deBijenkorf

vrije Universiteit amsterdam

Voorraadbeheer bij de Bijenkorf

Wendy Schierboom

B W I

Stageverslag

Voorraadbeheer bij de Bijenkorf

Wendy Schierboom

Stageverslag

Vrije Universiteit Amsterdam
Faculteit der Exacte Wetenschappen
Bedrijfswiskunde en Informatica
De Boelelaan 1081a
1081 HV Amsterdam

Begeleider: Sandjai Bhulai
Tweede Lezer: Dennis Roubos

De Bijenkorf
Frankemaheerd 6
1102 AN Amsterdam

Begeleiders: Arie Groenendal, Rudi Meijer

September 2009


132 MAGAZIJN DE BIJENKORF 130
MAGAZIJN

Voorwoord

Als afsluiting van de Masteropleiding Bedrijfswiskunde en Informatica aan de Vrije Universiteit te Amsterdam wordt een stage gelopen. Tijdens de stage van zes maanden wordt onderzoek verricht in een bedrijf of instelling buiten de afdeling wiskunde van de Vrije Universiteit.

Dit stageverslag gaat over het voorraadbeheer bij de Bijenkorf. De stage is gelopen bij de Bijenkorf op de afdeling Replenishment welke zich bevindt op het hoofdkantoor te Amsterdam Zuid-Oost. De Bijenkorf zit in het proces van het automatiseren van het voorraadbeheer. De auto-replenishment applicatie die bij deze automatisering gebruikt wordt, is tijdens de stage geanalyseerd en suggesties voor verbetering zijn gegeven.

Samenvatting

De Bijenkorf zit midden in het proces van het automatiseren van het voorraadbeheer. De auto-replenishment applicatie die bij deze automatisering gebruikt wordt, maakt gebruik van een (r,Q) voorraadmodel. Bij dit model worden Q eenheden van een artikel besteld zodra de voorraad onder niveau r komt.

Het model zoals de Bijenkorf deze toegepast heeft in de applicatie is geanalyseerd. De richtgetallen r en Q geven niet altijd gewenste resultaten waardoor veel profitcenters aparte regels hebben. Elk profitcenter gaat over een deel van de artikelen die de Bijenkorf voert; wat voorbeelden van profitcenters zijn: sokken, lingerie en lederwaren. Door al deze regels wordt de applicatie onoverzichtelijk.

De Bijenkorf beschikt over 12 filialen verspreid over Nederland en over een webwinkel. De filialen worden bevoorraad vanuit een eigen distributiecentrum in Woerden. Het distributiecentrum bestelt de goederen bij verschillende leveranciers.

Één van de aannames die de Bijenkorf heeft genomen in het model is dat de verdeling van de vraag gedurende de levertijd van Woerden naar de filialen uniform is. De berekening van de richtgetallen is gebaseerd op deze uniforme verdeling. Omdat de verdeling in realiteit niet uniform verdeeld lijkt te zijn, verandert de berekening van de richtgetallen.

Met behulp van de verdeling van de vraag tijdens de levertijd wordt ook de verwachte shortage berekend. De verwachte shortage geeft het aantal eenheden van een artikel dat op een bepaald moment niet op voorraad is, maar wel verkocht had kunnen worden als het wel op voorraad was. De verwachte shortage, uitgaande van een uniforme verdeling voor de vraag gedurende de levertijd, geeft niet altijd representatieve waarden, dit terwijl de richtgetallen erg worden beïnvloed door de waarde van de shortage.

De kosten per shortage, de kosten om voorraad te hebben en de kosten van het plaatsen van een order hebben ook veel invloed op de hoogte van de richtgetallen. Doordat de kosten per shortage vaak vele malen hoger liggen dan de kosten van het op voorraad houden van artikelen, worden de richtgetallen hoger dan men nodig acht. Ook neemt de Bijenkorf voor de kosten van het plaatsen van een order een waarde per artikel, terwijl de literatuur een waarde per order gebruikt.

Er zijn twee andere methodes voorgesteld om het reorderpunt r uit te rekenen. De eerste methode berekent het reorderpunt met behulp van de verdeling van de vraag gedurende de levertijd en de tweede methode telt de verwachte vraag tijdens de levertijd op bij een safety stock.

De manier waarop de bestelgrootte bij de Bijenkorf bepaald wordt maakt gebruikt van de verwachte shortage en de berekening van het reorderpunt. Als het reorder punt wordt uitgerekend volgens een van de voorgestelde methodes, is de verwachte shortage vaak zo goed als nul.

De bestelgrootte wordt grotendeels bepaald door de verwachte vraag. De Bijenkorf gebruikt als periode om de verwachte vraag uit te rekenen de bestelcyclus plus de levertijd van de leverancier. De bestelcyclus ligt vast en geeft aan wanneer er bij de leveranciers besteld wordt, bijvoorbeeld om de week op maandag. Als het verband tussen de leveranciers en de filialen uit het systeem gehaald zou worden, zou een andere tijdsperiode voor de berekening van de verwachte vraag gebruikt kunnen worden.

Omdat er geen beschrijvingen bestonden die de werking van de applicatie weergeven, is er een systeembeschrijving gemaakt. In deze beschrijving staat stap voor stap beschreven wat er moet gebeuren om de applicatie te laten draaien en er staat beschreven wat er in deze stappen gebeurt.

Naast de analyse en rapportage van het voorraadmodel is er een derving rapport gemaakt. Omdat door derving de voorraden zoals ze in het systeem staan niet altijd overeenkomen met de voorraden op de vloer, kunnen er gemiste verkopen voorkomen. Om weer te geven bij welke artikelen dit het geval kan zijn is een rapport gemaakt die de artikelen weergeeft waarvan volgens het systeem wel nog voorraad is, maar plotseling niet meer verkopen.

Inhoudsopgave

1. Introductie

Het doel van het voorraadbeheer bij de Bijenkorf is de voorraad in balans te houden met de vraag. Door de grote hoeveelheid artikelen die de Bijenkorf voert is dit een lastige en tijdrovende taak om met de hand te doen. Daarom is de Bijenkorf begin 2009 begonnen met het gebruiken van een auto-replenishment applicatie voor de bepaling van de ideale voorraad.

In dit hoofdstuk zal een introductie van de Bijenkorf en de afdeling replenishment gegeven worden. Vervolgens zal de probleembeschrijving en de toegevoegde waarde van de stage voor de Bijenkorf beschreven worden.

1.1 De Bijenkorf

De Bijenkorf is een inspirerende, trendsettende en dynamische warenhuisformule die zich onderscheidt door een assortimentskeuze op basis van vernieuwende thema's, de beleveniswereld van de consument en daarmee samenhangende evenementen en inrichting.

Tot het assortiment van de Bijenkorf behoren internationale topmerken en eigen merken op het gebied van mode, cosmetica, accessoires, wonen, media, sport en reizen. Horeca en food vormen ook een belangrijke activiteit.

De Bijenkorf kent drie formats: flagshipstores, mediumstores en modefilialen. De flagshipstores zitten in Amsterdam, Rotterdam en Den Haag, de mediumstores zitten in Amstelveen, Arnhem, Utrecht, Eindhoven, Enschede en Maastricht en de modefilialen zitten in Groningen, Breda en 's-Hertogenbosch. Sinds maart 2009 kent de Bijenkorf ook een webwinkel. De filialen worden vanuit een eigen distributiecentrum te Woerden bevoorraad.

De Bijenkorf heeft ongeveer 4500 medewerkers en is onderdeel van Maxeda. De Bijenkorf heeft zich in de afgelopen decennia een bijzondere positie verworven in de detailhandel.

Om een idee te krijgen van de verdeling van de omzet over de verschillende formats hier een paar cijfers, in 2007 was de totale omzet € 581 miljoen, waarvan ongeveer € 304 miljoen van de omzet verkregen is in de Flagshipstores, € 230 miljoen in de mediumstores en € 47 miljoen in de modefilialen. De totale omzet in 2008 was € 592 miljoen.

Het totale vloeroppervlak van de flagshipstores is 53.000 m^2, van de mediumstores is dit 51.000 m^2 en van de modefilialen 8.000 m^2.

Het aantal bezoekers in 2007 bedroeg 35 miljoen waarvan 66% vrouwen waren en 34% mannen. Het klantenprofiel van de Bijenkorf bestaat uit relatief hoog opgeleide mensen, ongeveer 50% van de klanten heeft wetenschappelijk of hoger beroeps onderwijs gevolgd.

1.1.1 Maxeda

De Bijenkorf is onderdeel van het concern “Maxeda”. Buiten de Bijenkorf behoren nog acht, tot voor kort negen, winkelketens tot Maxeda (de kledingzaak Claudia Strater is begin 2009 verkocht). De winkelketens die nog tot Maxeda behoren staan in het volgende overzicht:

Warenhuisformules:

- De Bijenkorf
- Vroom en Dreesmann

Kledingzaken:

- M&S
- Hunkermoller

Doe-het-zelf zaken

- Praxis
- Formido
- Brico

Overige:

- La Place
- Schaap en Citroen

Maxeda streeft naar marktleiderschap in alle winkelketens. Alle winkelketens hebben hun eigen identiteit en marktbenadering maar er wordt wel samengewerkt om winnende strategieën te ontwikkelen.

1.1.2 Geschiedenis van de Bijenkorf

In deze paragraaf zal in het kort de geschiedenis van de Bijenkorf besproken worden.

De Bijenkorf is in 1870 begonnen als fourniturenwinkel aan de Amsterdamse Nieuwendijk 132 met de naam “Magazijn de Bijenkorf”. De winkel die van Simon Philip Goudsmit was, is in 1889 overgenomen door Arthur Isaac. Om uit te breiden kocht Isaac verschillende panden aan de Nieuwendijk en tijdens verbouwingen in 1912 verplaatste hij de winkel naar de Dam. Dit was bedoeld als een tijdelijke oplossing, maar door de vervijfvoudigde omzet heeft hij de winkel op de Dam aangehouden. Omdat er geen hypotheek voor de winkel verkregen kon worden als het fourniturenwinkel bleef, is de winkel omgezet naar een warenhuis.

In 1914 was de officiële opening van “de Bijenkorf” op de Dam. Het tweede pand dat de Bijenkorf opende is het filiaal in Den Haag, de opening was in 1926. In 1926 is ook de dochtermaatschappij de HEMA (Hollandsche Eenheidsprijzen Maatschappij Amsterdam) opgericht. In 1930 is een filiaal in Rotterdam geopend en is de Bijenkorf lid geworden van de Internationale Warenhuisvereniging. In 1966 is de structuur van de Bijenkorf veranderd en is een concernmanagementteam met staforganen in leven geroepen. Dit overkoepelende orgaan boven de werkmaatschappijen werd het “Bijenkorf Beheer” genoemd. In 1970 heeft het Bijenkorf Beheer een koninklijk predikaat gekregen en is het

“Koninklijk Bijenkorf Beheer” (KBB) gaan heten. In 1969 is het filiaal in Eindhoven geopend, in 1973 het distributiecentrum in Woerden, in 1975 het filiaal in Arnhem en in 1979 de Centrale in Amsterdam Zuid-Oost. Het filiaal in Utrecht is in 1987 geopend en het filiaal in Amstelveen in 1998. In 1999 zijn Vendex (een concern voortgekomen uit Vroom en Dreesmann) en KBB tot VendexKBB gefuseerd. In 2001 zijn de filialen Breda, Den Bosch en Groningen geopend, in 2002 het filiaal in Enschede en in 2003 het filiaal in Maastricht. In 2005 is een outlet store in Venlo geopend die in 2008 weer gesloten is. In 2006 is de naam VendexKBB veranderd in Maxeda en sinds 2007 behoort de HEMA niet meer tot Maxeda.

1.2 De afdeling Replenishment

Op de afdeling replenishment worden orders voor nieuwe producten ingevoerd. Inkopers van verschillende afdelingen geven op wat voor artikelen besteld moeten worden en geven hier minimum en maximum richtgetallen bij. Deze richtgetallen geven aan wanneer en hoeveel items besteld moeten worden. De functies van de “inkopers” zijn onder andere de goederenselectie, onderhandelingen met leveranciers, en prijsbepaling. Samen met de “planners” managen de inkopers de orders en analyseren ze de trends.

Naar de wens van de planners kunnen de maximum en minimum richtgetallen aangepast worden. Dit gebeurde voor alle afdelingen van de Bijenkorf met de hand, maar om deze richtgetallen op optimale waardes te krijgen, heeft de Bijenkorf de auto-replenishment applicatie in gebruik genomen. De applicatie bepaalt wekelijks op filiaalniveau de verwachte toekomstige vraag en vervolgens de minimum en maximum voorraadrichtgetallen voor de in de filialen gevoerde artikelvarianten en de voorraadniveaus in het centrale distributie centrum.

1.3 Probleembeschrijving

Grote onevenwichtigheden tussen aanbod in de voorraad en vraag naar artikelen komen regelmatig voor bij de Bijenkorf. Met onevenwichtigheden wordt onder andere het volgende bedoeld: In veel filialen is voor bepaalde artikelen te veel voorraad ten opzichte van de vraag, en voor andere artikelen is er te weinig voorraad. Het komt ook voor dat de beschikbare voorraad voor bepaalde producten niet goed verdeeld is over de filialen, dus in het ene filiaal is er erg veel voorraad en weinig vraag, terwijl in het andere filiaal weinig voorraad is en veel vraag. Deze onevenwichtigheden probeert men nu handmatig op te lossen. Gezien het grote volume en de dynamiek van de verkopen, slaagt men er niet in deze onevenwichtigheden op te lossen.

Met behulp van de auto-replenishment applicatie, waar aan gewerkt is gedurende de stage, wordt geprobeerd deze onevenwichtigheden weg te halen.

1.4 Toegevoegde waarde voor de Bijenkorf

Het doel van het voorraadbeheer van de Bijenkorf is het aanbod van artikelen in overeenstemming te brengen met de vraag tegen zo laag mogelijke logistieke kosten. Er is een hoge onzekerheid aangaande de vraag van de artikelen en er is een hoge gewenste leveringsbetrouwbaarheid. De maatschappelijke kosten en de kosten van gemiste verkopen wil men laag hebben en het service niveau hoog. Dit wil zeggen dat het niet gewenst is dat de Bijenkorf nee moet verkopen, daarbij is een winkel met veel lege schappen ook niet gewenst. Een bestelstrategie is nodig bij welke de logistieke kosten om deze kwaliteit te handhaven het laagst zijn. Met een bestelstrategie worden de beslissingen verstaan van het bijbestellen van de richtgetallen van artikelen uitgaande van forecasts van de vraag en voorraadniveaus. Artikelen hebben een minimum en een maximum richtgetal, deze richtgetallen geven aan wanneer en hoeveel artikelen van Woerden naar de filialen vervoerd moeten worden. De auto-replenishment applicatie van de Bijenkorf is gebaseerd op een voorraad model. De kwaliteit van de bestelstrategie is erg afhankelijk van de kwaliteit van de inputparameters van dit model. De kwaliteit wordt bepaald aan de hand van de hoogte van de voorraad, deze mag dus niet structureel te hoog zijn, maar het mag ook niet zijn dat een artikel bijna altijd out of stock is. Door het model te optimaliseren, zullen de filialen optimale voorraden hebben en zullen kosten bespaard worden. De input voor het kostenmodel bestaat uit de setup, holding en shortage kosten, de levertijd en de vraag. Om de applicatie optimaal te laten werken, moet het nog op een aantal aspecten verbeterd worden, daarom zal het model tijdens de stage geanalyseerd worden.

Een systeembeschrijving/gebruikershandleiding van de automatiseringsapplicatie zal gemaakt worden tijdens de stage. Het is belangrijk dat op papier staat hoe de applicatie werkt. Op deze manier kan goed inzicht in de applicatie verkregen worden om bijvoorbeeld aanpassingen te maken. Ook moet duidelijk op papier komen te staan hoe de applicatie werkt zodat gebruikers met de applicatie kunnen werken.

Het gebeurt dat er volgens het systeem nog voorraad van bepaalde artikelen in de filialen ligt, terwijl het er niet is op de vloer. Daarom zal ook een rapport gemaakt worden die de artikelen weergeeft waarbij mogelijk derving heeft plaatsgevonden.

1.5 Indeling verslag

In het tweede hoofdstuk van het verslag zullen een aantal onderwerpen uit de literatuur beschreven worden en in het derde hoofdstuk zal de producthiërarchie van de Bijenkorf naar voren komen. In het vierde hoofdstuk zullen de model aannames van de Bijenkorf aan bod komen en in het vijfde hoofdstuk zal de data analyse besproken worden. In hoofdstuk 6 zal de analyse op de implementatie van de Bijenkorf aan bod komen. En in het laatste hoofdstuk zal kort wat verteld worden over de rapportage.

2. Literatuur

In dit hoofdstuk zullen een aantal onderwerpen uit de literatuur beschreven worden. Deze onderwerpen worden besproken omdat ze later in het verslag aan bod komen.

2.1 Verdelingen

In deze paragraaf zullen een aantal verdelingen genoemd worden die later in het verslag gebruikt worden. Cruciaal in voorraadbeheer is dat er inzicht is in de vraag naar de artikelen. Deze vraag wordt vaak gemodelleerd door een verdeling. In dit hoofdstuk zullen een aantal verdelingen besproken worden die hiervoor gebruikt kunnen worden.

2.1.1 Uniforme verdeling

Een uniforme verdeling (1) heeft over een interval een constante kansdichtheid. Dit wil zeggen dat elke uitkomst even waarschijnlijk is. De uniforme verdeling is gedefinieerd op het interval $[a,b]$. Bij de verdeling van de vraag van artikelen betekent het dat de vraag minimaal gelijk is aan a en maximaal gelijk is aan b. De uniforme verdeling wordt in de praktijk vaak gebruikt als vervanging voor de echte verdeling, omdat er geen onderzoek is gedaan. Er zal later inzichtelijk gemaakt worden wat het verschil is tussen gebruik van deze verdeling en de echte verdeling. De kansdichtheid van de uniforme verdeling op het interval $[a,b]$ ziet er als volgt uit:

$$f(x) = \begin{cases} \dfrac{1}{b-a} & \text{voor } a < x < b \\ \\ 0 & \text{elders.} \end{cases} \tag{2.1}$$

De verwachting van de uniforme verdeling is $\dfrac{a+b}{2}$.

2.1.2 Bètaverdeling

De bètaverdeling (2) kan gebruikt worden om een willekeurig proces te modelleren waarvan de verzameling met mogelijke waarden positief is op interval $[a,b]$. Bij een vraagverdeling zal de minimum waarde voor de vraag gelijk zijn aan a en de maximum waarde aan b. Dit interval kan herschaalt worden naar het interval $[0,1]$, waarop de bètaverdeling gedefinieerd is. De bètaverdeling is een verdeling die gebruik maakt van twee vorm parameters α en β en wordt vaak gebruikt in de Bayesiaanse statistiek. De verdeling is makkelijk aan te passen aan nieuwe data. De kansdichtheid ziet er als volgt uit:

$$f(x;\alpha;\beta)=\begin{cases}\dfrac{1}{B(\alpha,\beta)}x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1} & 0<x<1\\ 0 & \text{anders,}\end{cases} \tag{2.2}$$

met α en β reële getallen en $B(\alpha,\beta)$ de bètafunctie gegeven door:

$$B(\alpha,\beta)=\int_0^1 x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}dx\,. \tag{2.3}$$

De verwachting van de bètaverdeling is $\dfrac{\alpha}{\alpha+\beta}$.

De vorm van de grafiek van de bètaverdeling hangt af van de parameters. Figuur 1.1 geeft de grafieken van de kansdichtheid van de bètaverdeling met verschillende waarden voor de parameters (3):

Als $\alpha=\beta$, dan is de grafiek symmetrisch rond 1/2

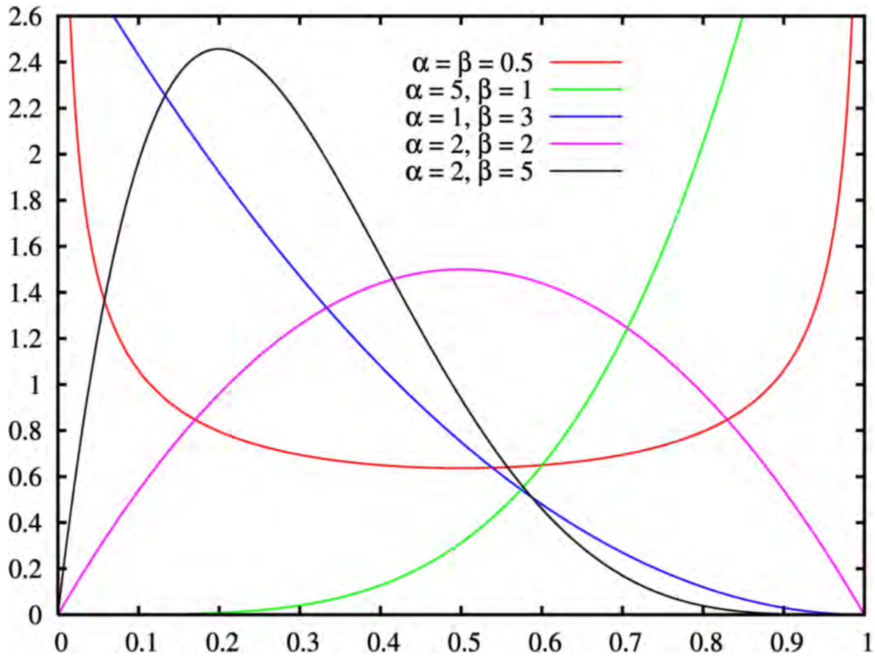
Als $\alpha<1, \beta<1$, dan heeft de grafiek een U-vorm (rode lijn)

Als $\alpha<1, \beta\geq 1$, dan is de grafiek dalend (blauwe lijn)

Als $\alpha=1, \beta=1$, dan krijgt men de uniforme verdeling

Als $\alpha>1, \beta\leq 1$, dan is de grafiek stijgend (groene lijn)

Als $\alpha>1, \beta>1$, dan is de grafiek unimodaal (paarse en zwarte lijn)



Figuur 1.1: Bètaverdeling (bron: (3))

2.1.3 Extreme waarde verdeling

De extreme waarde verdeling type 1 of ook wel de Gumbel verdeling (4), (5) legt de nadruk op de maximum of minimum waardes van de verdeling. Een minimum extreme waarde verdeling heeft een negatieve skewness[1] en geeft nadruk op de lage waarden in de verdeling. Een maximum extreme waarde verdeling heeft een positieve skewness en legt nadruk op de hoge waarden in de verdeling. Als de vraagverdeling van een artikel een maximum extreme waarde verdeling heeft, is de kans op grote vraag groter dan de kans op kleine vraag. Als de vraagverdeling van een artikel een minimum extreme waarde verdeling heeft, is de kans op een kleine vraag groter dan de kans op grote vraag.

