

Optimalisatie van de tactische productieplanning van Grolsch



B.T.A. Pijnappel
S1440888

Begeleider Grolsch: L. van Silfhout, Msc.
Begeleiders Universiteit Twente: Dr. M.C. van der Heijden
Dr. ir. J.M.J. Schutten

Managementsamenvatting

Bij de Koninklijke Grolsch bv voldoet het planningssysteem niet aan de eisen en wensen die de supply chain planningsafdeling heeft. Waarom dit systeem niet voldoet, wat de tactische plannings-strategie zal moeten zijn en hoe dit in een model geïmplementeerd kan worden zal onderzocht worden in dit onderzoek. De hoofdvraag van dit onderzoek luidt:

‘Wat is de optimale strategie voor de tactische productieplanning van de afvullijnen van Grolsch?’

Het huidige planningssysteem voor de tactische planning houdt geen rekening met volgorde afhankelijke ombouwtijden. Voor iedere week wordt er in het huidige systeem dezelfde ombouwtijd gerekend. Hierbij wordt geen rekening gehouden met bijvoorbeeld het aantal batches en de aantal verschillende producten. Dit planningssysteem optimaliseert de winst over de gehele brouwerij, met de aanname dat ombouwtijden constant zijn. Dit is echter niet het geval. Een van de belangrijkste KPI's van de tactische productieplanning en deze bacheloropdracht zijn de variabele ombouwkosten.

Constraints voor het planningsmodel zijn bepaald door literatuurstudie, interviews met de unitmanagers, eindverantwoordelijken voor een aantal afvullijnen, en gesprekken met de supply chain planningsafdeling.

In de literatuur is het planningsprobleem, zoals deze bij Grolsch, bekend als: capacitated lot-sizing and scheduling problem (CLSP) with sequence dependent setup times (Copil, Wörbelauer, Meyr, & Tempelmeier, 2016). Voor het plannen van producten met een volgorde afhankelijke ombouwtijd is plannen op basis van productfamilies een van de meest voorkomende strategieën (Kopanos, Puigjaner, & Georgiadis, 2012).

Om het tactische planningsprobleem van Grolsch op te lossen, is er een MILP (mixed integer linear problem) model opgesteld waarin voorraadbeheermodellen en TSP (traveling salesman problem) modellen zijn gecombineerd. Het TSP is gebruikt om de productievolgorde binnen een week te bepalen. Variabelen in dit model zijn het productievolume, de productievolgorde en hieraan gelinkt de ombouwactiviteiten. Dit MILP probleem is NP compleet, waardoor deze niet voor grote probleeminstanties exact opgelost kan worden binnen een redelijke rekentijd. Hierom is er naast een exacte oplossingsmethode ook een heuristiek ontwikkeld.

De heuristiek is ontwikkeld op basis van het twee fase algoritme van Shim, Kim, Doh en Lee (Shim, Kim, Doh, & Lee, 2011). In de heuristiek zijn twee prioriteitsregels gebruikt, namelijk het selecteren op langste ombouwtijd over de periode en het selecteren op kortste productietijd over de periode.

Alle vergelijkingen zijn gedaan op basis van een periode van 16 weken van afvullijn 7 met de niet Miller producten. Dit omvat een zestiental producten die allen alleen in de even weken mogen worden afgevuld. De huidige oplossing is vergeleken met een exacte oplossing op basis van de huidige beginvoorraad. De verschillende prioriteitsregels binnen de heuristiek zijn met elkaar vergeleken en tevens met een exacte oplossing op basis van dezelfde beginvoorraad. De heuristiek maakt gebruik van een random startoplossing. Hierom is binnen de vergelijking iedere keer gebruik gemaakt van dezelfde startoplossing.

In de twee onderstaande tabellen zijn de resultaten van de heuristiek en de exacte oplossing weergegeven in minuten ombouwtijd over de gehele planningsperiode. De exacte oplossingsmethodiek is na 3 dagen gestopt, het valt niet te zeggen hoever de waarde die de computer na deze periode heeft berekend afwijkt van het absolute optimum. Om hier een inschatting van te kunnen maken is er een LP relaxatie uitgevoerd. Dit zou een ondergrens kunnen aangeven van een oplossing die behaald kan worden. De waarden van 295 en 291 minuten ombouwtijd voortkomend uit het model na de LP relaxatie zijn echter niet realistisch. In de oplossing van het LP model worden ombouwtijden voor bijvoorbeeld een derde ombouwactiviteit meegenomen in plaats van gehele ombouwactiviteit. Het resultaat na de LP relaxatie wijkt nog af van het absolute minimum dat gehaald kan worden. Er valt niet te zeggen hoe groot deze afwijking is. Hierdoor kan er niet gesteld worden hoe goed de exacte oplossing al is en hiermee kan er ook geen kwaliteitskenmerk aan de heuristiek worden verbonden met betrekking tot de uitkomst.

	Heuristiek kans 1	Heuristiek kans .975	Heuristiek kans .95	Initiële oplossing
Heuristiek ombouw	930	1075	1300	1375
Heuristiek productie	1000	1000	1075	

Tabel 1 Ombouwtijden heuristiek in minuten over de gehele planningsperiode

	Heuristiek kans 1	Exacte oplossing	LP relaxatie
Heuristiek ombouw	930	830	295
Heuristiek productie	1000	830	291

Tabel 2 Ombouwtijden heuristiek en exacte oplossing in minuten over de gehele planningsperiode

Uit zowel de literatuurstudie als de exacte oplossing van het MILP en heuristiek komt plannen op basis van productfamilies naar voren als een goede strategie. Hierbij is ook de maximale cyclus waarin een product geproduceerd wordt van belang.

De vergelijking die gemaakt is tussen de verschillende oplossingen van de heuristiek is slechts gebaseerd op één startoplossing die random bepaald is. Hierom is er geen generaliseerbare conclusie te stellen en zal er verder onderzoek nodig zijn om te bepalen wat de bijvoorbeeld de beste prioriteitsregel is.

De heuristiek kan de beginvoorraad variëren waar dit voor de exacte oplossingsmethodiek niet mogelijk is. Dit heeft er mogelijk toe geleid dat de exacte oplossing met een oplossing komt die niet optimaal is.

De uitkomsten van dit onderzoek kunnen gebruikt worden om bij Grolsch een afweging te gaan maken om de magazijnruimte te vergroten. Een kostenafweging tussen magazijnruimte en productietijd op de afvullijn zal gemaakt moeten worden. Dit valt buiten de scope van dit onderzoek.

Het ontwikkelde model is naast dat het bruikbaar is om de heuristiek door te rekenen ook bruikbaar om wijzigingen in de planning te analyseren en het optimale productieschema voor een bepaalde week te berekenen.

Ik wil Grolsch aanraden om de uitkomsten van dit onderzoek te gebruiken om de tactische planning te optimaliseren. Het model waarin de heuristiek verwerkt is kan uitgebreid worden met opslagcapaciteit. De kern van de uitkomsten dit onderzoek kan direct door Grolsch in praktijk worden gebracht. SKU's zullen zoveel mogelijk in zo groot mogelijke batches geproduceerd moeten worden op een dusdanige wijze dat SKU's nog wel samen met producten uit dezelfde productfamilie in een week vallen.

Voorwoord

Ter afronding van de Bachelor technische bedrijfskunde aan de Universiteit Twente dient iedere student een bacheloropdracht te doen als proeve van bekwaamheid. Het verslag dat u nu aan het lezen bent, is een onderdeel van het resultaat van mijn bacheloropdracht. Dit verslag leidt tot het andere onderdeel van het resultaat van mijn bacheloropdracht, een model voor de tactische planning van Grolsch.

Grolsch heeft mij de mogelijkheid gegeven om op de supply chain planning afdeling mijn bacheloropdracht uit te voeren. Ik wil graag Matthieu van der Heijden er voor bedanken dat hij mij in contact heeft gesteld met Grolsch.

Ik wil graag de hele supply chain planning afdeling bedanken voor hun gastvrijheid en interesse in mijn onderzoek. In het bijzonder wil ik mijn begeleider vanuit Grolsch Laura van Silfhout, bedanken voor de vele tips en adviezen op mijn schrijven en zinvolle input op mijn model.

Tenslotte wil ik graag nogmaals Matthieu van der Heijden bedanken, ditmaal voor het begeleiden van mijn bacheloropdracht vanuit de Universiteit Twente. Zijn vasthoudendheid met betrekking tot het exact modelleren van het planningsprobleem heeft er voor gezorgd dat ik op het moment dat ik dacht dat het niet meer mogelijk was, toch een exact model heb kunnen opstellen. Marco Schutten verdient een laatste woord van dank als meelezend begeleider.

Ik hoop dat Grolsch op basis van mijn onderzoek de tactische productieplanning de komende jaren nog beter kan maken en mijn model nog goed kan gebruiken.

Definities & gebruikte afkortingen

Strategische productieplanning	Het opstellen van duidelijke richtlijnen voor het maken van een productieplanning. Capaciteitsvraagstukken op de lange termijn zijn hierbij onder andere van belang.
Tactische productieplanning	Planning op weekniveau waarbij geen rekening wordt gehouden met specifieke ombouwtijden maar met gemiddelden van ombouwtijden over een gemiddelde productieweek.
Operationeel plannen	Het in detail inplannen van de productie inclusief gedetailleerde ombouwtijden.
Operator	Lijnmedewerker
Unitmanager	Eindverantwoordelijke voor een aantal afvullijnen
Pall Filter	Het filter dat gebruikt wordt voor de productie van Miller bier.
Cip	Clean in place, een computergestuurde schoonmaak van de afvullijnen.
DoC	Days of Cover, het aantal dagen vraag dat de voorraad afdekt.
SKU	Stock keeping unit
EOQ	Economic order quantity
VBA	Visual Basics of Applications
Brouwhuis	Het deel van de Grolsch brouwerij waar het bier wordt gebrouwen, gefiltreerd en behandeld.
Planningsysteem	Software applicatie gebruikt voor de planning
Planningsstrategie	Een behaald beleid op basis waarvan een planning wordt gemaakt
SCP	Supply chain planning
CLSP	Capacitated Lot-Sizing and Scheduling Problem
MILP	Mixed Integer Linear Programming
TSP	Traveling Salesman Problem
MTZ	Miller, Tucker en Zemlin
Batchcyclus	Een batchcyclus van 2 weken betekend dat een bijbehorende SKU iedere twee weken wordt geproduceerd.

Definities & gebruikte afkortingen

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	2
Voorwoord.....	4
Definities & gebruikte afkortingen	5
1 Introductie	8
1.1 Introductie tactische productieplanning Grolsch	8
1.2 Probleemkluwen.....	10
1.3 Relevantie van het probleem en het onderwerp	11
1.4 Onderzoeksdoel en onderzoeksvragen	11
1.5 Stakeholders	12
1.6 Scope van het onderzoek	12
1.7 Probleemaanpak.....	12
1.8 Structuur verslag	13
2 Analyse huidige situatie.....	14
2.1 Introductie processen.....	14
2.1.1 Introductie productieproces.....	14
2.1.2 Introductie planningsproces.....	15
2.1.3 Planningssysteem	16
2.2 Onderzoek verpakkingafdeling	16
2.3 Ombouwtijden.....	17
2.4 Analyse huidige tactische planning	18
2.5 Conclusie analyse huidige situatie.....	19
3 Literatuurstudie	20
3.1 Planningsstrategie	20
3.1.1 Plannen op basis van productfamilies.....	20
3.1.2 Combineren verschillende strategieën.....	20
3.1.3 Bufferen	21
3.2 Volgorde afhankelijke ombouwtijd planningsmodellen	22
3.2.1 MILP model.....	22
3.2.2 Combinatie continu- & discreetmodel	23
3.2.3 Heuristiek.....	23
3.2.4 Constraints.....	24
3.3 Conclusie literatuurstudie	26
4 Optimalisatie van de afvullijn	27
4.1 Toepassing planningsstrategieën	27
4.1.1 Strategie.....	27

4.1.2	Toepassing van strategie	27
4.1.3	Constraints.....	29
4.2	Model ontwikkeling.....	29
4.2.1	MILP model.....	29
4.2.2	Algoritme	31
4.2.3	Data verwerking	34
4.3	Conclusie.....	35
5	Resultaten en analyse.....	36
5.1	Uitkomsten	36
5.2	Vergelijking	36
5.3	Conclusie.....	37
6	Conclusies & aanbevelingen	39
6.1	Conclusie.....	39
6.2	Beperkingen.....	39
6.3	Aanbevelingen	40
	Referentielijst	42
	Bijlage	45

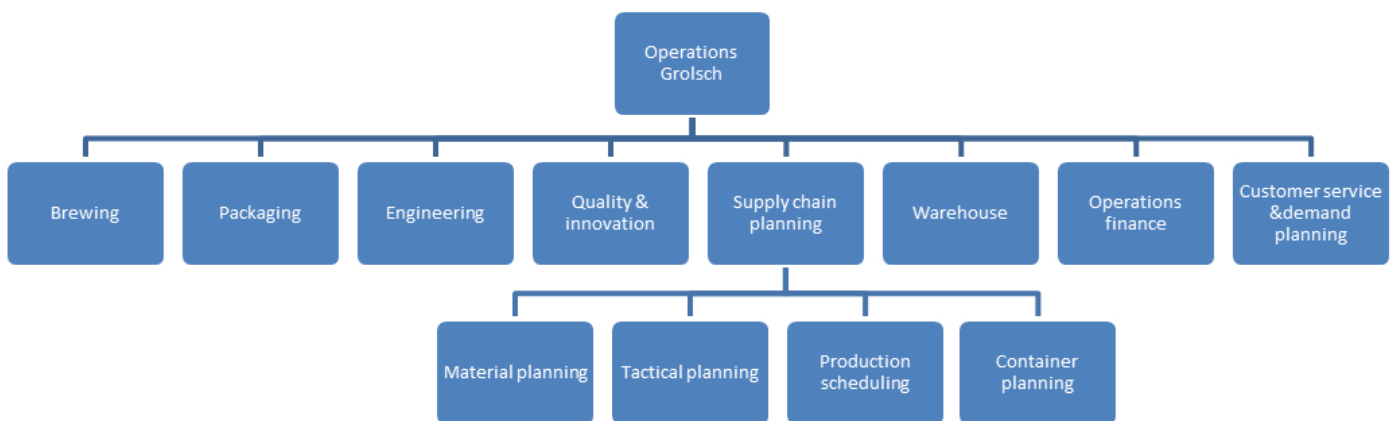
1 Introductie

Een onderzoek naar de tactische productieplanning van de afvullijnen van Grolsch zal in dit hoofdstuk geïntroduceerd worden.

1.1 Introductie tactische productieplanning Grolsch

Koninklijke Grolsch (Grolsch) is een Nederlandse bierbrouwer opgericht in 1615. Op dit moment is SabMiller de eigenaar van Grolsch, zij hebben recent een bod van Asahi ontvangen met betrekking tot Grolsch en een overname zit er aan te komen (ABInBev, 2016). Het onderzoek is gedaan binnen de supply chain planning (SCP) afdeling van Grolsch. Deze afdeling bevindt zich in de operations tak van Grolsch. De SCP afdeling is opgedeeld in 4 subafdelingen die ieder eigen verantwoordelijkheden hebben. Hierbij is ook het onderscheid tussen strategische, tactische en operationele planning van belang. De organisatie structuur van de operations deel van Grolsch en de SCP afdeling is weergegeven in figuur 1.

- Strategische planning: Het opstellen van richtlijnen voor een productieplanning. Lange termijn capaciteitsvraagstukken zijn hier onder andere bij van belang.
- Tactische planning: Planning op weekniveau waarbij geen rekening wordt gehouden met specifieke ombouwtijden maar met gemiddelden van ombouwtijden over een gemiddelde productieweek.
- Operationeel plannen: het in detail inplannen van de productie inclusief gedetailleerde ombouwtijden.



Figuur 1 Organisatie structuur operations Grolsch

De tactische planners plannen op basis van een rollende planningshorizon voor twee tot 78 weken vooruit. Deze planning geeft aan van welke stock keeping unit (SKU) er hoeveel geproduceerd moet worden in welke week. Dit wordt enkele weken voordat de productie van start gaat vertaald naar een operationele planning door de productie schedulers. De huidige planning van Grolsch wordt in een door SABMiller ontwikkeld planningssysteem gemaakt en heeft een user interface in Excel. In dit planningsysteem wordt een voorstel van de planning gegenereerd door Infor AP (advanced planning) die als input wordt gebruikt bij het opstellen van de planning. Het is echter niet geheel bekend bij de SCP afdeling op basis waarvan dit voorstel wordt gedaan.

Het onderzoek wordt gedaan om de strategie van de tactische planning te optimaliseren. Met tactische planningsstrategieën worden strategieën bedoeld die de productiefrequentie van een SKU beïnvloeden. Bijvoorbeeld door producten in families te clusteren, tussen deze families zijn de ombouwkosten lager en hierdoor kan het aantrekkelijker worden om vaker te produceren.

De planning wordt gemaakt voor de 157 SKU's die Grolsch afvult op haar 7 afvullijnen. De verschillende SKU's worden geproduceerd op basis van een beperkt aantal basisbieren. De voorgenoemde afvullijnen variëren in het product dat gevuld wordt. Zo zijn er aparte afvullijnen voor onder andere fusten, blikken en de verschillende type flessen. Het productieproces bij Grolsch bestaat uit een brouwproces en een

verpakkingsproces. In de onderstaande tabel 1 staan de verschillende grote processen weergegeven met hierbij het aantal output varianten en de doorlooptijd van 1 batch.

	Brouwproces			Verpakkingsproces
Proces	Brouwen	Vergisten en lageren	Filtreren	Afvullen
Doorlooptijd	6 uur	3 weken	Afhankelijk van hoeveelheid, enkele uren.	Afhankelijk van hoeveelheid, enkele uren.
Aantal varianten output	12	12	35	157
Indicatie batch groottes	Ongeveer 3200 hectoliter	2500 tot 5000 hectoliter	Tussen de 350 en 6000 hectoliter	Ongeveer 1000 hectoliter

Tabel 1 Proces overzicht Grolsch

Bij het creëren van een planning wordt er begonnen bij de vraag van de klant. De klant vraagt SKU's die de output zijn van het afvulproces. Hierom wordt er eerst een afvulplanning gemaakt en wordt er hierna gekeken hoe het brouwproces hier gevolg aan kan geven.

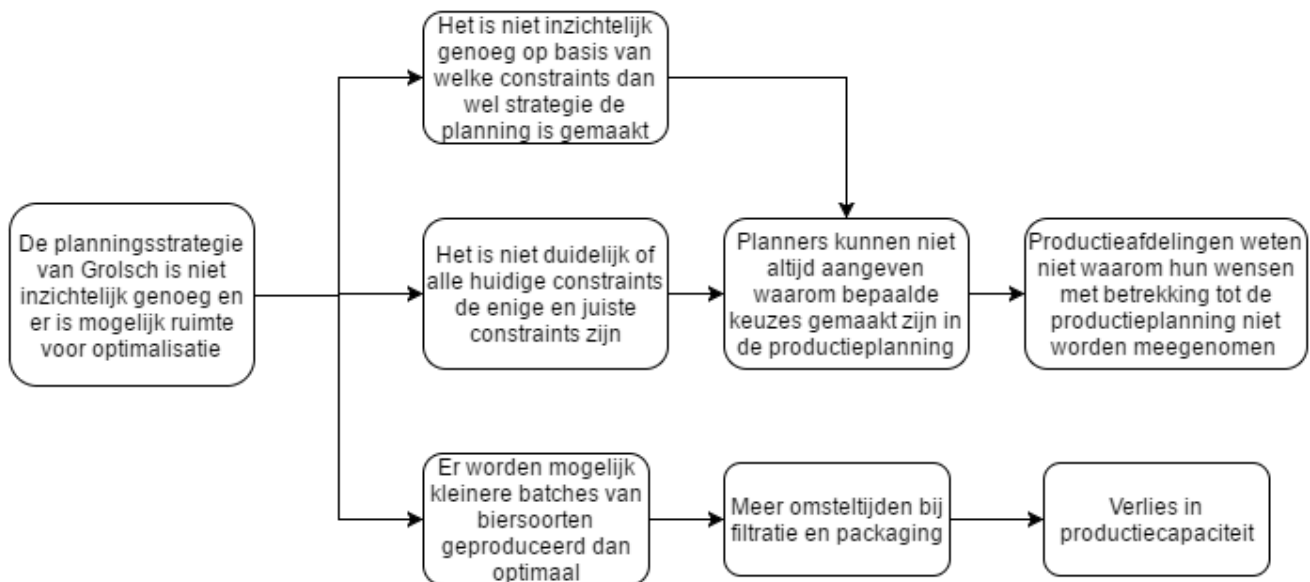
Met de huidige manier van tactisch plannen worden de SKU's frequent in relatief kleine batches geproduceerd. Het batchformaat en -frequentie die gebruikt worden voor de planning van het huidige productportfolio zijn niet geoptimaliseerd. Er worden regelmatig berekeningen gedaan om de uitkomsten van de planning te optimaliseren maar er wordt niet naar de kern, batchformaat en -frequentie gekeken. Er is geen bewijs dat de planningsstrategie de juiste is, Grolsch wil een bewezen juiste planningsstrategie hebben. Grolsch is continu bezig met verbeteringen en dit onderzoek zal hier hopelijk aan bijdragen. Hiernaast zijn er verschillen in het SKU portfolio en productievolume die mogelijk een andere benadering van de productieplanning wenselijk maken, dan dat een tijd geleden het geval was. Voor Grolsch is de voorraadbeschikbaarheid en service level, variabele ombouwkosten en optimalisatie van de cashflow belangrijk. In dit onderzoek zullen voorraadbeschikbaarheid en ombouwkosten worden meegenomen. Dit onderzoek is deel van een groter project dat bestaat uit vijf fases. Deze bacheloropdracht zal fase twee onderzoeken en voortgaan op de output van fase 1.

