

Analyse van het productieproces van ForFarmers

Een simulatiestudie naar de gevolgen van een veranderende klantvraag op het productieproces



Niek Tijink

Februari 2017

Datum:

Februari 2017

Auteur:

Niek Tijink

Begeleiders

Dhr. M. Litjens (ForFarmers)

Dr. Ir. M.R.K. Mes (Universiteit Twente)

Dr. Ir. J.M.J. Schutten (Universiteit Twente)

Managementsamenvatting

Bij ForFarmers B.V. wordt de afgelopen jaren een verandering in klantvraag opgemerkt. Er wordt steeds meer gevraagd naar gespecialiseerde voersoorten. Deze worden vaak maar door één klant afgenomen. Aangezien deze vraag erg klein en moeilijk te voorspellen is, is het niet rendabel voor ForFarmers om de gespecialiseerde voersoorten op voorraad te houden. Het voer wordt dan geleverd op aanvraag. Al deze voersoorten zijn geclassificeerd als niet-voorraadproducten. Deze klantvraag heeft grote invloed op het productieproces, omdat de niet-voorraadproducten in kleinere batches geproduceerd worden dan de voorraadproducten. Naar verwachting zal dit tot problemen leiden in de toekomst. Wanneer deze problemen zich voor gaan doen en hoe groot deze problemen zijn is nog niet bekend. Om deze gevolgen te bepalen is besloten een simulatiestudie uit te voeren. Het hoofddoel van het onderzoek is daarom:

ForFarmers in staat stellen om de gevolgen van geprojecteerde veranderingen in de klantvraag op het productieproces te bepalen middels een simulatiestudie.

De eerste stap van het onderzoek is het uitvoeren van een situatieanalyse. In de situatieanalyse wordt de huidige situatie van de fabriek bekeken. Alle processen in het productieproces worden individueel behandeld en de huidige verdeling van de vraag wordt in kaart gebracht. Tot slot wordt het planningsproces bekeken.

Na de situatieanalyse is een conceptueel model opgesteld. Dit conceptueel model geeft een complete beschrijving van het productieproces bij ForFarmers. Het conceptueel model bestaat uit een aantal logic flow diagrammen die de logica achter verschillende beslissingsprocessen blootleggen. Daarnaast zijn alle input- en outputdata voor het simulatiemodel gespecificeerd.

Op basis van het conceptueel model is het simulatiemodel opgezet. De gedane aannames in het simulatiemodel worden toegelicht en het model wordt aan de hand van de huidige situatie gevalideerd. Aangezien het model voor de huidige situatie voldoet, wordt aangenomen dat het model ook voor de toekomstige situatie voldoet. Tot slot zijn de warm-up tijd en het aantal replicaties bepaald om zeker te zijn dat het model significante resultaten weergeeft.

Vervolgens zijn experimenten met het simulatiemodel uitgevoerd om het hoofddoel te bereiken. De eerste groep experimenten richt zich op het bepalen van de gevolgen van de veranderende klantvraag op het productieproces. Dit wordt gedaan door te variëren met het percentage besteld voer dat niet op voorraad wordt gehouden. In de huidige situatie is dit 35% en in de toekomst (2022) naar verwachting 50%. De resultaten van deze experimenten zijn te vinden in tabel G.1 in bijlage G. Hieruit kan geconcludeerd worden dat er problemen ontstaan vanaf experiment 4. Niet alle orders kunnen dan elke dag geleverd worden, waardoor backorders ontstaan. Daarnaast loopt de nalooptijd op de perslijnen op.

De tweede groep experimenten richt zich op mogelijke aanpassingen aan het productieproces om backorders te voorkomen en de leverbetrouwbaarheid op pril te houden. Dit is gedaan door te variëren in het aantal opslagsilo's voor niet-voorraadproducten, de productiesnelheid op de perslijnen en de nalooptijden op de perslijnen. De resultaten van al deze experimenten is te vinden in tabel G.2 in bijlage G. Uit de experimenten kan geconcludeerd worden dat er, bij 50% niet-voorraad bestellingen, extra opslagsilo's nodig zijn, dat de perssnelheid verhoogd moet worden en dat de nalooptijd verlaagd moet worden.

Aangezien met name het verhogen van de perssnelheid een prijzige maatregel is, wordt ForFarmers aangeraden om verder onderzoek te doen naar mogelijke verbeteringen in het productieproces. Deze kunnen doorgerekend worden met het simulatiemodel.

Voorwoord

Voor u ligt het resultaat van mijn afstudeeropdracht voor de bachelor Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Mijn afstudeeropdracht is uitgevoerd bij ForFarmers in Lochem. Ik wil in dit voorwoord graag een aantal mensen bedanken.

Allereerst wil ik graag de medewerkers van ForFarmers Lochem bedanken voor alle hulp. In het bijzonder wil ik Michael Litjens, operations manager bij ForFarmers, bedanken voor zijn begeleiding binnen ForFarmers. Bij vragen kon ik altijd bij hem terecht en zijn ervaringen binnen operations management waren erg leerzaam. Daarnaast wil ik mijn begeleider van de Universiteit Twente, Martijn Mes, bedanken. De ontvangen feedback en adviezen waren kwamen goed van pas gedurende het gehele onderzoek. Tot slot wil ik nog mijn ouders, broertje en vrienden bedanken voor de steun gedurende het afgelopen half jaar.

Niek Tijink,
Februari 2017

Contents

Managementsamenvatting	4
Voorwoord	6
1 Inleiding.....	9
1.1 Bedrijfsinformatie.....	9
1.2 Aanleiding	10
1.2.1 Verschuiving in klantvraag	10
1.2.2 Gevolgen voor het productieproces	11
1.2.3 Uitdagingen voor ForFarmers.....	11
1.3 Probleemidentificatie	11
1.3.1 Probleemkluwen.....	11
1.3.2 Kernprobleem.....	12
1.4 Onderzoekopzet.....	13
1.4.1 Doelstellingen.....	13
1.4.2 Onderzoeksvragen.....	13
1.4.3 Afbakening.....	14
2 Situatiebeschrijving.....	15
2.1 Voersoorten	15
2.2 Orders	15
2.3 Maal-menglijnen	16
2.4 Perslijnen	17
2.5 Gereed-product silo's	18
2.6 Productieplanning	18
2.7 Conclusies	19
3 Theoretisch kader	20
3.1 Classificatie productieproces	20
3.2 Planningsmethoden.....	21
3.3 Kritieke prestatie indicatoren	22
3.4 Aanpak van het probleem.....	23
3.5 Conclusies	24
4 Van conceptueel model naar simulatiemodel.....	25
4.1 Afbakening en doelen van het model.....	25
4.2 Procesflow diagram	25
4.3 Inputdata.....	27

4.3.1	Aankomsttijden	27
4.3.2	Orderkarakteristieken	28
4.3.3	Bewerkingstijden	29
4.4	Outputdata	30
4.5	Het simulatiemodel	31
4.5.1	Beschrijving van het model	31
4.5.2	Aannames	33
4.5.3	Validatie	34
4.5.4	Warm-up periode	36
4.5.5	Aantal replicaties	37
4.6	Conclusies	37
5	Onderzoeksresultaten	38
5.1	Experimenteel ontwerp	38
5.2	Gevolgen voor de productiesituatie	39
5.3	Aanpassingen aan het productieproces	40
5.3.1	Aantal gereed-product silo's voor niet-voorraadvoer	40
5.3.2	Nalooptijd en snelheid op de perslijnen	41
5.4	Conclusies	45
6	Conclusies en aanbevelingen	46
6.1	Conclusies van deelvragen	46
6.2	Aanbevelingen	47
7	Bibliografie	48
	Bijlage A: Schematische weergave maal-menglijn	49
	Bijlage B: Schematische weergave perslijn	49
	Bijlage C: Individuele procestijden op de maal-menglijn	49
	Bijlage D: Resultaten experimenten nalooptijd en productiesnelheid	50
	Bijlage E: Overzicht verschillende voersoorten	54
	Bijlage F: Analyse productietijden perslijnen	54
	Bijlage G: Resultaten experimenten	54
	Bijlage H: Grafische weergave situatieanalyse	54
	Bijlage I: Overzicht inputwaarden simulatiemodel	54

1 Inleiding

In het eerste hoofdstuk van dit rapport licht ik de achtergrond en aanleiding van mijn onderzoek toe. Allereerst vertel ik in paragraaf 1 kort iets over ForFarmers en haar productieproces. Vervolgens licht ik in paragraaf 2, met behulp van het productieproces, de aanleiding van dit onderzoek toe. Met deze informatie definieer ik vervolgens het kernprobleem van het onderzoek. Tot slot zal ik het hoofdstuk afsluiten met de opzet van het onderzoek.

1.1 Bedrijfsinformatie

ForFarmers B.V. (ForFarmers) is de grootste mengvoerproducent op de agrarische markt in Nederland. Zij produceren voer voor rundvee, paarden, varkens en pluimvee. Met een afzet van 910 miljoen kilo diervoer per jaar is ForFarmers marktleider in Europa. Met fabrieken in Nederland, België, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk is ForFarmers actief in heel Europa.

ForFarmers is binnen de agrarische markt vooral bekend vanwege haar “Total Feed” concept. Dit houdt in dat ForFarmers probeert aan alle voerbehoefden van de boeren te voldoen. Door het “Total Feed” concept hebben de boeren maar één leverancier nodig voor al hun voer.

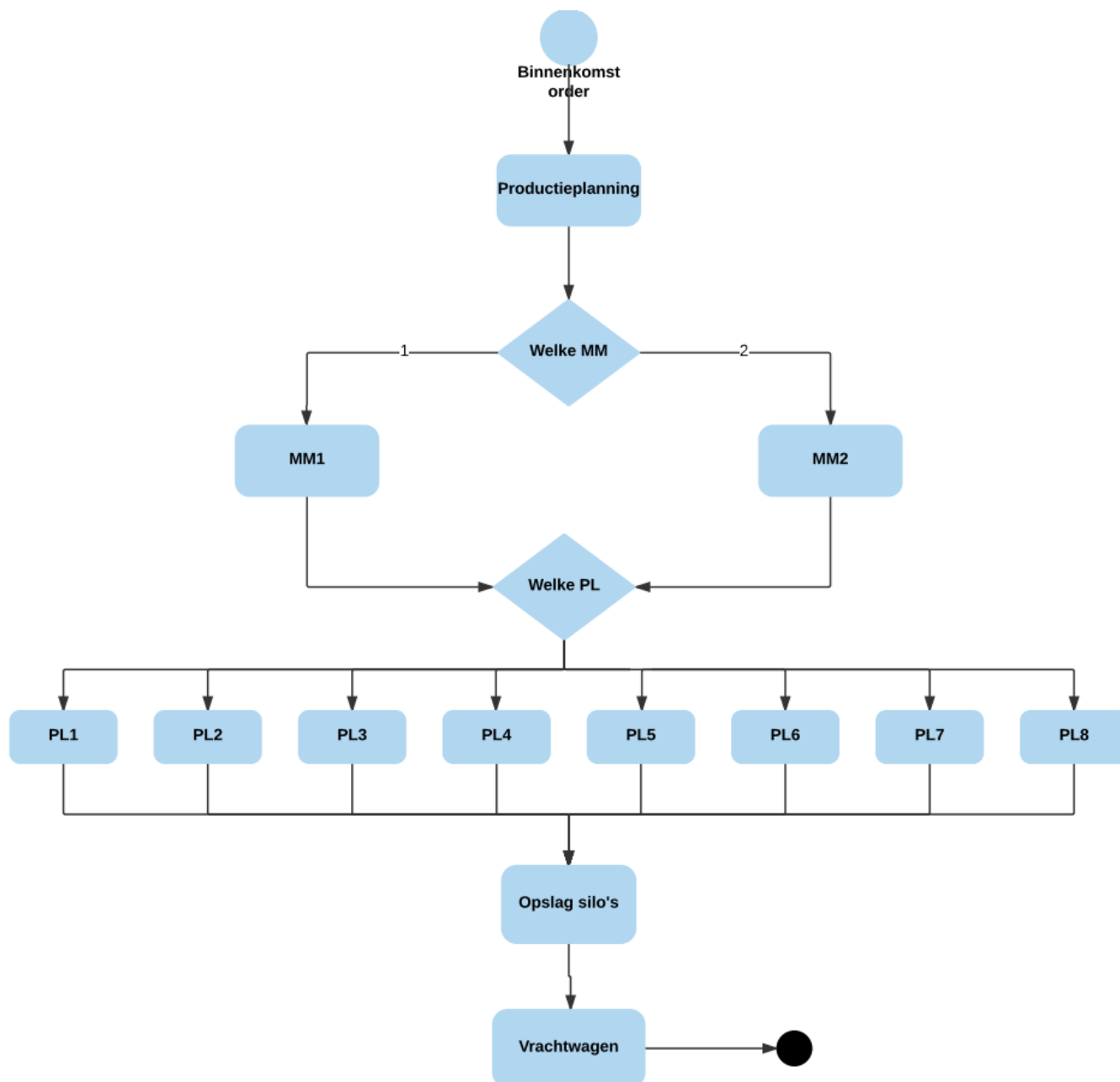
Zoals hierboven is vermeld, produceert ForFarmers mengvoeder voor de agrarische markt. Het productieproces bestaat voornamelijk uit de drie basisstappen: malen, mengen en persen. Dit productieproces ziet er in alle fabrieken vrijwel hetzelfde uit. Dit gehele productieproces is ook schematisch weergegeven in figuur 1.1.

Het productieproces begint met het wegen en malen van alle grondstoffen. Deze grondstoffen moeten gemalen worden, omdat ze veel te grof zijn om bewerkt te kunnen worden. Dit gebeurt met behulp van een hamermolen. Ondertussen worden de fijne grondstoffen, deze hoeven niet gemalen te worden, afgewogen. De fijne grondstoffen bestaan uit vitamines en mineralen die aan het voer worden toegevoegd om bepaalde voedingswaardes te bereiken.

Na het malen worden de fijne grondstoffen toegevoegd en wordt het meel gemengd. Ook worden hier stoffen toegevoegd zodat het meel beter bindt. Dit is van belang bij de volgende stap, het persen.

Door water toe te voegen aan het meel kan het meel samengeperst worden tot brokken. Er wordt twee keer geperst. De eerste keer worden brokken op een dikte van 5 mm geperst. De tweede keer worden de brokken op de juiste dikte geperst. Aangezien het persen onder hoge temperaturen gebeurt, moeten de brokken na het persen gekoeld worden.

Na het koelen kunnen de brokken verkruimeld en gecoat óf direct gecoat worden. Na het coaten van de brokken worden de brokken opgeslagen in de gereed-product silo's. Vanuit deze silo's kunnen de brokken in de juiste vrachtwagen gestort worden.



Figuur 1.1 Schematische weergave productieproces

1.2 Aanleiding

De aanleiding van het onderzoek is onder te verdelen in drie onderdelen: de verschuiving in klantvraag, de gevolgen van deze verschuivende klantvraag op het productieproces, en de daadwerkelijke uitdagingen die deze verschuiving in klantvraag met zich meebrengt.

1.2.1 Verschuiving in klantvraag

ForFarmers merkt de laatste jaren dat de klantvraag aan het verschuiven is. Er wordt namelijk steeds meer klant-specifiek voer en steeds minder standaardvoer besteld. De samenstelling van klant-specifiek voer is specifiek voor één klant. Met andere woorden, er is maar één klant die exact die

voersamenstelling afneemt. Aangezien er niet bekend is hoe vaak dit voer besteld zal worden, is het niet rendabel om dit voer op voorraad te houden. Standaardvoer wordt door meerdere klanten afgenomen en wel op voorraad gehouden.

Deze verschuiving van standaardvoer naar klant-specifiek voer is al langer gaande. Op het huidige moment is ongeveer 65% van de afzet standaardvoer en 35% klant-specifiek voer. Volgens verwachtingen van onder andere ForFarmers gaat deze verdeling ongeveer 50% standaardvoer en 50% klant-specifiek voer worden in de nabije toekomst (2022).

1.2.2 Gevolgen voor het productieproces

Het grootste verschil tussen het standaardvoer en het klant-specifieke voer is het klantorderontkoppelpunt. Het klant-specifieke voer wordt op aanvraag geproduceerd in tegenstelling tot het standaardvoer dat op voorraad wordt geproduceerd. Voor klant-specifiek voer wordt dus altijd de gevraagde hoeveelheid geproduceerd. Voor standaardvoer wordt, om verspilling te minimaliseren, meestal de maximale batchgrootte geproduceerd. Aangezien steeds meer klant-specifiek voer wordt besteld, wordt de gemiddelde batchgrootte kleiner.

1.2.3 Uitdagingen voor ForFarmers

Wanneer de gemiddelde batchgrootte kleiner wordt en de hoeveelheid te produceren voer, de afzet, gelijk blijft, resulteert dit in meer batches met minder volume. Doordat er meer batches worden geproduceerd moet er ook vaker omgesteld worden. Hierdoor is er minder tijd beschikbaar voor de productie van voer. Daarnaast zijn productietijden op bepaalde machines, zoals de maalmachine, onafhankelijk van batchgrootte.

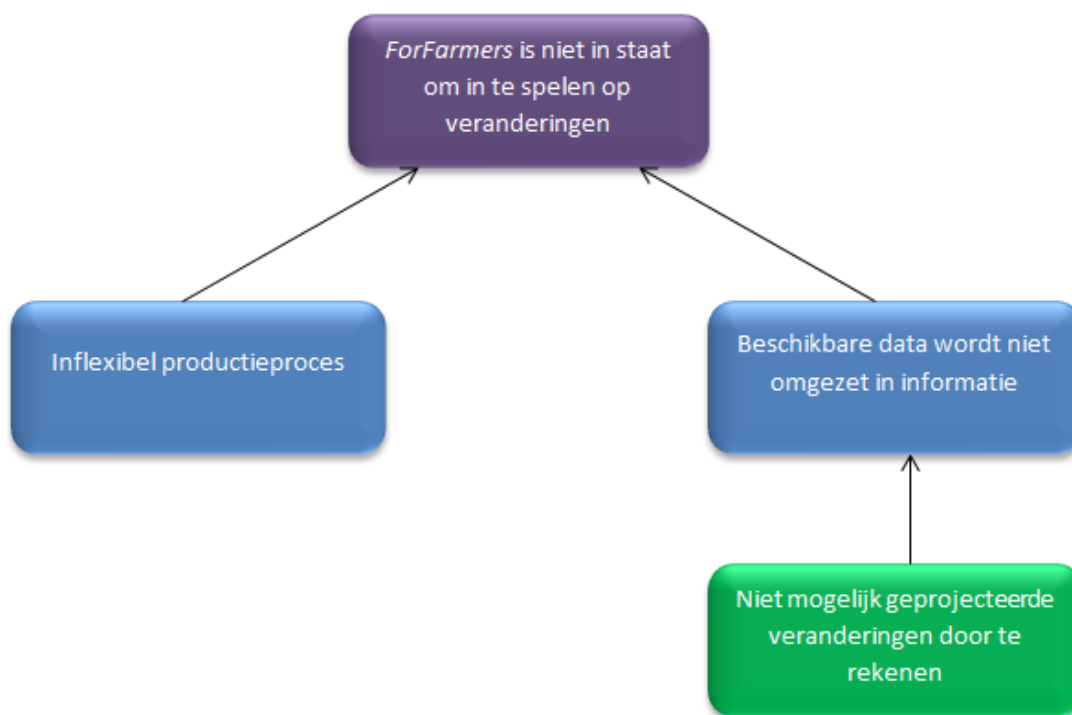
Op het moment is het probleem nog handelbaar, maar ForFarmers verwacht dat de vraag naar specifiek voer verder toe zal nemen. Dit kan leiden tot problemen in de productie, aangezien het aantal omstelmomenten verder zal toenemen. Dit leidt tot capaciteitsproblemen in de productie, aangezien er minder tijd beschikbaar is voor het produceren. ForFarmers weet echter niet hoe veel invloed het aantal omstelmomenten heeft op de capaciteit. Ook is niet bekend wanneer deze capaciteitsproblemen kritiek worden voor ForFarmers. Aangezien deze onderlinge relaties niet bekend zijn, kan ForFarmers niet goed inspelen op de veranderende klantvraag.

