dit een '*periodic review policy*'. Een '*continuous review policy*', waarbij continu de voorraadpeil geanalyseerd wordt en niet op bepaalde punten, heeft als voordeel dat dit beleid een lagere veiligheidsvoorraad hanteert ten opzichte van de '*periodic review policy*'. De veiligheidsvoorraad bij de '*continuous review policy*' vangt namelijk onzekerheden van de vraag tijdens levertijd op, terwijl bij de '*periodic review policy*' de veiligheidsvoorraad naast de vraag tijdens levertijd ook de vraag tijdens het interval van de '*review*' moet bevatten.¹

Concreet: een '*continuous review policy*' als bijvoorbeeld het (s,S) -beleid monitort de voorraad onafgebroken en bestelt een nieuwe cyclusvoorraad die tot het niveau 'S' aanvult als de voorraad tot niveau 's' gedaald is. Dit punt 's' heet het ook het '*reorder point*' (ROP).

De veiligheidsvoorraad houdt rekening met de leveringstijd en het ROP. De bestelling moet namelijk geleverd worden wanneer verwacht wordt dat alleen de veiligheidsvoorraad nog over is van de volledige voorraad, en om dit te verwezenlijken moet de bestelling op het juiste ROP geplaatst worden. Als de verwachte levertijd L is en de verwachte vraag D , wordt de verwachte vraag tijdens de levertijd $D \cdot L$. Als de verantwoordelijke (of een automatische systeem) een order bestelt als er ROP producten over zijn, hoort er daarbij een veiligheidsvoorraad van $ss = ROP - D \cdot L$.

Bij een (R,S) -beleid (ook een '*periodic review policy*') wordt er op vaste tijdsintervallen 'R' naar het voorraadpeil bekeken en er wordt een aantal producten besteld opdat deze bestelling en de huidige voorraad gelijk wordt aan 'S' of 'OUL' ('order-up-to level').

Het voordeel van een dergelijk beleid is dat het voorraadpeil niet continu gemonitord moet worden en dat bestellingen geaggregeerd kunnen worden, in tegenstelling tot het (s,S) -beleid waarbij een nieuwe order geplaatst wordt direct als het peil tot 's' is gezakt. Het nadeel is echter dat het (R,S) -beleid voor hogere voorraadpeilen zorgt omdat er zo'n aantal besteld moet worden dat het voldoende is niet alleen voor de vraag tijdens levertijd, maar ook voor de vraag tussen bestelintervallen. Met andere woorden, bij een (R,S) -beleid geldt $ss = OUL - D \cdot (L + R)$, ervan uitgaande dat 'R' niet fluctueert.

In het vervolg zal er voornamelijk naar de *periodic review policy* gekeken worden omdat dit voor Firma Jansen meer van toepassing is aangezien het bedrijf daar al mee werkt en het niet realistisch is om bestellingen direct te (laten) plaatsen zonder producten van één leverancier te aggregeren.

3.2.4 Het meten van productbeschikbaarheid en service levels

De volgende maatstaven bestaan met betrekking tot de beschikbaarheid van producten:

- 'Product fill rate' (fr)¹ of *Service Level Measure 1* (SLM_1)⁵: de verwachte fractie van de vraag naar het product dat uit voorraad is geleverd.
- 'Order fill rate'¹: de verwachte fractie van de orders die uit voorraad voldaan zijn. Hierbij is de order pas voldaan als alle producten van de order voorradig zijn. Daardoor is de 'order fill rate' lager dan de 'fill rate'.
- 'Cycle service level' (CSL)¹: de verwachte fractie van leveringscycli, de tijd tussen twee opeenvolgende leveringen, die volledig uit voorraad geleverd is. Dat wil zeggen dat indien er één product of order niet uit voorraad geleverd is in een bepaalde leveringscyclus, het de CSL -score verslechtert. Winston, W.L. (2004)⁴ gebruikt SLM_2 als equivalent, echter gaat het dan om de verwachte aantal van leveringscycli dat *niet* uit voorraad geleverd is.

Om deze CSL te verkrijgen moet er dus gekeken worden wat de kans is dat er een *stockout* zal optreden in een cyclus. Een *stockout* zal plaatsvinden als de vraag tijdens levertijd toch groter is dan het *reorder point* en er dus geen levering is gekomen voordat de voorraad op was. Dus de CSL heeft te maken met de frequentie van cycli met een *stockout*, terwijl de fr naar de totale aantal (producten) *backorders* kijkt.

Ervan uitgaande dat de vraag en levertijd normaal verdeeld zijn, kan de CSL bij een (R,S) -beleid berekend worden met $CSL = F(OUL, D_{L+R}, \sigma_{L+R})$ waarbij F een normale verdeling is met gemiddelde D_{L+R} (vraag tijdens levertijd en bestelinterval) en standaardafwijking σ_{L+R} (standaardafwijking van de vraag tijdens levertijd en bestelinterval). Voor deze standaardafwijking geldt $\sigma_L = \sqrt{(L+R)\sigma_D^2 + D^2 s_L^2}$ waarbij σ_D de standaardafwijking van de vraag is en s_L de standaardafwijking van de levertijd.

Voor de (*product*) *fill rate* moet eerst de gemiddelde vraag die niet geleverd kan worden in een cyclus berekend worden, de zogenaamde '*expected shortage per replenishment cycle*' ESC . Als er een bestelling van Q producten geplaatst wordt, is de fractie die niet geleverd is per cyclus ESC/Q . De *product fill rate* is dan $fr = 1 - \frac{ESC}{Q}$.

Zoals eerder gezegd verschijnt er een tekort alleen als de vraag tijdens de levertijd groter is dan OUL . Als $f(x)$ de kansdichtheidsfunctie is van de vraag tijdens levertijd, zal ESC als volgt zijn: $ESC = \int_{x=ROP}^{\infty} (x - OUL)f(x)dx$. Als er echter sprake is van een normale verdeling voor de vraag, kan de formule gesimplificeerd worden naar

$ESC = -ss \left(1 - F_s \left(\frac{ss}{\sigma_{L+R}} \right) \right) + \sigma_L \cdot f_s \left(\frac{ss}{\sigma_{L+R}} \right)$. Hierbij is F_s de cumulatieve standaard normale verdeling, en f_s is de standaard normale verdeling.

Opmerkelijk is dat de *fr* afhankelijk is van de bestelhoeveelheid, aangezien een grotere hoeveelheid voor lagere bestelfrequenties zorgt en is er dus relatief gezien minder vaak kans op *stockout*. De *CSL* kijkt echter naar de score van de hele cyclus, en is dus onafhankelijk van de bestelhoeveelheid.

In ieder geval gaan de scores van de *CSL* omhoog als de veiligheidsvoorraad verhoogd wordt. Het bepalen van de veiligheidsvoorraad heeft dus te maken met hoe het beleid van het bedrijf is, en hoe goed het wil scoren in hun productbeschikbaarheid.

Meestal bepalen bedrijven een bepaalde strategie en een gewenste productbeschikbaarheid, en zoeken daarbij de bijbehorende waarden. Een bedrijf zal dus eerst een *CSL* en/of *fr* vaststellen en aan de hand daarvan de veiligheidsvoorraad bepalen. De methode moet dus andersom toegepast worden. De bovengenoemde vorm is echter ook belangrijk om niet de strategie te bepalen, maar om te meten hoe goed de werkelijkheid daadwerkelijk scoort.

De veiligheidsvoorraad met een gegeven *CSL* is met de eerder genoemde formule gemakkelijk om te draaien, en is als volgt: $ss = F_s^{-1}(CSL) \cdot \sigma_{L+R}$. Het niveau tot waar de voorraadpeil aangevuld moet worden is dan $OUL = ss + D \cdot (L + R)$.

De bepaling van de veiligheidsvoorraad met een gegeven *fr* is wiskundig gezien daarentegen complex, maar is voor een computer geen probleem. In Excel kan bijvoorbeeld de functie '*goalseek*' gebruikt worden, en andere systemen zullen het ongetwijfeld nog makkelijker kunnen.

Het blijkt in de praktijk dat de veiligheidsvoorraad sterk groeit met een relatief kleine verhoging van de *fill rate*. Een zeer hoge score zal dus een extreem hoge veiligheidsvoorraad eisen. De operations manager zal dus een goede balans moeten bepalen.

Er kunnen bovendien drastische besparingen gerealiseerd worden als de veiligheidsvoorraad verlaagd kan worden door de onzekerheden van de levertijd, en - indien mogelijk - de vraag te verminderen. Uiteraard zorgt een verkorting van de levertijd zelf ook voor een lagere veiligheidsvoorraad.

3.2.5 Impact van centralisatie op veiligheidsvoorraad

Een extra mogelijkheid om de veiligheidsvoorraad te verminderen is het centraliseren van de voorraad over verschillende vestigingen.

Normaliter zou de veiligheidsvoorraad voor k vestigingen als volgt zijn:

$ss = \sum_{i=1}^k F_S^{-1}(CSL) \cdot \sqrt{L} \cdot \sigma_i$, waar elke vestiging zijn eigen veiligheidsvoorraad verzorgt. Als

er geaggregeerd wordt en het dus een gecentraliseerde voorraad betreft, zal de berekening

van de veiligheidsvoorraad de volgende vraag en standaardafwijking hebben: $D^C = \sum_{i=1}^k D_i$

en $\sigma_D^C = \sqrt{\sum_{i=1}^k \sigma_i^2 + 2 \sum_{i>j} \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j}$ waarbij ρ correlatiecoëfficiënt is ($\rho_{ij}=0$ als de vraag van

vestiging i en j totaal onafhankelijk is, en $\rho_{ij}=1$ als de vraag tussen de twee vestigingen 100% positief gecorreleerd is).

Af te leiden valt ook dat de veiligheidsvoorraad en de bijkomende kosten significant gereduceerd kunnen worden bij een gecentraliseerde optie (bij Firma Jansen gaat het om het centrale magazijn) en onafhankelijke vestigingen (Winkels A en B). Hoe meer onafhankelijk, des te grotere besparing. Alleen indien vestigingen 100% afhankelijk zijn, is de totale veiligheidsvoorraad voor zowel de centrale als de niet-geaggregeerde optie gelijk.

Volledig afhankelijke vestigingen zullen in de praktijk niet veel voorkomen, maar er moet ook rekening worden gehouden met het feit dat een gecentraliseerde voorraad als nadeel heeft dat het een lange responstijd heeft op de vraag van de klant, en dat er extra transportkosten optreden om de klant van het product te voorzien.

Andere factoren moeten echter ook niet vergeten worden. Zo zouden 'noodproducten' toch in de winkels gehouden worden omdat klanten het betreffende product alleen direct willen kopen. Aan de andere kant, producten met een hoge waarde zullen nog meer van de voordelen van aggregatie gebruik maken dan producten met een lage waarde.

De bovengenoemde aggregatie van de voorraad kan de veiligheidsvoorraad vooral verlagen voor producten waarbij de variatiecoëfficiënt (σ/μ met μ =gemiddelde) groot is, dus waar de vraag relatief veel fluctueert. Een centrale voorraad vangt deze schommelingen dan beter op. 'Slow moving items' hebben typisch een hoge variatiecoëfficiënt⁴. Meestal worden *slow-moving items* gecentraliseerd en *fast-moving items* op de decentrale vestigingen gehouden dicht bij de klant. Zo kunnen er kosten bespaard worden zonder zonder veel in responstijd in te boeten of extra transportkosten te introduceren.

Overigens is de eerder gebruikte normale verdeling geen goede benadering voor *slow-moving items* - een Poisson-verdeling past hierbij beter. Dit zal echter niet in deze scriptie behandeld worden gezien de omvang en complexiteit - het principe is echter hetzelfde.⁶

In Appendix B wordt aanvullend hierop nog andere bevorderlijke manieren van aggregatie kort behandeld, onder andere *product-substitutie*, *component-gemeenschappelijkheid*, en '*tailored sourcing*'. Deze zijn niet van essentieel belang om direct veel aandacht aan te besteden, en Firma Jansen maakt er waarschijnlijk al (onbewust) gebruik van in bepaalde mate. Echter is het wel aan te raden hier op langere termijn naar te gaan kijken.

3.3 Prioriteiten in voorraad

3.3.1 ABC-kwalificatie

Niet alle producten zijn even belangrijk in een bedrijf. Sommige producten worden bijvoorbeeld heel veel verkocht, en als ze niet op voorraad zouden zijn, zouden klanten zeer ongelukkig worden. Andere producten zouden daarentegen een grote waarde kunnen hebben, en een hoge voorraad ervan zou erg veel kosten met zich meebrengen.

Een veel gebruikte methode om onderscheid te krijgen tussen verschillende producten is om ze te rangschikken op *gebruikerswaarde*³: hoeveelheid verkoop vermenigvuldigd met hun verkoopwaarde. Producten met een hoge *gebruikerswaarde* zijn dan extra belangrijk, en een hoge *CSL*- en *fr*-waarde voor deze producten zouden logisch zijn. Producten met een lage *gebruikerswaarde* zijn niet heel belangrijk, en kan er beter kosten bespaard worden door lagere *CSL*- en *fr*-waardes te kiezen. Echter zouden hoge service levels voor producten met een hoge *gebruikerswaarde* resulteren in zeer hoge veiligheidsvoorraden en dus zeer hoge kosten. Daarom worden de service levels in de praktijk andersom gebruikt - juist bij producten met lage *gebruikerswaarde* worden hogere service levels gebruikt omdat het verhogen van de veiligheidsvoorraad relatief goedkoop daarvoor is.

Meestal is slechts een klein gedeelte van de producten in het assortiment verantwoordelijk voor een groot gedeelte van de totale *gebruikerswaarde*. Dit fenomeen wordt de Pareto-wet genoemd. Een dergelijke verhouding kan gebruikt worden om verschillende producten in het assortiment naar hun *gebruikerswaarde* te rangschikken. Het ABC Inventory Control⁷ helpt operations managers om te concentreren op de meest

⁶ Gallego, G (1998)

⁷ Dickie, H.F. (1951)

belangrijke producten. De producten van de voorraad worden daarbij onderverdeeld in drie klassen⁴:

- *Type A*: 5-20% van de producten in de voorraad. Zij zorgen voor een relatief hoge waarde van 55-65% van de totale verkoop.
- *Type B*: 20-30% van de producten in de voorraad. Zij zorgen voor 20-40% van de totale verkoop.
- *Type C*: 50-75% van de producten in de voorraad. Zij zorgen voor een relatief lage waarde van 5-25% van de totale verkoop.

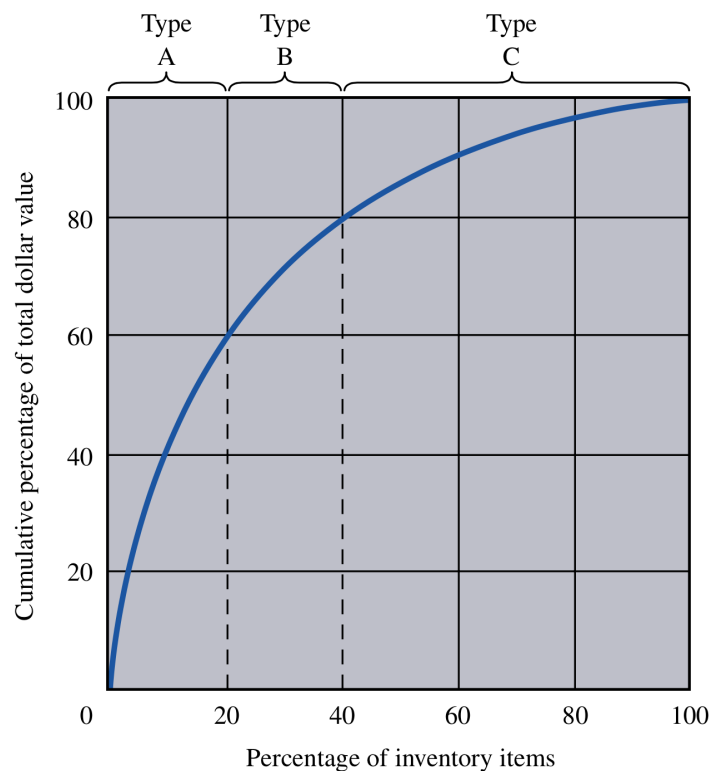
Een voorbeeld hiervan is in *figuur 2.6* geïllustreerd.

