

Het verbeteren van de productieplanning bij Bedrijf X op een tactisch niveau

Bacheloropdracht Technische Bedrijfskunde, Universiteit Twente,

UNIVERSITEIT TWENTE.

Publieke versie

Dit rapport is een publieke versie. Namen, getallen en
bijlagen die gevoelige informatie bevatten voor het
bedrijf zijn waar nodig aangepast of weggelaten.

Eindverslag

7-10-2016

Auteur:

Michiel Harmsen

Begeleiding Universiteit Twente:

Eerste begeleider: Dr. Ir. Ahmad Al Hanbali

Tweede begeleider: Dr. Ir. L.L.M. van der Wegen

Voorwoord

Voor u ligt het verslag “het verbeteren van de productieplanning bij BEDRIJF X op een tactisch niveau”. Het betreft een onderzoek naar de afweging van variabelen met betrekking tot de productieplanning. Het onderzoek heeft plaatsgevonden bij BEDRIJF X. Voor mij was dit een goede mogelijkheid om de opgedane kennis uit de bachelor toe te passen en te kijken hoe het er bij een bedrijf in de praktijk aan toe gaat.

Ik wil graag van de mogelijkheid gebruik maken om de mensen te bedanken die mij hebben geholpen bij mijn onderzoek. Allereerst de medewerkers van BEDRIJF X die de tijd hebben genomen om mij informatie te verstrekken en in het bijzonder Externe begeleider 1 die als begeleider vanuit BEDRIJF X mijn eerste aanspreekpunt was. Daarnaast wil ik graag mijn begeleiders vanuit de Universiteit Twente, Dr. Ir. Ahmad Al Hanbali als eerste begeleider en Dr. Ir. L.L.M. van der Wegen als tweede begeleider, bedanken voor de begeleiding en feedback die ik van ze heb mogen ontvangen.

Enschede, Oktober 2016

Michiel Harmsen

Managementsamenvatting

Door de invoering van demand driven material requirements planning (DDMRP) heeft er binnen BEDRIJF X een verschuiving plaatsgevonden van het produceren op voorraad naar assembleren wanneer een order daadwerkelijk binnenkomt. Naar aanleiding hiervan zijn voorraden afgenomen, waardoor een aanzienlijke kostenbesparing is gerealiseerd. Tegelijkertijd rijst de vraag of deze ontwikkeling wenselijk en haalbaar is, gezien de grote fluctuaties in de vraag gedurende het jaar. Simpel gezegd moet er een afweging worden gemaakt tussen het opbouwen van voorraad en het vergroten van de arbeidscapaciteit, om pieken in de vraag op te vangen. Er is dan ook behoefte aan een model waarmee meer inzicht wordt verkregen in het afwegen van variabelen met betrekking tot de productieplanning.

In dit verslag zal een model worden aangedragen waarmee de totale kosten van de productieplanning geminimaliseerd kunnen worden. Uit de uitkomst van het model blijkt dat een hoge voorraad onnodig hoge kosten met zich meebrengt. Voor de invoering van DDMRP lagen er constant tussen de twintig en dertig systemen op voorraad. In de optimale oplossing van het aangedragen model komt de voorraad niet boven de zestien systemen uit en hiermee wordt een besparing van ongeveer €326.000 gerealiseerd.

De beste manier om de fluctuaties in de vraag gedurende het jaar op te vangen is door een flexibele schil van uitzendkrachten te gebruiken en personeel te laten overwerken. Uitzendkrachten kunnen worden aangenomen wanneer de vraag stijgt en kosteloos worden ontslagen wanneer zij niet meer nodig zijn. Uitzendkrachten moeten echter wel worden ingewerkt en ze moeten wennen aan het werktempo. Daardoor kan het in sommige periodes voordelig zijn om het huidige personeel te laten overwerken (tegen een hoger uurtarief), dan om een extra uitzendkracht in dienst te nemen. Dit betekent niet dat het voorraadniveau constant is gedurende het jaar, maar het opbouwen van voorraad is vanuit een kostenperspectief niet het beste instrument om de stijging in de vraag op te vangen.

Er kan geconcludeerd worden dat de huidige trend van voorraadreductie wenselijk is. Het reduceren van de voorraad zorgt voor een flinke daling van de totale kosten en tevens is een hoge voorraad niet noodzakelijk om aan de vraag te kunnen voldoen. Bovendien kan door demand driven te produceren gemakkelijker worden ingespeeld op de vraag naar verschillende producttypes.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	6
1.1	Beschrijving BEDRIJF X.....	6
1.2	Probleemstelling.....	6
1.3	Onderzoeksdoel.....	6
1.4	Onderzoeksvragen.....	7
1.5	Scope en beperkingen	8
1.6	Opbouw verslag.....	9
2.	Situatiebeschrijving	10
2.1	Producten	10
2.2	Assemblage PRODUCTGROEP Y.....	10
2.3	Vraag.....	11
2.4	Personeel.....	11
2.5	Invoering DDMRP	11
2.6	Planning PRODUCTGROEP Y	12
2.7	Inkoop.....	13
2.8	Demand management.....	13
2.9	Conclusie hoofdstuk 2	14
3.	Theoretisch kader	15
3.1	Supply Chain Management	15
3.2	Productiesystemen.....	16
3.3	Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP).....	16
3.4	Aggregate planning	18
3.5	Aggregate planning strategieën	20
3.6	Conclusie hoofdstuk 3	21
4.	Aggregate Planning Model	22
4.1	Beslissingsvariabelen.....	22
4.2	Inputparameters.....	23
4.3	Doelfunctie	27
4.4	Beperkingen.....	27
4.5	Conclusie hoofdstuk 4	29
5.	Resultaten.....	30
5.1	Oplossing model	30
5.2	Gevoeligheidsanalyse	31

5.3	Strategie	32
5.4	Toepasbaarheid model.....	32
5.5	Conclusie hoofdstuk 5	33
6.	Conclusie, Discussie en Aanbevelingen.....	34
6.1	Conclusie	34
6.2	Discussie	35
6.3	Aanbevelingen.....	35
	Bibliografie	36
	Bijlagen	37
	Bijlage A.....	37
	Bijlage B	38
	Bijlage C.....	39
	Bijlage D.....	40

1. Inleiding

In dit hoofdstuk zal het onderzoek bij BEDRIJF X worden ingeleid. In paragraaf 1.1 zal eerst een korte beschrijving van BEDRIJF X worden gegeven. Daaropvolgend zal in paragraaf 1.2 de context worden omschreven om vervolgens de probleemstelling te kunnen definiëren. In paragraaf 1.3 zal het onderzoeksdoel worden besproken en in paragraaf 1.4 worden de onderzoeksvragen ter beantwoording van de probleemstelling beschreven. Daarna zullen in paragraaf 1.5 de scope en beperkingen van het onderzoek worden toegelicht en tot slot zal in paragraaf 1.6 een overzicht worden gegeven van de opbouw van dit verslag.

1.1 Beschrijving BEDRIJF X

Deze paragraaf is vanwege gevoelige informatie voor BEDRIJF X uit het verslag weggelaten.

1.2 Probleemstelling

BEDRIJF X heeft altijd te maken met grote schommelingen in de vraag naar hun producten in verschillende delen van het jaar. Met name het verschil tussen het eerste en het vierde kwartaal is aanzienlijk. Voorheen hanteerde het bedrijf een push strategie waarbij met voorraden werd gewerkt. Zo werden aan het begin van het jaar alvast producten geproduceerd zodat aan het eind van het jaar aan de vraag kon worden voldaan zonder de capaciteit te vergroten.

In mei 2015 is binnen de organisatie DDMRP ingevoerd. Dit heeft als gevolg dat BEDRIJF X bij de assemblage meer is gaan werken volgens een pull strategie waarbij de producten op order geproduceerd worden. Voorraden zijn afgenomen door de overgang, maar verder zijn de gevolgen van de invoering niet geheel duidelijk. Tevens is niet bekend of het met het oog op de kosten beter is om de schommelingen in de vraag op te vangen door voorraad op te bouwen richting het vierde kwartaal, of dat op de piekmomenten in de vraag de capaciteit moet worden vergoot (het aannemen van tijdelijk personeel).

Het probleem is voornamelijk dat er niet bekend is hoeveel producten er in elke periode geproduceerd moeten worden om de kosten zo laag mogelijk te houden. De ideale balans tussen voorraad en capaciteit is onbekend en tevens is er weinig zicht op andere factoren en kostenaspecten die van invloed zijn bij het bepalen van de meest kostenefficiënte productieplanning. Met productieplanning wordt de planning van de productie op de middellange termijn aangeduid, waarbij gekeken wordt naar bijvoorbeeld het aantal werknemers, de grootte van de voorraad en het aantal producten dat in elke periode geproduceerd moet worden. De aanleiding van het onderzoek en de bijbehorende relaties zijn weergegeven in bijlage A. Hier is in meer detail weergegeven waarom DDMRP is ingevoerd en hoe dit heeft geleid tot vragen omtrent de productieplanning. Er zal gefocust worden op het bepalen van de parameters van de productieplanning, om zo meer inzicht te krijgen in de optimale waarden van beslissingsvariabelen. De forecast is al erg specifiek en blijft ondanks de intentie om demand driven te produceren noodzakelijk om aan de levertijden te voldoen. Misschien kan de forecast nog verbeterd worden, maar hier zal in dit onderzoek niet naar gekeken worden.

1.3 Onderzoeksdoel

Er heeft sinds de invoering van DDMRP een verschuiving plaatsgevonden van 'make to stock' (MTS) naar 'assemble to order' (ATO). Het is echter niet duidelijk of het voordeliger is om de capaciteit te vergroten om aan de vraag te kunnen voldoen of dat het beter is om in rustige periodes alvast meer

te produceren om te anticiperen op de grotere vraag in latere periodes. Er zal worden gestreefd naar een hybride systeem waarbij de voordelen van zowel MTS als MTO worden gecombineerd. Het doel hierbij is dat de productieplanning verbeterd wordt op een manier waarbij de fluctuaties in de vraag op een kostenefficiënte manier worden opgevangen. Hierbij moet er meer duidelijkheid komen over de optimale waardes voor onder andere de productie, voorraad en capaciteit.

1.4 Onderzoeksvragen

BEDRIJF X is op zoek naar een manier om de productie te plannen op een manier waarbij de kosten minimaal zijn. Hiervoor worden voorspellingen gedaan met betrekking tot de afname van de producten over het jaar heen. Op basis van deze voorspellingen moet een optimum worden bepaald. 'Aggregate planning' biedt een basis om dit probleem aan te pakken. Aggregate planning is een proces waarmee een bedrijf de capaciteit, productie, uitbesteding, voorraad, stockouts en zelfs prijzen over een bepaalde tijdshorizon kan bepalen (Chopra & Meindl, 2013). Een bedrijf moet anticiperen op de verwachte vraag en van tevoren bepalen hoe ze aan die vraag willen gaan voldoen (Chopra & Meindl, 2013). Moet de capaciteit zo groot zijn dat zelfs in de drukste maanden aan de vraag kan worden voldaan of is het beter om een kleinere capaciteit te hebben waarbij in rustige periodes voorraad wordt gecreëerd in anticipatie op drukkere periodes later in het jaar? Veel beslissingen vanuit het management vereisen informatie over het aantal te produceren producten in het komende jaar of langer (Hopp & Spearman, 2008). Met behulp van aggregate planning kan een bedrijf over een bepaalde periode bepalen hoe groot bijvoorbeeld de capaciteit, productie en voorraad moeten zijn om aan de vraag te kunnen voldoen en de kosten te minimaliseren (Chopra & Meindl, 2013).

Bij het bepalen van een dergelijk optimum is het ook belangrijk om te kijken naar de beperkingen voor het bedrijf bij het voldoen aan de vraag van klanten. Hierbij kan worden gedacht aan de capaciteit van de productiefaciliteit en het vermogen van leveranciers om onderdelen tijdig te leveren. Met behulp van lineair programmeren kan de oplossing gevonden worden waarbij de kosten minimaal zijn en tegelijkertijd aan de beperkingen van het bedrijf wordt voldaan (Chopra & Meindl, 2013). De benodigde informatie zal worden vergaard door middel van datacollectie en het houden van interviews. Om dit te kunnen onderzoeken is de volgende hoofdvraag opgesteld:

Hoofdvraag

Hoe kan BEDRIJF X op basis van de verwachte vraag de productieplanning dusdanig inrichten dat de productiekosten minimaal zijn, waarbij de kwaliteit en tijdige levering van producten gewaarborgd blijft?

Deelvragen

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag zal allereerst de huidige situatie in kaart worden gebracht. Door te kijken welke kosten BEDRIJF X op dit moment belangrijk acht bij dergelijke beslissingen zal meer inzicht worden verkregen in hoe op dit moment wordt bepaald hoeveel producten er per periode moeten worden geproduceerd. Daarnaast zal hier worden bekeken in hoeverre de productieplanning voor en na de invoering van DDMRP van elkaar verschillen. Om de huidige situatie in kaart te brengen zijn de volgende deelvragen opgesteld:

Huidige situatie

- Hoe wordt op dit moment bepaald hoeveel producten er elke periode moeten worden geproduceerd?

- Wat is het verschil tussen de productieplanning voor en na de invoering van DDMRP?