1.3 Probleemidentificatie

Het voornaamste probleem dat uit de vorige paragraaf naar voren komt, is het feit dat ForFarmers niet in staat is in te spelen op de veranderingen in de klantvraag. Dit is dus het hoofdprobleem van dit onderzoek. In deze paragraaf zal ik, met behulp van een probleemkluwen, naar het kernprobleem toe werken.

1.3.1 Probleemkluwen

Om van het hoofdprobleem tot het kernprobleem te komen wordt gebruik gemaakt van een probleemkluwen. Een probleemkluwen geeft onderlinge relaties van problemen en knelpunten aan (Heerkens & van Winden, 2012).



Figuur 1.2 Probleemkluwen

1.3.2 Kernprobleem

In het probleemkluwen (figuur 1.2) is het hoofdprobleem paars aangemerkt. Uit analyses bij ForFarmers is gebleken dat het hoofdprobleem meerdere oorzaken heeft. De belangrijkste oorzaken waardoor ForFarmers niet kan inspelen op veranderingen zijn het inflexibele productieproces en het gebrek aan informatie. Het productieproces is inflexibel, aangezien het volledig is gebaseerd op de huidige vraagverdeling. Daarnaast wordt de beschikbare informatie niet omgezet in informatie. Het gehele productieproces wordt gemonitord en deze gegevens worden ook opgeslagen, maar er wordt verder niets mee gedaan. Daarom kan ForFarmers niet inschatten wat de impact is van de veranderende klantvraag op het productieproces.

Aangezien het aanpassen van het productieproces erg prijzig is, is er gekozen om de andere oorzaak als kernprobleem te nemen. Het kernprobleem dat ik gedurende mijn afstudeerstage zal proberen op te lossen is dus het feit dat het voor ForFarmers niet mogelijk is om de gevolgen van geprojecteerde veranderingen op het productieproces door te rekenen.

Dit kernprobleem bestaat omdat er een verschil is tussen norm en realiteit. Deze norm en realiteit worden uitgedrukt in een variabele. De variabele die ik voor dit onderzoek heb gekozen is de mate waarin de geprojecteerde veranderingen in de vraag doorgerekend kunnen worden. Hier wordt mee bedoeld in hoeverre ForFarmers de gevolgen van de geprojecteerde veranderingen voor het productieproces kan inschatten. Aangezien dit niet meetbaar is, heb ik een indicator opgesteld. Deze indicator is de nauwkeurigheid van de berekeningen. Het simulatiemodel zal een schatting maken op basis van gegevens van een periode uit het verleden. Van deze periode zijn alle outputwaarden bekend en dus kan de prestatie van het simulatiemodel bepaald worden door de outputwaarden van het simulatiemodel te vergelijken met de outputwaarden uit de werkelijkheid. Wanneer de uitkomsten van berekeningen op basis van historische gegevens overeen komen met de

daadwerkelijk behaalde resultaten door ForFarmers, kan aangenomen worden dat deze berekeningen ook betrouwbare resultaten voor de toekomst geven. Dan is ForFarmers dus in staat om geprojecteerde veranderingen door te rekenen.

1.4 Onderzoeksopzet

In deze paragraaf zal de verdere opzet van het onderzoek besproken worden. Allereerst zal ik de doelstellingen definiëren. Vervolgens zal ik de onderzoeksvragen benoemen. Door deze onderzoeksvragen te beantwoorden, verzamel ik informatie om de gestelde doelstellingen te behalen. Tot slot zal het onderzoek afgebakend worden, zodat het onderzoek niet te breed wordt.

1.4.1 Doelstellingen

Het onderzoek heeft twee concrete doelen: ForFarmers in staat stellen veranderingen door te rekenen en ForFarmers adviseren hoe ze om kunnen gaan met deze veranderingen. Gedurende dit onderzoek zal ik de nadruk leggen op het eerste doel. Vanwege de complexiteit van het productieproces is gekozen een simulatiestudie uit te voeren. Deze keuze zal verder toegelicht worden in het literatuurhoofdstuk.

Het hoofddoel is als volgt gedefinieerd:

ForFarmers in staat stellen om de gevolgen van geprojecteerde veranderingen in de klantvraag op het productieproces te bepalen middels een simulatiestudie.

En het secundaire doel is:

ForFarmers adviseren over aanpassingen in het productieproces om de verandering in klantvraag op te vangen.

1.4.2 Onderzoeksvragen

Om de onderzoeksdoelen te bereiken is het onderzoek gesplitst in een aantal deelvragen. Elk van deze onderzoeksvragen is gekoppeld aan een hoofdstuk.

1. *Wat is de huidige gang van zaken in de fabriek in Lochem?*

In hoofdstuk 2 zal de huidige productiesituatie van ForFarmers beschreven worden. Het gehele productieproces wordt doorlopen en bijbehorende procesgegevens worden gekwantificeerd. Ook de productieplanning en de binnenkomst van orders worden beschreven in dit hoofdstuk. Zo wordt de gehele gang van zaken in de fabriek duidelijk.

2. *Wat is er in de literatuur te vinden dat het onderzoek bij ForFarmers kan ondersteunen?*

In hoofdstuk 2 zullen verschillende aspecten van het onderzoek behandeld worden. Allereerst wordt de keuze voor een simulatiestudie beargumenteerd met behulp van de literatuur. Vervolgens wordt het productieproces van ForFarmers geclassificeerd en worden er KPI's gezocht die het productieproces van ForFarmers volledig beschrijven. Tot slot wordt er gekeken naar mogelijke planningsmethoden om de planning van ForFarmers na te bootsen.

3. *Hoe kan de fabriek van ForFarmers in Lochem gemodelleerd worden?*

In hoofdstuk 3 wordt het conceptuele model van de fabriek van ForFarmers geïntroduceerd en beargumenteerd. Dit conceptueel model bestaat voornamelijk uit procesflow diagrammen, logic flow diagrammen en aannames. Aan het eind van het hoofdstuk zal het simulatiemodel met bijbehorende simplificaties geïntroduceerd en gevalideerd worden.

4. *Welke effecten heeft de veranderende klantvraag op de fabriek van ForFarmers en hoe kan deze veranderende klantvraag opgevangen worden?*

Ten eerste wordt in dit hoofdstuk de impact van de veranderingen in vraag op het productieproces behandeld. De impact wordt verklaard en geanalyseerd. Ten tweede wordt het secundaire doel, het opvangen van de veranderende vraag, geadresseerd. Er worden experimenten opgesteld met als doel mogelijke verbeteringen aan het productieproces door te rekenen met het simulatiemode. Zo kunnen verschillende oplossingen vergeleken worden.

Tot slot worden in hoofdstuk 6 conclusies getrokken en worden aanbevelingen gedaan aan ForFarmers hoe zij het productieproces aan kunnen passen aan de veranderende klantvraag.

1.4.3 Afbakening

Vanwege de korte duur van de afstudeeropdracht (10 weken) heb ik enkel gekeken naar de productielocatie in Lochem. Ik heb gekozen voor deze locatie, omdat het naast het hoofdkantoor ligt. De overige fabrieken van ForFarmers zijn op ongeveer gelijke wijze ingedeeld, dus conclusies op basis van Lochem zullen grotendeels ook voor andere fabrieken gelden.

Daarnaast heb ik er, samen met mijn afstudeerbegeleider, voor gekozen om alleen processen mee te nemen die op de fabriekslocatie gebeuren. Het leveren van het voer aan de klant wordt bijvoorbeeld niet meegenomen.

2 Situatiebeschrijving

Dit hoofdstuk beschrijft de huidige productiesituatie binnen ForFarmers en beantwoordt dus de eerste deelvraag: *Wat is de huidige gang van zaken in de fabriek in Lochem?*

Het hoofdstuk begint met een beschrijving van de binnenkomende orders van de fabriek. In paragraaf 2.1 wordt ingegaan op de verschillende voersoorten en in paragraaf 2.2 worden de binnenkomende orders besproken. Voorts worden de processtappen besproken. Allereerst in paragraaf 2.3 de maal-menglijn. Vervolgens in paragraaf 2.4 de perslijn en in paragraaf 2.5 de gereed-product silo's. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een beschrijving van de productieplanning in paragraaf 2.6.

Om de huidige situatie in te kaart te brengen zijn historische productiegegevens van 24-10-16 t/m 13-11-16 geanalyseerd. Deze drie weken aan data wordt representatief geacht, aangezien er in deze ruim 6000 charges op de maal-menglijnen en ruim 1800 batches op de perslijnen zijn geproduceerd. Daarnaast zijn er ruim 650 verschillende soorten voer geproduceerd. Al met al geeft dit dus een uitgebreid beeld van de productiesituatie in Lochem.

2.1 Voersoorten

Zoals eerder vermeld produceert ForFarmers in Lochem enkel diervoeder voor varkens. Binnen ForFarmers en in dit onderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen voorraad- en niet-voorraadproducten. Niet-voorraadproducten zijn, zoals de naam al aanduidt, voersoorten die niet op voorraad, maar op aanvraag, worden geproduceerd in Lochem. Onder de categorie niet-voorraad producten vallen alle klant-specifieke voersoorten en daarnaast nog een aantal weinig gebruikte standaard voersoorten. Voor dit onderzoek is de categorisatie zoals deze door ForFarmers wordt gebruikt overgenomen.

Wanneer alle verkochte voersoorten geanalyseerd worden, kan tabel H.1 (bijlage H) opgesteld worden. Uit deze tabel blijkt dat voorraadproducten gemiddeld vaker (2,67 keer per week) geproduceerd worden dan niet-voorraadproducten (0,76 keer per week). Dit kan verklaard worden doordat voor voorraad voersoorten gemiddeld 10 keer zoveel wordt geproduceerd als voor niet-voorraad voersoorten.

2.2 Orders

De orders komen bij ForFarmers in de regelkamer binnen via fax, internet en telefoon. Vervolgens worden ze door de planner ingevoerd in het MES (manufacturing execution system). Om inzicht te krijgen in de orders die binnen komen, zijn alle orders samengevat in tabel H.2 In deze tabel zijn alle orderregels meegenomen. Een orderregel is de bestelling van één soort voer. Een order bestaat vaak uit meerdere orderregels. In deze tabel is uitgegaan van de gemiddelde orderregelgrootte uit de geanalyseerde drie weken. Er wordt dus gemiddeld de orderregelgrootte aan voer besteld per soort voer.

De levertijd per order varieert ook veel. Binnen ForFarmers wordt onderscheid gemaakt tussen drie soorten levertijd: gewone orders, late orders en spoedorders. De verdeling van de levertijden is te zien in tabel 2.1

Levertijd	Omschrijving
Gewoon	Orders die de dag voor levering voor 13:00 binnenkomen. Deze orders kunnen ook al 2 dagen van tevoren binnenkomen.
Laat	Orders die de dag voor levering tussen 13:00 en 17:00 binnenkomen.
Spoed	Orders die de dag voor levering na 17:00 binnenkomen en orders die nog dezelfde dag geleverd moeten worden

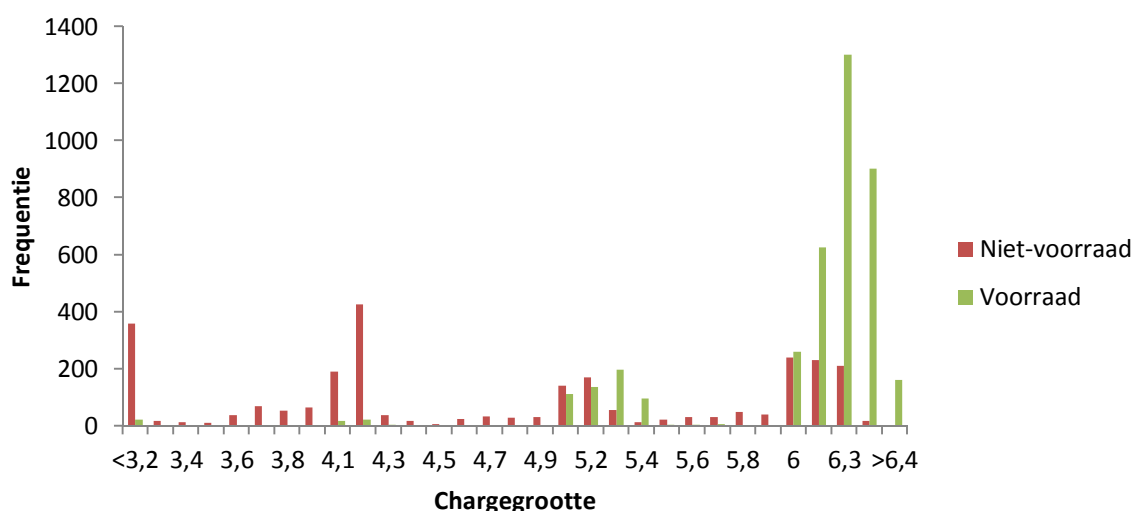
Tabel 2.1 Overzicht levertijden

2.3 Maal-menglijnen

Nu alle basisgegevens bekend zijn, kan het daadwerkelijke productieproces geanalyseerd worden. Het productieproces begint op de maal-menglijnen. Deze twee lijnen werken onafhankelijk van elkaar en bestaan grofweg uit vier stappen. De grondstoffen worden eerst uit de opslagbunkers gehaald en afgewogen. Vervolgens worden de grondstoffen vervoert naar een meelbunker. Wanneer de maalmachine klaar is, zullen de grondstoffen in de maalmachine gestort worden. Na het malen wordt het meel in de menger gestort. Tot slot wordt het meel afgevoerd naar de perslijn. Het productieproces is afgebeeld in bijlage A.

Aangezien er zich buffers bevinden in de maal-menglijn, kunnen er meerdere charges tegelijkertijd in de maal-menglijn aanwezig zijn. In figuur H.1 in bijlage H is de tijd dat één charge gemiddeld in iedere processtap verblijft ten opzichte van de begintijd weergegeven. Het gat tussen het wegen en het malen kan verklaard worden door het feit dat er vaak gewacht moet worden tot de maalmachine beschikbaar is. Uit **Error! Reference source not found.** blijkt ook dat de gemiddelde bewerkingstijd op de maal-menglijn minder dan een half uur is. De individuele bewerkingstijden zijn afgebeeld in bijlage C.

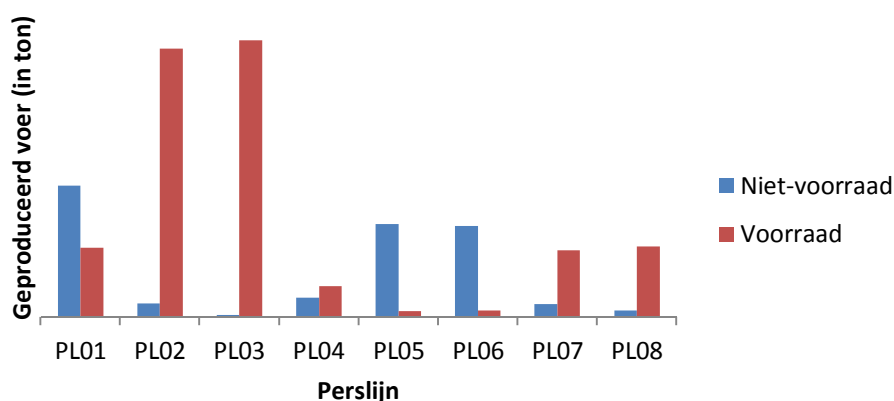
De chargegrootte, de hoeveelheid voer dat per charge geproduceerd wordt, is variabel en hangt voornamelijk af van de benodigde hoeveelheid. Uit figuur 2.1 valt op dat voornamelijk voorraadproducten in grote hoeveelheden tegelijkertijd worden geproduceerd.



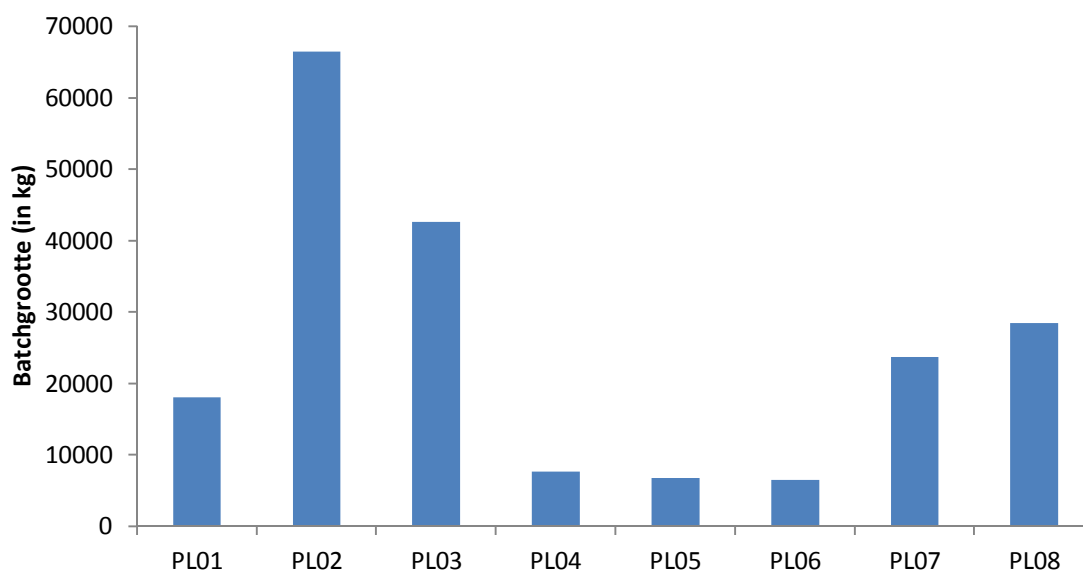
Figuur 2.1 Chargegrootte voorraad en niet-voorraad producten

2.4 Perslijnen

Nadat de grondstoffen op de maal-menglijn zijn bewerkt tot meel, kunnen de brokken geperst gaan worden. In de fabriek in Lochem zijn acht verschillende perslijnen aanwezig. Niet alle perslijnen zien er hetzelfde uit. Er bestaan verschillen tussen perslijnen om zo verschillende dikten brokken, of kruimels, te produceren. Iedere perslijn heeft dus zijn eigen functie. Iedere perslijn zou in theorie 15 ton voer per uur kunnen persen. Een perslijn is schematisch afgebeeld in Bijlage B. Er zitten kleine verschillen tussen de perslijnen. Zo hebben perslijnen 1,2 en 3 twee parallel geplaatste persen, waardoor ze sneller kunnen produceren.



Figuur 2.2 Tonnages per perslijn



Figuur 2.3 Gemiddelde batchgrootte per perslijn

In figuur 2.2 is de totale productie te zien voor alle perslijnen. Aangezien perslijnen 1, 2 en 3 beschikken over twee persen zijn deze lijnen in staat om meer te produceren. Wanneer figuur 2.3 ook wordt bekeken, kan nogmaals geconcludeerd worden dat de batchgroottes van voorraadproducten hoger liggen dan van niet-voorraadproducten. Op de perslijnen met lage

gemiddelde batchgroottes (4, 5 en 6) wordt minder geproduceerd dan op de overige perslijnen (1, 2 en 3). Dit is te verklaren door de hoge omsteltijden op de perslijnen. Deze omsteltijden worden veroorzaakt doordat de koeler volledig leeggelopen moet zijn, alvorens de volgende batch gestart kan worden. Perslijnen 7 en 8 worden voornamelijk gebruikt voor specialistische korrels en kruimels. Hierdoor is de productiecapaciteit op deze perslijnen lager dan op de overige perslijnen.

Tot slot zijn de productietijden op de perslijnen nog bekeken. Er is een scatter plot gemaakt van de productietijd ten opzichte van de batchgrootte (zie figuur F.1). In dit plot zijn twee groepen waarnemingen te vinden. De bovenste waarnemingen corresponderen met de perslijnen 4 tot en met 8. De lagere waarnemingen corresponderen met perslijnen 1,2,3. Dit kan verklaard worden doordat de eerste 3 perslijnen twee parallel geplaatste persen hebben, waardoor deze sneller kunnen produceren. In bijlage F wordt onderscheid gemaakt tussen deze twee groepen waarnemingen. In dit verslag is gekozen om deze twee groepen niet afzonderlijk van elkaar te zien, maar als één grote groep. Hier is voor gekozen omdat aangenomen wordt (zie paragraaf 4.5.2) dat alle perslijnen alle voersoorten kunnen produceren. Aangezien in figuur 2.5 R^2 gelijk is aan 0,7653, kan gesteld worden dat 76,53% van de variatie in productietijd te wijten is aan het verschil in batchgrootte. Dit is erg nauwkeurig. De overige variatie is dus grotendeels te wijten aan het feit dat perslijnen 1, 2 en 3 twee persen hebben.