Aangezien de grootste voorraadinvestering in Type A-producten zit, zullen zoals eerder gezegd hoge service levels in zeer hoge investeringen van veiligheidsvoorraad resulteren. Daarom wordt het aangeraden⁸ om de *fr* op slechts 80-85% te zetten voor Type A-producten. Veel aandacht en monitoring door de operations manager is voor deze types belangrijk, en de vraag moet grondig per product geanalyseerd worden (hierover later meer). Ook moet er geprobeerd worden de levertijd van deze producten te verlagen (en zo de veiligheidsvoorraad en zijn kosten ook te verlagen).

Voor Type B-producten, kan een *fr* gebruikt worden van 95%. De beslissingen omtrent deze producten kunnen over het algemeen door de computer gedaan worden, met af en toe een check van de operations manager.

Type C-producten hebben weinig aandacht nodig - de bijbehorende waardes hoeven slechts één of twee keer in het jaar bekeken te worden. Ook kan de vraag met een simpele voorspellingsmethode bepaald worden. Wel is een hoge *fr*-waarde aangeraden, van ca 98-99%. Hiervoor is relatief slechts weinig investering nodig.

De bijbehorende *CSL-waardes* hangen af van de bestelhoeveelheden die verantwoordelijk zijn voor de waardes van de *fr*. Aangezien de (optimale)



Figuur 2.6 - Types producten in voorraad, en hun gebruikerswaarde [Winston (2004)]

⁸ Hax, A.C., Candea, D. (1984)

bestelhoeveelheden ook berekend worden kunnen bijbehorende de *CSL-waardes* berekend worden aan de hand van de hierboven genoemde adviezen voor *fr-waardes*.

3.4 Voorspelling

3.4.1 Kenmerken van voorspellingen

Tot nu toe is er telkens over “vraag” gesproken alsof het een gegeven feit is, maar in de realiteit is de vraag naar een product geen gegeven, en al zeker geen nauwkeurig gegeven. Ook bij Firma Jansen wordt dit niet berekend, maar de vraag is van essentieel belang om überhaupt de vorige theorieën te kunnen gebruiken en is de basis voor al het voorraadbeheer. Om te beginnen is de literatuur het unaniem eens over de karakteristieken van voorspellingen^{1,2,5,6,9}:

- Voorspellingen zijn altijd onnauwkeurig. Daarom moeten ze altijd een verwachte waarde en een voorspellingsonnauwkeurigheid bevatten.
- Voorspellingen verder in de toekomst zijn onnauwkeuriger dan korte-termijnvoorspellingen.
- Gedetailleerde voorspellingen zijn onnauwkeuriger dan geaggregeerde voorspellingen. Bij aggregeren zal de standaardafwijking namelijk kleiner zijn ten opzichte van het gemiddelde.
- Hoe dieper het proces zich in het bedrijf bevindt, dus hoe verder weg van de klant, des te groter de onnauwkeurigheid van de voorspelling zal zijn.

Verder kunnen de voorspellingsmethodes onderverdeeld worden in kwalitatieve voorspellingen^{1,2}, ‘*time series*’ voorspellingen^{1,2,5,10}, en causale voorspellingen^{1,2,5,10}.

Kwalitatieve voorspellingen zullen voornamelijk subjectief zijn en gebaseerd op menselijk oordeel. Ze zijn het best toepasbaar als weinig historische informatie beschikbaar is, of als er extra informatie voorhanden is die de voorspelling kan beïnvloeden.

‘*Time series*’ voorspellingen maken gebruik van historische data om door middel van extrapolatie de toekomst te schatten. Ze gaan er dus vanuit dat de geschiedenis een goede indicator is voor de toekomst. Deze methodes zijn het best toe te passen als het basispatroon van de vraag redelijk stabiel is over de jaren heen. Bovendien zijn ze het simpels te gebruiken, en zijn een goede manier om te beginnen met voorspellingen. Causale voorspellingen gaan ervan uit dat de toekomstige vraag afhankelijk is van verschillende externe factoren, zoals de huidige economische stand, rente, etc. Deze

⁹ Hopp, W.J., & Spearman, M.L. (2000)

voorspellingen proberen de mate van deze afhankelijkheid te schatten om zo de toekomst te voorspellen aan de hand van de gegeven externe factoren in de toekomst.

3.4.2 Time series voorspellingen

Zoals aangegeven houden 'time series' voorspellingen geen rekening met de redenen waarom historische data zijn zoals zij zijn; zij gaan ervan uit dat de gebeurde patronen door zullen gaan in de toekomst.

Een zeer makkelijke methode voor dergelijke voorspellingen is de 'moving average'^{1,2,5,10}, waarbij simpelweg het gemiddelde tussen een bepaald aantal meest recente vragen genomen wordt. Een groter aantal datapunten zal een geleidelijke voorspelling maken, maar deze zal minder responsief zijn op grote veranderingen. Als er bovendien een duidelijke trend in de data is, zal de 'moving average' altijd 'achter de feiten aanlopen'.

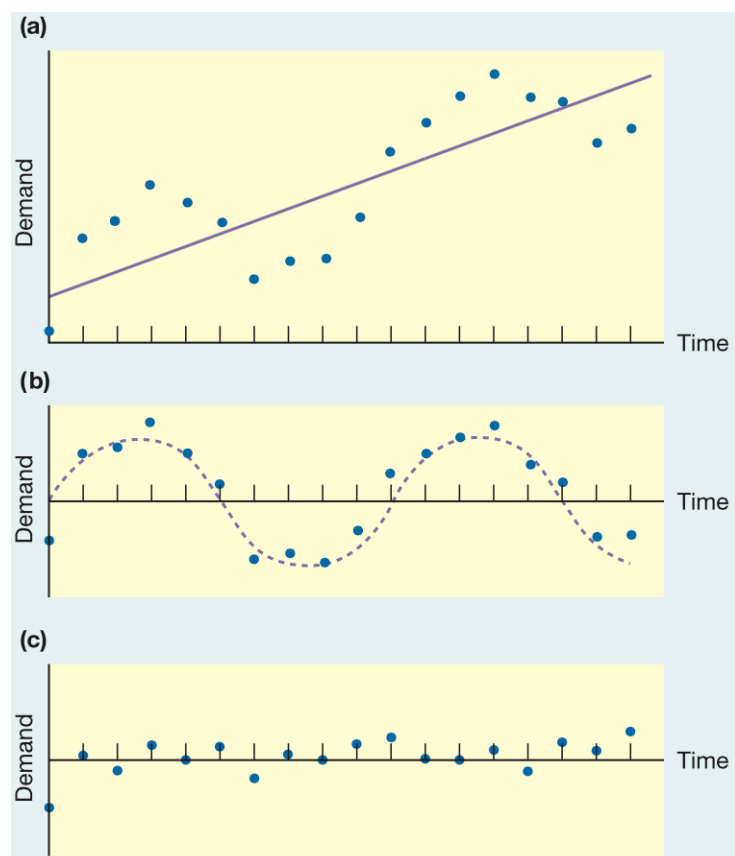
Zo'n dergelijke trend kan bestaan uit een groei in de vraag naar het product wegens bijvoorbeeld economische voorspoed in het land of doordat het bedrijf extra populariteit wint. Ook kunnen er seizoensinvloeden heersen, waardoor er bijvoorbeeld een groot verschil in de vraag is tussen de winter en de zomer.

Een betere en simpele methode is 'exponential smoothing' waar niet alleen de recente data gebruikt wordt, maar alle data.

Hierbij wordt een extra factor, de 'smoothing constant', gebruikt die bepaalt hoe sterk de werkelijke vraag van een bepaalde meegenomen moet worden ten opzichte van de voor die tijd voorspelde vraag.

Er bestaan ook uitbreidingen van *exponential smoothing* waarbij rekening wordt gehouden met de trend (*Holt's Model*^{1,5,10}) en met zowel trend als seizoen (*Winter's Model*^{1,5,10})

Een dergelijke situatie waarin het vraagpatroon zowel een trend als seizoensinvloeden bevat is te zien in de gestippelde punten van *figuur 2.7a*. Dergelijke patronen als



Figuur 2.7 - (a) Oorspronkelijke vraag met seizoenen en trend
(b) De vraag zonder trend
(c) De vraag zonder trend en seizoen [Slack, et al. (2010)]

seizoensfactoren en trend kunnen verwijderd worden door de patronen te analyseren en te proberen om ze te versimpelen. Hierna zou een 'simpele' vraagpatroon overblijven³.

De eerste stap zou zijn om de trend te verwijderen middels een lineaire regressie. Na het wegnemen van deze lineariteit blijft er een nog het seizoenspatroon over zoals *figuur 2.7b*. Dit seizoenspatroon kan verwijderd worden door eerst de cycluslengte te definiëren en van daaruit de factoren per seizoen te bepalen. Als deze factoren weggehaald worden, blijft er een '*deseasonalized*' patroon over zonder trend, en kan de data makkelijker verder geanalyseerd worden.

De daadwerkelijke wiskunde aanpak is niet heel ingewikkeld, maar wel omvangrijk. Om deze reden zal het hier niet opgenomen worden, maar uiteraard kan het in de literatuur nageslagen worden voor zowel het hierboven genoemde model³ als de *exponential smoothing*^{1,5,10}.

3.4.3 Causale voorspellingen en nauwkeurigheid

Causale methodes gebruiken complexe technieken om de relaties tussen verschillende variabelen te beschrijven. Simpele regressiemodellen proberen dan de '*beste fit*' te vinden tussen dergelijke variabelen. Een voorbeeld is dat de (onafhankelijke) variabele 'prijs' een relatie heeft met de uiteindelijke verkoop (afhankelijke variabele). Of de relatie met 'temperatuur', waarbij het kan zijn dat mensen minder naar de winkel gaan omdat ze liever van het weer gebruik willen maken en bijvoorbeeld naar het strand willen gaan. Een ander voorbeeld is de onafhankelijke variabele 'hypotheekrente', die heeft ongetwijfeld een invloed op de huizenmarkt.

Dergelijke causale methodes hebben het voordeel ten opzichte van '*time series*' methodes dat ze huidige externe verbanden meerekenen, terwijl de laatstgenoemde alleen naar historische data kijkt. Er zijn echter wel een aantal veronderstellingen die bij de causale methodes gemaakt worden die significant kunnen zijn voor het wel of niet betrouwbaar kunnen toepassen van de methodes. Deze zullen niet verder besproken worden.⁴

Een belangrijk punt dat altijd van belang is ongeacht het gebruikte voorspellingsmodel, is de nauwkeurigheid van de voorspelling. Deze moet namelijk altijd gemonitord worden om te kunnen kijken of het gebruikte model naar behoren presteert, en om eventuele verbeteringen te kunnen doen.

Voor de '*time series*' methodes worden meestal de '*mean squared error*' (MSE), '*mean absolute deviation*' (MAD) en '*mean absolute percentage error*' (MAPE) gebruikt. Ook de '*bias*' is interessant - die geeft aan of de methode significant over- of onderschat.^{3,4,9}

Voor de causale methodes worden dezelfde principes gebruikt waarbij dan methodes als '*coefficient of determination*' en '*standard error of estimate*' gebruikt worden.

De in het begin genoemde kenmerken van voorspellingen moeten niet vergeten worden, en menselijke intuïtie blijft vaak ook een belangrijke factor om mee te nemen bij voorspellingen. Ook moet niet de fout gemaakt worden dat 'vraag' en 'verkoop' gelijk worden gesteld. Om een 'echte' vraag te verkrijgen, moet er niet alleen rekening worden gehouden met '*stockouts*', maar ook met de handelingen van concurrenten, van prijzen, promoties, etc. Met deze variabelen kan kwantitatief moeilijk rekening worden gehouden, en zal dit kwalitatief moeten gebeuren en zal ervaring, inzicht en intuïtie een grote rol spelen.

3.5 Samenvatting van het literatuuronderzoek

Hoofdstuk 3 heeft dieper de verschillende technische aspecten behandeld die in hoofdstuk 1 geïdentificeerd zijn en die in hoofdstuk 2 als te onderzoeken vragen opgesteld zijn. Zo toont de eerste paragraaf aan de hand van de literatuur dat cyclusvoorraad met behulp van de *Economic Order Quantity* een goede indicatie geeft van de optimale bestelgrootte om de totale kosten te minimaliseren. Hiermee heeft Firma Jansen een leidraad naar wat de 'beste' bestelgrootte zou zijn. Vervolgens is het principe veiligheidsvoorraad uitgelegd dat de onzekerheden van de vraag en levering opvangt (§3.2.1). Met deze veiligheidsvoorraad kan Firma Jansen bepalen hoeveel backorders toegelaten moeten worden.

Om de voorraad te beheren kan een *periodic* en *continuous review policy* gebruikt worden. (§3.2.2.). Hierbij wordt aan de hand van de gewenste service level (CSL) het bestelpunt (*ROP*) en het aan te vullen bestelniveau (*OUL*) berekend, waaruit weer de veiligheidsvoorraad volgt (§3.2.3). Het service level is dus een handige parameter voor Firma Jansen om te gebruiken de rest van de variabelen aan de hand van de modellen te laten bepalen.

De veiligheidsvoorraad kan verder gereduceerd worden door aggregatie (§3.2.4). Om een juiste servicemaat te kunnen kiezen, kunnen producten met behulp van ABC-kwalificatie in klassen ingedeeld worden, met de bijbehorende service levels (§3.3). Dit is dus een handige leidraad voor het bedrijf om het service level te bepalen of om in één keer een grote hoeveelheid producten automatisch een verantwoorde service level toe te wijzen.

Echter om al deze technieken toe te kunnen passen, moet de vraag geschat worden. De vierde paragraaf legt het principe van voorspellingen uit en introduceert beknopt een aantal technieken.

4) Oplossingsrichting

In hoofdstuk 1 is besproken welke onderwerpen er zoal bij voorraadbeheer komen kijken waarna in hoofdstuk 2 de huidige situatie van Firma Jansen hiermee vergeleken is. Daar is gebleken dat een aantal theorieën nader onderzocht moesten worden om daadwerkelijk gebruikt te kunnen worden door het bedrijf - deze zijn in hoofdstuk 3 onderzocht. De onderzoeksvragen die aan het einde van hoofdstuk 2 zijn uitgezet zijn zodoende grotendeels behandeld, de overgebleven delen zullen in dit hoofdstuk volgen. Het zou tot dusver duidelijk moeten zijn hoe er met cyclusvoorraad wordt omgegaan, welke bestelgroottes er gehanteerd moeten worden, hoe veiligheidsvoorraad wordt bepaald, wanneer bestellingen geplaatst moeten worden, en voor welke producten welke servicemaat gehanteerd kan worden.

In dit vierde en laatste hoofdstuk zal de laatste link worden gelegd naar de implementatie van de voorafgaande stukken, en zal er een aanbeveling gedaan worden. Eerst zal in de eerste paragraaf teruggekeken worden naar de eerder opgestelde knelpunten en onderzoeksvragen en hoe deze zich na het onderzoek tot het verbeteren van het voorraadbeheer verhouden. Daarna zal §4.2 een aantal nieuwe aspecten die het voorraadbeheer verbeteren behandelen - deze waren tijdens het onderzoek opgekomen en zijn niet tijdens het literatuuronderzoek gevonden. Ook wordt er een voorbeeld gegeven van een globale typische aanpak die de literatuur voorschrijft, en daarna wordt van een aantal producten een concreet voorbeeld gegeven met daadwerkelijke data (§4.2.6). Vervolgens zal het voorgestelde implementatieproces beschreven worden (§4.3) en deze scriptie zal eindigen met een conclusie (§4.4).

4.1 Reflectie op de huidige situatie

Nu duidelijk is geworden hoe een efficiënt beleid wat betreft het voorraadbeheer kan verlopen, kan dit nogmaals - deze keer inhoudelijker - met de situatie van Firma Jansen vergeleken worden om te kijken welke stappen er genomen moeten worden om de huidige situatie naar de in de theorie aanbevolen situatie te brengen in de praktijk. De hoofdvraag ging over het toepassen van kwantitatieve analyses om het voorraadbeheer te verbeteren. In het model van knelpunten in *figuur 1.1* bleek dat “voorraad wordt niet goed geanalyseerd en beheerd” de grootste negatieve gevolgen veroorzaakt. Het is na het lezen van de literatuur evident dat er veel met data gedaan kan worden, wat tot op heden nauwelijks wordt gedaan.