1) Bepalen van de optimale batchformaat op SKU niveau	Niet in scope
2) Bepalen van de optimale productievolgorde per afvullijn door ombouwtijd minimalisatie	Wel in scope
3) Combineren van de productieplannen van de verschillende afvullijnen door productfamilies tegelijk af te vullen en de optimalisatie hiervan	Niet in scope
4) Optimaliseren van het brouw- en filtratieplan met behulp van de productfamilies	Niet in scope
5) Optimalisatie op basis van supply chain kosten, aantal batches per week, bezettingsgraad, filtratie batchgrootte	Niet in scope

Tabel 2 Fases onderzoek Grolsch en scope

1.2 Probleemkluwen

Om het probleem bij Grolsch op een juiste manier aan te pakken en te bepalen of er een probleem wordt opgelost of een symptoom wordt bestreden is er een probleemkluwen gemaakt. Uit een probleemkluwen is in een oogopslag duidelijk wat oorzaken en gevolgen zijn. Een probleemkluwen geeft ook structuur aan de probleemcontext en helpt om het kernprobleem te bepalen. (Heerkens & Winden, 2012) De gemaakte probleemkluwen wordt nu weergegeven. Eerst visueel hierna zullen de punten die dit nodig hebben verder worden toegelicht.



Figuur 2 Probleemkluwen

De planningsstrategie van Grolsch is niet inzichtelijk genoeg en er is mogelijk ruimte voor optimalisatie

Grolsch heeft aangegeven een aantal problemen te ervaren in het huidige productieplanningsstrategie voor de tactische productieplanning. Deze problemen zijn:

1. Het is niet inzichtelijk op basis van welke constraints(beperkingen) de planning is gemaakt
2. Het is niet duidelijk of alle huidige constraints de enige en juiste constraints zijn
3. Er worden mogelijk kleinere batches van biersoorten geproduceerd dan optimaal

Deze verschillende problemen in het huidige planningsstrategie geven aan dat het huidige planningsmodel niet volledig voldoet aan de eisen en wensen die Grolsch heeft. Hiernaast bestaat het gevoel dat er geoptimaliseerd kan worden en er minder kosten gemaakt kunnen worden.

Het is niet inzichtelijk genoeg op basis van welke constraints, of strategie de planning is gemaakt

Planners bij Grolsch krijgen regelmatig vraag vanuit productieafdelingen naar de argumentatie van de planning. In 99% van de gevallen kan de planner achterhalen waarom er bepaalde keuzes in de planning zijn gemaakt. Echter zijn de keuzes niet altijd onderbouwd met een bepaalde strategie. Dit kan leiden tot discussies waarom er een bepaalde keuze is gemaakt en of dat dit de juiste was.

Het is niet duidelijk of alle huidige constraints de enige en juiste constraints zijn

De planningsstrategie die door het planningsstelsel wordt aangeleverd geeft soms mogelijkheden die niet geschikt zijn voor Grolsch. Dit voedt het vermoeden dat niet alle aanwezige constraints worden mee genomen. Hiernaast kunnen oude constraints leiden tot onnodige beperkingen.

Planners kunnen niet altijd aangeven waarom bepaalde keuzes gemaakt zijn in de productieplanning

Planners bij Grolsch krijgen regelmatig de vraag vanuit productieafdelingen over beslissingen over de planning. De keuzes kunnen verduidelijkt worden, de achterliggende strategie echter niet. Omdat hier geen vastgestelde strategie achter zit, die de leidraad vormt van de planning, kan dit tot discussies leiden zoals eerder omschreven.

Productieafdelingen weten niet waarom hun wensen met betrekking tot de productieplanning niet worden meegenomen

Als de strategie van de planning niet duidelijk gecommuniceerd wordt, ontstaan er onduidelijkheden waarom bepaalde keuzes gemaakt zijn. Een voorbeeld hiervan is het wisselen van verpakkingstype 1 naar verpakkingstype 2 en weer terug. Medewerkers van de productieafdeling vinden het vervelend als zij het gevoel hebben dat er onlogisch wordt gepland. Indien de onduidelijkheid wordt weggenomen zal de acceptatie waarschijnlijk groeien.

1.3 Relevantie van het probleem en het onderwerp

Om de relevantie van het probleem bij Grolsch aan te duiden en tot een oplossing hiervoor te komen zal er nu het kernprobleem worden vastgesteld uit de voorgaand besproken probleemkluwen.

Bij het bepalen van het kernprobleem zijn er 4 vuistregels van belang. (Heerkens & Winden, 2012) Deze vuistregels stellen dat een kernprobleem: een aangetoond probleem moet zijn, er geen ander probleem de oorzaak van is, het op te lossen moet zijn en het probleem dat het belangrijkste is dan wel de grootste besparing kan opleveren moet worden aangepakt. De toepassing hiervan leidt tot het kernprobleem: het planningsmodel van Grolsch is niet inzichtelijk en er is mogelijk ruimte voor optimalisatie. Hierbij is de optimalisatie van de tactische productieplanning het belangrijkste. Wat ook van belang is, is dat er een duidelijke strategie komt en deze wordt gecommuniceerd.

1.4 Onderzoeksdoel en onderzoeksvragen

Het doel van het verbeterproject, zoals hiervoor omschreven, van Grolsch is een planningsstrategie te ontwikkelen die de constraints meeneemt, waarbij de productie-, backlog en lost sales kosten worden geminimaliseerd. Het doel van de bacheloropdracht is, de ombouwtijden en hiermee de productiekosten minimaliseren. Hiervoor zijn drie subdoelen opgesteld:

- 1) Achterhalen wat de constraints zijn waarmee rekening moet worden gehouden in de tactische planning.
- 2) Achterhalen wat de beste strategie voor de tactische planning bij Grolsch is.
- 3) Het ontwikkelen van een planningsmodel voor de tactische planning.

De hoofdvraag die hier bij hoort is:

Wat is de optimale strategie voor de tactische productieplanning van de afvullijnen van Grolsch?

Om deze hoofdvraag goed te kunnen beantwoorden zijn de volgende deelvragen opgesteld:

- 1) Hoe werkt het huidige planningssysteem van de productieplanning van Grolsch en met welke constraints wordt er rekening gehouden?
- 2) Welke planningsstrategieën voor productielijnen met meerdere niet-houdbare producten geproduceerd in batches bestaan er volgens de literatuur, wat is de beste structuur van een planningsmodel volgens de literatuur, welke constraints zouden er volgens de literatuur belangrijk kunnen zijn en welke strategie en structuur is het beste voor Grolsch?
- 3) Welke constraints zouden er volgens de stakeholders moeten worden meegenomen in de productieplanning?
- 4) Komt de planningsstrategie die afgeleid wordt uit het model overeen met de planningsstrategie uit de literatuurstudie?

- 5) Creëert het model een betere planning dan het huidige planningssysteem van Grolsch op basis van de belangrijkste KPI's?

Een optimale planningstrategie voor Grolsch scoort goed op alle KPI's die er zijn opgesteld. De belangrijkste KPI's in het onderzoek zijn: voorraadbeschikbaarheid en variabele ombouwkosten. Hoe deze onderzoeksvragen worden beantwoord in de verschillende fases van het onderzoek van Grolsch wordt behandeld in paragraaf 1.8.

1.5 Stakeholders

De stakeholders die van belang zijn, zijn alle afdelingen die gebruikmaken van de planning. Deze staan in figuur 1 weergegeven. De betrokkenafdelingen zijn: Packaging, Customer service & demand planning, Brewing, Warehouse en de Supply chain planning.

Packaging en Brewing willen een planning waarmee zij kunnen werken en een die voor hen het werk zo gemakkelijk mogelijk maakt. Op dit moment is de communicatie van het afvul en brouwplan met Packaging en Brewing al goed. Er zijn echter wel verbetermogelijkheden met betrekking tot de planningstrategie. Packaging en Brewing willen dat dit plan zo efficiënt mogelijk is en de ombouwtijden geminimaliseerd worden.

Customer service & demand planning is verantwoordelijk voor het inschatten van de toekomstige vraag. Aan deze vraag zal er te alle tijden voldaan moeten worden hier zal een goede planningstrategie aan bij moeten dragen.

De Supply chain planning is de afdeling waarin ik mijn bacheloropdracht ga doen. Deze afdeling is verantwoordelijk voor de productieplanning binnen Grolsch. De productieplanning omvat de afvullijnen, filtratielijnen, brouwlijnen en ook de beschikbaarheid van verpakkingsmateriaal en productieruimte. Voor de SCP afdeling zal de te ontwikkelen planningstrategie het grootste belang hebben. Een eventueel verbeterde planningstrategie zal op hen de grootste invloed hebben. Hierbij kunnen zij dan mogelijk een betere planning maken dan nu.

1.6 Scope van het onderzoek

Om te voorkomen dat er verzand wordt in een eindeloos onderzoek is het van belang juiste kaders te stellen aan de opdracht, of te wel de scope van het onderzoek te bepalen. Hierom is besloten dat de bacheloropdracht fase 2 van het voorgaand genoemde onderzoek van Grolsch bevat zoals te zien in tabel 2.

Het model zal in eerste instantie doorgerekend en geanalyseerd worden voor 1 afvullijn om de kwaliteit er van te bepalen. Het implementeren voor meerdere afvullijnen zal door Grolsch gedaan worden.

1.7 Probleemaanpak

Om de hoofdvraag van dit onderzoek te kunnen beantwoorden zal er een literatuurstudie worden gedaan en een tactisch planningmodel worden ontwikkeld.

De literatuurstudie zal worden gedaan naar geschikte planningstrategieën voor een volgorde afhankelijk planningprobleem. Hiernaast zal er ook literatuurstudie gedaan worden naar modellen van dit type problemen en methodieken om dit type problemen op te lossen. In deze literatuurstudie zal worden gepoogd een overzichtsartikel te gebruiken om een bepaalde oplossingsmethodieken of strategieën te selecteren. Hierna zal een gekozen strategie of methodiek in detail worden onderzocht.

Het planningmodel dat ontwikkeld wordt zal worden ontwikkeld op basis van de literatuurstudie en input die verkregen gaat worden bij Grolsch via interviews. De input gekregen bij Grolsch zal vooral komen van de Packaging en SCP afdeling. Hieruit zal een model volgen dat gespecificeerd is naar de situatie bij Grolsch. Dit model zal zowel exact opgelost gaan worden als met een heuristiek.

Aan het eind van het onderzoek zal gekeken worden of de uitkomsten van het model en de literatuurstudie elkaar versterken of verwerpen.

1.8 Structuur verslag

De structuur van het verslag is als volgt: In hoofdstuk 2 zal de huidige situatie bij Grolsch onderzocht en geanalyseerd gaan worden voor een startpunt van het onderzoek. In hoofdstuk 3 zal er een literatuurstudie worden gedaan om planningsstrategieën te achterhalen en een opzet voor het model te bepalen. Vervolgens zal dit toegepast worden op Grolsch en er een planningsmodel worden ontwikkeld in hoofdstuk 4. Dit model zal worden opgelost volgens een heuristiek en een exacte methode in hoofdstuk 4 waar van de resultaten in hoofdstuk 5 worden weergegeven en geanalyseerd. In hoofdstuk 6 zullen conclusies en aanbevelingen worden gegeven.

Hoofdstuk 2	Deelvraag 1, Hoe werkt het huidige planningssysteem van de productieplanning van Grolsch en met welke constraints wordt er rekening gehouden?
Hoofdstuk 3	Deelvraag 2, Welke planningsstrategieën voor meerdere productielijnen en meerdere niet houdbare producten geproduceerd in batches bestaan er volgens de literatuur, wat is de beste structuur van een planningsmodel volgens de literatuur, welke constraints zouden er volgens de literatuur belangrijk kunnen zijn bij Grolsch en welke strategie en structuur is het beste voor Grolsch?
Hoofdstuk 4	Optimalisatie op de afvullijn Deelvraag 3, Welke constraints zouden er volgens de stakeholders moeten worden meegenomen in de productieplanning? Ontwikkeling van heuristiek en exact model
Hoofdstuk 5	Resultaten en analyse Deelvraag 4, Komt de planningsstrategie die afgeleid wordt uit het model overeen met de planningsstrategie uit de literatuurstudie? Deelvraag 5, Creëert het model een betere planning dan het huidige planningssysteem van Grolsch op basis van de belangrijkste KPI's?
Hoofdstuk 6	Conclusie en aanbeveling

Tabel 3 Structuur verslag

Totaal beschikbare uren			
Operationele uren			Onderhoudsuren
Uren beschikbaar voor productie		Toegestane stop	
Machine uren	Storingen		
Geproduceerde uren	Efficiëntieverlies		

Figuur 3 Opbouw productiecapaciteit

Tussen de productie van twee verschillende SKU's moet een afvullijn worden omgebouwd. Na een ombouw van een afvullijn zal een afvullijn niet direct tot in detail goed zijn afgesteld. Een afvullijn zal moeten worden bijgesteld, het bijstellen aan het begin van een batch leidt er toe dat de productie lager is doordat er verstoringen zijn. De tijd die wordt ingepland voor een korte batch is hierdoor te kort, en de tijd voor een lange batch te lang. Het opsplitsen van de batch in een opstartbatch en een in productiebatch met de hierbij juiste afvullijnsnelheden is op dit moment nog niet mogelijk. De twee batches zouden dan beide in een apart vak van het magazijn geplaatst moeten worden omdat een batch altijd traceerbaar moet zijn mochten er problemen zijn met de producten. Het veranderen van de batchsnelheden zal er ook toe leiden dat er verschillende batches ontstaan met dezelfde producten op dezelfde dag die altijd achter elkaar gepland moeten worden. De complexiteit van de operationele planning zal hiermee sterk stijgen. Ook zou dit betekenen dat er veel vakken in het magazijn voor een klein deel gevuld zullen zijn en het magazijn te klein zou worden. Mogelijkheden om gebruik te maken van het verschil in afvullijnsnelheid worden in het vervolg van het verslag besproken.

2.1.2 Introductie planningsproces

Een productieplanning is voor Grolsch optimaal als de totale operationele kosten minimaal zijn en er aan alle randvoorwaarden worden voldaan. Dit leidt tot een doelfunctie die de som van de totale kosten van de operatie minimaliseert. Om deze minimale kosten te behalen worden de beslissingsvariabelen aangepast. De beslissingsvariabelen zijn de frequentie waarin een product wordt geproduceerd en de combinatie van producten die gemaakt wordt voor een week, bij Grolsch wordt dit in cycli uitgedrukt. De productiecyclus die hier uit voortkomt en de koppeling tussen de verschillende producten moet aan de constraints voldoen die er bij Grolsch zijn. Wat deze constraints zijn wordt in deze bacheloropdracht onderzocht. De meeste constraints zijn al bekend. Echter is niet bekend of dit alle constraints zijn. De belangrijkste KPI's bij de productieplanning van Grolsch die ook bijdragen aan het onderzoek zijn: voorraadbeschikbaarheid en variabele ombouwkosten.

De voorspelling van de vraag wordt gedaan door de demand planning afdeling van Grolsch. Een aantal van de Grolsch producten zijn goed te voorspellen geeft de demand planning afdeling aan, dit zijn de niet promotiegedreven retailproducten, de grote promotiegedreven retailproducten zoals kratten Grolsch en het bier voor de horeca. Echter is er ook een categorie waarvan de vraag lastig te voorspellen is zoals de promotiegedreven kleine producten. Mogelijk is het interessant dit op te nemen in de planningsstrategie voor Grolsch. Als er op een goede manier met de onzekerheid kan worden omgegaan zal dit de prestaties van het planningsstrategie verbeteren (Gupta & Maranas, 2003). De vier categorieën worden in het voorspellen van de vraag gebruikt. Bij het maken van de tactische productieplanning wordt er onderscheid gemaakt tussen de producten met een kleine en een grote standaardafwijking tussen de verwachte vraag en de daadwerkelijke vraag per week.

Op basis van de input van de demand planning afdeling wordt door het tactische team van de SCP afdeling eens per week een tactische planning gemaakt. De tactische planning wordt hierna doorgezet naar de schedulers. De schedulers zullen deze tactische planning verwerken in een zo goed mogelijk productieschema. Verbeteringen en wijzigingen die worden aangebracht in het korte termijn plan hebben te maken met actuele wijzigingen in de omstandigheden en verbetermogelijkheden die de SCP afdeling herkent.

Een gestegen of gedaalde voorspelling van de vraag naar een product kan de lange termijn planning weer sterk beïnvloeden. Met de geringe productiecapaciteit zal dit in sommige gevallen betekenen dat een ander product niet geproduceerd kan worden. Het operationele plannen valt buiten de scope van dit onderzoek.

Naast het onderscheid in de variatie in de vraag wordt er bij Grolsch ook onderscheid gemaakt tussen make to order en make to stock producten. Bij Grolsch wordt geproduceerd volgens een combinatie van strategieën. Volgens (Buxey, 2003) en (Chopra & Meindl, 2013) is de chase strategie de juiste strategie bij een onzekere vraag, hoge voorraadkosten en lage kosten om te wisselen in productiviteit, zoals bij Grolsch bij een deel van de producten het geval is. Een chase strategie houdt in dat de vraag van de markt gevolgd wordt, als de vraag stijgt, stijgt de productie en vice versa.

Bij de make to stock producten is de levertijd logischerwijs kort. Hierdoor kunnen klanten snel geleverd worden. Make to stock producten worden in de literatuur aangeraden bij producten die niet te personaliseren, goedkoop zijn en in grote hoeveelheden worden verkocht. (Soman, Donk, & Gaalman, 2004) Bij Grolsch geldt dit bijvoorbeeld voor de standaard pijpjes. Hiernaast zijn er nog vele producten die in grote hoeveelheden geproduceerd worden.

2.1.3 Planningssysteem

Het huidige planningssysteem voldoet niet aan de wensen van de SCP afdeling. Wanneer er naar een systeem wordt verwezen wordt er verwezen naar een softwareapplicatie. Als er gesproken wordt over een strategie heeft dit betrekking op een beleid. De SCP afdeling van Grolsch is het niet altijd eens is met de uitkomsten die door het planningssysteem worden aangeleverd. De strategie die het model gebruikt is niet volledig te achterhalen binnen de scope van de bacheloropdracht, het is onderdeel van het softwarepakket dat Grolsch gebruikt. De strategie van het software systeem voldoet bijvoorbeeld niet, omdat er oplossingen aangedragen worden die geen rekening houden met volgorde afhankelijke ombouwtijden. Het systeem neemt met name harde constraints mee als beschikbaarheid van productiecapaciteit en magazijnruimte. De optimalisatie vindt plaats op winstoptimalisatie van de gehele brouwerij, echter wordt er geen rekening gehouden met de volgorde afhankelijke ombouwtijden van de afvullijnen en is er in dit systeem altijd dezelfde hoeveelheid ombouwtijd per week. Hierdoor zal het systeem kleinere batches gaan produceren om zo de opslagkosten te verlagen. Terwijl er hierdoor meer ombouwtijd is en ombouwkosten zijn, waar geen rekening mee wordt gehouden.

In verband met de complexiteit van de global template van SABmiller waarin bij Grolsch gewerkt wordt, is het niet mogelijk in de code van het planningssysteem te duiken en zo factoren die worden meegenomen te achterhalen. Hierom moeten de huidige strategie en de huidige constraints achterhaald worden op basis van interviews en gesprekken met de betrokken partijen, de handleiding bij ESCAPE¹ en analyse van de output van het planningssysteem. Dit wordt gedaan in hoofdstuk 4 van dit verslag.

De SCP afdeling van Grolsch maakt nu handmatig wijzigingen in de tactische planning om wel rekening te houden met de volgorde afhankelijke ombouwtijden. Dit wordt gedaan door producten uit dezelfde productfamilie te clusteren in bepaalde weken. Of de huidige manier van clusteren de best mogelijke manier van clusteren is, is niet bekend.

2.2 Onderzoek verpakkingsafdeling

Onder de operators van afvullijnen 7 en 8 is er een inventariserend onderzoek gedaan naar wat zij zien aan optimalisatiemogelijkheden in de planning. Zij kwamen met een aantal zaken die het beeld dat de SCP afdeling heeft bevestigd waaronder: de afvullijn presteert in het begin van een batch minder dan aan het einde van de batch, machines die elkaars equivalent zijn moeten na elkaar gepland worden zodat deze omgesteld kunnen worden als de ander werkt en clusteren over een groter aantal weken zou beter moeten

¹ Planning systeem van Grolsch

zijn. Deze input is meegenomen in de interviews die met alle drie de unitmanagers² zijn gehouden. Ook zij hebben deze bevestigd en benadrukt dat langere batches leiden tot minder storingsen. Hierbij is ook vermeld dat bij een nieuwe batch men vaak het eerste en tweede uur bezig is met het bijstellen van de machine.