2.5 Gereed-product silo's

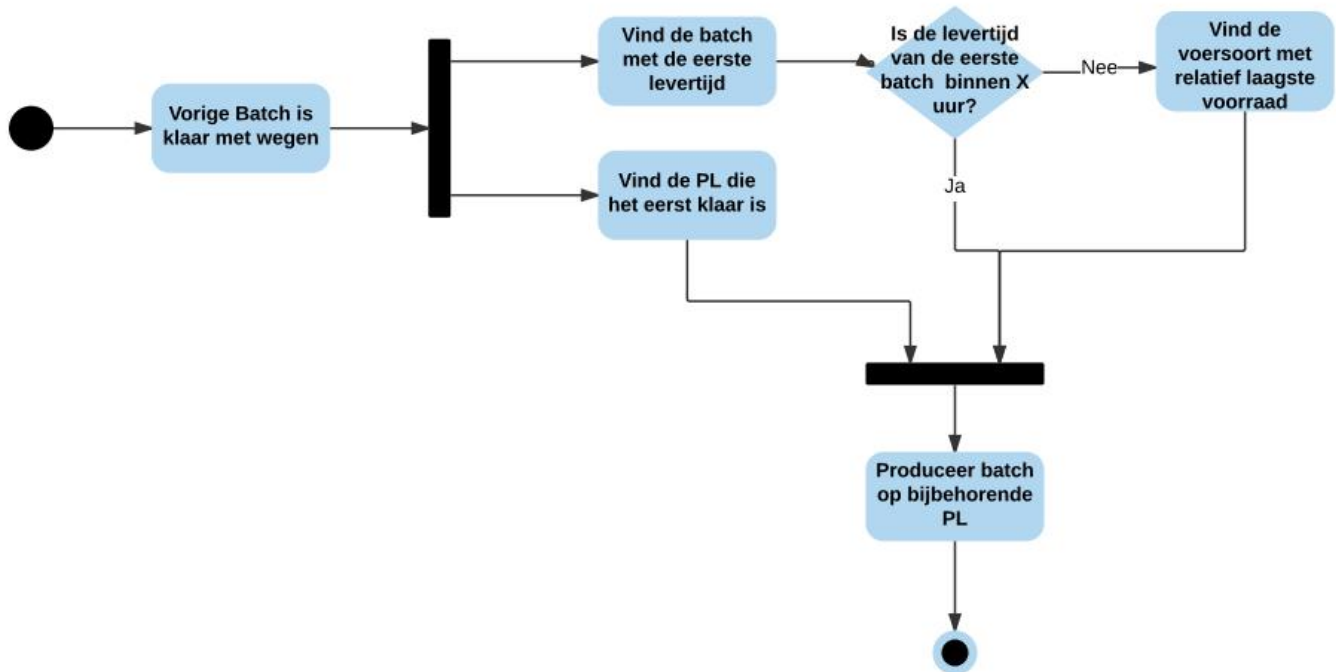
Nadat de brokken zijn geperst worden ze vervoerd naar opslagsilo's. In deze silo's worden ze opgeslagen totdat de toegewezen vrachtwagen de laadstraat in rijdt. Het voer wordt dan met behulp van een robot in de vrachtwagen gestort. De meeste van deze gereed-product silo's, ongeveer 120 van de 150, worden gebruikt om voorraadvoer op te slaan. Deze silo's zijn dus (vrijwel) altijd gevuld met dezelfde voersoort. De overige 30 silo's worden gebruikt om tijdelijk niet-voorraad voer op te slaan. Aangezien er gemiddeld 83 orderregels met niet-voorraadproducten per dag zijn, moeten deze 30 silo's bijna 3 keer per dag geleegd worden. Aangezien de chauffeurs meestal 3 ritten per dag doen, is dit ruim haalbaar.

2.6 Productieplanning

Zodra orders binnen komen in de regelkamer worden ze eerst in het MES ingevoerd. Het MES maakt vervolgens een initiële planning op basis van alle orders en leverdeadlines. Vervolgens past de planner de productieplanning aan. Deze aanpassingen doet de planner op ervaring. Er zijn dus geen regels voor.

Het doel van de planning is om alle machines in de fabriek efficiënt te gebruiken. Wanneer een machine stil staat levert het immers niets op. Er zal dus eerst door het MES gekeken worden welke van de acht perslijnen het eerste klaar is. Voor deze perslijn wordt vervolgens een nieuwe batch ingepland op de maal-menglijn. Welke batch wordt ingepland is afhankelijk van de voorraden en de levertijden van de verschillende orders. Het online planproces is afgebeeld in figuur 2.4. Er wordt pas bepaald welke batch als volgende geproduceerd zal worden op de maal-menglijn wanneer de vorige batch klaar is met afwegen. Dan worden tegelijkertijd de volgende batch en de volgende perslijn bepaald (de zwarte balk in de figuur houdt in dat meerdere processen tegelijkertijd gedaan worden). De te produceren batch is afhankelijk van de levertijd. Eerst wordt de batch met de kortste leverdeadline gezocht. Wanneer deze deadline binnen een bepaalde tijd (X) is, wordt deze batch geproduceerd. Wanneer dit niet het geval is wordt een batch standaardvoer geproduceerd. Welke

soort standaardvoer wordt geproduceerd is afhankelijk van de voorraad. De voersoort waarvan de voorraad (plus de hoeveelheid voer in productie) gedeeld door de verwachte vraag per week het minst is, wordt geproduceerd. Vervolgens komen beide processen weer samen en wordt de batch op de bijbehorende perslijn ingepland.



Figuur 2.4 Online planproces

2.7 Conclusies

In dit hoofdstuk is de huidige productiesituatie in Lochem geanalyseerd op basis van productiegegevens van 3 weken. Het doel van dit hoofdstuk was het beantwoorden van de eerste deelvraag: *Wat is de huidige gang van zaken in de fabriek in Lochem?* Hiervoor is eerst gekeken naar de aankomst, levertijd en grootte van orders. Vervolgens zijn de productietijden van de machines in de fabriek behandeld. Tot slot is er gekeken naar de productieplanning.

In paragraaf 2.1 wordt een overzicht van de verschillende soorten voer en het tonnage waarin deze voersoorten wekelijks geproduceerd worden gegeven. In paragraaf 2.2 worden de binnenkomende orders bekeken.

In paragraaf 2.3 zijn de maal-menglijnen besproken. Het productieproces is toegelicht en zowel de individuele bewerkingstijden op de stations als de totale verblijftijd op de maal-menglijn zijn besproken. In paragraaf 2.4 zijn de perslijnen toegelicht. Er is gekeken naar de verschillen tussen perslijnen en de productietijden op de perslijnen. Ook zijn in paragraaf 2.5 de opslagcellen waarin gereed-producten opgeslagen kunnen worden besproken.

Tot slot is in paragraaf 2.6 het planningsproces toegelicht. Het doel van de planning is om alle machines draaiende te houden. Om deze reden wordt er telkens een batch gestart voor de perslijn die naar verwachting als eerste klaar is. Welke batch gestart wordt hangt af van de levertijd en de voorraden van voorraadproducten.

3 Theoretisch kader

In dit hoofdstuk wordt in de literatuur gezocht naar theorieën en eerdere onderzoeken die dit afstudeeronderzoek kunnen ondersteunen. Zo wordt antwoord gegeven op de tweede deelvraag: *Wat is er in de literatuur te vinden dat het onderzoek bij ForFarmers kan ondersteunen?*

Eerst zal het productieproces worden geclassificeerd. Vervolgens wordt gekeken naar de planningsheuristieken van ForFarmers. Daarna wordt een KPI gekozen en tot slot worden verschillende aanpakken besproken.

3.1 Classificatie productieproces

Volgens Matsubayashi (2008) zijn er vijf veel gebruikte manieren om productieprocessen te classificeren. Deze zullen hieronder kort worden toegelicht

Process – Assembly production

Process production houdt volgens Matsubayashi (2008) in dat één startproduct wordt bewerkt in de fabriek. Een startproduct wordt dan in de fabriek bewerkt tot een eindproduct. Assembly production houdt in dat er verschillende halffabricaten worden samengesteld tot één eindproduct. ForFarmers valt onder process production, aangezien één startproduct (de mix van grondstoffen) wordt bewerkt tot één eindproduct.

Productievolume

Ten tweede kan onderscheid gemaakt worden in het volume van de productie. Wordt er op massa geproduceerd, of worden er kleine hoeveelheden product gemaakt? ForFarmers maakt grote hoeveelheden product, maar heeft ook een grote variëteit aan producten. ForFarmers zit dus tussen massa en custom-productie in.

Klantorderontkoppelpunt

Ook kan onderscheid gemaakt worden op het klantorderontkoppelpunt. Volgens Verwoerd (2006) zijn er vijf verschillende KOOP mogelijkheden te onderscheiden, deze zijn als volgt:

- **Maken en zenden op voorraad:** De afnemers wensen een zeer korte levertijd. Deze producten worden dus gemaakt voor de voorraad van de retailer. Dit zijn vaak beperkt houdbare producten.
- **Maken voor voorraad:** Het bedrijf produceert producten en slaat deze vervolgens op in hun eigen voorraad. Dit zijn vooral standaardproducten.
- **Assembleren op order:** Componenten van een product worden op voorraad gehouden en geassembleerd wanneer een order binnenkomt. Dit zijn vaak producten die door de klant beperkt gemodificeerd kunnen worden zoals computers.
- **Maken op order:** Een product wordt pas geproduceerd wanneer de order binnen komt. Dit zijn producten die klant specifiek zijn.
- **Maken en inkopen op order:** De materialen voor het uiteindelijke product worden pas ingekocht wanneer de order binnen is. Dit gebeurt vaak wanneer er op projectbasis wordt gewerkt.

ForFarmers' klantorderontkoppelpunt verschilt per type product. Het standaardvoer valt onder "maken voor voorraad". Het klant-specifieke voer valt onder "maken op order".

Fabriekslay-out

Er zijn veel verschillende manieren om een fabriek in te delen. Iedere indeling heeft zo zijn voor en nadelen. Een veel gebruikte classificatie is de jobshop vs. Flowshop. In een jobshop zijn de machines geplaatst naar functie. In een flowshop zijn de machines geplaatst naar volgorde van bewerking. ForFarmers maakt gebruik van een flowshop indeling.

Continu – discrete productie

Fabrieken kunnen continu hetzelfde product produceren, of verschillende producten in batches produceren. Bij de laatste, ook wel discrete productie, vinden vaak omstelmomenten plaats. ForFarmers produceert discreet.

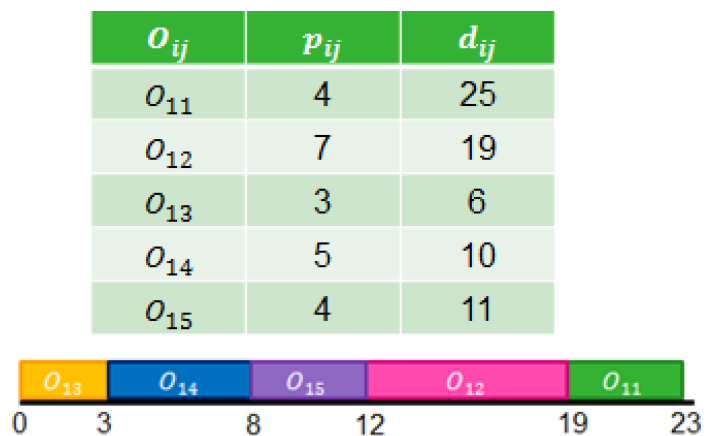
3.2 Planningsmethoden

In de literatuur zal gezocht worden naar prioriteitsregels om de productieplanning van ForFarmers na te kunnen bootsen.

Haupt (1988) onderscheidt drie soorten prioriteitsregels: tijd-onafhankelijke regels, tijd-afhankelijke regels en globale regels. In deze paragraaf wordt de eerste soort, tijd-onafhankelijke regels, niet meegenomen, omdat ForFarmers rekening moet houden met de levertijd. Tijd-afhankelijke en globale prioriteitsregels zijn dus het meest geschikt

Earliest Due Date (EDD)

EDD is een prioriteitsregel waarbij enkel naar de leverdeadline wordt gekeken. Bij EDD wordt geprobeerd zo min mogelijk orders te laat af te leveren (Schutten, 2014). De order met de eerste leverdatum wordt dus het eerst geproduceerd. Zo wordt de tijd dat orders te laat geleverd worden geminimaliseerd. In het voorbeeld hiernaast staat de 'O' voor een order, er zijn dus in totaal vijf orders. De 'p' staat voor de productietijd en de 'd' staat voor het opleveringstijdstip. Er is dus te zien dat enkel O_{15} , de order die als derde geproduceerd wordt, te laat wordt opgeleverd. In figuur 3.1 is een voorbeeld van EDD afgebeeld.



Figuur 3.1 voorbeeld Earliest Due Date (Schutten, 2014)

MinSlack

MinSlack is, net als EDD, een tijd-afhankelijke prioriteitsregel. Bij MinSlack wordt echter naast de leverdeadline ook rekening gehouden met de productietijd (Schutten, 2014). Wanneer twee orders tegelijkertijd afgeleverd moeten worden, zal de order met de langste productietijd eerst geproduceerd worden. Tijdens iedere stap wordt de speling (slack) berekend volgens de formule : $d_{ij} - p_{ij} - t_{ij}$. De order met de minste speling wordt dan geproduceerd. In figuur 3.2 is een voorbeeld van het gebruik van MinSlack afgebeeld.

O_{ij}	p_{ij}	d_{ij}	$slack_{ij}$ ($t = 0$)	O_{ij}	p_{ij}	d_{ij}	$slack_{ij}$ ($t = 3$)	O_{ij}	p_{ij}	d_{ij}	$slack_{ij}$ ($t = 8$)	O_{ij}	p_{ij}	d_{ij}	$slack_{ij}$ ($t = 12$)
O_{11}	4	25	21	O_{11}	4	25	18	O_{11}	4	25	13	O_{11}	4	25	9
O_{12}	7	19	12	O_{12}	7	19	9	O_{12}	7	19	4	O_{12}	7	19	0
O_{13}	3	6	3	O_{13}	3	6	-	O_{13}	3	6	-	O_{13}	3	6	-
O_{14}	5	10	5	O_{14}	5	10	2	O_{14}	5	10	-	O_{14}	5	10	-
O_{15}	4	11	7	O_{15}	4	11	4	O_{15}	4	11	0	O_{15}	4	11	-

Figuur 3.2 voorbeeld MinSlack (Schutten, 2014)

Work in next queue (WINQ)

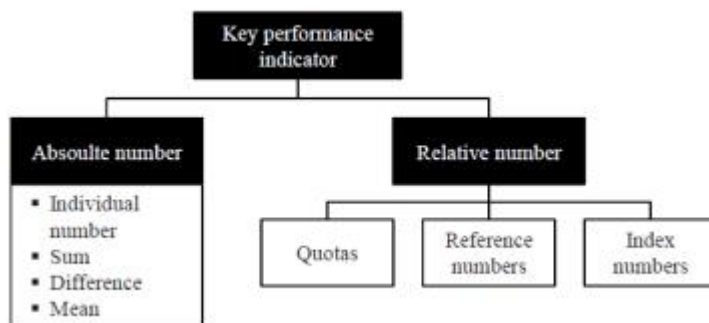
WINQ is een zogenaamde globale prioriteitsregel. Er wordt niet enkel naar de drukte van de huidige machine, maar ook naar de drukte verderop in het productieproces (Haupt, 1988). Het idee van WINQ is voorrang geven aan taken die na de huidige machine in een korte wachtrij terecht komen. Dit is in tegenstelling met EDD en MinSlack omdat deze focussen op het optimaliseren van de planning van de huidige machine.

Expected work in next queue (XWINQ)

XWINQ is een uitgebreide versie van de WINQ-prioriteitsregel. XWINQ bepaalt namelijk de verwachte lengte van wachtrij (met bijbehorende productietijden) waar WINQ enkel kijkt naar de huidige lengte van de wachtrij (met bijbehorende productietijden). XWINQ is echter erg lastig te implementeren en kost veel rekentijd (Conway, 2012).

3.3 Kritieke prestatie indicatoren

In deze paragraaf wordt theorie over kritieke prestatie indicatoren (KPI's) toegelicht. KPI's kunnen als volgt gedefinieerd worden: "Verzamelde informatie gedurende regelmatige intervallen om de prestaties van een systeem bij te houden" (Fitz-Gibbon, 1990). KPI's bieden de basis om prestaties van systemen te analyseren en vergelijken. Volgens Meijer (2013) kunnen KPI's onderverdeeld worden in relatieve en absolute getallen (zie figuur 3.3). Absolute getallen zijn onafhankelijk van andere indicatoren en zeggen iets over het systeem in de huidige staat. Relatieve getallen kunnen relaties tussen verschillende KPI's weergeven of de prestatie over een tijdserie weergeven.



Figuur 3.3 Verschillende typen KPI (Meijer, 2013)

Gunasekaran (2004) noemt een aantal belangrijke prestatie indicatoren in een supply chain. Een groot aantal van deze prestatie indicatoren zijn ook van toepassing bij het produceren van diervoeder. Zeker wanneer vrijwel de gehele supply chain in handen is van één bedrijf.

Voor dit onderzoek zijn voornamelijk de volgende prestatie indicatoren van belang:

- **Capaciteitsbenutting:** Volgens Slack et al. (1995) is capaciteitsbenutting belangrijk, omdat het de flexibiliteit en levertijd beïnvloed. Wanneer capaciteit niet volledig benut wordt, is er sprake van verspilling.
- **Order levertijd:** De gehele productiecyclus die doorlopen wordt na een order geeft weer hoe snel het bedrijf kan reageren op de klant. Door de productietijd te verkorten kan een bedrijf een competitief voordeel behalen (Christopher, 1992).
- **Variëteit in productie:** Volgens Mapes et al. (1997) is het voor fabrieken die een brede variëteit in producten produceren waarschijnlijker dat zij nieuwe producten gaan proberen. Fabrieken die veel verschillende producten produceren voegen meestal minder waarde per werknemer toe. Daarnaast gaat dit vaak ten koste van snelheid en leverbetrouwbaarheid.

3.4 Aanpak van het probleem

In deze paragraaf zal de keuze voor het gebruik van een simulatiemodel beargumenteerd worden. Er zal allereerst gekeken worden naar alternatieven voor simuleren en waarom deze alternatieven niet geschikt zijn in dit project.

Testen in de echte wereld

Naast simulatiemodellen is het ook mogelijk om geen model op te stellen, maar de experimenten in de praktijk uit te voeren (Pidd, 2002). Er zou dan getest kunnen worden met het echte productieproces door telkens kleine aanpassingen te doen en vervolgens te evalueren. Dit is echter vaak niet mogelijk en/of erg prijzig.

Analytische oplossingen

Systemen kunnen analytisch gemodelleerd worden wanneer het probleem niet te complex is. Door analytisch te modelleren kan met weinig aannames toch een exact antwoord gegeven. Daarnaast kunnen met analytische modellen erg snel oplossingen gevonden worden (Robinson, 2014). Met een simpel analytisch (wachtrij) model wordt een geheugenloos model bedoeld. Dit houdt in dat alle tijden (procestijden, wachttijden, aankomsttijden etc.) een exponentiele verdeling hebben.

Dit gaat echter niet op bij ForFarmers, omdat ForFarmers' tijden niet exponentieel verdeeld zijn. Dit compliceert het proces dusdanig, dat het niet mogelijk is om, zonder veel simplificaties, dit systeem analytisch te modelleren.

Simulaties

Wanneer het niet mogelijk is om problemen analytisch op te lossen, kan er het best overgegaan worden op simuleren (Li et al., 2010). Met behulp van een simulatiestudie kunnen complexe systemen alsnog geanalyseerd worden met behulp van een simulatiestudie. Simuleren is echter een tijdrovend proces en behoeft veel input-data (Robinson, 2014). Daarnaast is het met simulatiemodellen mogelijk om dynamische systemen door te rekenen. Deze zijn erg lastig om

analytisch op te lossen.