De kansdichtheid van de extreme waarde verdeling ziet er als volgt uit:

$$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{\frac{x-\mu}{\beta}} e^{-e^{\frac{x-\mu}{\beta}}}, \quad -\infty < x < \infty, \beta > 0\,, \tag{2.4}$$

met μ de locatieparameter en β de schaalparameter. De verdelingsfunctie ziet er als volgt uit:

$$F(x) = e^{-e^{\frac{x-\mu}{\beta}}}, \quad -\infty < x < \infty, \beta > 0\,. \tag{2.5}$$

De verwachting van deze verdeling is gelijk aan $\mu + \beta\gamma$, waarbij γ gelijk is aan de Euler-Mascheroni constante van $\sim 0{,}577215665$.

2.2 Multiple regressie

Een multiple regressieanalyse (6) is een manier om de relatie tussen meerdere onafhankelijke en een afhankelijke variabele te bestuderen. Er wordt geprobeerd een regressievergelijking te vinden die het verband tussen de onafhankelijke en afhankelijke variabelen het best weergeeft.

Dit verband wordt weergegeven door de volgende vergelijking:

$$y_i = x_i\beta + \beta_0 + \varepsilon\,, \tag{2.6}$$

waarin:

$$i = 1,2,\ldots,n$$

$$x_i = [x_1, x_2, \ldots, x_p]$$

$$\beta = [\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_p]\,,$$

[1] Skewness ofwel scheefheid is de mate van asymmetrie van een verdeling rondom het gemiddelde. Positieve scheefheid wijst op een verdeling met een asymmetrische uitbreiding naar positieve waarden. Negatieve scheefheid wijst op een verdeling met een asymmetrische uitbreiding naar negatieve waarden. (15)

met n het aantal observaties en p het aantal onafhankelijke variabelen en ε een error term (de afwijking van de uitkomst ten opzichte van de observatie). De regressiecoëfficiënten $\beta_1, \beta_2, ..., \beta_p$ geven aan hoeveel variantie in de afhankelijke variabele y verklaard wordt door elke onafhankelijke variabele.

De analyse geeft als resultaat welke van de onafhankelijke variabelen invloed uitoefenen op de afhankelijke variabele en geeft aan hoe groot deze invloed is.

2.2.1 Stepwise regressie

Er zijn een aantal manieren waarop een regressieanalyse uitgevoerd kan worden, één daarvan is een stepwise regressie analyse (7).

In een stepwise regressieanalyse worden voorwaartse en achterwaartse procedures gecombineerd om tot een model te komen. Bij de voorwaartse procedure worden variabelen geselecteerd om in het model te komen en in de achterwaartse procedure worden er variabelen uit het model verwijderd. Het proces van het toevoegen en verwijderen van variabelen gaat als volgt: eerst wordt die onafhankelijke variabele in het model gestopt die de hoogste correlatie heeft met de afhankelijke variabele. De tweede onafhankelijke variabele die wordt toegevoegd is degene met de hoogste partiële correlatie[2], als het significantie niveau[3] van de variabele lager is dan een criterium waarde (voorwaartse procedure). Als criterium waarde wordt vaak 0,05 genomen. Vanaf dit moment wordt er ook gekeken of er variabelen weer uit het model gehaald kunnen worden (achterwaartse procedure). Als het significatie level boven de bepaalde grens komt, wordt de onafhankelijke variabele verwijderd. De onafhankelijke variabelen die nog niet in het model zitten worden getest of ze in het model kunnen. Van degene die aan de criteria voldoen om in het model te komen, wordt degene met de hoogste partiële correlatie geselecteerd. Als er geen variabelen meer voldoen aan de verwijder of toevoegcriteria, is de selectie van de variabelen klaar.

2.3 Tijdreeksanalyse

Met een tijdreeksanalyse (8) wordt geprobeerd de toekomst te voorspellen en in te schatten. Met behulp van historische data kunnen met een tijdreeksanalyse onder andere trend en seizoensinvloeden bepaald worden. Wat bijvoorbeeld uit een tijdreeksanalyse kan komen is dat de verkopen van een bepaald artikel in de zomer veel hoger liggen dan in de winter. Ook kan eruit komen dat de verkopen van een bepaald artikel over de jaren daalt, stijgt of stagneert. Met behulp van deze patronen kan voorspeld worden wat de verkopen in de toekomst zullen worden.

---

[2] De partiële correlatie beschrijft hoe het gedrag van y en bijvoorbeeld x_1 samen veranderen als x_2 tot en met x_p constant worden gehouden.

[3] Statistisch significant: In de statistiek wordt hiermee bedoeld dat een gevonden resultaat (waarschijnlijk) niet op toeval berust (14) .

Een tijdreeks ziet er als volgt uit: $\ldots, X_{-2}, X_{-1}, X_0, X_1, X_2, \ldots$, ook wel weergegeven als $\{X_t\}$. De t geeft hier de tijd aan dat variabele X_t geobserveerd was.

Een manier om een tijdreeksanalyse uit te voeren is met een ARIMA (autoregressive integrated moving average) analyse. Deze analyse is een generalisatie van het ARMA (autoregressive moving average) model. Het ARMA model kan alleen gebruikt worden voor stationaire tijdreeksen en ARIMA modellen zijn voor niet-stationaire tijdreeksen.

Een tijdreeks is strikt stationair als voor alle k de gezamenlijke verdeling van $(X_{t+1}, \ldots, X_{t+k})$ niet afhangt van t. Een tijdreeks is tweede orde stationair of zwak stationair als, voor elke waarde van k, $E(X_t)$ en $E(X_t X_{t+k})$ bestaan en niet van t afhangen.

Om te controleren of een tijdreeks stationair is, wordt vaak de aanname van zwakke stationaire reeksen gebruikt. Het is in de praktijk moeilijk om de strikte stationaire aanname te controleren.

Een ARMA model bestaat uit twee delen, een autoregressive deel en een moving average deel. Het model wordt vaak weergegeven als ARMA(*p,q*), waar *p* de orde is van het autoregressive deel en *q* de orde van het moving average deel.

Een moving average proces van de orde q, MA(q), ziet er als volgt uit:

$$X_t = \beta_0 Z_t + \beta_1 Z_{t-1} + \cdots + \beta_q Z_{t-q}, \tag{2.7}$$

met q een positief getal, $\beta_0, \beta_1, \ldots, \beta_q$ constanten en $\{Z_t\}$ een white noise proces met variantie σ^2 en verwachting 0. De opeenvolgende waardes van een white noise proces zijn onafhankelijk van Z_t. Het white noise proces brengt willekeurigheid aan de tijdreeks.

Een autoregressief proces van de orde p, AR(p), ziet er als volgt uit:

$$X_t = \alpha_1 X_{t-1} + \cdots + \alpha_p X_{t-p} + Z_t, \tag{2.8}$$

met p een positief getal, $\alpha_0, \alpha_1, \ldots, \alpha_q$ constanten en $\{Z_t\}$ een white noise proces met variantie σ^2 en verwachting 0.

2.4 Voorraadmodellen

In deze paragraaf zullen voorraadmodellen (9) besproken worden die vaak in de literatuur (10) (11) genoemd worden.

De modellen zijn ervoor om ordergroottes en ordermomenten te bepalen, dus hoeveel en wanneer er van bepaalde items besteld wordt.

Hieronder staan de afkortingen van de parameters die in de modellen gebruikt worden.

D = vraag per periode (vaak wordt een jaar gebruikt)
K = de setup kosten per order
Q = de bestelgrootte, het aantal items dat besteld wordt
h = holding kosten per item per periode
r = het niveau waarop besteld wordt, dus als de voorraad op niveau r komt, worden er Q eenheden besteld
p = shortage kosten per artikel
s = het niveau waarop of waaronder besteld wordt, als de voorraad onder het niveau van s komt op een vooraf bepaald ordermoment
S = het level waartoe de voorraad wordt aangevuld bij bestellen
$E(X)$ = de verwachte vraag gedurende de leadtijd L, de verwachte levertijd van een bestelling
$S(r,Q)$ = de verwachte shortage in aantallen per cyclus bij gegeven r en Q (een cyclus begint bij de aankomst van een order en eindigt net voor de volgende order binnen is)

Bij een (r,Q) worden er Q items besteld zodra de voorraad op niveau r is. Bij een (s,S) model wordt er zoveel besteld zodat de voorraad wordt aangevuld tot niveau S als op een vooraf bepaald tijdstip de voorraad op of onder niveau s is gekomen. Bij een (s,Q) model worden er Q items besteld als de voorraad op een bestelmoment onder of gelijk is aan het niveau s. Het (s,S) model en het (s,Q) model zijn periodieke voorraadmodellen, dit wil zeggen dat er een vaste tijd is waarop besteld wordt.

Bij de Bijenkorf bestellen de filialen niet op vaste momenten bij het distributiecentrum. Er kan dus geen periodiek model worden toegepast. Daarom zal de rest van deze paragraaf over het (r,Q) model gaan.

2.4.1 Kostenmodel deterministische vraag

Met de kosten die aan bod komen bij het bestellen en op voorraad hebben van goederen moet rekening gehouden worden bij het bepalen van de bestelgrootte en het bestelmoment (ook wel het reorderpunt). De kosten voor het op voorraad hebben van een item zijn h en door het gebrek aan willekeurigheid in de vraag (deterministische vraag) is het optimale reorderpunt gelijk aan 0. Dit wil zeggen dat de lengte van een cyclus gelijk is aan $\frac{Q}{2}$. Dus de voorraadkosten zijn gelijk aan $\frac{hQ}{2}$. De kosten voor het plaatsen van een order zijn K en het aantal orders per periode is gelijk aan $\frac{D}{Q}$, dus de setup kosten zijn gelijk aan $\frac{KD}{Q}$. De totale kosten zijn dan gelijk aan:

$$C(Q) = \frac{KD}{Q} + \frac{hQ}{2}. \tag{2.9}$$

Als de afgeleide van de bovenstaande formule op nul gesteld wordt, wordt de EOQ-formule verkregen welke een oplossing geeft voor de grootte van een bestelling:

$$Q = \sqrt{\frac{2KD}{h}}. \tag{2.10}$$

Dit is een welbekende methode om de bestelgrootte uit te rekenen, EOQ staat voor economic order quantity.

2.4.2 Kostenmodel stochastische vraag

Als de vraag niet deterministisch is, maar stochastisch, wordt er kans op tekorten (shortage) of backorders gelopen. Er is een safety stock nodig, en het optimale reorderpunt zal dus vaak niet gelijk zijn aan nul. Omdat de Bijenkorf niet aan backorders doet, zal een model die rekening houdt met tekorten besproken worden.

In het model moet rekening worden gehouden met drie soorten kosten, de setup kosten, de holding kosten en de shortage kosten. Het voorraad model bestaat dan ook uit drie delen. De setup kosten zijn de kosten die verbonden zijn met het plaatsen van een order, de holding kosten zijn de kosten van het op voorraad hebben van artikelen en de shortage kosten zijn de kosten die er zijn voor het mislopen van verkopen.

Setup kosten

Het eerste deel van het model bestaat uit de setup kosten, D is de vraag in een periode (bijvoorbeeld een jaar), en Q is de bestelgrootte, dit wil zeggen het aantal orders per periode gelijk is aan $\frac{D}{Q}$ (het aantal bestel cyclussen in een periode). Het aantal orders vermenigvuldigt met de kosten per order geeft de totale setup kosten per periode:

$$\frac{DK}{Q}. \tag{2.11}$$

Holding kosten

De holding kosten worden verkregen door de holding kosten per item te vermenigvuldigen met de gemiddelde voorraad in een bestel cyclus. De gemiddelde voorraad in een cyclus wordt berekend door de voorraad aan het begin van een cyclus op te tellen bij de voorraad aan het eind van een cyclus en dit te delen door 2.

Er wordt besteld zodra er nog r items zijn, gedurende de levertijd van een bestelling is de verwachte vraag $E(X)$, dus na de levertijd van een bestelling is de verwachte voorraad $r-E(X)$, en dat is dus ook de voorraad aan het einde van een cyclus. Een nieuwe cyclus begint bij het leveren van een bestelling, dus aan het begin van een cyclus is de voorraad: $r-E(X)+Q$.

Aan het begin van een cyclus is de voorraad: $r-E(X)+Q$ en aan het eind van een cyclus is de voorraad: $r-E(X)$.

Dit wil zeggen dat de gemiddelde voorraad gelijk is aan het volgende:

$$\frac{1}{2}\left(r-E(X)+Q+r-E(X)\right)=\frac{1}{2}\left(2r-2E(X)+Q\right)=r-E(X)+\frac{Q}{2}.$$

De holding kosten worden dan gegeven door:

$$h\left(\frac{Q}{2}+r-E(X)\right). \tag{2.12}$$

Shortage kosten

Per artikel dat niet verkocht wordt omdat het niet in de winkel ligt, zijn de kosten p. Het verwachte aantal artikelen dat er in een cyclus tekort is, is gelijk aan $S(r,Q)$. $\frac{D}{Q}$ zijn het aantal orders per periode, per order zijn er $S(r,Q)$ items tekort, dus per periode $\frac{DS(r,Q)}{Q}$. Dit vermenigvuldigen met de shortage kosten per item p geeft dan dus de totale shortage kosten:

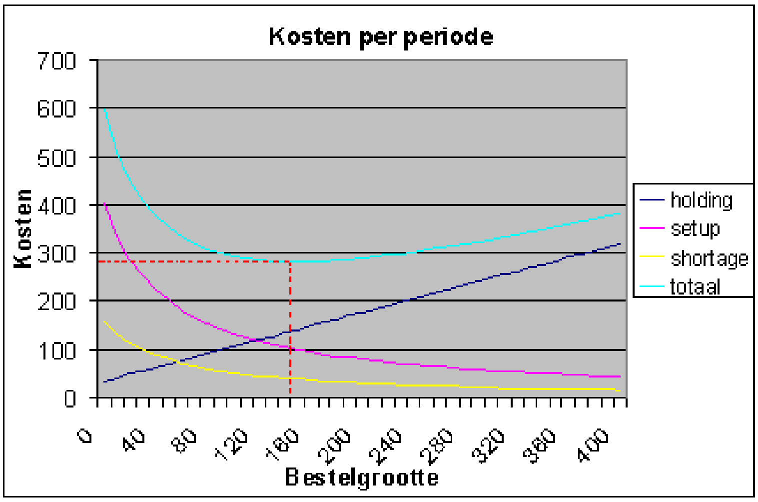
$$\frac{pDS(r,Q)}{Q}. \tag{2.13}$$

Het totale model

Door de setup, holding en shortage kosten bij elkaar te voegen wordt het volgende model, welke de totale kosten voor een bestelstrategie geeft, verkregen:

$$C(r,Q)=\frac{DK}{Q}+h\left(\frac{Q}{2}+r-E(X)\right)+\frac{pDS(r,Q)}{Q}. \tag{2.14}$$

Figuur 2.1 geeft een grafische weergave van de verschillende soorten kosten waar het model rekening mee houdt. Daar waar de totale setup en shortage kosten omhoog gaan, gaan de totale holding kosten omlaag. De optimale bestelgrootte is die waarde waar de totale kosten zo laag mogelijk zijn, in het voorbeeld is dit ongeveer 160 eenheden, bij kosten van nog geen 300.

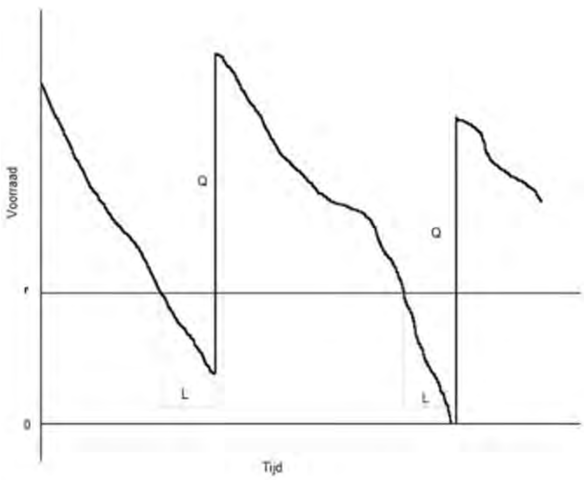


Figuur 2.1: Kosten

Bepaling van r en Q

De waarden voor r en Q die de totale kosten minimaliseren worden gevonden door de afgeleide van de kostenformule (2.14) nul te zetten.

Ter illustratie is in figuur 2.2 een grafiek weergegeven die aangeeft hoe het niveau van de voorraad van een artikel in de tijd verandert. Een bestelling wordt geplaatst als de voorraad op niveau r is en de levering komt binnen na een tijdsperiode van L. Tijdens deze leadtijd is het gewenst dat er genoeg voorraad is ten opzichte van de vraag om gemiste verkopen te voorkomen. In de figuur zijn twee cyclussen weergegeven, in de eerste cyclus is er genoeg voorraad om aan de vraag gedurende de leadtijd te voldoen. In de tweede cyclus is er niet genoeg voorraad om aan de vraag gedurende de leadtijd te voldoen. Het is dus belangrijk om de optimale waarde voor r te vinden, zodat er niet te veel voorraad ligt, maar ook geen tekorten zijn.



Figuur 2.2: Voorraadniveau

3. Achtergrond

In dit hoofdstuk zal de producthiërarchie bij de Bijenkorf besproken worden. Ook zal de goederenstroom kort beschreven worden.

3.1 Product hiërarchie

Om een goed inzicht te krijgen in de structuur van de data die gebruikt wordt door de auto-replenishment applicatie, zal in dit hoofdstuk de product hiërarchie van de Bijenkorf worden beschreven.

3.1.1 Levels

De productenhiërarchie bestaat uit zes levels. Elk lager level geeft meer details van een product dan het level ervoor. Hieronder zullen de levels kort beschreven worden.

De zes levels zijn als volgt:

1. *PGO*
2. *Wereld*
3. *Profitcenter*
4. *Afdeling*
5. *Groep*
6. *Attribuut*

1. PGO

De inkooporganisatie van de Bijenkorf is onderverdeeld in zes productgroeporganisaties (PGO’s). De inkoopafdelingen bepalen welke artikelen er in de winkels gevoerd worden. De zes PGO’s zijn de volgende:

1 Herenmode/Kindermode/Chill out/Sport
2 Damesmode
3 Accessoires
4 Cosmetica
5 Vrije tijd
6 Wonen
7 Food

2. Wereld

Onder de PGO’s hangen werelden. Met de werelden worden de PGO’s onderverdeeld in kleinere groepen. Een voorbeeld: onder PGO 4 behoort onder andere wereld 12: lingerie.

3. Profitcenter

Elke wereld is dan weer onderverdeeld in profitcenters. Bij bijvoorbeeld PGO 2: damesmode, wereld 11: dames, zijn onder andere de profitcenters “dames buiten mode” en “modern” te vinden. Een ander voorbeeld: het profitcenter lederwaren behoort tot wereld 22: accessoires welke behoort tot PGO 4.

4. Afdeling

Onder een afdeling wordt bij de Bijenkorf een merk verstaan. Een afdeling onder het profitcenter lingerie is bijvoorbeeld het merk Chantelle.

5. Groep

Met een groep wordt een producttype bedoeld. Onder het merk Chantelle bij lingerie horen bijvoorbeeld de groepen BH padded en slip.

6. Attribuut

De attributen van een groep artikelen kunnen bestaan uit bijvoorbeeld het materiaal van artikelen en bijvoorbeeld of het artikel in de aanbieding is. Andere voorbeelden van attributen zijn de kleur en maat van een artikel en de in- en verkoopprijzen.

3.1.2 Seizoenscodes

Alle artikelen die de Bijenkorf voert krijgen een seizoenscode toegewezen. De seizoenscode geeft aan wanneer de artikelen gevoerd worden. De seizoenscodes lopen van 1 tot en met 9. De artikelen die vast in het assortiment zitten hebben seizoenscode 9. De rest van de seizoenscodes geven aan of de artikelen aan het begin of eind van een jaar gevoerd worden. Zo hadden de artikelen die begin 2007 gevoerd werden seizoenscode 1 en de artikelen die eind 2007 gevoerd werden seizoenscode 2. In 2008 waren dit codes 3 en 4 en in 2009 5 en 6. Zo wordt er in de jaren doorgeteld tot en met seizoenscode 8, en daarna wordt weer begonnen met code 1.

Alleen de artikelen met seizoenscode 9 zijn relevant voor de auto-replenishment. Dit zijn de enige artikelen die nabestelbaar zijn. De artikelen met seizoenscodes 1 tot en met 8 worden over het algemeen maar één keer besteld bij de leverancier, dus als deze artikelen verkocht worden, worden ze niet nabesteld. De 9-code artikelen vertegenwoordigen ongeveer 40% van de totale omzet, in stuks en in euro’s.

3.2 Informatie opslag

De bijenkorf heeft databases met daarin alle gegevens van alle artikelen. Uit deze databases worden de gegevens gehaald die gebruikt worden in het voorraad model. De volgende gegevens zijn hierbij nodig: Het profitcenter, de afdeling, de groep, bepaalde attributen: artikel variant (kleur/maat), in- en verkoopprijs, aantallen verkopen, filiaal, voorraad, out of stock, de lengte van de cyclus en levertijd.

De Bijenkorf gebruikt de applicatie VIRGO (Voorraad Informatie Resulteert in Grotere Opbrengst) om data op te roepen en in te voeren. Hier kunnen bijvoorbeeld de huidige voorraad, de richtgetallen en bestelgrootte in gevonden worden.

3.3 Goederenstroom

Nu zal kort worden besproken hoe de goederenstroom van de Bijenkorf loopt.

Het assortiment wordt vastgesteld door de inkopers onder advies van de afdeling Concept Coördinatie & Styling. Dit gebeurt op het hoofdkantoor in Amsterdam voor alle filialen. Vervolgens worden de leveranciers bepaald welke de goederen aan de Bijenkorf gaan leveren. De artikel gegevens worden vastgelegd door de inkopers en worden vervolgens door de afdeling replenishment in VIRGO gezet. De gegevens die ingevoerd moeten worden zijn de volgende: groepscode, soortcode, seizoenscode, verkoopprijs, leverancier, richtgetallen, bestelaantal, besteleenheid en het uitprijsvoorschrift.

