Vraagvoorspelling en bestelregels bij Albert Heijn
Stage verslag

BWI stage:
Marianne Horsch
afdeling Replenishment Preparation Albert Heijn
student nummer: 1202790

Stagebegeleiders:
Ir. Peter Haccou, AH
Drs. Robert van Lunteren, AH
Prof. dr. Bert Kersten, VU
Drs. Marco Bijvank, VU

29 april 2005

Vraagvoorspelling en bestelregels bij Albert Heijn
Stage verslag

BWI stage:
Marianne Horsch
afdeling Replenishment Preparation Albert Heijn
student nummer: 1202790

Stagebegeleiders:
Ir. Peter Haccou, AH
Drs. Robert van Lunteren, AH
Prof. dr. Bert Kersten, VU
Drs. Marco Bijvank, VU

Vrije Universiteit

Faculteit der Exacte Wetenschappen
De Boelelaan 1081-1083
1081 HV Amsterdam

Albert Heijn

Hoofdkantoor

Albert Heijnweg 1
1507 EH Zaandam

Distributie centrum

Hoofdtocht 1
1507 CJ Zaandam

Inhoudsopgave

1 Voorwoord

In dit verslag staan de bevindingen beschreven die gedurende 6 maanden stage zijn onderzocht op de afdeling Replenishment Preparation bij Albert Heijn. De stage is het afstudeerproject behorend bij de opleiding Bedrijfswiskunde en Informatica aan de Vrije Universiteit te Amsterdam, met als afstudeerrichting optimalisatie van de bedrijfsprocessen.
Het bedrijfsproces dat onderzocht is, is de vraagvoorspelling en bestelstrategie in het retail bedrijf. Hiervoor zijn de huidige modellen onderzocht en nieuwe modellen ontwikkeld. Deze zijn tegen elkaar getest om tot een conclusie te komen over de huidige modellen.

Dit verslag is opgedeeld in drie delen: de inleiding, de vraagvoorspelling en de bestelmodellen. In de inleiding kunt u informatie vinden over het stage bedrijf en de probleemstelling. In het deel over de vraagvoorspelling worden verschillende modellen besproken om de vraag te voorspellen, evenals de resultaten en conclusies van de simulaties. In het deel over de bestelmodellen kunt u de verschillende bestelmodellen vinden, evenals enige aandachtspunten als bestelmodellen gesimuleerd gaan worden.

Gedurende de stage heeft logica CMG een laptop ter beschikking gesteld om de simulaties uit te kunnen voeren. Hiervoor hartelijke dank. Tevens wil ik bij deze Albert Heijn bedanken voor het mogelijk maken van deze stage en alle mensen die mij geholpen hebben gedurende de stage:

- Marco Bijvank, Bert Kersten, Robert van Lunteren en Peter Haccou bedankt voor de aanvullingen en wijzigingen van dit verslag.
- Robert van Lunteren, Erik Kok en Peter Nouwe bedankt voor het uitleggen van de werking van de verschillende modellen.

2 Management samenvatting

VERTROUWELIJK

Deel I
Inleiding

3 Albert Heijn

Het stage bedrijf is Albert Heijn. Iedereen in Nederland heeft wel eens kennis gemaakt met deze supermarktketen. De keten heeft 680 winkels in Nederland die een totaal van 30.000 verschillende artikelen verkopen. De omzet per jaar is ongeveer 5.8 miljard euro. De winkels zijn in te delen in verschillende afdelingen; dit zijn de kruidenierswaren, non-food, groente, vlees, voorverpakte vleeswaren, voorverpakte kaas, boter, zuivel, delicatessen, kaas, brood en kassa afdeling. De grotere Albert Heijn winkels kennen nog een slagerij afdeling maar bij de meeste winkels is deze afdeling niet aanwezig. De kruidenierswaren afdeling verkoopt de ongekoelde, vaak langhoudbare, artikelen zoals frisdranken, wijn en koffie. De non-food afdeling bevat wc-papier, lampjes en kaarsen. De delicatessen afdeling is het vers gesneden vleeswaren.
Iedere afdeling is onder te verdelen in meerdere assortimentsgroepen. Zo bestaat de kruidenierswaren afdeling onder andere uit de assortimentsgroepen traditionele maaltijden, broodvervangers en nootjes. De groente afdeling bestaat onder andere uit de assortimentsgroepen panklare groenten, bladgroenten en aardappelen. Panklare groenten zijn de gewassen, gesneden en gekoelde groenten.

3.1 Replenishment Preparation

De afdeling waarbij de stage is gelopen is Replenishment Preparation.

VERTROUWELIJK

4 Replenishment

VERTROUWELIJK

5 Probleemstelling

De concurrentie binnen de supermarktwereld wordt steeds heviger, daarom wordt er steeds meer gezocht naar kostenbesparingen om voldoende winst te blijven maken. De grootste kostenbesparingen worden gezocht op het logistieke vlak. Door middel van het centraliseren van het bestelproces wil Albert Heijn meer inzicht krijgen in de goederenstroom, om zodoende de veiligheidsvoorraad te kunnen verminderen en schaalvoordelen te behalen.
Om het bestelproces te kunnen centraliseren is het noodzakelijk dat de kwaliteit van de bestelling die het hoofdkantoor maakt minstens gelijk is aan de kwaliteit van de bestelling van de winkel. Dit kan uiteindelijk gemeten worden in afboekkosten en omzet. Een bestelling is afhankelijk van de bestelregels en de vraag - voorspelling. Hoe beter de vraag voorspeld wordt hoe beter de kwaliteit van de bestelling kan zijn. Deze kwaliteit is echter ook afhankelijk van het gebruikte bestelmodel en van de parameters van het bestelmodel.