De servicetijden en aankomsttijden van ForFarmers volgen geen exponentiële, maar een generieke verdeling. Hierdoor is het alleen mogelijk om het productiesysteem van ForFarmers realistisch te modelleren met behulp van een simulatiemodel.

Type simulatiemodellen

Er zijn verschillende typen simulatiemodellen met ieder hun voor- en nadelen. Er worden vier type modellen behandeld: Monte carlo simulatie, system dynamics, agent-based simulation en discrete event simulatie.

Monte Carlo simulatiemodellen worden veelal gebruikt om financiële risico's te berekenen (Robinson, 2014). Een Monte Carlo simulatiemodel maakt gebruik van meerdere inputverdelingen en heeft uiteindelijk één outputverdeling. Daarnaast heeft een Monte Carlo systeem vaak geen voortgang door de tijd. Dit is wel nodig voor het model van ForFarmers.

System Dynamics is een manier van modelleren die continu update. Hierdoor vergt deze methode erg veel rekenkracht wanneer systemen gedurende langere tijd geobserveerd moeten worden. System Dynamics wordt daarnaast vaak gebruikt voor high-level. Dit houdt in dat het erg lastig om een gedetailleerd productieproces te modelleren. Aangezien het voor het model van ForFarmers niet van belang is om continu te updaten, wordt er niet voor deze methode gekozen.

Agent-based simulaties gaan, zoals de naam al doet vermoeden, uit van verschillende 'agents' die allemaal kenmerkende eigenschappen hebben. Dit is niet van toepassing voor het model van ForFarmers.

Tot slot is er nog discrete event simulatie. Deze vorm van simuleren springt van event naar event en wordt voornamelijk gebruikt om wachtrijmodellen te simuleren.

3.5 Conclusies

Uit dit hoofdstuk is gebleken dat het productieproces van ForFarmers getypeerd kan worden als een flowshop fabriek dat produceert in batches. Het planningsalgoritme van ForFarmers kan getypeerd worden als een combinatie van een tijd-afhankelijke en een globale prioriteitsregels. Om het productieproces van ForFarmers te beoordelen zijn de volgende KPI's van belang: capaciteitsbenutting, order levertijd, variëteit in productie. Tot slot zal de fabriek nagebootst worden middels een simulatiemodel.

4 Van conceptueel model naar simulatiemodel

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de derde deelvraag: *Hoe kan de fabriek van ForFarmers in Lochem gemodelleerd worden?*

In paragraaf 1 worden nogmaals de afbakening en de doelen van het model besproken. Vervolgens wordt het gehele systeem samengevat in een procesflow diagram in paragraaf 2. Paragraaf 3 zal de inputdata voor het model bespreken, terwijl paragraaf 4 de benodigde output zal beargumenteren. Tot slot wordt in paragraaf 5 het simulatiemodel geïntroduceerd.

4.1 Afbakening en doelen van het model

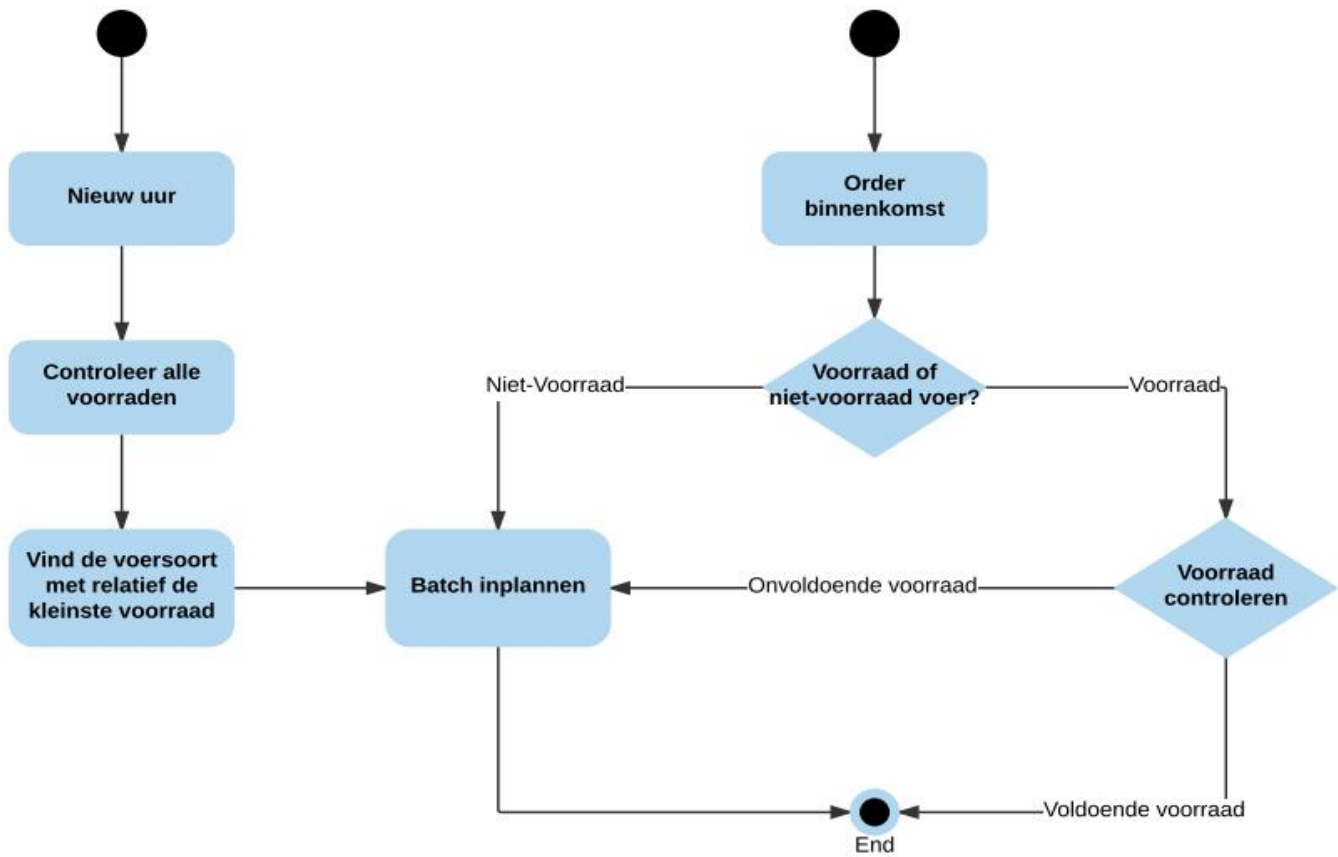
Het maken van een simulatiemodel en indirect dus ook het conceptueel model, wordt gedaan om ForFarmers inzicht te verschaffen in hun eigen productieproces. Met behulp van het simulatiemodel zal ForFarmers in staat zijn om de geprojecteerde veranderingen in de klantvraag door te rekenen. Daarnaast zal het model gebruikt kunnen worden om het productieproces aan te passen om zo de veranderende klantvraag op te vangen.

Het model zal enkel de fabriek in Lochem modelleren, aangezien er geen tijd is om meerdere fabrieken te modelleren. Binnen de fabriek worden alle processen genoemd in hoofdstuk 2 gemodelleerd. Overige bedrijfsprocessen, zoals het aanleveren van grondstoffen en leveren van brokken aan klanten, worden niet meegenomen. Hiervoor is gekozen, omdat het management van ForFarmers deze processen makkelijk aan kan passen. Hier zullen dus in de toekomst geen problemen ontstaan. Het is dus niet van belang voor het doel van het onderzoek om deze processen te modelleren.

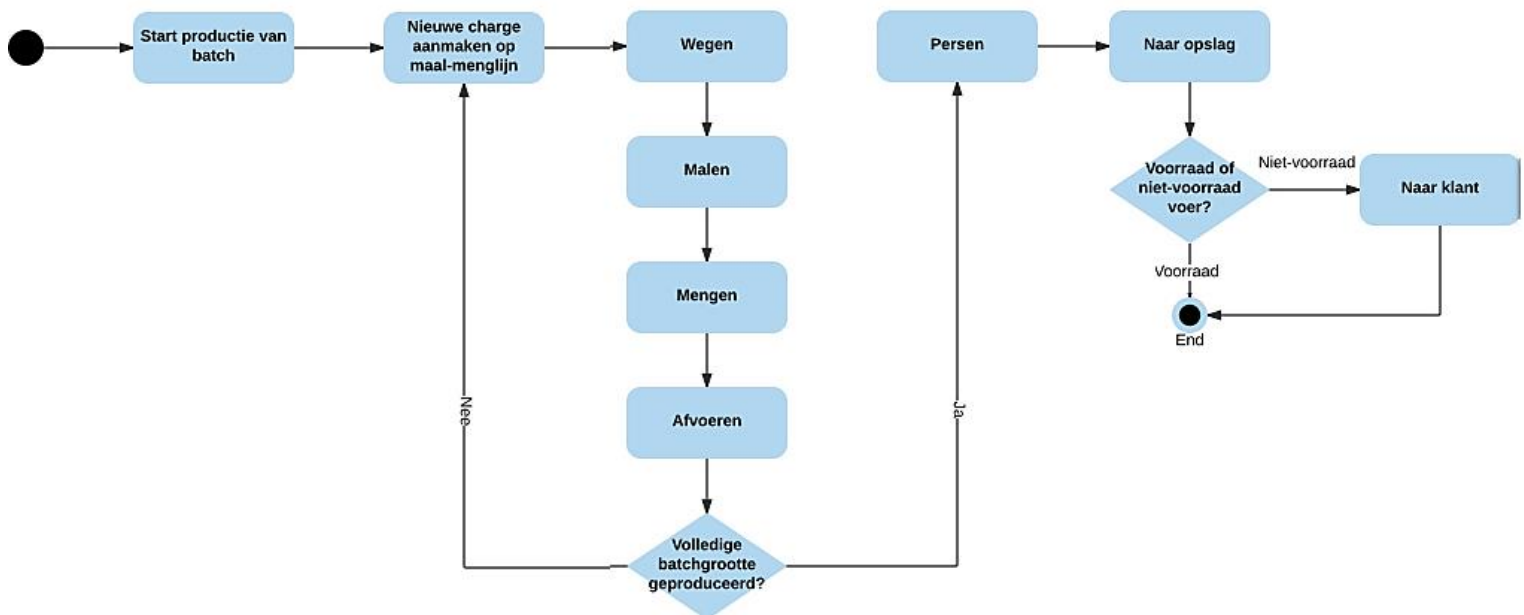
4.2 Procesflow diagram

Om het productiesysteem te verduidelijken zijn een logicflow en een procesflow diagram opgesteld. In het eerste diagram (figuur 4.1) worden de processen in de regelkamer verduidelijkt. In het tweede diagram (figuur 4.2) wordt het productieproces zelf verder toegelicht.

Er zijn twee startpunten in de regelkamer (i) het binnenkomen van een order en (ii) het aanbreken van een nieuw uur. Bij het binnenkomen van een order standaardvoer wordt eerst gecontroleerd of het voer voldoende op voorraad aanwezig is om aan de orderregel te kunnen voldoen. Als dit het geval is, is de orderregel direct klaar voor transport. Dit zal echter niet altijd het geval zijn. Er zal dan een batch ingepland moeten worden. Naast de binnenkomende orders worden ieder uur de voorraden gecontroleerd. Voor de voersoort waarvan relatief (ten opzichte van de verwachte vraag per week) het minst op voorraad is, wordt een nieuwe batch ingepland. Dit houdt in dat er maximaal één voorraadbatches per uur ingepland wordt. Hiervoor is gekozen omdat er op korte termijn gepland wordt, waardoor er geen tijd is voor meerdere batches.



Figuur 4.1 Logic flow diagram regelkamer



Figuur 4.2 Proces flow diagram fabriek

Figuur 4.2 geeft de flow van een batch in het productieproces weer. Het productieproces begint altijd op de maal-menglijn met de start van een nieuwe batch. Aangezien deze batches over het algemeen groter zijn dan 6000kg, moeten er meerdere charges op de maal-menglijn geproduceerd worden. De maximale chargegrootte op de maal-menglijn is immers 6000kg. Na de maal-menglijn worden de brokken geperst op de perslijn. Na het produceren worden de batches opgeslagen in gereed-productcellen. Dit productieproces is eerder al afgebeeld in figuur 1.1.

4.3 Inputdata

Voor een discrete event simulatie (zie paragraaf 3.4) zijn verschillende soorten inputdata nodig. Deze inputdata zullen in deze paragraaf besproken worden.

Om random input stromen te modelleren zijn er drie mogelijkheden:

1. Een theoretische kansverdeling die bij de data past
2. Een empirische verdeling die bij de data past
3. De daadwerkelijk gevonden data direct gebruiken

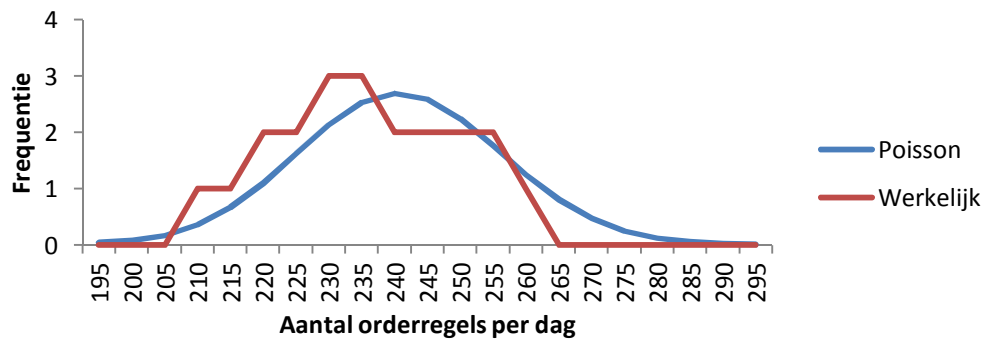
Voor een simulatie is de eerste keuze het meest geschikt, omdat kansverdelingen de onregelmatigheden glad strijken. Vaak past er echter geen theoretische kansverdeling bij de data. In dat geval is een empirische verdeling het meest geschikt.

Er wordt nu gekeken naar de inputdata voor:

- Aankomsttijden
- Orderkarakteristieken
- Bewerkingstijden

4.3.1 Aankomsttijden

Zoals in **Error! Reference source not found.** in bijlage H te vinden is, komen er 243 orderregels per dag binnen. De exacte binnenkomst van orders wordt niet geregistreerd. Omdat de tussenaankomsttijd tussen order n en de opvolgende order $n+1$ onafhankelijk is van de tussenaankomsttijd tussen order $n-1$ en order n , kan geheugenloosheid van de aankomsttijd worden verondersteld. De tussenaankomsttijden zijn dan exponentieel verdeeld. Dit houdt in dat de aankomsttijden gemodelleerd kunnen worden middels een Poissonverdeling. Voor de 21 dagen waarvan data verzameld zijn, is gekeken hoeveel orders er binnen komen. Dit is vervolgens vergeleken met de Poissonverdeling (zie figuur 4.3). Hieruit valt op te maken dat de Poissonverdeling goed overeen komt. Aangezien aangenomen wordt dat orders gedurende de gehele dag binnen komen, houdt dit in dat er gemiddeld iedere 6,025 minuut een orderregel binnenkomt.



Figuur 4.3 Poissonverdeling inkomende orders

4.3.2 Orderkarakteristieken

Niet iedere orderregel is van dezelfde grootte. Na analyse van ruim 1500 orderregels is Figuur 4.4 ontstaan. In deze figuur is de x-as met ordergroottes weggehaald, aangezien het om vertrouwelijke informatie gaat. De meeste pieken in orderregelgrootte liggen bij veelvoud van 2.000 kg. Dit kan verklaard worden doordat klanten korting krijgen wanneer ze in veelvoud van 2.000 kg bestellen. Dit komt ForFarmers namelijk beter uit bij het indelen van vrachtwagens. Deze verdeling is dus niet random en een kansverdeling past hier dus niet bij. Daarom is er gekozen om dit histogram te gebruiken als inputdata voor de orderregelgrootte.



Figuur 4.4 Histogram orderregelgrootte

Ook verschillen orderregels in levertijd. Uit ervaring blijkt dat de levertijd in de extreemste gevallen 10 uur is. De exacte leverdeadlines worden niet bijgehouden. Wel is bekend dat 8% van de orders binnen 20 uur geleverd moeten worden. 12% Van de orders moet tussen de 20 en 30 uur geleverd worden. De overige 80% van de orders moeten tussen de 30 en 50 uur geleverd worden. De levertijd is dus verdeeld volgens Tabel 4.1 overzicht levertijdentabel 4.1.

Levertijd	Verdeling	Frequentie
10-20 uur	Uniform tussen 10 en 20	0,08
20-30 uur	Uniform tussen 20 en 30	0,12
30-50 uur	Uniform tussen 30 en 50	0,80

Tabel 4.1 overzicht levertijden

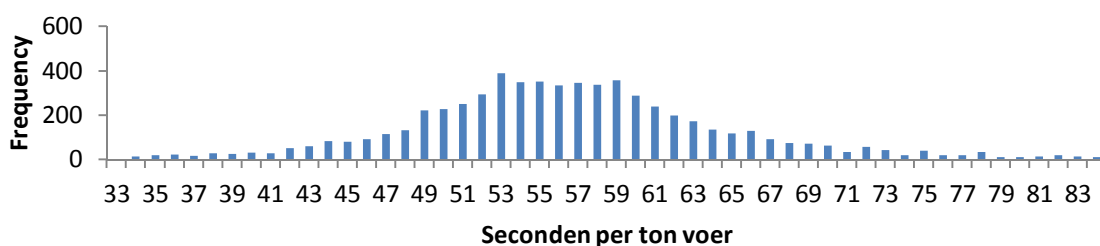
Tot slot wordt niet iedere voersoort even vaak besteld. Zoals in tabel H.1 te zien is zijn er 70 standaard voersoorten. Van deze voersoorten zijn de voersoorten die in meer dan 0,1% van de orders besteld worden gebruikt in het model. Deze 57 voersoorten met hun bijbehorende vraag per week zijn te vinden in bijlage E.

4.3.3 Bewerkingstijden

De maal-menglijnen en perslijnen hebben allen hun eigen bewerkingstijden. Bij de maal-menglijnen is ook nog onderscheid te maken tussen de verschillende processtappen: wegen, malen, mengen en afvoeren.

De weeg-, meng- en afvoertijden op de maal-menglijn zijn onafhankelijk van de chargegrootte en dus nagenoeg constant. Er zitten echter nog wel verschillen in. Deze verschillen ontstaan doordat operators de machines kunnen versnellen bij drukte. Doordat de operators de snelheid aan kunnen passen is het geen zuivere stochastische verdeling. De variantie is namelijk niet random, maar afhankelijk van de aanpassingen van de operators. Het aanpassen van de productiesnelheid kan echter niet bij iedere voersoort, omdat er dan minder nauwkeurig wordt afgewogen en minder goed wordt gemengd. Aangezien de relatie tussen de productiesnelheid en de verschillende voersoorten erg ingewikkeld is, is aangenomen dat de productiesnelheid wel stochastisch verdeeld is. Het histogram met weeg- en meng- en afvoertijden (te zien in bijlage C) is vervolgens als input gekozen voor de corresponderende machines in het model.