De leverancier levert de bestelde goederen op een afgesproken tijd af op het distributiecentrum in Woerden. Op de afdeling AG (Aankomst Goederen) worden de pallets, dozen of losse stuks van de goederen gelost en vervolgens worden de pakbonnen gematched. De goederen worden dan geplaatst op stellingen om naar de uitprijsafdeling te worden vervoerd.

Op de controle en uitprijsafdeling worden de artikelen geteld, gecontroleerd en geprijsd. Vervolgens worden de artikelen ingemeld in VIRGO, waardoor ze beschikbaar worden gesteld voor de filialen, hierna worden de artikelen opgeslagen in het magazijn.

In het magazijn worden de artikelen gesorteerd en op juiste plaatsen opgeslagen. De artikelen die naar de filialen vervoerd moeten worden, worden klaargelegd en vervoerd naar de expeditie.

Bij de expeditie worden de artikelen die naar de filialen gaan verzameld en in de juiste vrachtwagens geplaatst. Ook worden bij de expeditie afdeling de actiepartijen van de drie dwaze dagen gesorteerd en opgeslagen in de actie opslag.

In het distributie centrum zijn om en nabij 220.000 stuks hanggoederen en 1.600.000 stuks liggoederen opgeslagen. Er komen ongeveer 90 leveringen aan per dag en er zijn elke dag 12 ritten van het distributiecentrum naar de filialen. Het distributiecentrum is 40.000 m^2 en heeft rond de 210 fulltime medewerkers.

In de filialen worden de artikelen aangemeld en ingelost door de afdeling Aankomst Goederen. De artikelen worden verdeeld over aanleverpunten in het filiaal en worden vervolgens in de winkel geplaatst.

Bij het verkopen van artikelen worden ze gescand, en de verkoopinformatie wordt automatisch doorgezet naar VIRGO.

4. Model aannames van de Bijenkorf

Aan de basis van de auto-replenishment applicatie van de Bijenkorf ligt het (r, Q) voorraadmodel, waarbij Q eenheden besteld worden zodra het voorraadniveau op niveau r komt. Het doel van het model is de optimale waardes voor r en Q te vinden. Dit zijn de waardes voor r en Q waarbij de kosten zo laag mogelijk zijn bij een zo hoog mogelijke leveringsbetrouwbaarheid. Deze waardes moeten gevonden worden voor alle artikelen in alle filialen.

De auto-replenishment applicatie is geschreven in het software pakket SPSS (**S**tatistical **P**ackage for the **S**ocial **S**ciences). SPSS is een pakket dat gebruikt wordt om statistische analyses uit te voeren.

4.1 De richtgetallen

De Bijenkorf heeft 12 filialen verspreid over Nederland en beschikt sinds kort ook over een webwinkel. Niet elk filiaal voert hetzelfde aantal artikelen en de vraag naar artikelen is verschillend over de filialen. Om in elk filiaal genoeg voorraad, maar niet te veel, van de artikelen te hebben moet per filiaal naar de verwachte vraag van de artikelen gekeken worden. Met behulp van deze verwachte vraag worden de minimum en maximum richtgetallen bepaald.

De minimum en maximum richtgetallen bepalen wanneer en hoeveel er besteld wordt. De auto-replenishment applicatie bepaalt per artikel variant per filiaal deze richtgetallen. Over het algemeen worden alle artikelen vanaf het distributie centrum in Woerden besteld bij de leveranciers. In Woerden wordt zoveel voorraad neergelegd als nodig is om de verschillende filialen te kunnen aanvullen. De filialen bestellen vervolgens bij Woerden. Op de filialen wordt er besteld zodra de voorraad van een artikel onder een minimum waarde komt, het minimum richtgetal van het filiaal. Er wordt zoveel besteld, zodat de voorraad tot het maximum richtgetal wordt aangevuld.

Per filiaal en per artikel variant worden deze richtgetallen bepaald met behulp van het in het (r, Q) voorraadmodel. Het minimum richtgetal van de artikelen wordt in principe gelijk gesteld aan r en het maximum richtgetal wordt gelijk gesteld aan $r + Q$. De lengte van een cyclus van een artikel in de filialen hangt dus af van de grootte van Q en r. Er wordt dus niet op een vaste dag besteld bij Woerden, maar zodra de voorraad onder het minimum richtgetal komt.

4.2 Bestelcyclus Woerden

De Bijenkorf berekent de verwachte vraag voor een periode van de bestelcyclus van Woerden plus de levertijd van de leverancier naar Woerden. Op het distributiecentrum in Woerden moet genoeg voorraad liggen om aan de vraag te voldoen voor alle artikelen voor alle filialen voor een periode van de bestelcyclus plus de levertijd van de leverancier. De bestelcyclus ligt per artikel vast en wordt bepaald door de planners van de verschillende afdelingen. De lengte van de bestelcyclus geeft aan hoeveel tijd er tussen twee bestelmomenten bij de leverancier zit. Bepaalde merken hebben bijvoorbeeld een bestelcyclus van twee weken met maandag als besteldag. Dit wil zeggen dat om de week op maandag wordt bekeken of, welke en hoeveel artikelen van die merken besteld moeten worden bij de leverancier.

Dat de bestelcyclus plus de levertijd wordt genomen als periode om de verwachte vraag te berekenen komt op het volgende neer: op de bestelmomenten moet genoeg besteld worden om aan de vraag te voldoen voor een periode van $T + L$. Waarbij T de bestelcyclus is en L de levertijd van de leverancier. Als de voorraad net boven het reorderpunt ligt op een bestelmoment, zodat er niet besteld wordt, dan is het zo dat de volgende keer dat wat binnen komt pas over de bestelcyclus plus de levertijd is.

4.3 De input parameters

In deze paragraaf zullen de parameters besproken worden die de Bijenkorf gebruikt bij het bepalen van de richtgetallen.

4.3.1 Setup, holding en shortage kosten

De Bijenkorf gebruikt voor de setup kosten (K) niet een waarde per order maar een waarde per artikel. Dit wil zeggen dat de setup kosten lager zullen uitkomen dan wanneer de kosten per order genomen zouden worden, wat in het model vereist is. Voor deze setup kosten per eenheid gebruikt de Bijenkorf de IFRS (international financial reporting standards) opslag gebruikt. Dit is 8,32% van de kostprijs van een artikel.

De holding kosten (h) zijn vastgesteld op 13% van de kostprijs van een artikel. Dit is het rendement dat de Bijenkorf had kunnen behalen als het geld dat aan de opslag van de artikelen wordt uitgegeven anders was gebruikt.

De shortage kosten (p) worden berekend door middel van de volgende formule:

$$verkoopprijs - inkoopprijs - \frac{0{,}19}{1{,}19} verkoopprijs \,. \tag{4.1}$$

Dit is het verlies van inkomsten als een artikel niet op voorraad zou zijn, maar wel verkocht had kunnen worden als het wel op voorraad was.

Deze kosten komen voor veel artikelen erg hoog uit waardoor de Bijenkorf vaak het volgende gebruikt als shortage kosten:

$$\frac{verkoopprijs - inkoopprijs - \frac{0{,}19}{1{,}19} verkoopprijs}{verkoopprijs} \,. \tag{4.2}$$

Het lijkt erop dat er op deze manier te lage waarden voor de kosten per shortage uit komen. Het is niet zo gek dat de shortage kosten een stuk hoger zijn dan de holding en setup kosten. Als dat niet het geval was, zou het misschien beter zijn om het artikel niet te voeren.

4.3.2 Verwachte vraag

De verwachte vraag (D) wordt uitgerekend met behulp van historische data. Om de verwachte vraag uit te rekenen worden deze data gebruikt in een stepwise regressie analyse. De verkopen van een periode van 10 weken worden gebruikt in deze regressie analyse. De Bijenkorf bepaalt de verwachte vraag voor een periode van de bestelcyclus plus levertijd van de leverancier naar Woerden (zoals besproken in paragraaf 4.2).

Regressie analyse

De regressie analyse (Multiple regression in SPSS sd) wordt uitgevoerd per afdeling. Voor alle artikel varianten en voor alle filialen wordt de doelwaarde van de regressie analyse berekend. Dit is het gemiddelde aantal verkopen per week (berekend over de laatste 10 weken) vermenigvuldigd met de lengte van de bestelcyclus plus de levertijd van de leverancier (in weken). Vervolgens wordt de regressie analyse uitgevoerd met deze doelwaarde als afhankelijke variabele en de volgende variabelen als onafhankelijke variabelen: het filiaal, de kleur, de maat, de classificatie[4], het aantal verkopen in de vorige week, twee weken geleden t/m 9 weken geleden en de verkoopprijs. De regressie analyse wordt twee keer uitgevoerd, de eerste keer is om de outliers te verwijderen (met behulp van de residuen) en de tweede keer om de schatting van de verwachte vraag te krijgen (per variant). Deze schatting wordt gecorrigeerd met een index die is verkregen uit een tijdreeksanalyse. Voor de gehele afdeling worden deze onafgeronde schattingen bij elkaar opgeteld, om zo een totale verwachte vraag voor de afdeling te krijgen. De schattingen per artikel worden vervolgens afgerond. Deze afgeronde waardes worden dan ook opgeteld. De afgeronde som van schattingen kan lager uitkomen dan de onafgeronde som van schattingen (doordat bijvoorbeeld een onafgeronde verwachte vraag van 0,4 wordt afgerond naar 0). Om de verwachte vraag in de afdeling niet te onderschatten, wordt de totale afgeronde verwachte vraag opgehoogd tot de totale onafgeronde vraag (als dit nodig is). Dit wordt gedaan door de artikelen met afgeronde verwachte vraag van 0 een verwachte vraag van 1 toe te wijzen. Deze verwachte vraag van 1 wordt toegewezen op volgorde van onafgeronde schatting van de verwachte vraag.

Hieronder volgt een voorbeeld van de regressie analyse. Bij dit voorbeeld is data gebruikt voor een merk uit het profitcenter Horloges. De tabel geeft de variabelen weer die in het model horen.

[4] Er wordt een classificatie van de artikelen bijgehouden. De artikelen worden onderverdeeld in vier groepen op basis van hoe vaak ze verkocht worden, met classificatie 1 voor de best lopende artikelen en classificatie 4 de slechts lopende artikelen.

(Constant)	.033	.003		9.987	.000
DEWK9AT	.118	.003	.346	36.787	.000
DEWK8AT	.131	.004	.283	30.202	.000
DEWK7AT	.122	.004	.270	28.743	.000
DEWK2AT	.125	.004	.319	34.258	.000
DEWK3AT	.143	.005	.258	27.576	.000
DEWK1AT	.106	.004	.255	26.775	.000
DEWK6AT	.123	.004	.279	29.358	.000
DEWK4AT	.124	.004	.263	28.127	.000
DEWK5AT	.124	.005	.235	25.310	.000
DEWBAT	-.028	.002	-.120	-11.690	.000
F1	.020	.003	.063	6.118	.000
F2	.019	.003	.060	5.977	.000
F3	.011	.003	.036	3.594	.000
RMVRKPR	-1.352E-5	.000	-.021	-2.211	.028

Figuur 4.1: Regressie analyse

In de eerste kolom staat de betreffende onafhankelijke variabele, in de tweede kolom de grootte van de invloed van de variabele op de afhankelijke variabele (regressie coëfficiënt), in de derde kolom de standaard error, in de vierde kolom de beta (de gestandaardiseerde regressie gewichten), in de vijfde kolom de uitkomst van de t-toets en in de zesde kolom de significantie. De significatie is de tweezijdige overschrijdingskans van de t-toets. Met de regressie analyse wordt bekeken welke variabelen in het model moeten komen. Er wordt dus getest of de regressie coëfficiënten van de variabelen gelijk zijn aan nul (ze hoeven niet in het model). Dit wordt getest met behulp van de t-toets en het significantie level. Als de uitkomst van de t-toets -2,211 is met een significantie level van 0,028, is de kans dat de waarde van de t-toets buiten het bereik van [-2,211;2,211] ligt 0,028. Vaak wordt er aangehouden dat als het significantie level van de t-waarde kleiner is dan 0,05, dat de variabele in het model hoort. Hoe groter de waarde van t en hoe kleiner de waarde van de significantie hoe groter de bijdrage van de variabele.

In de bovenstaande tabel staan alleen die variabelen weergegeven die significant zijn en dus in het model horen. Wat betekent dat het model er als volgt uit ziet:

$$y = 0{,}033 + 0{,}118 * wk9 + 0{,}131 * wk8 + 0{,}122 * wk7 + 0{,}125 * wk2 + 0{,}143 * wk3 +$$
$$0{,}106 * wk1 + 0{,}124 * wk6 + 0{,}124 * wk4 + 0{,}124 * wk5 - 0{,}028 * voorraad \;\; +$$
$$0{,}020 * \mathit{filiaal}1 + 0{,}019 * \mathit{filiaal}2 + 0{,}011 * \mathit{filiaal}3 - 1{,}352 * 10^{-5} * verkoopprijs ,$$

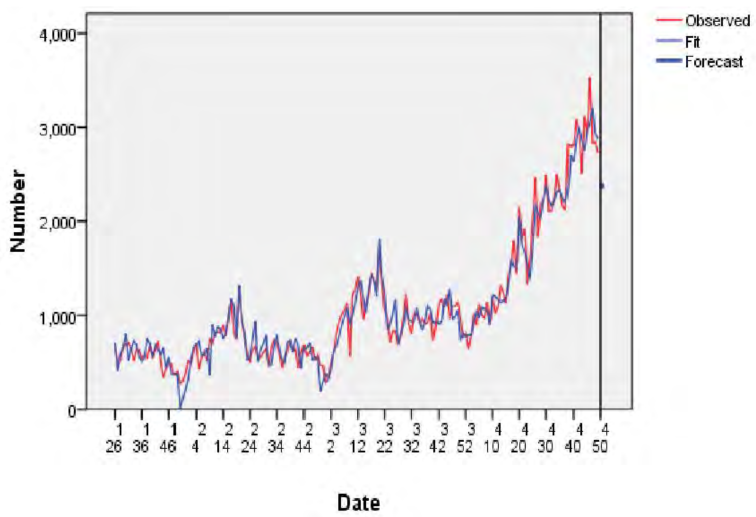
met y de voorspeller voor de vraag.

In de bovenstaande formule staan die variabelen die invloed hebben op de vraag naar het artikel. Het aantal verkopen tot en met 9 weken geleden, de hoogte van de voorraad, de eerste 3 filialen (Amsterdam, Den Haag en Rotterdam) en de verkoopprijs hebben bij dit artikel dus invloed op de verwachte vraag. Alles behalve de verkoopprijs heeft een positieve invloed.

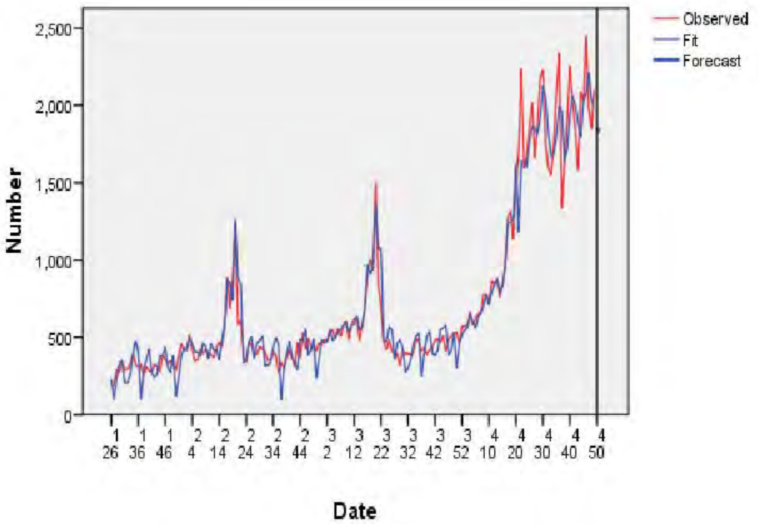
Tijdreeksanalyse

Zoals eerder genoemd wordt de verwachte vraag gecorrigeerd met een index verkregen uit een tijdreeksanalyse. Voor elk profitcenter wordt een tijdreeksanalyse uitgevoerd. De verkopen van alle artikelen in een profitcenter worden bij elkaar opgeteld, dit gebeurt per week voor een aantal jaren (waar mogelijk vanaf 2006). Met SPSS kan op deze data een tijdreeksanalyse worden uitgevoerd met het aantal verkopen als afhankelijke variabele en de weken als onafhankelijke variabele. De tijdreeksanalyse wordt uitgevoerd om het verloop van de verkopen in tijd van de profitcenters weer te geven. Zo kunnen de verkopen een neerwaartse, opwaartse of gelijk blijvende trend hebben. Ook kunnen er in de verkopen seizoensinvloeden een rol spelen. Zo kunnen bepaalde artikelen bijvoorbeeld in de zomer meer verkocht worden dan in de winter. Met deze trend en seizoensinvloeden moet rekening gehouden worden in het bepalen van de verwachte vraag. De tijdreeksanalyse geeft geschatte waardes voor de historische verkopen per week en een voorspeller voor het aantal verkopen in de komende twee weken. Uit de tijdreeksanalyse wordt een index waarde verkregen die aangeeft of de verkopen in de volgende weken verwacht zijn omhoog, naar beneden of gelijk blijven ten opzichte van de vorige weken. De index wordt berekend door de voorspeller voor over 2 weken te delen door de door de voorspeller van de volgende week.

Figuren 4.2 en 4.3 geven een grafische weergaven van tijdreeksanalyses. De eerste is van het profitcenter sokken en de tweede van het profitcenter lederwaren. Er is duidelijk in beide grafieken een opwaartse beweging te zien in het laatste jaar. Vooral bij de grafiek van het profitcenter lederwaren zijn er in jaar 2 en 3 pieken (seizoensinvloeden) te zien.



Figuur 4.2: Tijdreeks Sokken



Figuur 4.3: Tijdreeks Lederwaren

4.3.3 Verwachte shortage

Om de shortage per (order) cyclus uit te rekenen, is de kansdichtheid van de vraag gedurende de levertijd $f_X(x)$ nodig. Met behulp van deze verdeling kan de verwachte shortage uitgerekend worden met behulp van de volgende formule:

$$\hat{S}(r,Q) = \int_r^{\infty} (x-r) f_X(x) dx . \tag{4.3}$$

Er wordt door de Bijenkorf aangenomen dat de verdeling van de vraag gedurende de levertijd (L) (van Woerden naar het filiaal) uniform verdeeld is op een interval van r tot L (welke gelijk is aan 3), en hebben daarom de volgende formule aangenomen voor de verwachte shortage $\hat{S}(r,Q)$:

$$\hat{S}(r,Q) = \left(\frac{x^2}{2L} - \frac{rx}{L} \right) \Bigg|_r^L = \frac{r^2}{2L} - r + \frac{L}{2} . \tag{4.4}$$

Deze formule geldt dus alleen als er wordt aangenomen dat de vraag gedurende de levertijd een uniforme verdeling heeft, en als er een bovengrens aan de integraal wordt gesteld.

De Bijenkorf gaat er vanuit dat de formule een shortage in dagen geeft, en heeft daarom ook de levertijd als bovengrens van de integraal genomen.

4.4 Hoogte van de richtgetallen

De minimum en maximum richtgetallen worden in principe uitgerekend door de afgeleide van de kostenformule op nul te zetten. Zoals eerder genoemd, moeten deze richtgetallen voor elk filiaal voor elk artikel variant worden bepaald. Het minimum richtgetal is gelijk aan het niveau r en het maximum richtgetal is gelijk aan het minimum richtgetal plus bestelgrootte Q. In deze paragraaf zal besproken worden hoe deze richtgetallen bij de Bijenkorf tot stand komen.

4.4.2 Richtgetallen filialen

Om de richtgetallen te kunnen berekenen is eerst de verwachte shortage nodig. De Bijenkorf neemt aan dat de vraag gedurende de levertijd uniform is verdeeld, zoals eerder in het hoofdstuk is laten zien, wordt de verwachte shortage dan gegeven door:

$$\hat{S}(r_1, Q) = \frac{r_1^2}{2L} - r_1 + \frac{L}{2}\,. \qquad (4.5)$$

In deze formule is een initiële waarde nodig voor het reorderpunt: r_1. Deze wordt als volgt berekend[5]:

$$r_1 = L\left(1 - \frac{hQ_1}{pD}\right). \qquad (4.6)$$

In de formule voor r_1 is een initiële waarde nodig voor de bestelgrootte: Q_1. Deze initiële waarde voor de bestelgrootte wordt gelijk gesteld aan[6]:

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2Dk}{h}}\,. \qquad (4.7)$$

Deze formule is in de literatuur bekend als de EOQ-formule (Economic Order Quantity). Deze formule geeft de optimale bestelgrootte zonder rekening te houden met shortages.

Nu de verwachte shortage berekend is, kan de optimale bestelgrootte berekend worden met behulp van de volgende formule[7]:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D(k + p\hat{S}(r, Q))}{h}}\,. \qquad (4.8)$$

Het reorderpunt kan vervolgens worden berekend met behulp van dezelfde formule als voor r_1, alleen in plaats van de initiële waarde voor de bestelgrootte in te vullen, wordt de optimale waarde van de bestelgrootte ingevuld:

$$r^* = L\left(1 - \frac{hQ^*}{pD}\right). \qquad (4.9)$$

[5] Voor de berekening zie de bijlage
[6] Voor de berekening zie de bijlage
[7] Voor de berekening zie de bijlage

Omdat de Bijenkorf niet tevreden is met de resultaten die uit deze formule komen, hebben ze een correctie variabele toegevoegd. Zo is uiteindelijk tot de volgende formule voor het reorderpunt gekomen:

$$r^* = L\left(1 - \frac{hQ^*}{pDf^*}\right), \tag{4.10}$$

waarin f^* wordt berekend met behulp van de onderstaande formule voor f. Per product variant (over alle verschillende kleuren en maten) en per filiaal wordt f met behulp van de onderstaande formule berekend.

$$f = \frac{LhQ^*}{pD(L-1)}. \tag{4.11}$$

f^* is dan het maximum van f over de verschillende maten van het artikel.

Waar deze formule van f vandaan komt is niet geheel duidelijk. Deze is om praktische redenen in het model gestopt.

4.4.3 Regels per afdeling

Omdat de planners van de afdelingen niet altijd tevreden zijn met de richtgetallen zoals ze uit de bovenstaande berekeningen komen, zijn er veel afdelingen die afzonderlijk regels hebben. Zo hebben veel planners minimum en maximum schapvullingen opgegeven voor bepaalde artikelen. De richtgetallen moeten dan dus binnen het bereik van de schapvullingen blijven. Andere regels kunnen het volgende zijn: de afstand tussen het minimum en maximum richtgetal moet beperkt blijven (bijvoorbeeld een verschil van 50%), of de richtgetallen voor artikelen boven een bepaalde waarde zijn gelijk aan elkaar (kan niet voortkomen uit de formule, omdat het maximum richtgetal gelijk is aan het minimum richtgetal plus de bestelgrootte).