Vervolgens zal verder worden ingegaan op de verschillende productiesystemen die vaak worden toegepast. Daarnaast zal een theoretische onderbouwing worden gegeven voor het bepalen van het optimale productieniveau in elke periode. Hiervoor is het van belang om te weten welke beslissingsvariabelen van invloed zijn bij het bepalen van dit optimum, welke parameters als input moeten dienen en of deze parameters meetbaar zijn. Daarnaast moet een manier worden gevonden om de beslissingsvariabelen en inputparameters te modelleren zodat het theoretisch optimum kan worden bepaald. Bovendien zal een model het voor BEDRIJF X vergemakkelijken om in de toekomst soortgelijke analyses uit te blijven voeren. In relatie tot de theoretische onderbouwing zijn de volgende deelvragen opgesteld:

Deelvragen theorie

- Wat is het verschil tussen een push strategie en een pull strategie?
- Welke verschillen bestaan er tussen productiesystemen?
- Hoe kan de productieplanning worden gemodelleerd?
- Welke strategieën zijn er om met de productieplanning om te gaan?

Op basis van de theorie zal worden gekeken hoe het model toe te passen is op BEDRIJF X. Hiervoor zullen de beslissingsvariabelen, input parameters en beperkingen moeten worden vastgesteld. Aan de hand hiervan kan de doelfunctie van het model worden bepaald. De volgende deelvragen moeten hier antwoord op geven:

Oplossing

- Welke beslissingsvariabelen zijn van invloed bij de productieplanning?
- Welke parameters moeten als input dienen voor het model?
- Wat is de doelfunctie van het model?
- Zijn er beperkingen waar het model aan moet voldoen?

Op basis van het opgestelde model en de verwachte vraag bij BEDRIJF X kan worden gekeken naar het optimale productieniveau. Omdat dit een theoretische benadering is zal worden gekeken of de uitkomst van het model in de praktijk ook toepasbaar is en of de invoering van DDMRP hierop van invloed is. In dit kader zijn de volgende deelvragen geformuleerd:

Resultaat

- Wat is op basis van de verwachte vraag voor 2016 het ideale productieniveau?
- Is de uitkomst van het model toepasbaar in de praktijk?

1.5 Scope en beperkingen

Het doel van deze studie is om op tactisch niveau op basis van voorspellingen te bepalen wat de optimale productieplanning is voor BEDRIJF X. Op tactisch niveau houdt in dat de focus zal liggen op de aanwending van productiefactoren op de middellange termijn en het betreft het management van de uitvoeringsprocessen. Hiermee kan de juiste balans gevonden worden tussen onder andere voorraad en capaciteit waardoor de kosten geminimaliseerd kunnen worden. Omdat het onderzoek zich richt op tactische beslissingen en BEDRIJF X zelf bezig is om meer inzicht te krijgen in het operationele niveau zullen het operationele en het strategische niveau minder belicht worden in deze studie.

BEDRIJF X produceert een breed scala aan producten met verschillende specificaties. Vanwege de diversiteit aan informatie van de verschillende producten zal de studie zich richten op één type product; de PRODUCTGROEP Y. Benodigde informatie zal hierdoor gerichter kunnen worden verzameld en de complexiteit zal afnemen.

Het doel is om een rekenmodel op te leveren aan de hand waarvan BEDRIJF X, zoals eerder beschreven, betere tactische beslissingen kan nemen. Het onderzoek zal zich richten op de PRODUCTGROEP Y, maar het model zal ook toepasbaar zijn op andere producten. Hiervoor zullen wel data nodig zijn van deze specifieke producten of productgroepen die in deze studie verder niet aan de orde zullen komen.

1.6 Opbouw verslag

In dit hoofdstuk is reeds het probleem van BEDRIJF X beschreven en tevens zijn de doelstellingen van het onderzoek kenbaar gemaakt. In hoofdstuk 2 zal verder worden ingegaan op de huidige situatie van BEDRIJF X. Aanleiding van het onderzoek is de invoering van DDMRP en veranderingen door de invoering zullen hier verder worden bekeken. Daarnaast zal gekeken worden hoe de productieplanning op dit moment in zijn werk gaat.

Vervolgens zal in hoofdstuk 3 aggregate planning, gebruikmakend van lineair programmeren (LP), worden uitgewerkt. Dit hoofdstuk zal zich voornamelijk focussen op literatuuronderzoek waarin wordt gekeken welke variabelen als input moeten dienen voor het LP-model. Daarnaast zal hier worden beschreven hoe de variabelen geoperationaliseerd kunnen worden.

Hoofdstuk 4 zal zich richten op het opstellen van het model met behulp van de in hoofdstuk 3 gevonden variabelen. Met behulp van dit model zal een analyse worden uitgevoerd waarbij op basis van de verwachte vraag, een optimale planning voor de productie kan worden gemaakt.

In hoofdstuk 5 zullen de resultaten van het model besproken worden. Er zal worden gekeken of theoretisch optimum ook in de praktijk haalbaar is. Tot slot zal het verslag worden afgesloten met een conclusie, een discussie met verbeterpunten voor het onderzoek en zullen enkele aanbevelingen worden gedaan.

2. Situatiebeschrijving

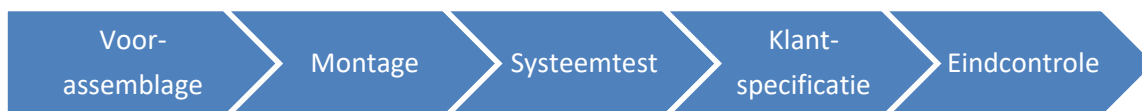
In dit hoofdstuk zal de huidige situatie van BEDRIJF X worden geschetst. In paragraaf 2.1 en 2.2 zullen de producten en het assemblageproces aan bod komen. Vervolgens zullen in paragraaf 2.3 en 2.4 de spreiding in de vraag en de daaruit volgende capaciteitsproblemen worden besproken. Daarna zal in 2.5 worden ingegaan op de invoering van DDMRP. In 2.6 t/m 2.8 zullen een aantal relevante processen worden besproken en de invloed die DDMRP hier op heeft. In paragraaf 2.9 zullen de conclusies naar aanleiding van hoofdstuk 2 worden besproken. Dit hoofdstuk heeft betrekking op de deelvragen over de huidige situatie.

2.1 Producten

Deze paragraaf is vanwege gevoelige informatie voor BEDRIJF X uit het verslag weggelaten.

2.2 Assemblage PRODUCTGROEP Y

Het productieproces van de PRODUCTGROEP Y bestaat uit vijf stappen. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat alle onderdelen van tevoren zijn gepickt en klaarliggen. Onderstaande figuur geeft het productieproces weer.



Figuur 2.3: productiestappen PRODUCTGROEP Y

De eerste stap van het productieproces is de voorassemblage. Een systeem bestaat uit ongeveer 350 losse onderdelen, exclusief bevestigingsonderdelen. Deze worden bij de voorassemblage in elkaar gezet. In het geval van de PRODUCT B gaat dit om 22 verschillende voorassemblages. Bij de montage worden de componenten vervolgens gemonteerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van vijf verschillende werkstations waar de voorassemblages in de kasten worden geplaatst. Op de vijf werkstations worden in totaal 25 verschillende stappen uitgevoerd. Bij de productie komt het geregeld voor dat een werknemer verantwoordelijk is voor de handelingen op meerdere werkstations in verschillende productiestappen.

Wanneer een systeem volledig gemonteerd is, wordt het getest op basisfunctionaliteit. Hierbij wordt gedurende een test van ongeveer XXX uur gecontroleerd of het systeem aan de eisen voldoet en of alles naar behoren werkt. Wanneer dit niet het geval is, kan een monteur op basis van de foutmelding aanpassingen verrichten aan het systeem. Hierna wordt de test opnieuw gestart. Dit proces wordt herhaald totdat er geen foutmeldingen meer zijn.

De volgende stap is het aanpassen van de software voor het systeem aan de specifieke wensen van de klant. Tot aan deze stap zijn alle systemen van een bepaald type gelijk aan elkaar. Na deze stap is ieder systeem uniek. De laatste stap is de eindcontrole. Hier wordt voor de laatste keer gecontroleerd of het systeem aan alle eisen voldoet. Wanneer alles naar behoren werkt, kan het product klaargemaakt worden voor verzending naar de klant.

Voorheen was er tussen stap drie en vier (systeemtest – klantspecificatie) een duidelijke buffer. De monteurs maakten aan een stuk door PRODUCTGROEP Y. Tot aan stap vier waren PRODUCTGROEP Y nog niet voor een specifieke klant bestemd en lagen er dus (vrijwel) altijd systemen op voorraad. Dit zorgde ervoor dat een medewerker van de eindcontrole, die ook verantwoordelijk is voor het instellen van de software voor een specifieke klant, nooit werd opgehouden. Door de invoering van DDMRP wordt pas begonnen met het maken van het systeem wanneer een klant een order plaatst. Dit betekent dus dat systemen vanaf stap 1 al aan een klant gekoppeld zijn en hierdoor liggen er tussen stap drie en vier in plaats van tussen de twintig en dertig, slechts vijf systemen op voorraad. Dit heeft echter wel tot gevolg dat de medewerker van stap vier en vijf (klantspecificatie en eindcontrole) soms moet wachten totdat een systeem de eerste drie stappen heeft doorlopen.

2.3 Vraag

In onderstaande tabel is de verwachte vraag over 2016 voor de PRODUCTGROEP Y van BEDRIJF X weergegeven. In de tabel is goed te zien dat voor alle systemen geldt dat de vraag in het vierde kwartaal aanzienlijk hoger is dan de vraag in het eerste kwartaal. In bijlage B is de verwachte vraag over 2016 per systeem in meer detail weergegeven.

Deze tabel is vanwege gevoelige informatie voor BEDRIJF X uit het verslag weggelaten.

Het verschil in vraag zorgt voor problemen bij de productieplanning, omdat door de verschillen in de vraag ook een verschil zit in de benodigde capaciteit om deze systemen te kunnen produceren. Dit zal hieronder verder worden geïllustreerd aan de hand van het benodigde personeel.

2.4 Personeel

Een van de grote vragen waar BEDRIJF X mee zit is hoe ze hun personeel in moeten zetten. In de huidige situatie is op basis van de verwachte vraag een voorspelling gedaan hoeveel personeel er nodig is om alle producten op klantorder te produceren en aan de vraag te kunnen voldoen. Uitgaande van het standaard aantal werknemers kan per afdeling gekeken worden hoeveel werknemers PANalytical in ieder kwartaal tekort komt, dan wel over heeft. In bijlage C is op basis van de capaciteitsbehoefte en beschikbare capaciteit uitgewerkt hoeveel FTE (Full time equivalent) BEDRIJF X over heeft, dan wel tekort komt voor de te vervaardigen systemen.

Gekeken naar het totaal van operations valt op dat in de eerste twee kwartalen respectievelijk 8,6 en 6,0 FTE over zijn, terwijl BEDRIJF X in de laatste twee kwartalen van het jaar respectievelijk 5,4 en 16,1 FTE tekort komt. Dit betekent in feite dat er een verschil van 24,7 FTE is tussen het laatste kwartaal van het ene jaar en het eerste kwartaal van het daarop volgende jaar (ervan uitgaande dat de vraag in beide jaren ongeveer gelijk is). Ook als we specifiek naar de PRODUCTGROEP Y kijken is te zien dat er in de eerste helft van het jaar capaciteit (personeel) over is terwijl er in de tweede helft van het jaar een tekort is. Er zijn verschillende manieren om hiermee om te gaan. Zo kan dit bijvoorbeeld worden opgevangen door in rustige periodes voorraad op te bouwen voor de drukkerie periodes. Een andere optie is om in de drukke periodes extra (tijdelijk) personeel in dienst te nemen. In hoofdstuk 3 zal verder worden ingegaan op verschillende strategieën waarmee dit probleem kan worden opgelost.

2.5 Invoering DDMRP

De reden dat DDMRP is ingevoerd, is dat ondanks dat de systemen in basis standaard zijn, de uiteindelijke klantensystemen altijd van elkaar verschillen. Voorheen werd de planning gedaan op

basis van een generieke prognose voor de te vervaardigen eindproducten. Om toch aan de verscheidenheid van klantwensen te kunnen voldoen, ontstonden er onnodig hoge kosten. Deze kosten werden bijvoorbeeld veroorzaakt door inefficiënte voorraadniveaus (zowel onnodig hoge voorraden als een tekort aan onderdelen), met extra kosten binnen operations als gevolg. Verder kan worden gedacht aan een inefficiënte bezetting, overwerk, herplannen van inkooporders en speciale transporten.

De belangrijkste wijzigingen die tot nu toe zijn doorgevoerd, zijn aanpassingen aan het BRM (business resource management) proces en routing op basis van het DDMRP principe. Met aanpassingen aan het BRM proces wordt bedoeld dat productiemiddelen zoveel mogelijk worden ingezet op het moment dat ze daadwerkelijk nodig zijn. Dit kan betrekking hebben op voorraden, maar bijvoorbeeld ook op een efficiënte bezetting van het personeel en machines. Op dit moment is met name op het gebied van voorraad een aanzienlijke besparing gerealiseerd. In onderstaande figuur is de voorraad gedurende een jaar, sinds de invoering van DDMRP weergegeven. Hierbij is te zien dat de totale voorraad na de invoering van DDMRP met ongeveer €XXX is afgenomen. In alle categorieën is een daling waarneembaar, maar de afname van het aantal basiscomponenten zorgt voor de grootste daling van de totale voorraad. In bijlage D is de totale voorraad uitgesplitst in beginvoorraad en work in progress (WIP).

Grafiek 2.1 is vanwege gevoelige informatie voor BEDRIJF X uit het verslag weggelaten.