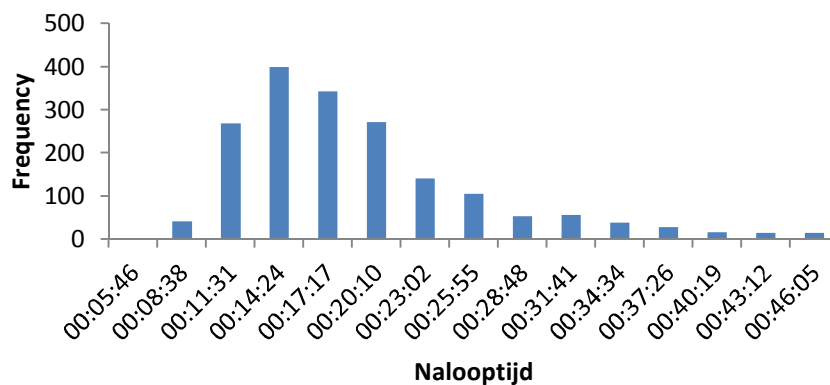
De productietijden op de maal-menglijn zijn afhankelijk van de chargegrootte. Dit verschil met de vorige drie processen kan verklaard worden doordat deze drie machines een constante output hebben. Bij het wegen, mengen en afvoeren wordt de charge in één weger/menger gestort en vervolgens bewerkt. De maalmachine is constant bezig met een klein gedeelte van de charge. Om deze reden is gekozen om de productietijden afhankelijk te maken van de batchgrootte. Er is geprobeerd deze verdeling te beschrijven met de normale verdeling, maar dit bleek niet mogelijk te zijn. Daarom wordt de verdeling beschreven met behulp van een histogram (zie figuur 4.5). In dit histogram wordt de tijd dat de machine over één ton doet uitgezet. Deze tijd wordt vervolgens vermenigvuldigt met de batchgrootte.



Figuur 4.5 Productiesnelheid op de maalmachine

De productietijden op de perslijn zijn afhankelijk van de batchgrootte. De productiesnelheid kan aangepast worden door de operators in de fabriek. Er kan dus sneller geproduceerd worden wanneer dit nodig is. Dit resulteert echter in een mindere kwaliteit, maar voor bepaalde voersoorten is dit verwaarloosbaar. Om deze redenen is er gekozen om de productiesnelheid op de perslijnen constant te houden. Voor iedere perslijn is de gemiddelde gewogen productiesnelheid berekend (totaal tonnage / totale bewerkingstijd). Vervolgens is berekend hoeveel seconden de perslijn doet over 1000kg voer. Deze gegevens zijn te zien in tabel I.1. Er is gekozen om voor alle perslijnen dezelfde perssnelheid per ton voer te rekenen. De productietijd is dan enkel en alleen afhankelijk van de batchgrootte.

De nalooptijd op de perslijn, de tijd die nodig is om te wisselen tussen twee verschillende voersoorten, is ook variabel. Voor dit onderzoek is echter gekozen om de nalooptijd constant te maken, omdat er verderop in het onderzoek met de nalooptijd geëxperimenteerd zal worden. Wanneer de kansverdeling van de nalooptijd een continue kansverdeling was geweest, zou hiervan het gemiddelde verhoogt kunnen worden. Maar aangezien de kansverdeling empirisch verdeeld is, is dit een stuk gecompliceerder. Door de nalooptijd constant te maken, wordt experimenteren met de nalooptijd vergemakkelijkt. Er is gekozen om de gemiddelde nalooptijd te nemen wanneer er geen storing is. Volgens ForFarmers kan aangenomen worden dat er een storing in het omstellen is wanneer het langer dan 30 minuten duurt. De gemiddelde nalooptijd is dan 16 minuten en 7 seconden. In eerste instantie wordt de gemiddelde nalooptijd als constante gebruikt. Later, in paragraaf 5.2, zal geëxperimenteerd worden met verschillende waarden voor de nalooptijd.



Figuur 4.6 Histogram nalooptijden op de perslijnen

4.4 Outputdata

Met behulp van de flowcharts en de inputgegevens is het mogelijk om een simulatiemodel te creëren. Het simulatiemodel is echter pas nuttig wanneer er informatie uitgehaald kan worden waarmee de prestaties van het systeem gemeten kunnen worden. Daarom worden in deze paragraaf de gekozen outputvariabelen toegelicht.

- *Percentage orders op tijd geleverd.*
Aan het percentage orders dat op tijd geleverd wordt kan worden afgelezen of de fabriek de vraag aan kan. Wanneer dit niet het geval is, zullen orders zich opstapelen in de wachtrij. Dan zullen orders dus te laat aankomen.
- *Aantal backorders per dag*
Wanneer de productie de vraag niet aan kan zullen er backorders ontstaan. Backorders zijn orders die nog niet geleverd zijn, maar waarvan de leverdeadline al wel is verstreken. Wanneer de productie structureel tekort komt, zullen de backorders zich opstapelen. Door het aantal backorders per dag bij te houden kan ingeschat worden hoe goed de productie in staat is de vraag bij te houden.
- *Productietijd per perslijn ten opzichte van totale tijd.*
Met deze KPI kan de drukte op de perslijn gemeten worden.
- *Nalooptijd per perslijn ten opzichte van de totale tijd.*
Met deze KPI kan gemeten worden hoeveel verschillende voersoorten op een perslijn geproduceerd worden. Hoe hoger de nalooptijd, hoe meer voersoorten.

- *Aantal orders per leging.*

Zoals in het experimentele ontwerp (paragraaf 5.1) wordt behandeld, wordt er geëxperimenteerd met het aantal keer dat een gereed-product silo gelegeerd wordt. De vrachtwagens halen dan de niet-voorraadcellen leeg. Daarnaast wordt gekeken of er voorraadorders zijn die binnenkort geleverd moeten worden. Hoe meer orders per leging opgehaald worden, hoe meer vrachtwagens nodig zijn.

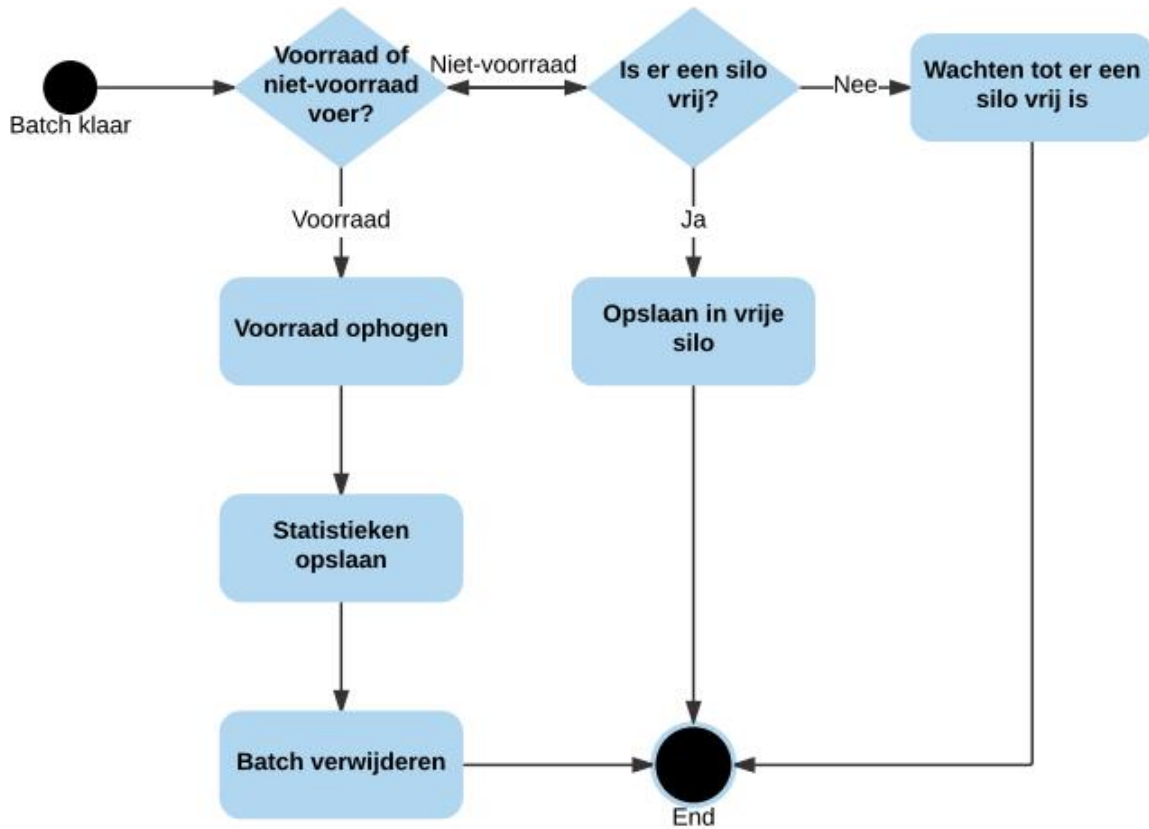
4.5 Het simulatiemodel

In deze paragraaf zal het simulatiemodel van de fabriek van ForFarmers geïntroduceerd worden. Allereerst wordt de werking van het simulatiemodel toegelicht. Vervolgens worden de gemaakte aannames toegelicht. Tot slot wordt het model gevalideerd.

4.5.1 Beschrijving van het model

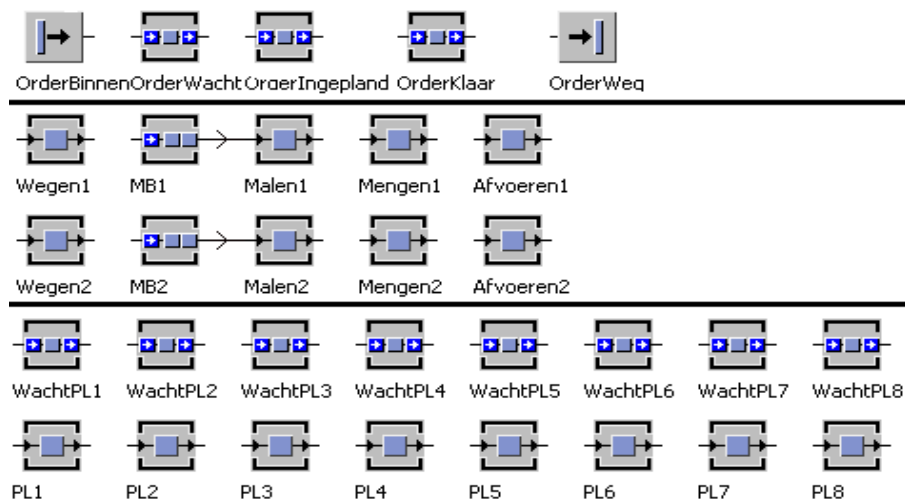
Om het simulatiemodel te beschrijven wordt gebruikt gemaakt van logic flow diagrammen. Bij een logic flow diagram staat de tijd stil. Alle beslissingen vinden in het simulatiemodel dus op één moment plaats. De belangrijkste momenten in het simulatiemodel zijn het binnenkomen van een order, het kiezen van de volgende batch en het opslaan van de voorraad. Deze drie beslissingsprocessen worden toegelicht met behulp van een logic flow diagram.

Het binnenkomen van een order is reeds besproken in paragraaf 4.2 met behulp van figuur 4.1. Het kiezen van een nieuwe batch op de productielijn is reeds besproken in paragraaf 2.6 met behulp van figuur 2.4. In figuur 4.7 is het beslissingsproces voor opslag van voer beschreven. Wanneer een batch klaar is met produceren wordt gecontroleerd of het een voorraad- of niet-voorraadproduct is. Voorraadproducten worden niet specifiek in één gereed-product silo opgeslagen, aangezien aangenomen wordt dat hiervoor voldoende silo's aanwezig zijn. Daarom wordt hiervan de voorraad verhoogt. Dit wordt bijgehouden in een variabele. Vervolgens worden statistieken opgeslagen en wordt de batch verwijderd. Wanneer het een niet-voorraadproduct betreft wordt gekeken of er nog een silo vrij is. Zo ja, dan wordt de batch daarin opgeslagen. Zo niet, dan wordt gewacht tot er één vrij komt. De statistieken worden pas opgeslagen op het moment dat de silo met de batch leeg wordt gehaald. Dan wordt ook de batch uit het systeem verwijderd.



Figuur 4.7 Logic flow diagram afloop productie

Uiteindelijk bestaat het simulatiemodel uit vier compartimenten (waarvan er drie zijn afgebeeld in figuur 4.8). In het eerste compartiment, de regelkamer, worden de binnenkomst van orders en de planning geregeld. Het tweede compartiment zijn de twee maal-menglijnen waarop wordt geproduceerd. Het derde compartiment bestaat uit de acht perslijnen en de bijbehorende wachrijen. Het vierde en laatste compartiment bestaat uit de opslagsilo's. Deze zijn niet afgebeeld in figuur 4.8, aangezien deze erg veel ruimte in beslag nemen.



Figuur 4.8 Overzicht simulatiemodel

4.5.2 Aannames

Om het model te kunnen bouwen zijn een aantal aannames gedaan. Deze aannames zijn voornamelijk bedoeld om het model niet onnodig ingewikkeld te maken.

Dagen in het weekend volgen hetzelfde patroon als werkdagen.

Over het algemeen komen in het weekeind minder bestellingen binnen en hoeven er minder bestellingen geleverd te worden dan doordeweeks. Om geen productieverlies te leiden wordt daarom vaak voorraadvoer geproduceerd in het weekend. Door aan te nemen dat alle dagen gelijk zijn, wordt het model veel simpeler. Het enige nadeel is dat eventuele piekmomenten van niet-voorraadvoer niet gemodelleerd worden. Deze worden in het model verdeeld over de gehele week, terwijl ze in werkelijkheid doordeweeks vaker voorkomen.

Orders komen gelijkmatig de gehele dag binnen.

Orders kunnen onder andere via het internet besteld worden, dus orders kunnen gedurende de hele dag binnen komen. De meeste orders komen in werkelijkheid echter in de ochtend en de avond binnen. Door orders gelijkmatig binnen te laten komen, wordt het model simpeler zonder betrouwbaarheid te verliezen.

Een order bestaat maar uit één orderregel

Een order bestaat normaliter uit meerdere orderregels. Een klant bestelt namelijk vaak meerdere voersoorten tegelijkertijd. Iedere voersoort wordt dan gezien als een orderregel. Aangezien het onderscheid tussen orders en orderregels niet van belang is voor de planning (beide orderregels hebben dezelfde leverdeadline), maakt het niet uit voor het simulatiemodel.

Iedere voersoort kan op iedere perslijn geproduceerd worden.

Perslijnen hebben ieder een eigen voorkeursvoer. Enkele voersoorten, bijvoorbeeld hele fijne brokken, kunnen alleen op één perslijn geproduceerd worden. Door aan te nemen dat iedere perslijn iedere voersoort kan produceren, wordt het planningsproces simpeler. Daarnaast hoeft niet voor iedere voersoort uitgezocht te worden op welke perslijn ze geproduceerd kunnen worden.

Er treden geen storingen op.

In het werkelijke systeem kunnen uiteraard storingen optreden. Deze storingen nemen maar ongeveer 2% van de tijd (bijna een half uur) per dag in. Ter preventie van storingen onderhoudt ForFarmers haar productielijnen preventief. Dit neemt ook ongeveer 2% van de tijd in beslag. Gedurende dit uur kan op één (of meerdere) van de lijnen niet geproduceerd worden. Aangezien niet bekend is hoe vaak storingen zich voordoen en hoe lang reparatie van deze storingen duurt, is besloten om storingen niet mee te nemen in het simulatiemodel. Wel zal deze 4% van de tijd in het achterhoofd worden gehouden tijdens het toelichten van de resultaten door aan te nemen dat iedere dag 4% korter is. Deze 4% wordt niet gesimuleerd, maar er zal in de resultaten rekening mee worden gehouden.

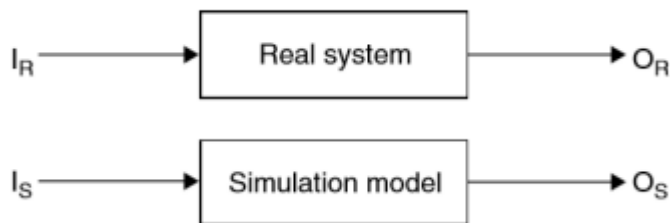
Er zijn altijd voldoende voorraadsilo's.

Na de productie wordt het voer opgeslagen in voorraadsilo's. In werkelijkheid heeft ieder voorraadproduct haar eigen opslagsilo. Hierdoor is er vrijwel altijd genoeg ruimte om alle voorraadproducten op te slaan. Door deze aanname is het niet nodig om verschillende buffers bij te houden voor iedere voersoort.

4.5.3 Validatie

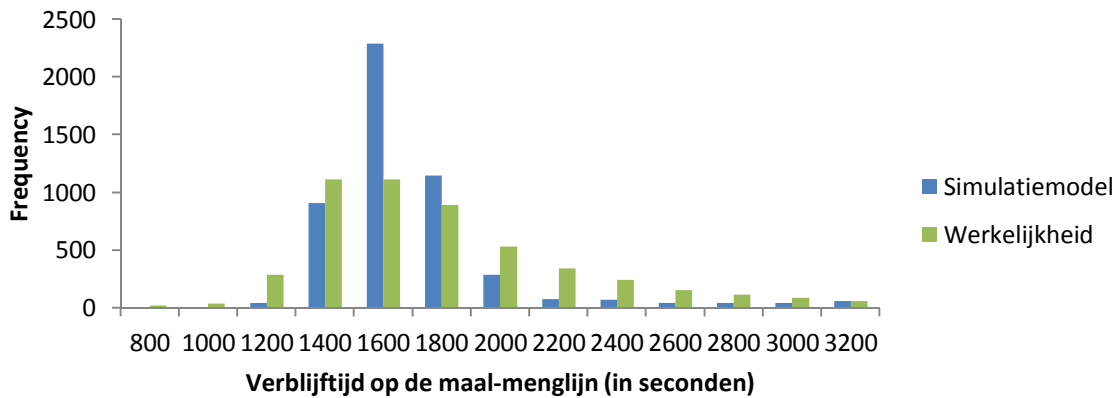
Validatie wordt gebruikt ter bevestiging van de nauwkeurigheid van het simulatiemodel. Wanneer het simulatiemodel nauwkeurig is, kan het gebruikt worden voor het doel van de simulatiestudie. Volgens Robinson (2004) is er geen formele methode voor validatie. Daarom is het model gevalideerd in samenwerking met de operations manager van ForFarmers, omdat hij veel kennis heeft van het productieproces.

De validatiemethode die is toegepast is “Black-box” validatie. Deze methode kijkt niet naar de interne processen in het simulatiemodel, maar enkel naar de output (zie figuur 4.9). Aangezien het simulatiemodel nagenoeg dezelfde inputverdelingen (I_s) heeft als de werkelijkheid (I_k), zou de output van het simulatiemodel (O_s) (tot op zekere hoogte) overeen moeten komen met die van de werkelijkheid (O_r). De output zal nooit volledig gelijk zijn aan de werkelijkheid, vanwege de gedane aannames. Figuur 4.9 laat zien dat bij “black-box” verificatie enkel wordt gekeken naar de outputwaarden van het simulatiemodel en de werkelijkheid. Het simulatiemodel zelf wordt niet geëvalueerd.



Figuur 4.9 Black-box validatie (Robinson, 2004)

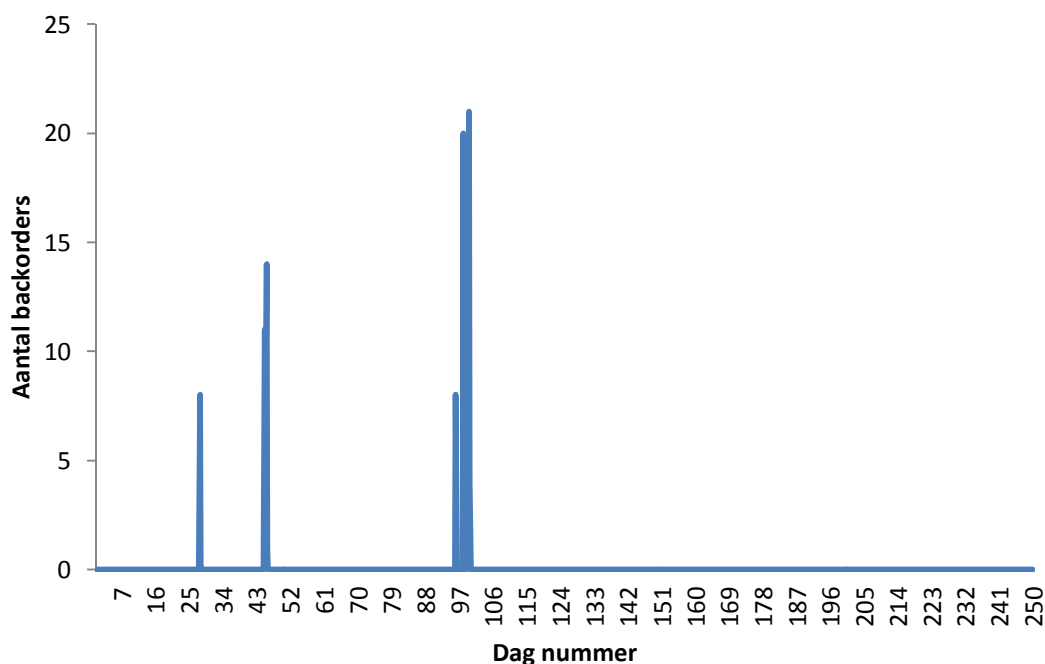
Allereerst is gekeken naar de verblijftijd op de maal-menglijn. De werkelijke verblijftijden op de maal-menglijn (groen in figuur 4.10) zijn breder gespreid dan de verblijftijden in het simulatiemodel (blauw in figuur 4.10). Aangezien de individuele bewerkingstijden wel gelijk zijn (zie bijlage C), komen deze verschillen door de wachttijden tussen de stations. Het verschil wordt voornamelijk veroorzaakt door het afstelverlies tussen de maal-menglijn en de perslijn. Dit houdt in dat de maal-menglijn moet wachten tot de afvoer naar de perslijn beschikbaar is. In het simulatiemodel komt dit nauwelijks voor door de planning. Omdat, zoals in de aannames is vermeld, niet iedere voersoort op iedere perslijn geproduceerd kan worden, is deze planningsheuristiek niet volledig haalbaar in de realiteit. De gemiddelde verblijftijd in het simulatiemodel is 36 seconden minder dan de gemiddelde verblijftijd in werkelijkheid.