4.4.4 Richtgetal Woerden

Als de richtgetallen van de filialen bekend zijn, kunnen de richtgetallen op Woerden bepaald worden. Per filiaal, per variant wordt als volgt berekend welk aantal nodig is op Woerden:

$$\begin{aligned}
&Als(\mathrm{voorraad} - \mathrm{D} < \mathrm{minimum_richtgetal}) \\
&Dan: \mathrm{benodigde_hoeveelheid} = \mathrm{maximum_richtgetal} - \mathrm{voorraad} + \mathrm{D} \\
&Anders: \mathrm{benodigde_hoeveelheid} = 0
\end{aligned}$$

Per artikel variant wordt dit voor alle filialen bij elkaar opgeteld. Het resultaat van deze optelsom is het richtgetal op Woerden. Er worden dan (richtgetal Woerden – voorraad Woerden) eenheden besteld bij de leverancier.

Het bovenstaande proces kan gezien worden als een (s, S) voorraad strategie. De voorraad wordt aangevuld tot niveau S als de voorraad onder niveau s is. In dit geval is alleen de benodigde hoeveelheid niet gelijk aan $S - voorraad$, maar aan $S - voorraad + D$. Dit gebeurt ook niet als de voorraad onder het niveau s komt, maar als de $voorraad - D$ onder niveau s komt. Het maximum richtgetal is hier gelijk aan S, en het minimum richtgetal aan s. Dit wordt voor elk filiaal gedaan, om tot een richtgetal voor Woerden te komen.

4.5 Voorbeeld

Ter illustratie wordt hier een voorbeeld gegeven van de richtgetallen van een tas uit de afdeling Eastpak uit het profitcenter reis. De volgende waardes gelden:

Inkoopprijs = 27,92
Verkoopprijs = 70
D = verwachte vraag = 1
$E(X)$ =verwachte vraag gedurende de levertijd = 0
K = de setup kosten per order = $0{,}0832 * 27{,}92 = 2{,}32$
h = holding kosten per item = $0{,}13 * 27{,}92 = 3{,}36$
p = shortage kosten per artikel = $\dfrac{70 - 27{,}92 - \dfrac{0{,}19}{1{,}19} * 70}{70} = 0{,}44$

$f*$ = correctie variabele = 93,92

r = het niveau waarop besteld wordt, dus als de voorraad op niveau r komt, worden er Q eenheden besteld

$\hat{S}(r, Q)$ = de verwachte shortage per cyclus bij gegeven r en Q (aantal items)

Q = de bestelgrootte

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2Dk}{h}} = \sqrt{\frac{2*1*2{,}32}{3{,}36}} \approx 1{,}13$$

$$r_1 = L\left(1 - \frac{hQ_1}{pD}\right) = 3*\left(1 - \frac{3{,}36*1{,}13}{0{,}44*1}\right) \approx -24{,}9$$

$$\hat{S}(r, Q) = \frac{r_1^2}{2L} - r_1 + \frac{L}{2} = \frac{-24{,}9^2}{2*3} + 24{,}9 + \frac{3}{2} \approx 130$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D(k + p\hat{S}(r,Q))}{h}} = \sqrt{\frac{2*1*(2{,}32 + 0{,}44*130)}{3{,}36}} \approx 1{,}23$$

$$r^* = L\left(1 - \frac{hQ^*}{pD}\right) = 3*\left(1 - \frac{3{,}36*1{,}23}{0{,}44*1}\right) \approx -27{,}44$$

$$r^* = L\left(1 - \frac{hQ^*}{pDf^*}\right) = 3*\left(1 - \frac{3{,}36*1{,}23}{0{,}44*1*93{,}92}\right) \approx 2{,}68$$

$$C(r,Q) = \frac{1*2{,}32}{1} + 3{,}36\left(\frac{1}{2} + 3 - 0\right) + \frac{0{,}44*1*130}{1} \approx 71{,}3$$

De waarde die voor het reorderpunt is verkregen is 3 en de waarde voor de bestelgrootte is 1. Voor de Bijenkorf betekent dit een minimum richtgetal van 3 en een maximum richtgetal van 4. Er wordt besteld zodra de voorraad onder de waarde van het minimum richtgetal komt, dus er worden 2 eenheden besteld zodra de voorraad op 2 komt.

De verwachte shortage die uit de formules komt is ongeveer 130. Of dit nou dagen zijn of stuks, het is veel te hoog bij een verwachte vraag van maar 1 voor de komende periode (wat in dit geval de bestelcyclus van de leverancier bij Woerden plus de levertijd van de leverancier naar Woerden is). Een minimum richtgetal van 3 lijkt ook aan de hoge kant bij een verwachte vraag van 1.

5. Data analyse

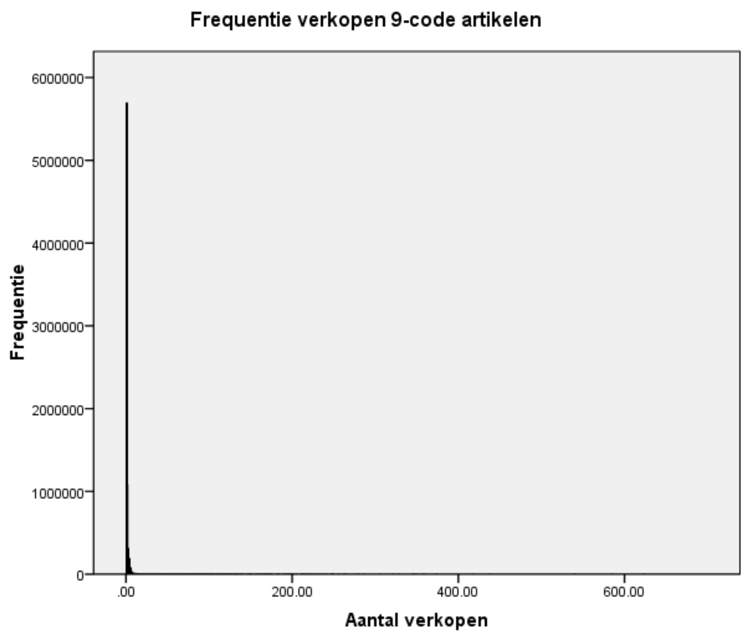
In dit hoofdstuk zullen een aantal eigenschappen van de data aan bod komen.

5.1 De verkopen

De vraag van de verschillende artikelen die de Bijenkorf voert is erg verschillend. Dit geldt zo wel voor alle 9-code artikelen tezamen als voor de artikelen binnen de profitcenters. In deze paragraaf wordt grafisch weergegeven hoe deze verschillen eruit zien.

5.1.1 Frequentie van de verkopen

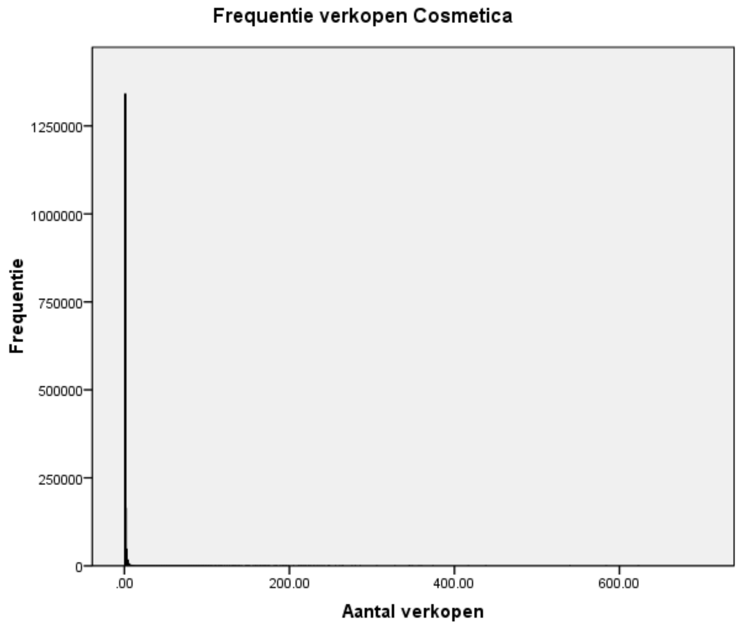
De Bijenkorf heeft een erg groot assortiment en weinig verkopen per artikel. Dit is te zien in de volgende figuren.



Figuur 5.1: Frequentie verkopen 9-codes

In de grafiek is de frequentie te zien van de aantallen verkopen van alle 9-code artikelen van de Bijenkorf in een jaar. Op de x-as is te zien hoeveel stuks van een artikel variant in een specifiek filiaal in een jaar zijn verkocht. Op de y-as staat hoeveel varianten zoveel stuks hebben verkocht. Er is te zien dat van veel artikelen weinig stuks worden verkocht en van weinig artikelen veel.

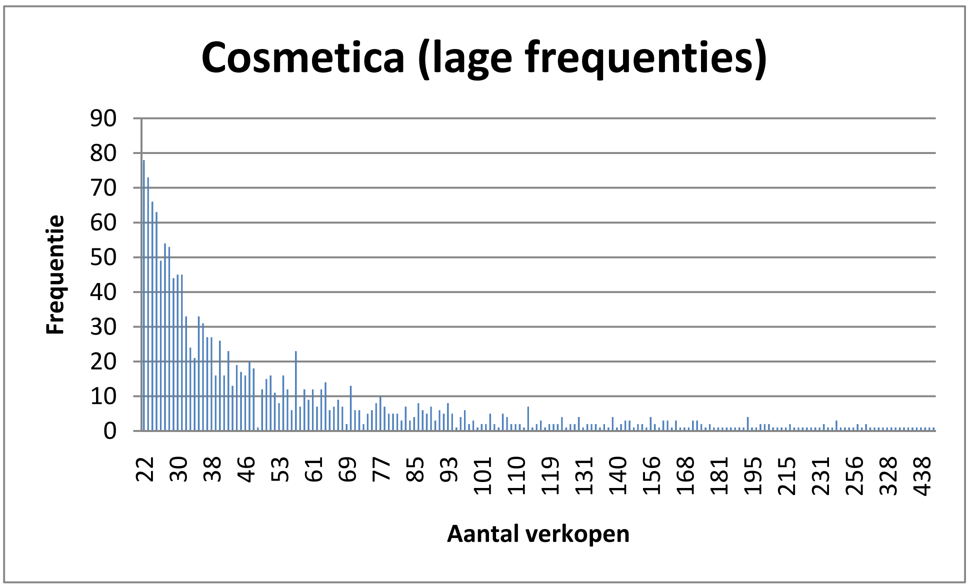
De volgende figuur geeft dezelfde grafiek voor alleen het profitcenter cosmetica. Deze vertoont een zelfde patroon.



Figuur 5.2: Frequentie verkopen cosmetica

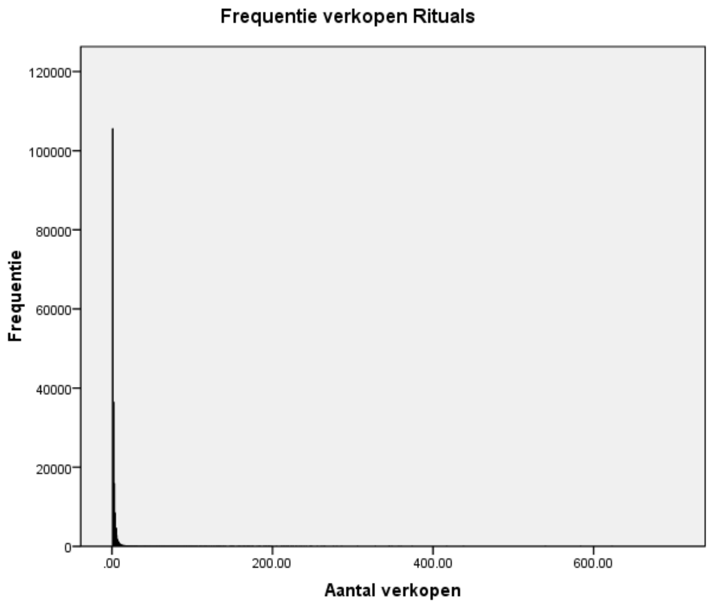
In dit profitcenter zitten veel merken waar niet zo veel van verkocht wordt, maar er zijn ook enkele merken waar heel veel van wordt verkocht.

De volgende grafiek geeft de artikelen weer met frequenties onder de 100 uit het profitcenter cosmetica. Hetzelfde patroon blijft te zien, hoe meer verkopen hoe lager de frequentie. In de grafiek zijn wel wat fluctuaties te zien, tussen de 53 en 61 is bijvoorbeeld een piek te zien.



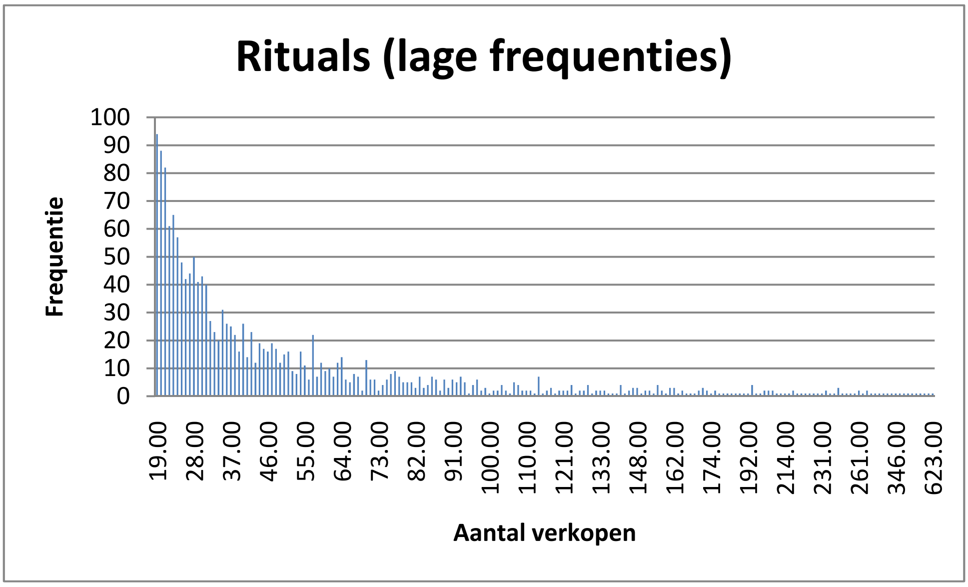
Figuur 5.3: Frequentie verkopen cosmetica (lage frequenties)

De volgende grafiek geeft de frequentie van het merk “Rituals”. Binnen dat merk is ook weer te zien dat er veel artikelen zijn die niet zo veel verkopen en enkele artikelen die wel heel veel verkopen.



Figuur 5.4: Frequentie verkopen Rituals

Hier ziet de grafiek met alleen de lage frequenties er ongeveer hetzelfde uit als hij het gehele profitcenter. Er zijn enkele pieken te zien, maar ook hier, de frequentie wordt lager naarmate het aantal verkopen hoger wordt.



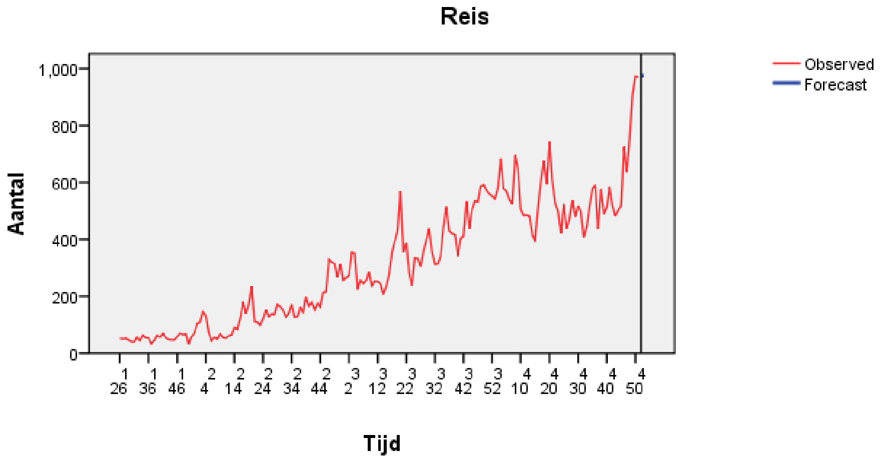
Figuur 5.5: Frequentie verkopen Rituals (lage frequenties)

De rest van de profitcenters vertonen een zelfde patroon als te zien is in figuur 5.1. Bij het ene profitcenter gaat de grafiek steiler naar beneden dan bij het andere, en de frequentie van de verkopen is bij de een hoger dan bij de ander, maar ze vertonen allemaal hetzelfde patroon. Er wordt van weinig artikelen heel veel verkocht en van veel artikelen wordt weinig verkocht.

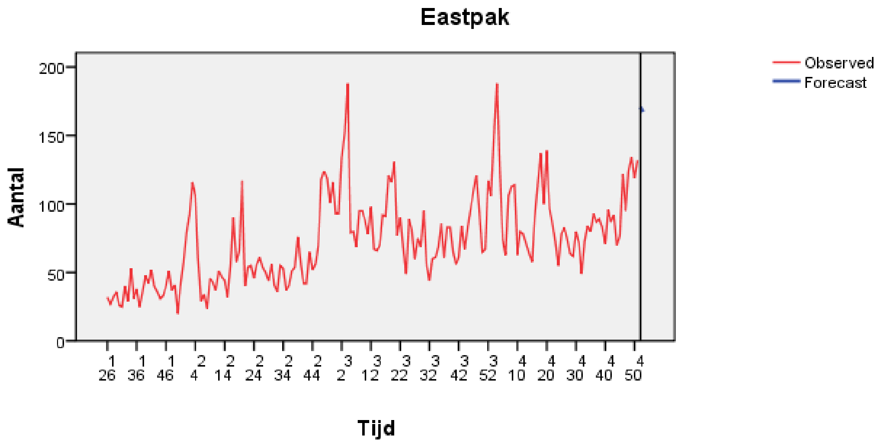
5.1.2 Tijdreeksanalyse

Om naar het patroon van de verkopen binnen verschillende profitcenters te kijken, kan een tijdreeksanalyse worden gedaan. De Bijenkorf gebruikt een index verkregen uit een tijdreeksanalyse om de verwachte vraag mee te corrigeren. Deze tijdreeksanalyse wordt gedaan op het niveau van het profitcenter. Dit wil dus zeggen dat als de index van het gehele profitcenter negatief/positief is, dat de vraag van alle artikelen van alle afdelingen binnen dat profitcenter negatief/positief gecorrigeerd wordt.

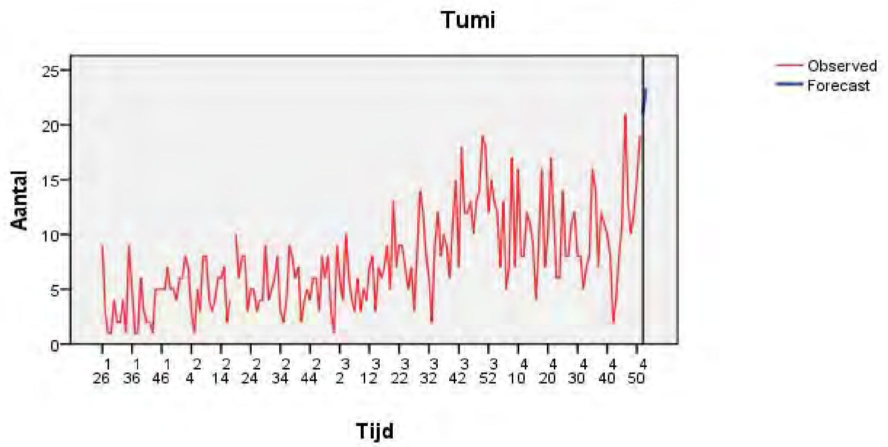
Om te kijken of het patroon van de verkopen van de verschillende afdelingen binnen een profitcenter gelijk is, zijn de volgende grafieken gemaakt:



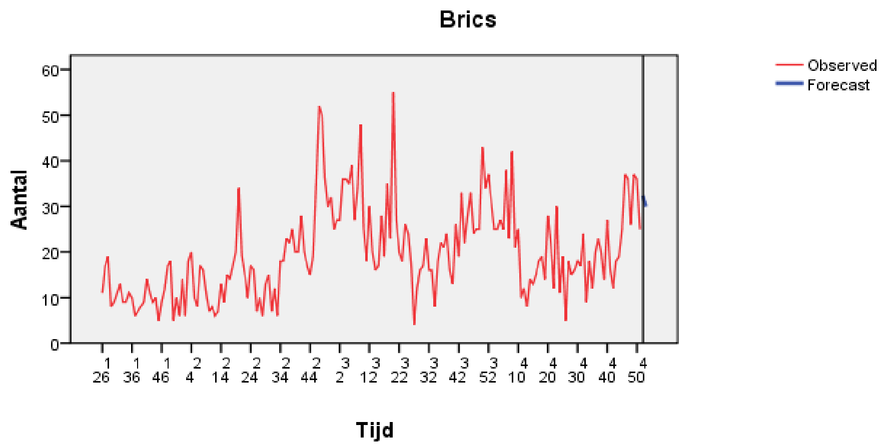
Figuur 5.6: Tijdreeks reis



Figuur 5.7: Tijdreeks Eastpak



Figuur 5.8: Tijdreeks Tumi



Figuur 5.9: Tijdreeks Brics

De grafieken geven de tijdreeksen weer van het profitcenter reis. Op de x-as is de tijd weergegeven en op de y-as het aantal verkopen. De rode lijn geeft de geobserveerde data weer en de voorspeller voor de volgende tijdseenheid wordt in het blauw weergegeven. De voorspeller is in de figuren te zien na de zwarte verticale lijn.