2.6 Planning PRODUCTGROEP Y

BEDRIJF X communiceert voor de PRODUCTGROEP Y een levertijd van vier weken naar haar klanten. De doorlooptijd bedraagt echter zeven weken wanneer er volledig volgens DDMRP zou worden geproduceerd. Er bestaat dus een discrepantie van drie weken. Om toch binnen vier weken te kunnen leveren wordt er op basis van forecast alvast materiaal in huis gehaald voor de verwachte systemen. Voor elk systeem waarvoor de kans bestaat dat er een order binnenkomt, moet dus materiaal op voorraad liggen om aan de levertijd te kunnen voldoen. De planning geeft echter pas orders vrij voor de productie wanneer deze daadwerkelijk zijn geplaatst. Wanneer een order wel in de forecast staat maar uiteindelijk niet geplaatst wordt, wordt deze in de planning doorgeschoven naar de daarop volgende week. Hierdoor kan het voorkomen dat de orders en voorraad zich in een bepaalde week opstapelen. De orders die wel binnenkomen worden gepland op basis van wanneer de klant het systeem wil hebben of wanneer er ruimte is in de planning. Wanneer het een spoedorder betreft wordt geprobeerd om hier in elk individueel geval een oplossing voor te vinden. Wanneer het niet mogelijk is om een order op korte termijn in te plannen kan het zijn dat de levertijd in een enkel geval wordt overschreden. Er wordt echter niet bewust met backlogs gewerkt om bijvoorbeeld de kosten te drukken.

Voor de invoering van DDMRP werden er ook al basissystemen geassembleerd op forecast. Hierdoor lagen er tussen de 20 en 30 systemen van verschillende types klaar. Deze hoefden alleen nog klantspecifieke software te krijgen en door de eindcontrole. Wanneer er een order binnenkwam voor een dergelijk systeem kon deze dan ook snel klaar zijn omdat alleen de laatste stappen nog ingepland hoefden te worden. Op dit moment zijn dit nog maar ongeveer vijf systemen, wat een duidelijk signaal is dat er specifieker op order wordt geproduceerd.

2.7 Inkoop

De afdeling strategische inkoop is binnen BEDRIJF X verantwoordelijk voor de contacten en contracten met leveranciers. Op basis van non-disclosure wordt contact gelegd met leveranciers en wordt onderhandeld met leveranciers over de inhoud van de contracten. Het doel hierbij is om zo flexibel mogelijk te zijn bij de aankoop van onderdelen. Hierbij probeert inkoop de goede balans te vinden tussen het houden van een zo klein mogelijke voorraad binnen BEDRIJF X, zonder het gevaar te lopen dat onderdelen niet meer op voorraad zijn. De grootte van de batches en de hoeveelheid producten die naar leveranciers worden gecommuniceerd gebeurt op basis van voorspellingen van de vraag. De vraag naar systemen van BEDRIJF X varieert sterk in verschillende periodes van het jaar en BEDRIJF X verwacht van haar leveranciers dat zij deze vraag kunnen volgen, hoewel dit in de meeste gevallen niet contractueel is vastgelegd.

Zoals gezegd probeert BEDRIJF X de voorraad klein te houden, maar is het wel van belang dat er altijd genoeg onderdelen beschikbaar zijn. Om te zorgen dat de voorraad niet opraakt wordt er gewerkt met een minimumvoorraad. Wanneer de voorraad van een bepaald onderdeel onder dit 'reorder point' (ROP) zakt, volgt er direct actie om deze voorraad aan te vullen. In sommige gevallen kunnen deze onderdelen direct worden afgeroepen bij de leverancier. Het kan ook zo zijn dat de leverancier nog moet beginnen met het produceren van deze onderdelen. Bij een piek in de vraag kan het ROP eventueel tijdelijk worden verhoogd om de aanwezigheid van onderdelen te garanderen. Hierbij wordt zoveel mogelijk gewerkt met een fixed order quantity (FOQ). Op deze manier wordt een standaard hoeveelheid onderdelen besteld wanneer het voorraadniveau onder het ROP zakt. Dit valt echter wel buiten de scope van het onderzoek en hier zal dan ook niet dieper op worden ingegaan.

2.8 Demand management

Demand management (DMG) is zowel verantwoordelijk voor de orders die binnenkomen als voor de producten die klaar zijn om naar de klant verstuurd te worden. Bovendien is deze afdeling tijdens het productieproces het aanspreekpunt van de klant wanneer zij vragen hebben of wanneer er wijzigingen aan de order moeten worden doorgevoerd.

Voor elk type systeem is er een levertijd die naar de klanten wordt gecommuniceerd. In het geval van de PRODUCTGROEP Y bedraagt deze levertijd vier weken. Door de invoering van DDMRP kan er pas later worden begonnen met de productie. Er liggen minder producten op voorraad en dat maakt het lastiger om pieken in de vraag op te vangen. In de eerste helft van het jaar hoeven er relatief weinig systemen gemaakt te worden, waardoor deze gemakkelijk binnen de gestelde levertijd bij klanten kunnen worden bezorgd. De vraag in de tweede helft van het jaar ligt echter aanzienlijk hoger en hier zorgt DDMRP voor problemen. Wanneer volgens het DDMRP principe pas na het binnenkrijgen van de order wordt begonnen met het productieproces, lukt het niet om de systemen binnen de gestelde levertijd bij de klant te bezorgen. Om toch aan de vraag te kunnen voldoen wordt in zulke gevallen afgeweken van DDMRP en worden de systemen met de hoogste verwachte vraag deels op voorraad geproduceerd. Soms komt het voor dat systemen niet op tijd bij klanten kunnen worden afgeleverd. Wanneer dit gebeurt, verliest BEDRIJF X hier echter niet veel klanten door. Doordat het hier gaat om producten met een hoogwaardige kwaliteit zijn klanten vaak best bereid om langer op hun product te wachten. Uiteraard is wel het streven om alle systemen binnen de gestelde levertijd bij de klant te bezorgen.

DMG is ook verantwoordelijk voor de forecast. De forecast wordt bepaald op basis van de aantallen die de drie regio's waarin BEDRIJF X opereert afgeven. De aantallen die de regio's doorgeven worden gebaseerd op contact met klanten en de verwachting van hoeveel producten zij gaan afnemen. Doordat BEDRIJF X een grote diversiteit aan producten heeft met een kleine afzet wordt de forecast gebaseerd op intentieonderzoek en niet op verkopen in het jaar ervoor. Bovendien verandert de markt constant waardoor verkopen in bepaalde delen van de wereld flink kunnen veranderen en het verleden geen goede graadmeter is voor de toekomstige vraag. De verschillende regio's maken een forecast per maand en voor het hele jaar. Daarnaast moet halverwege het lopende jaar ook de forecast voor het daarop volgende kalenderjaar worden doorgegeven. Er wordt dus een forecast gemaakt per maand voor de komende anderhalf jaar. De forecast wordt maandelijks bijgewerkt. Wanneer er minder orders worden geplaatst dan de vraag die werd verwacht moet worden aangegeven of deze orders later nog wel gaan komen of dat ze verloren zijn gegaan. Aan de hand van deze informatie kan de forecast en het productieplan worden aangepast. Soms hoeft alleen de maandelijks forecast te worden aangepast en blijft de forecast over het hele jaar hetzelfde. Doordat er aan de hand van de forecast onderdelen worden ingekocht, kan het voorkomen dat er niet de juiste hoeveelheden van onderdelen op voorraad zijn. Hierdoor worden onderdelen soms gedurende lange tijd niet gebruikt. Dit is echter een risico dat genomen moet worden om aan de gestelde levertijden te kunnen voldoen.

2.9 Conclusie hoofdstuk 2

Door de invoering van DDMRP wordt er steeds meer op order geproduceerd. Voorheen werd de planning gedaan op basis van generieke prognose en lagen er op de afdeling PRODUCTGROEP Y twintig tot dertig systemen op voorraad. Door de grote verscheidenheid aan producten ontstonden er onnodig hoge kosten. Nu wordt een order pas vrijgegeven voor productie wanneer deze daadwerkelijk geplaatst is. De gestelde levertijd is echter korter dan de totale doorlooptijd en hierdoor worden onderdelen waar nodig nog steeds ingekocht op basis van forecast. Het produceren op order zorgt er wel voor dat er aanzienlijk minder PRODUCTGROEP Y op voorraad liggen en ook in de totale voorraad is een flinke afname waarneembaar. De sterk variërende vraag in verschillende delen van het jaar zorgt hierbij ook voor problemen. Bij een piek in de vraag wordt soms afgeweken van DDMRP om toch aan de beloofde levertijd te kunnen voldoen.

3. Theoretisch kader

In dit hoofdstuk zal het theoretisch kader worden besproken. Eerst zal in paragraaf 3.1 worden ingegaan op supply chain management en het verschil tussen push en pull. In paragraaf 3.2 en 3.3 zal nader worden ingegaan op verschillende productiesystemen. In paragraaf 3.4 en 3.5 zullen achtereenvolgens aggregate planning en aggregate planning strategieën aan bod komen. In 3.6 wordt de conclusie van hoofdstuk 3 behandeld. Na dit hoofdstuk is er meer bekend over de deelvragen met betrekking tot de theorie.

3.1 Supply Chain Management

De rol van supply chain management (SCM) wordt steeds belangrijker. De uitdaging is om activiteiten in de supply chain zo te coördineren dat het prestatievermogen verbetert: kosten reduceren, serviceniveau verbeteren, bullwhip effect verminderen, productiemiddelen efficiënter benutten en beter aan kunnen passen aan de vraag (Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2009). Traditioneel wordt er vaak onderscheid gemaakt tussen push en pull strategieën. Het verschil tussen push en pull is dat push systemen orders plannen op basis van informatie buiten het systeem, terwijl pull systemen zich baseren op informatie van binnen het systeem (Hopp & Spearman, 2008). Bij een push strategie zijn de productie en distributie vaak gebaseerd op lange termijn voorspellingen en is het lastig om te reageren wanneer de markt verandert (Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2009). Push systemen worden vaak gekenmerkt door veel voorraden, wachtrijen en systemen in rusttoestand (Slack, Chambers, & Johnston, 2010). Bovendien is het lastig te bepalen of voor de capaciteit moet worden uitgegaan van de gemiddelde of de piekvraag. Dit kan hoge kosten tot gevolg kan hebben wanneer de productie moet worden aangepast (Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2009).

Bij een pull strategie worden de productie en distributie gedreven door de klant. Hierdoor worden de productie en distributie gebaseerd op de daadwerkelijke vraag van klanten in plaats van de voorspelde vraag (Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2009). De klant fungeert hierbij dus als trigger voor het starten van het productieproces (Slack, Chambers, & Johnston, 2010). In een puur pull systeem is er dus geen voorraad nodig omdat er pas onderdelen bij leveranciers worden besteld wanneer de klant een order plaatst. Wanneer wordt gewerkt volgens een pull systeem is er dan ook vaak een aanzienlijke afname van voorraad waarneembaar. Daarnaast zorgt een pull systeem er in veel gevallen voor dat productiemiddelen efficiënter kunnen worden ingezet en dat de systeemkosten lager zijn dan bij een push systeem. Pull systemen zijn echter wel lastig te implementeren wanneer lead times zo lang zijn dat het niet praktisch om op de vraag te reageren. Bovendien is het lastiger om schaalvoordelen optimaal te benutten (Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2009).

Beide strategieën hebben voordelen en nadelen en dit leidt ertoe dat bedrijven constant op zoek zijn naar strategieën die het beste van push en pull combineren. Dit wordt ook wel een push-pull strategie genoemd. Hierbij worden bepaalde stappen in de de supply chain volgens een push strategie gedaan en de overige stappen volgens een pull strategie (Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2009). Meestal wordt een push strategie gehanteerd voor de stappen voor de assemblage en wordt vervolgens overgeschakeld op een pull strategie. Hierdoor kan bij inkoop van componenten gebruik worden gemaakt van het voordeel dat aggregate forecasts nauwkeuriger zijn (Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2009), terwijl eindproducten pas worden gemaakt wanneer de order daadwerkelijk binnenkomt. Een ander voorbeeld van een push-pull strategie is postponement. Hierbij worden de producten en processen vormgegeven op een manier waarbij de beslissing over

welk specifiek product gemaakt wordt, zo lang mogelijk kan worden uitgesteld. De algemene producten kunnen worden gemaakt op basis van forecast (push), terwijl de differentiatie pas ontstaat wanneer de orders daadwerkelijk binnenkomen (pull) (Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2009).