Figuur 4.10 Totale verblijftijd op de maal-menglijn in werkelijkheid en in het simulatiemodel

Aangezien de tijden op de perslijn enkel afhankelijk zijn van de batchgrootte en dit ook zo is geïmplementeerd in het simulatiemodel, hoeven de productietijden op de perslijn niet gevalideerd te worden. Er is wel gekeken naar bezettingsgraden op de perslijn. Zoals te zien is in figuur I.2 in bijlage I komen de gemiddelde bezettingsgraden goed overeen. Verschillen tussen individuele perslijnen kunnen verklaard worden door de aanname dat iedere perslijn iedere voersoort kan produceren. Daarom kan geconcludeerd worden dat de perslijnen correct zijn geïmplementeerd.

Tot slot wordt de leverbetrouwbaarheid in het model vergeleken met de leverbetrouwbaarheid in de werkelijkheid. Dit wordt gedaan aan de hand van het aantal backorders in het systeem. Backorders zijn orders die al geleverd hadden moeten worden, maar nog niet geleverd zijn. Dit kan verscheidene oorzaken hebben, maar in dit simulatiemodel ontstaan backorders wanneer de productie de vraag niet aan kan. Er is gekozen voor het aantal backorders in het systeem in plaats van het percentage orders dat te laat wordt geleverd, aangezien het percentage orders dat te laat wordt geleverd niets zegt over het aantal orders dat niet wordt geleverd. Wanneer de productie de vraag structureel niet aan kan, ontstaan er steeds meer backorders. Het resulteert echter niet in het zelfde percentage orders die te laat worden geleverd. In figuur 4.12 is het aantal backorders per dag in het model te zien.



Figuur 4.11 Aantal backorders per dag

Deze grafiek is samen met de operations manager van ForFarmers beoordeeld. Volgens de operations manager zijn in werkelijkheid meer backorders in het systeem. Deze backorders ontstaan echter voornamelijk doordat één bepaalde perslijn volledig ingepland is. In het simulatiemodel is de aanname gedaan dat iedere perslijn iedere voersoort kan produceren, dus zullen deze backorders in mindere mate voorkomen in het simulatiemodel. Daarom is beoordeeld dat de leverbetrouwbaarheid van het simulatiemodel voldoende overeenkomt met de werkelijkheid, maar dat de gedane aannames de leverbetrouwbaarheid wel beïnvloeden.

4.5.4 Warm-up periode

Het simulatiemodel heeft een opwarm periode nodig om in een realistische conditie te komen. Aangezien de fabriek 24 uur per dag, 7 dagen per week bezig is, hoeft het model maar eenmalig op te warmen. Deze opwarmperiode is bepaald met behulp van de 'Marginal Standard Error Rule' (MSER). Om de opwarmperiode te verkorten is er gekozen voor een initiële voorraad voor de voorraadproducten. Deze voorraad is gelijk aan 0,25 keer de verwachte wekelijkse vraag. Vervolgens is voor elk van de in paragraaf 4.4 genoemde KPI's de opwarmperiode bepaald, zie tabel 4.3. De opwarmperiode is dus 25 dagen. Aangezien het gaat om een fabriek die niet wordt gesloten, is het gebruikelijk de runlengte aanzienlijk langer dan de opwarmperiode te nemen. Daarom is er gekozen om voor de runlengte 250 dagen te nemen.

KPI	Opwarmperiode
Gem. PL bezettingsgraad	25 dagen
Gem. PL Nalooptijd	4 dagen
Percentage orders te laat geleverd	15 dagen
Aantal orders per leging	5 dagen

Tabel 4.2 Opwarmperiode per KPI

4.5.5 Aantal replicaties

Het simulatiemodel eenmalig laten runnen met de eerder bepaalde opwarmperiode en runlengte levert geen indicatie van nauwkeurigheid op. Door meerdere replicaties te gebruiken, kunnen betrouwbaarheidsintervallen worden opgesteld voor de output.. Ook voor het bepalen van het aantal replicaties is een betrouwbaarheid van 95% genomen. Het aantal replicaties is bepaald met behulp van de betrouwbaarheidsinterval-methode. Dit houdt in dat gezocht wordt naar het aantal replicaties waarbij de halve breedte van het betrouwbaarheidsinterval ten opzichte van het gemiddelde voor het eerst kleiner is dan 5% ($100-95=5$). Vervolgens is het aantal replicaties bepaald voor alle KPI's, behalve voor het aantal orders dat te laat geleverd werd. Aangezien dit een heel klein getal is en erg kan schommelen, was het niet mogelijk om hiervoor het aantal replicaties te bepalen. De overige KPI's en het vereiste minimum aantal replicaties zijn te zien in tabel 4.4. Het aantal replicaties is gesteld op 31.

KPI	Aantal replicaties
Gem. PL bezettingsgraad	13
Gem. PL Nalooptijd	31
Aantal orders per leging	22

Tabel 4.3 Aantal replicaties per KPI

4.6 Conclusies

Dit hoofdstuk volgt het proces van het maken van een conceptueel model tot het creëren van een simulatiemodel. Zo is de derde deelvraag: *"Hoe kan de fabriek van ForFarmers in Lochem gemodelleerd worden?"* beantwoord.

In paragraaf 4.1 wordt nogmaals de afbakening en het doel van de simulatiestudie omschreven. Vervolgens is in paragraaf 4.2 het proces toegelicht met behulp van twee proces flow diagrammen. Er is hierbij onderscheid gemaakt tussen de regelkamer en de fabriek zelf. Daarna zijn in paragraaf 4.3 alle inputgegevens voor het simulatiemodel gegeven. Het gaat hier onder andere om procestijden voor alle machines en aankomsttijden van nieuwe orders. In paragraaf 4.4 zijn de KPI's voor het simulatiemodel gedefinieerd. Tot slot is in paragraaf 4.5 het simulatiemodel geïntroduceerd. Dit simulatiemodel is toegelicht en gedane aannames zijn verklaard. Tot slot is het simulatiemodel gevalideerd met behulp van black-box validatie.

5 Onderzoeksresultaten

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de onderzoeksresultaten en de experimenten die zijn uitgevoerd. Het hoofdstuk geeft vervolgens antwoord op de vierde deelvraag: *Welke effecten heeft de veranderende klantvraag op de fabriek van ForFarmers en hoe kan deze veranderende klantvraag opgevangen worden?*

In paragraaf 5.1 zullen de experimenten opgesteld worden. Er zal bepaald worden met welke variabelen en in welke volgorde gevarieerd zal worden. In paragraaf 5.2 zal gekeken worden naar de geprojecteerde veranderingen in klantvraag. In paragraaf 5.3 zal tot slot gekeken worden naar mogelijke aanpassingen aan het productieproces.

5.1 Experimenteel ontwerp

Deze paragraaf bespreekt de opzet van de experimenten die zijn uitgevoerd. De experimenten zijn op te delen in twee groepen. De eerste groep experimenten focust zich op het berekenen van de gevolgen van geprojecteerde veranderingen op het productieproces. De tweede groep experimenten focust zich op mogelijke verbeteringen voor het productieproces. Deze verbeteringen worden getest op de toekomstige situatie.

Tijdens de eerste groep experimenten wordt enkel gevarieerd in het percentage voorraadvoer. Op het huidige moment is dit gelijk aan 65%. ForFarmers verwacht dat dit percentage daalt tot 50% in de komende jaren. Aangezien problemen worden verwacht rond de 55% voorraadvoer zullen extra experimenten uitgevoerd in de buurt van deze 55%.

Tijdens de tweede groep experimenten wordt het percentage voorraadvoer vastgezet op 50%. Vervolgens worden mogelijke aanpassingen aan het productieproces toegepast. Zo kan bekeken worden wat de invloed van individuele parameters is op het gehele productieproces. Met behulp van deze experimenten kan ForFarmers geadviseerd worden hoe zij om moeten gaan met de geprojecteerde verandering in de klantvraag. In overleg met de operations manager van ForFarmers is besloten om te variëren in de nalooptijd op de perslijn, de productiesnelheid op de perslijn en het aantal gereed-product silo's voor niet-voorraadvoer. Daarna wordt getracht verschillende maatregelen te combineren om zo tot een afstelling te komen waarbij de fabriek in de toekomst gelijkwaardig kan presteren als in de huidige situatie.

Om de prestatie van de fabriek te meten zijn in paragraaf 4.4 KPI's opgesteld. Gedurende de experimenten zullen de volgende KPI's gemeten worden:

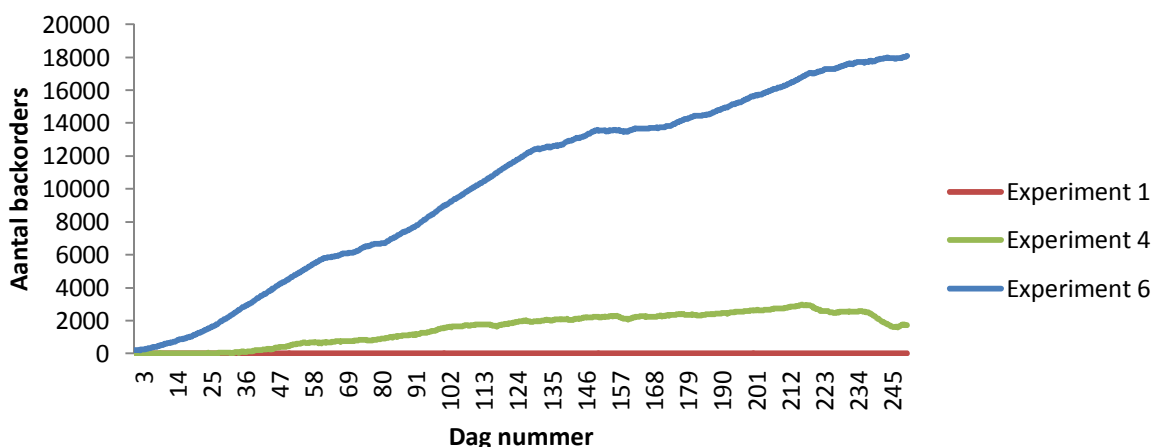
- Percentage orders op tijd geleverd
- Aantal backorders per dag
- Productietijd per perslijn per dag
- Nalooptijd per perslijn per dag
- Aantal geleverde orders per dag

5.2 Gevolgen voor de productiesituatie

Het eerste gedeelte van de deelvraag (zie introductie hoofdstuk 5) betreft de gevolgen van de veranderende klantvraag voor de productiesituatie. In deze paragraaf zal de huidige productiesituatie dus vergeleken worden met de toekomstige productiesituatie. De enige aanpassing die gedaan zal worden, is de verdeling van de klantvraag. Momenteel zijn 65% van de orderregels voorraadproducten en 35% niet-voorraadproducten. De verwachting binnen ForFarmers is dat deze verdeling langzaam zal verschuiven naar 50% voorraad- en 50% niet-voorraadproducten.

Voor de experimenten in deze paragraaf zijn alle inputgegevens uit hoofdstuk 4 gebruikt. Er is niets aangepast. Tussen de experimenten wordt enkel gevarieerd in het percentage voorraadorders. De experimenten met bijbehorende KPI's zijn te vinden in tabel G.1 in bijlage G.

Uit tabel G.1 kan geconcludeerd worden dat het productiesysteem in de huidige situatie goed presteert. Slechts 1,78% van de orders wordt te laat geleverd.. Bij de eerste 3 experimenten worden gemiddeld genomen alle binnengekomen orders geleverd. Bij deze experimenten zijn er dus weinig backorders. Bij de laatste 3 experimenten kan de fabriek niet langer aan de vraag voldoen: er worden minder dan 239 orders per dag afgeleverd. Het percentage orders dat te laat geleverd wordt valt echter nog mee. Dit kan verklaard worden doordat veel orders nooit geleverd worden, aangezien er grote hoeveelheden backorders ontstaan (zie figuur 5.1). Bij het laatste experiment ontstaan in 250 dagen 18.000 backorders. Dit zijn er dus 72 per dag, wat gelijk is aan 30% van de vraag.



Figuur 5.1 Aantal backorders per dag

Tijdens het eerste experiment is de bezettingsgraad op de perslijnen gemiddeld 68,39% en het percentage nalooptijd is gemiddeld 14,46%. Wanneer het percentage voorraadvoer lager wordt, wordt het percentage nalooptijd hoger. Dit kan verklaard worden doordat niet-voorraadvoer gemiddeld in kleinere hoeveelheden wordt geproduceerd. Hierdoor moet er dus vaker omgesteld worden en dit resulteert in meer nalooptijd. De verwachting was dat het percentage productietijd gelijk zou blijven bij ieder experiment, de productiesnelheid blijft immers gelijk. Het percentage productietijd is echter afgenomen. Dit kan verklaard worden doordat de gereed-product silo's voor niet-voorraad voersoorten vrijwel altijd gevuld waren. Wanneer een batch dan klaar was op de perslijn, kon de perslijn deze niet afvoeren. Dit resulteerde uiteindelijk in een lagere productietijd.

Wanneer de fabriek de productie structureel niet aan kan, zullen dus grote hoeveelheden backorders

ontstaan. Naar verwachting zal dit gebeuren bij een percentage voorraadvoer van 55% (experiment 4). De gevolgen voor backorders zijn groot voor ForFarmers. Klanten zullen vertrekken en als gevolg daarvan zal ForFarmers omzet mislopen. Desondanks zal de fabriek niet minder druk zijn en zullen de productiekosten dus niet dalen. Dit kan grote financiële gevolgen hebben. De verwachting van ForFarmers is dat deze verhouding voorraadvoer ten opzichte van niet-voorraadvoer werkelijkheid zal zijn nog voor 2020. Er zal dus actie ondernomen moeten worden voor 2020.

5.3 Aanpassingen aan het productieproces

In deze paragraaf zullen maatregelen worden bekeken die de prestaties van de fabriek kunnen verbeteren wanneer het percentage voorraadvoer terug is gelopen tot 50%. Allereerst zullen individuele maatregelen bekeken worden. Later zullen maatregelen gecombineerd worden.

5.3.1 Aantal gereed-product silo's voor niet-voorraadvoer

Uit de analyse van de resultaten van de eerste groep experimenten is gebleken dat backorders voornamelijk ontstaan doordat de perslijn moet wachten met het afvoeren van het gereed-product. De perslijn kan nog niet beginnen met afvoeren aangezien alle niet-voorraad gereed-product silo's vol zijn. Er moet dan gewacht worden tot al deze silo's geleegd worden, wat vier keer per dag gebeurt in de huidige situatie, voordat de perslijn verder kan met produceren. Dit resulteert in stilstand en backorders. In de eerste reeks experimenten wordt gevarieerd met het aantal niet-voorraad silo's. De resultaten hiervan zijn te vinden in tabel 5.1. Experiment 1 geeft hier de huidige situatie weer.

Experiment	Aantal Niet-voorraad silo's	Percentage orders op tijd	Aantal geleverde orders per dag	Percentage productietijd op perslijn	Percentage nalooptijd op perslijn
1	30	34,12%	180	49,46%	17,26%
2	35	67,83%	233	69,89%	19,24%
3	40	83,54%	239	70,35%	19,31%
4	50	85,82%	239	69,64%	19,31%
5	60	85,90%	239	69,56%	19,31%

Tabel 5.1 Resultaten experimenten aantal niet-voorraad silo's versie 1

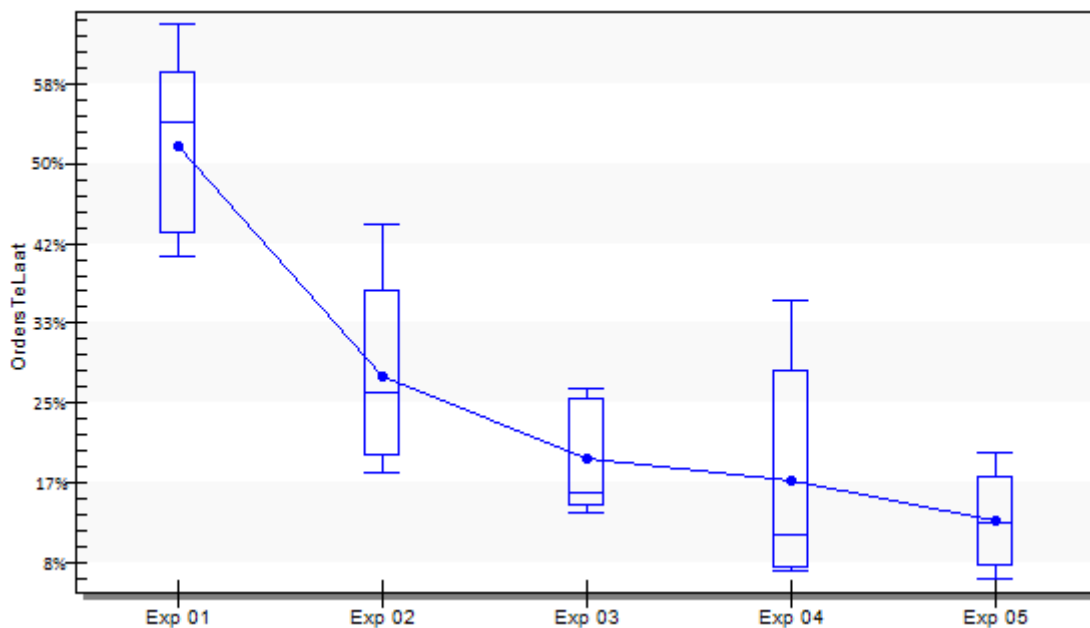
Uit tabel 5.1 valt op te maken dat de fabriek de vraag nog niet aankan bij 35 opslagsilo's. Hierdoor zullen tot op dat moment backorders ontstaan. Aangezien we deze backorders willen tegengaan, moet de oplossing ergens liggen tussen 35 en 40 opslagsilo's. Boven de 40 silo's neemt het percentage orders op tijd namelijk nog maar nauwelijks toe. Dit weegt niet langer op tegen de extra kosten. In werkelijkheid zal het percentage orders nog hoger zijn. In het simulatiemodel komen alle vrachtwagens namelijk gelijk aan, namelijk om 00:00, 06:00, 12:00 en 18:00. Ze worden dan gevuld en komen weer op het volgende tijdstip terug. In werkelijkheid zullen de vrachtwagens verdeeld over de dag terug komen, waardoor er gemiddeld minder silo's gevuld zijn.

In de volgende reeks experimenten zoeken we dus naar een betere oplossingen tussen de 35 en 40 niet-voorraad silo's. De resultaten zijn te zien in tabel 5.2 en figuur 5.2. Er is geen duidelijke optimale optie aan te wijzen. Vanaf 36 niet-voorraad silo's kan de productie de vraag aan. Er worden namelijk evenveel orders geleverd als dat er aankomen. Vanaf 38 niet-voorraad silo's neemt het percentage orders dat op tijd geleverd wordt ook niet meer sterk toe. In de volgende paragrafen zal doorgerekend worden met 35 tot en met 40 niet-voorraad silo's. Er is gekozen om 35 en 36 ook mee

te nemen, aangezien deze afstelling wellicht wel voldoende is in combinatie met andere maatregelen. Boven de 40 silo's wegen de kosten niet op tegen de (minieme) voordelen.