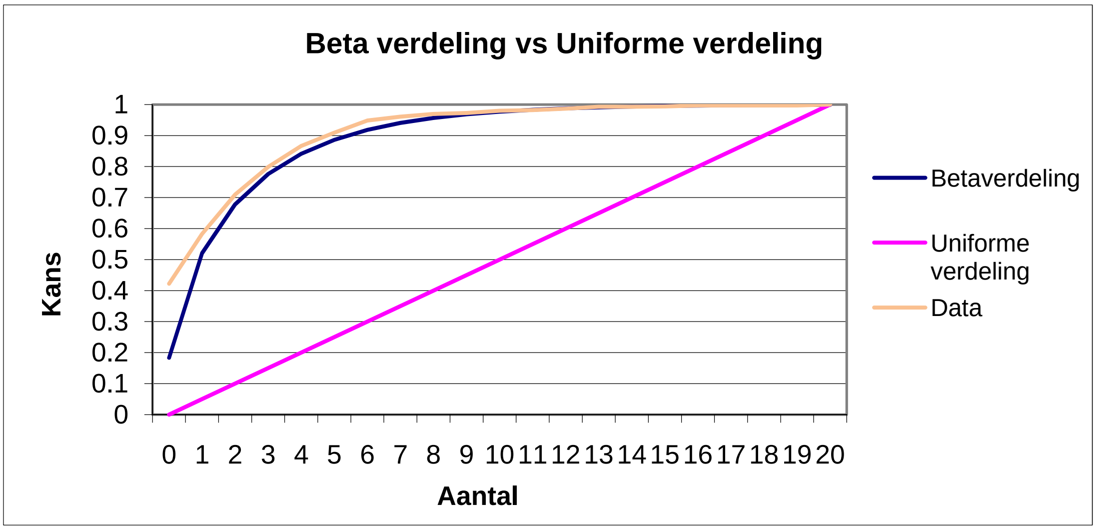
De eerste grafiek geeft de tijdreeks van het gehele profitcenter, de laatste drie zijn de reeksen van drie afdelingen uit het profitcenter reis. De volgende indexen horen bij de grafieken: gehele profitcenter: 1, Eastpak: 0,98, Brics: 0,93 en Tumi: 1,11.

Er zijn soort gelijke grafieken gemaakt voor andere profitcenters. Er is te zien dat de reeksen voor de verschillende afdelingen binnen een profitcenter erg kunnen verschillen. Dit wil dus zeggen dat voor bepaalde artikelen de verwachte vraag ten onrechte naar beneden kan worden gehaald, en voor andere ten onrechte omhoog. Hierdoor kunnen gemiste verkopen voorkomen, of kan er onnodig veel voorraad worden neergelegd. Al is het zo dat voor veel artikelen waar niet zo veel van wordt verkocht de index niet veel doet, omdat hier toch al een kleine verwachte vraag is.

5.2 *De verwachte vraag gedurende de levertijd*

De verdeling van de vraag gedurende de levertijd van Woerden naar een filiaal is een belangrijk onderdeel in het voorraadmodel. Als deze verdeling niet goed gedefinieerd is, komen er geen goede waarden uit het model. De Bijenkorf neemt de uniforme verdeling voor de vraag gedurende de levertijd. De data lijken alleen niet te ondersteunen dat deze aanname juist is.

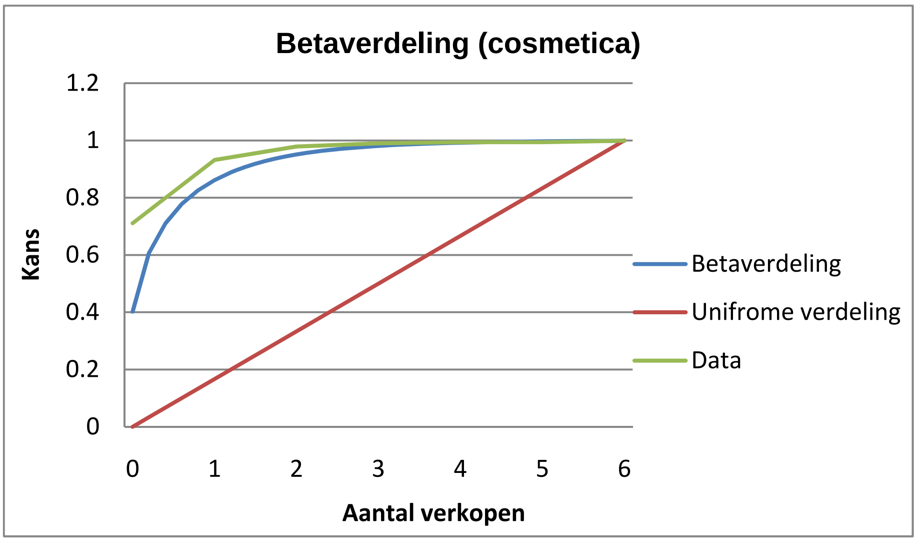
De volgende grafiek laat voor een artikel uit het profitcenter sokken de verdeling van de vraag gedurende de levertijd zien. Met behulp van de software "Crystal Ball" en "Excel" kan de verdeling van data worden bepaald. Crystal ball kijkt voor 13 bekende verdelingen welke het beste de data beschrijft. Voor het onderstaande voorbeeld is de data gefit en een beta-verdeling lijkt de data het beste te beschrijven. De toetsingsgrootheid die gebruikt is om te bepalen welke verdeling het beste de data beschrijft is de Anderson-Darling test. In de onderstaande figuur heeft de oranje lijn de daadwerkelijke data weer, de blauwe lijn de bètaverdeling en de roze lijn de uniforme verdeling.



Figuur 5.10: Verdeling van de vraag (sokken)

Er is te zien dat de lijn van de bètaverdeling dicht bij de lijn van de echte data ligt. De lijn van de uniforme verdeling ligt er ver vandaan. De bètaverdeling heeft de volgende parameters: $\alpha = 0{,}55$, $\beta = 37{,}86$, $\mathrm{a} = -0{,}15$ en $\mathrm{b} = 144{,}73$.

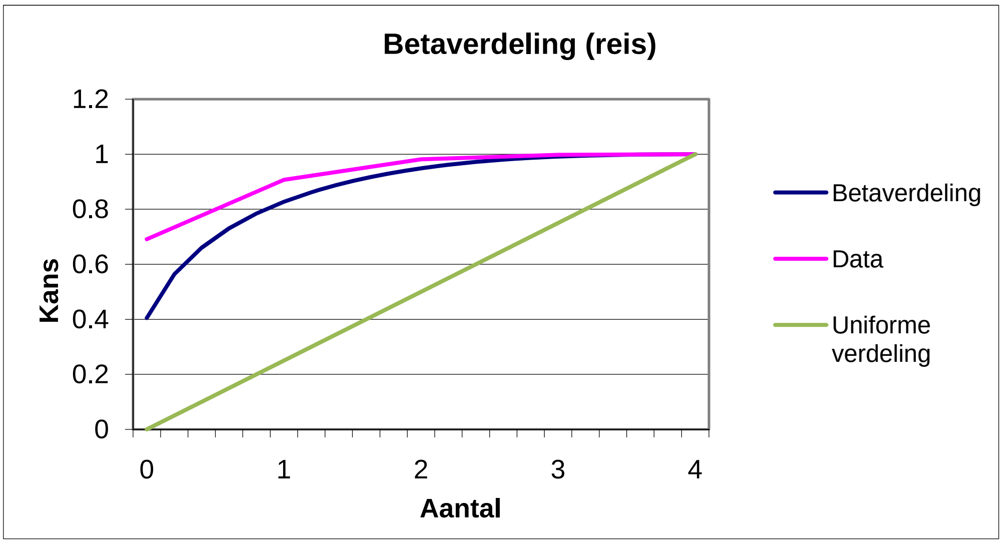
Het bovenstaande voorbeeld is een redelijk goed lopend artikel. De figuur van het onderstaande voorbeeld geeft de data weer van een artikel uit het profit center Cosmetica. Dit is een iets minder goed lopend artikel. Ook bij dit voorbeeld lijkt de verdeling van de vraag gedurende de levertijd het best beschreven te kunnen worden door een bètaverdeling. Er is te zien dat de lijn van de bètaverdeling iets afwijkt van de data, maar de lijn van de uniforme verdeling wijkt helemaal af. Omdat dit artikel minder goed verkoopt, is er minder data beschikbaar en wordt het moeilijker om een fit voor een verdeling te krijgen.



Figuur 5.11: Verdeling van de vraag (cosmetica)

De parameters van de bovenstaande bètaverdeling zijn als volgt: $\alpha = 0{,}36$, $\beta = 91{,}88$, $a = -0{,}08$ en $b = 123{,}11$.

Hieronder nog een voorbeeld van de bètaverdeling.

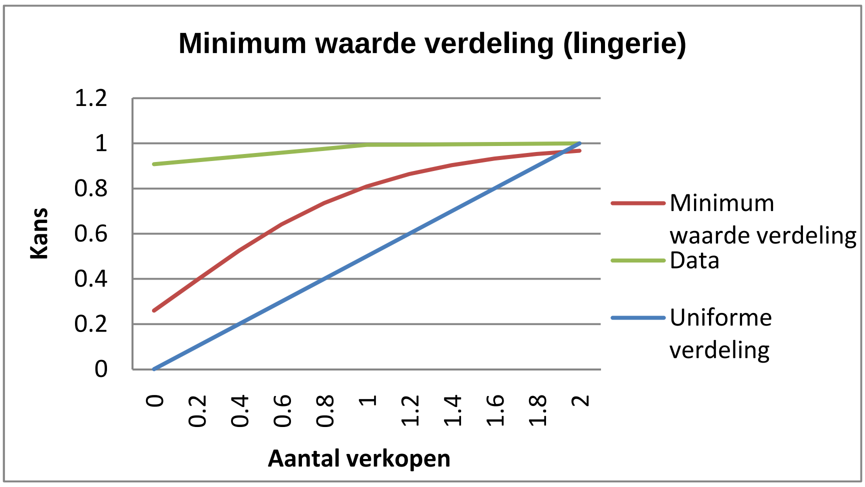


Figuur 5.12: Verdeling van de vraag (reis)

De parameters van de bovenstaande bètaverdeling zijn als volgt: $\alpha = 0{,}38$, $\beta = 2{,}53$, $a = -0{,}13$ en $b = 4{,}1$.

Van dit artikel wordt niet veel verkocht, er is dan ook te zien dat de lijn van de data en de lijn van de verdeling wat afwijken. Desalniettemin geeft de bètaverdeling de beste benadering.

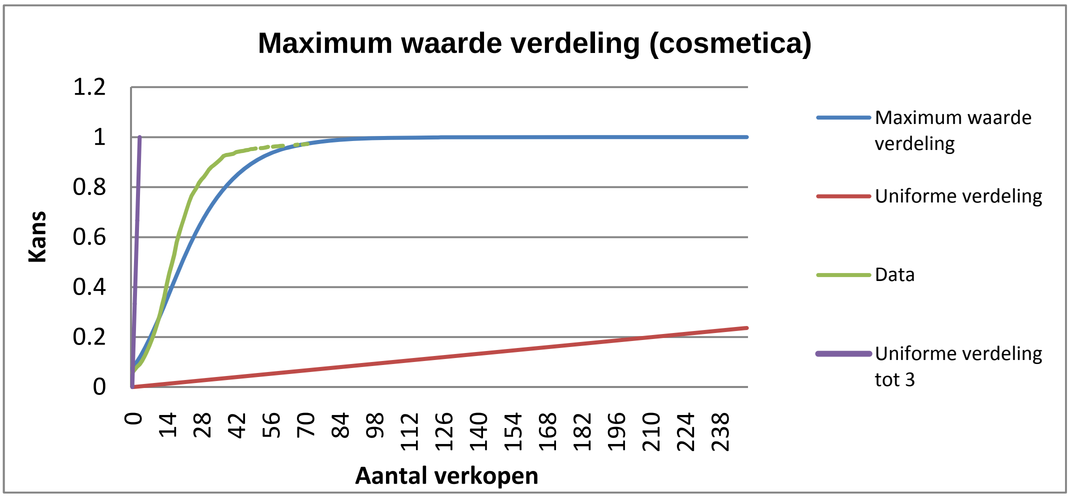
Van de nog slechter verkopende artikelen kan de vraag gedurende de levertijd het best beschreven worden door de minimum extreme verdeling. Van deze artikelen is erg weinig data beschikbaar waardoor een perfecte fit bijna niet mogelijk is. Dit is te zien in de volgende grafiek.



Figuur 5.13: Verdeling van de vraag (lingerie)

De parameters van de bovenstaande minimum waarde verdeling zijn de volgende: $\mu = 0{,}3$ en $\beta = 0{,}54$.

De Bijenkorf heeft ook enkele artikelen die erg goed verkopen, de vraag gedurende de levertijd van deze artikelen kan benaderd worden met de maximum extreme verdeling. Hieronder is een voorbeeld te zien van een artikel uit het profitcenter cosmetica. De groene lijn geeft de data weer, de blauwe lijn de maximum waarde verdeling, de rode lijn de uniforme verdeling en de paarse lijn de uniforme verdeling als er wordt aangenomen dat de maximum waarde van de vraag gelijk is aan 3. Deze paarse lijn is erbij geplot omdat de Bijenkorf in het voorraadmodel, de uniforme verdeling gebruikt voor de vraag gedurende de levertijd met een bovengrens van 3. Dit wordt later in het verslag besproken. Er is veel verschil te zien tussen de beide lijnen van de uniforme verdeling en de daadwerkelijke data. Er is te zien dat de maximum waarde verdeling veel dichter bij de data ligt.



Figuur 5.14: Verdeling van de vraag (cosmetica)

De parameters van de maximum waarde verdeling uit de bovenstaande grafiek zijn $\mu = 14{,}62$ en $\beta = 15{,}36$.

6. Analyse van het model

Omdat de resultaten van de berekeningen van de richtgetallen zoals die uit het huidige model komen bij de Bijenkorf niet altijd naar wens zijn, zijn het model en de input parameters van het model geanalyseerd.

Op de manier dat de verwachte shortage op het moment bij de Bijenkorf uitgerekend wordt, kunnen er waarden van meer dan honderd uit de berekening komen. Dit terwijl de verwachte vraag gedurende de bestelcyclus en de levertijd van de leverancier maar heel klein is. Doordat de verwachte shortage zo hoog uitkomt, worden de richtgetallen ook hoog. Dit is niet gewenst door de planners van de verschillende profitcenters.

Omdat er van zo veel artikelen zo weinig wordt verkocht, willen de planners vaak een minimum en maximum richtgetal die gelijk zijn aan 1. De huidige formule geeft dit niet als resultaat (omdat het maximum richtgetal gelijk is aan het minimum richtgetal plus de bestelgrootte).

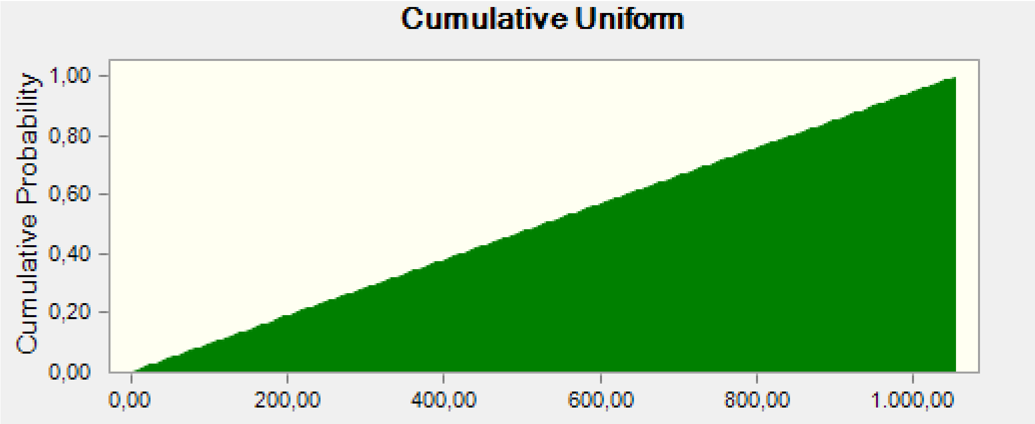
Om de richtgetallen naar wens van de planners te krijgen zijn allemaal aparte regels per profitcenter toegevoegd. Al deze afzonderlijke regels maken de applicatie onoverzichtelijk. Er is dus een model gewenst die voor weinig verkopende artikelen lage richtgetallen geeft, en voor goed verkopende artikelen hoge richtgetallen, zodat de afzonderlijke regels per profitcenter niet meer nodig zijn.

6.1 Reorderpunt

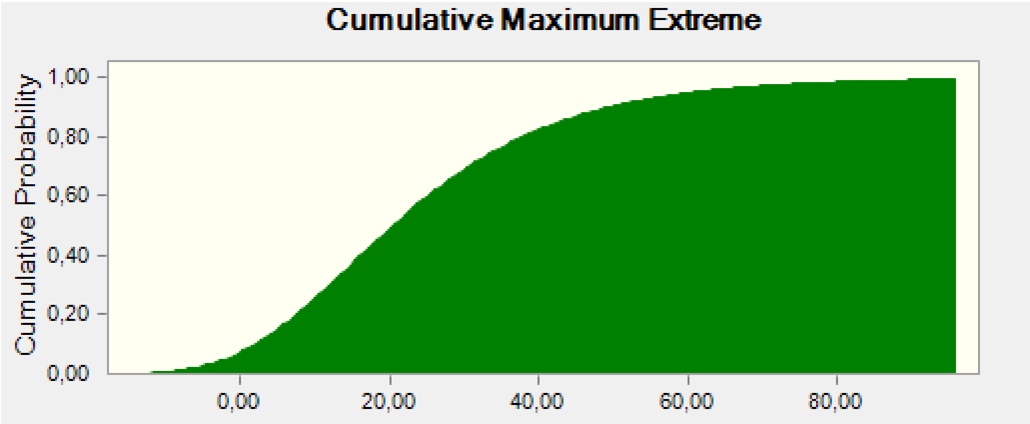
Op de manier waarop de Bijenkorf het reorderpunt uitrekent, is de verwachte shortage nodig. Bij de berekening van de shortage is de verdeling van de vraag tijdens de levertijd van Woerden naar de filialen nodig.

De Bijenkorf heeft de formule voor de shortage anders geïnterpreteerd dan hoe in dit hoofdstuk beschreven staat. Zij willen niet een shortage in stuks, maar een shortage in dagen uit de formule krijgen. Ze zeggen alles in de formule in dagen te doen en niet in stuks. Een shortage in dagen lijkt niet een echte shortage te geven. Het kan misschien aangeven hoeveel dagen een artikel out of stock is, maar niet hoeveel gemiste verkopen er dan zijn geweest. Als een artikel 5 dagen out of stock is, maar het verkoopt maar 1 keer in het jaar, is de kans niet groot dat er een gemiste verkoop is geweest. Als een ander artikel 1 dag out of stock is geweest, maar normaal verkoop je er 10 per dag, heb je een aardig grote shortage. In dit hoofdstuk wordt er dan ook vanuit gegaan dat er een shortage in stuks uit de formules komt, er komen toch ook een reorderpunt en een bestelgrootte in stuks uit de formule.

Met hoe de Bijenkorf op het moment de shortage gebruikt en berekent, komt het er op neer dat de vraag gedurende de levertijd van Woerden naar het filiaal uniform verdeeld is. Dit lijkt alleen niet goed te werken in het model. In SPSS kunnen Kolmogorov-Smirnov tests gedaan worden, welke laten zien dat de verdeling van de vraag waarschijnlijk niet uniform is. Ook is er aan de grafieken van de verdeling van de artikelen te zien dat de vraag niet uniform verdeeld is (dit is ook te zien in het vorige hoofdstuk). De onderstaande grafieken, welke de cumulatieve verdeling laten zien, zijn gemaakt voor hetzelfde artikel met dezelfde data. De eerste grafiek geeft de cummulatieve verdeling van de vraag weer van het artikel als er wordt aangenomen dat deze uniform is, en de tweede geeft de cummulatieve verdeling van de vraag weer als er wordt aangenomen dat deze een maximum extreme verdeling heeft (wat in dit geval een goede benadering van de verdeling van de vraag geeft).



Figuur 6.8: Cumulatieve verdeling, uniform

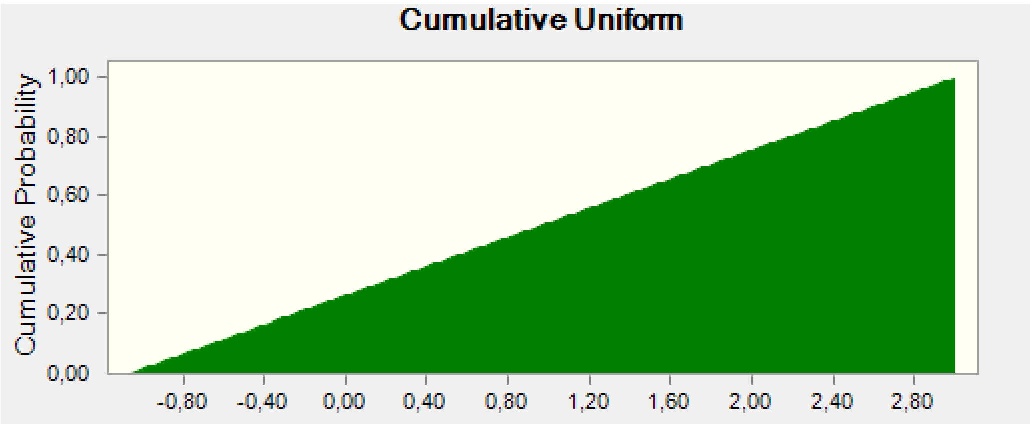


Figuur 6.9: Cumulatieve verdeling, maximum extreme

Er is veel verschil te zien in de vorm van de grafieken. In de volgende paragraaf zal worden beschreven wat voor een betekenis dit verschil heeft op het berekenen van het reorderpunt.

Verder hoort de verwachte shortage berekend te worden door de integraal uit vergelijking 4.3 uit te rekenen. Hier wordt een integraal genomen vanaf het reorderpunt tot oneindig. De vergelijking die de Bijenkorf voor de shortage gebruikt, is tot stand gekomen door de integraal te nemen vanaf het reorderpunt tot de levertijd, welke 3 dagen is. Uit de vergelijking hoort een shortage in stuks te komen. De ondergrens van de integraal is het reorderpunt in stuks, maar de door de Bijenkorf gebruikte bovengrens van de integraal is niet in stuks. Het is natuurlijk wel zo dat de verwachte shortage groter wordt naarmate de lengte van de levertijd groter wordt, maar deze lengte van de levertijd wordt al gebruikt in de verdeling, dus zou het niet meer gebruikt moeten worden in de integraal. Het is ook zo dat de verwachte shortage, uitgerekend met de formule van de Bijenkorf, groter wordt bij grotere waardes voor het reorderpunt. Dit terwijl het kleiner zou moeten worden bij groter worden van het reorderpunt.

De waarde van de bovengrens van de integraal verandert de uitkomst aanzienlijk. De volgende grafiek geeft voor hetzelfde artikel als de bovenstaande twee grafieken de cumulatieve verdeling weer als deze aangenomen wordt uniform te zijn met een bovengrens van 3.