Albert Heijn heeft het huidige vraag - voorspelmodel en het huidige bestelmodel zelf ontworpen. Beide modellen bevatten meerdere parameters om zo voor ieder artikel een zo goed mogelijke afboeking - omzet verhouding te krijgen. Het vraag - voorspelmodel van Albert Heijn staat beschreven in Hoofdstuk 8 en het bestelmodel in Hoofdstuk 14.

Onderzocht dient te worden of deze modellen de kosten van de hele keten minimaliseren. Als het vraag - voorspelmodel verbeterd kan worden, kan dit resulteren in lagere afboek- of nee - verkoop kosten. Dit wordt getest aan de hand van een drietal andere vraag - voorspelmodellen. Van ieder model wordt de voorspelfout bepaald. Verbeteringen in de vraagvoorspelling alleen zal niet tot de optimale opbrengsten - kosten verhouding leiden. Er dient ook onderzocht te worden of het bestelmodel goed genoeg is en of een andere parametersetting de verhouding niet zal verbeteren.

5.1 Beperking binnen het onderzoek

In dit onderzoek wordt gekeken naar het panklare assortiment. Het panklare assortiment zijn de gewassen, gesneden en gekoelde groenten. Dit assortiment kent 383 artikelen. Uit deze groep zijn er 43 geselecteerd. Van de 20 bekeken winkels is de verkoop data genomen van het jaar 2004. Ook zijn er gegevens bekend wanneer de voorraad van het artikel nul wordt. Deze data is echter niet van het hele jaar aanwezig, maar alleen van half oktober tot eind 2004. Met behulp van deze data kan de fractie tijd dat het artikel geen voorraad heeft, bepaald worden. Hiermee kan berekend worden wat de verwachte nee - verkopen zijn. Verder wordt er alleen gekeken naar reguliere weken. Dit betekent dat de onderzochte modellen gebruikt kunnen worden voor de dagen waarin de artikelen niet in de aanbieding zijn en geen evenement plaatsgevonden heeft. Een evenement is bijvoorbeeld Kerst, Pasen of een hittegolf. Voor de vraagvoorspelling betekent dit dat er maximaal 9 weken data aanwezig zijn (half oktober tot eind 2004). Dit kan minder zijn als het artikel in die periode in de actie was of een evenement had.

De verdeling van de data

VERTROUWELIJK

De kansverdeling van de data

VERTROUWELIJK

5.2 Scope van het onderzoek

Het onderzoek is opgesplitst in twee delen, de vraagvoorspelling en het bestellen.

Voor het voorspellen van de vraag wordt gekeken naar een viertal modellen. Eén van deze modellen is het huidige model. De overige drie zijn aanpassingen op het huidige model. De verschillende modellen bevatten parameters. Voor ieder model wordt gezocht naar de parametersetting die de voorspelfout minimaliseert. Tevens wordt gezocht naar het beste vraag - voorspelmodel.
De modellen bevatten allemaal minstens zes parameters. Een complexer model levert meer parameters op. Hoe meer parameters hoe complexer het beheer van deze parameters. Daarom wordt onderzocht welke parameters geen invloed hebben op de voorspelfout.

Voor het maken van de bestelling wordt gekeken naar een drietal modellen. Het huidige model, een variant op het veel gebruikte (R, Q) model uit de literatuur (uit [2]) en een model gebaseerd op de ervaring uit de winkel.

Het model dat Albert Heijn gebruikt bevat veel parameters. Gezocht dient te worden naar de parametersetting die de beste opbrengsten - kosten verhouding oplevert. Het model uit de literatuur heeft 1 parameter. Ook voor deze parameter dient onderzocht te worden naar de waarde die de beste opbrengsten - kosten verhouding oplevert. Het model dat gebaseerd is op de ervaring uit de winkel bevat geen parameters.

5.3 Plan van aanpak

Voor beide delen van het onderzoek (vraagvoorspelling en bestellen) zijn er eerst modellen ontwikkeld. Deze zijn voor de vraagvoorspelling samen met de huidige modellen geïmplementeerd. Het zoeken naar de optimale parameters gebeurt door middel van simulatie. Simuleren vereist data. Hiervoor wordt de werkelijke data van een 20 tal winkels en 43 artikelen gebruikt over het afgelopen jaar.
De modellen worden geïmplementeerd door middel van programma's, geschreven in Java. De resultaten en de input komen uit een Access database. De programma's berekenen de voorspelfout en opbrengsten - kosten verhouding. Als er meerdere parametersettings ingevoerd worden, kan er aan de hand van de voorspelfout bepaald worden welke parametersetting het beste is.