3.2 Productiesystemen

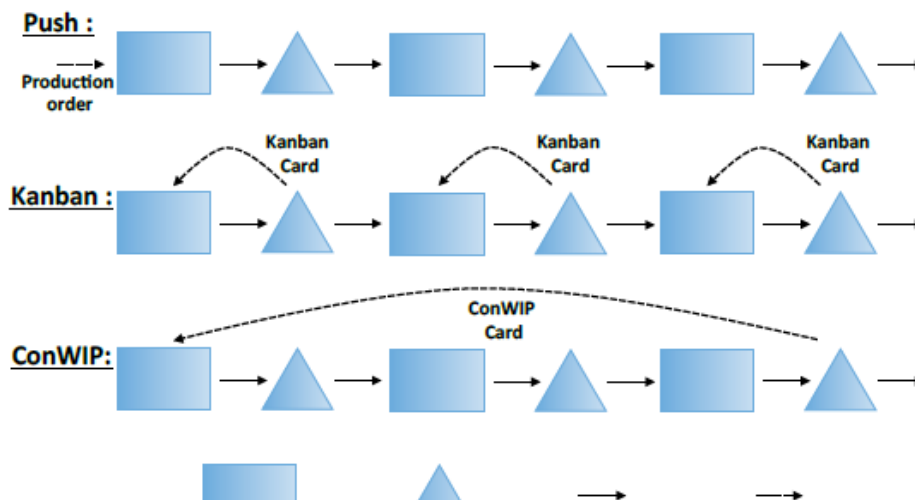
Material requirements planning (MRP) is een belangrijk onderdeel in vrijwel elke vorm van manufacturing management, zoals manufacturing resource planning (MRP II), business resource planning (BRP), enterprise resource management en SCM (Hopp & Spearman, 2008). In essentie is de functie van MRP het regelen van de materiaalbehoefte. Het richt zich voornamelijk op het plannen van de bewerkingen en op kooporders om aan de materiaalbehoefte te voldoen die door externe vraag wordt gegenereerd. Hierbij zorgt MRP voor de verbinding tussen de vraag van buiten de organisatie (onafhankelijke vraag) en de vraag naar componenten binnen de organisatie (afhankelijke vraag) om de producten met een onafhankelijke vraag te produceren. Doordat MRP bij het plannen uitgaat van wat geproduceerd zou moeten worden op basis van de verwachte vraag, is het een push systeem (Hopp & Spearman, 2008). Er zijn ook een aantal problemen aan MRP systemen verbonden. Zo gaat MRP uit van onbeperkte capaciteit, lang geplande lead times en het feit dat een kleine verandering in het master production schedule (MPS) kan leiden tot een grote verandering bij het vrijgeven van geplande orders (Hopp & Spearman, 2008). Deze problemen leidden tot de ontwikkeling van manufacturing resources planning (MRP II); een methode voor het effectief plannen van alle productiemiddelen in een productiebedrijf (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2015). Functies die MRP II onderscheiden van MRP zijn onder andere demand management, MPS en capaciteitsplanning (Hopp & Spearman, 2008). Hiermee kan de planning van de productie beter worden afgestemd op de vraag en kan er beter worden bepaald hoeveel producten er op de korte termijn moeten worden gemaakt.

Zoals eerder besproken richten pull systemen zich op het beheren van de productie op basis van de daadwerkelijke vraag. Een bekend voorbeeld van een pull systeem is Kanban. Dit is een productieproces op basis van just-in-time waarbij operators op de hoogte worden gehouden van de bufferconsumptie en deze buffer aanvullen op basis van voorraadprioriteiten en de real time beschikbaarheid van machines (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2015). Een ander pull systeem is ConWIP, waarbij er een limiet wordt gesteld op de WIP in een proces. In figuur 3.1 is het verschil weergegeven tussen Kanban, ConWIP en push systemen.

3.3 Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP)

DDMRP is een methode voor de productieplanning en besturing die de functionaliteit biedt van MRP en tegelijkertijd omgaat met de nadelen die MRP met zich meebrengt (Ptak & Smith, Orlicky's Material Requirements Planning, 3rd edition, 2011). Ptak en Smith (2011) onderscheiden vijf componenten die de basis vormen van DDMRP. Wanneer deze componenten niet samen worden toegepast zal dit in veel gevallen leiden tot een oplossing die niet optimaal is.

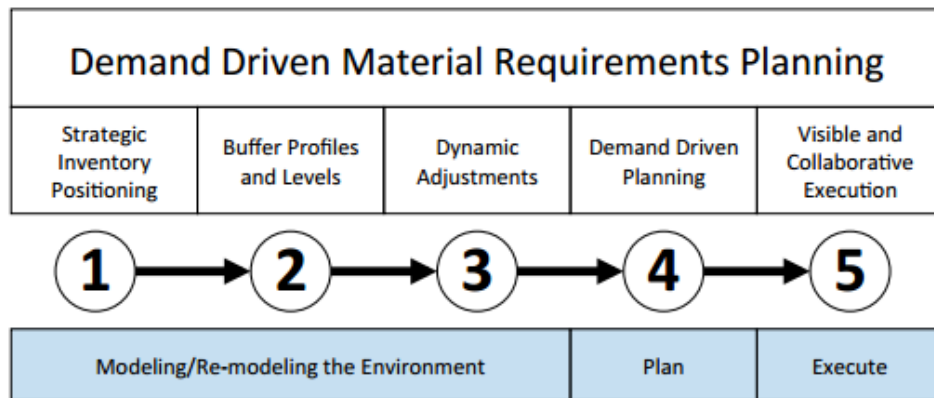
De eerste component van DDMRP is het strategisch positioneren van voorraad. Hierbij gaat het om de vraag waar voorraad moet worden gepositioneerd in plaats van hoeveel voorraad er moet worden gehouden (Ptak & Smith, 2008). Het strategisch plaatsen van voorraden helpt bij het inspelen op fluctuerende vraag en beperkt de variabiliteit in voorraad. Daarnaast kan het helpen om



Figuur 3.1: Verschillende productiesystemen (Miclo, Fontanili, Luras, Lamothe, & Milian, 2015)

de cumulatieve doorlooptijd te verminderen en de algehele stabiliteit te verbeteren. De tweede component zijn de bufferprofielen en levels. Voor de buffervoorraden worden drie zones bepaald: groen, geel en rood (Ptak & Smith, 2011). Rood is de veiligheidsvoorraad, geel de gemiddelde hoeveelheid waarbij voorraad moet worden aangevuld en groen is de grootte van de bevoorradiging. Wanneer een bepaald onderdeel een grote variabiliteit heeft kan het verstandig zijn om de rode zone groter te maken ten opzichte van de andere zones. Deze relatieve proportie van de zones is het bufferprofiel. Daarnaast moeten ook bufferlevels worden bepaald. Hierbij moet de grootte van de buffervoorraden worden berekend voor de geproduceerde, gekochte en gedistribueerde items. Hierbij wordt rekening gehouden met de average daily use (ADU), variabiliteit en doorlooptijd. De bufferlevels zijn de daadwerkelijke hoeveelheden van de voorraad (het voorraadniveau). Bij het derde aspect worden dynamische aanpassingen verricht. Hierbij worden aanpassingen verricht op basis van nieuwe berekeningen, geplande aanpassingen (bijvoorbeeld door seizoensfluctuaties) en handmatige veranderingen omdat de ADU verandert door externe factoren. De vierde component is de demand-driven planning. Waar traditionele MRP en MRP II systemen werken op basis van forecast (push), zorgt deze component ervoor dat de productie wordt getriggerd door een order die binnenkomt (pull). Het laatste onderdeel gaat over het zichtbaar maken van de staat van het systeem en samenwerken bij de uitvoering. Door signalen af te geven op basis van de staat van de buffer en de due date is duidelijker zichtbaar wanneer er handelingen vereist zijn. Daarnaast moeten er duidelijke afspraken worden gemaakt over de te maken beslissingen naar aanleiding van de staat van de buffers. In figuur 3.2 zijn de vijf componenten schematisch weergegeven.

Door deze vijf stappen te volgen, worden verschillende nadelen van MRP aangepakt. DDMRP maakt gebruik van een aantal methoden voor continue verbetering zoals theorie of constraint (TOC), lean en six sigma (Miclo, Fontanili, Luras, Lamothe, & Milian, 2015) om zo een nieuwe methode te creëren voor het plannen en besturen van productieprocessen.

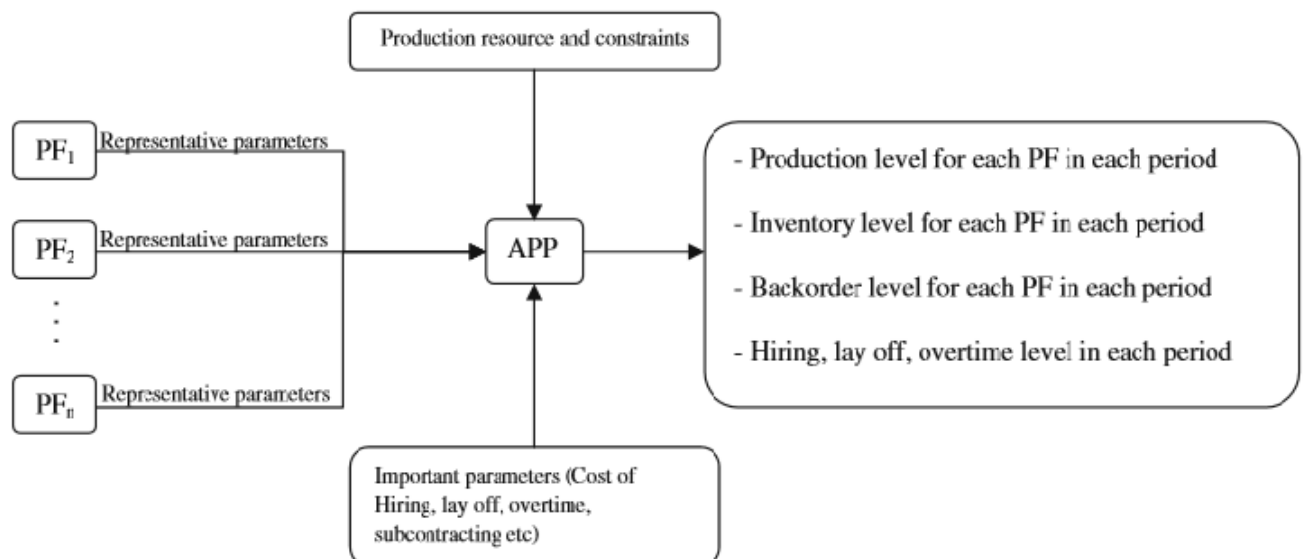


Figuur 3.2: De vijf stappen van DDMRP (Ptak & Smith, 2011)

3.4 Aggregate planning

In hoofdstuk 1 is al kort ingegaan op het gebruik van aggregate planning met behulp van lineair programmeren. In dit hoofdstuk zal verder worden ingegaan op de theoretische aspecten die bij deze studie van belang zijn.

Zoals eerder gezegd is het doel van aggregate planning om aan de vraag te kunnen voldoen en de kosten te minimaliseren (Chopra & Meindl, 2013). De planningshorizon die gebruikt wordt bij aggregate planning is meestal tussen de drie en achttien maanden (Sadeghi, Hashemi, & Hajiagha, 2013). Het is van belang dat het bedrijf bepaalt hoe lang elke periode in de planningshorizon is. Over het algemeen worden hiervoor periodes van een maand of kwartaal gebruikt (Chopra & Meindl, 2013). Aggregate planning helpt met het bepalen van de optimale productie, hoeveelheid personeel en voorraad voor elke periode. Verschillende productgroepen kunnen hierbij in beschouwing worden genomen (product family = PF). Er wordt rekening gehouden met een gegeven set van productiemiddelen en restricties. Een typisch aggregate planning proces kan als volgt worden weergegeven (Sadeghi, Hashemi, & Hajiagha, 2013):



Figuur 3.3: Een typisch aggregate planning proces

Een van de belangrijkste doelstellingen van de planner is het identificeren van de beslissingsvariabelen over de gestelde horizon. De volgende beslissingsvariabelen zijn hierbij van belang (Chopra & Meindl, 2013):

- **Production Rate:**
Het aantal producten dat per tijdseenheid geproduceerd moet worden
- **Workforce:**
Het aantal werknemers dat nodig is voor de productie
- **Overtime:**
De hoeveelheid werk gepland buiten de normaal geldende arbeidstijd
- **Machine Capacity Level:**
Het aantal machines dat nodig is voor de productie
- **Subcontracting:**
De benodigde onderaanneming in de planningshorizon
- **Backlog/Stockout:**
De vraag waaraan niet wordt voldaan in de periode waarin het zich voordoet
- **Inventory on hand:**
De beschikbare voorraad

Naast het in kaart brengen van de beslissingsvariabelen die belangrijk zijn bij het opstellen van een aggregate plan is het ook van belang dat het bedrijf informatie aanlevert waarmee de inputparameters van het model kunnen worden gedefinieerd. Volgens Chopra & Meindl (2013) is de volgende informatie van groot belang bij het opstellen van een aggregate plan:

- Verwachte vraag F_t voor elke periode t in de planningshorizon die T periodes beslaat
- Productiekosten
 - Arbeidskosten: normale tijd (€/uur) en overwerk (€/uur)
 - Kosten voor uitbesteding van de productie (€/uur of €/product)
 - Kosten voor het veranderen van de capaciteit → kosten om een werknemer in dienst te nemen of te ontslaan (€/werknemers) en de kosten om het aantal machines in de productie aan te passen (€/machine)
- Arbeidstijd en benodigde machine uren per product
- Voorraadkosten (€/product/periode)
- Nulvoorraad- (stockout) en achterstandskosten (backlog) – (€/product/periode)
- Beperkingen
 - Limieten op overwerk
 - Limieten op het ontslaan van personeel
 - Limieten op beschikbaar kapitaal
 - Limieten op stockout en backlog

De informatie met betrekking tot de parameters en beperkingen kan een bedrijf helpen om een aggregate plan op te stellen. De kwaliteit van het plan heeft directe invloed op de winstgevendheid van het bedrijf (Chopra & Meindl, 2013). Als het plan er bijvoorbeeld voor zorgt dat er te weinig voorraad en capaciteit is kan dit er toe leiden dat er niet aan de vraag kan worden voldaan. Dit is een gemiste kans op verkoop van producten en potentiële winst wordt hierdoor niet gerealiseerd. Anderzijds kan een slecht plan ook zorgen voor teveel voorraad en capaciteit wat onnodig veel kosten met zich meebrengt. Wanneer de parameters zorgvuldig worden bepaald zal dit het bedrijf helpen om de volgende waarden beter vast te stellen:

- Het aantal producten dat gemaakt moet worden in reguliere tijd, overwerk en uitbesteding. Dit kan worden gebruikt om het aantal werknemers te bepalen en de hoeveelheid onderdelen/producten die bij leveranciers moeten worden ingekocht voor de productie
- Bepalen van de voorraad. Dit is nodig voor het bepalen van de grootte van de opslag en de liquide middelen.