Figuur 6.10: Cumulatieve verdeling, uniform met levertijd als bovengrens

Er is te zien dat de waarden op de x-as aanzienlijk veranderd zijn ten opzichte van figuur 6.8. In de volgende paragraaf wordt laten zien wat dit voor een invloed op de hoogte van het reorderpunt heeft.

Het komt erop neer dat het reorderpunt op een andere manier berekend zal moeten worden. Hieronder staan twee manieren beschreven om dit te doen.

6.2.1 Reorderpunt manier 1

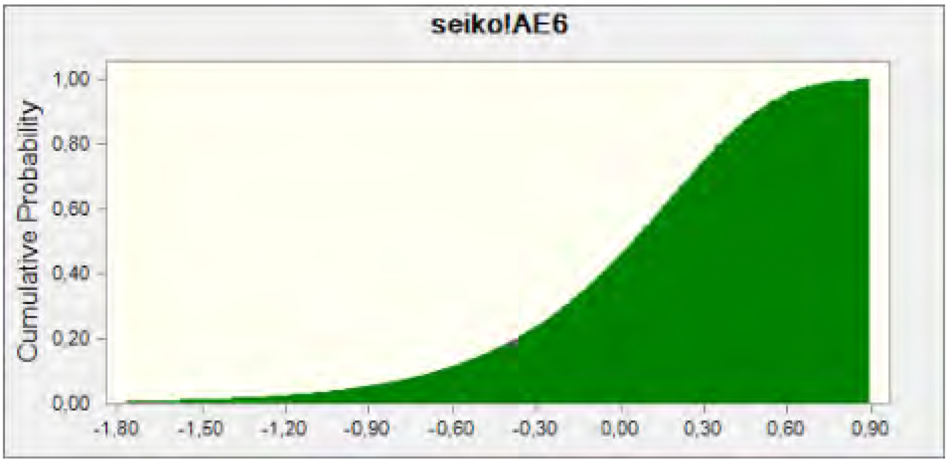
Het reorderpunt kan op een zelfde manier uitgerekend worden als dat de Bijenkorf doet, alleen zonder de verdeling van de vraag gedurende de levertijd van te voren te specificeren. De afgeleide van de kosten formule (vergelijking 4.1) kan worden genomen en op nul worden gesteld. De volgende vergelijking geldt:

$$\frac{d}{dr}\left(\frac{DK}{Q}+h\left(\frac{Q}{2}+r-E(X)\right)+\frac{pD\int_r^\infty (x-r)f_X(x)dx}{Q}\right)=0 \qquad \rightarrow$$

$$r=F^{-1}\left(1-\frac{hQ}{pD}\right), \qquad (6.1)$$

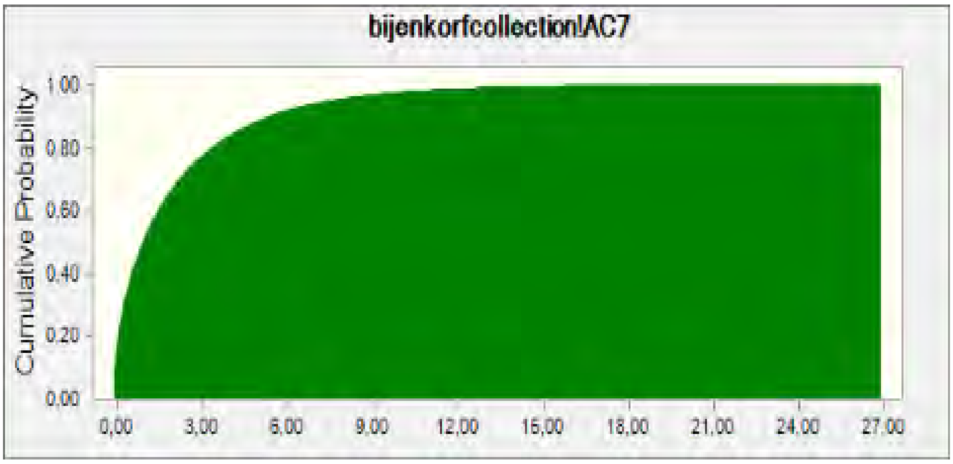
met F de verdelingsfunctie van de vraag gedurende de levertijd. Met behulp van deze verdeling kan dan het reorderpunt verkregen worden. In figuur 6.9 is de cumulatieve verdeling van de vraag gedurende de levertijd te zien van een artikel uit de afdeling Rituals. Als uit de vergelijking $1-\frac{hQ}{pD}$ bijvoorbeeld 0,9 komt, zal het reorderpunt 50 zijn. Dit is een goed lopend artikel en de vraag gedurende de levertijd kan benaderd worden door de Maximum Extreme verdeling.

De onderstaande figuur geeft de cummulatieve verdeling van de vraag gedurende de levertijd van een horloge. Dit is een slecht lopend artikel en heeft de Minimum Extreme verdeling. Bij artikelen zoals deze komt het reorderpunt dan ook niet hoger uit dan 1 of 2.



Figuur 6.11: Cumulatieve verdeling Seiko

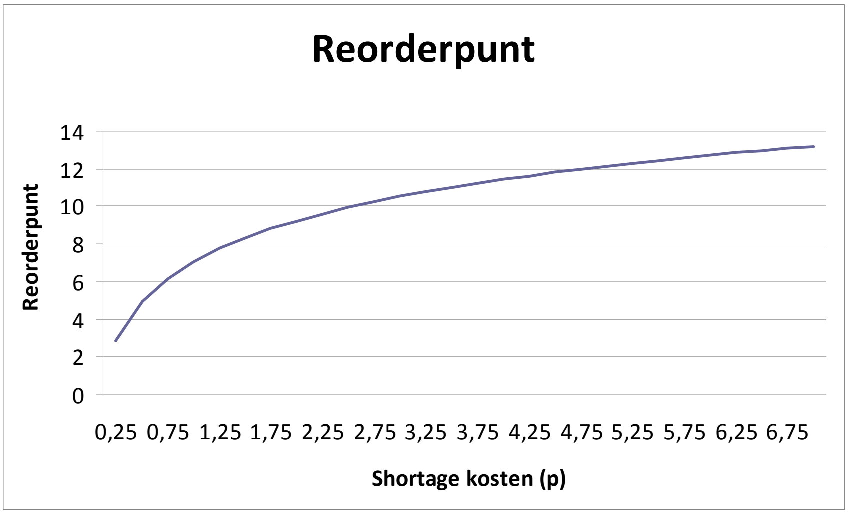
Voor veel goed lopende artikelen ziet de cummulatieve verdeling er als volgt uit.



Figuur 6.12: Cumulatieve verdeling Bijenkorf Collectie Sokken

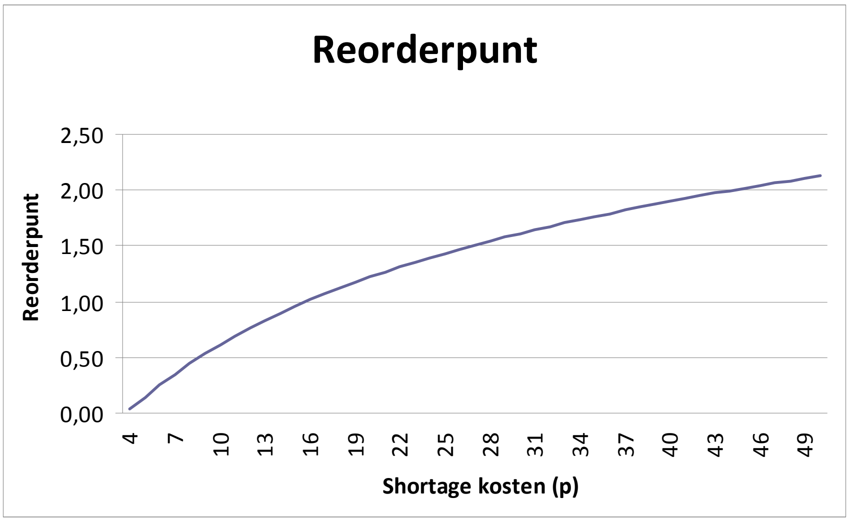
De figuur geeft de cummulatieve verdeling voor een artikel uit het profitcenter sokken. Dit is een goed lopend artikel en de vraag kan benaderd worden door de bètaverdeling.

Door vergelijking 6.1 in te vullen met verschillende waarden voor de shortage kosten p kan de volgende grafiek verkregen worden. Er is te zien hoe de kosten per shortage p invloed hebben op het reorderpunt r.



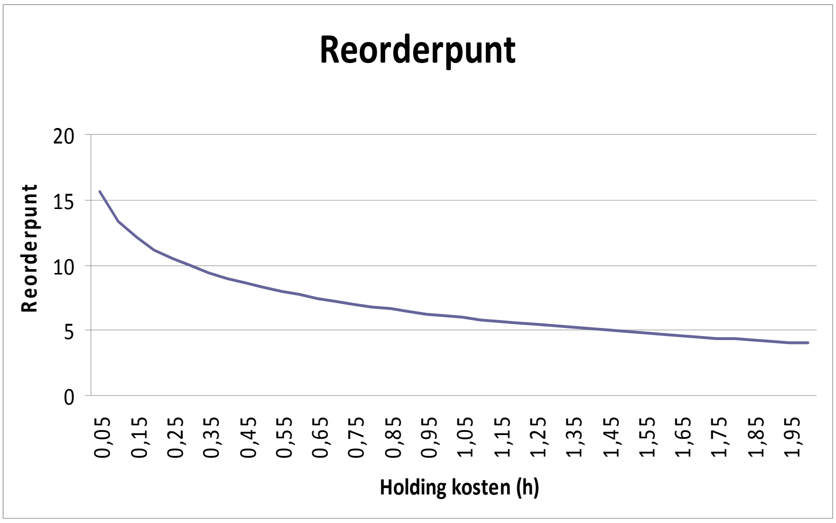
Figuur 6.13: Invloed shortage kosten (*p*) op de grootte van het reorderpunt goed lopend artikel

In dit voorbeeld is goed te zien dat de kosten per shortage grote invloed heeft op de grootte van het reorderpunt. Als de kosten per shortage worden berekend met behulp van vergelijking 5.1, wordt een waarde van 3,25 verkregen in dit voorbeeld. In de grafiek is te zien dat bij deze waarde van p een reorderpunt van 11 hoort. De Bijenkorf vindt vaak de hoogte van de shortage kosten p erg hoog, dus als de waarde van de kosten per shortage daadwerkelijk lager zijn, is het optimale reorderpunt ook lager. De volgende figuur laat dezelfde grafiek zien voor een minder goed lopend artikel. De grafiek laat een zelfde patroon zien als de bovenstaande grafiek.



Figuur 6.14: Invloed shortage kosten (*p*) op de grote van het reorderpunt slecht lopend artikel

De hoogte van de holding kosten hebben een tegenovergesteld effect op de hoogte van het reorderpunt als dat de shortage kosten hebben. Hoe hoger de holding kosten, hoe lager het reorderpunt. Dit is te zien in de volgende grafiek.



Figuur 6.15: Invloed holding kosten (h) op de grote van het reorderpunt

De holding kosten (h) horen vast gesteld te zijn voor de periode die genomen wordt. Dus als een periode van een jaar genomen wordt, moeten de kosten (h) per jaar genomen worden. Dus zou het de gemiddelde kosten per jaar per unit op stock moeten zijn. Er moet dus nog goed gekeken worden naar deze kosten, hoe hoog deze daadwerkelijk zijn.

De vraag gedurende de levertijd van de twee bovenstaande artikelen, welke artikelen zijn uit de profitcenters sokken en cosmetica, kan worden benaderd met een bètaverdeling.

De vraag gedurende de levertijd van de langzaam lopende artikelen kan goed benaderd worden door de minimum extreme verdeling en van de erg goed lopende artikelen door de maximum extreme verdeling. Voor de rest van de artikelen door de bètaverdeling. Voor de verschillende artikelen moeten dan alleen de parameters aangepast worden.

Om te zien hoe groot de invloed van de verdeling is op de hoogte van het reorderpunt kunnen figuren 6.8 en 6.9 gebruikt worden. Als uit vergelijking 6.1 een waarde van 0,9 komt, wordt het reorderpunt gelijk gesteld aan 900 als de verdeling uniform wordt aangenomen terwijl dit bij de maximum extreme verdeling 50 is. Als figuur 6.10 gebruikt wordt om het reorderpunt te bepalen, (wat bij de Bijenkorf gebruikt wordt), wordt tot een waarde van nog geen 3 gekomen voor het reorderpunt. Dit is een erg lage waarde met het gegeven dat de verwachte vraag tijdens de 3 dagen levertijd 30 is.

6.2.2 Reorderpunt manier 2

In de literatuur (12) wordt het reorderpunt vaak uitgerekend door een safety stock op te tellen bij de verwachte vraag gedurende de levertijd. Deze safety stock wordt bepaald met behulp van een service level en de standard deviatie van de verwachte vraag. Het reorderpunt r wordt met de behulp van de volgende vergelijking verkregen:

$$r = E(X) + k\sigma_L \,, \tag{6.2}$$

met $E(X)$ de verwachte vraag gedurende de levertijd, k een service factor en σ_L de standaard deviatie van de errors van de voorspellingen over de levertijd.

In deze formule geeft $k\sigma_L$ de safety stock (SS).

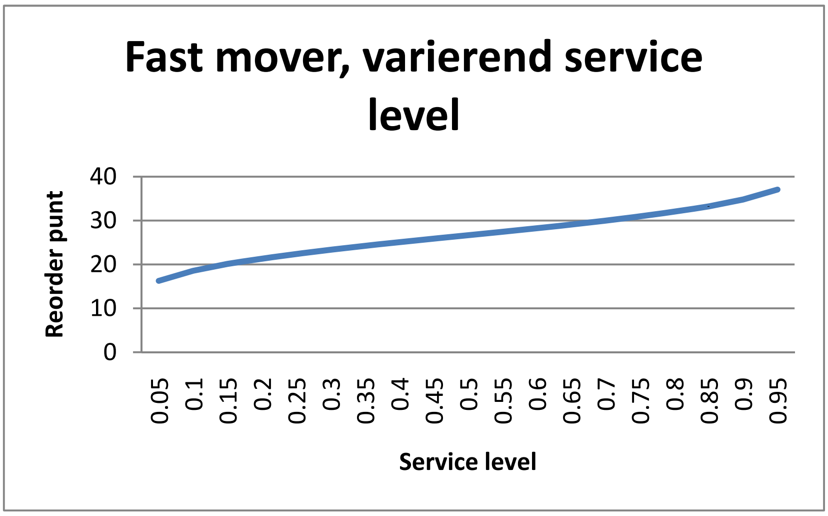
σ_L is gelijk aan de standard deviatie per tijdseenheid keer de wortel van de leadtijd zodat de safety stock gelijk is aan:

$$SS = k\sigma_d \sqrt{L} \,, \tag{6.3}$$

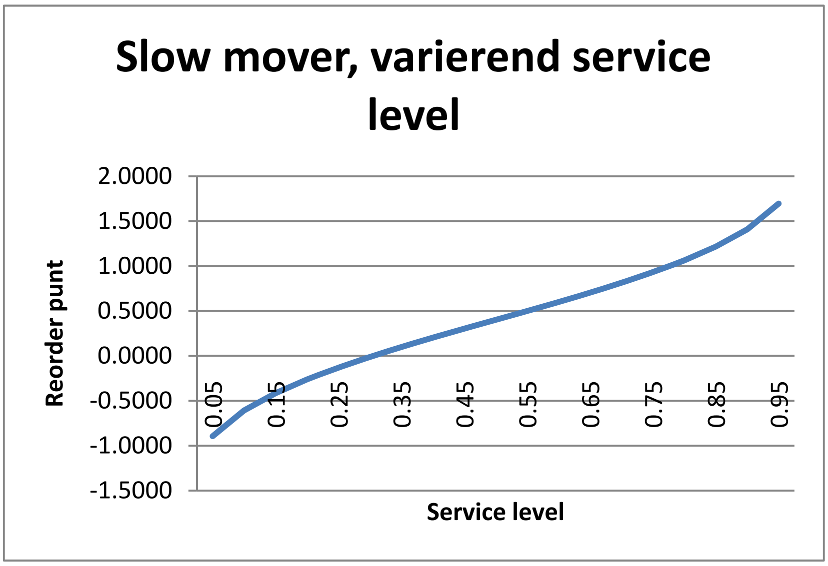
met σ_d de de standaard deviatie van de vraag per tijdseenheid.

Het service level geeft een gewenst service level als percentage. De service factor k is een waarde waarmee het gewenste service level bereikt moet worden. Om van een service level een service factor te krijgen wordt vaak de standaard normale verdeling gebruikt. De factor geeft aan hoeveel standaard deviaties aan safety stock er gewenst is.

In de volgende grafieken zijn voorbeelden te zien van hoe een variërend service level de waarde voor het reorderpunt verandert. Hoe hoger het service level hoe hoger het reorderpunt, en hoe kleiner de kans op nee-verkopen. Het artikel in de eerste grafiek heeft een verwachte vraag in de leadtijd van bijna 27 stuks. Het artikel van de tweede grafiek heeft een verwachte vraag in de leadtijd van nog geen 0,5.

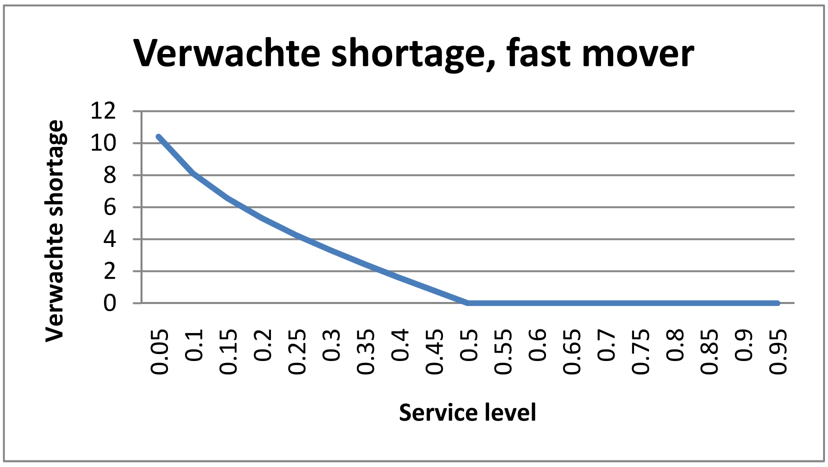


Figuur 6.16: Reorderpunt/Service level fast mover

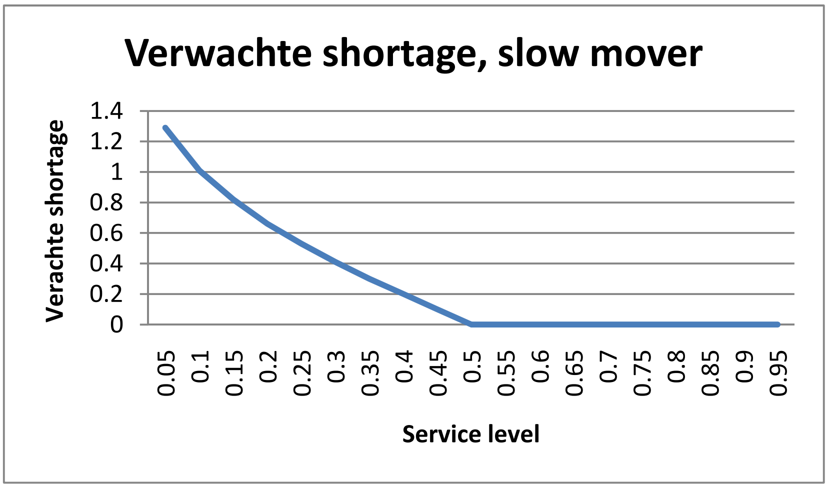


Figuur 6.17: Reorderpunt/Service level slow mover

In de volgende grafieken is te zien hoe de verwachte shortage van de artikelen uit de vorige twee grafieken zich verhoudt tot het service level.



Figuur 6.18: Verwachte shortage fast mover

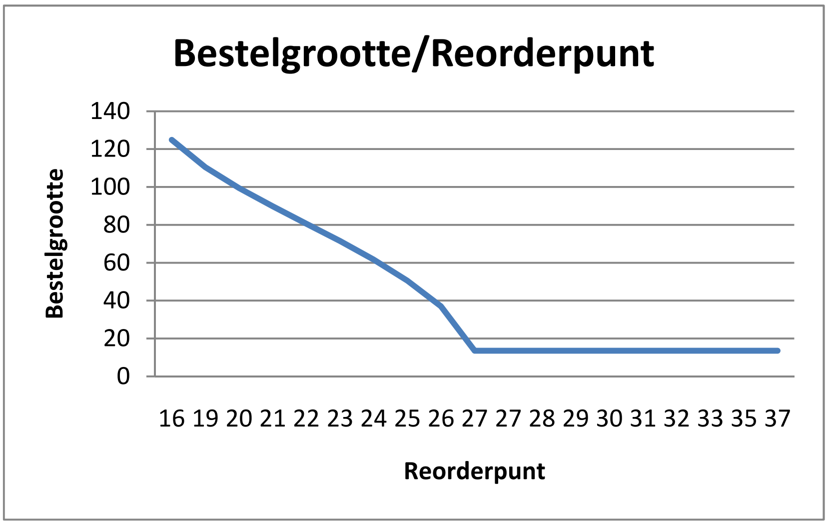


Figuur 6.19: Verwachte shortage slow mover

Er is te zien dat vanaf een bepaald service level de verwachte shortage gelijk wordt aan nul.

6.3 De bestelgrootte

In deze paragraaf worden de berekeningen van de bestelgrootte gedaan met de EOQ-formule (vergelijking 4.7). In deze formule wordt geen rekening gehouden met kosten voor eventuele shortage. In de volgende grafieken is te zien wat er met de bestelgrootte gebeurt als het wel wordt uitgerekend met de shortage (vergelijking 4.8).



Figuur 6.20: Bestelgrootte/Reorderpunt

Er is te zien dat vanaf een bepaalde waarde van het reorderpunt, de bestelgrootte gelijk blijft. Deze bestelgrootte is gelijk aan de bestelgrootte die verkregen wordt uit de EOQ formule. Dit gebeurt omdat de verwachte shortage vanaf een bepaalde waarde van het reorderpunt, zo goed als nul is.