Deel II
Vraagvoorspelling

6 Inleiding

Het verlagen van de logistieke kosten wordt bij veel bedrijven steeds belangrijker. Lagere kosten betekent dat het product goedkoper aangeboden kan worden. Dit wordt onder de huidige concurrentie steeds belangrijker. Een verbeterde vraagvoorspelling geeft minder onzekerheid. Dit betekent dat het bedrijf minder veiligheidsvoorraad hoeft aan te houden en er dus bespaard wordt op voorraadkosten.

Er bestaan vele soorten vraag - voorspelmodellen. Afhankelijk van de omstandigheden kan er een keuze worden gemaakt uit een bepaald soort vraag - voorspelmodel. De modellen zijn in te delen in drie omstandigheden (uit [1]):

- Constante modellen; de vraag over de tijd is constant,
- Trend modellen; de vraag over de tijd daalt of stijgt lineair en
- Seizoen modellen; de vraag is afhankelijk van het seizoen.

Al deze modellen maken een puntschatting voor de vraag van een periode. De puntschatting wordt gemaakt aan de hand van historische data.
Een ander belangrijk aspect zijn incidentele gebeurtenissen. Een voorbeeld van incidentele gebeurtenissen zijn de verkopen tijdens Kerst of tijdens een hittegolf.

VERTROUWELIJK

In dit deel wordt eerst de theorie besproken over vraag - voorspelmodellen en voorspelfouten (Hoofdstuk 7). Vervolgens worden het huidige model (Hoofdstuk 8) en de andere gebruikte modellen (Hoofdstuk 9) besproken. Daarna wordt de methode besproken hoe de beste waarden voor de parameters gevonden worden (Hoofdstuk 10). Het deel eindigt met de resultaten van de simulaties (Hoofdstuk 11) en de conclusies (Hoofdstuk 12).

7 Vraag - voorspelmodellen

In dit Hoofdstuk zullen twee veel gebruikte vraag - voorspelmodellen besproken worden: Als eerste voortschrijdend gemiddelde (uit [1], uit [3] en uit [4]) en vervolgens exponential smoothing (uit [1], uit [3], uit [4] en uit [5]). Het Hoofdstuk wordt afgesloten met theorieën hoe de kwaliteit van een voorspelmodel gekwantificeerd kan worden.

7.1 Voortschrijdend gemiddelde

Onder de aanname dat de vraagvoorspelling wordt weergeven door het constante model kan de voorspelling gemaakt worden op basis van het voortschrijdend gemiddelde. Dit is het gemiddelde over de afgelopen m weken:

$$\hat{x}_{t+1} = \frac{x_t + x_{t-1} + x_{t-2} + ... + x_{t-m+1}}{m},$$

met x_t de observatie van dag t en $\hat{x}_t$ de voorspelde waarde van dag t.

7.2 Exponential smoothing

Onder de aanname dat de vraagvoorspelling wordt weergeven door het constante model kan de voorspelling ook gemaakt worden op basis van exponential smoothing. Bij dit principe tellen de meest recente observaties zwaarder mee in de voorspelling dan oudere observaties:

$$\hat{x}_{t+1} = (1-\alpha)\hat{x}_t + \alpha x_t,$$

met x_t de observatie van dag t, $\hat{x}_t$ de voorspelde waarde van dag t nadat de observatie van dag t bekend is en α de smoothing constante. De smoothing constante is een parameter die een waarde heeft tussen 0 en 1. De voorspelde $\hat{x}_t$ wordt berekend nadat de observatie bekend is. De voorspelling wordt gebruikt voor de volgende periode.
Bij een kleinere smoothing constante telt de meest recente waarneming minder mee in de voorspelling. Dit betekent dat de voorspelling minder snel de vraag zal volgen. Een voordeel hiervan is dat extreme waarnemingen minder zwaar meewegen en dus dat de voorspelling minder zal fluctueren.

Er bestaat een verband tussen de smoothing constante en het aantal weken historie, m, bij het voortschrijdend gemiddelde . Door de smoothing constante te zetten op:

$$\alpha = \frac{2}{m+1}$$

zal het resultaat van exponential smoothing gelijk zijn aan het voortschrijdend gemiddelde over m weken.
Bovenstaande constatering laat zien dat het voortschrijdend gemiddelde een subklasse binnen exponential smoothing is.

7.3 Voorspelfout en foutmaten

Karakteristiek aan het maken van voorspellingen is dat de voorspelling vaak fout is. Hoe groter de fout hoe slechter de voorspelling. Als de vraag constant is zal de voorspelling perfect zijn en de fout dus nul. Een grotere fout zal dus veroorzaakt worden door grotere fluctuaties in de vraag en dus een grotere onzekerheid in de kwaliteit van de voorspelling. Voor het vergelijken van parameters en modellen is het noodzakelijk dat er gebruik gemaakt wordt van een goede foutmaat.

Er bestaan verschillende foutmaten in de literatuur. Een mogelijke foutmaat is de Mean Absolute Percentage Error (MAPE) en deze wordt als volgt berekend:

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{\hat{x}_t - x_t}{x_t}\right|,$$

hierbij is $\hat{x}_t$ de voorspelde vraag en x_t de werkelijke vraag van dag t. De voorspelde vraag kan kleiner zijn dan de werkelijke vraag en dan is de fout van die dag negatief. Als de voorspelling groter is, dan is de fout van die dag positief. Om te voorkomen dat de fouten tegen elkaar wegvallen wordt de absolute waarde van de fout genomen.
Het gebruik van deze foutmaat heeft als nadeel dat kleine fouten even zwaar meetellen alas grote fouten. Daarom kan het kwadraat van de fout bekeken worden in plaats van de absolute

waarde (MSE; Mean Squared Error, uit [1] en uit [2]). De foutmaat telt dan grotere fouten zwaarder mee.