- Grootte van de stockout en achterstallige productie. Dit wordt gebruikt voor het bepalen van de servicegraad voor klanten.
- Het aantal werknemers dat in dienst moet worden genomen of moet worden ontslagen. Hiermee kan worden ingespeeld op eventuele problemen die zich voordoen met betrekking tot de hoeveelheid beschikbaar personeel.
- Verandering in de machine capaciteit. Dit is nodig om te bepalen of er nieuwe machines moeten worden aangeschaft.

Wanneer zowel de beslissingsvariabelen als de constanten zijn bepaald, kan de objective function worden opgesteld. Met behulp van deze objective function kan worden gezocht naar een aggregate plan waarvoor de totale kosten over de gestelde planningshorizon minimaal zijn (Chopra & Meindl, 2013).

3.5 Aggregate planning strategieën

Bij aggregate planning is het altijd belangrijk om een afweging te maken tussen capaciteit, voorraad en backlog kosten. Het verlagen van de kosten van de één zal in veel gevallen leiden tot een verhogen van de andere twee (Chopra & Meindl, 2013). Wanneer bijvoorbeeld de voorraad verkleind wordt, zal de capaciteit vergroot moeten worden om toch aan de vraag te kunnen blijven voldoen of de backlog kosten zullen oplopen. Het doel van de planner is dan ook om een afweging te maken waarbij de totale kosten minimaal zijn. Omdat een dergelijke afweging meestal over de drie bovengenoemde parameters gaat zijn er vaak drie verschillende strategieën te onderscheiden. Hierbij maakt een bedrijf keuzes met betrekking tot kapitaalinvestering, aantal personeelsleden, duur van de werkdag, voorraad en backlogs/lost sales. In veel gevallen wordt er echter niet gekozen voor een specifieke strategie maar wordt een combinatie gebruikt. Chopra & Meindl (2013) onderscheiden de volgende drie strategieën:

1. Chase strategie

Bij het gebruik van deze strategie wordt de grootte van de productie aangepast op de vraag door het aantal machines aan te passen en door personeel aan te nemen of te ontslaan (Chopra & Meindl, 2013). Dit kan lastig zijn, omdat het moeilijk is om op korte termijn de capaciteit en het aantal personeelsleden aan te passen. Bovendien kan het duur zijn om de capaciteit vaak aan te passen en personeel kan gedemotiveerd raken wanneer er regelmatig mensen worden aangenomen en ontslagen. Toch kan dit een goede strategie zijn wanneer de kosten voor het houden van voorraad hoog zijn en de kosten voor het veranderen van de capaciteit en aantal personeelsleden laag.

2. Tijd flexibiliteit van personeel of capaciteit strategie

Deze strategie kan gebruikt worden wanneer er teveel machinecapaciteit beschikbaar is. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat machines niet zeven dagen per week, de hele dag gebruikt worden. Bij deze strategie wordt het aantal personeelsleden (capaciteit) stabiel gehouden, maar wordt het aantal werkuren gevarieerd om aan de vraag te kunnen voldoen (Chopra & Meindl, 2013). Het vereist flexibiliteit van het personeel en het kan zijn dat werknemers hierdoor in overwerk moeten werken, maar het voorkomt problemen rondom het variëren van het aantal personeelsleden zoals dat bij de chase strategie het geval is. Voorraad is bij deze strategie klein, maar de gemiddelde benutting van capaciteit en personeel is lager dan bij de chase strategie. Deze strategie moet dan ook gebruikt worden wanneer als voorraadkosten hoog zijn en capaciteit relatief goedkoop is (Chopra & Meindl, 2013).

3. Level strategie

Bij deze strategie wordt gebruik gemaakt van een constante capaciteit (machines en personeel), waarmee een vast aantal producten wordt geproduceerd. Op het moment dat de vraag in een periode hoger of lager is dan de standaard productie, resulteert dit in fluctuaties in de voorraad. Voorraad wordt hierbij opgebouwd als anticipatie op drukker periodes in de toekomst, of backlogs worden overgedragen van periodes met veel vraag naar periodes met weinig vraag. Het voordeel van deze strategie is dat de werkomstandigheden voor het personeel stabiel zijn. Het nadeel is dat er grote voorraden en backlogs kunnen ontstaan doordat er wordt vastgehouden aan één bepaald productieniveau. De kosten voor het veranderen van de capaciteit zijn bij deze strategie relatief laag en het is slim om deze strategie te hanteren wanneer de voorraad- en backlogkosten relatief laag zijn (Chopra & Meindl, 2013).

3.6 Conclusie hoofdstuk 3

Het verschil tussen push en pull is dat push systemen orders plannen op basis van informatie buiten het systeem, terwijl pull systemen zich baseren op informatie van binnen het systeem. Om het beste van beiden te combineren worden push-pull strategieën ontwikkeld waarbij bepaalde stappen in de de supply chain volgens een push strategie gedaan en de overige stappen volgens een pull strategie. BEDRIJF X hanteert een dergelijke strategie waarbij onderdelen worden ingekocht volgens een push strategie en waarbij systemen worden geassembleerd volgens een pull strategie. Dit komt mede tot uiting door het gebruik van DDMRP waarbij de voordelen van een traditioneel MRP systeem worden benut en tegelijkertijd een demand-driven element wordt toegevoegd.

Naast de verschillende push-pull strategieën en productiesystemen is ook het gebruik van aggregate planning besproken. Dit is een methode voor het minimaliseren van de productiekosten terwijl aan de vraag wordt voldaan. Hiervoor is het van belang beslissingsvariabelen en inputparameters te bepalen en beperkingen te definiëren. Lineair programmeren is een effectief hulpmiddel voor het vinden van een dergelijke oplossing. Er zijn verschillende aggregate planning strategieën onderscheiden in paragraaf 3.5. Tijd flexibiliteit van het personeel lijkt een goede strategie voor BEDRIJF X om de vraagfluctuaties op te kunnen vangen. De level strategie past niet in het huidige beeld van voorraadreductie en bij de chase strategie zouden er veel werknemers aangenomen en ontslagen moeten worden. Uitzendkrachten zouden hiervoor een optie kunnen zijn maar het opleiden hiervan is kostbaar en tijdrovend. Met behulp van het oplossen van een LP model kan een optimale mix tussen de verschillende strategieën worden gevonden. Daarom zal aggregate planning in het volgende hoofdstuk worden toegepast op de situatie van BEDRIJF X om zo tot een optimale oplossing te komen.

4. Aggregate Planning Model

In dit hoofdstuk zal het aggregate planning model zoals beschreven door Chopra & Meindl (2013) verder worden uitgewerkt. Allereerst zullen in paragraaf 4.1 de beslissingsvariabelen worden besproken. Vervolgens zal in paragraaf 4.2 worden ingegaan op de input parameters voor het model. In paragraaf 4.3 wordt de doelfunctie gedefinieerd en in paragraaf 4.4 zullen de beperkingen worden beschreven. In 4.5 zullen de conclusies naar aanleiding van hoofdstuk 4 worden besproken. In dit hoofdstuk zullen de deelvragen uit paragraaf 1.4 van het kopje 'oplossing' worden behandeld.

4.1 Beslissingsvariabelen

In het model zal gezocht worden naar de optimale waarden van beslissingsvariabelen. In paragraaf 3.4 zijn een aantal beslissingsvariabelen besproken. Uitbesteden en backlogs zijn niet in het model opgenomen. BEDRIJF X besteedt de productie van PRODUCTGROEP Y niet uit. De assemblage vindt volledig plaats binnen het bedrijf en van uitbesteden is geen sprake. Het feit dat de gehele productie intern plaats vindt, zorgt er tevens voor dat de kwaliteit van de producten beter gewaarborgd blijft. Voor backlogs geldt dat hier in principe ook niet mee gewerkt wordt. Dit wil zeggen dat het bij uitzondering voorkomt dat het niet lukt om een systeem in de gewenste periode te leveren en daarbij doorgeschoven wordt, maar in eerste instantie is het niet wenselijk om bewust backlogs te creëren om daarmee de kosten te drukken.

Er zullen ook een aantal beslissingsvariabelen met betrekking tot uitzendkrachten worden toegevoegd. Dit gaat om 'aannemen uitzendkrachten', 'ontslaan uitzendkrachten' en 'uitzendkrachten'. Hieronder zullen alle beslissingsvariabelen voor BEDRIJF X worden toegelicht:

Aannemen werknemers A_t

De variabele 'aannemen personeel' geeft het aantal werknemers aan dat in een bepaalde periode moet worden aangenomen. Kosten met betrekking tot deze variabele zijn de trainings- en inwerkkosten.

Ontslaan werknemers O_t

De variabele 'ontslaan personeel' geeft aan hoeveel werknemers in een bepaalde periode moeten worden ontslagen. BEDRIJF X werkt met een transitievergoeding wanneer personeel wordt ontslagen. Dit zal verder worden toegelicht in paragraaf 4.2.5.

Werknemers W_t

De variabele 'werknemers' beschrijft het aantal werknemers dat elke periode in dienst is. Er wordt vanuit gegaan dat een werknemer gedurende een maand twintig dagen werkt en dat een werkdag acht uur bedraagt.

Aannemen uitzendkrachten H_t

De variabele 'aannemen uitzendkrachten' geeft het aantal uitzendkrachten aan dat in een bepaalde periode moet worden aangenomen. Kosten met betrekking tot deze variabelen zijn net als bij het aannemen van vast personeel trainings- en inwerkkosten.

Ontslaan uitzendkrachten F_t

De variabele 'ontslaan uitzendkrachten' geeft aan hoeveel uitzendkrachten er in een periode worden ontslagen. Aan het ontslaan van uitzendkrachten zijn geen kosten verbonden.

Uitzendkrachten U_t

Het aantal uitzendkrachten dat in een periode in dienst is. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat een uitzendkracht gedurende een maand twintig dagen werkt en daarbij acht uur per dag werkt.

Overwerk X_t

De variabele 'overwerk' geeft aan hoeveel uur er in bepaalde periode overgewerkt moet worden. Werknemers mogen maar een beperkt aantal uren in een periode overwerken. Hier zal verder op worden ingegaan in paragraaf 4.3.

Voorraad V_t

De variabele 'voorraad' geeft aan hoeveel systemen er in een periode op voorraad moeten liggen. Er zijn verschillende kosten met betrekking tot de voorraad, welke in paragraaf 4.2.3 verder behandeld zullen worden.

Productie P_t

De variabele 'productie' geeft aan hoeveel producten er in een periode geproduceerd moeten worden.

4.2 Inputparameters

Op de afdeling PRODUCTGROEP Y worden drie verschillende systemen geproduceerd. Voor het bepalen van de waarden van de inputparameters voor het model (kosten, bewerkingstijden, etc.) zal waar nodig een gewogen gemiddelde worden genomen van de drie systemen op basis van de verwachte vraag in 2016. Alle data die in deze paragraaf gebruikt worden zijn verkregen via de bedrijfsanalisten van BEDRIJF X.

4.2.1 Verwachte vraag

Eerder is besproken dat de ideale planningshorizon bij aggregate planning tussen de drie en achttien maanden bedraagt. De forecast van BEDRIJF X kijkt altijd minimaal een jaar vooruit en halverwege het kalender jaar is ook de eerste forecast voor het daaropvolgende kalenderjaar beschikbaar. Omdat de overgang van het einde van het jaar naar het begin van het volgende jaar een belangrijke rol speelt in dit vraagstuk, is in het model gekozen voor een planningshorizon van achttien maanden. De periodes in de planningshorizon zijn een maand. In onderstaande tabel is de verwachte vraag F_t weergegeven voor het jaar 2016. Er is een duidelijke trend waarneembaar waarbij de vraag gedurende het jaar steeds groter wordt met november als piek. Om het verloop gedurende achttien maanden te illustreren, wordt er in dit verslag vanuit gegaan dat de vraag in de eerste helft van 2017 gelijk is aan de eerste helft van 2016.

Tabel 4.1 is vanwege gevoelige informatie voor BEDRIJF X uit het verslag weggelaten.

4.2.2 Personeelskosten

De personeelskosten worden bepaald aan de hand van het interne uurtarief. Hierbij worden drie verschillende categorieën onderscheiden, namelijk het tarief in reguliere arbeidstijd, voor overwerk en voor uitzendkrachten. De kosten voor deze drie categorieën zijn als volgt:

- Intern uurtarief reguliere arbeidstijd: 25 €/uur
- Intern uurtarief overwerk: 35 €/uur
- Uurtarief uitzendkrachten: 30 €/uur

4.2.3 Voorraadkosten

De voorraadkosten zijn opgebouwd uit een aantal kosten. De eerste component is de weighted average cost of capital (WACC). Dit zijn de gemiddelde kosten van het kapitaal waarmee de voorraad wordt gefinancierd, welke wordt uitgedrukt als percentage van de totale kosten. De tweede component bestaat uit de kosten voor het gebruik van de ruimte waarin de voorraad wordt opgeslagen. Verder zijn er verzekeringskosten en cost of obsolescence (COO). COO houdt in dat de waarde van de voorraad op de balans niet meer overeenkomt met de daadwerkelijke waarde doordat er teveel voorraad is of te weinig vraag waardoor de voorraad onbruikbaar wordt. Tot slot worden er ook nog kosten gerekend voor algemene diensten met betrekking tot de voorraad.