Naast dat een betere tactische planning de KPI's van de SCP afdeling kan verbeteren, heeft het ook invloed op de KPI's van de afvullijnen. De KPI's van de afvullijnen zijn onder andere machine efficiency en factory efficiency. De factory efficiency is door de tactische planning ook te verbeteren. Als er minder ombouwtijden zijn zal het verschil tussen de beschikbare uren en de uren dat de machine produceert afnemen en hiermee de factory efficiency stijgen. Binnen deze bacheloropdracht zijn andere KPI's van groter belang, dit zijn voorraadbeschikbaarheid en variabele ombouwkosten. Echter vallen ook de KPI's van de afvullijnen te beïnvloeden door de tactische planning. Als er in de tactische productieplanning veel verschillende producten in een week gepland worden in kleine batches, stijgt het aantal ombouwactiviteiten. Hiermee daalt de factory efficiency die gedefinieerd is als:

$$\text{Factory efficiency} = \frac{\text{Beschikbare uren}}{\text{Uren dat de machine produceert}} * \frac{\text{Werkelijke afvulsnelheid}}{\text{Afvulsnelheid volgens afspraak}}$$

Door de vele ombouwactiviteiten zullen de ombouwkosten stijgen. Hiernaast wordt in het begin van een batch, de afvullijn continue bijgesteld. De afstelling komt precies en kleine afwijkingen veroorzaken storingsen. Veel kleine batches, met onderling grote verschillen zullen leiden tot meer grote ombouwacties en dus tot meer storingsen wat weer zal leiden tot een lagere factory efficiency.

2.3 Ombouwtijden

Er zijn drie ombouwtypes bij de afvullijnen van Grolsch, zie tabel 4. Deze drie verschillende type hebben ieder hun eigen kenmerken. De verschillende ombouwtypes kunnen los van elkaar plaatsvinden, in combinatie met één andere wissel of in combinatie met twee andere wissels. Indien er meerder ombouwtypes tegelijk plaatsvinden kunnen deze grotendeels parallel gedaan worden. De kosten die bij het ombouwen aanwezig zijn, zijn voor het grootste deel kosten voor de tijd, loon- en stilstandskosten. Per type wissel zullen er ook andere kleine kosten gemaakt worden, bijvoorbeeld aan verspilling van materialen. Dit zal echter gaan om veel kleinere kosten dan tijd. Hierom zal er geoptimaliseerd worden op een minimalisatie van de ombouwtijd. Per ombouwtype is in tabel wel aangegeven waar deze kosten zich bevinden.

Soortombouw afvullijn	Betekenis ombouw	Kosten factoren
Bierwissel	Bij een bierwissel wordt er gewisseld van biersoort. Bijvoorbeeld van Grolsch Herfstbok naar Grolsch Pilsner.	Bier dat nog in de leiding zit moet worden weggegooid
Configuratiewissel	Een voorbeeld van een configuratiewissel is van 24 flesjes los in een doos naar 4x6 in een doos.(4 sixpacks)	Karton dat al in het apparaat zit moet worden weggegooid. Dit is echter weinig.
Containerwissel	Bij een containerwissel wordt de verpakking die om het bier zit gewisseld. Er kan bijvoorbeeld van een 330 ml blik naar een 500 ml blik gegaan worden.	Geen extra kosten factoren

Tabel 4 Ombouwtypes

Uit interviews met de unitmanagers van Grolsch is gebleken dat het beeld dat er binnen Grolsch bestaat dat er bij bierwissels het meeste afvullijnproductietijd verloren gaat, vervolgens de containerwissel en dan configuratiewissel niet altijd waar is. Dit wordt ook door de data van afvullijn 7 onderbouwd, verderop in dit hoofdstuk wordt dat nader toegelicht. Hiernaast is op afvullijn 4 de ombouwtijd bij behoud van biersoort gemiddeld 32 minuten en bij behoud van configuratie 25 minuten.

² Een unitmanager is eindverantwoordelijk voor de prestaties, personeelszaken, en kosten van een combinatie van een aantal afvullijnen. (The chain company, 2016)

Er bestaan verschillende ideeën over wat de beste manier van clusteren is, eerst op biersoort, dan op container en dan op configuratie of in een andere volgorde. Om hier uitsluitsel over te krijgen heeft de SCP afdeling, afvullijnen gevraagd om de ombouwmatrix bij te werken. Dit heeft tot een nieuwe ombouwmatrix geleid op basis waarvan blijkt dat het per afvullijn verschillend is wat een optimale clustering van producten is. Om er achter te komen wat de beste manier van clusteren is zijn de ombouwtijden van afvullijn 7 en afvullijn 8 geanalyseerd. Hierbij zijn er vier situaties mee genomen geen clustering, behoud van biersoort, behoud van configuratie en behoud van container. Hierbij zijn de Miller producten en de Radler producten uitgesloten omdat deze specifieke reinigingen behoeven die veel tijd kosten. Miller is bijvoorbeeld wel verkrijgbaar in 500 milliliter blikken maar niet in 330 milliliter blikken. Voor een aantal Radlers geldt dit weer andersom. Hierom worden deze bierstromen niet meegenomen omdat deze ten onrechte grote gevolgen voor de resultaten kunnen hebben. Het is goed te beseffen dat deze ombouwmatrix alleen de voordelen op afvullijnniveau mee. Door de beperkte beschikbaarheid van helderbier tanks en filtratiecapaciteit zal er op groter niveau gekeken moeten worden om tot een strategie te komen die voor Grolsch geschikt is.

Afvullijn 7

Als er naar alle ombouwtijden wordt gekeken die mogelijk zijn op afvullijn 7 is de gemiddelde ombouwtijd 83 minuten. Indien er behoud van biersoort of behoud van container plaatsvindt, is dit 53 minuten. Bij behoud van configuratie is dit 34 minuten. Met gebruik van 95% betrouwbaarheidsintervallen is er geen verschil te bewijzen tussen deze verschillende ombouwvormen. Clusteren is echter wel in de bestudeerde situaties beter dan niet clusteren. De 95% betrouwbaarheidsintervallen staan in bijlage 1.

Afvullijn 8

Als er naar alle ombouwtijden wordt gekeken op afvullijn 8 is de gemiddelde ombouwtijd 102 minuten. Bij behoud van biersoort is de gemiddelde ombouwtijd 41 minuten. Bij behoud van container 92 minuten en behoud van configuratie 99 minuten. 95% betrouwbaarheidsintervallen hiervan zijn te vinden in de bijlage. Uit deze betrouwbaarheidsintervallen blijkt dat er aangetoond kan worden voor afvullijn 8 dat clusteren op biersoort tot de laagste ombouwtijden leidt, gevolgd door clusteren op container en als laatste clusteren op configuratie.

2.4 Analyse huidige tactische planning

Om een analyse van de huidige tactische planning van Grolsch te kunnen doen is het plan van week 28 voor een jaar vooruit geanalyseerd. Hierbij is er gekeken naar statistieken van de planning die belangrijk zijn voor Grolsch en een goed beeld van het proces geven. Hieruit valt ook een KPI te extraheren die binnen Grolsch als belangrijk wordt ervaren, de gemiddelde batchgrootte. Het is niet meer te herleiden hoe de variabele ombouwkosten waren. Bij Grolsch worden in het productieschema de ombouwtijden zo goed mogelijk geminimaliseerd. Hierom is er voor de bestaande planning de ombouwtijden geminimaliseerd. Afvullijn 7 had over een periode van 16 weken een ombouwtijd van 2415 minuten. Dit leidt tot een gemiddelde ombouwtijd van 5 uur per even week.

In tabel 5 KPI's huidige planning Grolsch, is per afvullijn te zien, hoe het jaarplan dat in week 15 van 2016 gemaakt is, voor het aankomende jaar op verschillende statistieken scoort. Hierbij is vermeldingswaardig dat afvullijn 5 tien weken per jaar operationeel is, en maar een klein aantal producten afvult als genoemd eerder in dit hoofdstuk. Hierdoor wijken de aantallen hectoliters sterk af van de andere afvullijnen. En afvullijn 3 nagenoeg alleen maar de standaard Grolsch pijpjes in kratten afvult, er zijn echter ook enkele ander producten afgevuuld waardoor het gemiddeld aantal batches per product per jaar sterk gedaald is. Merkwaardig zijn de variaties in het afvulvolume per week. Op afvullijn 2 is de variatie ongeveer de helft van het afvulvolume waar het bij afvullijn 1 rond een zesde ligt van het gemiddeld afgevuilde volume per week. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het type bieren dat wordt afgevuuld op afvullijn 2. Op afvullijn 2 worden speciaal bieren afgevuuld waaronder zich veel seizoen producten bevinden wat zorgt voor een fluctuatie in de productievolumes. Het verschil tussen de afvulvolumes per operationele week per afvullijn valt te verklaren met het verschil in afvulsnelheden.

Afvullijn/KPI	Aantal SKU's	Gemiddeld aantal batches per operationele week	Gemiddeld afvulvolume per operationele week	Gemiddelde batchgrootte	Variatie in volume per week ten opzichte van productievolume	Gemiddeld aantal batches per product per jaar
1 Fusten	16	6	4.025	728	16%	17
2 Speciaal bier	20	6	5.244	836	46%	10
3 Pijpjes	2	1	12.561	9.619	13%	30
4 Beugel	14	5	7.184	1.380	22%	13
5 1.5 Liter	3	1	241	219	41%	3
7 Niet terugkerende flessen	34	8	5.617	660	31%	12
8 Blik	54	13	20.276	1.516	23%	10

Tabel 5 Statistieken huidige planning Grolsch

2.5 Conclusie analyse huidige situatie

Het planningssysteem van Grolsch houdt geen rekening met volgorde afhankelijke ombouwtijden. De SCP afdeling wil dit echter wel. Het huidige planningssysteem plant om de totale winst te optimaliseren zonder rekening te houden met de volgorde afhankelijke ombouwtijden, hierom zijn de suggesties die het model aandraagt niet naar wens van de SCP afdeling. Veel constraints zijn bekend bij de SCP afdeling van Grolsch echter is niet bekend of dit de enige constraints zijn en hoe bindend deze constraints zijn. In deze bacheloropdracht zal een model dat de volgorde afhankelijke ombouwtijden meeneemt ontwikkeld worden en zal worden onderzocht welke constraints er bij Grolsch zijn en hoe bindend deze zijn.

3 Literatuurstudie

In deze literatuurstudie zal er eerst onderzoek gedaan worden naar welke planningsstrategieën er in de literatuurbekend zijn voor het type planningsproblemen zoals deze bij Grolsch. Hierna zal er onderzoek gedaan worden naar hoe dit type problemen gemodelleerd en opgelost kan worden.

Een belangrijk kenmerk van het planningsprobleem dat geoptimaliseerd moet worden, is dat de ombouwtijden volgorde afhankelijk zijn. In de literatuur wordt dit probleem omschreven als capacitated lot-sizing and scheduling problem (CLSP) with sequence dependent setup times (Copil, Wörbelauer, Meyr, & Tempelmeier, 2016).

3.1 Planningsstrategie

De planningsstrategieën die besproken gaan worden zijn: Plannen op basis van productfamilies, plannen met behulp van verschillen strategieën en bufferen.

3.1.1 Plannen op basis van productfamilies

Onderzoek toont aan dat productie inplannen op basis van productfamilies voordelen geeft met betrekking tot onder andere ombouwtijden en -kosten. De afgelopen decennia wordt er al geschreven over de voordelen van plannen op basis van productfamilies en in vele gevallen wordt het succesvol gebruikt. (Kopanos, Puigjaner, & Georgiadis, 2012) (Gupta & Maranas, 2003) (Bitran, Haas, & Matsuo, 1986)

Volgens (Kopanos, Puigjaner, & Georgiadis, 2012) is er sprake van een productfamilie als aan de volgende twee eisen is voldaan: *“1) they come from the same batch recipe, and 2) there is no need for changeover operations among them”* waar (Gupta & Maranas, 2003) rekening houden kleine onderlinge ombouwtijden en -kosten tussen de verschillende op elkaar lijkende producten. Bij Grolsch is er altijd sprake van ombouwtijd en -kosten als er van product gewisseld wordt. Op dit moment worden bij Grolsch productfamilies gevormd volgens de volgorde: biersoort uit de brouwerij, biersoort na filtratie, container en configuratie. Afgaand op de ombouwtijden op de afvullijnen kan de definitie van Gupta en Maranas (Gupta & Maranas, 2003) betekenen dat er productfamilies gevormd moeten worden op basis van configuratie in plaats van op biersoort dit zal het geval zijn als de ombouwtijden gereduceerd worden door configuratietypes te clusteren.

In de literatuur zijn er geen onderzoeken gevonden die meerdere generaties in een productfamilie aanhouden. De opstartkosten worden meegenomen in een product en het is dan aan het algoritme dat gebruikt wordt voor het oplossen om dit mee te nemen (Kreipl & Pinedo, 2004). Bij Grolsch kan het goed zijn om onderscheid te maken binnen een productfamilies. Binnen een productfamilies kan er verschil in ombouwtijden kan zijn van bijvoorbeeld een kwartier tot anderhalf uur. De argumenten van Gupta en Maranas en Kopanos, Puigjaner en Georgiadis overwegend kan het goed zijn om binnen een productfamilie gebaseerd op bierstroom onderverdelingen te maken gebaseerd op ombouwtijden (Gupta & Maranas, 2003) (Kopanos, Puigjaner, & Georgiadis, 2012). Als productfamilies worden meegenomen in de productieplanning zal dit leiden tot lagere ombouwtijden en -kosten en hiermee tot meer winst voor het bedrijf (Bitran, Haas, & Matsuo, 1986).

Plannen op basis van productfamilies wordt ook wel blokplanning genoemd. (Bilgen & Günther, 2010) geven in hun werk aan dat plannen in blokken geschikt is voor make and pack production. Make and pack production vindt plaats als er: verschillende producten worden geproduceerd door enkele parameters van het proces te veranderen, totale vraag redelijk stabiel is, productie gefocust op hoge output en er op meerdere producten geproduceerd kunnen worden, iets dat binnen de voedselverwerkende industrie zeer gebruikelijk is. Plannen op basis van blokken kan grote kosten besparingen met zich mee brengen. (Bilgen & Günther, 2010)

3.1.2 Combineren verschillende strategieën

Er kan gepland worden met behulp van verschillende strategieën. Er kunnen meerdere strategieën worden gebruikt voor een SKU, deze worden ingezet op verschillende momenten. Bijvoorbeeld bij verschillende

situaties in vraag, lage vraag, gemiddelde vraag en hoge vraag. Dit geeft grote verbeteringen voor de service levels die behaald kunnen worden waar het maar een kleine kostenstijging vereist (Gupta, Maranas, & McDonald, 2000).

In de literatuur wordt omschreven dat verschillende strategieën gebruikt kunnen worden in situaties met verschillende vraag (Gupta, Maranas, & McDonald, 2000). Zo worden er regimes voor lage vraag, gemiddelde vraag en hoge vraag gebruikt. In deze drie situatie wordt er verschillend omgegaan met voorraad, en hiermee ook met de productieplanning.

In het tactische plan kan het interessant zijn om met verschillende strategieën te werken voor het hoogseizoen en het laagseizoen ieder product heeft zijn eigen hoog en laag seizoen. Echter is er ook een hoog en laag seizoen voor de gehele bierconsumptie. In deze verschillende seizoenen van de brouwerij kunnen de prioriteitsregels bijvoorbeeld verschillen. In het laagseizoen zal er minder druk liggen op de afvullijnen dan in het hoogseizoen. In het laagseizoen zou er voor gekozen kunnen worden om producten waar een risico opzit met betrekking tot de leverbetrouwbaarheid vaker terug te laten komen dan in het hoogseizoen waar iedere minuut productieverlies, ombouwtijd, betekent dat er mogelijk niet aan alle vraag voldaan kan worden. Tevens zal er in het hoogseizoen meer verkocht worden, dit zal er toe leiden dat de kans dat een product te lang bij Grolsch op voorraad staat en zodoende over datum gaat kleiner wordt. Waar in het laagseizoen dit realistischer is. Hiernaast kan er ook gebruik worden gemaakt van het hoog en laagseizoen dat producten hebben. In het laagseizoen kan er voor worden gekozen een product helemaal niet te produceren terwijl het in het hoogseizoen goed kan zijn iedere week te produceren.

3.1.3 Bufferen

Er is geen literatuur gevonden over het gebruik van tijdsbuffers en of uitloopp producten in productieplanning voor batchproducties. Men komt binnen in de productieplanningsliteratuur dan uit in de veiligheidsvoorraden en bij de Drum-Buffer-Rope theorie van Goldratt. Veiligheidsvoorraden is echter niet wat er hier bedoeld wordt. Een veiligheidsvoorraad zorgt er voor dat de leverbetrouwbaarheid om hoog gaat. Ook de theorie van Goldratt is niet toepasbaar waar deze theorie de productieoutput wil verhogen door het productieproces aan te passen (Goldratt, 2016). Binnen deze bacheloropdracht is dit niet van toepassing aangezien er wordt gekeken naar de tactische planning en niet naar het proces. De buffers waar nu over gesproken wordt zorgen er voor dat de bezetting van de afvullijn stijgt. Er is echter wel literatuur met betrekking tot het gebruik van tijdsbuffers in projectmanagement. Bij projectmanagement moet er binnen een bepaalde tijd een bepaald project worden afgerond (Vonder, Demeulemeester, Herroelen, & Leus, 2005). Dit kan worden vergeleken met een benodigde productie voor een bepaalde week.

In het projectmanagement moet evenals in de planning van de afvullijnen een afweging worden gemaakt tussen tijdsduur van het project- of productieplan en betrouwbaarheid van het plan. Binnen het projectmanagement geldt dat hoe groter de buffer is, hoe groter de kans dat het project op tijd af is. Echter hoe grotere buffer je aanhoudt hoe langer je over het project doet. Binnen de productieplanning van Grolsch staat de tijd vast, een week, dit betekent dat hoe meer buffer er wordt ingepland hoe lager je bezettingsgraad van de afvullijn is.

Ook is er een afweging tussen bufferen tussendoor en bufferen aan het eind. Bij bufferen tussen door, ook wel railway scheduling genoemd, mag er pas begonnen worden na de afgesproken starttijd. (Vonder, Demeulemeester, Herroelen, & Leus, 2005) Bij Grolsch is dit waarschijnlijk niet wenselijk omdat hiermee productiecapaciteit verloren gaat, aan de andere kant zal dit wel betekenen dat men minder vaak hoeft te wachten op materialen dan nu het geval is. Een afweging tussen af en toe stilstaan en geplande stilstand zal gemaakt moeten worden. Een buffer aan het einde van het project levert binnen projectmanagement goede resultaten op met betrekking tot de betrouwbaarheid. Bij Grolsch zal dit betekenen dat een buffer aan het einde van de week de kans vergroot dat alle productie die in een week gepland is daadwerkelijk geproduceerd kan worden. Indien de buffer niet nodig is om de productie van de lopende week af te ronden

kan er een standaard uitlooppproduct worden afgevuld of het eerste product van de week erna. In paragraaf 3.3.4 zal hier verder op worden ingegaan.

3.2 Volgorde afhankelijke ombouwtijd planningsmodellen

In de literatuur zijn er verschillende methoden ontwikkeld om een planningsprobleem met volgorde afhankelijke ombouwzeiten op te lossen. Veel van deze oplossingsmethodieken zijn gevalideerd met een exacte oplossing voor een kleine probleeminstantie. Grote problemen kunnen niet binnen een redelijke termijn exact worden opgelost omdat het probleem als NP compleet kan worden bestempeld (Copil, Wörbelauer, Meyr, & Tempelmeier, 2016). Een NP compleet probleem heeft als belangrijk kenmerk dat de rekentijd van het oplossen exponentieel stijgt met het aantal variabelen (Gupta & Magnusson, 2005).

Omdat een exacte oplossing voor grote probleem instanties zeer waarschijnlijk niet te berekenen is, zal er om het mixed integer linear programmeringsmodel (MILP model) op te lossen onderzoek worden gedaan naar heuristieken. Hierbij worden heuristieken mee genomen uit het asymmetrische handelsreizigersprobleem en heuristieken die speciaal ontwikkeld zijn voor dit productieplanningsproblemen met volgorde afhankelijke ombouwzeiten.

In 1996 is Haase de eerste geweest die gepubliceerd heeft over volgorde afhankelijke planningsmodellen en de optimalisatie hiervan. In dit type problemen is gesteld dat het begin product niet gelijk is aan het eindproduct, vragen die beantwoord worden in dit type problemen zijn volgens de literatuur onder andere (Copil, Wörbelauer, Meyr, & Tempelmeier, 2016):

- Moet een product geproduceerd worden in periode t ?
- In welke volgorde moet er worden geproduceerd? Vergelijkbaar met de keuze van welke stad naar welke stad bij het handelsreizigersprobleem.

3.2.1 MILP model

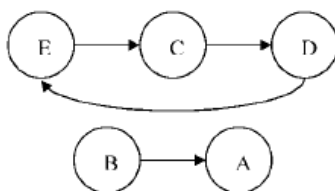
Een MILP model bestaat uit een doelfunctie, beslissingsvariabelen en constraints. Bij een MILP model is er een mix van integer- en continue variabelen (Winston, 2004). In ieder MILP model is er een functie die geminimaliseerd of gemaximaliseerd moet worden, ook wel optimalisatie genoemd. Een MILP model wordt geoptimaliseerd door het variëren van de beslissingsvariabelen. De beslissingsvariabelen omschrijven de beslissing die gemaakt moet worden volledig. Deze worden gevarieerd op een dergelijke wijze dat er altijd aan de constraints wordt voldaan. Dit zijn de beperkingen waarbinnen er een oplossing moet worden gevonden. Alle functies binnen een MILP model moeten lineair zijn. Een functie is een lineaire functie als en alleen als voor een bepaalde set van constanten geldt dat $c_1, c_2, \dots, c_n, f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1 * x_1 + c_2 * x_2 + \dots + c_n * x_n$ (Winston, 2004).