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(\hat{x}_t - x_t)^2$$

Om te controleren of het vraag - voorspelmodel beter of slechter werkt dan een naïve aanpak, kan bekeken worden met de Theill's U-statistic (uit [10]). De fout wordt als volgt berekend:

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n-1}\left(\frac{\hat{x}_{t+1}-x_{t+1}}{x_t}\right)^2}{\sum_{t=1}^{n-1}\left(\frac{x_t-x_{t+1}}{x_t}\right)^2}}$$

De naïve methode is het nemen van de vorige waarneming als voorspelling van de volgende periode ($\hat{x}_{t+1} = x_t$).
Omdat de vraag naar een artikel regelmatig nul is op een bepaalde dag (vooral bij artikelen met een lage omloopsnelheid) wordt een variant op deze foutmaat gebruikt bij de simulaties:

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n-1}(\hat{x}_{t+1} - x_{t+1})^2}{\sum_{t=1}^{n-1}(x_t - x_{t+1})^2}}$$

Als de foutmaat rond de nul ligt, dan is de vraag - voorspelmodel uitstekend. Als de fout kleiner is dan één dan is de berekende voorspelling beter dan de naïve methode en als de fout groter is dan één dan is het gebruik van de naïve methode beter.

Een voorbeeld

Voorbeeld 1:
Stel de verwachte vraag voor morgen is $\hat{x}_{t+1} = 2$, de werkelijke vraag van morgen is $x_{t+1} = 3$ en de werkelijke vraag van vandaag is $x_t = 1$.
De MAPE is nu:

$$MAPE = \left|\frac{\hat{x}_t - x_t}{x_t}\right| = \left|\frac{2-3}{3}\right| = \left|\frac{-1}{3}\right| = 0.33$$

En de Theill's U-statistic:

$$U = \sqrt{\frac{\left(\frac{\hat{x}_{t+1}-x_{t+1}}{x_t}\right)^2}{\left(\frac{x_t-x_{t+1}}{x_t}\right)^2}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{2-3}{1}\right)^2}{\left(\frac{1-3}{1}\right)^2}} = \sqrt{\frac{(-1)^2}{(-2)^2}} = \sqrt{\frac{1}{4}} = 0.5$$

En de gebruikte variant op de Theill's U-statistic:

$$U = \sqrt{\frac{(\hat{x}_{t+1} - x_{t+1})^2}{(x_t - x_{t+1})^2}} = \sqrt{\frac{(2-3)^2}{(1-3)^2}} = \sqrt{\frac{(-1)^2}{(-2)^2}} = \sqrt{\frac{1}{4}} = 0.5$$

Voorbeeld 2:
Stel de verwachte vraag voor morgen is $\hat{x}_{t+1} = 100$, de werkelijke vraag van morgen is $x_{t+1} = 90$ en de werkelijke vraag van vandaag is $x_t = 110$.
De MAPE is nu:

$$MAPE = \left|\frac{\hat{x}_t - x_t}{x_t}\right| = \left|\frac{100-90}{90}\right| = \left|\frac{1}{9}\right| = 0.11$$

En de Theill's U-statistic:

$$U = \sqrt{\frac{(\frac{\hat{x}_{t+1}-x_{t+1}}{x_t})^2}{(\frac{x_t-x_{t+1}}{x_t})^2}} = \sqrt{\frac{(\frac{100-90}{110})^2}{(\frac{110-90}{110})^2}} = \sqrt{\frac{(\frac{10}{110})^2}{(\frac{20}{110})^2}} = \sqrt{\frac{(0.09)^2}{(0.18)^2}} = 0.5$$

En de gebruikte variant op de Theill's U-statistic:

$$U = \sqrt{\frac{(\hat{x}_{t+1} - x_{t+1})^2}{(x_t - x_{t+1})^2}} = \sqrt{\frac{(100-90)^2}{(110-90)^2}} = \sqrt{\frac{(10)^2}{(20)^2}} = \sqrt{\frac{100}{400}} = 0.5$$

7.4 Gehanteerde foutmaten

In dit onderzoek wordt de Theill's U-statistic voor iedere winkel-artikel-weekdag combinatie berekend. Dit wordt teruggebracht naar een gemiddelde Theill's U-statistic, de standaard deviatie en een 95% betrouwbaarheidsinterval over alle weekdagen. Deze worden als volgt berekend (uit [9]):
Het gemiddelde:

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$$

De standaard deviatie:

$$S_X = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}$$

Een 95% betrouwbaarheidsinterval:

$$B(X) = [\bar{X} - 1.96S_X; \bar{X} + 1.96S_X]$$

8 Het huidige vraag - voorspelmodel

VERTROUWELIJK

9 Nieuwe vraag - voorspelmodellen

VERTROUWELIJK

10 Simulatie

Voor ieder model wordt eerst gezocht naar de beste parameters. Hiervoor worden de voorspellingen onder de opgegeven parameters berekend en aan de hand van de werkelijke data wordt de voorspelfout berekend.
De fout wordt berekend met behulp van Theill's U-statistic. De fout wordt berekend voor iedere weekdag van iedere winkel - artikel combinatie. Om parameters te vergelijken wordt van iedere winkel - artikel combinatie eerst over alle weekdagen het gemiddelde, de standaard deviatie en een 95% betrouwbaarheidsinterval van de U-statistic berekend. Tot slot wordt het gemiddelde genomen over alle winkel - artikel combinaties om zo tot één waarde te komen

voor de gemiddelde U-statistic, de standaard deviatie van de U-statistic en een 95% betrouwbaarheidsinterval.
Voor iedere parameter hebben we nu één waarde voor de gemiddelde fout, de standaard deviatie, de ondergrens van een 95% betrouwbaarheidsinterval en de bovengrens van een 95% betrouwbaarheidsinterval. Uit deze waarden moet afgeleid worden welke parameter beter is.

10.1 Vergelijkingsprocedure

Om de gemiddelde fout, de standaard deviatie en een 95% betrouwbaarheidsinterval onderling te vergelijken tussen parametersetting x en y, is de volgende procedure opgestart:

1. Als de gemiddelde U-statistic en de gemiddelde standaard deviatie van de U-statistic van parametersetting x beide kleiner zijn dan die van parametersetting y dan is parametersetting x beter dan parametersetting y.

2. Als de ondergrens en de bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval van parametersetting x beide kleiner zijn dan die van parametersetting y dan is parametersetting x beter dan parametersetting y.

3. Als $o(x) - o(y) < b(y) - b(x)$ dan is parametersetting x beter dan parametersetting y, anders is parametersetting y beter. Hierbij is $o(x)$ de ondergrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval behorend bij de Theill's U-statistic van parametersetting x en $b(x)$ de bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval behorend bij de Theill's U-statistic van parametersetting x.

11 Resultaten

VERTROUWELIJK

12 Conclusies

Gezocht wordt naar het vraag - voorspelmodel die de vraag het beste voorspelt. Tevens wordt gekeken of dit model beter is dan de werkelijke vraagvoorspelling.

12.1 De werkelijke voorspelling

VERTROUWELIJK

12.2 Constateringen

VERTROUWELIJK

12.3 Aanbevelingen

VERTROUWELIJK

Deel III
Bestelmodellen

13 Inleiding

Het verbeteren van de vraagvoorspelling alleen is niet voldoende om kosten te verlagen. De verbeterde vraagvoorspelling moet resulteren in een verbeterd bestelproces om tot uiteindelijke kostenbesparingen te komen. Hierbij kan gedacht worden in een zodanig verbeterde vraagvoorspelling zodat de nee-verkopen en afboekingen afnemen. Een verbeterde vraagvoorspelling heeft ook invloed op de kosten in de distributie centra. Als de vraagvoorspelling beter wordt en minder fluctuaties vertoont ten opzichte van de werkelijke vraag dan hoeven er minder veiligheidsvoorraden aangehouden te worden.

Er zijn vele soorten bestelmodellen bekent in de literatuur. Ieder model stelt specifieke eisen aan de bestel omstandigheden. Aan een bestelling zijn kosten verbonden. Als deze vaste bestelkosten zeer hoog zijn, zal het bedrijf zo min mogelijk bestellingen plaatsen en zullen de meeste kosten voortkomen uit het aanhouden van voorraad. Als de bestelkosten zeer laag zijn dan zou het bedrijf het liefst geen voorraad aanhouden en vaak willen bestellen.
De belangrijkste aspecten om de bestelmodellen op te delen zijn het bestelmoment en de bestelgrootte. De indeling van de verschillende bestelmodellen staat in Tabel 1.

Naam	Bestelmoment	Bestelgrootte
sQ	Variabel	Vast
sS	Variabel	Variabel
RQ	Vast	Vast
RS	Vast	Variabel

Tabel 1: Overzicht bestelmodellen

Bij s modellen kan er besteld worden zodra de voorraad lager is dan s eenheden, terwijl bij R modellen er op bepaalde (vaste) tijdstippen een bestelling geplaatst kan worden (met een frequentie van R tijdseenheden). Bij Q modellen wordt er besteld in vaste besteleenheden (Q eenheden) terwijl bij S modellen de voorraad op het bestelmoment wordt aangevuld tot S.

VERTROUWELIJK

Het Poisson bestelmodel dat onderzocht wordt is een (R, Q)-model. Dit model verondersteld een Poisson kansverdeling rond de vraag met verwachting de voorspelde vraag. Het Poisson bestelmodel bestelt een zodanige hoeveelheid zodat tot de eerst volgende mogelijke levering er genoeg in de schappen van de winkel ligt. Een Poisson kansverdeling is een discrete verdeling, dit betekent dat deze alleen gehele getallen als verwachting kan hebben (een klant kan geen half pak melk kopen). De Poisson kansverdeling lijkt op die van een logistieke verdeling. De logistieke kansverdeling is een continue kansverdeling die van alle onderzochte continue kansverdelingen de data het beste fit (zie Paragraaf 5.1).