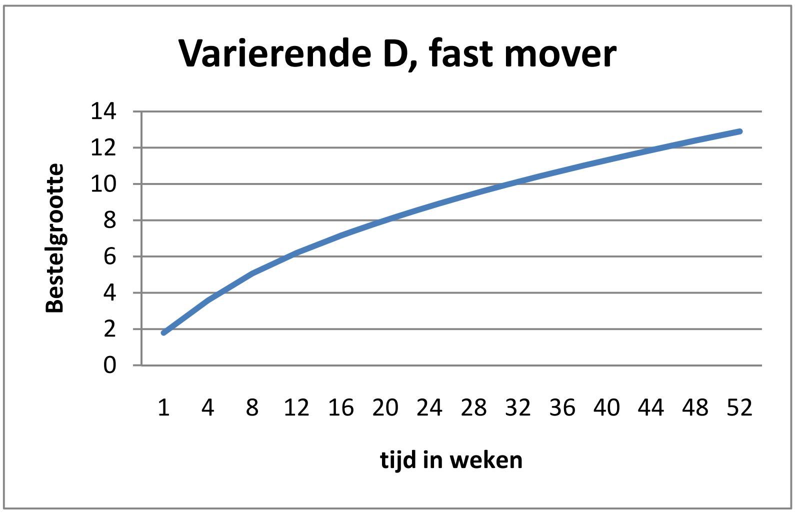
Zoals eerder besproken gebruikt de Bijenkorf twee verschillende manieren voor het berekenen van de kosten (p) per shortage. De bestelgroottes in de bovenstaande grafiek kunnen dus nog veranderen als de waarde van p verandert. Alleen daar waar de verwachte shortage zo goed als nul is, zal deze bestelgrootte niet veranderen, dat is in het voorbeeld van de grafiek dus bij een reorderpunt van 27 stuks.

Op het moment is het zo dat er een verband zit tussen de lengte van de bestelcyclus plus de levertijd van de leverancier en de hoogte van de richtgetallen in de filialen. In de verschillende filialen zijn vaak tekorten. Dit komt vaak omdat Woerden niet genoeg voorraad heeft om de filialen aan te vullen. Een van de oorzaken hiervan is dat de leveranciers vaak te laat of niet genoeg aan Woerden leveren. Om dan de kans op tekorten te minimaliseren, wordt de verwachte vraag, bij de berekening van de richtgetallen in de filialen, genomen over een periode van de bestelcyclus plus de levertijd van de leverancier. Op deze manier wordt de voorraad dus in de filialen gelegd.

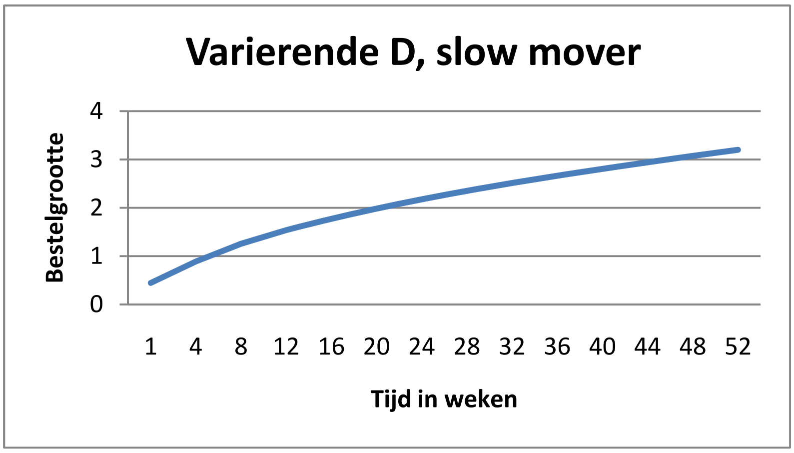
Als de filialen los worden gezien van de leveranciers, dus als Woerden gezien wordt als “de” leverancier van de filialen, kunnen de richtgetallen van de filialen worden berekend voor een andere periode, en hoeft er geen rekening meer gehouden te worden met de lengte van de bestelcyclus van de leverancier. De richtgetallen van Woerden kunnen in dat geval niet meer berekend worden aan de hand van de richtgetallen in de filialen. De richtgetallen van Woerden moeten dan bepaald worden aan de hand van de vraag van de artikelen over alle filialen heen.

De verwachte vraag wordt door de Bijenkorf dus uitgerekend voor een periode van de bestelcyclus plus de levertijd van de leverancier (naar Woerden toe). Het doel van het model is om richtgetallen te vinden voor de filialen, de bestelcyclus voor Woerden heeft daar in principe niks mee te maken. Daarom kan er een andere periode genomen worden waarin de verwachte vraag berekend kan worden. In de literatuur wordt vaak een jaar gebruikt.

In de volgende grafiek is weergegeven hoe de bestelgrootte verandert met de keuze van de tijdseenheid bij het berekenen van de verwachte vraag D. Er zijn grote verschillen in de bestelgrootte bij verschillende keuzes van de tijdseenheid. De eerste grafiek geeft de lijn voor een goed lopend product en de tweede grafiek voor een niet zo een goed lopend product, er is hetzelfde patroon te zien. Er moet dus een tijdseenheid gekozen worden die de gewenste resultaten geeft.



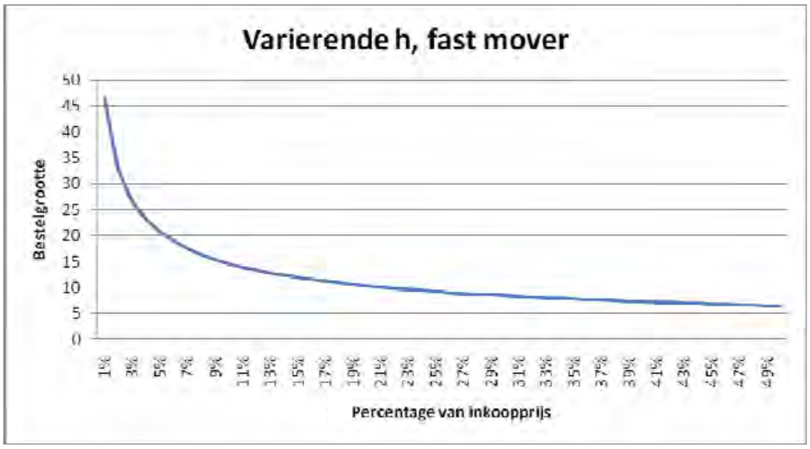
Figuur 6.21: Variërende verwachte vraag, fast mover



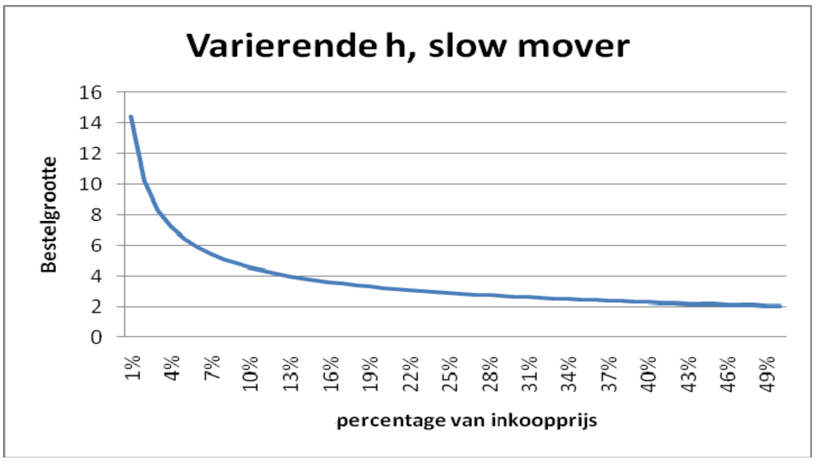
Figuur 6.22: Variërende verwachte vraag, slow mover

De Bijenkorf neemt voor de verwachte vraag een periode van de bestelcyclus van de leverancier plus de levertijd van de leverancier naar Woerden. Dit wil zeggen dat als de bestelcyclus 2 weken is, en de levertijd van de leverancier 1 week is, dat de verwachte vraag voor het artikel in een filiaal berekend wordt voor een periode van 3 weken. Dan kan er bijvoorbeeld een reorderpunt van 2 uit komen, en een bestelgrootte van 3. Als de planner van de afdeling waaruit het artikel komt besluit de bestelcyclus van de leverancier in plaats van 2 weken op vier weken te zetten, worden de richtgetallen van het filiaal aangepast aan deze cyclus. De verwachte vraag zal nu berekend worden over 5 weken in plaats van 3 weken. Er zal nu dan dus een bestelgrootte van bijvoorbeeld 5 uit de berekeningen komen. Dit wil zeggen dat omdat de bestelcyclus van de leverancier omhoog wordt gekrikt, dat de voorraad in het filiaal omhoog wordt gekrikt. Dit terwijl het filiaal eigenlijk helemaal niks te maken heeft met de bestelcyclus van Woerden met de leveranciers. Je zou dus denken dat de richtgetallen in de filialen gelijk moeten blijven, maar dat de voorraad in Woerden omhoog moet gaan.

Ook de waarde van de holding kosten zijn van grote invloed op de grootte van de bestelling. De volgende grafiek geeft weer hoe de bestelgrootte verandert als de waarde van h verandert. h wordt berekend door een percentage van de inkoopprijs te nemen, in de grafiek is een percentage van 1 tot 50 te zien. Er is te zien dat er veel verschil in de bestelgrootte zit bij kleine percentages voor h.

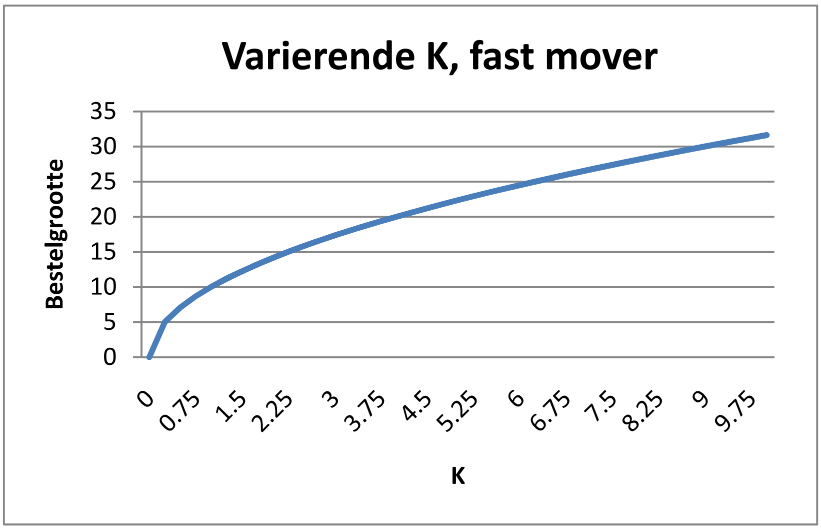


Figuur 6.23: Variërende holding kosten, fast mover

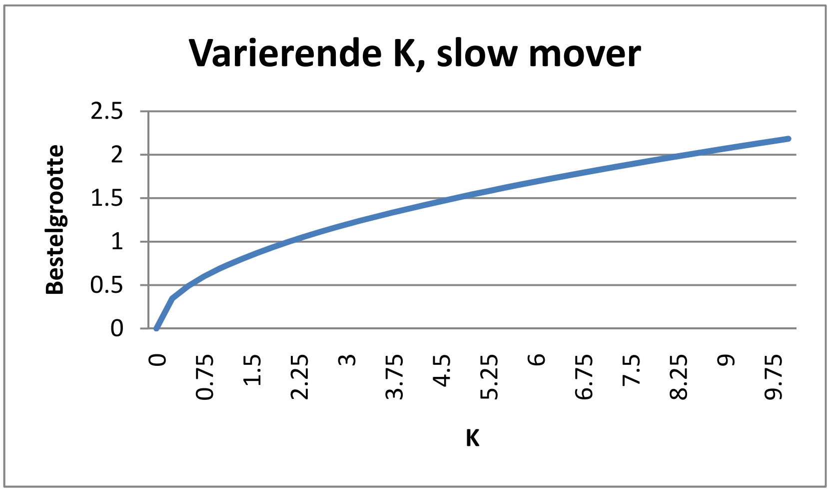


Figuur 6.24: Variërende holding kosten, slow mover

Op dezelfde manier zijn grafieken gemaakt om weer te geven hoe de bestelgrootte verandert met andere waardes voor de setup kosten K. Het is belangrijk om naar de waarde van de setup kosten te kijken, de Bijenkorf gebruikt de kosten per artikel, terwijl het model de kosten per order nodig heeft. Er is te zien dat er erg veel verschil in de bestelgrootte zit bij verandering van de setup kosten.



Figuur 6.25: Variërende setup kosten, fast mover



Figuur 6.26: Variërende setup kosten, slow mover

6.4 Woerden

De richtgetallen in Woerden zullen anders bepaald moeten worden als er een andere periode wordt genomen bij de bepaling van de verwachte vraag. De richtgetallen voor de filialen geven aan wat de voordeligste bestelgrootte is voor de filialen, dit heeft dan niks te maken met hoeveel er in Woerden nodig is. In Woerden is er genoeg nodig om aan de verwachte vraag voor alle filialen te voldoen voor de bestelcyclus van de leverancier.

6.5 Een voorbeeld uitgewerkt

In deze paragraaf zullen de richtgetallen voor een artikel uit het profitcenter lingerie worden uitgerekend. Dit zal gebeuren op de manier dat de Bijenkorf dit doet, en op de twee andere manieren beschreven in dit hoofdstuk.

De volgende waarden worden aangenomen: $K = 1{,}19$, $h = 1{,}86$, $p1 = 0{,}43$, $p2 = 15$, $L = 3$ en $D = 2$ (over 3 weken). De berekeningen worden twee keer gedaan, de eerste keer met $p1$ als de kosten per shortage en de tweede keer met $p2$ als de kosten per shortage. Dit wordt gedaan omdat de Bijenkorf twee manieren gebruikt voor het berekenen van de shortage kosten (vergelijkingen 5.1 en 5.2). De vraag gedurende de levertijd kan benaderd worden met een minimum extreme verdeling met $\mu = 0{,}5$ en $\beta = 0{,}89$.

6.5.1 Manier de Bijenkorf

Eerst wordt de initiële waarde voor de bestelgrootte uitgerekend met behulp van de EOQ-formule (vergelijking 5.7).

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2*2*1{,}19}{1{,}86}} \approx 1{,}6.$$

Vervolgens wordt de initiële waarde voor het reorderpunt berekend (vergelijking 5.6).

$$r_1 = 3\left(1 - \frac{1{,}86*1{,}6}{0{,}43*2}\right) \approx -7{,}38.$$

Met behulp van deze initiële waarde voor het reorderpunt, wordt de verwachte shortage uitgerekend (vergelijking 5.5).

$$\hat{S}(r_1, Q) = \frac{-7{,}38^2}{2*3} - -7{,}38 + \frac{3}{2} \approx 18.$$

Met behulp van deze waarde voor de verwachte shortage, wordt de optimale bestelgrootte uitgerekend (vergelijking 5.8). Hier wordt gebruik gemaakt van $p1$, welke gelijk is aan $p2$ delen door de verkoopprijs.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2*2(1{,}19 + 0{,}43*18)}{1{,}86}} \approx 4{,}38.$$

Vervolgens wordt een correctie variabele aangemaakt voor alle maten van hetzelfde artikel. De grootste waarde van deze correctie waarde over de maten, wordt gebruikt in de berekening van het optimale reorderpunt. De correctie variabele voor het specifieke artikel van de berekening wordt als volgt berekend (vergelijking 5.11).

$$f = \frac{3*1{,}86*4{,}38}{0{,}43*2(3-1)} \approx 14.$$

Dit is niet de maximale waarde over de maten heen, deze is 35, en wordt gebruikt in de volgende berekening van het reorderpunt (vergelijking 5.10):

$$r^* = 3\left(1 - \frac{1{,}86 * 4{,}38}{0{,}43 * 2 * 35}\right) \approx 2{,}18.$$

Als de correctie variabele niet in het model zou zijn gebracht, zou het volgende uit de berekening van het reorderpunt komen:

$$r^* = 3\left(1 - \frac{1{,}86 * 4{,}38}{0{,}43 * 2}\right) \approx -25.$$

Als er in de berekening niet gebruik was gemaakt van $p1$ voor de kosten per shortage, maar van $p2$, zouden de volgende waardes uit de berekeningen komen: $Q_1 \approx 1{,}6$, $r_1 \approx 2{,}7$, $S(r,Q) \approx 0.014$, $Q^* \approx 1.74$ en $r^* \approx 3$. Het reorderpunt r^* is hier uitgerekend met behulp van de correctie variabele f, zonder de correctie variabele zou de waarde van het reorderpunt $r^* \approx 2.7$ zijn.

Er is te zien dat bij de verandering van de kosten per shortage p de waarden van de richtgetallen erg uiteen kunnen lopen. Bij de lage waarde voor de kosten per shortage is de correctie waarde zeker nodig, zonder komen er negatieve waarden uit de formule van het reorderpunt. Bij een hoge waarde van de kosten per shortage, is de correctie waarde niet nodig in de berekening van het reorderpunt.

Er is ook te zien dat er een erg hoge waarde uit de berekening van de verwachte shortage komt bij een kleine p. Bij een verwachte vraag van 2 stuks is het hoogst onwaarschijnlijk dat de shortage zo hoog is. Dit komt door de waarde van het initiële reorderpunt.

6.5.2 Manier 1

Om het reorderpunt uit te rekenen volgens de eerste voorgestelde methode (paragraaf 6.2.1), is de verdeling van de vraag gedurende de levertijd nodig. Deze verdeling kan verkregen worden door een programma als Crystal Ball te gebruiken. De data van de verkopen worden gebruikt door Crystal Ball om de verdeling te vinden. In het geval van het voorbeeld heeft de vraag gedurende de levertijd een minimum extreme verdeling. Door vergelijking 6.1 in te vullen wordt dan het reorderpunt verkregen.

$$r = F^{-1}\left(1 - \frac{1{,}86 * 1{,}6}{15 * 2}\right) \approx F^{-1}(0{,}90) \approx 1{,}25 \approx 1,$$

met Q de bestelgrootte verkregen uit de EOQ formule en met $p2$ de kosten per shortage. Als voor de kosten per shortage $p1$ was gebruikt, zou er een negatieve waarde uit de vergelijking komen.

Dat de kosten per shortage erg laag zijn, wil zeggen dat het bijna niks oplevert om het artikel te verkopen. Het kost meer om het artikel op voorraad te hebben, dan dat het zou opleveren als het verkocht zou worden. De berekening met $p2$ als kosten per shortage is aannemelijker.

Omdat bij een reorderpunt van (afgerond) 1, de verwachte shortage zo goed als 0 is, kan de EOQ formule gebruikt worden om de bestelgrootte uit te rekenen. De bestelgrootte is dan dus gelijk aan

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2*2*1{,}19}{1{,}86}} \approx 1{,}6 \approx 2\,.$$

De verwachte shortage is zo goed als 0 omdat de vraag niet zo hoog is, in 3 weken (waarover D is genomen) worden er maar 2 naar verwachting verkocht. De kans dat er in 3 dagen dan meer dan 1 wordt verkocht is niet groot.

6.5.3 Manier 2

Bij de tweede manier van het uitrekenen van de richtgetallen wordt de bestelgrootte weer uitgerekend met behulp van de EOQ formule. De order grootte is afgerond dus gelijk aan 2.

Het reorderpunt wordt uitgerekend met behulp van de verwachte vraag gedurende de levertijd en een safety stock.

Als de verwachte vraag gedurende de levertijd van 3 dagen gelijk is aan 0,2 en een service level van 0,9 wordt gebruikt, wordt het reorderpunt:

service level	0,9
service factor	1,281552
standard deviatie demand	0,280233
leadtijd factor (wortel van de leadtijd)	1,732051
safety stock (leadtijd factor*sdev demand*service factor)	0,622037
reorderpunt (safety stock+verwachte vraag levertijd)	0,82

Het verkregen reorderpunt is afgerond gelijk aan 1, dit is hetzelfde resultaat als dat verkregen is bij de eerste methode.

Bij beter verkopende artikelen als in dit voorbeeld, kunnen de waarden voor het reorderpunt berekend uit de twee verschillende methodes wel verschillen. Vaak genereert de eerste methode hogere getallen. Dit komt omdat in deze methode rekening gehouden wordt met de kosten per shortage die vaak vele male hoger zijn dan de setup en holding kosten. De eerste methode zal betrouwbaarder zijn dan de tweede, dit is omdat de eerste methode de daadwerkelijke verdeling van de vraag gebruikt, en de tweede alleen verwachtingen.

6.6 Een tweede voorbeeld

Bij hard lopende artikelen zijn de verschillen tussen de resultaten van de verschillende berekeningen duidelijker aanwezig (met name het reorderpunt).

De volgende waarden zijn aangenomen: $K = 0{,}30$, $h = 0{,}47$, $p1 = 0{,}34$, $p2 = 2{,}44$, $L = 3$, $D = 144$ (over 1 maand) en de $E(X) = 14$ (verwachte vraag gedurende de levertijd). De vraag gedurende de levertijd kan benaderd worden met een maximum extreme verdeling met $\mu = 14{,}62$ en $\beta = 15{,}36$.

De volgende resultaten zijn berekend met behulp van $p1$ voor de kosten per shortage.

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2*144*0{,}30}{0{,}47}} \approx 13{,}5 .$$

Vervolgens wordt de initiële waarde voor het reorderpunt berekend (vergelijking 5.6).

$$r_1 = 3\left(1 - \frac{0{,}47*13{,}5}{0{,}34*144}\right) \approx 2{,}6 .$$

Met behulp van deze initiële waarde voor het reorderpunt, wordt de verwachte shortage uitgerekend (vergelijking 5.5).

$$\hat{S}(r_1, Q) = \frac{2{,}6^2}{2*3} - 2{,}6 + \frac{3}{2} \approx 0{,}026 .$$

Met behulp van deze waarde voor de verwachte shortage, wordt de optimale bestelgrootte uitgerekend (vergelijking 5.8). Hier wordt gebruik gemaakt van $p1$, welke gelijk is aan $p2$ delen door de verkoopprijs.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2*144(0{,}30 + 0{,}34*0{,}026)}{0{,}47}} \approx 13{,}77 .$$

De optimale waarde voor het reorderpunt, als er geen gebruik wordt gemaakt van de correctie variabele, is dan:

$$r^* = 3\left(1 - \frac{0{,}47*13{,}77}{0{,}34*144}\right) \approx 2{,}6 .$$

Als de volgende waarde voor de correctie variabele wordt toegevoegd aan de berekening voor het reorderpunt:

$$f = \frac{3*0{,}47*13{,}77}{0{,}34*144*2} \approx 0{,}2,$$

wordt de volgende waarde voor het reorderpunt verkregen:

$$r^* = 3\left(1 - \frac{0{,}47*13{,}77}{0{,}34*144*0{,}2}\right) \approx 1{,}02.$$

Als er gebruik wordt gemaakt van $p2$ voor de kosten per shortage, worden de waarden van de richtgetallen niet veel anders. Dit komt omdat de verwachte shortage erg laag is.