Een belangrijk punt in MILP modellen waarbij een TSP wordt opgelost is het voorkomen van subtours. Onderstaand staat een weergave van het probleem van de subtour gemaakt door (Liu, Pinto, & Papageorgiou, 2008). Daarin is de gewenste situatie te zien, alle producten worden in een volgorde geproduceerd en de onwenselijke volgorde waarbij er verschillende touren, subtouren, ontstaan. In hoofdstuk 3.2.4 worden de subtour eliminatie constraints van Miller, Tucker en Zemlin toegelicht.

(a) Feasible Schedule



(b) Infeasible Schedule with Subcycles



Figuur 4 Weergave subtour (Liu, Pinto, & Papageorgiou, 2008)

Een exacte oplossing van een MILP model is vaak niet mogelijk in verband met de rekentijden die hiervoor benodigd zijn. Een LP relaxatie kan gebruikt worden om een ondergrens te bepalen van het probleem. Dit kan gebruikt worden om in te schatten hoever een oplossing van de exacte oplossing na een bepaalde rekentijd in de buurt komt van een mogelijk optimum. Bij een LP relaxatie worden alle variabelen die gebonden zijn aan een binaire of integer constraint een continue variabele. Dit maakt een model sneller door te rekenen (Winston, 2004).

3.2.2 Combinatie continu- & discreetmodel

Het combineren van een continu- en een discreetmodel heeft als voordeel dat het eenvoudig blijft waar dit mogelijk is en gedetailleerd kan zijn waar nodig (Kopanos, Puigjaner, & Georgiadis, 2012). Dit zal leiden tot kortere rekentijden doordat variabelen die niet continu zijn ook niet als dusdanig berekend worden. In het genoemde voorbeeld wordt er bijvoorbeeld onderscheid gemaakt in de tijdseenheid. Het model gebruikt discrete tijd bij het voorraadverloop in een week en continue tijd bij het bepalen van de productievolgorde in een week. Dit heeft in het onderzoek van Kopanos, Puigjaner en Georgiadis geleid tot verbetering van de efficiency van het model (Kopanos, Puigjaner, & Georgiadis, 2012).

3.2.3 Heuristiek

In de literatuur zijn er meerdere heuristieken bekend om het CLSP met volgorde afhankelijk ombouwtijden op te lossen. Heuristieken lossen problemen sneller op dan een exact model kan. Ze leveren mogelijk niet de optimale oplossing op maar wel goede oplossingen (Heijden & Wegen, 2014). Hierom wordt er in dit onderzoek ook naar heuristieken gekeken. Voor het oplossen van het CLSP worden er heuristieken die gericht zijn op het TSP gebruikt. Hiernaast zijn er heuristieken die speciaal voor het CLSP zijn ontwikkeld (Copil, Wörbelauer, Meyr, & Tempelmeier, 2016). Heuristieken uit het TSP die gebruikt worden zijn bijvoorbeeld simulated annealing en x-opt. De x-opt methodologie is gebruikt door Löhndorf, Riel en Minner, waar Ma, Zhang en Nee simulated annealing hebben toegepast (Löhndorf, Riel, & Minner, 2014) (Ma, Zhang, & Nee, 2000). Heuristieken speciaal voor het CLSP zijn onder andere het twee fase algoritme van Shim, Kim, Doh en Lee en de drie algoritmes van Löhndorf, Riel en Minner (Shim, Kim, Doh, & Lee, 2011)(Löhndorf, Riel, & Minner, 2014). Het twee fase algoritme zal gebruikt gaan worden en hierom in detail onderzocht worden. De overige heuristieken worden globaal omschreven.

Simulated annealing wordt reeds toegepast bij het optimaliseren van projectplanningen. Het idee achter simulated annealing is om naast de oplossingen die een verbetering opleveren ook in sommige gevallen een minder goede oplossing te accepteren om hierdoor uiteindelijk in een betere oplossing terecht te komen. Dit noemt men een metaheuristiek. Simulated annealing toepassen verlaagd het risico op een lokaal optimum. Simulated annealing leidt tot een stijging in de rekentijd (Ma, Zhang, & Nee, 2000). Een van de onderdelen van simulated annealing zal wel worden toegepast in de heuristiek. Een slechtere oplossing zal worden aangenomen met een bepaalde vaste kans.

In het onderzoek van Löhndorf, Riel en Minner wordt een drietal algoritmes gepresenteerd, common cycle policy(CCP), fixed-cycle policy(FCP) en balanced cycle policy(BCP) waarin zij x-opt implementeren in productieplanningsproblemen. De drie algoritmes verschillen van elkaar met betrekking tot het bepalen van de batchcyclus. Een SKU wordt een maal in zijn batchcyclus geproduceerd. Een batchcyclus van twee weken betekend dus dat een SKU eens in de twee weken wordt geproduceerd. In CCP hebben alle producten dezelfde batchcyclus en is er geen minimum batchcyclus per product mogelijk. In FCP hebben producten verschillende batchcycli maar is er geen minimum batchcyclus mogelijk. In BCP zijn er zowel verschillende batchcycli als een minimum batchcyclus mogelijk (Löhndorf, Riel, & Minner, 2014).

Het twee fase algoritme

In het twee fase algoritme van Shim, Kim, Doh en Lee word in twee fases het probleem opgelost. Deze fases zijn beide onderverdeeld in twee stappen. In de eerste fase wordt een initiële oplossing gecreëerd. In de tweede fase wordt deze verbeterd. De doelfunctie van Shim, Kim, Doh en Lee minimaliseert naast volgorde

afhankelijke ombouwtijden ook voorraadkosten. Een overzicht van het gehele algoritme is gegeven in figuur 5 (Shim, Kim, Doh, & Lee, 2011).

De eerste fase worden de input waarden berekend en een initiële oplossing gecreëerd. Het creëren van een initiële oplossing gebeurt op basis van een methode die gelijk is aan de nearest insertion in het TSP. Nadat een positie is bepaald voor alle producten wordt de productiehoeveelheid bepaald. De productiehoeveelheden worden bepaald vanaf de laatste week naar de eerste week. Voor de betreffende week wordt bepaald of de totale resterende vraag kleiner of gelijk is aan de beschikbare capaciteit. De capaciteit wordt zo verdeeld, dat aan alle vraag voldaan kan worden. Alle productie die nodig is maar niet binnen de capaciteit past wordt direct naar de voorgaande week verplaatst.

Nadat de initiële oplossing bepaald is begint de tweede fase. De tweede fase bestaat uit een backward improvement en een forward improvement stap. Bij de backward improvement stap wordt een productie van een SKU uit een latere week naar een eerdere week verplaatst indien hier nog mogelijkheid in de capaciteit is. Indien dit een verbetering in de doelfunctie oplevert wordt de vernieuwde oplossing aangenomen. Het product dat geselecteerd wordt, om aan te passen, wordt geselecteerd op basis van een van de drie prioriteitsregels die zijn opgesteld (Shim, Kim, Doh, & Lee, 2011). Selecteer het product met:

- De minste productietijd
- Meeste ombouwtijd
- Minimale voorraadkosten

Bij forward improvement wordt van een SKU de productie van een bepaalde week naar een latere week verplaatst indien de productiecapaciteit dit toelaat. Wederom wordt de oplossing aangenomen als het een verbetering oplevert. Producten worden geselecteerd op basis van een van de drie voorgenoemde prioriteitsregels.

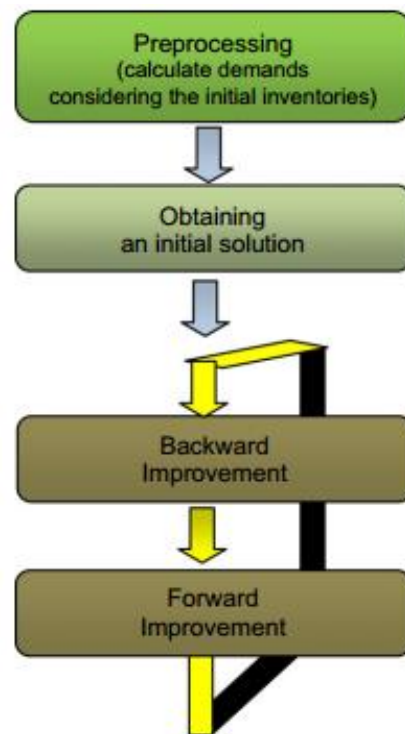
Shim, Kim, Doh en Lee hebben de verschillende prioriteitsregels getest. Hieruit blijkt dat het aanpassen van het product met de minste totale productietijd de beste resultaten oplevert gevolgd door de meeste ombouwtijd. Het selecteren van het product met de minimale voorraadkosten levert het minst goede resultaat op (Shim, Kim, Doh, & Lee, 2011).

3.2.4 Constraints

Constraints kunnen op verschillende manieren worden ingedeeld, Chopra en Meindl en Orçun hebben een verschillende opzet gepresenteerd in hun onderzoek (Chopra & Meindl, 2013) (Orçun, 2001). Beide zijn gebruikt in het onderzoek naar de constraints bij Grolsch. De constraints die aanwezig bleken bij Grolsch zullen nu worden besproken. Hiernaast zullen de subtour eliminatie constraints van Miller, Tucker en Zemlin worden besproken. De constraints voortkomend uit Chopra en Meindl zijn:

- Capaciteit

De productiecapaciteit kan niet overschreden worden. De totale ombouwtijden plus de totale productietijd moet kleiner zijn dan de beschikbare capaciteit. Bij Grolsch is de machinecapaciteit en personeelscapaciteit aan elkaar gelijk waardoor er geen onderscheid wordt gemaakt in tegenstelling tot het voorbeeld gebruikt door (Chopra & Meindl, 2013).



Figuur 5 Twee stadia algoritme (Shim, Kim, Doh, & Lee, 2011)

i = SKU nummer

j = SKU nummer

t = Weeknummer

n = Aantal SKU's

o_{ij} = Ombouwtijd van SKU i naar SKU j in minuten, waarbij $i, j = 0, \dots, n$. 0 verwijst naar een lege afvullijn tijdens de schoonmaak activiteiten aan het begin en einde van de week.

X_{ijt} = Wel of geen ombouw van SKU i naar SKU j in week t . Voor de eerste SKU die in week t geproduceerd wordt, bijvoorbeeld SKU z , geldt dat $X_{0zt} = 1$ en voor de laatste SKU, bijvoorbeeld SKU z geldt dat $X_{z0t} = 1$. $X_{ijt} \in \{1, 0\}$ dat wil zeggen X_{ijt} heeft waarde 1 als een ombouwactiviteit in een week plaatsvindt en waarde 0 als dit niet het geval is.

P_{it} = Productievolume van SKU i in week t in hectoliters

ps_i = Afvulsnelheid SKU i in hectoliters per minuut

c_t = Totale productiecapaciteit in minuten in week t

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n O_{ij} * X_{ijt} + \sum_{i=1}^n P_{it} / ps_i \leq c_t, t=1, \dots, T$$

- Voorraadbals

De voorraad in week t is gelijk aan de productie in week t plus de voorraad in week $t-1$ min de vraag in week t .

I_{it} = Voorraad in hectoliters van SKU i aan het einde van week t

P_{it} = Productievolume van SKU i in week t in hectoliters

d_{it} = Vraag naar SKU i in week t in hectoliters

$$I_{it} = P_{it} + I_{i,t-1} - d_{it}, i = 1, \dots, n \text{ en } t = 1, \dots, T$$

Subtour eliminatie constraint

Om subtours te voorkomen zijn er verschillende constraints opgesteld in de literatuur. (Laporte, 1992) presenteert er in zijn werk verschillende waaronder de volgende die oorspronkelijk van Miller, Tucker en Zemlin (Miller, Tucker, & Zemlin, 1960). Dit worden ookwel de Miller, Tucker en Zemlin (MTZ) constraints genoemd.

i = SKU nummer

j = SKU nummer

t = Weeknummer

n = Aantal SKU's

T = Lengte van de planningshorizon uitgedrukt in aantal weken

X_{ijt} = Wel of geen ombouw van SKU i naar SKU j in week t . Voor de eerste SKU die in week t geproduceerd wordt, bijvoorbeeld SKU z , geldt dat $X_{0zt} = 1$ en voor de laatste SKU, bijvoorbeeld SKU z geldt dat $X_{z0t} = 1$. $X_{ijt} \in \{1, 0\}$ dat wil zeggen X_{ijt} heeft waarde 1 als een ombouwactiviteit in een week plaatsvindt en waarde 0 als dit niet het geval is.

U_{it} = Productiemoment product i in week t . $i = 0, \dots, n$ en $t = 1, \dots, T$. $i = 0$ verwijst naar het begin van dan week.

$$U_{it} - U_{jt} + n * X_{ijt} \leq n - 1, i \neq j, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n, X_{ij} \in \{1, 0\}$$

$$u_{it} \geq 0, i = 1, \dots, n \text{ en } t = 1, \dots, T$$

De voorgaande formule stelt dat het het moment in de cyclus waarop product i wordt geproduceerd min het moment waarop product j wordt geproduceerd plus het aantal producten in een week vermenigvuldigd met

wel of niet ombouwen van product i naar j kleiner dan of gelijk moet zijn aan het aantal te produceren producten min een. Hierbij mogen i en j niet aan elkaar gelijk zijn en moet het moment van produceren van i altijd tussen het eerste en het eennalaatste product uit de productiecyclus vallen, waar product j altijd tussen het tweede en het laatste product van de week valt. Zoals de formule hier wordt weergegeven wijkt ligt af van de literatuur waar gesteld wordt dat i en j tussen 2 en n moeten liggen. Aangezien er bij Grolsch de week altijd begonnen en geindigd wordt met een schoonmaak waarin omgebouwd kan worden zal er altijd begonnen en geindigd worden met een “none”productie, dit is de dummy SKU met positie 0. In bovenstaand voorbeeld is $u_e=2$ en $u_d=4$.

Als er sprake is van een constraint onder de voorwaarde dat er geproduceerd wordt een bepaalde waarde moet zijn dan kan dit lineair worden opgelost met de big M methode (Winston, 2004). M betekend hierin een groot getal. In het ontwikkelde model wordt de waarde van M gelijk gesteld aan de maximale productie die mogelijk is. Gelijk aan de maximale voorraad. In $P_{it} \leq M_{it} \sum_{j=1}^n X_{ijt}$, $i = 1, \dots, n$ en $t=1, \dots, T$ zorgt de big M methode er voor dat als er niet wordt omgebouwd er ook niet geproduceerd kan worden. Indien er geen ombouw plaatsvindt zal $M_{it} \sum_{j=0}^n X_{ijt}$ gelijk zijn aan 0 en P_{it} ook. Indien X_{ijt} gelijk is aan 1 zal $M_{it} \sum_{j=0}^n X_{ijt}$ gelijk aan M zijn en P_{it} de mogelijkheid hebben alle waarden kleiner dan M aan te nemen.

3.3 Conclusie literatuurstudie

Uit de literatuurstudie zijn drie planningsstrategieën naar voren gekomen die op Grolsch toegepast kunnen worden.

- Plannen op basis van productfamilies
- Plannen op basis van verschillende strategieën
- Buffers opnemen in de planning

Gebruikmaken van verschillende planningsstrategieën kan goed zijn voor de tactische planning, dit is echter al meegenomen in fase 1 van het onderzoek van Grolsch. Het zal dus al verwerkt zijn in de input data van dit onderzoek.

Het tactische planningsprobleem van Grolsch kan worden opgelost met een exact MILP model en een heuristiek. Het exacte MILP model is niet te gebruiken voor grote probleem instanties omdat deze NP compleet is. De heuristiek dat gebruikt zal gaan worden is gebaseerd op het twee fase algoritme van Shim, Kim, Doh en Lee (Shim, Kim, Doh, & Lee, 2011). Het wordt uitgebreid door te stellen dat een minder goede oplossing aangenomen kan worden met een kans $1 - \alpha$. Dit betreft geen simulated annealing maar is wel gebaseerd op het principe van het aannemen van een slechtere oplossing om uiteindelijk tot een betere oplossing te komen.

Verschillende categorieën voor constraints zijn gevonden die in het model voor Grolsch geïmplementeerd kunnen worden waaronder de MTZ constraints om subtours te voorkomen en de voorraadbalans van Chopra en Meindl (Chopra & Meindl, 2013).

4 Optimalisatie van de afvullijn

Welke strategieën en constraints er moeten worden meegenomen in de tactische productieplanning volgens Grolsch zal achterhaald worden in dit hoofdstuk. De strategieën uit de literatuurstudie worden gevalideerd met een onderzoek bij Grolsch en een MILP model zal ontwikkeld worden dat met een heuristiek en een exacte methode wordt opgelost.

4.1 Toepassing planningsstrategieën

Naast de literatuurstudie is er ook bij Grolsch onderzoek gedaan naar de optimale tactische planningsstrategie per afvullijn en de constraints per afvullijn. Dit is gedaan door middel van interviews en gesprekken met betrokken partijen.

4.1.1 Strategie

Uit de interviews die gevoerd zijn met de unitmanagers zijn een aantal ideeën met betrekking tot de tactische planningsstrategie gekomen. Bijvoorbeeld: De ombouw tijden zullen altijd een klein beetje afwijken van het gemiddelde, dit gaat echter om een minimale afwijking. Op dit moment wordt er in de tactische planning gerekend met een gemiddelde ombouwtijd per week. Ten opzichte hiervan leidt het gebruik maken van specifieke ombouwtijden al tot een vergroting van het detailniveau van de tactische planning. Hierom zal dit niet worden meegenomen in het planningsmodel.

Het gevoel bestaat dat er in het begin van de batch, nadat de ombouw volledig is afgerond, er een lagere efficiëntie is dan aan het einde van een batch. Dit zou komen doordat de machines steeds moeten worden bijgesteld als gevolg van een niet perfecte ombouw. Indien dit verschil in efficiëntie wordt meegenomen in de planningsstrategie zal dit invloed kunnen hebben op de optimale batchformaten. Het zal waarschijnlijk efficiënter zijn om langere productiebatches in te plannen. Er wordt nu gerekend met een gemiddelde efficiëntie dat over een aantal productiebatches van een bepaalde SKU behaald wordt. Er is geen data beschikbaar om te onderzoeken of een kortere batch daadwerkelijk een lagere efficiëntie behaalt. Voordat dit meegenomen kan worden in de planningsstrategie zal dit eerst verder onderzocht moeten worden. Dit kan gedaan worden door op iedere afvullijn, over een aantal weken, het afgevolde volume per tijdseenheid in de batch bij te houden. Op basis van deze data kan worden onderzocht of er voor verschillende momenten in een batch daadwerkelijk op een hogere of lagere efficiëntie wordt geproduceerd.

Unitmanagers zien graag dat dezelfde verpakkingstypes geclusterd worden. De complexiteit van de ombouwactiviteiten wordt hiermee verkleint evenals het aantal storingen. Er zijn geen data die deze ideeën bevestigen. Als de configuratie gelijk blijft hoeft de verpakmachine niet te worden bijgesteld en kunnen hierin dus ook geen fouten worden gemaakt. Bij de complexe producten is dit verwerkt in de snelheden waarop deze worden afgevuld.

De gesprekken die gevoerd zijn op de SCP afdeling hebben een breder beeld opgeleverd van de tactische planning. Alle Grolsch flesjes waarin Grolsch bieren zijn afgevuld zijn eigendom van Grolsch en velen worden meerdere malen gebruikt. Als er grotere voorraden worden aangelegd zal ook de hoeveelheid flesjes moeten toenemen, iets waar veel kosten mee gepaard zullen gaan. Dit valt echter buiten de scope van dit onderzoek.

4.1.2 Toepassing van strategie

De toepassing van de strategieën die voortgekomen zijn uit de literatuurstudie en de interviews zal per afvullijn gedaan worden, omdat de verschillende afvullijnen alle verschillende kernmerken en eigenschappen hebben. In de hoofdstuktekst wordt aangegeven op basis waarvan het verschil is gemaakt. In de bijlage 2 en 3 wordt een uitwerking per afvullijn gegeven.

Plannen op basis van productfamilies

Plannen op basis van productfamilies kan voor Grolsch verstandig zijn. Per afvullijn is bepaald worden hoe deze families worden samengesteld. De samenstelling van deze productfamilies is afhankelijk van de ombouwtijd die benodigd is tussen de verschillende producten. Als het grootste deel van de ombouwtijden

op een afvullijn voortkomen uit de biersoort, dan zal er op biersoort geclusterd moeten worden. Als het grootste verschil zich bevindt in de configuratie- of de container-wissel zal hier eerst op geclusterd moeten worden. Voor de verschillende afvullijnen zal in bijlage 2 worden bepaald op basis waarvan ze geclusterd moeten worden. Afvullijn 3 wordt buiten beschouwing gelaten aangezien daar in hoofdlijnen altijd hetzelfde product wordt afgevuld, zoals blijkt uit hoofdstuk 2.

Voor de blokplanning is een ander onderscheid gemaakt. Afvullijnen 1, 2, 4, 7 en 8 vullen veel verschillende producten af waarbij de totale output van deze afvullijnen redelijk stabiel is. Afvullijnen 2 en 4 hebben per bierstroom echter een beperkt aantal SKU's. Een blok inplannen voor een specifieke bierstroom zal hierin betekenen dat er een blok wordt ingepland voor een bepaalde SKU. Dit is juist niet de bedoeling. Het plannen van een blok is interessant als er een product is dat in meerdere SKU's kan worden afgevuld. Afvullijnen 3 en 5 vullen een beperkt aantal SKU's af. Hierom zal het op deze afvullijnen minder interessant zijn om te plannen op basis van blokken omdat er dan extra complexiteit wordt toegevoegd zonder dat dit noodzakelijk is.