De gemaakte bestellingen moeten in de winkels leiden tot een voldoende voorraad om aan de vraag te voldoen. Maar niet tot teveel voorraad zodat er teveel weggegooid moet worden. De bestellingen worden daarom geëvalueerd op basis van de kosten en opbrengsten. De kosten die berekenend worden zijn de nee-verkoop kosten, afprijskosten en afboekingskosten. Nee-verkoop kosten zijn de kosten doordat de voorraad van een artikel op een moment nul wordt en er misschien wel klanten zijn die het artikel wilden kopen. Deze vraag gaat verloren. De kosten worden berekend aan de hand van de prijs van het artikel. De afprijskosten zijn de artikelen die verkocht worden met een afprijs sticker erop. Ook deze kosten zijn een verwachting omdat er niet exact bijgehouden kan worden welke artikelen een sticker hebben. De kosten per artikel zijn $x\%$ van de prijs. Als laatste de afboekingskosten. Dit zijn de kosten van de artikelen die vernietigd worden. Ook dit is weer een verwachting. De kosten zijn de prijs van het artikel. De opbrengsten zijn de verkoopprijs van het artikel, bij afgeprijsde artikelen is dit $100\% - x\%$ van de prijs.

In dit deel wordt eerst het Albert Heijn bestelmodel besproken (Hoofdstuk 14). Vervolgens wordt een bestelmodel uit de theorie besproken (Hoofdstuk 15). Het laatste model dat bekeken wordt staat beschreven in Hoofdstuk 16. In Hoofdstuk 17 wordt besproken waar tijdens simulaties rekening mee gehouden moet worden.

14 Het huidige bestelmodel

VERTROUWELIJK

15 Het Poisson model

Het Poisson bestelmodel is gebaseerd op de (R, Q)-modellen uit de literatuur. Dit model veronderstelt een Poisson kansverdeling rond de vraag met verwachting de voorspelde vraag. Het Poisson bestelmodel bestelt een zodanige hoeveelheid zodat tot de eerst volgende mogelijke levering er genoeg in de schappen van de winkel ligt. De Poisson kansverdeling lijkt op die van een logistieke verdeling. De logistieke kansverdeling is een continue kansverdeling die van alle onderzochte continue kansverdelingen de data het beste fit (zie Paragraaf 5.1).

Bestelmodellen hebben de volgende eigenschappen:

- Het doel is het minimaliseren van de kosten.
- De uitkomst is een optimale bestelhoeveelheid.

De R in (R, Q)-modellen staat voor het bestelmoment, de Q staat voor de hoeveelheid die bestelt wordt. Iedere R tijdseenheden bepaalt het model de kans dat de voorraad te klein is om de periode tot de eerst volgende mogelijke levering te overbruggen. Is deze kans groter dan een geëiste service level dan worden er 1 of meer besteleenheden besteld. Het aantal dat besteld wordt is zodanig dat de kans kleiner is dan de geëiste serice level. Het model maakt dus gebruik van een geëiste service level. Het service niveau is gedefinieerd als het percentage van de vraag dat uit de voorraad kan worden voldaan (fill rate).
De volgende variabelen worden gedeclareerd:
D = de verdeling van de vraag, in dit model de Poisson verdeling.
Q = het aantal consumenten eenheden in een besteleenheid.
x_t = de voorraad op tijdstip t.

Er hoeft niet besteld te worden als geldt (uit [11]):

$$\mathbb{P}(D(Z) > x_t) \leq 1 - SL,$$

met Z de tijd gedurende de BAA periode. Dit betekent dat de kans dat het huidige voorraadniveau voldoende is tot het volgende aflevermoment, groter is dan de service level restrictie. Dit is gelijk aan:

$$1 - \mathbb{P}(D(BAA) \leq x_t) \leq 1 - SL \Longleftrightarrow \mathbb{P}(D(BAA) \leq x_t) \geq SL.$$

Als dit niet het geval is zal er op tijdstip t besteld moeten worden. Het aantal besteleenheden dat zal worden besteld is het minimale aantal waarbij aan de service level restrictie wordt voldaan.
Als er wordt besteld zal dit op de bijbehorende aflevertijd geleverd worden. Dit betekent dat de vraag opgesplitst moet worden in de vraag tot de levering en de vraag na de levering tot de volgende mogelijke levering:

$$\mathbb{P}(D(BA) + D(AA) \leq x_t + aQ) \geq SL,$$

met a het aantal bestelde eenheden. Dit is wegens onafhankelijkheid van Poisson verdelingen gelijk aan:

$$\sum_{i=0}^{x_t+aQ} \sum_{j=0}^{\min\{i,x_t\}} \mathbb{P}(D(BA) = j)\mathbb{P}(D(AA) = i - j) \geq SL.$$

Hierbij moet wel geëist worden dat j niet groter kan worden dan x_t, want tijdens de levertijd zijn er x_t artikelen om te verkopen.

Als de vraag Poisson verdeeld is met voor iedere dag een andere λ dan moet er eerst onderscheid gemaakt worden tussen twee situaties: de besteldag en afleverdag zijn gelijk en de besteldag en afleverdag zijn verschillende dagen.
Bijvoorbeeld er wordt besteld om 10.00 en geleverd om 18.00, dan komt de volgende levering om 18.00 de volgende dag en hoeft er dus maar met twee dagen rekening gehouden te worden. Wordt er om 16.00 besteld en geleverd op de volgende dag om 9.00, dan is de volgende levering om 9.00 op de dag daaropvolgend. Er moet dus rekening gehouden worden met drie dagen.