De enige kwantitatieve beslissingsvariabele die Firma Jansen gebruikt voor het voorraadbeheer is 'omloopsnelheid'. De wet van Little⁹ zegt dat (gemiddelde) omloopsnelheid = gemiddelde voorraad / doorzet, en geeft aan hoe lang een product in de voorraad zijn tijd spendeert. Echter geeft omloopsnelheid geen volledig of goed beeld van de kwaliteit van de voorraad. Dit is een mooie maat om producten te herkennen die niet populair zijn en te lang op voorraad liggen, maar om het voorraadniveau van normaal verkopende producten te bepalen, geeft de omloopsnelheid weinig hulp. Bovendien is het de vraag hoe die omloopsnelheid precies berekend wordt - een gemiddelde over alle jaren zal niet zo nuttig zijn als het gemiddelde over een korter tijdsbestek. Dit aangezien oude data niet meer actueel kunnen zijn, terwijl ze wel met net zo veel gewicht als recente data in het gemiddelde worden berekend. Daarnaast zegt de omloopsnelheid niets over wanneer, hoeveel, en welke producten besteld moeten worden. Het voorspellen en optimaliseren van bestellingen en voorraadniveaus wordt niet gedaan en zo loopt Firma Jansen potentieel veel kostenbesparingen en service naar klanten mis.

Zoals in hoofdstuk 2 aangegeven heeft dit onderzoek zich gefocust op de in literatuur voorgestelde kwantitatieve analyses en dat er een gebrek aan dergelijke analyses in het huidige ERP-systeem is, het hoofdprobleem. De oorzaken van het hoofdprobleem zullen wederom bekeken worden nu de theorie is onderzocht:

- *"Historische voorraadmutaties lastig te rapporteren"* - dit blijkt inderdaad een knelpunt in het ERP-systeem te zijn dat verhindert om de vraag te voorspellen; deze is essentieel voor bijna alle analyses. Het is daarom van groot belang het ERP-systeem zo aan te passen dat voorspellingen gedaan kunnen worden om de vraag te kunnen voorspellen. Gelukkig bevat het ERP-systeem deze informatie (wanneer welk product verkocht is) wel, echter is deze niet makkelijk toegankelijk, waarschijnlijk omdat tot op heden de informatie niet nodig was.

- *"3 databases maken analyse en beheer lastig"* - ook dit is een significant knelpunt in het ERP-systeem dat verhindert om goede analyses te maken. Geaggregeerde analyses zijn voor de meeste aspecten van belang - zo moet bijvoorbeeld de vraag voor alle filialen in zijn totaliteit berekend worden aangezien de bestellingen ook centraal voor alle filialen gedaan worden en centraal bevoorraad worden. Dus het aggregeren van de databases is erg belangrijk om goede analyses te maken.

- *"Verschillende prijzen van leveranciers zorgen dat de verwerking van inkoopkosten lastig is"* - Verschillende prijzen zorgen voor verschillende voorraadkosten en en daardoor voor verschillende EOQ's. Dit hoeft niet per se lastig te zijn om door een ERP-systeem te analyseren, mits de data actueel zijn. Deze informatie moet dus wel beschikbaar zijn gesteld door de leverancier en in het ERP-systeem aanwezig zijn. Dus ook dit is belangrijk

om bij Firma Jansen te realiseren om de juiste berekeningen te kunnen maken en meer te kunnen besparen.

- “Leveranciers geven weinig informatie over de levertijden” - enerzijds is dit vervelend voor klanten die graag willen weten wanneer ze hun bestelling kunnen verwachten als iets niet op voorraad is, en anderzijds heeft dit tot gevolg dat de voorraad hierdoor opgeschroefd moet worden om een gewenste service te kunnen verlenen. Wiskundig blijkt namelijk uit de formules dat een langere levertijd en/of niet-consequente levertijden (de standaardafwijking van de levertijd) drastische gevolgen voor de veiligheidsvoorraad heeft. Hierdoor gaan de kosten ook significant omhoog, terwijl de service naar de klanten toe niet verandert.

Naast de in hoofdstuk 2 beschreven onderzoeksvragen en knelpunten, is een ander aspect tijdens het onderzoek duidelijk geworden dat het vermelden waard is. Bij nader inzien blijkt namelijk, nu de kwantitatieve berekeningen bekend zijn, dat niet alleen de historische voorraadmutaties (voor voorspellingen) in het ERP-systeem lastig te verkrijgen zijn, maar ook andere aspecten als bestelkosten, voorraadkosten, en leveringsduur (dus niet wat de leverancier als indicatie heeft aangegeven, maar wat daadwerkelijk heeft plaatsgevonden). Doordat het belang van deze aspecten tijdens het maken van de probleemkluwen niet bekend was, is dit over het hoofd gezien. Echter zijn deze aspecten dus ook van belang om de kwantitatieve methodes uit te voeren.

4.2 De gewenste situatie

Om de gewenste situatie te verduidelijken en aan te tonen dat de modellen ook in de praktijk daadwerkelijk werken zal deze paragraaf aan de hand van enkele voorbeelden de data van Firma Jansen volgens het voorstel tonen. De concrete berekeningen zullen hier meestal niet getoond worden; ze kunnen echter in het bijgevoegde Excel-bestand gevonden worden en maken gebruik van de in hoofdstuk 3 voorgestelde modellen.

4.2.1 ABC-kwalificatie toegepast

Als eerste worden verschillende producten gekozen die volgens de theorie waarschijnlijk op verschillende manieren aangepakt zouden moeten worden. Om de ABC-kwalificatie toe te passen wordt de waarde (verkoopprijs) van alle producten vermenigvuldigd met het aantal dat verkocht is om de gebruikerswaarde te bepalen. Dit is alleen genomen voor 2014 en de magazijnzendingen vanuit het centrale magazijn naar klanten. De onderverdeling is in *figuur 4.1* gemaakt.

Klasse ABC	Producten	Waarde	Producten
A	300 stuks	66.0%	5.1%
B	1700 stuks	28.4%	28.7%
C	3917 stuks	5.6%	66.2%

Figuur 4.1 - ABC-klassificering

Daarbij zijn de 300 producten (5.1% van het totale aantal) met de hoogste gebruikerswaarde als 'A-product' gekwalificeerd, en samen nemen ze 66% van de totale gebruikerswaarde voor hun rekening. De volgende 1700 producten zijn in de "B-kwalificatie" beland, en de resterende producten in de "C-kwalificatie".

Voor de vervolgende voorbeelden worden de volgende vier producten gekozen:

- *Product 1:* Een A-product camera die absoluut gezien niet veel is verkocht; door zijn hoge verkoopprijs (en daardoor relatief gezien toch veel verkocht is) heeft het een hoge gebruikerswaarde gekregen.
- *Product 2:* Een A-product geheugenkaart die een lage verkoopprijs heeft; omdat het zeer veel verkocht is is het ook een A-product.
- *Product 3:* B-product, een camera-accessoire; deze is relatief goedkoop en relatief weinig verkocht.
- *Product 4:* C-product, een schroef; Deze heeft een erg lage verkoopprijs en is weinig verkocht.

Zoals de theorie al aangaf hebben de A-producten veel aandacht nodig, de B-producten hebben wat minder aandacht nodig, en de C-producten nog minder. Wel wordt aangeraden hogere service levels voor de lagere klassen te gebruiken, wat resulteert in een relatief hoog voorraadpeil. Maar aangezien de investering hiervoor klein is en het resultaat is dat men er niet veel aandacht hoeft te besteden, is dit gunstig.

4.2.2 Data-verzameling

Nu voor elke klasse (een) representatief voorbeeld(en) is genomen kan er gekeken worden naar de bijbehorende data om de in hoofdstuk 3 genoemde modellen te kunnen gebruiken. In het bijzonder zijn de bestelkosten, voorraadkosten, prijzen, vraag en levertijd nodig.

- Bestelkosten 'K'. De bestelkosten zijn moeilijk exact te bepalen aangezien bijna nooit kosten van de leverancier van toepassing zijn (omdat de bestelhoeveelheid relatief groot is worden er geen kosten in rekening gebracht). Wel kunnen de personeelskosten meegenomen worden van het personeel dat bestellingen plaatst, verwerkt, contact met leverancier heeft en andere per bestelling specifieke handelingen verricht. In overleg met de directie is ervoor gekozen om 20% van de personeelskosten van het magazijn en 40% van de personeelskosten van de inkoop aan de bestelkosten toe te wijzen. De gemiddelde bestelkosten per bestelling zijn zodoende aan de hand van de bijbehorende personeelskosten van 2014 op €8,22 per bestelling vastgesteld.
- Voorraadkosten 'h'. De voorraadkosten zijn met behulp van daadwerkelijke data - zoals opslagkosten, verwarming, verzekering, beveiliging, diefstal, veroudering, huur, etc. - moeilijk concreet te bepalen. Echter wordt door consultants een vast percentage

van de inkoopprijs genomen en eventueel iets bijgesteld afhankelijk van hoe goed het bedrijf presteert betreffende de voorraadkosten. In dit onderzoek wordt het gemiddelde van 3% van de kostprijs per maand (ca 0.69% per week) genomen.¹⁰ Vermenigvuldigd met de kostprijs ontstaan de voorraadkosten 'h'.

- Prijs 'p'. Hiervoor is de huidige kostprijs genomen van elk product.
- Vraag 'D' en Levertijd 'L' worden in de volgende paragrafen nauwkeurig onderzocht.

4.2.3 Analyse van de vraag

Figuur 4.3 toont op de volgende pagina een frequentieanalyse van de vraag van de vier producten per week, die met behulp van data van 2014 verkregen zijn - dus wat de frequentie (verticale as) van een bepaald verkoopaantal (horizontale as) van een product in een week was. Opvallend is dat de producten die relatief veel verkocht zijn ('fast-movers') behoorlijk normaal verdeeld (symmetrisch met een piek in het midden) lijken te zijn, al dan niet met een 'scheefheid naar rechts' (piek meer links geconcentreerd met een langere 'staart' rechts). Een test op normaliteit (*figuur 4.2*) met behulp van Kolmogorov-Smirnov¹¹ en Shapiro-Wilk¹² laat zien dat alleen de nulhypothese van *Product 2* aangenomen kan worden; met andere woorden, van het geheugenkaartje kan met 95% zekerheid gezegd worden dat de vraag normaal verdeeld is (aangezien de p-waarde ("Sig." in de tabel van *figuur 4.2*) voor beide tests hoger dan 0.05 is).

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Product 1	.145	51	.009	.950	51	.032
Product 2	.099	51	.200*	.966	51	.153
Product 3	.158	51	.003	.898	51	.000
Product 4	.344	51	.000	.680	51	.000

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Figuur 4.2 - Test op normaliteit

De in dit onderzoek in hoofdstuk 3 behandelde service level-analyses gaan uit van een normale verdeling, echter een betere verdeling (bijvoorbeeld een exponentiële- of Poisson-verdeling) voor de 'slow-moving' producten (zoals *Product 3* of *Product 4*) zou betere resultaten geven. Hier wordt echter nu niet dieper op ingegaan - in §4.2.4 zal nog een andere methode gebruikt worden die service levels aanpakt zonder een speciale verdeling.

In *figuur 4.4* (volgende pagina) wordt het geheugenkaartje meer in detail geanalyseerd, waarbij de verticale as de verkochte aantallen (rode lijn) per volledige week (horizontale as) toont. De oranje lijn toont de lineaire trend en de blauwe lijn de trend aan de hand van een polynoom. Verschillende seizoensinvloeden zijn duidelijk te zien, en dit zou gebruikt kunnen worden voor het voorspellen van de vraag.

¹⁰ Trudgian, P. (2014)

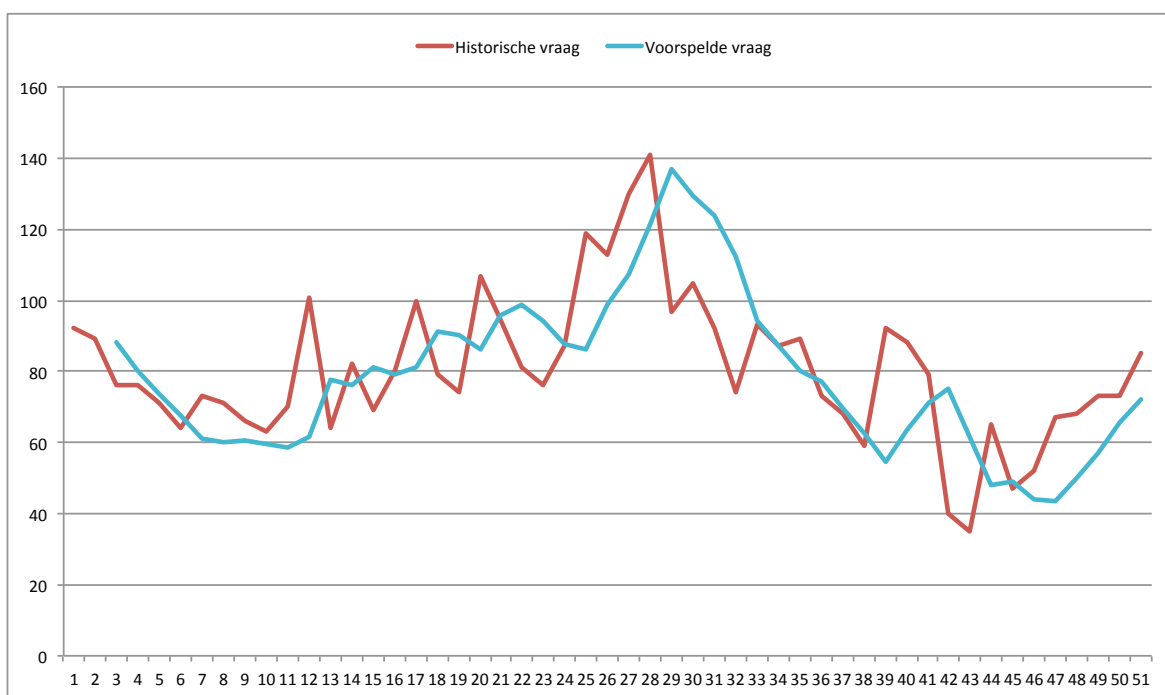
¹¹ Justel, A.; Peña, D.; Zamar, R. (1997)

¹² Shapiro, S. S.; Wilk, M. B. (1965)

Overigens is het langzaam verminderen van de vraag die in de lineaire trend goed te zien is waarschijnlijk te wijten aan het feit dat de technologische trend is dat modernere kaarten (met bijvoorbeeld een grotere capaciteit en hogere schrijfsnelheid) goedkoper en belangrijker worden. Hierdoor wordt de verkoop van de 'oudere' kaart, die in dit onderzoek gebruikt is, 'gestolen' door deze modernere kaarten. Dit is niet heel belangrijk voor de voorraadanalyse, maar desalniettemin kan dit onderzocht worden door de trend in alle geheugenkaarten te analyseren om vast te stellen of inderdaad de verkoop van 'modernere' kaarten langzaam stijgt of dat de trend is zoals bij de in dit onderzoek gebruikte kaart - langzame daling van de vraag.

De gebruikte methode aan de hand van een polynoom vereist een speciaal computerprogramma. Een relatief makkelijke methode die met simpele berekeningen werkt is 'exponential smoothing', en *figuur 4.5* geeft het resultaat van een 'Holt-Winters double exponential smoothing' op Product 2 waarbij de trend ook mee wordt genomen. Hiervoor zijn een α van 0.40 en een β van 0.30 genomen die het resultaat waren van het minimaliseren van de Mean Squared Error, Mean Absolute Error, en bias. Simpel gezegd is hiermee geprobeerd de voorspelling zo precies mogelijk te maken door de afwijking(en) zo klein mogelijk te krijgen door de gewichten (α en β) aan te passen.

De grafiek beoordelend is te zien dat de voorspelde benadering behoorlijk goed is.



Figuur 4.5 - Vraagverloop van Product 2 in 2014 met voorspelling a.d.h.v. 'exponential smoothing'

4.2.4 Analyse van de vraag tijdens levertijd

Een soortgelijke frequentieanalyse als bij de vraag is in *figuur 4.6* (volgende pagina) gedaan voor de levertijd met behulp van de historische data van 2014 van de vier producten. Hierbij blijkt het tegenovergestelde te gelden: volgens de Kolmogorov-Smirnov- en Shapiro-Wilk-tests is een normale verdeling voor alle levertijden een plausibele benadering, behalve de levertijd van *Product 2*.