Plannen met behulp van verschillende strategieën

Plannen met behulp van verschillende strategieën kan voordelen opleveren met betrekking tot de servicelevels. Bij het plannen op basis van verschillende strategieën zal het goed kunnen zijn om onderscheid te maken tussen de make to order en make to stock producten. Bij make to order producten krijgen klanten de garantie dat de levertermijn binnen een bepaald maximum aantal weken is. Gebruik van verschillende strategieën zou hier kunnen betekenen dat de levertermijn in het hoogseizoen korter is dan in het laagseizoen. Dit zal voorkomen dat een product in kleine batches geproduceerd moet worden. Er is ook een minimumbestelhoeveelheid voor make to order producten om dit te sturen.

Bij de make to stock producten zijn er meerdere variabelen op basis waarvan onderscheid gemaakt kan worden tussen de strategieën: De variatie in de afwijking van de daadwerkelijke vraag en de forecast, omvang van de afzet en seizoenafhankelijkheid. Deze verschillende onderdelen zijn allen verwerkt in de minimale en maximale productiecycclus per SKU die voortkomen uit fase 1 van het onderzoek van Grolsch. De volgende punten moeten zijn meegenomen bij het bepalen van de minimale en maximale cyclusbijlengte:

- Variatie tussen plan en forecast
- Volume van de afzet
- Seizoen afhankelijkheid van een product

Extra toelichting hierop is te vinden in bijlage 3.

Bufferen

Zoals in hoofdstuk 3 is beschreven zijn er verschillende manieren waarop er gebufferd kan worden. Gedurende de week meerdere kleine buffers plaatsen of aan het einde van de week een grotere buffer. Er kan gebufferd worden voor verschillende doeleinden zoals het gegarandeerd behalen van de benodigde productie zoals in het projectmanagement en afvlakken van de productieplanning. Door het creëren van een uitloopprioduct of tijdsbuffer in de tactische planning wordt een extra ombouw gecreëerd dan wel productiecapaciteit leeggelaten. Dit zal er voor zorgen dat het batchformaat van de overige batches in de week lager is. Als er niet wordt gebufferd en een productie in een bepaalde week niet afgerond kan worden zal deze in de volgende week erbij moeten worden gedaan. Dit leidt er toe dat de ombouwactiviteiten niet samenvallen met de eindeweekschoonmaak en week opstart waardoor de ombouwrijden zullen stijgen en de ombouwkosten hiermee ook. Hiernaast kan het ook zo zijn dat de afvullijnen beter bezet worden en minder stil staan wat weer positieve gevolgen heeft voor een belangrijke KPI van de afvullijnen, de machine-efficiëntie.

Bufferen zal niet direct een verbetering van de KPI's van dit onderzoek teweegbrengen en wordt hierom niet meegenomen in het model. Het is echter wel mogelijk om dit wel op te nemen in het model als Grolsch besluit dat dit in de toekomst onderdeel moet uitmaken.

Conclusie toepassing strategieën

Bufferen en plannen op basis van productfamilies lijkt de beste strategie voor Grolsch te zijn. Er is echter verschil tussen de afvullijnen hoe deze buffers er uit moeten zien en op basis waarvan een productfamilie wordt samengesteld. De uitwerking per afvullijn staat in bijlage 3.

4.1.3 Constraints

Om de constraints die bij Grolsch van kracht zijn met betrekking tot de afvullijnen te achterhalen zijn er interviews gehouden met de unitmanagers zodat deze constraints ook als input kunnen dienen voor het te ontwikkelen model. Hiernaast zijn er ook gesprekken gevoerd met de SCP afdeling.

Het belangrijkste punt met betrekking tot de tactische planning dat naar voren is gekomen is dat er op de afvullijnen een aantal parallelle machines zijn die niet tegelijk zullen produceren. Deze machines kunnen omgebouwd worden wanneer de andere produceert. Deze gegevens zijn verwerkt in de ombouwmatrix waaruit de ombouwtijden naar voren komen. Dit hoeft hierom niet te worden opgenomen in het model.

Afvullijn 2 en 4 draaien op dezelfde ploeg operators. Dit betekent dat als deze beide afvullijnen tegelijk operationeel zijn, deze niet tegelijk een complex product kunnen draaien. Complexe producten hebben meerdere stadia in het verpakkingsproces. Ze worden bijvoorbeeld eerst in een sixpack verpakt om vervolgens nog in een doos gezet te worden. Het is van belang in een bepaalde week waarin afvullijn 2 en afvullijn 4 operationeel zijn geen moeilijke producten op deze afvullijnen te produceren. Dit valt echter buiten de scope van dit onderzoek en zal niet verwerkt worden in het model. De andere in kaart gebrachte constraints staan in bijlage 4. Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat afgesproken minimum batchcycli geen technisch minimum zijn maar een afgesproken minimum om te voorkomen dat men meer aan het ombouwen dan aan het afvullen is. Grolsch wil hier echter wel aan vast houden. Hierom is er een constraint hiervoor opgesteld waarbij alle parameters en variabelen dezelfde betekenis hebben als in hoofdstuk 3. Deze constraint stelt dat als er van een product af wordt omgebouwd, de productie altijd groter dan of gelijk aan de minimum batchformaat moet zijn.

$i = SKU \text{ nummer}$

$j = SKU \text{ nummer}$

$t = \text{Weeknummer}$

$n = \text{Aantal SKU's}$

$P_{it} = \text{Productievolume van SKU } i \text{ in week } t \text{ in hectoliters}$

$b_i = \text{Minimale productiebatch in hectoliters van SKU } i$

$X_{ijt} = \text{Wel of geen ombouw van SKU } i \text{ naar SKU } j \text{ in week } t. \text{ Voor de eerste SKU die in week } t \text{ geproduceerd wordt, bijvoorbeeld SKU } z, \text{ geldt dat } X_{0zt} = 1 \text{ en voor de laatste SKU, bijvoorbeeld SKU } z \text{ geldt dat } X_{z0t} = 1. X_{ijt} \in \{1,0\} \text{ dat wil zeggen } X_{ijt} \text{ heeft waarde } 1 \text{ als een ombouwactiviteit in een week plaatsvindt en waarde } 0 \text{ als dit niet het geval is.}$

$$P_{it} \geq b_i \sum_{j=1}^n X_{ijt}, i = 1, \dots, n \text{ en } t = 1, \dots, T$$

4.2 Model ontwikkeling

4.2.1 MILP model

Om op basis van voorgaande bevindingen tot een betere planning voor Grolsch te komen is er een MILP model ontwikkeld gebaseerd op het model van Liu, Pinto en Papageorgiou (Liu, Pinto, & Papageorgiou, 2008). Vanwege de grote verschillen bijvoorbeeld al in de doelfunctie is dit gebruikt als inspiratiebron en niet als leidraad. De verwerking van de strategieën en constraints in het model zal worden uitgelegd en toegelicht. Naast dat er een MILP model ontwikkeld is, is er ook een algoritme ontwikkeld om een goede tactische planning voor Grolsch in korte tijd te bepalen. De resultaten van het algoritme zullen worden vergeleken met

de optimale oplossing die het MILP model berekend heeft. Dit type problemen is lastig te optimaliseren voor grote problemen. In welke mate het probleem bij Grolsch wel exact kan worden opgelost wordt uitgelegd aan het einde van deze paragraaf. Het MILP model staat onderstaand weergegeven.

Parameters

i = SKU nummer

j = SKU nummer

t = Weeknummer

n = Aantal SKU's

o_{ij} = Ombouwtijd van SKU i naar SKU j in minuten, waarbij $i, j = 0, \dots, n$. 0 verwijst naar een lege afvullijn tijdens de schoonmaak activiteiten aan het begin en einde van de week.

d_{it} = Vraag naar SKU i in week t in hectoliters

I_{it} = Voorraad in hectoliters van SKU i aan het einde van week t

ps_i = Afvulsnelheid SKU i in hectoliters per minuut

c_t = Totale productiecapaciteit in minuten in week t

b_i = Minimale productiebatch in hectoliters van SKU i

T = Lengte van de planningshorizon uitgedrukt in aantal weken

τ_i = Maximale voorraad van SKU i in weken vraag. Dat wil zeggen, de voorraad van SKU i aan het einde van week t mag niet meer zijn dan de som van de vraag naar SKU i in de weken $t+1, \dots, t+\tau_i$

m_{it} = Maximale voorraad van SKU i aan het einde van week t uitgedrukt in hectoliters. In een formule weergegeven als: $m_{it} = \sum_{s=t+1}^{t+\tau_i} d_{is}$

M_{it} = Maximale productiehoeveelheid SKU i in week t . Deze is gelijk aan m_{it} .

Variabelen

X_{ijt} = Wel of geen ombouw van SKU i naar SKU j in week t . Voor de eerste SKU die in week t geproduceerd wordt, bijvoorbeeld SKU z , geldt dat $X_{0zt} = 1$ en voor de laatste SKU, bijvoorbeeld SKU z geldt dat $X_{z0t} = 1$. $X_{ijt} \in \{1, 0\}$ dat wil zeggen X_{ijt} heeft waarde 1 als een ombouwactiviteit in een week plaatsvindt en waarde 0 als dit niet het geval is.

P_{it} = Productievolume van SKU i in week t in hectoliters

U_{it} = Productiemoment product i in week t . $i = 0, \dots, n$ en $t=1, \dots, T$. $i=0$ verwijst naar het begin van dan week.

Doelfunctie

$$\text{Min } \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n o_{i,j} * X_{ijt} \quad (1)$$

Constraints

$$I_{it} = P_{it} + I_{i,t-1} - d_{it}, i = 1, \dots, n \text{ en } t=1, \dots, T \quad (2)$$

$$I_{i0} = I_{iT}, i = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^n o_{ij} * X_{ijt} + \sum_{t=1}^n P_{it}/ps_i \leq c_t, t=1, \dots, T \quad (4)$$

$$P_{it} \geq b_i \sum_{j=1}^n X_{ijt}, i = 1, \dots, n \text{ en } t=1, \dots, T \quad (5)$$

$$P_{it} \leq M_{it} \sum_{j=0}^n X_{ijt}, i = 1, \dots, n \text{ en } t=1, \dots, T \quad (6)$$

$$P_{jt} \leq M_{jt} \sum_{i=0}^n X_{ijt}, j = 1, \dots, n \text{ en } t=1, \dots, T \quad (7)$$

$$U_{it} - U_{jt} + n * X_{ijt} \leq n - 1, i \neq j, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n, X_{ij} \in \{1, 0\} \quad (8)$$

$$U_{it} \geq 0, i = 1, \dots, n \text{ en } t=1, \dots, T \quad (9)$$

De doelfunctie (1) minimaliseert de ombouwtijd gedurende de periode waarover gepland wordt. Deze doelfunctie wordt geminimaliseerd binnen de kaders die door de constraints worden gesteld. De voorraadbalans (2) stelt dat de voorraad gelijk moet zijn aan de productie plus de voorraad van de voorgaande week min de vraag in de specifieke week. Hierbij mag de voorraad niet kleiner zijn dan 0 en niet groter zijn dan de maximale voorraad. (3) stelt dat de beginvoorraad gelijk is aan de eindvoorraad van de planningsperiode. Dit om het einde periode effect te verkleinen. De totale capaciteit in minuten mag niet worden overschreden door de som van de productie- en ombouwtijd(4). Indien een product geproduceerd wordt, en er dus naar wordt omgebouwd, moet er meer worden geproduceerd dan de minimum batchgrootte(5). (6) en (7) stellen dat, als een product geproduceerd wordt er altijd naar dit product toe moet worden omgebouwd en er ook weer vanaf.(8) en (9) is de subtour eliminatie constraint van MTZ, deze is uitgelegd in hoofdstuk 3.

Bij een LP relaxatie zal X_{ijt} niet langer 0 of 1 hoeven zijn maar ook alle waarden tussen de 0 en 1 mogen worden aangenomen. Om in de LP relaxatie te voorkomen dat er zeer kleine, nagenoeg 0, ombouwtijden worden behaald is er voor gekozen om bij constraints (6) en (7) M te stellen op de maximale productiehoeveelheid per SKU in plaats van een zeer groot getal.

4.2.2 Algoritme

Voor het oplossen van het voorgaand genoemde model is een exacte oplossingsmethode gebruikt en een heuristiek. De exacte oplossingsmethode is de Coin branch and Cut solver (CBC) van Computational Infrastructure for Operation Research. De heuristiek is gebaseerd op de twee fase heuristiek van Shim, Kim, Doh en Lee (Shim, Kim, Doh, & Lee, 2011).

Exact

Het MILP model is gemodelleerd in MS Excel en opgelost met de opensolver die gebruik maakt van de Coin branch and Cut solver (CBC) van Computational Infrastructure for Operation Research (Mason, 2011). De standaard solver in MS Excel was niet te gebruiken om dit probleem op te lossen vanwege de grote probleemomvang. De opensolver heeft geen limitaties met betrekking tot aantal variabelen. Om studenten de mogelijkheid te geven geleerde kennis en vaardigheden ook op praktijk problemen toe te passen is de COIN CBC ontwikkeld (Mason, 2011).

Heuristiek

De heuristiek dat voor Grolsch is ontwikkeld is voor een groot deel gebaseerd op de twee fase heuristiek van Shim, Kim, Doh en Lee (Shim, Kim, Doh, & Lee, 2011). In de heuristiek wordt meerdere keren gesteld dat de ombouwtijden per week geoptimaliseerd moeten worden. Dit zal gedaan worden door voor iedere week het model aan het einde van dit subhoofdstuk exact op te lossen. Het exact oplossen zal op dezelfde manier worden gedaan als in voorgaand subhoofdstuk is omschreven. De methode om de startoplossing te bepalen zal afwijken van de methode die door hen wordt gebruikt. De initiële oplossing wordt volgens de volgende stappen bepaald:

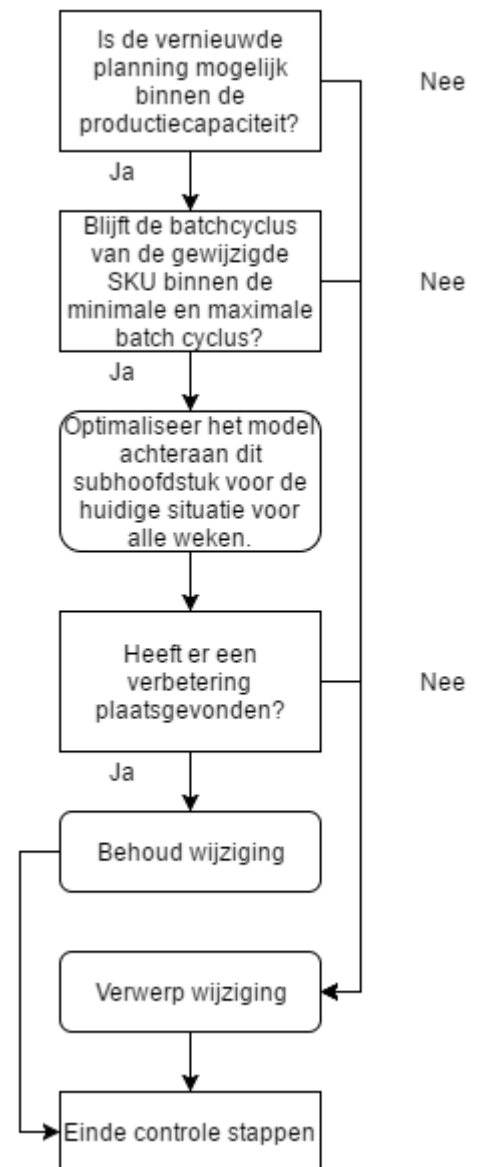
1. Zet alle batchcycli op de maximale batchcyclus voortkomend uit fase 1 van het onderzoek van Grolsch
2. Laat alle SKU's beginnen op een random week kleiner dan de maximale batchcyclus en groter dan de negatieve waarde van de maximale batchcyclus.³
3. Bereken de optimale ombouwtijden per week voor de gegeven oplossing.

³ Als op de minwaarde van de maximale cycluslengte geproduceerd wordt, betekent dit dat week 0 de startweek is vanwege de cyclus. $(-i+i=0)$

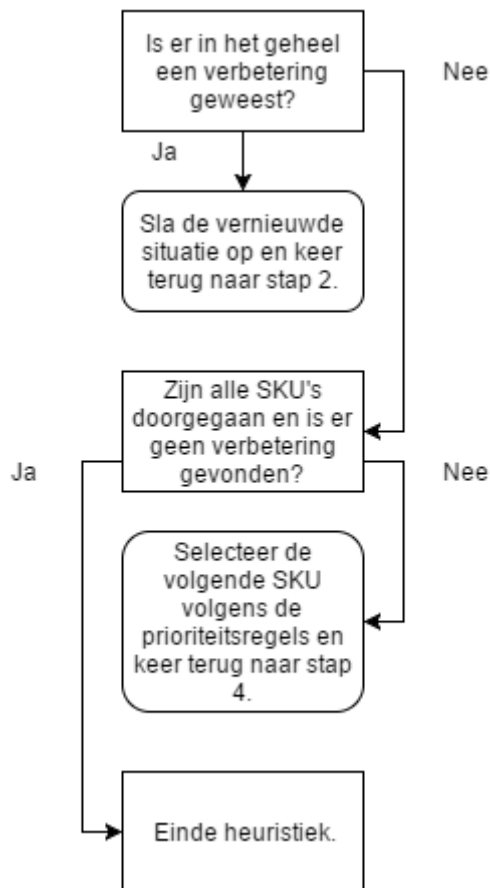
4. Controleer of op basis van deze random start week in alle weken aan de capaciteit wordt voldaan. Zo nee keer terug naar 2.

Als er een initiële oplossing is gevonden die aan de capaciteitsconstraints voldoet dan begint de tweede fase van de heuristiek. In de tweede fase van de heuristiek wordt de oplossing verbeterd. Dit zal gaan in een backward improvement en een forward improvement stap. Om te bepalen welke SKU er gewijzigd gaat worden er twee prioriteitsregels gebruikt. Deze prioriteitsregels zijn minste productietijd en meeste ombouwtijd deze worden nu toegelicht. In de eerste prioriteitsregel worden producten gesorteerd op totale productietijd in de planningsperiode. In de tweede prioriteitsregel worden de producten gesorteerd op totale ombouwtijd in de planningsperiode. Beide prioriteitsregels zijn overgenomen van Shim, Kim, Doh en Lee (Shim, Kim, Doh, & Lee, 2011). Beide prioriteitsregels zullen met elkaar vergeleken worden om tot een zo goed mogelijke heuristiek voor Grolsch te komen. In het volgende stappen schema wordt het gehele algoritme uitgelegd.

1. Sla de initiële planning op.
2. Sorteer alle SKU's volgens de gekozen prioriteitsregel.
3. Selecteer de SKU die gekozen moet worden volgens de prioriteitsregel. Bijvoorbeeld SKU z.
4. Verlaag de batchcyclus van SKU z met 1 tijdseenheid.
5. Voer de controlestappen uit als weergegeven in figuur 6.
6. Verhoog de batchcyclus van SKU z met 1 tijdseenheid.
7. Voer de controlestappen uit als weergegeven in figuur 6.
8. Verlaag de startweek van SKU z met 1 tijdseenheid.
9. Voer de controlestappen uit als weergegeven in figuur 6.
10. Verhoog de startweek van SKU z met 1 tijdseenheid
11. Voer de controlestappen uit als weergegeven in figuur 6.
12. Voer het stappenschema in figuur 7 uit om te controleren of er een verbetering van de totale oplossing heeft plaatsgevonden.



Figuur 6 Controlestappen wijzigingen heuristiek



Figuur 7 Controleren verbetering totale oplossing

MODEL DAT GEOPTIMALISEERD WORDT IN HEURISTIEK

Parameters

i = SKU nummer

j = SKU nummer

n = Aantal SKU's

o_{ij} = Ombouwtijd van SKU i naar SKU j in minuten, waarbij $i, j = 0, \dots, n$. 0 verwijst naar een lege afvullijn tijdens de schoonmaak activiteiten aan het begin en einde van de week.

b_i = Minimale productiebatch in hectoliters van SKU i

p_i = Indien SKU i geproduceerd wordt heeft p_i waarde 1. Anders waarde 0. $p_i \in \{1, 0\}$

Variabelen

X_{ij} = Wel of geen ombouw van SKU i naar SKU j . Voor de eerste SKU die geproduceerd wordt, bijvoorbeeld SKU z , geldt dat $X_{0z} = 1$ en voor de laatste SKU, bijvoorbeeld SKU z geldt dat $X_{z0} = 1$. $X_{ij} \in \{1, 0\}$ dat wil zeggen X_{ij} heeft waarde 1 als een ombouwactiviteit in een week plaatsvindt en waarde 0 als dit niet het geval is.

U_i = Productiemoment product i in week t . $i = 0, \dots, n$ $i=0$ is het startpunt van de volgorde.