Experiment	Aantal Niet-voorraad silo's	Percentage orders op tijd	Aantal geleverde orders per dag	Percentage productietijd op perslijn	Percentage nalooptijd op perslijn
1	34	48,33%	230	69,76%	19,17%
2	36	72,61%	239	70,85%	19,31%
3	38	81,12%	239	70,29%	19,27%
4	40	83,54%	239	70,35%	19,31%
5	42	85,57%	239	70,09%	19,31%

Tabel 5.2 Resultaten experimenten aantal niet-voorraad silo's versie 2



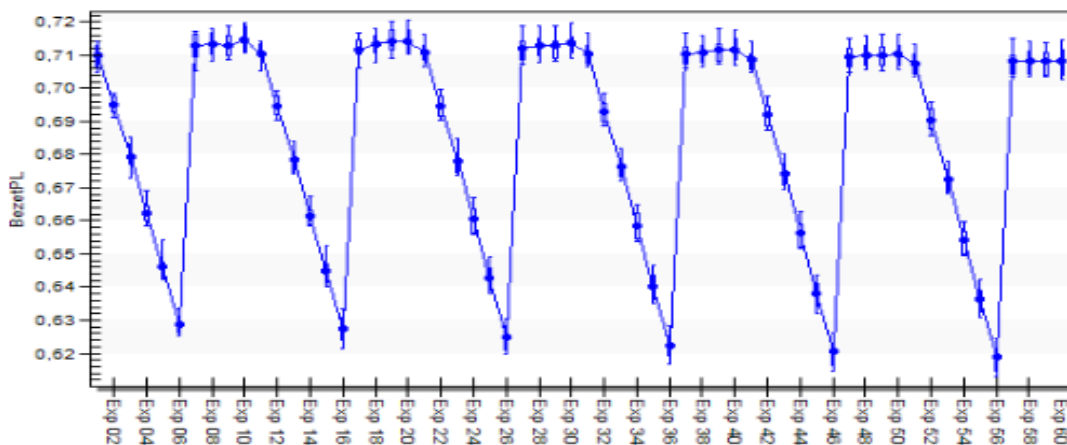
Figuur 5.2 Percentage orders te laat geleverd per experiment

5.3.2 Nalooptijd en snelheid op de perslijnen

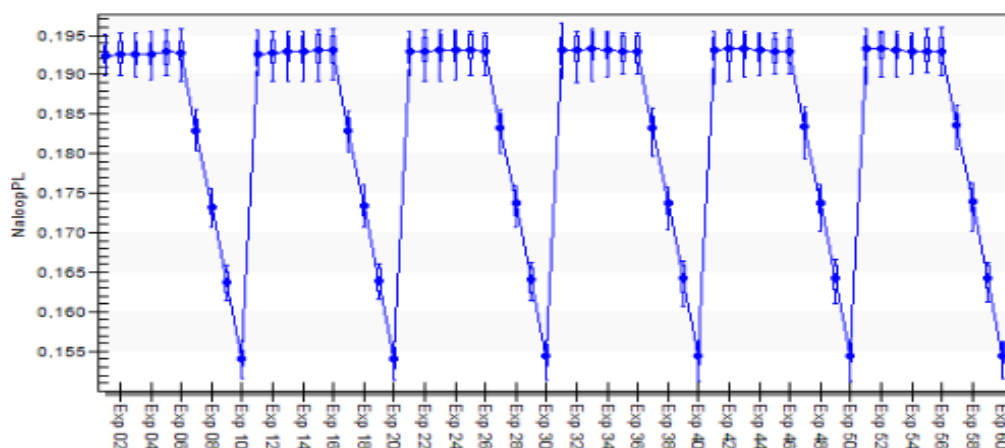
Zoals te zien is in tabel 5.2 zijn de perslijnen in de toekomst gemiddeld 70,5% van de tijd aan het produceren en 19,3% van de tijd aan het omstellen. Dit betekent dat een perslijn gemiddeld 89,8% van de tijd bezig is. In de huidige situatie is dat nog maar 82,8%. Dit is dus een toename van 7 procentpunt. Deze toename leidt tot minder flexibiliteit en minder ruimte voor fouten. Daarom wil ForFarmers het percentage dat een perslijn bezig is van de totale tijd rond de 83% houden. Dit kan gedaan worden de nalooptijd te verkorten, of de productiesnelheid te verhogen. Op het huidige moment is het operations team van ForFarmers bezig met het verkorten van nalooptijden. Zoals eerder vermeld is het mogelijk voor operators om de productie van de perslijnen handmatig te verhogen. Dit zorgt echter wel voor meer slijtage en meer storingen. Dus het constant verhogen van de snelheden zal ook tot meer kosten leiden. Daarnaast zou het in theorie ook mogelijk zijn om een extra perslijn te plaatsen. Wegens ruimtegebrek is dit echter niet mogelijk in Lochem. De gevolgen kunnen echter wel bepaald worden door de productiesnelheid met $1/8^e$ te verhogen. Aangezien er 8 perslijnen zijn zal een stijging van $1/8^e$ hetzelfde zijn als het toevoegen van 1 perslijn, dit is immers een toename van $12,5\%$ ($=1/8^e$). Na een aantal korte experimenten is gebleken dat de

productiesnelheid en de nalooptijd maar een geringe invloed hebben op het aantal backorders. De invloed van het aantal silo's is veel groter. Daarom is er voor gekozen om in dit rapport enkel experimenten te doen waarin ook het aantal silo's wordt gevarieerd.

Om de gevolgen van een lagere nalooptijd en een hogere productiesnelheid op de perslijn te bepalen, zijn er experimenten uitgevoerd. Voor de nalooptijd zijn 5 waarden gebruikt. Naast de huidige waarde is de nalooptijd ook met 5%, 10%, 15% en 20% verlaagd. Een verlaging van meer dan 20% is volgens ForFarmers niet realistisch. Voor de productiesnelheid zijn 6 waarden doorgerekend. Naast de huidige snelheid is de snelheid met 2.5%, 5%, 7.5%, 10% en 12.5% verhoogd. Al deze waarden zijn uitgerekend voor de verschillende aantal niet-voorraad silo's, namelijk 35, 36, 37, 38, 39 en 40. Dit resulteert in uiteindelijk 60 experimenten. De uitkomsten van al deze experimenten zijn te vinden in bijlage D. In de figuren 5.3 en 5.4 zijn het percentage nalooptijd en het percentage productietijd per experiment te zien. De eerste 10 experimenten zijn bij 35 silo's, de tweede 10 bij 36 silo's enzovoorts. In de eerste 5 experimenten wordt telkens de productiesnelheid verhoogd en in de laatste 5 experimenten wordt telkens de nalooptijd verlaagd.



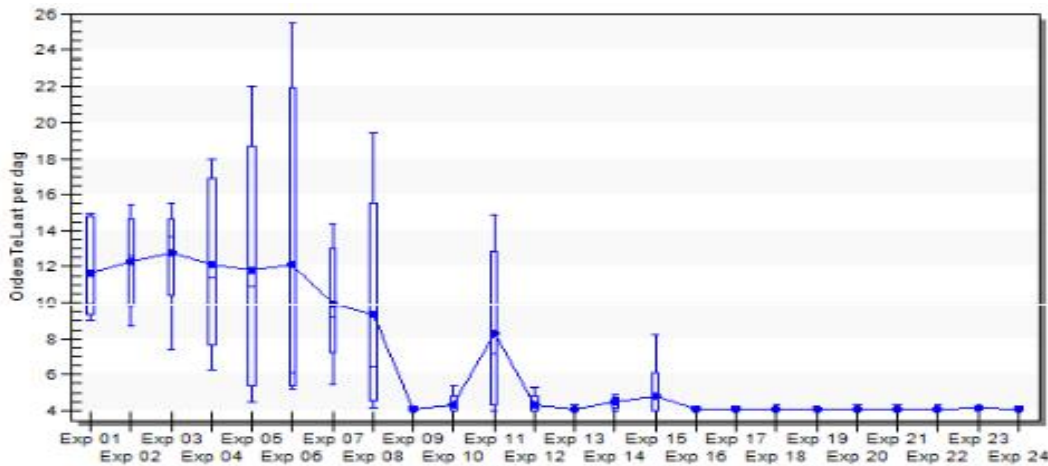
Figuur 5.3 Gemiddelde bezettingsgraad op de perslijnen per experiment



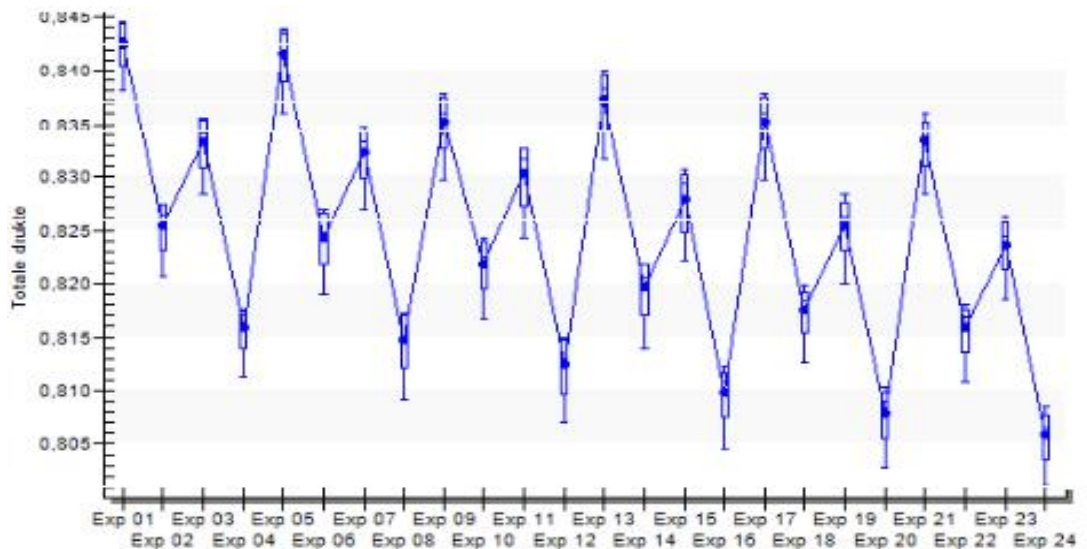
Figuur 5.4 Gemiddeld percentage nalooptijd op de perslijnen per experiment

In figuur 5.3 is te zien dat de verhoging van de productiesnelheid op de perslijnen leidt tot een verlaging van de bezettingsgraad en dat het verlagen van de nalooptijd nagenoeg geen invloed heeft op de bezettingsraad. In figuur 5.4 is te zien dat de verhoging van de productiesnelheid op de perslijnen geen invloed heeft op de totale nalooptijd en dat het verlagen van de nalooptijd wel invloed heeft op de totale nalooptijd. Daarnaast blijkt uit zowel 5.3 als 5.4 dat het aantal gereed-product cellen weinig invloed heeft op beide KPI's. Uit voorgaande figuren kan dus geconcludeerd worden dat de verhogingen van de perssnelheid en de verlaging van de nalooptijd een lineaire relatie hebben met de bijbehorende KPI. Hoe lager de nalooptijd of hoe hoger de productiesnelheid, hoe minder tijd de perslijn nodig heeft per dag. Om op een gemiddelde drukte van 83,4% per dag uit te komen zal de productiesnelheid met 5% of 7.5% verhoogd moeten worden en de nalooptijd met 15% of 20% verlaagd moeten worden. Met deze waarden zijn nogmaals experimenten uitgevoerd voor de verschillende aantallen silo's. De volledige resultaten van deze experimenten zijn te vinden in tabel 5.4 op pagina 49.

In figuur 5.5 is het aantal te laat geleverde orders per dag weergegeven voor de nieuwe experimenten. Hieruit kan afgeleid worden dat in de eerste acht experimenten significant meer orders te laat afgeleverd worden dan in de overige experimenten. Deze acht experimenten corresponderen met 35 of 36 niet-voorraad silo's. Er kan dus geconcludeerd worden dat er minstens 37 niet-voorraad silo's nodig zijn. In figuur 5.6 is voor dezelfde experimenten de totale drukte per perslijn uitgezet. De totale drukte is bepaald door het percentage nalooptijd van de gehele tijd bij de bezettingsgraad op te tellen. Uit figuur 5.6 kan afgeleid worden dat bij experiment 9 de totale drukte op de perslijn gelijk is aan 83,53%. Dit is ongeveer gelijk aan de 83,4% van de huidige situatie. Om experiment 9 in de werkelijkheid toe te kunnen passen moet de nalooptijd met 15% verlaagd worden en de productiesnelheid op de pers met 5% verhoogt moeten worden. Daarnaast zullen er 7 silo's extra vrijgemaakt moeten worden voor niet-voorraad voersoorten.

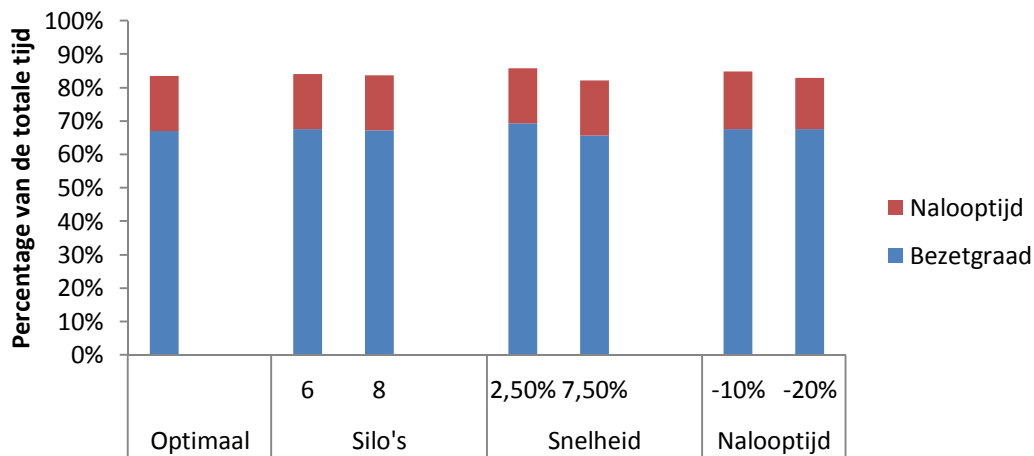


Figuur 5.5 Aantal orders te laat per dag per experiment

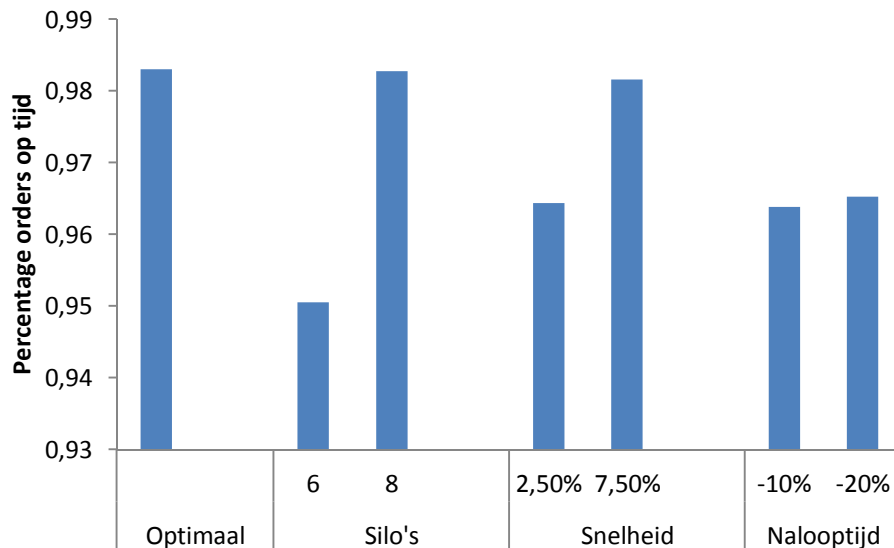


Figuur 5.6 Totale drukke op de perslijn per experiment

Om de gevoeligheid van de beste oplossing te laten zien is in figuren 5.7 en 5.8 de oplossing vergeleken met de omringende experimenten. Voor iedere variabele wordt één categorie onder en één categorie boven de optimale oplossing gekeken. Uit deze figuren is voornamelijk op te maken dat 6 extra opslagsilo's te weinig is, op dit punt zijn de resultaten erg gevoelig. Daarnaast is af te leiden dat het verder verhogen van de snelheid (7,5%) leidt tot een hoger percentage orders dat op tijd geleverd wordt en tot een lagere totale drukke op de perslijnen. Het (structureel) verhogen van de perslijnen is echter erg duur. Daarom is toch gekozen voor het verhogen van de snelheid met 5%.



Figuur 5.7 Gevoeligheid totale drukke op de perslijnen



Figuur 5.8 Gevoeligheid percentage orders op tijd geleverd

5.4 Conclusies

In dit hoofdstuk zijn experimenten met behulp van het simulatiemodel uitgevoerd. Zo is de vierde deelvraag: “Welke effecten heeft de veranderende klantvraag op de fabriek van ForFarmers en hoe kan deze veranderende klantvraag opgevangen worden?” beantwoord.

In paragraaf 5.1 is het experimentele design toegelicht. Er is bepaald dat er gevarieerd zal worden op het aantal opslagsilo's voor niet-voorraadproducten, op de nalooptijd op de perslijn en op de productiesnelheid op de perslijn. Vervolgens zijn in paragraaf 5.2 experimenten uitgevoerd om de gevolgen van de veranderende klantvraag op het productieproces te bepalen. Er is geconcludeerd dat er backorders zullen ontstaan wanneer minder dan 57% van het bestelde voer uit niet-voorraadproducten zal bestaan. In paragraaf 5.3 zijn mogelijke aanpassingen aan het productieproces doorgerekend. Hieruit is gebleken dat de beste oplossing voor ForFarmers bestaat uit 7 extra niet-voorraad silo's, een verlaging van 10% op de nalooptijd te realiseren en een verhoging van 15% op de perssnelheid.

6 Conclusies en aanbevelingen

In dit laatste hoofdstuk wordt aandacht besteed aan de conclusies en aanbevelingen naar aanleiding van dit onderzoek. Dit wordt gedaan door eerst in paragraaf 6.1 alle deelvragen nogmaals langs te lopen. In paragraaf 6.2 worden de aanbevelingen naar aanleiding van het onderzoek gedaan.

6.1 Conclusies van deelvragen

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op iedere deelvraag.

1. *Wat is de huidige gang van zaken in de fabriek in Lochem?*

Uit de analyse van de huidige situatie kan geconcludeerd worden dat ForFarmers de productie op het huidige moment op de rit heeft. De huidige productietijden zijn voldoende om de vraag te produceren. Er wordt gemiddeld 1730 ton voer per dag geproduceerd. Hiervan is 65% gelijk aan voorraadvoer. Voorraadvoersoorten zijn voersoorten die in opslag aanwezig zijn. Deze voersoorten hebben een eigen opslagsilo waarin voorraad wordt opgeslagen. De overige 35% van de 1730 ton bestaat uit niet-voorraadproducten. Dit voer wordt niet opgeslagen op locatie en wordt dus op vraag geproduceerd. Zowel voorraad- als niet-voorraadproducten worden in gelijke groottes per keer gevraagd. Voorraadproducten kunnen echter in grotere hoeveelheden tegelijkertijd geproduceerd worden, aangezien ze opgeslagen kunnen worden. Grotere hoeveelheden levert tijdswinst op, aangezien er minder omgesteld hoeft te worden.

2. *Wat is er in de literatuur te vinden dat het onderzoek bij ForFarmers kan ondersteunen?*

In hoofdstuk 3 is literatuur behandeld met betrekking tot het onderzoek. Er is geconcludeerd dat ForFarmers getypeerd kan worden als een flowshop dat produceert in batches. Het planningsproces kan getypeerd worden als een combinatie van tijd-afhankelijke en globale productieregels. Aangezien het productiesysteem en het planningsproces erg ingewikkeld zijn, is gekozen om een simulatiestudie uit te voeren.