15.1 Situatie 1: De besteldag en leverdag zijn gelijk

Stel er zitten Z_1 tijdseenheden in dag 1 met verwachting λ_1, dan is $BA < Z_1$. Na de levering zijn er dan nog $Z_1 - BA$ tijdseenheden over in dag 1. Er zitten dan dus nog $Z_2 = AA - (Z_1 - BA)$ tijdseenheden in dag 2, met verwachting λ_2.

Het aantal besteleenheden dat besteld zal worden is de minimale waarde van a waarvoor geldt:

$$\sum_{i=x_t+1}^{x_t+aQ} \sum_{j=0}^{x_t} \frac{(\lambda_1 BA)^j (\lambda_1 (Z_1 - BA) + \lambda_2 Z_2)^{i-j}}{j!(i-j)!} e^{-(\lambda_1 Z_1 + \lambda_2 Z_2)}$$

$$\geq SL - \sum_{i=0}^{x_t} \frac{(\lambda_1 Z_1 + \lambda_2 Z_2)^i}{i!} e^{-(\lambda_1 Z_1 + \lambda_2 Z_2)}.$$

Dus er wordt a keer de besteleenheid besteld, met voor a de kleinste integer waarvoor aan de bovenstaande eis wordt voldaan.

15.2 Situatie 2: De leverdag is de dag na de besteldag

Stel er zitten Z_1 tijdseenheden in dag 1 met verwachting λ_1, dan zitten er nog $Z_{2BA} = BA - Z_1$ tijdseenheden van de levertijd in dag 2 met verwachting λ_2 en $Z_{2AA} = 1 - Z_{2BA}$ tijdseenheden van de AA periode in dag 2, en tot slot nog $Z_3 = AA - Z_{2AA}$ tijdseenheden in dag 3 met verwachting λ_3.

Het aantal besteleenheden dat besteld zal worden is de minimale waarde van a waarvoor geldt:

$$\sum_{i=x_t+1}^{x_t+aQ} \sum_{j=0}^{x_t} \frac{(\lambda_1 Z_1 + \lambda_2 (BA - Z_1))^j (\lambda_2 (1 - (BA - Z_1)) + \lambda_3 Z_3)^{i-j}}{j!(i-j)!} e^{-(\lambda_1 Z_1 + \lambda_2 + \lambda_3 Z_3)}$$

$$\geq SL - \sum_{i=0}^{x_t} \frac{(\lambda_1 Z_1 + \lambda_2 + \lambda_3 Z_3)^i}{i!} e^{-(\lambda_1 Z_1 + \lambda_2 + \lambda_3 Z_3)}.$$

De eerste a waarvoor aan de bovenstaande vergelijking wordt voldaan is het aantal besteleenheden dat besteld gaat worden.

16 Het plus-min-delen-door model

Het plus-min-delen-door model is gebaseerd op ervaring uit de winkel. Dit model is ontwikkeld om te testen of het noodzakelijk is het model complex te maken of dat de besteleenheid het bestelgedrag bepaald. Iedere dag wordt de bestelling voor de diverse vers assortimentsgroepen door het winkelpersoneel gemaakt. Allereerst wordt besproken welke gegevens de winkel ziet als ze het panklare assortiment gaan bestellen.

- V_t = De voorraad gegeven in het aantal consumenten eenheden op dag t. Dit is het totaal van de voorraad in het vak en de resterende voorraad.
- De vraag is opgesplitst in twee delen:
  - $D(BA)$ = De vraag vanaf het bestelmoment tot het aflevermoment.
  - $D(AA)$ = De vraag vanaf het aflevermoment tot het volgende aflevermoment.
- BE = De besteleenheid gegeven in het aantal consumenten eenheden.

Op basis van deze gegevens maakt de winkel de bestelling.
Allereerst wordt gekeken of de vraag vanaf het bestelmoment tot het aflevermoment groter is dan de voorraad. Als dit het geval is dan wordt het aantal besteleenheden besteld dat genoeg is om de vraag vanaf het aflevermoment tot het volgende aflevermoment te overbruggen.
Is de voorraad groter dan de vraag vanaf het bestelmoment tot het volgende aflevermoment dan wordt de vraag vanaf het bestelmoment tot het tweede aflevermoment erna bij elkaar opgeteld. Hiervan wordt de voorraad afgetrokken. Het resultaat is het aantal consumenten eenheden dat extra nodig is om de BAA periode te overbruggen. Is dit getal negatief dan wordt er niets besteld, anders wordt er het aantal besteleenheden besteld dat nodig is om de BAA periode te overbruggen.
Dit levert de volgende regels op:

1. Als $D(BA) > V_t$ dan:
   (a) $Q = \lceil \frac{D(AA)}{BE} \rceil$
2. Als $D(BA) <= V_t$ dan:
   (a) $Q = \max\{\lceil \frac{D(AA)+D(BA)-V_t}{BE} \rceil, 0\}$

Met Q het aantal besteleenheden dat besteld wordt.