Aangezien de behandelde modellen van de inkopen uitgaan van een normale verdeling van zowel de vraag als de levertijd, heeft dit negatieve gevolgen op de nauwkeurigheid van de uitkomsten - in sommige gevallen niet verwaarloosbaar. Zo is de vraag bij *Product 3* en *4* absoluut niet normaal verdeeld. Er kunnen een aantal tests uitgevoerd worden om te bepalen of de verdeling bijvoorbeeld wellicht geometrisch is of dat er sprake is van een Poisson-verdeling; vervolgens zou dit gemakkelijk in de modellen inwisselbaar zijn bij de plekken waar de normale verdeling gebruikt werd. Deze tests zullen in dit onderzoek niet gedaan worden, echter wordt er wel een empirische verdeling getoond die voor elke geval makkelijk toe te passen is.²

Figuur 4.7 (volgende pagina) toont een dergelijke handelwijze, waarbij *Product 4* als voorbeeld genomen is: de eerste tabel heeft de vraag tegen de levertijd uitgezet; dit zijn de historische gebeurtenissen. De waarden in de tabel zijn de vermenigvuldigingen van de gegeven vraag en levertijd. Zo is de laatste waarde het ergste geval: als de vraag maximaal zou zijn (5 producten per week) en de levertijd zou ook maximaal zijn (8.57 weken), zou gedurende de levertijd een vraag naar $5 \cdot 8.57 = 42.85$ producten zijn.

Natuurlijk is de kans hierop klein, en de tabel ernaast toont de bijbehorende kansen. De kans op een vraag van 5 producten is 0.02, en de kans op een levertijd van 8.57 weken is 0.25; samen is dat slechts een kans van 0.005 (0.5%).

De derde tabel combineert deze vraag tijdens levertijd in intervallen van 5 producten en geeft daarbij de bijbehorende kansen; de grafiek toont hetzelfde. Het resultaat is dat nu te zien is dat als er nu een bestelling geplaatst wordt, de kans bijna 70% is dat tijdens de levertijd 0 tot 5 producten verkocht worden. Een groter voordeel is dat nu gemakkelijk bepaald kan worden wanneer het product besteld moet worden. Als men met 99.0% ('CSL') zekerheid geen tekort wil hebben, moet er bij een voorraadpeil van 30 producten een nieuwe bestelling geplaatst worden. De in de laatste tabel opgetelde kans dat de vraag tijdens levertijd kleiner dan 30 (de huidige voorraad) is, is namelijk 99%.

Op identieke wijze kan elk product aangepakt worden. In het vervolg zal er uitgegaan worden van een normale verdeling om de berekeningen niet te complex te maken. Voor Firma Jansen is het makkelijkste om de normale verdeling standaard te gebruiken, in het achterhoofd houdend dat deze vooral voor de veel-verkochte producten nauwkeurig is. Als meer nauwkeurigheid vereist is, kan de empirische verdeling gebruikt

worden - deze is altijd toepasbaar en altijd op dezelfde manier. Dit is dus niet heel moeilijk te doen. Wiskundig gezien, het testen van de data op de juiste verdeling en deze verdeling vervolgens gebruiken, is niet heel gemakkelijk. Daarom wordt dit niet aangeraden te doen, tenzij (op een later tijdstip) de software in staat is dit zelf goed te kunnen doen.

4.2.5 Resultaat - het standaardmodel

Nu de gegevens van de vraag en levertijd bekend zijn, kunnen de in hoofdstuk 3 besproken modellen toegepast worden om aan de hand van ingestelde service levels te bepalen wanneer en hoeveel er ingekocht moet worden. Aan het eind van deze paragraaf zullen enkele resultaten gegeven worden van de vier voorbeeldproducten.

Omdat Firma Jansen elke twee dagen (ook in het weekend) tussen 19:00 en 22:00 bestellingen plaatst zal de '*periodic review policy*' van toepassing zijn. '*R*' is dan 2 dagen = 2/7^{de} week. Voordat de aanpak besproken wordt, wordt hieronder een lijst van de gebruikte afkortingen getoond:

LEGENDA

<i>I</i>	net Inventory (netto voorraadpijl) = huidige voorraad - backorders	σ_{L+R}	standaarddeviatie van vraag tijdens levertijd + tussen bestel-intervallen per week
<i>EOQ</i>	Economic Order Quantity van het product	<i>P(DLSI)</i>	Kans dat er geen backorders komen als er nu besteld wordt
<i>D</i>	Demand (verwachte vraag) per week	<i>CSL</i>	Cycle Service Level = fractie van cycli waar alles uit voorraad is geleverd
σ_D	standaarddeviatie van vraag per week	<i>ss</i>	safety stock = veiligheidsvoorraad tegen fluctuaties tijdens levertijd en review periode
<i>L</i>	Lead time (verwachte levertijd) per week	<i>ROP</i>	ReOrder Point = minimaal voorraadniveau voor plaatsen van bestelling
σ_L	standaarddeviatie van levertijd per week	<i>OUL</i>	Order Upto Level = tot dit niveau huidige voorraad aanvullen
<i>R</i>	Review interval = interval tussen bestellingen per week	<i>H</i>	Gemiddelde voorraadkosten per week
D_L	vraag tijdens levertijd per week	<i>Q</i>	order Quantity (aanbevolen bestelhoeveelheid)
σ_L	standaarddeviatie van vraag tijdens levertijd per week	<i>ESC</i>	Expected Shortage per replenishment Cycle (verwachte aantal product-stockouts per cyclus)
D_{L+R}	vraag tijdens levertijd + tussen bestel-intervallen per week		

Wat nieuw is, is '*H*', de gemiddelde voorraadkosten per week. Deze bestaan uit de kosten voor de veiligheidsvoorraad plus het gemiddelde (de helft) van de cyclusvoorraad (dus de EOQ).

Zoals eerder besproken kan het optimale (kosten-minimaliserende) bestelaantal, de EOQ, bepaald worden met de volgende formule: $EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot D}{h}}$

Hierin zijn alle parameters per week, en er is rekening gehouden met het feit dat de voorraadkosten een percentage (0.69% per week) van de prijs zijn. Omdat de verantwoordelijke van het voorraadbeheer om verschillende redenen alsnog kan afwijken van de EOQ, zal voortaan de daadwerkelijke bestelgrootte als '*Q*' benoemd worden.

Om de optimale bestelhoeveelheid bij elke review periode te kunnen bestellen, moet er D/Q keer per week besteld worden. Of anders geformuleerd: er moet besteld worden met een interval van Q/D weken. Aangezien het bestel-interval vaststaat (op $R=2/7^{\text{de}}$ week), moet er elke $Q/(D \cdot R)$ periodes besteld worden. Het gaat dan om hele periodes, dus de uiteindelijke waarde van de bestelperiodes moet worden afgerond op een geheel getal. De in de volgende formule gebruikte haken ronden de waarde naar

beneden af en met de toegevoegde $1/2$ zorgt dit ervoor dat $Q/(D \cdot R)$ op een geheel getal wordt afgerond: $\left\lfloor \frac{Q}{D \cdot R} + \frac{1}{2} \right\rfloor$. Dit vermenigvuldigt met R geeft een veelvoud van R dat het dichtst bij Q/D ligt. Het gevolg is dat de vraag en standaarddeviatie tijdens levertijd en levertijd + bestelperiode als volgt worden, waarbij vanuit wordt gegaan dat de EOQ of Q al afgerond is:

$$D_L = D \cdot L \quad D_{L+R} = D \cdot \left(L + R \left\lfloor \frac{Q}{D \cdot R} + \frac{1}{2} \right\rfloor \right)$$

$$\sigma_L = \sqrt{L \sigma_D^2 + D^2 s_L^2} \quad \sigma_{L+R} = \sqrt{\left(L + R \left\lfloor \frac{Q}{D \cdot R} + \frac{1}{2} \right\rfloor \right) \sigma_D^2 + D^2 s_L^2}$$

De veiligheidsvoorraad ss en de *Order-Up-to-Level* (OUL) volgen hier vervolgens vanzelf uit, in overeenstemming met hoofdstuk 3:

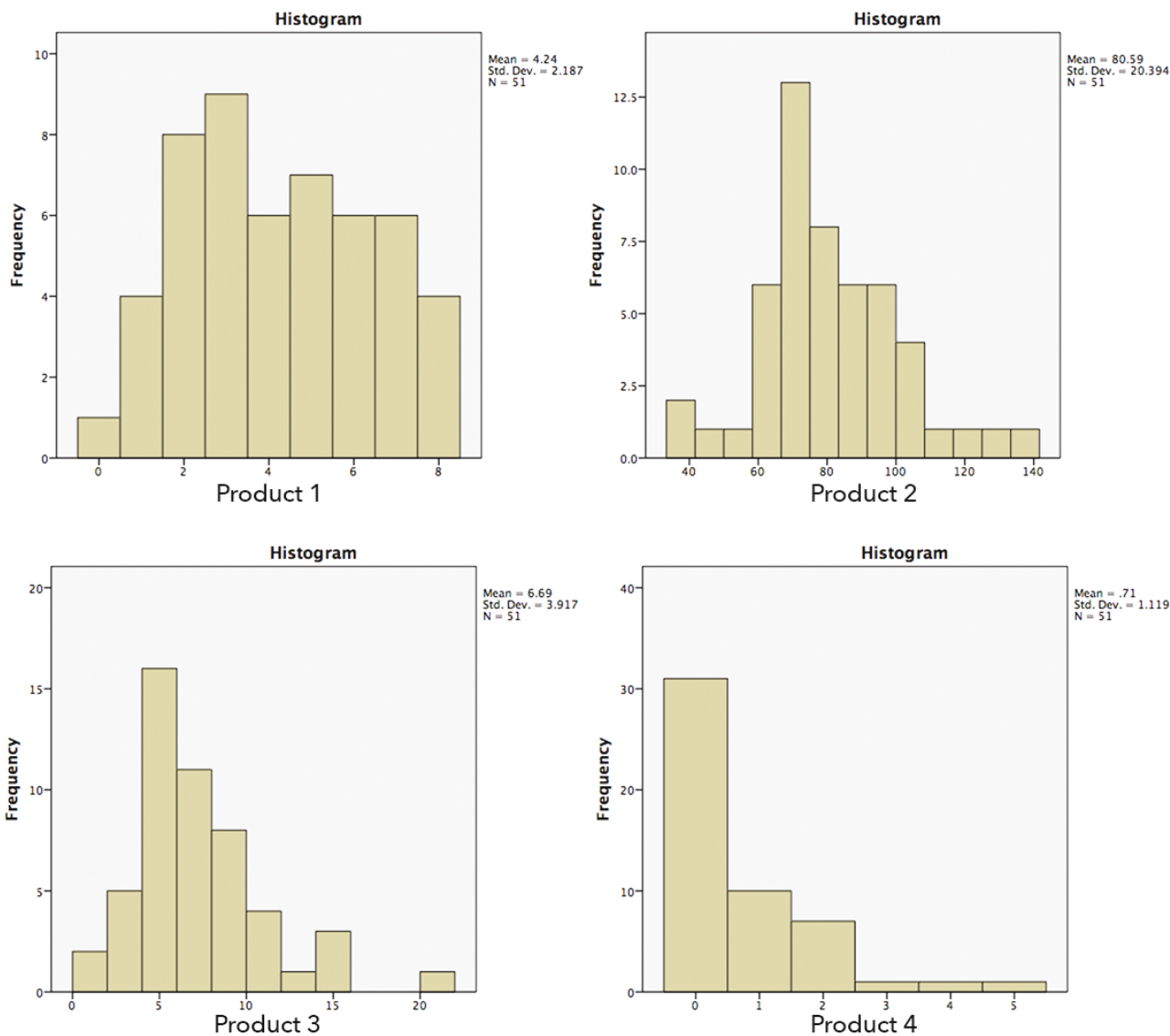
$$ss = F_S^{-1}(CSL) \cdot \sigma_{L+R} \quad OUL = ss + D_{L+R}$$

Er is natuurlijk bepaald dat er elke $EOQ/(D \cdot R)$ periodes standaard besteld moet worden, maar daarbij is op hele getallen afgerond en bovendien zal de verkoop natuurlijk fluctueren. Het kan dus verstandig zijn om te kijken of het handig is om op het huidige moment te bestellen of op een later tijdstip. Daarbij is het handig om te kijken wat de score is als er op het huidige moment besteld zou worden. De CSL -score kan berekend worden door te kijken naar het huidige voorraadpeil en de vraag en standaarddeviatie tijdens levertijd, als er op het huidige moment besteld zou worden: $CSL_L = F(I, D_L, \sigma_L)$. Hiermee kan bepaald worden of het belangrijk is om op het huidige moment te bestellen of om tot de volgende periode te wachten. Bovendien kunnen hiermee alle producten vergeleken en gefilterd worden, en zo producten die 'in de problemen zitten' en te weinig voorraad hebben snel gevonden worden.

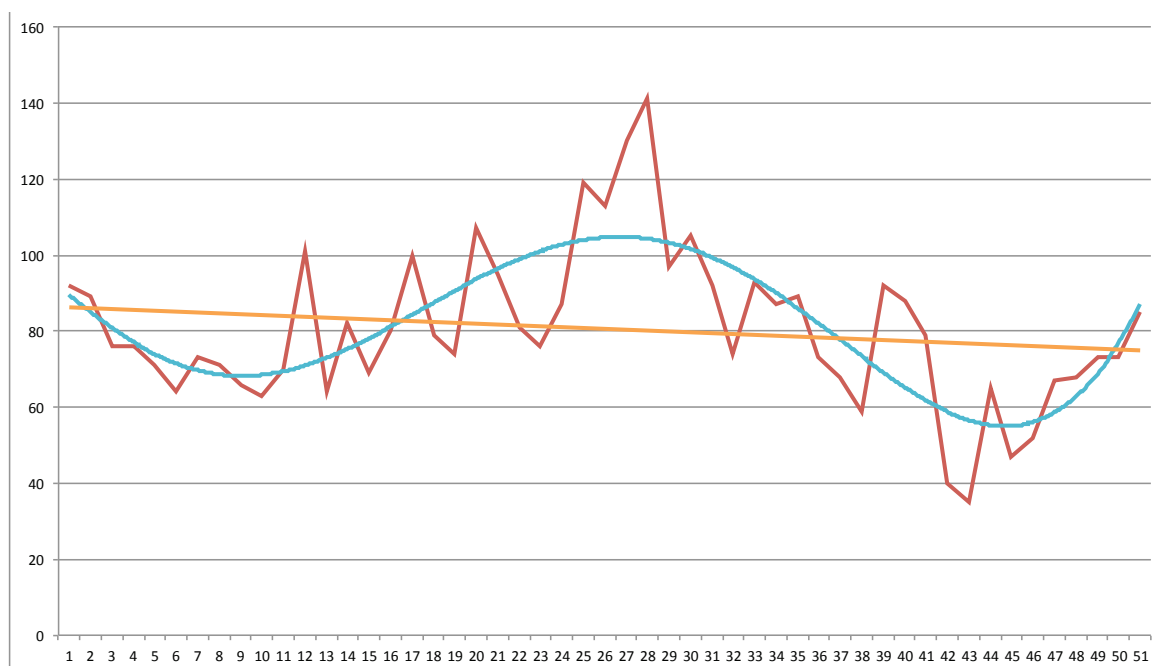
Daarnaast is het handig om de fill rate bij te houden. Eerder is in hoofdstuk 3 de verwachte fill rate (verwachte fractie van de vraag van een product die uit voorraad geleverd wordt, dus dat er geen backorders geplaatst worden) op het moment van bestellen gegeven aan de hand van een formule met de normale verdeling, maar de daadwerkelijke historische fill rate is makkelijker te verkrijgen en is een handige maat om

te kijken hoe producten gepresteerd hebben. Dit kan met $fr = 1 - \frac{ESC \cdot \frac{D}{Q}}{D} = 1 - \frac{ESC}{Q}$

(D = vraag per week; Q = bestelhoeveelheid; ESC = expected shortage per replenishment cycle, dus de verwachte hoeveelheid backorders per bestelling en gebruik makend van de historische voorraadmutaties gaat het om de gemiddelde hoeveelheid backorders). Omdat backorders momenteel niet bijgehouden worden bij Firma Jansen, is dit niet berekend.



Figuur 4.3 - Frequentiehistogrammen van de vraag



Figuur 4.4 - Vraagverloop van Product 2 in 2014 met twee analyses

Nu er een aantal aanpassingen zijn gemaakt aan de formules wordt hieronder bekeken wat het resultaat zou zijn. De formules en parameters worden niet getoond. In de tabel van *Figuur 4.8* zijn de vier voorbeeldproducten met verschillende CSL-waardes getoond met de bijbehorende OUL (het aan te vullen voorraadpeil), ss (veiligheidsvoorraad) en H (gemiddelde voorraadkosten).