Doelfunctie

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n o_{i,j} * X_{ij} \quad (1)$$

Constraints

$$p_i = \sum_{j=0}^n X_{ij}, i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$U_i - U_j + n * X_{ij} \leq n - 1, i \neq j, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n, X_{ij} \in \{1, 0\} \quad (3)$$

$$U_i \geq 0, i = 1, \dots, n \quad (4)$$

4.2.3 Data verwerking

Om de huidige oplossing met een exacte oplossing te kunnen vergelijken en om de heuristiek met een exacte oplossing te kunnen vergelijken is er input data gegenereerd. Welke data en hoe er is gegenereerd zal nu worden toegelicht.

Input data

Om een vergelijking te maken tussen de huidige situatie bij Grolsch en het exacte model zijn er aan de input van de huidige situatie en het exacte model aanpassingen gemaakt. De exacte oplossing heeft geen verschil in productie in het begin van de week en productie aan het einde van de week. In de tactische planning van Grolsch is dit ook niet het geval, echter kan productie voor in de week worden gepland in de operationele planning om out of stocks te voorkomen. De beginvoorraad is gesteld op een geheel aantal weken vraag dat afgedekt kan worden met de huidige beginvoorraad om problemen hierin te voorkomen. De exacte oplossing gaat vanaf de huidige beginvoorraad een optimale productie inplannen waarbij de voorraad aan het begin van de productieperiode gelijk moet zijn aan de voorraad aan het eind. De voorraad is voor deze vergelijking uitgedrukt in productie-uren omdat er grote verschillen in afvuursnelheid zijn waardoor een voorraad op basis van volume zal leiden tot een grote voorraad in producten die op een hoge snelheid afgevuld kunnen worden. De minimale en maximale batchcyclus per product wordt in het model ook meegenomen als input data. Hieraan is niets gewijzigd.

In de vergelijking tussen de heuristiek en de exacte oplossing voor deze heuristiek is de voorraad in de heuristiek gebruikt als beginvoorraad van de exacte oplossing. De voorraad is voor deze vergelijking uitgedrukt in productie-uren omdat er grote verschillen in afvuursnelheid zijn waardoor een voorraad op basis van volume zal leiden tot een grote voorraad in producten die op een hoge snelheid afgevuld kunnen worden.

Methode van vergelijken

Er zal een aantal vergelijkingen gemaakt gaan worden. Alle vergelijkingen die gemaakt gaan worden zijn op basis van afvullijn 7 zonder Miller producten. Er is hiervoor gekozen omdat er een grote variatie aan producten is en deze afvullijn toch maar 16 SKU's heeft waardoor het model redelijk klein gehouden kan worden. Op afvullijn 7 wordt er in de oneven weken Miller producten afgevuld en in de even weken de rest van de producten. Een periode van 16 weken, dus 8 productieweken, wordt gebruikt in de vergelijking.

1. De huidige situatie in vergelijking met de exacte oplossing van deze huidige situatie
2. De heuristiek
 - a. Vergelijking tussen de verschillende prioriteitsregels in deze heuristiek
 - b. Vergelijking tussen de oplossing van de heuristiek en de oplossing van het exacte model op basis van de output van de heuristiek

De huidige situatie in vergelijking met de exacte oplossing van deze huidige situatie

De huidige voorraad zal worden ingevoerd als input voor het exacte model. Deze zal opgelost gaan worden met de opensolver.

De heuristiek

Alle vergelijkingen met betrekking tot de heuristiek zullen uitgaan van dezelfde gegenereerde startoplossing om afwijkingen hierin niet de resultaten te kunnen laten beïnvloeden.

Vergelijking tussen de verschillende kansen op verwerpen

De kansen op aannemen van 0%, 2,5% en 5% zullen met elkaar vergeleken worden, deze worden ook wel α genoemd, om te kunnen bepalen welke kans het meest geschikt zal zijn voor Grolsch om te gebruiken.

Vergelijking tussen de verschillende prioriteitsregels in deze heuristiek

De vergelijking tussen de verschillende prioriteitsregels zal worden gedaan om te bepalen welke prioriteitsregel het meest geschikt is voor Grolsch.

Vergelijking tussen de heuristiek en de exacte oplossing van de heuristiek

De heuristiek zal een bepaald startpunt hebben van de cycli waarin deze produceert. Dit is de startvoorraad die de heuristiek gebruikt en zal de input zijn voor het exacte model. Hierbij heeft de heuristiek de mogelijkheid om de beginvoorraad te wijzigen waar het exacte model dat niet heeft. Dit is echter geen probleem voor de exacte oplossing omdat voorraadkosten niet worden meegenomen en het exacte model de mogelijkheid heeft om buiten de vaste cycli, die in de heuristiek gebruikt worden, te produceren.

4.3 Conclusie

Input uit de literatuurstudie en onderzoek bij Grolsch zijn verwerkt in een MILP model. Om dit MILP op te lossen is een exacte oplossingsmethodiek die gebruik maakt van de door COIN ontwikkelde opensolver en een heuristiek gebaseerd op Shim, Kim, Doh en Lee gepresenteerd (Shim, Kim, Doh, & Lee, 2011).

De huidige tactische planning van Grolsch zal vergeleken gaan worden met een exacte oplossing uitgaand van de huidige beginvoorraad. Een vergelijking tussen de verschillende prioriteitsregels en kansen op verwerpen zullen binnen de heuristiek gemaakt worden. Hiernaast zal er een vergelijking gemaakt worden tussen de heuristiek en de exacte oplossing op basis van de beginvoorraad van de heuristiek.

5 Resultaten en analyse

In dit hoofdstuk zullen de resultaten van de verschillende oplossingsmethoden gepresenteerd worden in paragraaf 1. Hierna zullen deze uitkomsten worden vergeleken en geanalyseerd in paragraaf 2. Vervolgens zullen er conclusies worden getrokken in paragraaf 3 waarin ook deelvraag 4 en 5 van dit onderzoek worden beantwoord.

5.1 Uitkomsten

De huidige oplossing heeft 2415 minuten ombouwtijd. Een exacte oplossing op basis van de beginvoorraad in de huidige situatie levert een ombouwtijd van 1505 minuten op na 65 uur rekenen.

De resultaten van de heuristiek, gebruikmakend van de selecteer langste ombouwtijd en selecteer kortste productietijd prioriteitsregels zijn in tabel 6 weergegeven. Hierbij zijn ook de kansen op het verwerpen van een slechtere oplossing meegenomen en het resultaat van de startoplossing weergegeven. Alle getallen in tabel 6 en tabel 7 geven een aantal minuten ombouwtijd aan over een periode van 16 weken waarin alleen in de even weken productie heeft plaatsgevonden.

	Heuristiek kans 1	Heuristiek kans .975	Heuristiek kans .95	Initiële oplossing
Heuristiek ombouw	930	1075	1300	1375
Heuristiek productie	1000	1000	1075	

Tabel 6 Uitkomsten ombouwtijden heuristiek in minuten over de gehele planningsperiode

	Heuristiek kans 1	Exacte oplossing	LP relaxatie
Heuristiek ombouw	930	830	295
Heuristiek productie	1000	830	291

Tabel 7 Ombouwtijden heuristiek en exacte oplossing in minuten over de gehele planningsperiode

5.2 Vergelijking

Op basis van de huidige beginvoorraad kan er een verbetering worden gemaakt. De exacte oplossing op basis van deze beginvoorraad is beter dan de huidige oplossing. In figuur 8 is de oplossing te zien die door het exacte model is gemaakt op basis van de huidige voorraad. Een rood gevulde cel betekent dat er productie plaatsvindt voor een specifieke SKU in een specifieke week. Producten uit dezelfde productfamilie hebben in de weken dat zij niet geproduceerd worden dezelfde achtergrondkleur gekregen. Producten zijn in een productfamilie geplaatst als de ombouwtijden minder dan 60 minuten onderling bedragen. Voor de eerste 5 SKU's was dit in geen geval waar. Binnen de blauwe productfamilie is onderscheid gemaakt tussen de producten. Dit is gedaan omdat binnen dezelfde blauwtint de ombouwtijd kleiner of gelijk is aan 20 minuten waar het met alle blauwe SKU's kleiner of gelijk aan een uur is. In figuur 8 is te zien dat producten binnen een productfamilie, indien het mogelijk is, samen met andere producten uit dezelfde productfamilie worden geproduceerd.

Productie/week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
sku 1	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
sku 2	0	8	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0
sku 3	0	5	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0
sku 4	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sku 5	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sku 6	0	4	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0
sku 7	0	2	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
sku 8	0	2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	6	0	0	0	0
sku 9	0	5	0	0	0	0	0	4	0	0	0	6	0	0	0	0
sku 10	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sku 11	0	3	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
sku 12	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0
sku 13	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0
sku 14	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0
sku 15	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	4	0	0
sku 16	0	8	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0

Figuur 8 Exacte planning op basis van huidige beginvoorraad

Uit tabel 6 blijkt dat in geen van de onderzochte gevallen het aannemen van een slechtere oplossing leidt tot een beter uiteindelijk resultaat. In de prioriteitsregel van de minste productietijd zijn de verschillen kleiner dan bij de prioriteitsregel met de langste ombouwtijd.

De uitkomsten van de heuristiek met het beste resultaat zijn weergegeven in figuur 9. Hierbij zijn productfamilies op dezelfde manier weergegeven als in figuur 8. Hier is ook zichtbaar dat er op basis van productfamilies wordt gepland.

Productie/week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
sku 1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
sku 2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
sku 3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
sku 4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
sku 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
sku 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
sku 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
sku 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
sku 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
sku 10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
sku 11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
sku 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
sku 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
sku 14	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
sku 15	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
sku 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Figuur 9 Uitkomst heuristiek selecteren langste ombouwtijd met kans 1

Uit tabel 6 blijkt dat er tussen de prioriteitsregels geen verschil hoeft te zijn. De heuristiek die de prioriteitsregel van de maximale ombouwtijd gebruikt levert de beste oplossing op. Echter levert de heuristiek met de prioriteitsregel minste productietijd de beste oplossing op voor een kans op het verwerpen van een slechtere oplossing van 0,95% en 0,975%. Uit onderzoek blijkt dat de Heuristiek het product met de minste totale ombouwtijd wordt gewijzigd het beste presteert (Shim, Kim, Doh, & Lee, 2011). Dat komt nu niet direct naar voren aangezien de prioriteitsregel op basis van langste ombouwtijd eenmaal het beste resultaat geeft, waar selectie op basis van minste productietijd twee maal het beste resultaat geeft.

Om te bepalen hoe goed de oplossing die door de heuristiek is berekend is in vergelijking met een exacte oplossing, is met de beginvoorraad uit de heuristiek ook tweemaal het probleem exact opgelost. Vanwege de rekentijden die hiermee gepaard gaan zijn deze na 3 volledige dagen (72 uur) afgekapt. Een waarde die in ieder geval haalbaar is wordt gegeven door de exacte oplossing in tabel 7. Er kan echter niet gesteld worden hoever dit afwijkt van de optimale oplossing die mogelijk is. Om een inschatting hiervan te kunnen maken is er een LP relaxatie uitgevoerd. Deze heeft echter geleid tot een ombouwtijd van 291 en 295 minuten over de gehele periode. Een exacte oplossing van het MILP model zal hier echter nooit op uit kunnen komen. De oplossing gecreëerd na LP relaxatie stelt ombouwactiviteiten in met een waarde tussen 0 en 1. Dit betekent dat er voor bijvoorbeeld 0,3 wordt omgebouwd en er ook maar 30% van de ombouwtijd wordt meegenomen. In het LP model zal er altijd een hele ombouw plaatsvinden waardoor de ombouwtijd 100% is. Er kan niet gesteld worden dat de optimale oplossing van het MILP dicht bij de oplossing van het MILP model na 72 uur is.

In vergelijking tot de exacte oplossing presteert selecteren op basis van ombouwtijd beter dan selecteren op basis van kortste productie. De voorlopig beste oplossing van het exacte model voor selecteren op basis van langste ombouwtijd is 11 % beter dan de heuristiek waar dit bij selectie op basis van kortste productie tijd 17% is. Gezien de kleine steekproef die gedaan is kan hier geen generalistisch antwoord op worden gegeven maar in deze situatie presteert de heuristiek met selectie op basis van langste ombouwtijd het beste.

5.3 Conclusie

Deelvraag 4, Komt de planningsstrategie die afgeleid wordt uit het model overeen met de planningsstrategie uit de literatuurstudie?

De planningsstrategie die voortkomt uit de literatuurstudie, plannen op basis van productfamilies, is ook terug te zien in de oplossingen die zowel door de heuristiek als door het exacte model worden aangedragen.

Te concluderen valt dan ook dat de planningsstrategie afgeleid uit het model inderdaad overeenkomt met de literatuur.

Deelvraag 5, Creëert het model een betere planning dan het huidige planningssysteem van Grolsch op basis van de belangrijkste KPI's?

Alle ontwikkelde heuristieken en een exacte oplossing voor het probleem creëren een betere oplossing dan het huidige planningssysteem van Grolsch. Dit komt echter ook doordat de huidige planning van Grolsch wel rekening houdt met bijvoorbeeld de beperkte magazijn capaciteit waardoor dit geen geheel correcte vergelijking is. Tussen de verschillende aangedragen oplossingsmethodieken van het MILP probleem zijn wel vergelijkingen te maken. Een exacte oplossing van dit model heeft zeer lange reketijden en is hierom niet bruikbaar in de praktijk. De verschillende heuristieken geven allen een betere oplossing aan. Het beste resultaat is behaald door selectie op basis van totale ombouwtijd met een directe verwerping van minder goede oplossingen.

6 Conclusies & aanbevelingen

Naast de aanbevelingen die uit dit onderzoek naar voren zijn gekomen ben ik bij Grolsch ook punten buiten de scope van dit onderzoek vallen tegengekomen. Deze staan in de bijlage. De hoofdvraag van de bacheloropdracht zal in de conclusie beantwoordt worden. Hierna zullen beperkingen in het onderzoek aangestipt worden. Tot slotte zullen er aanbevelingen worden gedaan voor verder onderzoek en uitbreiding van het model.

6.1 Conclusie

De hoofdvraag van deze bacheloropdracht: *Wat is de optimale strategie voor de tactische productieplanning van de afvullijnen van Grolsch?* zal nu beantwoord worden.

Uit literatuurstudie is gebleken dat een combinatie van planningsstrategieën goede resultaten zou moeten opleveren. Bufferen en plannen op basis van productfamilies zouden gecombineerd moeten worden. Bufferen om de betrouwbaarheid van de planning te verhogen en plannen op basis van productfamilies om de ombouwtijden te reduceren.

Uit zowel de exacte oplossing als oplossing van de heuristiek komt naar voren dat produceren van zo groot mogelijke batches tot minder ombouwtijden leidt. Dit geldt alleen als er binnen de zelfde productfamilie geproduceerd kan blijven worden.. Dit betekent dat Grolsch producten in zo groot mogelijke batches moet gaan produceren, dusdanig dat de productie nog wel samen valt met de productfamilie, om de ombouwtijd te reduceren. In sommige gevallen kan het goed zijn producten buiten hun productfamilie te produceren als hiermee een aantal keren ombouw kan worden uitgespaard. In de heuristiek is te zien dat verschillende producten in een lagere cyclus lengte worden geplaatst dan het maximum op basis van houdbaarheid en op deze manier wel het zelfde uitkomen als andere producten uit de productfamilie. De strategie van productfamilies lijkt hierdoor te worden bevestigd. Welke producten binnen de productfamilie en welke producten buiten de productfamilie moeten worden afgevuld is afhankelijk van het verschil in batchcyclus en ombouwtijd dat behaald wordt. De heuristiek kan voor Grolsch bepalen welk product er wanneer geproduceerd moet worden.

Zowel de exacte oplossing als de heuristiek geven een verbetering ten opzichte van de huidige situatie, waar de exacte oplossing en de heuristiek geen rekening houden met de beperkte magazijn capaciteit en dat in de oplossing van de huidige situatie wel gebeurt.

Uit zowel de literatuurstudie als het ontwikkelde model komt naar voren dat plannen op basis van productfamilies een goede planningsstrategie voor Grolsch zal zijn. Hierbij zal niet altijd moeten worden vastgehouden aan de productfamilie. De ontwikkelde heuristiek zal een goede methode zijn om te bepalen welke producten wel en welke niet binnen een productfamilie geproduceerd moeten worden.

6.2 Beperkingen

Beperkingen in het onderzoek worden nu aangegeven. Hierbij wordt ook de invloed die dit mogelijk heeft gehad op de resultaten besproken.

Bij het vergelijken van de verschillende heuristieken is er maar 1 willekeurige startoplossing gebruikt. Dit betekend dat de conclusies over welke prioriteitsregel beter is niet te generaliseren zijn en alleen voor de gecreëerde startoplossing gelden. De heuristiek zal op basis van meerdere gecreëerde begin oplossingen moeten worden doorgerekend om tot generaliseerbare conclusies te komen.

De uitkomsten van de heuristiek worden vergeleken met een exacte oplossing op basis van de beginvoorraad die gelijk is aan de beginvoorraad in de oplossing die is aangedragen door de heuristiek. Het exacte model kan deze beginvoorraad niet wijzigen waar de heuristiek dat wel kan. Om tot een volledige vergelijking tussen de heuristiek en de exacte oplossing te komen zal een exact model dat ook de beginvoorraad kan aanpassen gemaakt kunnen worden.

Het exact oplossen van het MILP model is na 72 uur stop gezet. Om te bepalen hoe goed de exacte oplossing is er een LP relaxatie uitgevoerd. Er bleek een aanzienlijk gat te zitten tussen de exacte oplossing na de LP relaxatie en de oplossing van het MILP model na 72 uur. Hierdoor valt niet te stellen hoe goed de oplossing van het MILP is. Hiermee valt ook de kwaliteit van de heuristiek niet met 100% zekerheid vasttestellen.

Vanwege de scope van dit onderzoek zijn de beperkte magazijn capaciteit, opslagkosten en dergelijken niet meegenomen. Dit leidt er toe dat er geen kosten verbonden zijn aan het produceren van grote batchformaten en dus logischerwijs grote batches worden geproduceerd. De conclusies met betrekking tot het plannen op basis van productfamilies zijn hierdoor niet beïnvloed, bij kleinere batches zal er vaker worden omgebouwd en zal het nog meer voordeel opleveren als deze ombouwtijden kort zijn.

Een oplossing waarbij in een van de weken de beschikbare productiecapaciteit wordt overschreden wordt in de heuristiek nu verworpen. Dit kan betekenen dat een hele goede oplossing waarbij in een specifieke week de productiecapaciteit licht wordt overschreden wordt verworpen. In praktijk zou een dergelijke oplossing eventueel wel mogelijk kunnen zijn door bijvoorbeeld flexibel om te gaan met het onderhoud dat in iedere week plaatsvindt dat is echter geen gewenste situatie maar kan in uitzonderingsgevallen een keer mogelijk zijn.

6.3 Aanbevelingen

Naarmate de omvang van het probleem groter wordt zal de rekentijd van het exacte model exponentieel stijgen. De rekentijd van de heuristiek zal dit echter niet doen. Er is verschil in de kwaliteit van de resultaten van de exacte oplossing en de heuristiek. Waar Grolsch heeft aangegeven het prettig te vinden om te werken met in de basis vaste batchcycli en het model niet binnen redelijke termijn exact op te lossen is raad ik Grolsch aan om de heuristiek te gaan gebruiken om de tactische planning van de afvullijnen te optimaliseren.

Een efficiëntere code van de heuristiek zal de tijd die benodigd is voor het doorrekenen van het model reduceren. Indien het voor Grolsch van belang is dat de heuristiek sneller doorgerekend kan worden zou hier naar gekeken kunnen worden. De opensolver die nu gebruik wordt is niet zo efficiënt als commerciële solvers. Een commerciële solver zal efficiënter zijn (Mason, 2011).

Het model waar in de heuristiek wordt doorgerekend heeft ook de optie om de optimale ombouwtijden voor een specifieke oplossing uit te rekenen. Ik raad Grolsch aan het model hiervoor te gebruiken indien er een discussie is over de impact van een wijziging in het plan. De wijziging in ombouwtijden kan hiermee binnen 2 minuten exact bepaald worden. Hiernaast kan op een zelfde wijze ook de operationele planning gevalideerd worden.

In het onderzoek is naar voren gekomen dat data over afwijking in productiesnelheden tussen begin en einde van de batch en afwijking in ombouwtijden niet aanwezig is. Dit heeft geen invloed op de KPI van dit onderzoek. Echter zal gebruik van deze nog te vergaren data wel de betrouwbaarheid van de operationele planning kunnen verbeteren. Overige aanbevelingen die buiten de scope van het onderzoek vallen staan in de bijlage.

Uit de literatuurstudie is naar voren gekomen dat toepassing van simulated annealing de resultaten van de heuristiek kan verbeteren. Dit zal echter wel de rekentijd doen stijgen. Gezien de beperkte tijd beschikbaar voor een bacheloropdracht is simulated annealing niet verwerkt in het opgeleverde model. De rekentijden van het model waarin de heuristiek verwerkt is tot en met 16 SKU's zijn redelijk beperkt. Hier zou een uitbreiding met simulated annealing mogelijk goede resultaten kunnen opleveren. Het model tot en met 56 SKU's behoeft meer rekentijd en een toevoeging van simulated annealing zal dit alleen maar verder doen stijgen.

De kernwaarden van de output van de exacte oplossing en de heuristiek kan Grolsch op korte termijn implementeren in de tactische productie planning. Producten zullen in grotere batchcycli moeten worden

geproduceerd. Dit zal in een cyclus moeten gebeuren waarbij producten uit dezelfde productfamilie vaak samen geproduceerd worden. Producten die in kleine volumes worden geproduceerd zullen zonder de magazijn capaciteit te hoeven vergroten al in grotere cycli geproduceerd kunnen worden om de ombouwtijden te reduceren.