Er zal eerst gekeken worden naar de kostprijs van de onderdelen van de PRODUCTGROEP Y. In tabel 4.2 staan de kostprijzen van de onderdelen van de PRODUCTGROEP Y weergegeven samen met de verwachte afzet over 2016. Op basis hiervan zal een gewogen gemiddelde van de kostprijs worden bepaald.

Tabel 4.1 is vanwege gevoelige informatie voor BEDRIJF X uit het verslag weggelaten.

Gewogen gemiddelde kostprijs per systeem = €12585

De WACC bedraagt XXX% per jaar:

Kapitaalkosten benchtop per systeem per jaar = €XXX

Naast de kapitaalkosten zijn er elk jaar ook nog de volgende kosten voor voorraad:

- *Opslagkosten: €100.000*
- *Algemene diensten: €20.000*
- *Verzekering: €20.000*
- *Cost of Obsolescence: €250.000*

Voor het model wordt ervan uitgegaan dat deze kosten voor elk systeem gelijk zijn. In totaal worden er in 2016 volgen de forecast XXX systemen geproduceerd (XXX PRODUCTGROEP Z en XXX PRODUCTGROEP Y). De kosten per systeem zijn dan als volgt:

Voorraadkosten per systeem per jaar = €XXX

De totale voorraadkosten per systeem per jaar zijn de kapitaalkosten en de voorraadkosten bij elkaar opgeteld. Per systeem is dit €170 per maand.

4.2.4 Arbeidstijd

Het maken van een benchtop is erg arbeidsintensief. Het is niet zo zeer een kwestie van produceren, maar meer van het assembleren van componenten en voormontages. De beperkende factor met betrekking tot capaciteit is dan ook de beschikbaarheid van personeel. Hieronder staan de productiestappen voor de verschillende PRODUCTGROEP Y weergegeven met de bijbehorende arbeidsuren.

Tabel 4.3 is vanwege gevoelige informatie voor BEDRIJF X uit het verslag weggelaten.

In totaal wordt er dus XXX uur besteed aan het maken van een PRODUCT B, XXX uur aan de PRODUCT C en XXX uur aan de PRODUCT A. De PRODUCT C hoeft niet getest te worden zoals de PRODUCT A en 3 en dit scheelt dan ook aanzienlijk in de arbeidstijd. Voor de gemiddelde arbeidstijd per systeem zal wederom een gewogen gemiddelde worden genomen op basis van de verwachte vraag over 2016.

Tabel 4.4 is vanwege gevoelige informatie voor BEDRIJF X uit het verslag weggelaten.

$$\text{Gewogen gemiddelde arbeidstijd per systeem} = 33,5 \text{ uur}$$

4.2.5 Trainingskosten nieuwe werknemer

Wanneer een nieuwe medewerker in dienst komt zijn hier kosten aan verbonden voor het trainen van de werknemer. Daarnaast duurt het een aantal weken voordat de nieuwe werknemer hetzelfde tempo haalt als een vaste werknemer. Het inwerken van een medewerker gaat redelijk snel. Dit duurt slechts een paar uur. Dit komt ook doordat nieuwe medewerkers vaak beginnen met de relatief simpele taken waarvoor niet veel uitleg is vereist. Voor het model wordt ervan uitgegaan dat het inwerken een dagdeel, oftewel vier uur, duurt. Hierdoor voert een vaste werknemer gedurende deze tijd geen werkzaamheden uit. Naast deze inwerktijd duurt het drie weken voordat een nieuwe werknemer op hetzelfde tempo werkt als een vaste werknemer. Aan het begin is dit tempo 50% en dit loopt gedurende deze drie weken geleidelijk op naar 100%. Dit betekent dus dat een nieuwe werknemer over deze drie weken gemiddeld 75% van het werk van een vaste werknemer kan doen. Deze percentages zijn vastgesteld in overleg met de manager van de assemblageafdeling. Hier zijn de volgende kosten aan verbonden:

De kosten voor het inwerken worden berekend door de inwerktijd (vier uur) te vermenigvuldigen met het interne uurtarief van een vaste werknemer.

$$\text{Inwerkkosten} = 4 * 25 = 100$$

Naast de inwerkkosten zijn er kosten voor de mindere productiviteit van nieuwe werknemers. Gedurende drie weken wordt op een gemiddeld tempo van 75% gewerkt. 25% van de loonkosten van deze werknemer levert gedurende deze periode niets op.

$$\text{Kosten voor opbouwen werkt tempo nieuwe werknemer} = (1 - 0,75) * 40 * 3 * 25 = 750$$

Voor het inwerken van een uitzendkracht geldt hetzelfde, behalve dat het uurtarief van een uitzendkracht anders is dan van een vaste werknemer.

$$\text{Kosten voor opbouwen werkt tempo uitzendkracht} = (1 - 0,75) * 40 * 3 * 30 = 900$$

De totale trainingskosten bedragen dus €850 voor een nieuwe vaste werknemer en €1000 voor een uitzendkracht.

4.2.6 Kosten voor ontslaan personeel

Wanneer vaste medewerkers bij BEDRIJF X ontslagen worden hebben deze in sommige gevallen recht op een transitievergoeding. Dit is het geval wanneer een tijdelijk dienstverband dat twee jaar of langer heeft geduurd niet wordt voortgezet, er sprake is van eenzijdige opzegging, wanneer de

opzegging plaatsvindt via het UWV of wanneer een contract wordt ontbonden door de kantonrechter. Een medewerker heeft geen recht op een transitievergoeding wanneer de werknemer het initiatief neemt voor ontslag, hij of zij een contractverlenging weigert of er sprake is van wederzijdse goedkeuring.

Wanneer een werknemer wel recht heeft op een transitievergoeding is dit als volgt opgebouwd:

- 1/3 maandsalaris per dienstjaar over de eerste tien jaar.
- 1/2 maandsalaris per dienstjaar over de daarop volgende jaren.
- 1 maandsalaris per dienstjaar voor werknemers ouder dan vijftig jaar per gewerkt dienstjaar na hun vijftigste (geldt tot 1 januari 2020).

Voor deze transitievergoeding geldt een maximum van €75.000. Echter, wanneer een medewerker een jaarsalaris heeft dat hoger is dan dit bedrag ontvangt hij of zij eenmalig maximaal dat jaarsalaris. Een cao kan afwijken van de wettelijke transitievergoeding maar dit mag alleen wanneer dit ervoor zorgt dat werknemers zo kort mogelijk zonder werk zitten of werkloosheid zelfs helemaal wordt voorkomen.

Het gemiddeld aantal dienstjaren binnen de afdeling Operations bedraagt negentien jaar. Uitgaande van een bruto maandsalaris van €4000 (twintig werkdagen per maand, acht uur per dag, €25 per uur), is het netto maandsalaris van een werknemer binnen operations €2735. Wanneer de regeling voor werknemers boven de vijftig buiten beschouwing wordt gelaten, ziet de gemiddelde transitievergoeding er als volgt uit:

$$\text{Gemiddelde transitievergoeding} = \frac{1}{3} * 2735 * 10 + \frac{1}{2} * 2735 * 9 = €21424$$

4.2.7 Overzicht input parameters

In tabel 4.5 zal een overzicht worden gegeven van de besproken inputparameters:

Reguliere arbeidstijd	€25	Per uur
Overwerk	€35	Per uur
Uitzendkrachten	€30	Per uur
Voorraadkosten	€170	Per systeem per maand
Arbeidstijd	33,5	Uur per systeem
Trainingskosten vaste werknemer	€850	Per persoon
Trainingskosten uitzendkracht	€1000	Per persoon
Transitievergoeding	€21424	Per persoon
Kostprijs materiaal	€12585	Per unit

Tabel 4.5: Overzicht inputparameters

4.3 Doelfunctie

Voor het bepalen van de doelfunctie is het van belang om kosten te koppelen aan de beslissingsvariabelen. De kosten (als zijnde inputparameters) zijn toegelicht in paragraaf 4.2. Hieronder zal per beslissingsvariabele worden besproken hoe deze variabele onderdeel is van de doelfunctie.

Aannemen werknemer	A_t	€850 per werknemer	$\sum_{t=1}^{18} 850A_t$
Ontslaan werknemer	O_t	€21424 per werknemer	$\sum_{t=1}^{18} 21424O_t$
Werknemers	W_t	€25*8*20 per werknemer per maand	$\sum_{t=1}^{18} 4000W_t$
Aannemen uitzendkracht	H_t	€1000 per werknemer	$\sum_{t=1}^{18} 1000H_t$
Ontslaan uitzendkracht	F_t	€0 per werknemer	-
Uitzendkrachten	U_t	€30*8*20 per werknemer per maand	$\sum_{t=1}^{18} 4800U_t$
Overwerk	X_t	€35 per uur	$\sum_{t=1}^{18} 35X_t$
Voorraad	V_t	€170 per systeem per maand	$\sum_{t=1}^{18} 170V_t$
Productie	P_t	€12585 per systeem	$\sum_{t=1}^{18} 12585P_t$

Tabel 4.6: Overzicht beslissingsvariabelen en onderdelen doelfunctie

De totale kosten over de planningshorizon zijn de som van de hierboven genoemde kosten:

$$\sum_{t=1}^{18} 850A_t + \sum_{t=1}^{18} 21424O_t + \sum_{t=1}^{18} 4000W_t + \sum_{t=1}^{18} 1000H_t + \sum_{t=1}^{18} 4800U_t + \sum_{t=1}^{18} 35X_t + \sum_{t=1}^{18} 170V_t + \sum_{t=1}^{18} 12585P_t$$

4.4 Beperkingen

In deze paragraaf zullen de beperkingen van het model worden besproken.

4.4.1 Werknemers, aannemen en ontslaan

Het aantal vaste werknemers W_t in periode t heeft te maken met het aantal vaste werknemers W_{t-1} in periode $t-1$, het aantal werknemers A_t dat aangenomen wordt in periode t en het aantal werknemers O_t dat wordt ontslagen in periode t . De beperking ziet er als volgt uit:

$$W_t = W_{t-1} + A_t - O_t$$

Voor de uitzendkrachten geldt dezelfde vergelijking als voor de vaste werknemers. Het aantal uitzendkrachten U_t in periode t heeft te maken met het aantal uitzendkrachten U_{t-1} in periode $t-1$, het aantal uitzendkrachten H_t dat aangenomen wordt in periode t en het aantal uitzendkrachten F_t dat wordt ontslagen in periode t .

$$U_t = U_{t-1} + H_t - F_t$$

Het aantal vaste werknemers in periode 0 is 5 en het aantal uitzendkrachten in periode 0 is 0.

4.4.2 Overwerk

Volgens de arbeidstijdenwet is het niet toegestaan om over een voortschrijdende periode van 16 weken gemiddeld meer dan 48 uur arbeid per week te verrichten. Per week is de maximale werktijd 60 uur waarbij de maximale lengte van een dienst 12 uur bedraagt (B.V., DÉHORA CONSULTANCY GROUP, 2013). Het gemiddelde van maximaal 48 uur per week zal als uitgangspunt worden genomen, waardoor er in het model vanuit zal worden gegaan dat een werknemer niet meer dan 8 uur per week (32 uur per maand) mag worden overgewerkt. Uitzendkrachten kunnen ook overwerken. Dit ziet er als volgt uit:

$$X_t \leq 32(W_t + U_t)$$

4.4.3 Capaciteit

Het aantal producten dat in een periode geproduceerd wordt mag niet groter zijn dan de beschikbare capaciteit. De beschikbare capaciteit wordt bepaald op basis van de beschikbare arbeidsuren. In het geval van BEDRIJF X zijn dit reguliere arbeidstijd door vaste werknemers, arbeidstijd door uitzendkrachten en overwerk. Het produceren van een systeem duurt 33,5 uur en in een maand kan 160 uur worden gewerkt (20 dagen, 8 uur per dag). Een werknemer die in een maand wordt aangenomen heeft slechts 130 productieve uren en tevens is een vaste werknemer 4 uur kwijt om een nieuwe werknemer in te werken. 130 productieve uren volgt uit het feit dat een nieuwe werknemer de eerste drie weken gemiddeld op een snelheid van 75% werkt. De inwerktijd van 4 uur is ongeveer een dagdeel en besproken met de manager van de assemblageafdeling. De capaciteitsbeperking ziet er als volgt uit:

$$P_t \leq \frac{160}{33,5} (W_{t-1} + U_{t-1} - F_t - O_t) + \frac{126}{33,5} (A_t + H_t) + \frac{X_t}{33,5}$$

4.4.4 Voorraad

De voorraadbeperking balanceert de voorraad aan het einde van elke periode. Aan de vraag D_t in periode t wordt voldaan door middel van de huidige productie en de voorraad V_{t-1} aan het einde van de vorige periode. Als vergelijking ziet dit er als volgt uit:

$$V_{t-1} + P_t = D_t + V$$

4.4.5 Niet-negativiteit en geheeltalligheid

Bij het oplossen van het model mogen de beslissingsvariabelen geen negatieve waarde aannemen. Tevens moeten alle beslissingsvariabelen een geheel getal zijn, behalve de variabele 'overwerk'. Personeel moet geheeltallig zijn, omdat BEDRIJF X alleen full time werknemers aanneemt. Daarnaast wordt ervan uitgegaan dat er geen halve systemen geproduceerd kunnen worden of op voorraad kunnen liggen. Overwerk hoeft niet geheeltallig te zijn, omdat het wel mogelijk is dat personeel bijvoorbeeld een half uur overwerkt.