Product	CSL	OUL	ss	H
Product 1 elke 2 periodes bestellen; EOQ = 2; D = 4.24; L = 0.93	60%	8	1	€31.96
	70%	9	3	€63.91
	80%	10	4	€78.89
	90%	13	6	€111.85
	95%	14	8	€143.81
Product 2 elke 6 periodes bestellen; EOQ = 133; D = 80.59; L = 0.70	60%	212	18	€6.29
	70%	231	36	€7.63
	80%	253	58	€9.27
	90%	283	89	€11.57
	95%	309	114	€13.43
Product 3 elke 56 periodes bestellen; EOQ = 106; D = 6.69; L = 5.21	60%	148	8	€0.60
	70%	157	17	€0.69
	80%	168	28	€0.80
	90%	182	42	€0.93
	95%	194	54	€1.05
Product 4 elke 242 periodes bestellen; EOQ = 49; D = 0.71; L = 5.54	60%	56	3	€0.14
	70%	59	6	€0.15
	80%	62	9	€0.16
	90%	67	14	€0.19
	95%	71	18	€0.21

Figuur 4.8 - Resultaten van verschillende CSL-scores

Product 1 is een relatief duur A-product, en er was initieel een CSL van 70% aan toegekend. Volgens de formules is de gemiddelde wekelijkse vraag 4.24 stuks met een gemiddelde levertijd van 0.93 weken en zouden elke 2 periodes (dus elke 4 dagen) 2 exemplaren besteld moeten worden. In de tabel hierboven is te zien dat bij het verhogen van de CSL de wekelijkse voorraadkosten behoorlijk stijgen. Aangezien het product veel aandacht krijgt, is de CSL van 70% goed - de kosten zijn acceptabel en dat klanten bij 30% van de inkoop-bestellingen een korte tijd (er wordt elke 2 periodes besteld met een

gemiddelde levertijd van een week) moeten wachten is geen groot probleem aangezien klanten dat wel voor zo'n relatief duur product over hebben.

Product 2 betreft het relatief goedkope geheugenkaartje welke vaak (ca 80 stuks per week) verkocht wordt. Hiervan zouden elke 6 periodes (ca elke 2 weken) 133 stuks besteld moeten worden, die gemiddeld 0.7 weken later binnenkomen. Omdat de voorraadkosten relatief laag zijn en het product belangrijk is, is een grotere veiligheidsvoorraad handig. Voor een paar euro kan dan de CSL van (de door de ABC-kwalificatie bepaalde score van) 70% verhoogd worden naar 95%. Dat wordt dan ook in dit geval aangeraden te doen - dat zullen de vele klanten wel op prijs stellen en zullen ze een 'simpel' kaartje niet elders kopen.

Product 3 is een B-product heeft een relatief hoge EOQ van 106 stuks die elke 56 periodes (ca 16 weken) besteld zou moeten worden. De levertijd is behoorlijk lang, gemiddeld meer dan 5 weken. In de kwalificatie zijn de B-producten een CSL van 80% gegeven, wat in dit geval goed is. Eventueel zou dit iets verhoogd kunnen worden om er 'zeker' van te zijn dat het voorraadpeil van het product zonder problemen zal verlopen en om er verder weinig aandacht aan te besteden.

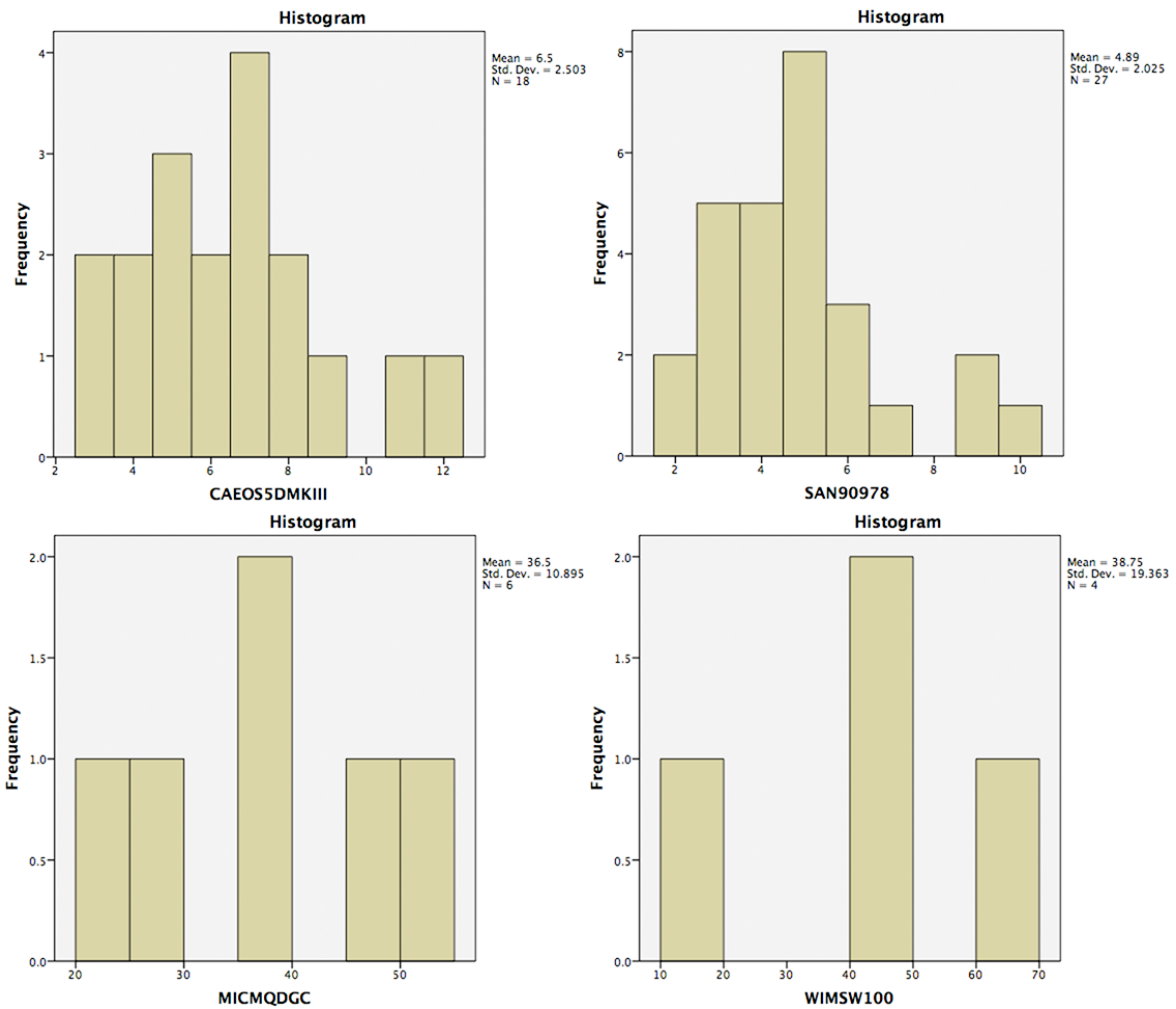
Product 4, het C-product, wordt gemiddeld niet eens eenmaal per week verkocht en er zouden maar liefst elke 243 periodes (elke 16 maanden) 49 stuks besteld moeten worden. Initieel was een CSL van 90% hieraan gegeven, en dit is goed of zelfs aan de hoge kant. Hoewel de voorraadkosten laag zijn, dat geringe aantal klanten dat het product zou willen bestellen en toevallig ook nog het product bij Firma Jansen niet op voorraad aantreft zal het waarschijnlijk niet erg vinden gezien de populariteit van het product.

Hierboven is getoond hoe een standaard voorraadmodel gebruikt kan worden. Verschillende CSL-waardes hebben hun effect op de veiligheidsvoorraad en voorraadkosten laten zien. De ABC-kwalificatie heeft voor deze vier producten goed gewerkt, met als uitzondering dat de CSL van Product 2 significant is aangepast. Het is echter ook de bedoeling dat dergelijke A-producten veel aandacht krijgen en de verantwoordelijke naar inzicht de waardes moet aanpassen.

4.2.6 Resultaat - verbeterd model en bestelmodule

Hoewel de handelwijze in de vorige paragraaf goed zou moeten werken, is er voor dit onderzoek een aanpassing ontwikkeld en een bestelmodule in Excel geprogrammeerd om een voorbeeld te geven hoe Firma Jansen de theorie daadwerkelijk kan implementeren.

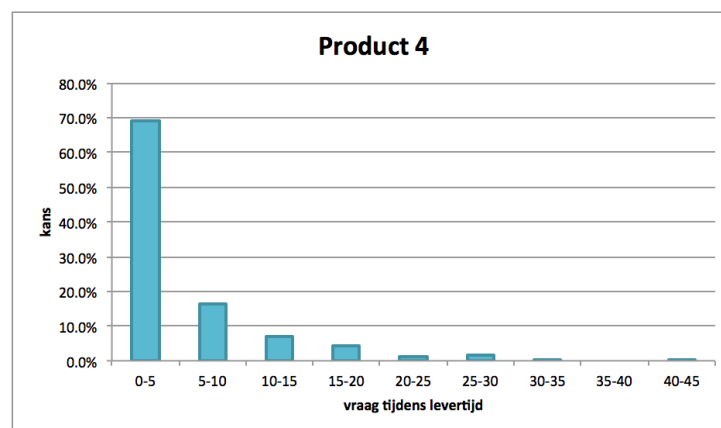
Als aanpassing is aan de hand van de vraag tijdens de levertijd een ROP_{min} berekend ('geleend' van de *continuous review policy*) - deze geeft het minimale voorraadniveau aan



Figuur 4.6 - Frequentiehistogrammen van de levertijden

Levertijd				Levertijd kansverdeling					
Vraag		1.86	5.86	8.57	Vraag kansverdeling		0.25	0.50	0.25
	0	0.000	0.000	0.000		0.61	0.152	0.304	0.152
	1	1.857	5.857	8.571		0.20	0.049	0.098	0.049
	2	3.714	11.714	17.143		0.14	0.034	0.069	0.034
	3	5.571	17.571	25.714		0.02	0.005	0.010	0.005
	4	7.429	23.429	34.286		0.02	0.005	0.010	0.005
	5	9.286	29.286	42.857		0.02	0.005	0.010	0.005

vraag tijdens levertijd	kans
0-5	69.1%
5-10	16.2%
10-15	6.9%
15-20	4.4%
20-25	1.0%
25-30	1.5%
30-35	0.5%
35-40	0.0%
40-45	0.5%

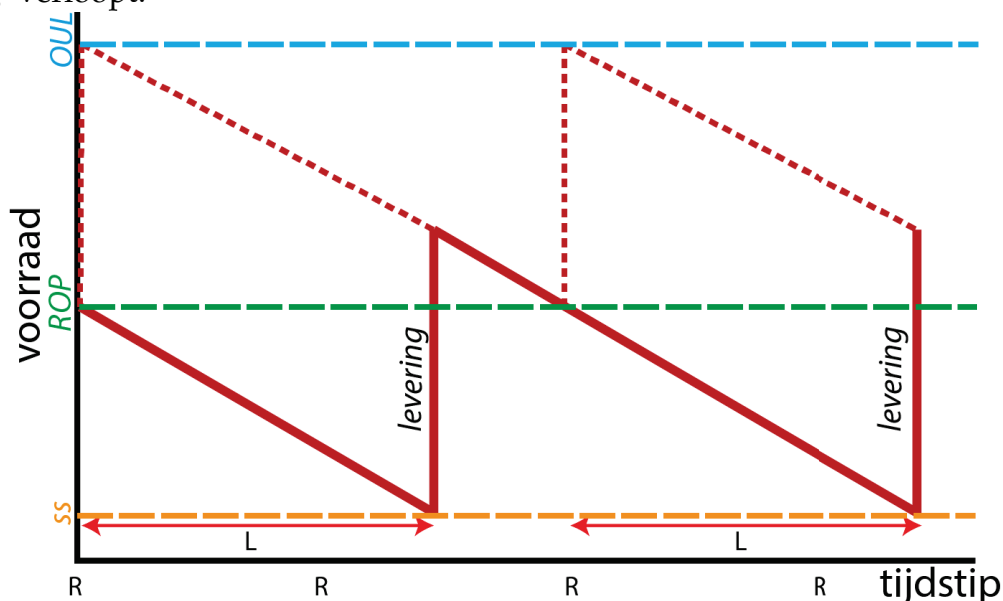


Figuur 4.7 - Kansverdeling van de vraag tijdens levertijd van product 4

waar besteld zou moeten worden om de ingestelde CSL te kunnen realiseren, in ieder geval tijdens de levertijd: $ROP_{min} = ss_L + D_L$

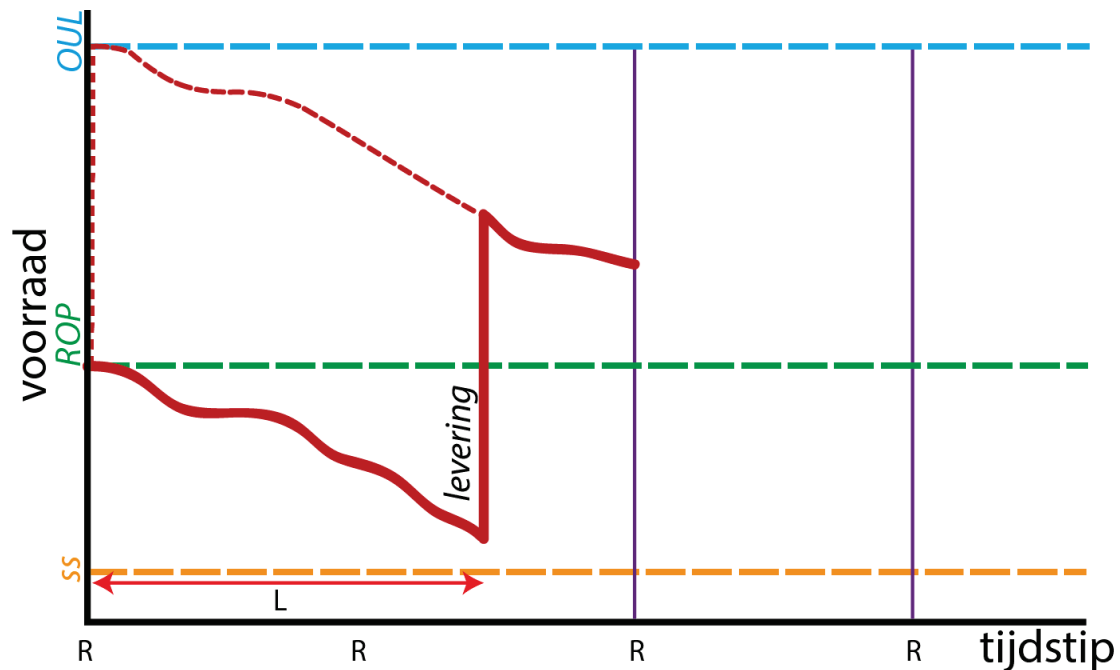
Deze ‘negeert’ de ingestelde periodes om te bestellen en kijkt continu naar het huidige voorraadpeil om grote fluctuaties op te merken. Het fungeert dus als een ‘trigger’ om te bestellen, vooral als de vraag en/of levertijd een grote afwijking heeft gehad en het bestellen volgens de standaard ingestelde periodes zou dan problemen kunnen veroorzaken. Zoals de vorige paragraaf getoond heeft zou deze ROP_{min} normaliter niet nodig zijn, maar het zou voor kunnen komen dat om welke reden dan ook de vraag bijvoorbeeld 5 keer zo groot wordt dan verwacht waardoor de fysieke voorraad in heel korte tijd opgebraakt wordt, terwijl het systeem zo is ingesteld dat pas over bijvoorbeeld 10 weken nadat de voorraad op is een nieuwe bestelling zou worden geplaatst. In dat geval zal zo’n ‘trigger’ handig zijn als backup om te attenderen dat de gewilde score niet haalbaar is volgens het standaard systeem. Overigens is het interessant op te merken dat deze ROP_{min} precies overeen zou komen met het bestelmoment van het standaardmodel als het een veelvoud van de R ($=2/7$ week) zou zijn.

Figuur 4.9 toont een het bestelpatroon volgens de tot nu toe behandelde methode in §4.2.5, waarbij elke $2 \cdot R$ besteld wordt en de levertijd $1.5 \cdot R$ is en dit allemaal volgens ‘planning’ verloopt:



Figuur 4.9 - Voorraadverloop waarbij elke twee periodes besteld wordt

In figuur 4.10 is ingepland om elke $2R$ periodes te bestellen, maar het blijkt dat op het huidige moment (eerste paarse verticale lijn) er minder verkocht is dan gepland. Het huidige voorraadpeil is behoorlijk ver van de ROP_{min} verwijderd, en het lijkt erop dat een bestelling tijdens de volgende periode (tweede paarse verticale lijn) een beter moment is aangezien deze dicht bij ROP_{min} zich lijkt te gaan bevinden.