Referentielijst

- The chain company, . (2016, 4 29). *Unit manager packaging*. Retrieved from The Chain company: <http://www.thechaincompany.nl/vacature/unit-manager-packaging/>
- ABInBev. (2016, Maart 15). *ABinbev*. Retrieved from Press release: <http://www.ab-inbev.com/content/dam/universaltemplate/abinbev/pdf/investors/10February2016/Anheuser-Busch%20InBev%20receives%20a%20binding%20offer%20from%20Asahi%20to%20acquire%20part%20of%20SAB%20Millers%20European%20business%20-%2010%20February%202016.p>
- Bazaraa, M. S., Jarvis, J. J., & Sherali, H. D. (2010). *Linear programming and network flows*. Hoboken: A John Wiley & Sons.
- Bilgen, B., & Günther, H. O. (2010). Integrated production and distribution planning. *OR Spectrum*, 927-955.
- Bitran, G., Haas, E., & Matsuo, H. (1986). Production planning of style goods with high setup costs and forecast revisions. *Operation research*, 226-236.
- Buxey, G. (2003). Strategy not tactics drives aggregate planning. *International journal of production economics*, 331-346.
- Charlotte, T. U. (2016, 4 8). *Sociological Research Methods: Empirical Research*. Retrieved from UNC charlotte J. Murrey Atkins Library: <http://guides.library.uncc.edu/c.php?g=173030&p=1143848>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Supply chain management*. Edinburgh Gate: Pearson education.
- Copil, K., Wörbelauer, M., Meyr, H., & Tempelmeier, H. (2016). Simultaneous lotsizing and scheduling problems: a classification and review of models. *OR Spectrum*.
- Dunne, E., & Rawlins, M. (2000). Bridging the Gap Between Industry and Higher Education: Training Academics to Promote Student Teamwork. *Innovations in Education & Training international*, 361-371.
- Golden, B., Bodin, L., Doyle, T., & Steward, W. (1980). Approximate traveling salesman algorithms. *Operations Research*, 694-711.
- Goldratt. (2016, 7 3). *The Theory Of Constraints And Drum-Buffer-Rope*. Retrieved from Goldratt UK: http://www.goldratt.co.uk/resources/drum_buffer_rope/
- Goles, T., & Hirschheim, R. (2000). The paradigm is dead, the paradigm is dead. . .long live. *omega* 28, 249-268.
- Gupta, A., & Maranas, C. (2003). Managing demand uncertainty in supply chain planning. *Computers & chemical Engineering*, 1219-1227.
- Gupta, A., Maranas, C., & McDonald, C. (2000). Mid-term supply chain planning under demand uncertainty: customer demand satisfaction and inventory management. *Computers & chemical Engineering*, 2613-2621.
- Gupta, D., & Magnusson, T. (2005). The capacitated lot-sizing and scheduling problem with sequence-dependent setup costs and setup times . *Computers & operations research*, 727-747.
- Heerkens, H., & Winden, A. v. (2012). Op zoek naar het kernprobleem. In H. Heerkens, & A. v. Winden, *Geen Probleem* (pp. 47-49). Nieuwengijn: Van Winden Communicatie.
- Heerkens, H., & Winden, A. v. (2012). *Geen probleem*. Nieuwengijn: Van Winden Communicatie.
- Heijden, M. v., & Wegen, L. v. (2014). *collegedictaat ritplanning*. Enschede: Universiteit Twente.

- Kopanos, G. M., Puigjaner, L., & Georgiadis, M. (2012). Simultaneous production and logistics operations planning in semi continuous food industries. *Omega*, 634-650.
- Kreipl, S., & Pinedo, M. (2004). Planning and scheduling in supply chains, an overview of issues in practice. *Production and operation management*, 77-92.
- Laporte, G. (1992). The Traveling Salesman Problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 231-247.
- Liu, S., Pinto, J. M., & Papageorgiou, L. G. (2008). A TSP-based MILP Model for Medium-Term Planning of Single-Stage Continuous Multiproduct Plants. *Industrial & engineering chemistry research*, 7733-7743.
- Löhndorf, N., Riel, M., & Minner, S. (2014). Simulation optimization for the stochastic economic lot scheduling problem with sequence-dependent setup times. *International journal of production economics*, 170-176.
- Ma, G., Zhang, Y., & Nee, A. (2000). A simulated annealing-based optimization algorithm for process planning. *International journal of production research*, 2671-2687.
- Mason, A. J. (2011). OpenSolver - An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Programmes in Excel. In D. Klatte, H.-J. Lüthi, & K. (. Schmedders, *Operations Research Proceedings 2011* (pp. 401-406). Zurich: Springer.
- Miller, C., Tucker, A., & Zemlin, R. (1960). Integer Programming Formulation of Traveling Salesman Problems. 326-329.
- Moore, G. (1903). *Principia Ethica*. Cambridge university press.
- Orçun, S. (2001). General continuous time models for production planning and scheduling of batch processing plants: mixed integer linear program formulations and computational issues. *Computers & chemical engineering*, 371-389.
- Poel, I. v., & Rotakkers, L. (2011). The distribution of responsibility in engineering. In I. v. Poel, & L. Rotakkers, *Ethics, Technology and engineering: An introduction* (pp. 249-276). Chisester: Blackwell Publishing.
- Poel, I. v., & Royakkers, L. (2011). Code of conduct. In I. v. Poel, & L. Royakkers, *Ethics, Technology and engineering an introduction* (pp. 31-64). Padstow: John Wiley & Sons.
- Poel, I. v., & Royakkers, L. (2011). Ethical questions in the design of technology. In I. v. Poel, & L. Royakkers, *Ethics, technology and engineering an introduction* (pp. 163-197). Southern Gate: Blackwell Publishing.
- Ramezani, R., & Saidi-Mehrabad, M. (2013). Hybrid simulated annealing and MIP-based heuristics for stochastic lot-sizing and scheduling problem in capacitated multi-stage production system. *Applied Mathematical Modelling*, 5134-5147.
- Ramezani, R., Saidi-Mehrabad, M., & Fattahi, P. (2013). MIP formulation and heuristics for multi-stage capacitated lot-sizing and scheduling problem with availability constraints. *Journal of Manufacturing Systems*, 292-401.
- Shim, I.-S., Kim, H.-C., Doh, H.-H., & Lee, D.-H. (2011). A two-stage heuristic for single machine capacitated lot-sizing and scheduling with sequence-dependent setup costs. *Computers & Industrial Engineering*, 920-929.
- Sinott-Armstrong, W. (2016, 3 16). *Consequentialism*. Retrieved from stanford: <http://plato.stanford.edu/entries/consequentialism/>

- Snyder, D. P. (1978). Toward one science. *St Martin's press*.
- Soman, C. A., Donk, D. v., & Gaalman, G. (2004). Combined make-to-order and make-to-stock in a food production system. *International journal of production economics*, 223-235.
- Tulder, R. v. (2012). Procrastination. In R. v. Tulder, *Skills sheets* (pp. 129-131). Amsterdam: Pearson Benelux bv.
- University of Twente. (2016, 3 31). *PILLAR TWO: PROJECT-BASED WORK*. Retrieved from University of Twente: <https://www.utwente.nl/tom/en/whatistem/project-based-work/>
- Vonder, S. v., Demeulemeester, E., Herroelen, W., & Leus, R. (2005). The use of buffers in project mangement: The trade-off between stability and makespan. *International journal of production economics*, 227-240.
- Vromans, R. (2011). *Tactical Planning Efficiency, How to improve the medium-term planning of Grolsch?* Enschede: Rob Vromans.
- Winston, W. L. (2004). *Operations Research: Applications and algorithms*. Belmont: Brooks/Cole, Cengage Learning.

Bijlage

Bijlage 1; betrouwbaarheidsintervallen gemiddelde ombouwtijden afvullijn 7 en 8

Afvullijn 7

Als er naar alle ombouwtijden wordt gekeken die mogelijk zijn op afvullijn 7 is de gemiddelde ombouwtijd 83 minuten een standaardafwijking van 32 minuten op een totaal van 240 waarnemingen. Het 95% betrouwbaarheidsinterval is $83 \pm 1.96 * 2.10 = 83 \pm 4.1$

- Bij behoud van biersoort is de gemiddelde ombouwtijd 53 minuten met een standaardafwijking van 30 minuten op een totaal van 96 waarnemingen. Het 95% betrouwbaarheidsinterval is $53 \pm 1.96 * 3.1 = 53 \pm 6.1$
- Bij behoud van container is de gemiddelde ombouwtijd 53 minuten met een standaard afwijking van 29 minuten op 1239 waarnemingen. Het 95% betrouwbaarheidsinterval is $53 \pm 1.96 * 2.9 = 53 \pm 5.6$
- Bij behoud van configuratie is de gemiddelde ombouwtijd 44 minuten met een standaardafwijking van 34 minuten op 66 waarnemingen. Het 95% betrouwbaarheidsinterval is $44 \pm 1.96 * 4.2 = 44 \pm 8.2$

Voor afvullijn 7 is niet aan te tonen welke wissel het meeste tijd kost, alle 95% betrouwbaarheidsintervallen vertonen overlap. Echter is er wel aangetoond dat het clusteren of op verpakkings-, configuratie- of containerwissel de ombouwtijd reduceert ten opzichte van de gemiddelde ombouw.

Afvullijn 8

Als er naar alle ombouwtijden wordt gekeken op afvullijn 8 is de gemiddelde ombouwtijd 102 minuten een standaardafwijking van 26 minuten op een totaal van 2256 waarnemingen. Het 95% betrouwbaarheidsinterval is $102 \pm 1.96 * 0.55 = 102 \pm 1.1$

- Bij behoud van biersoort is de gemiddelde ombouwtijd 41 minuten met een standaardafwijking van 22 minuten op een totaal van 186 waarnemingen. Het 95% betrouwbaarheidsinterval is $41 \pm 1.96 * 1.6 = 41 \pm 3.1$
- Bij behoud van container is de gemiddelde ombouwtijd 92 minuten met een standaard afwijking van 22 minuten op 1304 waarnemingen. Het 95% betrouwbaarheidsinterval is $92 \pm 1.96 * 0.61 = 92 \pm 1.2$
- Bij behoud van configuratie is de gemiddelde ombouwtijd 99 minuten met een standaardafwijking van 29 minuten op 722 waarnemingen. Het 95% betrouwbaarheidsinterval is $98 \pm 1.96 * 1.1 = 98 \pm 2.11$

Dit betekent dat we kunnen aantonen voor afvullijn 8 dat clusteren op biersoort tot de laagste ombouwtijden leidt, gevolgd door clusteren op container en als laatste clusteren op configuratie.

Bijlage 2, productiestrategieën per afvullijn

Plannen op basis van productfamilies

Lijn 1 Fusten

Op afvullijn 1 zijn de ombouwtijden voor een bierwissel 45 minuten. Voor een containerwissel is de ombouwtijd een half uur. Hierom zal er op afvullijn 1 geclusterd moeten worden op biersoort. In de configuratie wordt op deze afvullijn niet gewisseld. Het gaat altijd om een fust.

Lijn 2 Speciaal bieren binnenland

Op afvullijn 2 wordt een nieuwe verpakkingsmachine gebouwd waardoor de ombouwtijden die voor deze afvullijn gelden niet bekend zijn. Hierom zal er een voorwaardelijk advies worden gegeven. De producten op afvullijn 2 worden in 2 verschillende 300 RB flessen afgevuld. Deze flessen gaan in een tweetal kratten in verschillende mogelijke verpakkingsvormen, bijvoorbeeld een six pack. Deze verschillende verpakkingsmaterialen kunnen afgevuld worden met 16 verschillende bieren.

Een analyse van de ombouwtijden die gerealiseerd gaan worden als de verpakkingsmachine volledig operationeel is en de operators volledig getraind zijn zal moeten uitwijzen wat de beste wijze van clusteren

s. Afhankelijk hiervan zal er op biersoort, configuratietype of flestype geclusterd moeten worden. Clusteren op biersoort zal hierbij waarschijnlijk niet de voorkeur hebben omdat er per biersoort maar 1 tot 3 SKU's op afvullijn 2 worden afgevuld. Clustering op biersoort zal dan niet tot verbetering van de resultaten leiden.

Vanwege de grote verschillen tussen de verschillende SKU's op afvullijn 2 zal een optimalisatie waarbij de ombouwtijden over een lange periode geminimaliseerd worden wenselijk zijn. Hier zal uit blijken welke producten geclusterd moeten worden in een week.

Lijn 4 Beugellijn

Op afvullijn 4 worden 2 biestromen afgevuld, Biestroom A en Biestroom B. Het bier van Biestroom A wordt slechts in twee SKU's afgevuld met een ombouwtijd van 15 minuten. Het zal logisch zijn deze twee SKU's na elkaar af te vullen aangezien een wissel van Biestroom A naar Biestroom B 45 minuten kost. Echter zijn de gemiddelde ombouwtijden bij behoud van biersoort 32 minuten en bij behoud van configuratie 25 minuten.

Biestroom B kan in een viertal verschillende configuraties worden afgevuld. Een van deze configuraties is het sixpack. Hier naartoe ombouwen en hier vanaf ombouwen kost ongeveer 3 keer zoveel tijd als tussen de andere drie mogelijkheden ombouwen. Hierom zal het six pack aan het begin of aan het einde van een biestroom B familie moeten worden afgevuld. Het ombouwen van Biestroom A naar Biestroom B in de sixpack kost evenveel tijd als deze ombouw.

Lijn 5 1.5 Liter

Op afvullijn 5 worden slechts drie SKU's afgevuld in 2 verschillende flessen. De drie producten hebben alle een andere biersoort. Twee van deze producten worden geproduceerd op make to order basis. Een product als make to stock. De make to order producten moeten altijd geproduceerd worden als er genoeg vraag is binnen gekomen, hierom zijn deze niet in te plannen. Om te voorkomen dat afvullijn 5 opgestart moet worden voor het make to stock product is het raadzaam om indien een make to order product geproduceerd wordt, altijd te controleren of het minimum batch formaat van het make to stock product geproduceerd kan worden zonder een te groot risico op over datum. De afweging die hierbij gemaakt moet worden is verwachte kosten van het over datum gaan min de kosten van het opstarten en afsluiten van afvullijn 5. Als hier een positief getal uitkomt zal Grolsch het make to stock product moeten produceren.

De verwachte kosten van over datum gaan kunnen berekend worden door het verwacht aantal hectoliters dat over datum gaat te vermenigvuldigen met de kostprijs per product.

Lijn 7 Niet terugkomende flessen

Op afvullijn 7 wisselen de specificaties met betrekking tot de ombouwtijden per product. Zo zijn de ombouwtijden tussen de verschillende Miller bieren mits zij dezelfde configuratie gebruiken korter dan van Miller 4.4% naar Miller 4.4% met een andere configuratie. Waar dit voor andere producten weer juist niet geldt.

Als er van een Weizen product naar een niet Weizen product en van een Radler product naar een niet Radler product gewisseld wordt moet er een grote schoonmaak van de afvullijn plaatsvinden. Andersom geldt dit niet. Van een willekeurig product naar Weizen of Radler toe behoeft geen extra schoonmaak. Binnen de Weizen is er maar een biersoort dus is dat logischerwijs de productfamilie. Binnen de Radlers zijn er verschillende biersoorten. Deze verschillende biersoorten moeten samen worden gevoegd in een Radler familie om ze te clusteren in een week. Echter kan er ook voor worden om standaard, de week af te sluiten met een Radler of Weizen product. Dit zal betekenen dat de schoonmaak samenvalt met de eindeweekschoonmaak van de afvullijn.

Zoals in hoofdstuk 3 aangetoond zit er indien de Radler, Weizen en Miller producten buiten beschouwing worden gelaten geen verschil tussen de ombouwtijden met betrekking tot behoud van biersoort, container

of configuratie. Hierom zal het voor Grolsch het beste zijn productfamilies in te richten op biersoort ook gezien de situatie bij afvullijn 8.

Lijn 8 Bliklijn

Uit de ombouwmatrix van afvullijn 8 blijkt dat bierwissels het meeste tijd kosten, zie hiervoor ook hoofdstuk 3. Er zijn hierop enkele uitzonderingen, zo is bijvoorbeeld bij de 1*12 configuratie de ombouwtijd gemiddeld lager als er naar een ander 1*12 product gewisseld wordt dan wanneer hier geen rekening mee gehouden wordt. Een andere uitzondering hierop is het afvullen van Palm. De ombouwtijden na Palm bier zijn vooral afhankelijk van de configuratie van de machine, echter kan Grolsch niet bepalen in welke weken zij Palm afvullen. In verband met afspraken met de klant moet Palm altijd worden afgevuuld in de week dat het wordt aangeleverd.

Na de bierwissel maakt het niet uit of de container of de configuratie gewisseld wordt. Met betrekking tot de ombouwtijden.

Net als op afvullijn 7 kost het wisselen naar een Miller product veel tijd. Hierom zullen Miller producten altijd samen moeten worden afgevuuld. Ombouwen van Miller 4.4 naar Miller 4.7 kost meer tijd dan het wisselen van configuratie. Het clusteren van bierstroom is dan ook gewenst.

Nadat een Radler product geproduceerd is, en er wordt geswitcht naar een niet Radler product moet de hele afvullijn grondig worden schoongemaakt in verband met de compounds die in Radler zitten. Dit leidt er toe dat Radlers onderling flink kortere ombouwtijden hebben dan als er van een Radler naar een ander product gewisseld wordt. Hierom zullen alle Radlers ook geclusterd moeten worden zodat ze in dezelfde week afgevuuld kunnen worden en de ombouwtijden geminimaliseerd. Naast deze productfamilie van Radlers is het goed om de rest van de producten ook op biersoort te clusteren gezien de ombouwtijden.

Bufferen

Afvullijn 1

Afvullijn 1 wordt iedere dag opnieuw opgestart.

Afvullijn 3

Afvullijn 3 produceert grote batches van een klein aantal SKU's. Afvullijn 3 vult maar twee SKU's af. Op deze afvullijn een buffer inplannen waarin je meer gaat produceren dan je eigenlijk nodig hebt leidt direct tot een verhoging van je (veiligheids)voorraad. Ik zal Grolsch echter afraden met buffers te werken op afvullijn 3. In verband met de kleine hoeveelheid SKU's zijn er ook weinig ombouwmomenten. Hiermee wordt al een deel van de variatie in productiesnelheid weggenomen. Deze afvullijn zullen alleen stilliggen als er technische problemen zijn, deze problemen kunnen op ieder willekeurig moment optreden. Storingen zijn verwerkt in de operating standards waarmee de productiecapaciteit wordt berekend. Hier zit eigenlijk al een kleine buffer in. Om te voorkomen dat afvullijn 3 stil komt te staan als zij al langere tijd geen storing heeft gehad zou overwogen kunnen worden om de snelheden in de operating standards te verhogen en aan het eind van de week een buffer in te plannen. Echter komt het zelden, praktisch nooit, voor dat afvullijn 3 stil staat omdat er geen materialen beschikbaar zijn, het systeem veranderen terwijl er geen probleem is, lijkt mij niet gewenst. Op afvullijn 3 zal een buffer betekenen dat er ruimte vrij wordt gehouden, indien deze ruimte niet gebruikt hoeft te worden zal deze worden opgevuld door verder te gaan met het zelfde product, de standaard Grolsch pijpjes in krat.

Afvullijn 2, 4, 7 en 8

Op afvullijnen 2, 4, 7 en 8 wordt een grote variatie aan SKU's geproduceerd. Bij deze productie kan het in verband met clustering van producten vervelend zijn als een batch niet afgemaakt kan worden en de volgende week moet worden afgerond. Bijvoorbeeld bij Miller producten. Mocht er nog enkele uren productie nodig zijn, levert dit direct ook een schoonmaak van 8 uur op. Hierom zou het goed kunnen zijn om aan het einde van de week een buffer in te plannen. Deze buffer kan grote storingen opvangen indien nodig waardoor de geplande productie van een week altijd zijn doorgang kan vinden. Indien het niet nodig is

zouden er genoeg materialen aanwezig moeten zijn om een ander product af te vullen. Dit uitlooppproduct zal, om de voorraad van containers en verpakkingsmateriaal te beperken, altijd het zelfde uitlooppproduct moeten zijn.

Dit uitlooppproduct heeft idealiter een lange houdbaarheid, grote veiligheidsvoorraad en constante vraag. Indien de vraag naar dit uitlooppproduct fluctueert kan het probleem ontstaan dat er een tekort is, of er enorme overschotten ontstaan. Een korte houdbaarheid is niet gewenst omdat het voor kan komen dat het product een aantal weken oprij extra geproduceerd kan worden en zodoende meer op voorraad komt te staan. Als de houdbaarheid kort is zal dit product vervolgens vernietigd moeten worden. Producten met een lange houdbaarheid zijn de bieren met een hoog alcoholpercentage zoals het Kanon bier.

Geen product inplannen voor de bufferruimte betekent dat er geen materialen beschikbaar zijn op het moment dat de afvullijn voor loopt wat er toe zal leiden dat de afvullijn onnodig stil komt te staan. Een uitlooppproduct inplannen zal betekenen dat deze in een bepaald percentage van de weken geproduceerd kan worden. Dit betekent dat er een bepaalde hoeveelheid van het uitlooppproduct niet in de gewone wekelijkse planning hoeft te worden meegenomen. Zodoende zal er van een SKU minder productie hoeven worden ingepland in de reguliere planning. Dit creëert ruimte in de planning. Deze ruimte bevindt zich op dit moment op het moment dat een afvullijn wacht op materialen omdat zij voorlopen op de planning. In deze periode kunnen zij geen andere producten tussendoor afvullen.