3. *Hoe kan de fabriek van ForFarmers in Lochem gemodelleerd worden?*

De fabriek kan gemodelleerd worden door eerst een conceptueel model op te stellen en dit conceptueel model vervolgens te vertalen naar een simulatiemodel. Het conceptueel model bestaat uit een aantal logic flow diagrammen, een aantal aannames en alle inputdata. De meeste aannames zijn gedaan zodat het uiteindelijke simulatiemodel niet te ingewikkeld wordt. Het simulatiemodel is vervolgens gevalideerd door de prestaties van het model te vergelijken met de werkelijke prestaties. Hieruit is gebleken dat het simulatiemodel voldoet.

4. *Welke effecten heeft de veranderende klantvraag op de fabriek van ForFarmers en hoe kan deze veranderende klantvraag opgevangen worden?*

Met behulp van het simulatiemodel kunnen de effecten van de veranderende klantvraag op de fabriek van ForFarmers bepaald worden. Uit de experimenten blijkt dat de veranderende klantvraag invloed heeft op verschillende prestatie indicatoren. Het percentage orders dat te laat wordt geleverd zal toenemen wanneer het percentage voorraadvoer afneemt. Daarnaast zal de drukte op de perslijnen toenemen. De problemen zullen beginnen te spelen wanneer het percentage

voorraadvoer afneemt tot 57%.

De veranderende klantvraag kan opgevangen worden door aanpassingen aan het productieproces. Om backorders te voorkomen is het verstandig om meer gereed-product silo's te alloceren voor niet-voorraadproducten. Dit voorkomt dat de perslijnen stil staan, omdat zij het voer niet kunnen afvoeren naar de opslagsilo's. De drukte op de perslijnen wordt veroorzaakt door meer omstelmomenten en hogere productietijden. Deze drukte kan opgevangen worden door nalooptijden te verminderen en de productiesnelheden te verhogen. Uit de experimenten is gebleken dat er 7 extra gereed-product silo's nodig zijn, dat de nalooptijd 10% verlaagt dient te worden en dat de productiesnelheid met 15% verhoogt moet worden om de veranderende klantvraag volledig op te vangen.

6.2 Aanbevelingen

In deze paragraaf zullen aanbevelingen gedaan worden naar aanleiding van dit onderzoeksrapport.

Het kernprobleem van het onderzoek was het feit dat ForFarmers de beschikbare data niet omzet in informatie. Aangezien alle gegevens aanwezig zijn voor goede analyses, zou het verstandig zijn om deze gegevens te gebruiken. Het advies is dan ook om meer analyses te doen op basis van procesgegevens. Het is bij deze analyses dan van belang dat niet enkel naar het gemiddelde wordt gekeken, maar dat er ook gevarieerd wordt in inputwaarden. Zo wordt de gevoeligheid van het systeem ook bekeken.

Ten tweede wordt aangeraden om naar de allocatie van gereed-product silo's te kijken. Uit de experimenten is gebleken dat een tekort aan silo's snel kan leiden tot veel backorders, aangezien de persen stil komen te staan.

Ten derde is het verstandig om te kijken naar het toenemende aantal omstelmomenten op de perslijnen. Hoe kleiner de gemiddelde batchgrootte wordt, hoe meer omstelmomenten er zullen zijn. Wanneer de nalooptijd per omstelmoment verminderd kan worden, zal de toename van het aantal omstelmomenten minder impact hebben op de drukte op de perslijnen.

Tot slot wordt aanbevolen om ook naar andere fabrieken te kijken. Het huidige simulatiemodel is enkel geschikt voor de fabriek in Lochem. Aangezien de verschillen tussen de fabrieken niet heel groot zijn, zou het simulatiemodel geschikt gemaakt kunnen worden voor de overige fabrieken. Het model zou echter ook versimpeld kunnen worden tot (bijvoorbeeld) een Excel-model.

7 Bibliografie

- Conway, R. W., Maxwell, W. L., & Miller, L. W. (2012). *Theory of scheduling*. Courier Corporation.
- Haupt, R. (1989). A survey of priority rule-based scheduling. *Operations-Research-Spektrum*, 11(1), 3-16.
- Fitz-Gibbon CT. Performance indicators. Clevedon, Avon, England, Philadelphia: Multilingual Matters; 1990.
- Meier, H., Lagemann, H., Morlock, F., & Rathmann, C. (2013). Key performance indicators for assessing the planning and delivery of industrial services. *Procedia Cirp*, 11, 99-104.
- Gunasekaran, A., Patel, C., & McGaughey, R. E. (2004). A framework for supply chain performance measurement. *International journal of production economics*, 87(3), 333-347.
- Slack, N., Chambers, S., Harland, C., Harrison, A., Johnston, R., 1995. Operations Management. Pitman Publishing, London.
- Christopher, M., 1992. Logistics and Supply Chain Management. Pitman Publishing, London
- Schutten, M. (2014). *Heuristics Lecture 1*. Course material- University of Twente
- Mapes, J., New, C., Szwajczewski, M., 1997. Performance trade-offs in manufacturing plants. *International Journal of Operations & Production Management* 17 (10), 1020–1033.
- Robinson, S. (2014). *Simulation: the practice of model development and use*. Palgrave Macmillan.
- Pidd, M. (2002, December). Reusing simulation components: simulation software and model reuse: a polemic. In *Proceedings of the 34th conference on Winter simulation: exploring new frontiers* (pp. 772-775). Winter Simulation Conference.
- Verwoerd, W. (2006). *Inleiding logistiek*. Uitgeverij Boom.
- Heerkens, J. M. G., & van Winden, A. (2012). Geen probleem, een aanpak voor alle bedrijfskundige vragen en mysteries.

Bijlage A: Schematische weergave maal-menglijn

-----Vertrouwelijk-----

Bijlage B: Schematische weergave perslijn

-----Vertrouwelijk-----

Bijlage C: Individuele procestijden op de maal-menglijn

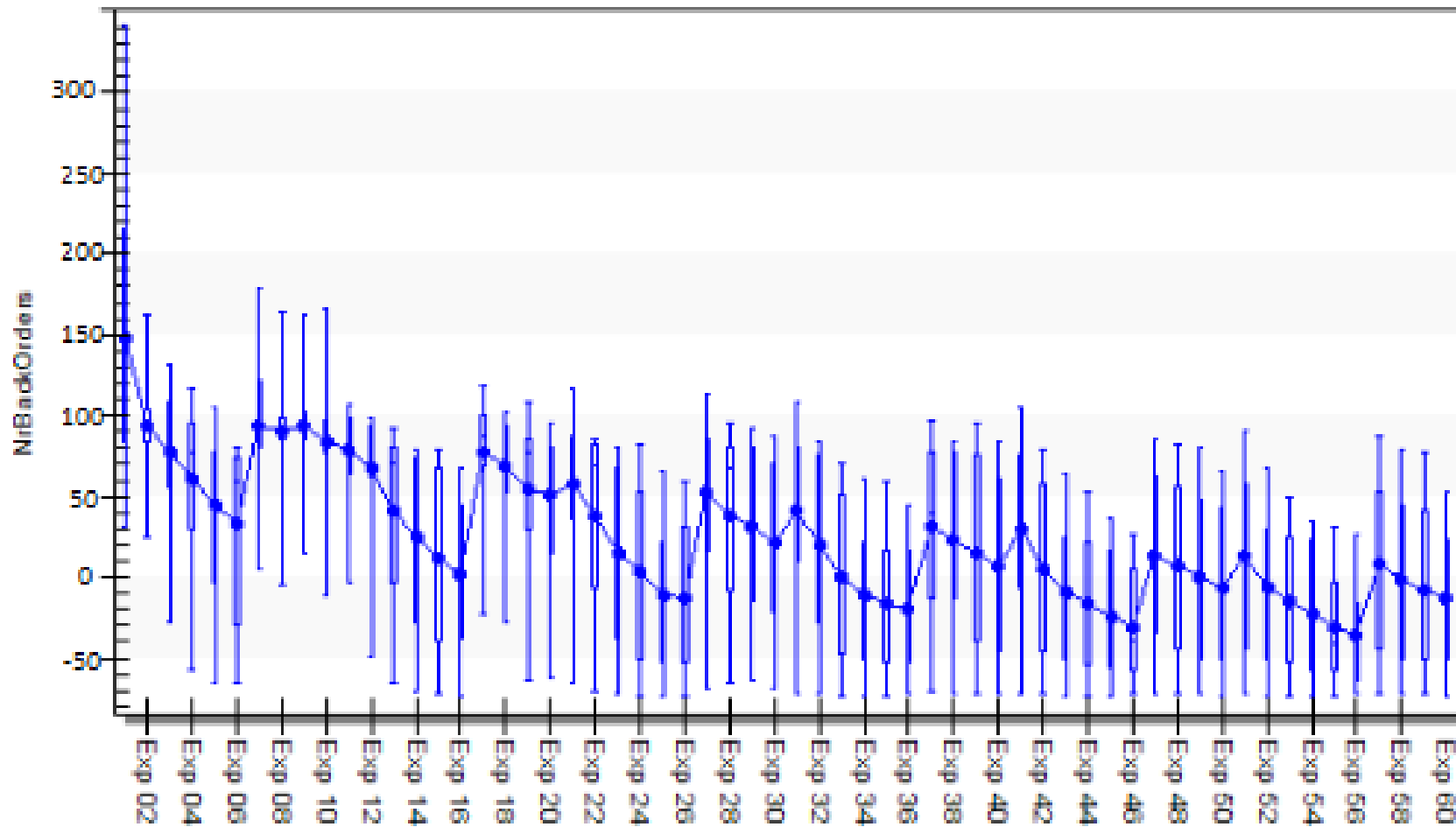
-----Vertrouwelijk-----

Bijlage D: Resultaten experimenten nalooptijd en productiesnelheid

	Niet- voorraad silo's	Nalooptijd (in sec)	Productiesnelheid (in sec/ton)	Backorders eind simulatie	Productie per dag	Aantal legingen per leging	Bezettingsgraad Perslijn	Percentage nalooptijd	Orders Te laat (per leging)
Exp 01	35	967	277.65	448.7	1767,37	60,86	0,71	0,19	15,65
Exp 02	35	967	270.71	394.4	1775,07	60,92	0,70	0,19	15,11
Exp 03	35	967	263.77	377.2	1779,93	60,94	0,68	0,19	13,49
Exp 04	35	967	256.83	360.7	1782,29	60,95	0,66	0,19	11,80
Exp 05	35	967	249.89	344	1787,12	61,02	0,65	0,19	10,17
Exp 06	35	967	242.94	333	1788,55	60,98	0,63	0,19	9,03
Exp 07	35	918	277.65	394	1774,46	60,96	0,71	0,18	15,12
Exp 08	35	870	277.65	391.1	1775,25	60,99	0,71	0,17	14,16
Exp 09	35	822	277.65	394.3	1775,32	60,96	0,71	0,16	15,19
Exp 10	35	773	277.65	383.8	1779,79	60,96	0,71	0,15	14,06
Exp 11	36	967	277.65	378.6	1768,60	60,98	0,71	0,19	13,70
Exp 12	36	967	270.71	368.1	1774,21	61,01	0,69	0,19	13,36
Exp 13	36	967	263.77	340.6	1777,66	60,99	0,68	0,19	10,81
Exp 14	36	967	256.83	324.6	1780,38	61,00	0,66	0,19	8,34
Exp 15	36	967	249.89	311.7	1783,88	61,05	0,64	0,19	9,21
Exp 16	36	967	242.94	301.7	1785,11	61,06	0,63	0,19	7,69
Exp 17	36	918	277.65	377.7	1772,12	61,01	0,71	0,18	13,35
Exp 18	36	870	277.65	368.5	1775,41	60,99	0,71	0,17	11,68
Exp 19	36	822	277.65	355.1	1777,44	61,00	0,71	0,16	11,33
Exp 20	36	773	277.65	351.2	1778,11	60,97	0,71	0,15	10,79
Exp 21	37	967	277.65	358.4	1769,76	61,02	0,71	0,19	10,78
Exp 22	37	967	270.71	337.3	1773,23	61,02	0,69	0,19	10,37
Exp 23	37	967	263.77	315	1777,13	61,10	0,68	0,19	9,80
Exp 24	37	967	256.83	302.8	1777,66	61,07	0,66	0,19	9,33
Exp 25	37	967	249.89	288.6	1778,48	61,07	0,64	0,19	4,60
Exp 26	37	967	242.94	287.7	1777,72	61,07	0,62	0,19	4,38
Exp 27	37	918	277.65	353.4	1772,40	61,00	0,71	0,18	10,43
Exp 28	37	870	277.65	338.2	1774,89	61,02	0,71	0,17	9,59
Exp 29	37	822	277.65	330.9	1774,98	61,04	0,71	0,16	9,53
Exp 30	37	773	277.65	321.5	1776,81	61,07	0,71	0,15	9,05
Exp 31	38	967	277.65	340.6	1768,86	61,04	0,71	0,19	10,75
Exp 32	38	967	270.71	319.3	1769,71	61,08	0,69	0,19	8,59
Exp 33	38	967	263.77	300.9	1772,37	61,13	0,68	0,19	8,29
Exp 34	38	967	256.83	288.5	1772,36	61,10	0,66	0,19	6,10
Exp 35	38	967	249.89	284.4	1771,22	61,05	0,64	0,19	3,65

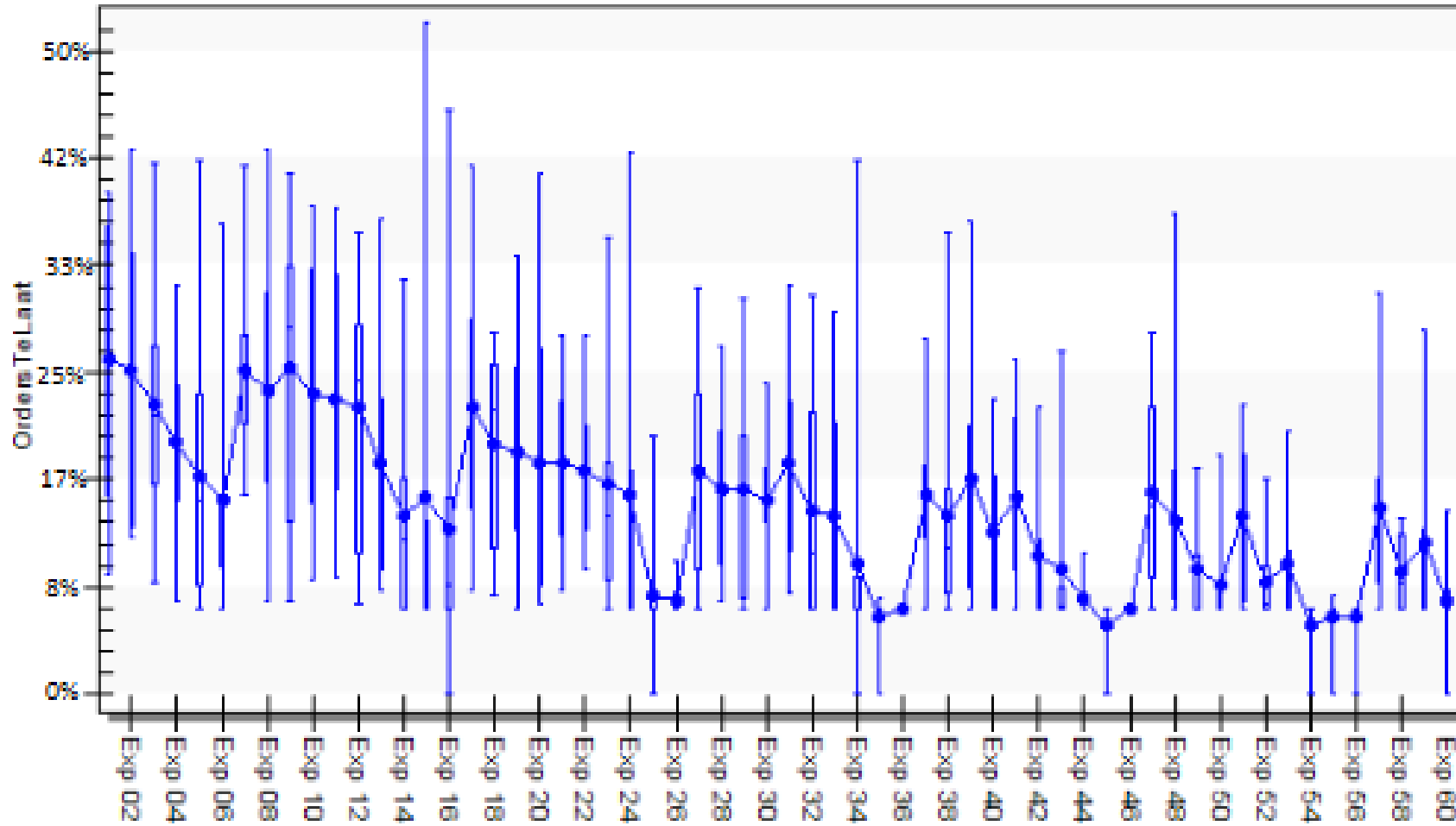
Exp 36	38	967	242.94	279.8	1771,21	61,08	0,62	0,19	4,00
Exp 37	38	918	277.65	330.6	1768,65	61,04	0,71	0,18	9,31
Exp 38	38	870	277.65	323.8	1769,36	61,05	0,71	0,17	8,35
Exp 39	38	822	277.65	315	1771,79	61,07	0,71	0,16	10,01
Exp 40	38	773	277.65	306.1	1772,10	61,09	0,71	0,15	7,52
Exp 41	39	967	277.65	329.2	1764,63	61,06	0,71	0,19	9,14
Exp 42	39	967	270.71	304.9	1766,85	61,10	0,69	0,19	6,49
Exp 43	39	967	263.77	289.8	1766,60	61,13	0,67	0,19	5,81
Exp 44	39	967	256.83	284	1766,08	61,11	0,66	0,19	4,45
Exp 45	39	967	249.89	275.8	1765,08	61,07	0,64	0,19	3,20
Exp 46	39	967	242.94	269	1765,35	61,09	0,62	0,19	4,00
Exp 47	39	918	277.65	313	1766,17	61,08	0,71	0,18	9,38
Exp 48	39	870	277.65	307.5	1767,02	61,11	0,71	0,17	8,01
Exp 49	39	822	277.65	300.8	1767,33	61,11	0,71	0,16	5,88
Exp 50	39	773	277.65	293.1	1768,40	61,12	0,71	0,15	5,05
Exp 51	40	967	277.65	314	1761,57	61,09	0,71	0,19	8,34
Exp 52	40	967	270.71	292.8	1762,75	61,15	0,69	0,19	5,25
Exp 53	40	967	263.77	284.6	1761,87	61,16	0,67	0,19	6,08
Exp 54	40	967	256.83	277.7	1760,44	61,08	0,65	0,19	3,20
Exp 55	40	967	249.89	268.7	1760,82	61,08	0,64	0,19	3,66
Exp 56	40	967	242.94	263.4	1760,64	61,09	0,62	0,19	3,60
Exp 57	40	918	277.65	307.8	1762,95	61,10	0,71	0,18	8,62
Exp 58	40	870	277.65	298	1763,24	61,13	0,71	0,17	5,69
Exp 59	40	822	277.65	292.1	1762,94	61,13	0,71	0,16	7,06
Exp 60	40	773	277.65	286.5	1763,38	61,12	0,71	0,15	4,34

Tabel D 1 Resultaten alle experimenten



Figuur D 1 Aantal Backorders aan het eind van de simulatie

Het aantal backorders bepaald door 300 van het aantal orders in het systeem af te trekken. Er is voor 300 gekozen, aangezien dit het gemiddeld aantal orders in het systeem is in de huidige situatie.



Figuur D 2 Percentage orders te laat geleverd

Bijlage E: Overzicht verschillende voersoorten

-----Vertrouwelijk -----

Bijlage F: Analyse productietijden perslijnen

-----Vertrouwelijk -----

Bijlage G: Resultaten experimenten

-----Vertrouwelijk -----

Bijlage H: Grafische weergave situatieanalyse

-----Vertrouwelijk -----

Bijlage I: Overzicht inputwaarden simulatiemodel

-----Vertrouwelijk -----