Figuur 4.10 - Voorraadverloop - er is minder vraag geweest dan eerder gepland

Daarom is het meer ideaal daadwerkelijk te bestellen als het voorraadpeil het ROP_{min} net vóór of na een periode passeert. Of dan nu of de volgende keer besteld wordt is ook afhankelijk van het service level - bij hoge service levels wordt er eerder besteld om minder risico te lopen dat het voorraadpeil significant onder het ROP_{min} terechtkomt en zodoende minder kans geeft op niet-gewenste stockouts.

Wat de bestelhoeveelheid Q betreft, de EOQ wordt normaliter besteld om de kosten te minimaliseren, ook als er besloten wordt iets eerder te bestellen en de EOQ de bestelhoeveelheid om tot OUL aan te vullen zou overschrijden. Echter, als de EOQ kleiner is dan de bestelhoeveelheid om tot OUL aan te vullen, wordt niet de EOQ maar die bestelhoeveelheid besteld (OUL minus huidige voorraad) om de gewenste service te kunnen handhaven.

De ROP_{min} met de bestelhoeveelheid samengenomen kan het volgende geconstateerd worden wanneer en hoeveel er besteld moet worden:

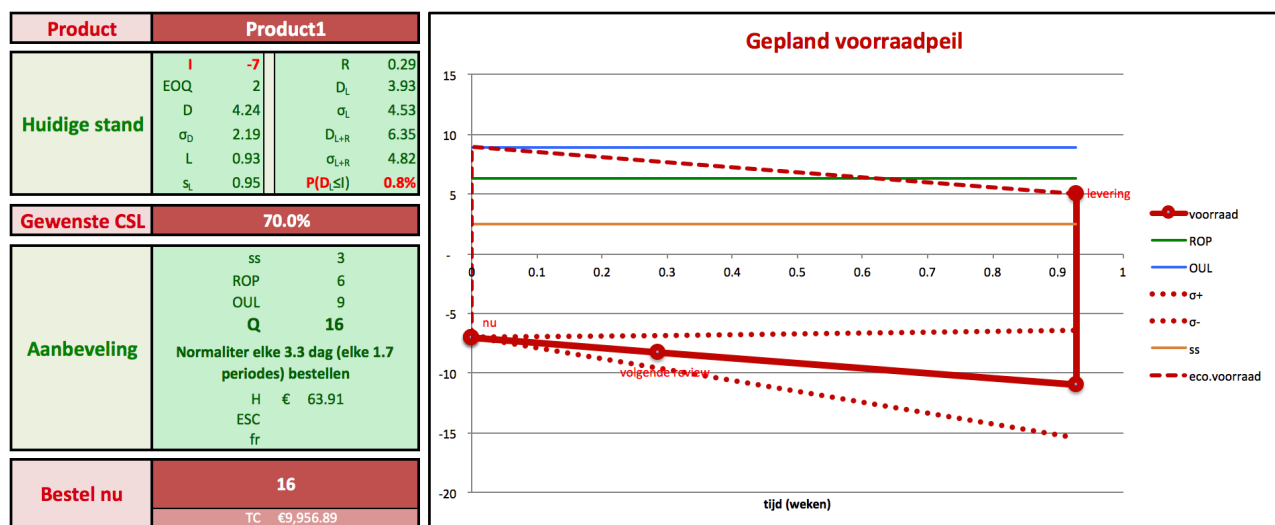
$$\text{indien } \frac{I - ROP_{min}}{R \cdot D} \leq CSL, \text{ bestel } Q = OUL - I$$

Het standaardmodel van de vorige paragraaf is nu dus uitgebreid met een 'trigger' om onverwachte fluctuaties te detecteren en eerder of later te bestellen. Als laatste wordt een voorbeeld van een bestelmodule in het ERP-systeem getoond dat in Excel gemaakt is, waarbij de vier eerder gebruikte voorbeeldproducten gebruikt worden. Dit zal een meer tastbare verduidelijking geven van een manier om in het ERP-pakket te implementeren en

te gebruiken. In principe verschilt dit nauwelijks met de vorige paragraaf, het is alleen gevisualiseerd in een bestelmodule.

In *figuur 4.11a* wordt een dergelijke bestelmodule voor *Product 1* getoond. Alle parameters en variabelen zijn eerder behandeld. Het huidige voorraadpeil *I* is genomen van het moment van schrijven, en bevat de geaggregeerde voorraad van alle filialen. *ESC* en *fr* zijn niet ingevuld omdat het niet mogelijk was de historische backorders van Firma Jansen te achterhalen.

In de module worden door de gebruiker alleen de donkerrode velden aangepast, de rest van de velden geven slechts ondersteunende informatie voor goede en verantwoorde beslissingen.



Figuur 4.11a - Bestelmodule, Product 1 als voorbeeld

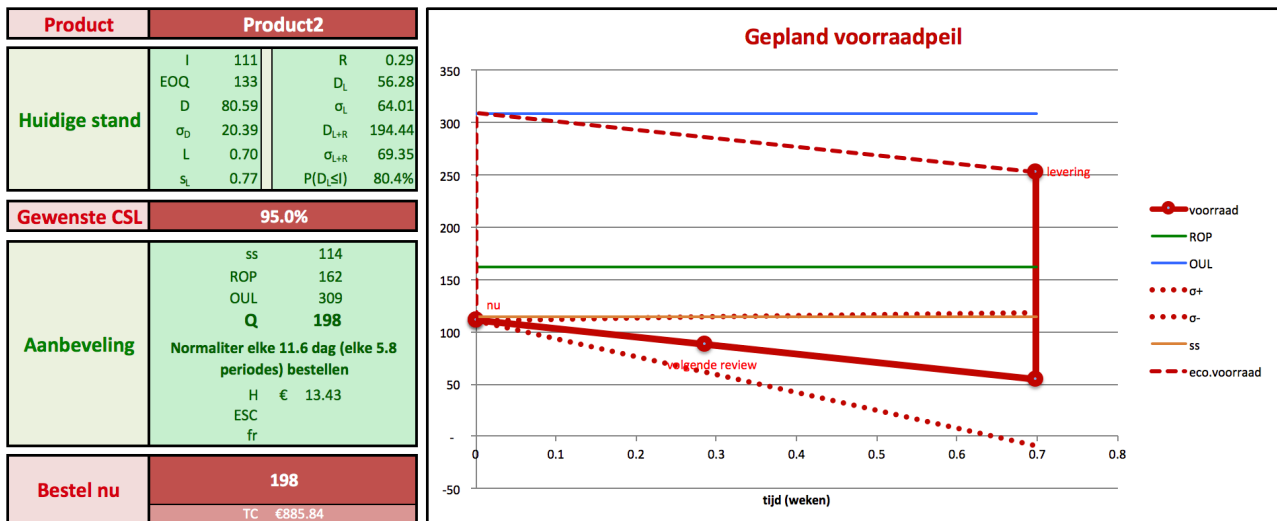
De werkwijze is als volgt: als eerste wordt er een product bovenin geselecteerd, en alle waarden en de grafiek worden ge-update. In “huidige stand” is te zien dat de minste kosten gemaakt worden als er 2 producten besteld zouden worden (*EOQ*), dat de gemiddelde vraag ca 4 per week is en de gemiddelde levertijd ca één week. Verder worden aan de rechterkolom in de figuur de andere vraagpatronen en standaarddeviaties getoond. Een *CSL*-waarde van 0.8% is slecht, die heeft te maken met de huidige voorraad van -7 (met backorders) - vandaar dat het rood oplicht.

Zoals in de vorige paragraaf besproken is Product 1 een “gewenste *CSL*” van 70% gegeven. Deze kan uiteraard aangepast worden, waarbij andere waardes ge-update worden en de gebruiker van de module direct kan zien wat voor effect de aanpassing zou hebben. In dit geval is te zien dat de veiligheidsvoorraad 3 is, en het ROP_{min} 6. Dus bij een voorraad van ca 6 stuks had een nieuwe bestelling geplaatst moeten worden. De bestelling moet aangevuld worden tot 9 stuks (*OUL*). Aangezien de huidige stand nu op -7 stuks staat, is de aanbeveling volgens het systeem om in totaal $9+7=16$ stuks van het product te bestellen. Verder is te zien dat het de bedoeling is om gemiddeld elke 3.3 dagen (oftewel elke 1.7 periodes) een bestelling te plaatsen. Ook is te zien dat de wekelijkse

totale kosten (TC) €9956.89 zijn bij een bestelling van 16 producten. De grafiek toont het verwachte voorraadverloop met de verschillende niveaus en standaarddeviatie.

Aan de hand van al deze informatie kan eventueel naar eigen inzicht de bestelhoeveelheid handmatig op het moment van bestellen aangepast worden door de hoeveelheid bij “bestel nu” aan te passen. Uiteindelijke aanpassingen worden dus alleen bij “gewenste CSL” en “bestel nu” (bestelhoeveelheid) gedaan.

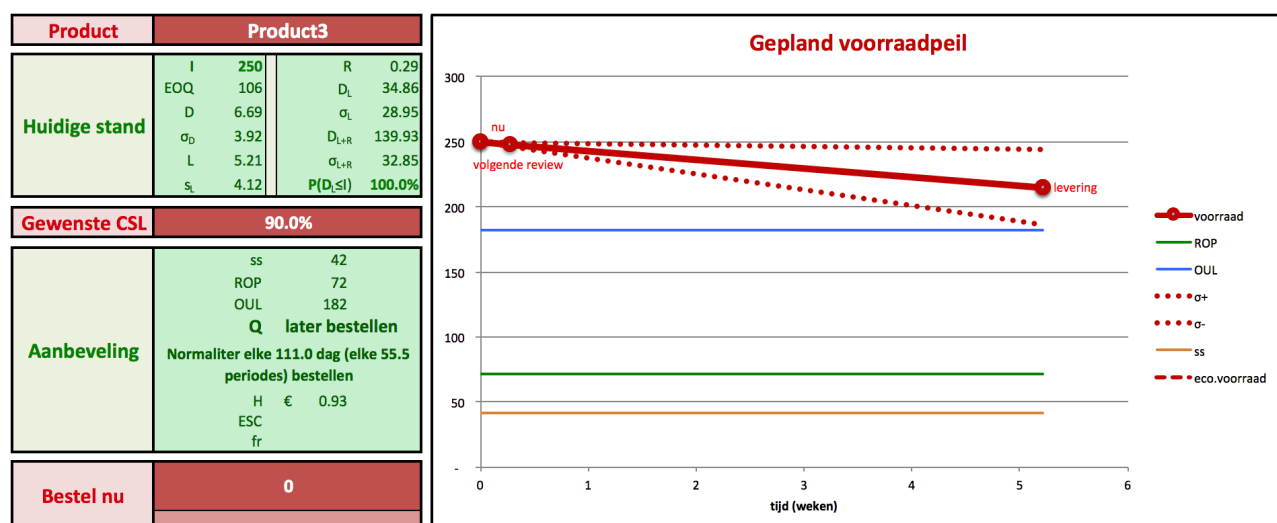
Als het veld bovenin op Product 2 (ook een A-product) wordt gezet wordt de bestelmodule ge-update zoals te zien is in *figuur 4.11b*.



Figuur 4.11b - Bestelmodule, Product 2 als voorbeeld

Hier is te zien dat de huidige voorraad (111 stuks, dat zorgt voor een huidige CSL van 80.4%) onder de ROP_{min} (162 stuks) zit die door de ingestelde gewenste CSL van 95% (zoals in de vorige paragraaf bepaald) automatisch bepaald is. Het systeem raad dan ook aan om nu te bestellen, en wel 198 stuks om tot OUL (309 stuks) aan te vullen.

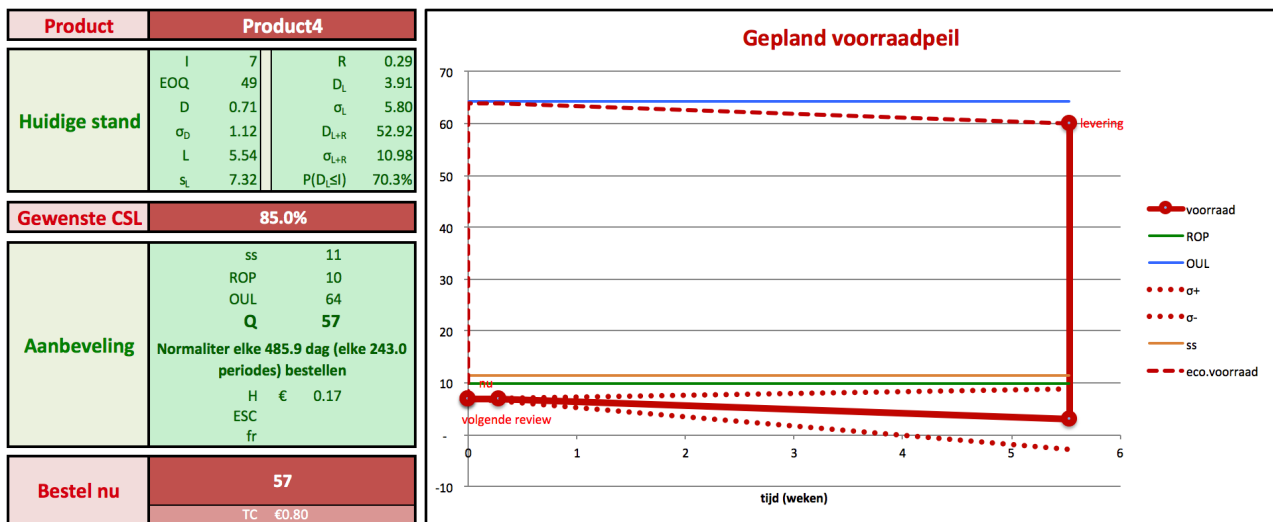
Het resultaat van *product 3* is in *figuur 4.11c* afgebeeld. De huidige voorraad van 250 stuks is ruim hoger dan de optimale gang van zaken. Normaliter (met een CSL van 90%) zou pas bij 72 stuks (ROP_{min}) besteld moeten worden tot aan 182 stuks (OUL), en dan over



Figuur 4.11c - Bestelmodule, Product 3 als voorbeeld

111 dagen pas weer. Er zijn nu dus onnodig hoge voorraadkosten voor dit product, en uiteraard hoeft er nu niet besteld te worden.

Tenslotte staan de resultaten van *product 4* in *figuur 4.11d*. Dit product wordt gemiddeld slechts 0.71 keer per week verkocht, met een standaardafwijking van 1.12 stuks. Echter is ook te zien dat de *EOQ* relatief hoog is: 49 stuks. Ook valt op dat de levertijd lang is ($D_L = 3.91$ weken) met een grote afwijking ($\sigma_L = 5.80$ weken). De huidige voorraad van 7 stuks zou zodoende in gemiddeld $7/0.71 \approx 10$ weken op zijn. Dat zou in principe geen groot probleem moeten zijn (de huidige *CSL*-score is dan ook 70.3%) maar gezien de grote fluctuaties in levertijd is de veiligheidsvoorraad 11 stuks (bij een gewenste *CSL* van 85%) en de ROP_{min} 10 stuks.



Figuur 4.11d - Bestelmodule, Product 4 als voorbeeld

Er had dus iets eerder besteld moeten zijn om minder risico op *stockouts* te lopen. Nu wordt aangeraden om 57 producten te bestellen om tot *OUL* aan te vullen.

Interessant op te merken is dat eerder aangetoond is dat juist van *product 4* de vraag helemaal niet normaal verdeeld is, terwijl de beschreven modellen hier wel van uitgaan. Met de empirische verdeling van §4.3.3 was ook gebleken dat bij een bestelling tijdens een voorraadpeil van 10 producten er tijdens de levertijd met $69.1 + 16.2 = 85.3\%$ zekerheid geen *stockouts* zouden optreden. Als de voorraad 10 stuks zou zijn in de bestelmodule hierboven zou de *CSL* ook precies 85.3% zijn. Toevallig komt de normale verdeling voor Product 4 (die 'officieel' niet normaal verdeeld genoemd mag worden) overeen met de empirische verdeling (die altijd 'correct' is, maar de nauwkeurigheid is afhankelijk van de hoeveelheid data).