4.5 Conclusie hoofdstuk 4

In dit hoofdstuk is het aggregate planning model behandeld. Het model omvat de volgende onderdelen:

- Er zijn beslissingsvariabelen gedefinieerd: Aannemen werknemers, ontslaan werknemers, werknemers, aannemen uitzendkrachten, ontslaan uitzendkrachten, uitzendkrachten, overwerk, voorraad, backlogs, uitbesteden en productie.
- Er zijn inputvariabelen aangedragen voor het model: verwachte vraag, materiaalkosten, voorraadkosten, trainingskosten vaste werknemers en uitzendkrachten, ontslagkosten vaste werknemers en uitzendkrachten, arbeidsuren per product, uurtarief reguliere arbeidstijd, uurtarief overwerk en uurtarief uitzendkrachten.
- Het opstellen van een doelfunctie:

$$\sum_{t=1}^{18} 850A_t + \sum_{t=1}^{18} 21424O_t + \sum_{t=1}^{18} 4000W_t + \sum_{t=1}^{18} 1000H_t + \sum_{t=1}^{18} 4800U_t + \sum_{t=1}^{18} 35X_t + \sum_{t=1}^{18} 170V_t + \sum_{t=1}^{18} 12585P_t$$

- Definiëren van de beperkingen voor het model. Deze hebben betrekking op de werknemers, uitzendkrachten, overwerk, capaciteit en voorraad.

5. Resultaten

In dit hoofdstuk zullen de resultaten worden behandeld. Eerst wordt in paragraaf 5.1 de oplossing van het model besproken. In paragraaf 5.2 zal een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd. In 5.3 wordt de strategie naar aanleiding van de oplossing toegelicht om vervolgens in paragraaf 5.4 af te sluiten met de toepasbaarheid van het model. De deelvragen met betrekking tot het resultaat van het model zullen in dit hoofdstuk worden behandeld.

5.1 Oplossing model

In hoofdstuk 4 is een aggregate planning model opgesteld dat aansluit op de situatie van BEDRIJF X. Het oplossen van het model in Excel geeft het volgende resultaat waarbij de totale kosten €6.290.793 bedragen:

Aggregate plan beslissingsvariabelen											
Periode	At #Aannemen	Ot #Ontslaan	Wt #Werknemers	Ht #Aan. Uitzend.	Ft #Ont. Uitzend.	Ut #Uitzendkrachten	Xt Overwerk	Vt Voorraad	Pt Productie	Vraag	
0	0	0	5	0	0	0	0	5			
1	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	17,0	20	
2	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	4,0	6,0	24,0	20	
3	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	23,0	24	
4	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	4,0	12,0	24,0	17	
5	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	4,0	16,0	24,0	20	
6	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	4,0	11,0	24,0	29	
7	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	4,0	9,0	24,0	26	
8	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	4,0	4,0	24,0	29	
9	0,0	0,0	5,0	2,0	0,0	2,0	53,5	0,0	33,0	37	
10	0,0	0,0	5,0	1,0	0,0	3,0	27,0	0,0	38,0	38	
11	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	3,0	194,0	0,0	44,0	44	
12	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	36,0	36	
13	0,0	0,0	5,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20	
14	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20	
15	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	24,0	24	
16	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	19,0	17	
17	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	23,0	20	
18	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	24,0	29	

Figuur 1.1: Oplossing aggregate planning model

Allereerst valt op dat het aantal vaste werknemers gelijk blijft gedurende alle periodes. Er is duidelijk te zien dat een deel van de arbeidsuren gebruikt wordt om een aantal systemen op voorraad te produceren. In de eerste vijf periodes wordt er meer geproduceerd dan dat er vraag naar systemen is en dit zorgt ervoor dat de voorraad in periode vijf het hoogste punt bereikt. In de hierop volgende maand wordt de opgebouwde voorraad gebruikt om een deel van de stijgende vraag te kunnen opvangen. Hieruit blijkt dat het goedkoper is om systemen op voorraad te hebben liggen dan om een vaste werknemer te ontslaan.

De opgebouwde voorraad is echter niet genoeg om de stijgende vraag in de tweede helft van het jaar op te vangen. Om wel aan de vraag te kunnen voldoen moeten er in de periodes negen tot en met twaalf uitzendkrachten in dienst worden genomen. Wanneer de vraag weer daalt, kunnen deze uitzendkrachten gemakkelijk afvloeien. In de periodes negen, tien en elf zijn er vijf vaste werknemers en drie uitzendkrachten in dienst. Dit is echter niet genoeg om het aantal gewenste systemen te produceren. Er moet daarom in deze periode worden overgewerkt. In periode negen en tien moet er respectievelijk 53,5 en 27 uur worden overgewerkt. Wanneer de vraag in periode elf zijn piek bereikt moet er zelfs 194 uur worden overgewerkt. Dit is goedkoper dan dat er nog een extra uitzendkracht in dienst wordt genomen. In de eerste periode van het nieuwe jaar (dertien), zijn de uitzendkrachten overbodig en deze worden dan ook ontslagen.

Vergeleken met de huidige situatie na de invoering van DDMRP, zijn voornamelijk overeenkomsten vast te stellen. Er is te zien dat de flexibele schil van uitzendkrachten een belangrijke rol speelt wanneer er meer vraag naar producten komt. Daarnaast geeft het model aan dat het goed is om werknemers in sommige periodes te laten overwerken en dit is ook iets wat in de praktijk gebeurt wanneer het noodzakelijk is om systemen tijdig af te leveren. Tot slot komt de huidige trend van voorraadreductie ook tot uiting in het model. In de oplossing is duidelijk te zien dat het niet wenselijk is om twintig tot dertig systemen op voorraad te hebben liggen. De maximale voorraad bedraagt zestien systemen in periode vijf.

5.2 Gevoeligheidsanalyse

In deze paragraaf zal gekeken worden in hoeverre een verandering in de vraag of het houden van een bepaalde minimumvoorraad van invloed is op de optimale totale kosten.

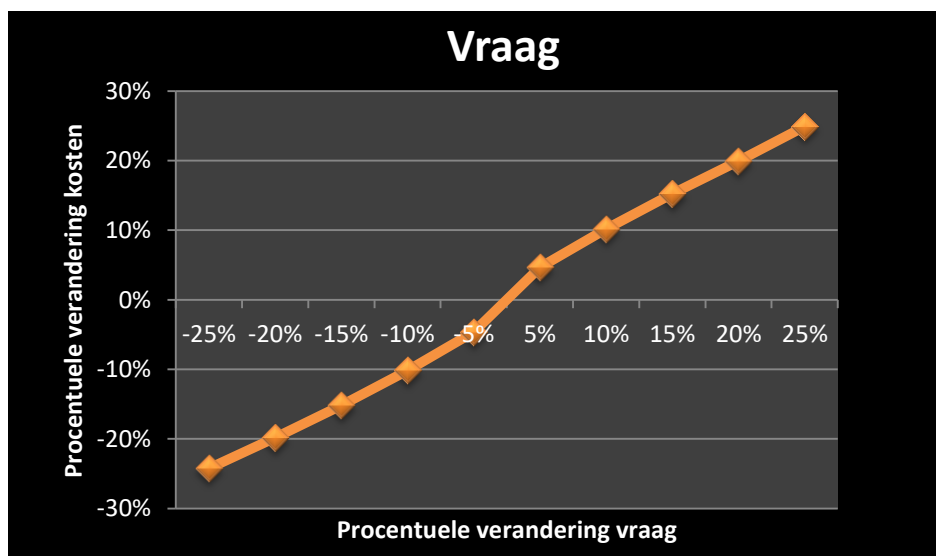
5.2.1 Veranderde vraag

De meeste inputparameters van het model blijven in de loop der tijd gelijk. De verwachte vraag is echter aan verandering onderhevig en is het handig om te weten wat de invloed op de kosten is wanneer de vraag anders uitvalt dan gedacht. Hiervoor is het model opgelost voor verschillende vraag naar producten. Hierbij is ervan uitgegaan dat de vraag in elke periode met dezelfde factor verandert. Dit levert het volgende resultaat op:

Verandering vraag	-25%	-20%	-15%	-10%	-5%
Optimale Kosten	€4.764.792	€5.038.242	€5.330.189	€5.649.724	€6.001.173
	+5%	+10%	+15%	+20%	+25%
	€6.576.382	€6.922.553	€7.245.813	€7.512.891	€7.862.183

Tabel 5.1: Totale productiekosten voor verschillende vraagprognoses

De bovenste rij geeft de verandering in de vraag aan en in de onderste rij zijn de bijbehorende kosten weergegeven. Wanneer er gekeken wordt naar hoeveel de kosten afwijken van de basissituatie, valt op dat de verandering in kosten gelijk is aan de verandering in de vraag. De kosten veranderen dus evenredig aan de verandering in de vraag. Dit is in onderstaande grafiek weergegeven:



Figuur 5.2: Gevoeligheidsanalyse voor veranderende vraag

In het hiervoor beschreven geval verandert de vraag in elke periode met een gelijke factor. Het zou echter ook voor kunnen komen dat de vraag over de planningshorizon veel gelijkmatiger over de periodes is verdeeld. Wanneer de totale vraag in de achttien periodes gelijkmatig over de periodes verdeeld wordt, resulteert dit in een optimale oplossing waarbij de totale kosten €6.262.343 bedragen. Vergeleken met de optimale oplossing bij de werkelijke vraag (€6.290.793) is er een verschil van ongeveer €28.000. Door goede afspraken te maken met klanten en te proberen orders gelijkmatiger over het jaar te verdelen kunnen de kosten worden gedrukt.

5.2.2 Capaciteitsbeperking

Voor de invoering van DDMRP lagen er tussen de twintig en dertig systemen op voorraad. In de huidige situatie zijn dat er ongeveer vijf. De optimale oplossing in het aggregate planning model laat zien dat er geen constant voorraadniveau moet worden gehanteerd om de totale kosten te minimaliseren. Om dit verder te illustreren zal in deze paragraaf gekeken worden naar de totale kosten wanneer de voorraad een bepaalde minimale grootte heeft. In onderstaande tabel staan voor een aantal situaties de bijbehorende kosten weergegeven:

Minimaal voorraadniveau	Optimale totale kosten
0	€6.290.793
5	€6.369.018
20	€6.616.632

Tabel 5.1: Totale kosten voor verschillende voorraadniveaus

Door de eindvoorraad van systemen terug te brengen van een minimum van twintig naar een minimum van vijf is een kostenbesparing van ongeveer €248.000 gerealiseerd over een periode van 18 maanden. De totale kosten zijn na de invoering van DDMRP dan ook aanzienlijk gereduceerd door het verminderen van de voorraad. Wanneer er helemaal geen systemen meer op voorraad hoeven te liggen, scheelt dit nog eens bijna €80.000. Uit veiligheidsoverwegingen kan ervoor worden gekozen om systemen op voorraad te hebben liggen om een hogere vraag te kunnen opvangen, maar dit brengt wel de nodige kosten met zich mee.

5.3 Strategie

In paragraaf 3.5 zijn verschillende strategieën met betrekking tot aggregate planning behandeld: de chase, tijd flexibiliteit en level strategie. Gelet op de oplossing in paragraaf 5.1 waarvoor de kosten minimaal zijn, is te zien dat er elementen van elke strategie naar voren komen. Het belangrijkste element is dat de capaciteit kan worden aangepast door het aannemen en ontslaan van personeel. Doordat er gewerkt wordt met uitzendkrachten zijn de kosten voor het veranderen van de capaciteit beperkt en blijft de vaste groep werknemers hetzelfde.

Daarnaast wordt er in de oplossing ook gewerkt met tijd flexibiliteit van personeel. Wanneer er in een periode sprake is van een hoge vraag wordt gebruik gemaakt van overwerk. Op deze manier hoeft er voor deze arbeidstijd geen nieuw personeel aangenomen te worden, maar werkt het huidige personeel over. Tot slot wordt er ook gewerkt een variërend voorraadniveau om fluctuaties in de vraag waar nodig op te vangen met voorraad. Dit wordt in de oplossing in beperkte mate gedaan en dit is dan ook de strategie die als minste naar voren komt.

5.4 Toepasbaarheid model

Het aangedragen model zal naar verwachting een goede toevoeging zijn op de huidige instrumenten voor het bepalen van de productieplanning binnen BEDRIJF X. Het model is gemaakt in Excel en dit

zorgt ervoor dat het gemakkelijk te gebruiken is. Door de inputparameters van het model aan te passen kan het model voor verschillende productgroepen worden gebruikt. Dit zal in sommige gevallen het nodige werk vereisen (bijvoorbeeld door het verzamelen van data over andere productgroepen), maar zorgt er wel voor dat het model breder toepasbaar is dan enkel de situatie zoals in dit verslag beschreven.

Het is wel van belang om de uitkomst van het model te blijven zien als onderdeel van het grote geheel. Er wordt in het model vanuit gegaan dat er alleen PRODUCTGROEP Y worden geproduceerd, maar in werkelijkheid worden er meerdere producten geproduceerd. Zo kan er bijvoorbeeld worden geschoven met personeel. Er moet dus kritisch gekeken worden naar de uitkomst en de manier waarop het in de praktijk kan worden toegepast.