Conclusie

Afvullijn 1

Op afvullijn 1 zijn er slechts twee type wissels mogelijk, bierwissel en containerwissel. Een bierwissel kost het meeste tijd. Hierom zal er op afvullijn 1 op biersoort geclusterd moeten worden. Aan het einde van de dag een buffer op afvullijn 1 zal goed zijn voor de betrouwbaarheid van de afvullijn.

Afvullijn 2

Afhankelijk van de ombouwtijden die bij de nieuwe machine op afvullijn 2 horen zal er of op biersoort, configuratie of container moeten worden geclusterd. Een vast uitlooppproduct aan het einde van iedere week kan goed zijn om de prestaties van de afvullijn te bevorderen. Echter zal dit niet perse de tactische planning verbeteren.

Afvullijn 3

Vanwege het geringe aantal SKU's op afvullijn 3, meestal maar 1 per week, is het voor afvullijn 3 niet interessant om te clusteren dan wel buffers in te plannen.

Afvullijn 4

Op afvullijn 4 zijn er grote verschillen in de ombouwtijden tussen de verschillende SKU's. Hierom zal er op afvullijn 4 geclusterd moeten worden op biersoort en vervolgens op configuratie. Een uitlooppproduct aan het einde van de week zal goed kunnen zijn voor de prestaties van de afvullijn echter niet voor de tactische planning.

Afvullijn 5

Voor afvullijn 5 zou altijd als er een make to order product geproduceerd wordt ook moeten worden gekeken of het make to stock product geproduceerd kan worden.

Afvullijn 7

Op afvullijn 7 zullen de verschillende Miller en Radler bieren geclusterd moeten worden. De Miller producten hebben de voorkeur om in het begin van de week te worden afgevuld waar de Radler producten aan het einde van de week het beste passen. Ook de Weizen producten kunnen het best aan het einde van de week. Binnen de Miller SKU's zal er eerst op configuratie geclusterd moeten worden voordat er op biersoort wordt geclusterd. Een uitlooppproduct aan het einde van de week zal goed kunnen zijn voor de prestaties van de afvullijn echter niet voor de tactische planning.

Afvullijn 8

Op afvullijn 8 zullen de verschillende Miller en Radler bieren geclusterd moeten worden. De Miller producten hebben de voorkeur om in het begin van de week te worden afgevuuld waar de Radler producten aan het einde van de week het beste passen. Een uitloopprijs aan het einde van de week zal goed kunnen zijn voor de prestaties van de afvullijn echter niet voor de tactische planning.

Bijlage 3, toelichting hoofdstuk 4.1.2

Variatie tussen plan en forecast

Indien de afwijking tussen de forecast en de daadwerkelijk vraag groot is kan het goed zijn om een product vaker te produceren. Mochten de verkopen groter zijn dan de forecast dan kan dit leiden tot een tekort. Indien de vraag achter blijft bij de forecast zal het product minder lang blijven liggen omdat er, door de frequentere productie, minder grote batches worden gemaakt en dus vaker de productie op de vraag kan worden afgesteld.

Indien de variatie tussen de forecast en de daadwerkelijk vraag gemiddeld is kan er een product minder vaak geproduceerd worden dan een product met een grote vraag. Het risico dat de vraag enorm achterblijft of enorm voorloopt op de forecast is niet groot.

Indien de variatie tussen de forecast en de daadwerkelijk vraag nagenoeg nul is, dan kan een product in een grote cyclus in grote batches geproduceerd worden. De kans dat een product uitverkocht raakt is niet groot evenals de kans dat een product over datum gaat.

Omvang van de afzet

Bij een product met grote afzet kan het mogelijk zijn om alsnog grote batches af te vullen ondanks dat het product vaker terug komt. Als een product dat veel verkocht wordt, niet frequent wordt geproduceerd kunnen er grote volumes voorraad ontstaan. Waarbij de vraag is, of dat dit wenselijk is.

Bij een product met een kleine afzet kan het goed zijn, om de batchmaat te vergroten dit product niet vaak terug te laten komen. Dit zal leiden tot grotere batches en minder ombouwtijden.

Seizoen afhankelijkheid

In het hoogseizoen van een product kan het wenselijk zijn om een ander beleid aan te houden dan in het laagseizoen. Hiernaast is er ook het hoog- en laagseizoen van bier dat een belangrijke rol speelt.

In het hoogseizoen van een product zal het waarschijnlijk belangrijker zijn om gegarandeerd te kunnen leveren dan in het laagseizoen. Hier kan rekening mee worden gehouden in de productieplanningsstrategie van dit product. Als het product in het hoogseizoen is zal je dit product frequenter afvullen dan in het laagseizoen. Het zou ook overwogen kunnen worden om in het laagseizoen een product alleen als make to order aan te bieden om te voorkomen dat producten over datum gaan en er lange tijd veel ruimte bezet wordt in het magazijn.

In het hoogseizoen van bier zal de planning voller zijn dan in het laagseizoen. Zowel de afvullijnen zijn drukker bezet als het brouwhuis en de filtratiekamer. Dit kan er toe leiden dat, om aan de vraag te kunnen voldoen producten in het hoogseizoen in grotere batches worden geproduceerd en minder frequent terugkomen. Dit neemt hogere voorraden met zich mee maar reduceert wel de ombouwtijden op de afvullijn.

In het laagseizoen van bier zal er in de planning meer ruimte zijn. Dit zal gelden voor de afvullijnen maar ook voor het brouwhuis en de filtratiekamer. Als er voor gekozen wordt om het aantal ploegen dat operationeel is, dus de productiecapaciteit wordt gehandhaafd, kan er voor worden gekozen om in kleinere batches te gaan produceren zodat een SKU vaker geproduceerd wordt. Dit zal er toe leiden dat de voorraad daalt evenals de kans op over datum gaan. Door het verhoogde aantal ombouwmomenten zal de ombouwtijd stijgen en hiermee een van de belangrijkste KPI's van de afvullijnen, de machine efficiëntie dalen.

Er zijn verschillende factoren die het gebruik van verschillende regimes per product beïnvloeden. Deze kunnen allen de productiecyclus van een product beïnvloeden richting het minimum en het maximum. Hierbij zit er verschil in de weging die alle factoren mee dienen te krijgen. Er zal een berekening gedaan moeten worden naar de invloed van het gebruik van deze verschillende factoren op de verbetering van de tactische planning. Aan de hand hiervan kan bepaald worden welke factoren zwaarder mee wegen en welke minder zwaar.

Alle voorgaand genoemde factoren zijn meegenomen bij de berekening van de minimale en maximale cyclus lengte per SKU in fase 1 van het grote onderzoek van Grolsch. Hierom zal ik deze factoren niet mee nemen in mijn onderzoek, als ik opnieuw zal gaan corrigeren op basis van factoren zullen deze factoren dubbel worden meegenomen. Dit zal er voor zorgen dat er over gecorrigeerd gaat worden. Ik denk echter wel dat het goed kan zijn om in het model een optie te hebben om handmatig correcties aan te brengen op basis van voorgenoemde criteria. Indien er plotselinge veranderingen zijn in de markt kan er snel gekeken worden wat dit voor een invloed op een productiecyclus heeft. Een andere mogelijkheid is, is indien er grote veranderingen in de markt zijn een product zo vaak mogelijk te gaan produceren.

Bijlage 4; constraints Grolsch

Tot nu toe bekende constraints:

Algemene constraints

- Aan alle vraag moet idealiter worden voldaan omdat dit niet altijd mogelijk is wordt er uitgegaan van een servicelevel van 99,5%
- Warehouse capaciteit kan niet worden overschreden
- Minimum voorraad verschilt per product (spreadsheet van) x dagen
- Minimaal 70% van de THT is voor de klant/op 30% moet het uitgeleverd zijn

Afvullijn constraints

- Capaciteit (machine + ploegen)

Lijn	Machine capaciteit (operating standards)HL/week	Ploegen capaciteit (productie uren) per week
1 fusten	Vertrouwelijk	Vertrouwelijk
2 speciaalbier returnable	Vertrouwelijk	Vertrouwelijk
3 Pijpjes	Vertrouwelijk	Vertrouwelijk
4 swingtop	Vertrouwelijk	Vertrouwelijk
5 1.5 Liter	Vertrouwelijk	Vertrouwelijk
7 export	Vertrouwelijk	Vertrouwelijk
8 Blik	Vertrouwelijk	Vertrouwelijk

Tabel 3 Constraints afvullijn

- Er kan maar 1 afvullijn tegelijk uit een tank bier halen behalve afvullijn 2,3,4 en 7 zij kunnen per twee uit een tank tappen. Niet alle tanks zijn met alle afvullijnen verbonden.
- Na iedere 50 uur Miller productie moet het Pall filter worden gereinigd
- Per afvullijn moet er om een verschillend aantal uren een CIP reiniging worden gedaan.

- Bij een Pall filter reiniging ligt de hele afvullijn stil.

Brouwhuis constraints

- Compound hoeveelheden

Brand	Compound HL	Min Filtratie HL
Radler 2.0%	Vertrouwelijk	Vertrouwelijk
Radler GA 2.0%	Vertrouwelijk	Vertrouwelijk
Radler 0.0%	Vertrouwelijk	Vertrouwelijk
Radler IT 0.0%	Vertrouwelijk	Vertrouwelijk
Radler GA 0.0%	Vertrouwelijk	Vertrouwelijk

Tabel 4 filtratie batchformaten

Radlers moeten altijd in een veelvoud van de compound batch formaten gebrouwen worden.

- Beperkte capaciteit aan helderbier, vergistings- en lagertanks
- Capaciteit brouwlijnen
 - o 1.7 miljoen liter per dag
- Capaciteit vergistingstanks/lager tanks
 - o Ondergistend bier 65 tanks a 500.000 liter/420.000 liter
 - o Bovengistend bier 12 tanks a 250.000 liter
- Filterlijnen
 - o 1 met 15.000 liter per uur
 - o 2 met 50.000 liter per uur
- 20 helderbier tanks

Bijlage 5; Aanbevelingen buiten scope

De aanbevelingen buiten de scope van het onderzoek omvatten verschillende onderwerpen die ook in het onderzoek naar voren zijn gekomen maar niet direct invloed hebben op de prestaties van de tactische planning. Er zijn aanbevelingen die de planning op afvullijnniveau, filtratie- en brouwniveau kunnen verbeteren.

Optimalisatie per lijn

Indien er meerdere verpakingsstraten op een afvullijn zijn, die niet tegelijk zullen verpakken, probeer deze dan na elkaar te plannen. Indien de ene verpakingsstraat actief is kan de ander worden omgebouwd.

Een van de verbetermogelijkheden van de huidige productieplanning bij Grolsch is de betrouwbaarheid van de productieplanning, in hoeverre wordt de planning gehaald door de afvullijnen. Zoals in hoofdstuk twee genoemd wordt bij Grolsch gepland op basis van gemiddelde batchsnelheid. Nu is het gevoel dat de afvullijnen in het begin van een batch minder hoge snelheden behalen dan na een bepaald moment vanaf waar de afvullijnsnelheid stabiel blijft. Defecten aan een van de machines die op een willekeurig moment optreden buiten beschouwing gelaten. Met deze kennis zou het een logische stap zijn om te onderzoeken hoe groot deze snelheidsverschillen zijn en of splitsing daadwerkelijk verbeteringen met zich mee neemt. Op dit moment is de data om dit te onderbouwen helaas niet voorhanden, er zijn echter vele signalen die hier naar wijzen. Het achterhalen van deze data, snelheid van de afvullijn per uur van een batch zal gedaan moeten worden. Hierna kan deze data geanalyseerd gaan worden. Indien hier uit blijkt dat er verschil zit in

de afvullijnsnelheden zal Grolsch moeten overwegen dit wel of niet op te nemen in de productieplanning. De redenatie hier achter is als volgt: Als de afvullijnsnelheid naarmate de afvullijn langer draait structureel hoger is dan de rekensnelheid het verschil tussen werkelijkheid en planning steeds groter wordt. Als een afvullijn stil komt te liggen doordat er een bier tekort is, loopt bijna altijd de filtratie achter en de afvullijn voor op planning.

De PPO, het wekelijkse onderhoud aan de afvullijn, staat nu op een vast moment in de week ingepland. Dit kan echter ook flexibel zijn. Het belangrijkste is, dat alle afvullijnen een PPO in de week hebben. Wanneer je een PPO flexibel gaat inplannen kan je deze gebruiken om je ombouw- en schoonmaaktijden te minimaliseren. Zo zou je in je strategie op kunnen nemen dat je voor een PPO altijd een product plant dat veel schoonmaak na afloop nodig heeft, het onderhoud van de PPO kan parallel worden gedaan met het onderhoud van de afvullijn. Na iedere PPO een product dat veel schoonmaak van te voren nodig heeft. Dit kan leiden tot grote reductie in de ombouwtijden. Een pall filter reiniging die benodigd is voor de productie van een Miller duurt ongeveer acht uur. Dit is even lang als een PPO, als er geen problemen zijn binnen de vuller, het apparaat dat de containers met bier vult, kan dit je ombouwtijd dus met acht uur verlagen en hier mee je productiecapaciteit verhogen met acht uur. Het is nu echter nog niet mogelijk om de PPO flexibel in te plannen. Ik wil de supply chainplanning afdeling wel aanraden om de mogelijkheden hiervoor te onderzoeken. Een flexibele PPO kan resulteren in een significante vermindering van de ombouwtijd in een week. Dit zal een tot enkele uren productiecapaciteitswinst opleveren. Een flexibele PPO kan betekenen dat een PPO net als een normale productiebatch wordt ingepland, of een start en eind tijd die met 2 uur gewijzigd kan worden om hem zo aan te laten sluiten op het einde van de productiebatch.

Hiernaast, plan een Radler of een Weizen product indien mogelijk altijd voor een PPO of het einde van de week. Dit scheelt de schoonmaaktijden die normaal gesproken na deze twee type producten nodig zijn. Deze zijn vele mate groter dan de schoonmaaktijden na andere type producten. Vergelijkbaar hieraan is, plan een Miller altijd direct na een PPO of aan het begin van de week. De pall filterreiniging die benodigd is voordat deze productie van start gaat kan dan deels onder de opstart of het onderhoud gedaan worden wat ombouwtijden scheelt.

Optimalisatie over de afvullijnen inclusief filtratie en brewing

Onderzoek de mogelijkheid, voordelen en nadelen op het flexibel inplannen van de PPO. Als deze flexibel kan worden ingepland kan dit meer ruimte geven aan de planners. Als een PPO midden in een batch valt wordt de productie stilgelegd om vervolgens na de PPO weer opgestart te worden. Als de PPO tussen twee batches invalt vervallen de ombouwtijden omdat deze tijdens de PPO gedaan kunnen worden. Er zijn twee mogelijkheden voor, een PPO inplannen net als alle productiebatches, of de starttijd van een PPO een flexibiliteit geven. Deze flexibiliteit kan er voor zorgen dat een batch afgerond kan worden voor een PPO waarna er tijdens de PPO omgebouwd kan worden.

Indien er een afvullijn stil moet liggen om er voor te zorgen dat een andere afvullijn kan door produceren, als er geen prioriteiten zijn voor producten, en beide afvullijnen ongeveer even vol ingepland, zou het goed kunnen zijn om het aantal operators bij de afvullijn te betrekken. Er is een groot verschil in aantal operators per afvullijn, hierdoor verschillen ook de kosten per stilgelegde tijdseenheid sterk.

Indien er een grote bezetting is van de helderbiertanks kan het goed zijn om de afvullijnen die samen uit een tank kunnen tappen tegelijk het zelfde bier te laten afvullen. Dit kan er voor zorgen dat de tanks sneller leeg zijn en dus ook weer eerder beschikbaar.

Indien er op meerdere afvullijnen dezelfde biersoort gepland staat, probeer deze binnen drie dagen van elkaar in te plannen om er voor te zorgen dat ze in een tank kunnen en in een keer gefiltreerd kunnen worden.

Bijlage 6; Aanbevelingen optimalisatie over de afvullijnen

Bij de optimalisatie van de tactische productieplanning over de verschillende afvullijnen, is de filtratiecapaciteit en de druktank bezetting erg belangrijk. Een goede strategie zal bijdragen aan het goed gebruikmaken van de verschillende druktanks.

Met betrekking tot het optimaliseren over de afvullijnen zijn qua constraints de filtratielijnen en druktanks belangrijk. De beperkte capaciteit in de druktanks en op de filtratielijnen leidt er toe dat hier rekening mee gehouden zou moeten worden in de tactische planning.

Voor de prestaties van de filtratielijnen is het, het beste als deze grote batches kunnen filtreren. Ook voor de bezetting in de druktanks is dit wenselijk aangezien er maar een biersoort tegelijkertijd in een druktank past. Hierom zal Grolsch het model waarin de heuristiek de planning optimaliseert kunnen uitbreiden door de begin week van alle producten van een bepaalde biersoort gelijk te stellen en te stellen dat alle producten uit deze bierstroom alleen in weken die een veelvoud van t zijn kan worden afgevuld. Bijvoorbeeld wanneer t gelijk is aan drie, zullen deze producten in week drie, zes, negen et cetera kunnen worden afgevuld.

Biersoorten waarbij compound wordt gebruikt in de filtratie moeten altijd in het veelvoud van een compoundbatch worden gefiltreerd. Dit gefiltreerde product moet na de filtratie binnen driedagen worden afgevuld. Dit kan op twee manieren geïmplementeerd worden in het model.

- Alle afgefulde producten met bier waar compound in zit moeten in een veelvoud van de compoundbatch geproduceerd worden
- Binnen een week moeten alle producten van een biersoort waar compound inzit een veelvoud van de compound batch zijn.

Implementeren per product, is gemakkelijker te implementeren in het model door te stellen dat de batch hoeveelheid gelijk moet zijn aan een veelvoud van de compoundbatch. Implementeren dat de som gelijk moet zijn aan een compoundbatch is wenselijker omdat dit ook aan de praktijk gelijk is. Echter is dit niet gemakkelijk omdat alle afvullijnen afzonderlijk worden geoptimaliseerd. Hierom kan er in de overzichtssheet voor alle producten waarvoor dit van belang is een overzicht worden gemaakt met hierin de afwijking ten opzichte van een veelvoud van de compoundbatch staan. Met de hand kan er vervolgens gecontroleerd worden of hieraan voldaan wordt.

Lager tanks met speciaal bier moeten altijd geheel leeg worden gefiltreerd in verband met de kwaliteit van het bier. Een kleine hoeveelheid bier in een lager tank verouderd snel.

Naast deze harde constraints zijn er vanuit de filtratie afdeling ook wensen voor de tactische planning die het filtratieproces kunnen bevorderen. Deze wensen zijn:

- Alle filtraties van een biersoort in een week achter elkaar plannen is beter. Het valt niet te zeggen hoeveel bier er door een filter kan voordat deze vol zit en gereinigd moet worden. Als het goed gaat wil je het liefst zolang mogelijk doorgaan zodat je geen extra filterreinigingen hebt die niet nodig zijn. Hiernaast is het ook goed voor de kwaliteit van het bier als er grote batches gefiltreerd kunnen worden.
- Veel bieren waar compounds in verwerkt worden in een week is vervelend. Dus het liefst de bieren die compounds nodig hebben verspreiden over de weken. Als er bij Grolsch besloten wordt dat men hier rekening mee wilt houden kan dit gedaan worden door de beginweek van de verschillende producten te variëren en te stellen dat de productie frequentie van deze producten moet variëren. Dit zal echter sterk de productieplanning beïnvloeden en bij Grolsch moet men zich afvragen of dat dit wenselijk is.

Bijlage 7; Aanbevelingen optimalisatie brouwproces

Uit een interview met één van de teamleiders van het brouwhuis en gesprekken met de SCP afdeling van Grolsch is naar voren gekomen dat er in het brouwproces niet tot nauwelijks geoptimaliseerd kan worden. Voor het brouwproces is het niet van belang wat er in de tactische planning gepland wordt omdat men altijd volledige brouwsels brouwt en deze meerdere weken zullen lageren in de lagertanks. Er zijn echter wel een aantal algemene richtlijnen voor de planning van het brouwproces die belangrijk zijn. Deze beïnvloeden de tactische planning nagenoeg niet. Dit komt doordat deze constraints op operationeel planningsniveau zijn en de tactische planning een planning per week is. Hiernaast vallen deze constraints later in het proces weg doordat er enkele weken nodig zijn na het brouwproces voordat er gefiltreerd kan worden. De combinatie van een kleine impact en de beperkte tijd voor een bacheloropdracht hebben er toe geleid dat er voor gekozen is om het analyseren en optimaliseren van het brouwproces tot de volgende aanbevelingen te beperken.

- De brouwlijnen kunnen niet tegelijk koken. In de opstart van beide brouwlijnen moet hier rekening mee gehouden worden.
- Miller moet om de tien dagen gebrouwen worden in verband met de gist.
- Weizen en Stender moet altijd aan het einde van de week gebrouwen worden in verband met de opkweek van gist.

Vanwege de geringe invloed van het brouwproces op de tactische planning van de afvullijnen adviseer ik Grolsch geen invloeden van de brouwplanning mee te nemen in het planningsmodel voor de tactische planning.