4.2.7 Resultaat - stappenplan van de uiteindelijke handelswijze

De vorige paragrafen hebben proberen uiteen te zetten welke berekeningen en handelingen wordt aangeraden te volgen. De complexiteit van de vorige paragrafen zou wellicht doen vermoeden dat de werkwijze ingewikkeld is, maar de uiteindelijke werkwijze voor de verantwoordelijke van de inkopen en de voorraad is eigenlijk vrij simpel. Om dit te benadrukken wordt hieronder een stappenplan getoond van de typische werkwijze van het voorraadbeheer. Er wordt aangenomen dat het systeem volledig geïmplementeerd is en de achterliggende modellen en rekenwerk worden achterwege gelaten.

1) Bestellijst genereren. Alle huidige producten hebben automatisch via het systeem een CSL (ter herhaling, dat is 'cycle service level' - de verwachte fractie van leveringscycli die volledig uit voorraad aan klanten geleverd zouden worden) toegewezen gekregen en zodoende is bepaald wanneer en hoeveel er besteld moet worden. Het systeem zal met een druk op de knop een bestellijst genereren van de producten die ingekocht moeten worden aan de hand van deze data.

2) Bestelhoeveelheid aanpassen. De verantwoordelijke kan deze lijst controleren, aanpassen en daadwerkelijk de producten (laten) bestellen. Wat nieuw is is dat er meer analytische informatie beschikbaar om goede beslissingen te nemen, zoals de voorbeelden in *figuren 4.11a t/m 4.11d*. Er zijn slechts twee daadwerkelijke aanpassingen die de verantwoordelijke over een product kan maken. De eerste is hoeveel 'nu' (tijdens het huidige bestelproces in de zojuist gegenereerde bestellijst) besteld moet worden van een product. Om verschillende redenen - aanbiedingen, promoties, beleid, etc. - kan éénmalig een andere hoeveelheid besteld worden dan de aanbeveling van het systeem. Bij een volgende bestelling zal het bestelaantal weer 'gereset' worden naar de volgens het systeem beste bestelaantal.

3) CSL aanpassen. De tweede mogelijke aanpassing in de bestellijst is de CSL. De service levels waren initieel door het systeem ingesteld aan de hand van historische data, maar producten kunnen door veel andere redenen verschillende mate van 'belangrijkheid' hebben en zouden dus verschillende CSL's moeten hebben. De verantwoordelijke kan deze naar inzicht aanpassen. Deze CSL zal aan het product gekoppeld blijven, en zal dus effect hebben op volgende bestelmomenten en -hoeveelheden.

4) CSL monitoren. De CSL kan altijd aangepast worden en niet alleen tijdens de bestellijst. De verantwoordelijke kan dus te allen tijde deze veranderen. Dit moet sowieso handmatig gedaan worden als er een nieuw product in het assortiment komt aangezien dit niet automatisch geanalyseerd kan worden door gebrek aan historische data. Door het goed monitoren van alle producten op de CSL-score en het filteren van

extreem hoge en lage scores kunnen snel slecht scorende producten aangepakt worden. Een te hoge score betekent overbodig hoge voorraadkosten; een te lage score betekent dat er weinig voorraad is en een slechte service geleverd wordt.

Zoals het stappenplan laat zien is het voorraadbeheer voor de gebruiker wat betreft de aanpassing van data simpel - de meeste veranderingen zitten in de berekeningen terwijl de handelswijze voor het voorraadbeheer niet veel afwijkt. Het genereren van de bestellijst, het controleren ervan, en het aanpassen van de bestelhoeveelheid wordt nu ook al in de huidige situatie gedaan. De informatie waarmee de verantwoordelijke werkt is zoals hierboven beschreven wel anders. Het systeem zal meer kwantitatieve data geven, maar de verantwoordelijke moet nog steeds zijn ervaring, intuïtie en kunde gebruiken om de juiste hoeveelheden aan te passen. De enige nieuwe waarde die voor de gebruiker geïntroduceerd wordt is de CSL-score, die de plaats inneemt van de momenteel gebruikte 'minimale-voorraad-waarde'. Effectief is de hoeveelheid data die ingevoerd worden dus niet veranderd.

Wat wel nieuw is zijn de verschillende gedetailleerde analyses die erbij komen om te helpen bij het nemen van goede beslissingen. Ook ziet men de verandering van de waarden en een verwacht voorraadverloop tijdens het aanpassen van de waarden, dat ook helpt voor het voeren van een efficiënt voorraadbeheer.

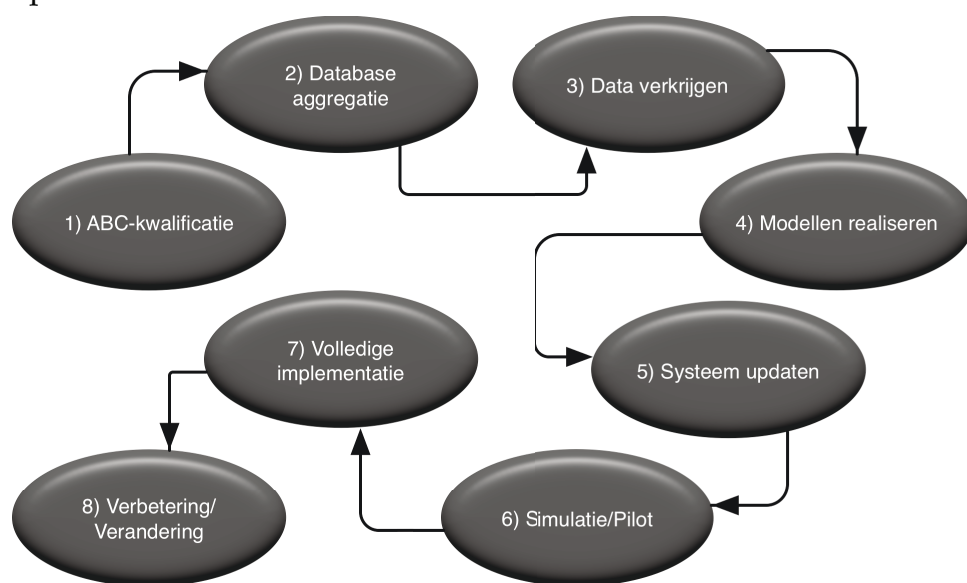
4.3 Implementatieplan

4.3.1 Stappenplan voor implementatie

Voordat het zover is dat de bovengenoemde handelswijze realiteit wordt, moet eerst het één en ander voorbereid en veranderd worden bij Firma Jansen. Niet alles kan in één keer direct geïmplementeerd worden. Stapsgewijs worden hieronder opeenvolgende fases aanbevolen voor voor het verbeteren van het voorraadbeheer van Firma Jansen. *Figuur 4.12* toont ook een grafische weergave hiervan. Het stappenplan is als volgt:

1. Producten onderverdelen volgens het ABC-kwalificatie-systeem. Dit kan relatief makkelijk uitgevoerd worden aangezien de data hiervoor al in het ERP-systeem aanwezig zijn (daarom zijn nog makkelijkere methodes dan het ABC-kwalificatie-systeem in het onderzoek achterwege gelaten). Zo kunnen verschillende strategieën aangewezen worden voor de verschillende productgroepen. Een pluspunt om de implementatie hiermee te starten is dat hiermee direct voordeel mee geboekt kan worden, ook in de huidige situatie. Uit deze ABC-kwalificatie blijkt namelijk welke producten een hoge servicegraad moeten hebben en waarvan de voorraad extra aandacht nodig heeft. Er wordt momenteel ook extra aandacht aan belangrijke

producten gegeven, maar de producten worden handmatig gekozen in plaats van 'met één druk op de knop' dat met het ABC-kwalificatie-systeem kan. Als vervolgens het volledige plan geïmplementeerd is, is het voordeel dat in plaats van dat de gebruiker de voorraadniveaus voor alle producten moet invoeren, het systeem automatisch alle service levels en zodoende bestelhoeveelheden en bestelmomenten al bepaalt en dat dit voor de meeste gevallen een goed uitgangspunt is. Men kan dus gerust zijn dat het systeem er automatisch voor zorgt dat er nergens extreem weinig of veel voorraad zal zijn. Een ander pluspunt waarom het handig is om de implementatie hiermee te beginnen is dat het heel makkelijk in het ERP-systeem in te voeren is. De informatie is al voorhanden - er moet alleen een vermenigvuldiging van twee waarden gemaakt worden. Vervolgens worden de producten aan de hand van deze uitkomst verdeeld in drie groepen.



Figuur 4.12 - Stappenplan van implementatie

2. Databases aggregeren. Dit is van essentieel belang opdat data geanalyseerd kunnen worden van het hele bedrijf. Zoals bij de theorie besproken, moeten de data van alle filialen geanalyseerd worden als de inkoop en bevoorrading voor alle filialen centraal gedaan wordt. De aggregatie zal ook andere voordelen met zich meebrengen die niet in dit onderzoek uitgebreid zijn opgenomen, maar wel in de interviews naar voren kwamen. Een voorbeeld hiervan is dat ook alle klantgegevens op één plek staan (zoals adresgegevens en bestellingen) waardoor men niet meerdere accounts voor een klant hoeft aan te maken of meerdere databases moet bekijken om informatie over alle bestellingen te verkrijgen. Of dat andere analyses, zoals op het gebied van financiën, makkelijker en beter gedaan kunnen worden met een centrale database.

3. De nodige data verkrijgen, zoals voorraadkosten, bestelkosten, verkoopmutaties en backorders. Zonder deze data kunnen de methodes niet toegepast worden. Als

eenmaal bepaald is wat precies nodig is en hoe het verkregen kan worden is dit een eenmalige en kleine handeling waarna het automatiseren van het ERP-systeem daadwerkelijk gestart kan worden. Zelfs zonder de automatisering van de berekeningen die van deze waardes gebruik zouden maken (stap 4 en 5), zouden deze waardes makkelijk in Excel geïmporteerd kunnen worden waar ook dezelfde berekeningen gedaan kunnen worden zodat de analyses de nodige informatie voor het bepalen van de servicegraad of bestelhoeveelheid zouden geven.

4. Wiskundige modellen realiseren (analyses programmeren binnen het systeem). Dit zijn alle berekeningen over de verwachting, veiligheidsvoorraad, bestelpunt, bestelhoeveelheid, etc. Wiskundig gezien is dit niet veel werk, mits alle parameters beschikbaar zijn. Vooral het realiseren van het monitoren van de service levels in een vroeg stadium is van belang aangezien zo gekeken kan worden hoe het systeem scoort en welke producten accuut aandacht nodig hebben. Dus het huidige systeem zou hier ook al van profiteren, omdat direct gezien kan worden welke producten slecht scoren en aandacht nodig hebben. Ook kan in een later stadium gecontroleerd worden of een nieuw beleid inderdaad het juiste resultaat geeft, en om eventuele verbeteringen snel toe te passen.

5. Het ERP-systeem updaten (user interface aanpassen zodat beslissingen op de nieuwe manier genomen kunnen worden). Om gebruik te kunnen maken van de modellen moet het systeem natuurlijk aangepast worden zodat de gebruikers de nieuwe analyses kunnen bekijken en beslissingen kunnen nemen. Eerder is in *figuur 4.11a t/m 4.11d* voorbeelden getoond van een 'user interface' van de bestelmodule van een enkel product, en in §4.2.7 werd de werkwijze stapsgewijs behandeld.

6. Een simulatie en/of pilot uitvoeren.¹ Het systeem is 'klaar', maar om zeker te zijn dat alles naar behoren werkt en 'live' er geen fouten optreden die over het hoofd waren gezien is het handig om om het resultaat te testen. Zo kunnen berekeningen misschien niet helemaal goed zijn, de parameters bijgesteld moeten worden, of het systeem kan technisch niet goed presteren. Met een computer-simulatie kan getest worden hoe het systeem presteert als (gesimuleerde) klanten bestellingen plaatsen. Bovendien kan het personeel op deze manier vertrouwd raken met de nieuwe handelswijze, en zo onbeperkt trainen. Een dergelijke simulatie kost wel tijd (en geld) om op te zetten, en kan eventueel overgeslagen worden als er een pilot wordt gedaan. Een simulatie kan namelijk meestal niet alle problemen nauwkeurig in zich opnemen. Het is daarom verstandig om na (of eventueel in plaats van) de simulatie een pilot te houden met een select aantal producten die representatief zijn voor de groep producten waarvoor het nieuwe voorraadbeheer bestemd is. Het verschil met een simulatie is dat een pilot 'echt' is en niet een computerprogramma waar alle aspecten

niet volledig geprogrammeerd kunnen worden. Met zo'n pilot kunnen veel problemen geïdentificeerd en verbeterd worden. Dit geldt voor zowel de parameters van het voorraadbeheer als het implementeren en toepassen van de nieuwe tactiek in het systeem door het personeel. Het oplossen van deze problemen middels een dergelijke pilot voordat de techniek massaal wordt toegepast kan veel tijd en geld besparen. Bij een pilot wordt het systeem gebruikt op kleine schaal met een beperkt aantal producten. Als hier fouten optreden, zal dit geen grote gevolgen hebben aangezien een klein aantal producten en klanten betrokken zijn.

7. Volledige implementatie. Als de simulatie en/of pilot naar wens presteert, kan het opgeschaald worden naar het gehele systeem.

8. Incrementele verbeteringen en veranderingen. Alles kan altijd beter, en het is raadzaam open te staan voor verbeteringen en andere vernieuwingen.

4.3.2 Aanvullende aandachtspunten en toekomstige mogelijkheden

Naast het hierboven beschreven stappenplan zijn er andere aspecten die het vermelden waard zijn. Wat betreft de laatste stap over "verbetering/verandering": de in de theorie behandelde onderwerpen als product-substitutie, component-gemeenschappelijkheid, en tailored sourcing (zie *Appendix B*) zijn in het implementatieproces niet opgenomen aangezien ze niet direct van essentieel belang zijn. Dit wil echter niet zeggen dat ze vergeten kunnen worden, aangezien ze wel degelijk een verdere verbetering kunnen veroorzaken aan het systeem van Firma Jansen.

Verder, de vraag speelt een hoofdrol in de methodes omtrent de voorraad. Zonder deze data kan er niets gedaan worden en het is dan ook van belang dat de voorspellingen accuraat zijn. In de implementatie werd simpelweg altijd de normale verdeling gebruikt, maar betere resultaten zouden behaald kunnen worden met andere methodes die in §3.4 en §4.3.4 genoemd zijn. Zoals in de voorbeelden te zien was, is de normale verdeling vooral nauwkeurig voor producten die veel verkocht worden. Meer geavanceerde systemen kunnen herkennen welke verdeling de realiteit beter benadert en deze gebruiken, of men kan voor belangrijke producten zelf beslissen of de voorspelling nauwkeuriger onderzocht moet worden met andere methodes dan de standaard ingestelde normale verdeling. In ieder geval zijn goede voorspellingen van groot belang!

Het beter monitoren van backorders en lost sales kan extra nuttige informatie geven. De CSL geeft natuurlijk al aan welk percentage van inkoopcycli volledig uit voorraad is geleverd, maar extra informatie kan meer inzicht geven. De 'lost sales' zijn lastig te bepalen voor fysieke winkels, maar online is het makkelijk vast te leggen welk gemiddelde percentage van de klanten die een product bekijken daadwerkelijk het product kopen; dit kan vervolgens gebruikt worden als producten niet op voorraad zijn in combinatie met

het aantal klanten die het product bekijken om zo te schatten wat de geschatte vraag geweest zou zijn als het product wél op voorraad was. Stel dat gemiddeld 10% van de klanten die *Product X* bekijken als het op voorraad is, het product daadwerkelijk bestellen. In een periode wanneer *Product X* niet op voorraad is, bestellen er 2% van de kijkers het product als backorder. Vervolgens kan geschat worden dat 8% van de kijkers als *lost sales* waren.

Het is verder wellicht goed om onder de aandacht te brengen dat de grote ERP-systemen als SAP en Oracle bijna alle in deze scriptie genoemde technieken ingebouwd hebben¹. Uiteraard zijn deze systemen niet goedkoop.

Wat minder technische aspecten betreft, niet te vergeten is dat het belangrijk is dat het personeel aan vernieuwingen went, en een geleidelijke invoering zal dit vergemakkelijken. Daarom is ook een simulatie voorgesteld waar het personeel onbeperkt kan trainen en fouten geen gevolgen hebben op het echte systeem. Daarna kan het ‘in de echte wereld’ met een pilot ingevoerd worden waar het personeel ook kan oefenen.

Het personeel moet ook het doel en de meerwaarde van de nieuwe processen goed begrijpen, opdat zij betrokken zijn, eventuele problemen kunnen identificeren, en optimaal gebruik maken van het systeem. Voor het eigen maken van het systeem kan extra tijd uitgetrokken worden voor alle betrokkenen.