Tot slot is het van belang om het model up-to-date te houden. De omgeving van BEDRIJF X en de beschikbare informatie verandert constant. Het model beslaat een periode van 18 maanden, maar dit betekent niet dat er slechts één keer in de 18 maanden naar de uitkomst van het model gekeken moet worden. Naarmate er meer informatie beschikbaar is over bijvoorbeeld de verwachte vraag is het goed om opnieuw te kijken naar de uitkomst van het model, zodat er optimaal gebruik van kan worden gemaakt.

5.5 Conclusie hoofdstuk 5

In dit hoofdstuk is de oplossing van het model weergegeven. Voor elke beslissingsvariabele is per periode weergegeven wat de waarde moet zijn om de totale kosten te minimaliseren.

Schommelingen in de vraag worden opgevangen door uitzendkrachten in te huren, werknemers te laten overwerken en de voorraadniveaus te laten fluctueren. Hierin zijn elementen te vinden van de drie verschillende aggregate planning strategieën. Het model biedt een basis om vanuit een kostenperspectief beslissingen te nemen over de productieplanning.

6. Conclusie, Discussie en Aanbevelingen

In dit hoofdstuk zullen de uitkomsten van dit onderzoek worden besproken. Allereerst zullen in paragraaf 6.1 de conclusies worden besproken. Vervolgens vindt in paragraaf 6.2 discussie plaats over het onderzoek en tot slot zullen in paragraaf 6.3 enkele aanbevelingen worden gedaan.

6.1 Conclusie

Het probleem dat de aanleiding vormde voor dit onderzoek was dat er onduidelijkheid bestond over de afweging van variabelen met betrekking tot de productieplanning. De invoering van DDMRP heeft gezorgd voor een tendens van voorraadreductie en tevens wordt er steeds meer op order geproduceerd. Door een model te maken waarbij de beslissingsvariabelen voor de productieplanning tegen elkaar worden afgewogen zodat de kosten minimaal zijn, wordt meer inzicht verkregen in of de bovengenoemde tendens wenselijk, dan wel haalbaar is. De hoofdvraag in het onderzoek luidde dan ook als volgt:

Hoe kan BEDRIJF X op basis van de verwachte vraag de productieplanning dusdanig inrichten dat de productiekosten minimaal zijn, waarbij de kwaliteit en tijdige levering van producten gewaarborgd blijft?

Het model dat in hoofdstuk 4 gepresenteerd is, geeft uitsluitsel over de waarden van de beslissingsvariabelen waarvoor de productiekosten minimaal zijn. De totale kosten in de optimale oplossing bedragen €6.290.793. Aan de hand van deze oplossing kan geconcludeerd worden dat een mix van de drie aggregate planning strategieën optimaal is voor BEDRIJF X. Met name de chase en tijd flexibiliteit strategie komen in de oplossing duidelijk naar voren: de capaciteit kan gemakkelijk worden aangepast door het gebruik van uitzendkrachten en daarnaast kan het personeel ook flexibel worden ingezet door ze waar nodig te laten overwerken. De derde strategie komt tot uiting in het wisselende voorraadniveau van systemen om zo fluctuaties in de vraag op te vangen als dit qua kosten voordelig is. Uit de oplossing blijkt echter wel dat het aanpassen van het aantal arbeidsuren (zowel door het veranderen van het aantal uitzendkrachten als door over te werken), het belangrijkste middel is om de grote fluctuaties in de vraag te kunnen opvangen. Voorraad wordt met name opgebouwd wanneer er capaciteit over is en het te duur is om een vaste werknemer te ontslaan.

Wanneer dit teruggekoppeld wordt naar de invoering van DDMRP zien we dat de oplossing van het model deze visie grotendeels ondersteunt. Ondanks dat het voorraadniveau varieert, is te zien dat een hoge voorraad over het algemeen niet wenselijk is. In de optimale oplossing liggen er maximaal zestien systemen voorraad, terwijl dit er voor de invoering van DDMRP twintig tot dertig waren. Wanneer er in elke periode minimaal twintig systemen op voorraad liggen, stijgen de kosten volgens het model met ongeveer €326.000 naar €6.616.632.

Tot slot is de grote variabiliteit in de vraag ook een oorzaak voor oplopende kosten. Wanneer de vraag van 470 systemen gelijkmatig over de periodes verdeeld zou zijn, dalen de kosten met ongeveer €28.000 naar €6.262.343.

6.2 Discussie

In dit onderzoek naar de productieplanning bij BEDRIJF X is wegens beperkte tijd alleen naar de PRODUCTGROEP Y gekeken. In de praktijk is BEDRIJF X groter dan alleen de afdeling PRODUCTGROEP Y, waardoor in sommige gevallen geen compleet beeld ontstaat. In de praktijk kan er makkelijker met personeel geschoven worden tussen verschillende afdelingen wat de organisatie flexibeler maakt dan het model laat zien. In vervolgonderzoek zal gekeken kunnen worden naar hoe het aangedragen model ook in combinatie met andere afdelingen kan worden gebruikt.

Het model gaat uit van voorspellingen en voorspellingen zijn vrijwel nooit gelijk aan de daadwerkelijke situatie. Het is dan ook van belang om plannen naar aanleiding van het model flexibel te maken, zodat het plan niet meteen onbruikbaar is wanneer de vraag anders blijkt dan voorspelt. Zo kan er in de toekomst gekeken worden naar bijvoorbeeld de grootte van de veiligheidsvoorraad. Daarnaast moet er snel geschakeld kunnen worden wanneer de vraag anders is dan verwacht, door bijvoorbeeld snel een uitzendkracht aan te nemen of personeel te laten overwerken.

Tot slot is er in dit onderzoek naar voren gekomen dat het verminderen van de variabiliteit in de vraag leidt tot een daling in de kosten, maar er is niet gekeken of deze variabiliteit verminderd of voorkomen kan worden. Wanneer de orders gelijkmatiger over de periodes verdeeld zijn, kan een besparing tot €28.000 gerealiseerd worden. Er zal onderzocht moeten worden of BEDRIJF X hier invloed op kan uitoefenen, omdat daar in dit onderzoek geen tijd voor was.

6.3 Aanbevelingen

Naar aanleiding van het onderzoek zullen een aantal aanbevelingen worden gedaan voor BEDRIJF X.

De eerste aanbeveling is de manier waarop het model in gebruik moet worden genomen. Het model richt zich met name op een afweging op basis van kosten en daarnaast beschrijft het model de praktijk niet volledig. Het model is daarom een middel om samen met de bestaande instrumenten de productieplanning te verbeteren. Het moet als toevoeging dienen op de huidige planningsmethode zoals beschreven in hoofdstuk 2.6. Daarnaast is het van belang om het model opnieuw te blijven uitvoeren wanneer er nieuwe data beschikbaar zijn.

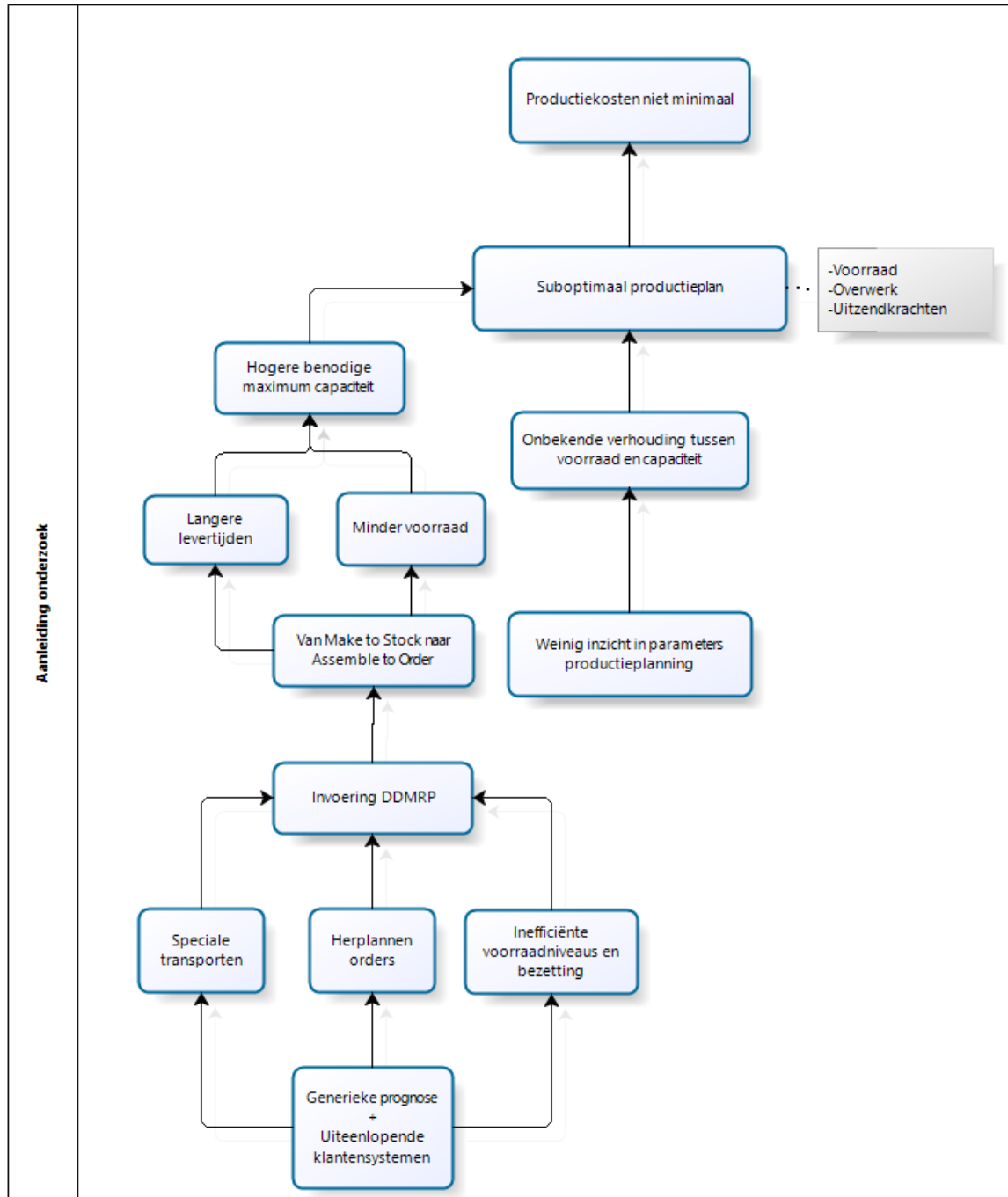
Een ander belangrijk punt was de invoering van DDMRP. De invoering zorgde voor een verschuiving van het produceren op voorraad naar produceren op order, waardoor de voorraad flink verminderd is. Ondanks dat het model uitgaat van voorspellingen, ondersteunt de oplossing het beeld dat een hoge voorraad inefficiënt is en dat fluctuaties in de vraag ook anders kunnen worden opgevangen. Dit is dan ook zeker een positieve ontwikkeling en niet iets dat moet worden teruggedraaid. Vanuit een kosten oogpunt is het echter niet optimaal dat voorraden volledig verdwijnen en kan het in bepaalde periodes voordelig zijn om een aantal systemen op voorraad te produceren. Verder bleek dat de kosten aanzienlijk dalen wanneer de orders gelijkmatiger over de periodes verdeeld zijn. Er wordt aanbevolen om goed te kijken naar afspraken met klanten om grote variabiliteit tussen periodes te minimaliseren.

Bibliografie

- B.V., DÉHORA CONSULTANCY GROUP. (2013). *Regelgeving Arbeidstijdenwet*. Retrieved August 28, 2016, from Arbeidstijdenwet: <http://www.arbeidstijdenwet.nl/arbeidstijdenwet/>
- Bongaerts, H. (2001). Ontrafeling van kristalstructuren door middel van röntgenstralen. Deel 1: Principe. *Grondboor & Hamer*, 6-9.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Supply Chain Management*. Pearson Educated Limited.
- Hopp, W., & Spearman, M. (2008). *Factory Physics*. New York: McGraw-Hill.
- Miclo, R., Fontanili, F., Lauras, M., Lamothe, J., & Milian, B. (2015). MRP vs. Demand-Driven MRP: Towards an Objective Comparison. *6th IESM Conference*. Sevilla.
- Ptak, C., & Smith, C. (2008). Beyond MRP. *APICS Magazine*.
- Ptak, C., & Smith, C. (2011). *Orlicky's Material Requirements Planning, 3rd edition*. New York: McGraw-Hill.
- Sadeghi, M., Hashemi, S., & Hajiagha, S. (2013). A fuzzy grey goal programming approach for aggregate production planning. *Int J Adv Manuf Technol*, 64: 1715-1727.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2009). *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies, 3rd edition*. New York: McGraw-Hill/Irwin.
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2010). *Operations Management, 6th edition*. Harlow: Pearson Education Limited.
- VKC. (2014). *Röntgenfluorescentie spectrometrie (XRF)*. Retrieved Juli 2016, from Website van VKC: <http://www.vkc.be/nl/testing/röntgenfluorescentie-spectrometrie-xrf>

Bijlagen

Bijlage A



Bijlage B

Bijlage B is vanwege gevoelige informatie voor BEDRIJF X uit het verslag weggelaten.

Bijlage C

Bijlage C is vanwege gevoelige informatie voor BEDRIJF X uit het verslag weggelaten.

Bijlage D

Bijlage D is vanwege gevoelige informatie voor BEDRIJF X uit het verslag weggelaten.