Als de bestelgrootte van 14, en het reordepunt van 3 worden genomen om de de totale kosten uit te rekenen, wordt het volgende verkregen:

$$C(r,Q) = \frac{144*0{,}30}{14} + 0{,}47(7+3-14) + \frac{0{,}34*144*0{,}026}{14} \approx 1{,}3.$$

Omdat de shortage bij de twee andere manieren van het berekenen van het reorderpunt zo goed als nul is, wordt de EOQ formule weer gebruikt om de bestelgrootte uit te rekenen, deze is dus ongeveer 14.

Het reorderpunt zoals deze op de eerste voorgestelde manier berekend kan worden (met $p1$ de kosten per shortage) , is als volgt:

$$r = F^{-1}\left(1 - \frac{0{,}47*13{,}5}{0{,}34*144}\right) \approx F^{-1}(0{,}87) \approx 44\,.$$

Met $p2$ als de kosten per shortage komt hier een nog hogere waarde uit voor het reorderpunt.

Als met deze waarde van het reorderpunt de totale kosten worden berekend, wordt het volgende verkregen:

$$C(r,Q) = \frac{144*0{,}30}{14} + 0{,}47(7+44-14) + \frac{0{,}34*144*0}{14} \approx 20.$$

De totale kosten zijn hier een stuk hoger dan wanneer de manier van de Bijenkorf gebruikt wordt. Dit komt omdat uit de formules van de Bijenkorf een erg lage verwachte shortage komt. Deze waarde voor de verwachte shoratge lijkt alleen niet aannemelijk.

De volgende waarde voor het reorderpunt is verkregen door de tweede manier te gebruiken, er is gebruik gemaakt van een service level van 0,9.

Verwachte vraag levertijd	14
standard deviatie	3,65059445
wortel levertijd	1,73205081
service factor	1,28155157
safety factor	8,10326985
reorder punt	22,1033

Hier is een groot verschil te zien tussen de hoogte van het reorderpunt bij de verschillende manieren. Met de manier waarop de Bijenkorf het reorderpunt uitrekent, wordt een erg lage waarde verkregen. Dit lijkt veel te laag te zijn, kijkend naar de verwachte vraag. De verwachte shortage is bij een reorderpunt van nog geen 3 nooit zo laag als dat er uit de berekening van de Bijenkorf komt. Het is dus beter om een van de andere manieren te gebruiken voor de berekening van het reorderpunt.

Bij de Bijenkorf worden artikelen pas besteld bij het distributiecentrum als de voorraad van een artikel *onder* het minimum richtgetal of wel het reorderpunt komt. Dit wil zeggen dat als het minimum richtgetal bijvoorbeeld gelijk is aan 1, dat er pas wordt besteld bij Woerden als de voorraad op 0 komt. Als het maximum richtgetal (minimum richtgetal plus bestelgrootte) dan bijvoorbeeld 2 is, worden er 2 artikelen besteld. In dit geval is er dus geen voorraad voor de lengte van de levertijd (3 dagen). In de voorgestelde methodes om het reorderpunt uit te rekenen wordt er vanuit gegaan dat er besteld wordt zodra de voorraad op het niveau van het minimum richtgetal komt. Als dit richtgetal 1 is, en de bestelgrootte is ook 1, wordt er dus van uitgegaan dat er 1 stuk wordt besteld zodra de voorraad op 1 staat. Op deze manier is de kans op shortage kleiner dan wanneer er pas besteld wordt als de voorraad onder het niveau van het reorderpunt zakt.

7. Derving en rapportage

Naast de analyse van het voorraadmodel is er ook een derving rapport gemaakt en is er een systeembeschrijving gemaakt.

7.1 Derving

Een van de doelen van de stage was een rapport te maken die de artikelen weergeeft waarbij mogelijk sprake is van derving.

Er is in SPSS een rapport gemaakt die de artikelen weergeeft die gemiddeld per week, over de laatste 10 weken, meer verkopen dan een vooraf bepaalde waarde. Deze waarde kan aangepast worden als de nauwkeurigheid van het rapport groter of kleiner moet zijn. Als basis is een vooraf bepaalde waarde van 4 genomen, als er voor een bepaald artikel, in een bepaald filiaal, gemiddeld per week meer dan 4 stuks zijn verkocht en de laatste week zijn er geen verkopen geweest, terwijl er volgens het systeem wel nog voorraad was, wordt het artikel weergegeven.

In het rapport komen artikelen naar voren waarvan elke week rond de 10 stuks verkocht zijn, en de laatste week geen enkele. Bij deze artikelen zou het filiaal gebeld kunnen worden om te controleren of er wel echt voorraad ligt.

In het rapport komen ook artikelen naar voren die erg onregelmatig verkocht worden, artikelen die de ene week 50 stuks verkopen en de andere week geen enkele. Maar aangezien het rapport niet al te lang is, rond de 100 regels, kan er snel gezien worden voor welke artikelen het waard is het filiaal te bellen.

In het rapport komen veel artikelen voor uit het profitcenter koken en tafelen. In dit profitcenter zit veel servies en glas, dat er bij deze artikelen derving voorkomt is aannemelijk. Het zal bijvoorbeeld vaak voorkomen dat er iets kapot valt.

7.2 Rapportage

Een belangrijk onderdeel van de stage was het maken van een gebruikershandleiding/systeembeschrijving. De auto-replenishment applicatie bestaat uit verschillende delen SPSS code. In de systeembeschrijving staat stap voor stap beschreven welke delen van de code wanneer gedraaid moeten worden en wat er in deze verschillende stappen gebeurt. Zo staat er onder andere beschreven hoe de verwachte vraag wordt bepaald met behulp van de regressie analyse en de tijdreeksanalyse.

Per profitcenter zijn er verschillende regels aan de code toegevoegd om de richtgetallen aan te passen aan de wensen van de planners. Deze uitzonderingen per profitcenter zijn ook beschreven in de systeembeschrijving.

8. Conclusie

Het voorraadbeheer bij de Bijenkorf is geanalyseerd tijdens een half jaar durende stage. Het beheren van de voorraad gaat bij de Bijenkorf met behulp van een auto-replenishment applicatie. Aan de basis van de applicatie ligt een voorraadmodel die de totale kosten van een bestelstrategie weergeeft. Met behulp van dit model worden de richtgetallen bepaald. De richtgetallen geven aan wanneer en hoeveel een filiaal van een bepaald artikel bij het distributie centrum moet bestellen.

Omdat er niks op papier stond over de werking van de auto-replenishment applicatie, was het erg moeilijk erachter komen hoe de applicatie werkt. De applicatie is geschreven in SPSS en bestaat uit vele losse bestanden met code. Om erachter te komen wat in welke bestanden staat, en op welke volgorde de bestanden horen, was een hoop tijd nodig. Tijdens de stage is de werking van de applicatie op papier gezet.

Nog niet alle afdelingen met artikelen die vast in het assortiment zitten, zitten in de applicatie. Week bij week komen er afdelingen bij die geïmplementeerd moeten worden. Er wordt dan ook vaak met de planners vergaderd over welke afdelingen er nieuw in de applicatie komen. Verder wordt er vaak vergaderd met de planners omdat ze niet tevreden zijn over de hoogte van de richtgetallen en/of de hoogte van de voorraad. Er worden dan naar wens van de planners veel aanpassingen per afdeling aan de applicatie gemaakt. De planners willen niet dat er te veel voorraad in de winkels en op Woerden komt te ligt. Het op voorraad hebben van artikelen kost geld en ruimte. Tegelijkertijd is het ook niet gewenst dat er te weinig op voorraad ligt, het gewenste winkelbeeld heeft geen lege schappen.

Een lastig deel bij het optimaliseren van de voorraad, is dat erg veel artikelen niet vaak verkocht worden. Het assortiment is erg groot, en er zijn maar enkele artikelen (varianten) die regelmatig verkopen.

Het voorraadmodel zoals de Bijenkorf deze gebruikt genereert vaak onaannemelijke waarden. Dat is waarom er aanpassingen aan het model nodig zijn.

Er zijn twee manieren voorgesteld voor het berekenen van het reorderpunt. Beide manieren geven aannemelijke waarden voor het reorderpunt. Bij de eerste manier wordt de kosten formule van het voorraadmodel gedifferentieerd en op nul gezet. Het reorderpunt kan vervolgens verkregen worden met behulp van de verdeling van de vraag gedurende de levertijd van het distributiecentrum naar het filiaal. Bij de tweede voorgestelde methode van het berekenen van het reorderpunt wordt een safety stock opgeteld bij de verwachte vraag gedurende de levertijd van de leverancier.

De eerste voorgestelde methode zal betrouwbaardere uitkomsten voor het reorderpunt geven dan de tweede voorgestelde manier omdat hier de verdelingen van de vraag wordt gebruikt en niet alleen de verwachting. Om dezelfde reden is de tweede manier van het uitrekenen van het reorderpunt makkelijker uit te voeren.

Bij de eerste manier van het uitrekenen van het reorderpunt worden de kosten per shortage gebruikt. Het is dan ook belangrijk dat deze kosten goed gedefinieerd worden bij het gebruik van deze methode.

Omdat de verwachte shortage, met een reorderpunt berekend uit één van de twee voorgestelde methodes, vaak zo goed als nul is, kan voor de berekening van de bestelgrootte de EOQ formule gebruikt worden.

Het minimum richtgetal bij de Bijenkorf is gelijk aan het reorderpunt en er worden artikelen besteld zodra de voorraad onder dit minimum richtgetal komt. Om de bestelhoeveelheid te bepalen gebruikt de Bijenkorf het maximum richtgetal, dit is de bestelgrootte plus het minimum richtgetal. Dit wil zeggen dat als het minimum richtgetal gelijk is aan 2 en het maximum richtgetal gelijk is aan 3, dat er 2 eenheden besteld worden zodra de voorraad op 1 komt. In dit geval is het minimum richtgetal gelijk aan 2 en het maximum richtgetal gelijk aan 3, dat wil zeggen dat er uit het voorraadmodel een bestelgrootte van 1 gekomen is met een reorderpunt van 2. Het is alleen zo dat in de berekening van het reorderpunt er vanuit wordt gegaan dat er besteld wordt zodra de voorraad op niveau van het reorderpunt komt, dus niet pas als de voorraad eronder is gezakt. Dit verschil in interpretatie van het reorderpunt kan een verschil geven in de daadwerkelijke shortage. Er moet nog goed gekeken worden naar hoe de richtgetallen gebruikt worden.

Bij de stage is een hele hoop meer komen kijken dan alleen het voorraadmodel analyseren en documenteren. Zo zitten er een hoop vergaderuren in en is er een hoop tijd besteed aan maken van rapporten. Naast het derving rapport zijn met behulp van VBA en SPSS onder andere rapporten gemaakt om het verloop van de verkopen en voorraad bij te houden.

Ook zijn er veel uren besteed aan het optimaliseren en veranderen van de applicatie. Het idee was om vooral naar de verwachte shortage te kijken en deze goed vast te leggen. Dit omdat er op het moment erg onaannemelijke waardes uit de berekening van de shortage komen. Er is een verdeling van de lengte van de bestelcyclus van de filialen bij het distributiecentrum bepaald, om met behulp van deze verdeling de shortage te bepalen. De lengte van de bestelcyclus zegt wel wat over de frequentie van de verkopen, maar met alleen de verdeling van de lengte van de bestelcyclus kan niet veel gedaan worden. Dit was dus niet de juiste weg om in te slaan.

Er is ook geprobeerd met behulp van een Cox regressie de shortage te bepalen. Dit omdat deze analyses rekening houden met rechts gecensureerde data. Dit kan helpen in het vastleggen van de shortage omdat het geregistreerde aantal verkopen lager kan liggen dan het aantal verkopen die er hadden kunnen zijn als er meer voorraad in de filialen had gelegen. Dit is dus als er voor artikelen geen voorraad meer was, maar er wel verkopen hadden kunnen zijn geweest als er wel voorraad lag. De Cox regressie gaf een goed inzicht in hoe snel de voorraad verkocht wordt, maar niet in de shortage.

De stage heeft veel inzicht gegeven over de gang van zaken in het bedrijf. Er is veel geleerd over de bedrijfsprocessen en de samenwerking met verschillende mensen met verschillende achtergronden.

Het was erg lastig om er achter te komen hoe de auto-replenishment applicatie werkt. Aan het begin van de stage was het niet duidelijk waar de verschillende SPSS bestanden, waaruit de applicatie bestaat, zich bevonden. De applicatie bestaat uit erg veel losse bestanden met genummerde bestandsnamen. Het was erg lastig om erachter te komen welke bestanden relevant waren voor de applicatie en welke niet. Ook was het moeilijk erachter te komen op wat voor een volgorde de bestanden horen, en wat er in welke bestanden gebeurt. Er was bijna geen documentatie van de applicatie en de documentatie die er was, beschreef niet hoe de applicatie werkt. Omdat er bij de Bijenkorf maar 1 persoon is die weet hoe de applicatie werkt, konden er alleen aan deze persoon vragen gesteld worden.

9. Aanbevelingen

De conclusie van de stage is dat het gebruikte model bij de Bijenkorf prima is. Het is de interpretatie van de parameters waar nog wat tijd aan besteed mag worden.

De verdeling van de vraag van Woerden naar de filialen moet goed vastgelegd worden. Deze verdeling heeft een grote invloed op de hoogte van de richtgetallen. De artikelen kunnen in verschillende categorieën gedeeld worden, aan de hand van de aantallen verkopen van de artikelen. Aan de artikelen uit deze verschillende categorieën kunnen dan verdelingen bepaald worden. Zo kunnen de slow movers, de fast movers en de artikelen die er tussen in liggen verschillende verdelingen hebben. Aan de hand van de data kunnen dan de parameters van de verdelingen geschat worden. Ook is het mogelijk om voor alle artikelen de empirische verdeling te nemen.

De setup, holding en shortage kosten zullen ook goed gedefinieerd moeten worden. Pas als deze kosten juist zijn zal het model goed werken. De holding kosten moeten genomen worden voor de periode die genomen wordt, in het geval van de Bijenkorf voor een periode van de bestelcyclus plus de levertijd van de leverancier. De setup kosten moeten de kosten per order zijn, en niet per artikel. Verder moet er goed gekeken worden wat een verloren verkoop kost.

Zoals de structuur van het bestellen bij de Bijenkorf nu is, zit er een verband tussen de leverancier en de filialen. De verwachte vraag die gebruikt wordt bij het bepalen van de richtgetallen in de filialen is gebaseerd op de bestelcyclus en levertijd van de leverancier. Als Woerden gezien zou worden als "leverancier" voor de filialen kan dit verband tussen de echte leveranciers en de filialen verdwijnen. Bij de berekening van de richtgetallen in de filialen wordt er dan vanuit gegaan dat er genoeg voorraad op Woerden is om altijd te kunnen leveren. Vervolgens moet er dan bepaald worden hoeveel voorraad Woerden nodig heeft. Woerden zal genoeg moeten hebben om alle filialen te kunnen voorzien voor een periode van de bestelcyclus plus de levertijd van de leverancier. Op deze manier zullen de voorraden in de filialen stabieler zijn. De richtgetallen zullen dus niet reageren op veranderingen in de lengte van de bestelcyclus en veranderingen in de lengte van de levertijd van de leverancier.

Bijlage

Reorderpunt:

$$\frac{DK}{Q}+h\left(\frac{Q}{2}+r-E(X)\right)+\frac{pD\hat{S}(r,Q)}{Q}\Longrightarrow\frac{DK}{Q}+h\left(\frac{Q}{2}+r-E(X)\right)+\frac{pD}{Q}\cdot\frac{r^2}{2L}-\frac{pD}{Q}\cdot r+\frac{pD}{Q}\cdot\frac{L}{2}$$

$$\frac{d}{dr}\left(\frac{DK}{Q}+h\left(\frac{Q}{2}+r-E(X)\right)+\frac{pD}{Q}\cdot\frac{r^2}{2L}-\frac{pD}{Q}\cdot r+\frac{pD}{Q}\cdot\frac{L}{2}\right)=h+\frac{pD}{Q}\cdot\frac{r}{L}-\frac{pD}{Q}\rightarrow$$

$$h+\frac{pD}{Q}\cdot\frac{r}{L}-\frac{pD}{Q}=0\rightarrow hL+\frac{pD}{Q}\cdot r-\frac{pD}{Q}L=0\rightarrow\frac{pD}{Q}\cdot r-\frac{pD}{Q}L=-hL\rightarrow pDr-pDL=-hLQ\rightarrow$$

$$r-L=\frac{-hLQ}{pD}\rightarrow r=\frac{-hLQ}{pD}+L=L\left(1-\frac{hQ}{pD}\right)$$

Bestelgrootte met shortage:

$$\frac{d}{dQ}\left(\frac{DK}{Q}+h\left(\frac{Q}{2}+r-E(X)\right)+\frac{pD\hat{S}(r,Q)}{Q}\right)=-\frac{DK}{Q^2}+\frac{h}{2}-\frac{PDS(r,Q)}{Q^2}\rightarrow$$

$$-\frac{DK}{Q^2}+\frac{h}{2}-\frac{PDS(r,Q)}{Q^2}=0\rightarrow-\frac{2DK}{Q^2}+h-\frac{2pDS(r,Q)}{Q^2}=0\rightarrow 2DK+2pDS(r,Q)=hQ^2\rightarrow$$

$$\frac{2D(K+pS(r,Q)}{h}=Q^2\rightarrow Q=\sqrt{\frac{2D(K+pS(r,Q))}{h}}$$

Bestelgrootte EOQ:

$$\frac{d}{dQ}\left(\frac{DK}{Q}+\frac{hQ}{2}\right)=-\frac{DK}{Q^2}+\frac{h}{2}\rightarrow$$

$$-\frac{DK}{Q^2}+\frac{h}{2}=0\rightarrow-\frac{2DK}{Q^2}+h=0\rightarrow 2DK=hQ^2\rightarrow$$

$$\frac{2DK}{h}=Q^2\rightarrow Q=\sqrt{\frac{2DK}{h}}$$

Reorderpunt verdeling onbekend:

$$\frac{d}{dr}\left(\frac{DK}{Q}+h\left(\frac{Q}{2}+r-E(X)\right)+\frac{pD\int_r^\infty (x-r)f_X(x)dx}{Q}\right)\rightarrow$$

$$\frac{d}{dr}\left(hr+\frac{pD}{Q}\int_r^\infty (x-r)f_X(x)dx\right)\rightarrow\frac{d}{dr}\left(hr+\frac{pD}{Q}\int_r^\infty (x)f_X(x)dx-r\int_r^\infty f_X(x)dx\right)\rightarrow$$

$$\frac{d}{dr}\left(hr+\frac{pD}{Q}\left([xF(x)]_r^\infty-\int_r^\infty F_X(x)dx-r\big(F(\infty)-F(r)\big)\right)\right)\rightarrow$$

$$\frac{d}{dr}\left(hr+\frac{pD}{Q}\left(\infty F(\infty)-rF(r)-\int_r^\infty F_X(x)dx-r\big(1-F(r)\big)\right)\right)\rightarrow$$

$$\frac{d}{dr}\left(hr+\frac{pD}{Q}\left(\infty F(\infty)-rF(r)-\int_r^\infty F_X(x)dx-r+sF(r)\right)\right)\rightarrow\frac{d}{dr}\left(hr+\frac{pD}{Q}\left(\int_r^\infty F_X(x)dx-r\right)\right)$$

$$\rightarrow h+\frac{pD}{Q}\big(F(r)-1\big)=0\rightarrow-\frac{hQ}{pD}=F(r)-1\rightarrow F(r)=1-\frac{hQ}{pD}\rightarrow r=F^{-1}\left(1-\frac{hQ}{pD}\right)$$

Bibliografie

1. Uniforme verdeling. [Online] [Citaat van: 01 09 2009.] http://nl.wikipedia.org/wiki/Uniforme_verdeling_(continu).
2. **ross, sheldon.** *a First course in probability.* unifersity of california, berkeley : prentice-hall, Inc., 2002.
3. betaverdeling. [Online] [Citaat van: 01 09 2009.] http://nl.wikipedia.org/wiki/B%C3%A8taverdeling.
4. Extreme waarde verdeling. [Online] [Citaat van: 01 09 2009.] http://mathworld.wolfram.com/ExtremeValueDistribution.html.
5. Gumbel Distribution. [Online] [Citaat van: 22 09 2009.] http://www.transtutors.com/statistics-homework-help/continuous-probability-distribution/Gumbel-distribution.aspx.
6. Multiple regression. [Online] [Citaat van: 18 03 2009.] http://www.ai.rug.nl/~arjan/scriptie/scriptie/node27.html.
7. Stepwise multiple regression. [Online] [Citaat van: 18 03 2009.] http://www.visualstatistics.net/SPSS%20workbook/stepwise_multiple_regression.htm.
8. **Gunst, M. de.** *Statistical Models.* Amsterdam : Vrije Universiteit, 2001.
9. **Silver, Edward, Pyke, David en Peterson, Rein.** *Inventory management and Production Planning and Scheduling.* sl : John Wiley & Sons, 1998.
10. Economic order quantity. [Online] [Citaat van: 01 00 2009.] http://en.wikipedia.org/wiki/Economic_order_quantity.
11. **Koole, Ger.** *Optimization of business processes: An introduction to applied stochastic modelling.* Amsterdam : sn, 2009.
12. Reorderpunt. [Online] [Citaat van: 01 09 2009.] http://www.lokad.com/calculate-safety-stocks-with-sales-forecasting.ashx#Safety_stock_expression.
13. Multiple regression in SPSS. [Online] [Citaat van: 01 09 2009.] http://www.statisticshell.com/multireg.pdf.
14. skewness. [Online] [Citaat van: 01 09 2009.] http://office.microsoft.com/nl-nl/excel/HP052092611043.aspx.
15. Statistisch significant. [Online] [Citaat van: 01 09 2009.] http://www.minerva-ebm.be/articles/nl/woordenlijst/statistisch_significant.htm.


Hagen
JACK & JEAN
Modeplezier
in kleren en geuren
de Bijenkorf
U bent er
vliegensvlug thuis
de Bijenkorf
Voor speelse geesten
en vrije naturen
de Bijenkorf