Ook zal de invoering van de hier gebruikte theorieën zeker wat initiële kosten met zich meebrengen aangezien de behandelde aspecten niet standaard in het ERP-pakket zitten. Het bepalen en programmeren van de nieuwe functionaliteiten zal betaald moeten worden. Ook moet er rekening worden gehouden dat het bij de processen betrokken personeel aan de nieuwe functionaliteiten moet wennen en waarschijnlijk niet direct efficiënt ermee zal werken.

Als laatste, wellicht een interessant project voor de toekomst is de aanpak van de bron van voorraadkosten die eerder is behandeld - namelijk het inkorten de levertijd en de vermindering van de fluctuaties ervan. Echter is het kiezen van meerdere leveranciers door Firma Jansen een strategische keuze, en volgens de interviews lijkt het handelen van de leveranciers niet door Firma Jansen makkelijk te beïnvloeden te zijn. Chopra en Meindl (2013)¹ suggereren echter het voorraadbeheer met de leveranciers te integreren. Hierbij moet informatie over de voorraad gedeeld worden, maar dit zou voor beide partijen de supply chain surplus verhogen en dus gunstig zijn. De partijen deze voordelen te laten beseffen is een goede manier om deze aggregatie te realiseren. Geen kleinschalig project, maar wel met grote positieve gevolgen.

5) Conclusie

In de voorgaande paragrafen is getoond hoe Firma Jansen haar kwantitatieve analyses kan verbeteren en zo het voorraadbeheer optimaliseren, zoals ook de hoofdvraag was opgesteld in het tweede hoofdstuk. Het blijkt ook dat de werkwijze voor de gebruikers weinig verschilt met de huidige situatie, behalve dat er meer analytische tools bijkomen om meer verantwoorde keuzes te kunnen maken (§4.2.7). Ook is een stappenplan voor de implementatie opgesteld (§4.3.1) om het systeem en het beleid geleidelijk en efficiënt aan te pakken. Later zijn ook extra aandachtspunten en mogelijkheden (§4.3.2) aangehaald die minder essentieel zijn maar wel interessant voor de toekomst.

De ABC-kwalificatie kan snel en gemakkelijk geïmplementeerd worden en deze deelt alle producten in op 'belangrijkheid' opdat de gebruikers simpel en snel de aandacht aan de juiste producten kunnen geven.

Van de aggregatie van de databases zullen bijna alle werknemers profiteren - van de financiële afdeling tot het klantcontactcentrum. Bovendien kunnen dan de in dit onderzoek behandelde methoden toegepast worden, waaronder het gebruik van het Cycle Service Level (CSL). Alleen het invoeren van deze CSL is al een 'quick win' voor Firma Jansen, aangezien zo slecht presterende producten (overbodig hoge voorraad of te weinig voorraad) makkelijk en kwantitatief verantwoord gevonden en aangepakt kunnen worden.

Als eenmaal het hele systeem ingevoerd is, zouden alle producten automatisch een passende CSL-score krijgen en zou het systeem ook automatisch een goed bestelmoment en goede bestelhoeveelheid instellen om te bestellen. Voor de uiteindelijke gebruiker betekent dit in één keer meer optimale bestellingen zonder er iets voor te doen!

Natuurlijk blijft een kwalitatief eindoordeel waar de gebruiker haar/zijn kennis, ervaring, inzicht en intuïtie gebruikt essentieel. Maar de gebruiker krijgt wel de nodige analytische gegevens hierbij om een goed oordeel te kunnen vellen. Ook kan meer efficiënt gewerkt worden door te filteren op producten die aandacht nodig hebben en juist op het systeem vertrouwen bij de andere producten.

Met de onderzochte theorieën kan een situatie bereikt worden die niet alleen kostenbesparend is, maar ook de service naar klanten toe verbetert. Daarnaast zullen menselijke fouten door het kwantitatieve, analytische en computergestuurde karakter minder snel gemaakt moeten worden. De uitgelichte kwantitatieve methoden zijn een realistische aanpak om meer analyse in het voorraadbeheer van Firma Jansen te

introduceren en zo het voorraadbeheer te verbeteren en kostenbesparingen te realiseren (de hoofdvraag van dit onderzoek). De analyses blijven ter ondersteuning van de in de processen betrokken werknemers - hun functie zal niet veranderen. Wel zal het helpen bij het nemen van betere beslissingen en dat als gevolg heeft dat het bedrijf de service tegen kosten kan kwantificeren en zijn strategisch beleid beter kan doorvoeren.

Referentielijst

Op volgorde van chronologisch gebruik en in overeenstemming met nummering van voetnoten.

- 1) Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Supply Chain Management - Strategy, Planning, and Operation*. Pearson Education Limited.
- 2) Slack, N., Chambers, S., & Johnston R. (2010). *Operations Management*. Pearson Education Limited.
- 3) Data van het ERP-systeem, naam anoniem
- 4) Winston, W.L. (2004). *Operations Research: Applications and Algorithms*. Brooks / Cole.
- 5) Snyder, R. (2001). Forecasting sales of slow and fast moving inventories. *European Journal of Operational Research* 140 (2002), p.684–699
- 6) Gallego, G., (1998). New bounds and heuristics for (Q,R) policies. *Management Science* Vol. 44 (no.2), 219-233.
- 7) Dickie, H.F. (1951). ABC Inventory Analysis Shoots for Dollars, Not Pennies; *Factory Management and Maintenance*, Vol. 109 (no.7), p.92-94.
- 8) Hax, A.C., Candea, D. (1984). *Production and Inventory Management*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- 9) Hopp, W.J., & Spearman, M.L. (2000). *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*. McGraw-Hill Higher Education.
- 10) Trudgian, P. (2014). Supply Chain consultant.
- 11) Justel, A.; Peña, D.; Zamar, R. (1997). A multivariate Kolmogorov–Smirnov test of goodness of fit. *Statistics & Probability Letters* 35 (no.3), p.251–259
- 12) Shapiro, S. S.; Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52 (3–4), p.591–611
- 13) Silver, E., & Peterson, R. (1985). *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*. Wiley.

Appendices

Appendix A - Cyclusvoorraad (aanvullend)

A.1 Volumekorting bij de EOQ

Het treedt dikwijls op dat een leverancier korting geeft bij een grotere afname, een zogenaamde volumekorting. Dit heeft gevolgen voor de aanpak van het bepalen van de ideale bestelhoeveelheid, de prijs van het product is namelijk nu wel van belang.

Stapsgewijs is de procedure als volgt¹:

- De EOQ met elke mogelijke prijs van de kortingscategorieën moet bepaald worden, deze wordt Q_i genoemd. Deze kan verschillen als de voorraadkosten van de prijs afhankelijk zijn, en/of als de bestelkosten verschillen per prijs categorie.
- Voor elke prijs categorie C_i wordt een bestelhoeveelheid Q_i^* gekozen, waarbij er 2 mogelijkheden zijn. Hierbij is q_i de minimum afname voor de bepaalde prijs, en q_{i+1} de maximum afname:
 - $q_i \leq Q_i < q_{i+1}$
 - $Q_i < q_i$
- In het eerste geval is de EOQ geoorloofd en wordt deze gekozen: $Q_i^* = Q_i$. In het tweede geval, als de EOQ te laag is om in aanmerking te komen voor de prijs, wordt Q_i^* vastgesteld op q_i om wel in aanmerking te komen voor de betreffende prijs.
- Voor elke mogelijkheid Q_i worden de totale kosten TC berekend.
- De bestelhoeveelheid Q_i^* die voor de laagste kosten TC zorgt wordt gekozen.

A.2 Betrouwbaarheid van EOQ

Voor het basis-EOQ-model hierboven zijn een aantal aannames gemaakt die niet per se met de realiteit overeenkomen. Zo is er aangenomen dat de vraag constant is en continu aanwezig is en dat er continu bestellingen geplaatst kunnen worden. Ook is er vanuit gegaan dat de levertijd nihil is.

Dat laatste wordt aangepakt door het moment van bestellen af te stemmen op de levertijd en ook de aanname dat bestellingen continu geplaatst kunnen worden is in de praktijk plausibel. Dat de vraag constant en continu is is echter niet altijd aannemelijk.

De vraag is namelijk bijna nooit constant noch continu. Als de vraag erg fluctueert, ook in het geval hij deterministisch is, kan het EOQ-model ongeschikt raken. Hiervoor is een ratio opgesteld¹³, de zogenaamde variabiliteitscoëfficiënt VC :

¹³ Silver, E., & Peterson, R. (1985)

$$VC = \frac{\text{variantie van vraag in periode}}{\text{kwadraat van gemiddelde vraag in periode}} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{\bar{D}^2}$$

met gemiddelde vraag $\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$, waarbij D_i de vraag van tijdseenheid i is.

Indien $VC < 0.20$ kan het EOQ-model probleemloos gebruikt worden, maar bij $VC \geq 0.20$ zijn de gemaakte aannames van het EOQ-model niet verwaarloosbaar en is het beter andere methoden te gebruiken. Mogelijkheden hiervoor zijn het Wagner-Whitin algoritme of de Silver-Meal heuristiek⁴. Eerstgenoemde maakt gebruik van Dynamisch Programmeren en zal altijd de optimale oplossing vinden. Silver-Meal tracht de gemiddelde kosten per periode te minimaliseren, en zal in de meeste gevallen ook een bijna-optimale oplossing geven. De berekeningen van deze twee methodes zijn echter iets moeilijker dan van de relatief simpele EOQ-formules, vandaar dat deze methodes niet standaard gebruikt worden.

A.3 Bestellingen aggregeren

Een bestelling bevat voor een deel de eerder genoemde bestelkosten. Als het bedrijf blind de EOQ-formule zou volgen en op het exacte moment de bestellingen zou plaatsen voor elk afzonderlijk product, zou dit significant veel extra bestelkosten met zich meebrengen. Bovendien zou het administratief een extreem grote last zijn met de nodige kosten.

Daarom is het verstandig om de bevoorrading te aggregeren voor producten en retailers (de fysieke winkels) in een enkele order¹. Zo worden de vaste kosten verspreid. Een methode om dit kwantitatief te berekenen is vergelijkbaar met de EOQ, maar dan voor de *optimale bestelfrequentie* n^* in plaats van de optimale bestelhoeveelheid. De bestelfrequentie is namelijk de vraag gedeeld door de bestelhoeveelheid, en op een zelfde manier wordt de optimale bestelfrequentie ook afgeleid uit de optimale bestelhoeveelheid (EOQ). Deze optimale bestelfrequentie luidt:

$$n^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k D_i h_i}{2 \left(K_b + \sum_{i=1}^k K_i \right)}}$$

Hierbij zijn D_i , h_i , en K_i respectievelijk de vraag, opslagkosten, en bestelkosten van elk individueel product. K_b zijn de bestelkosten over de hele order, onafhankelijk van de bestelkosten van de individuele producten in de order. Eerder was K algemeen genomen

bij de EOQ-formule, nu wordt deze dus onderverdeeld in K_i en K_b . Er geldt dan ook

$$K = K_b + \sum_{i=1}^k K_i.$$

Na berekening van deze optimale bestelfrequentie (per jaar, als de andere parameters ook per jaar zijn) zal het ook voor zichzelf spreken hoeveel stuks er dan van elk product per bestelling geplaatst moeten worden, afhankelijk van hun individuele vraag (per jaar). Het nadeel van deze methode is dat producten die normaliter zelden besteld worden, nu toch over alle bestellingen verspreid worden. Als de optimale bestelfrequentie van een aantal producten bijvoorbeeld 20 keer per jaar is en van een ander product slechts één keer per jaar, zal dit toch 20 keer per jaar besteld worden en onnodige kosten met zich meebrengen.

De hieronder beschreven aanpassing op de bovenstaande methode zal dit probleem oplossen. Deze procedure, '*tailored aggregation*', zorgt ervoor dat producten met veel vraag vaker besteld worden dan producten waar weinig vraag naar is.

- Ten eerste moet het meest frequent bestelde product bepaald worden, en hiervoor moet de bestelfrequentie gevonden worden. De algemene bestelkosten K_b worden ook

aan dit product gealloceerd: $\bar{n}_i = \sqrt{\frac{D_i h_i}{2(K_b + K_i)}}$

Dit is de frequentie wanneer product i besteld zou worden als het het enige product zou zijn dat besteld moet worden. $\bar{n}$ wordt als $\max\{\bar{n}_i, 1, \dots, l\}$ gedefinieerd (met l = totaal aantal producten) en is dus de frequentie dat het meest frequent bestelde product (deze wordt als product i^* gedefinieerd) besteld wordt. Product i^* wordt dus elke keer dat een order wordt geplaatst meebesteld.

- Voor alle andere producten wordt ook de bestelfrequentie besteld (zonder de hierboven al gebruikte algemene bestelkosten K_b): $\bar{\bar{n}}_i = \sqrt{\frac{D_i h_i}{2K_i}}$ met $\bar{\bar{n}}_i$ als de gewenste

bestelfrequentie als product i elke keer als het besteld wordt de product-specifieke kosten K_i met zich meebrengt.

- Het doel is om de andere producten ($i \neq i^*$) na een bepaald aantal bestellingen mee te bestellen met het meest bestelde product i^* . Na m_i bestellingen wordt product i meebesteld met product i^* : $m_i = \left\lceil \bar{n} / \bar{\bar{n}}_i \right\rceil$. Deze haken betekenen dat de waarde van de breuk naar de dichtstbijzijnde gehele getal naar boven wordt afgerond.

- Nadat de bestelfrequenties van alle producten zijn berekend, moet de bestelfrequentie van i^* opnieuw berekend worden, waarbij de formule rekening houdt

dat de andere producten i elke m_i bestellingen meebesteld worden:
$$n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^l D_i h_i m_i}{2 \left(K_b + \sum_{i=1}^l \frac{K_i}{m_i} \right)}}$$

- Nu kan voor elk product de optimale bestelfrequentie bepaald worden met $n_i = \frac{n}{m_i}$ en de totale kosten voor een dergelijke aanpak:
$$TC = nK_b + \sum_{i=1}^l \left(n_i K_i + \frac{D_i h_i}{2n_i} \right)$$

Al met al blijkt het dus dat een belangrijk aspect bij de vermindering van de cyclusvoorraad de vermindering van de bestelgrootte is. Maar om dit te bereiken zonder de kosten te verhogen moeten de vaste kosten die bij elke bestelling komen kijken verminderd worden. Dit kan door te proberen de kosten te verlagen door te proberen betere deals met de leveranciers te maken, of door te aggregeren voor meerdere producten, retailers, en leveranciers. Simpele aggregatie werkt goed wanneer de bestelkosten van de specifieke producten laag zijn. Maar als de specifieke bestelkosten tussen producten significant verschillen, is *'tailored aggregation'* een betere optie.

Appendix B - Aggregatie en tailored sourcing

Een andere manier van aggregatie is *product-substitutie*. Dat wil zeggen dat een bepaald product dat niet op voorraad is gesubstitueerd wordt met een ander product. Dit kan de klant zelf doen als hij geprikkeld wordt om een soortgelijk product te kopen die wel op voorraad is, of het bedrijf verkoopt zelf een (beter) product aan de klant voor hetzelfde geld als het oorspronkelijk bestelde product niet op voorraad is. Het is dus aan te raden om klanten te prikkelen met alternatieve producten die op voorraad zijn, en om orders sneller af te leveren door alternatieve (waarschijnlijk duurdere) producten te leveren die op voorraad zijn. In dat laatste geval zal de winst van het betreffende (duurdere) product misschien lager zijn, maar over de hele order kan er winst gemaakt worden doordat er niet gewacht hoeft te worden op een enkel product en de rest van de producten van de order niet overbodig lang gereserveerd staan en opslagkosten innemen.

Nog een manier van aggregatie *component-gemeenschappelijkheid*. Dat wil zeggen dat meerdere producten dezelfde componenten gemeen hebben. Voor een retailer zal dit vooral gelden voor de gebruikte bundels. Het is dus aan te raden om producten samen te stellen in bundels die veel gemeen hebben. Hierdoor kan de veiligheidsvoorraad laag gehouden worden. Hoe meer gemeenschappelijkheid er echter is, des te minder de marginale kostenbesparing zal zijn.

Bij '*tailored sourcing*'¹ worden twee leveranciers gebruikt: één die goedkoop is maar lange levertijd en veel fluctuatie in levertijd heeft, en een andere leverancier die flexibel en snel is, maar voor een hogere prijs. De bedoeling is dat de goedkope leverancier in eerste instantie gebruikt wordt, maar dat de dure maar flexibele leverancier als backup ingezet kan worden voor niet-verwachte verschijnselen. Ook zo kan de veiligheidsvoorraad laag gehouden worden.