17 Aandachtspunten bij simulatie

Bij het ontwikkelen van een bestel simulatie programma moet rekening gehouden worden met veel verschillende data. Zo kan er gebruik gemaakt worden van een eventlist om openingstijden, bestel- en aflevermomenten vast te leggen. Tevens moet er voorraad bijgehouden worden. Belangrijk bij verse artikelen is de houdbaarheid van de artikelen. Deze wordt binnen Albert Heijn aangeduid met de verkooptermijn. Deze verkooptermijn is een minimale eis van het aantal dagen dat het artikel nog verkocht kan worden in de winkel op moment van leveren.

17.1 Bedrijfsresultaten

Tevens moeten er resultaten bijgehouden worden. Voorbeelden van resultaten zijn de omzet:

$$O_{w,a} = \sum_t A_{w,a}(t) P_a$$

Met:
$O_{w,a}$:= de omzet van artikel a in winkel w.
$A_{w,a}(t)$:= het aantal verkopen van artikel a in winkel w op dag t.
P_a := de verkoopprijs van artikel a.
De afprijskosten:

$$AF_{w,a} = x \sum_t A^{x\%}_{w,a}(t) P_a$$

Met:
$AF_{w,a}$:= de afprijskosten van artikel a in winkel w.
$A^{x\%}_{w,a}(t)$:= het aantal afgeprijsde verkopen (x% korting) van artikel a in winkel w op dag t.

P_a := de verkoopprijs van artikel a.
De afboekkosten:

$$V_{w,a} = \sum_t V_{w,a}(t) P_a$$

Met:
$V_{w,a}$:= de afboekkosten van artikel a in winkel w.
$V_{w,a}(t)$:= het aantal afboekingen van artikel a in winkel w op dag t.
P_a := de verkoopprijs van artikel a.
De nee - verkoopkosten:

$$N_{w,a} = \sum_t \max\{0, (D_{w,a}(t) - (X_{w,a}(t) + P_{w,a}(t)))\} P_a$$

Met:
$N_{w,a}$:= de nee - verkoopkosten van artikel a in winkel w.
$D_{w,a}(t)$:= de verwachtte vraag van artikel a in winkel w op dag t.
$X_{w,a}(t)$:= de voorraad van artikel a in winkel w in het begin van dag t.
$P_{w,a}(t)$:= de pijplijn voorraad van artikel a in winkel w op dag t.
P_a := de verkoopprijs van artikel a.

17.2 Optimalisatie

VERTROUWELIJK

Voor het Poisson bestelmodel kan een service level eis vastgesteld worden door Albert Heijn. Daarna kan het bestelmodel gesimuleerd worden. Bij het ontwikkelen van een simulatie programma voor dit model moet rekening gehouden worden met het feit dat het een Poisson kansverdeling verondersteld en dat de verwachting dus een geheel getal groter dan nul moet zijn. Omdat de vraag gedurende een periode echter regelmatig nul kan zijn, moet hierop getest worden bij het ontwerpen van een simulatie programma. Een verwachting nul zal zonder testen leiden tot een oneindig grote bestelling.
Het plus-min-delen-door bestelmodel bevat geen parameters. Bij het ontwikkelen van een simulatie programma voor dit bestelmodel hoeft geen rekening gehouden worden met een vraag die nul is.

Deel IV
Bijlagen

A Analyse extreme verkopen in de data

Van iedere winkel-artikel combinatie is onderzocht wat de hoogste en laagste verkopen zijn en op welke weekdag deze is. Hierbij wordt er alleen gekeken naar de dagen waarop de winkel open is. Van de hoogste en laagste verkopen is berekend hoeveel keer hoger of lager deze waarneming is ten opzichte van de gemiddelde verkopen.

VERTROUWELIJK

B Analyse foutmaat per weekafzet

VERTROUWELIJK

C De beste parameters voor de vraagvoorspelling

VERTROUWELIJK

Referenties

[1] S. Axsäter: *Inventory control*, Kluwer academic publishers, International series in Operation Research & Management Science, 2000

[2] A.C. Hax, D. Candea: *Production and inventory management*, Prentice Hall, 1984

[3] E.A. Silver, R. Peterson: *Decision systems for inventory management and production planning*, John Wiley & Sons , Second edition, 1979

[4] H.M. Visser, A.R. van Goor: *Werken met logistiek*, Stenfert Kroese, Derde druk, 1999

[5] A.R. van Goor, M.J. Ploos van Amstel, W. Ploos van Amstel: *Fysieke distributie: denken in toegevoegde waarde*, Stenfert Kroese, Vierde druk, 1999

[6] Erik de Lange, Jacqueline de Lange: *Functioneel Ontwerp Automatische Regelkring Reguliere PQ-Forecast PROM*, Release 10

[7] Jacco Rijkaart: *Functioneel Ontwerp Reguliere PQ Berekening PROM*, Release 6

[8] Mirjam de Wit, Gerda Breeschouten en Peter Nouwen: *Functioneel Ontwerp Bepaal settings*, Release 12

[9] prof. dr. J. Oosterhoff en prof. dr. A.W. van der Vaart: *Algemene Statistiek*, Najaar 2001

[10] Spyros Makridakis, Steven C. Wheelwright, Rob J. Hyndman: *Forecasting: methods and applications*, New York, N.Y.: Wiley, Derde editie, 2003

[11] Marianne Horsch: *Vraagvoorspelling en bestelregels in de retail*, BWI werkstuk, 20 december 2004