

Bacheloropdracht Technische Bedrijfskunde

Debottlenecking bij FrieslandCampina Domo Borculo



Student

Ralph van Zwieten

Begeleiders Universiteit Twente

Dr. Ir. Marco Schutten

Dr. Ir. Leo van der Wegen

Begeleider FrieslandCampina

Ing. Detmar Roessink, MBA

Voorwoord

Voor u ligt het verslag dat het eindresultaat is van het onderzoek dat ik gedaan heb ten behoeve van het afronden van mijn bacheloropleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Dit onderzoek heb ik uitgevoerd bij FrieslandCampina Domo te Borculo.

Dit verslag zoals het nu voor u ligt, had niet tot stand kunnen komen zonder de input van enkele personen die ik daar bij deze graag voor zou willen bedanken. Ten eerste mijn begeleiders vanuit de Universiteit Twente: Marco Schutten en Leo van der Wegen. Ik heb veel gehad aan de kritische opmerkingen die ze hebben gemaakt en de constructieve feedback die ze gaven. Dit is de kwaliteit van het onderzoek en dit verslag ten goede gekomen. Daarnaast stel ik hun flexibiliteit en de snelle beantwoording van mijn vragen zeer op prijs.

Ten tweede wil ik graag FrieslandCampina Domo Borculo bedanken. In het bijzonder dank ik Detmar Roessink voor de mogelijkheid die mij geboden is om mijn bacheloropdracht daar uit te voeren en voor zijn begeleiding hierin. Daarnaast dank ik iedereen binnen FrieslandCampina Domo Borculo die ten tijde van mijn aanwezigheid daar zijn of haar tijd beschikbaar heeft gesteld om mij te helpen bij het voltooien van mijn onderzoek.

Ten slotte wil ik graag mijn familie en vrienden bedanken voor hun steun tijdens mijn studie. Jullie inspanningen, interesse en aanmoedigingen zijn van grote waarde geweest tijdens mijn studie.

Veel leesplezier gewenst!

Ralph van Zwieten

Managementsamenvatting

In dit verslag bespreken we een onderzoek dat heeft plaatsgevonden in het kader van de afronding van de bacheloropleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Dit onderzoek behandelt de identificatie van de bottleneck van het productieproces van lactose bij Domo Borculo. We beantwoorden hierbij de volgende onderzoeksvraag:

Wat is de bottleneck van de lactoseproductie bij Domo Borculo en hoe kan de capaciteit van deze bottleneck verhoogd worden?

Ten eerste brengen we in kaart hoe het huidige productieproces bij Domo Borculo eruit ziet. Dit bestaat globaal gezien uit twee hoofdstromen: de productie van lactoserijke producten en de productie van eiwitrijke producten. Dit onderzoek richt zich alleen op de productie van lactoserijke producten. Hierbij richten we ons op een specifiek deel binnen dit proces: van na-indampers tot en met het filtreerproces. De stappen hiertussen bestaan uit kristallisatie 1 (K1), nakristallisatie en de oplosstraten.

Door technische veranderingen die zijn doorgevoerd, zijn de (technische) capaciteiten en rendementen van de lactosefabriek veranderd. Aangezien Domo Borculo op dit moment minder kan produceren dan dat er vraag naar haar producten is (onder andere door de sterke vraag vanuit China), zijn verbeteringen binnen het huidige productieproces wenselijk. Om deze verbeterslag te maken, gaan we op zoek naar de vertragende stap in het productieproces: de bottleneck. We hebben hiervoor een periode van tien weken geanalyseerd. Binnen deze periode hebben we van de genoemde stations (na-indamp, K1 etc.) de bezettingsgraad bepaald. Het station met de hoogste bezettingsgraad over de gehele onderzochte periode is de bottleneck van het productieproces.

Uit bovenstaande analyse volgt dat meerdere stappen van het productieproces samen de bottlenecks van het productieproces zijn: na-indampers, K1 en nakristallisatie. Voor deze stations kijken we naar de oorzaken die ten grondslag liggen aan het ontstaan van deze bottlenecks. Hiervoor bekijken we welk deel van de tijd elk station met een bepaalde activiteit bezig is. Voorbeelden van deze activiteiten zijn productie, reiniging en onderhoud. Bij deze analyse valt op dat K1 en nakristallisatie een groot deel van de tijd product klaar hebben staan voor verdere bewerking door de oplosstraten, maar dat diezelfde oplosstraten een groot deel van de tijd wachten op aanvoer van K1 en nakristallisatie. Deze situatie ontstaat om twee redenen: Ten eerste zorgt de onregelmatige aanvoer vanaf de na-indampers ervoor dat K1 het ene moment veel tanks gevuld krijgt en het andere moment geen. Dit werkt door in de hoeveelheid product die klaarstaat voor de oplosstraten. Ten tweede zijn de oplosstraten niet altijd beschikbaar ook al krijgt het systeem het signaal dat dit wel zo is. Een belangrijke oorzaak hiervan is de reststromen van de oplosstraat. Zolang de tanks van deze reststromen gevuld zijn, kan de oplosstraat niet produceren, omdat hierbij nieuwe restproducten zouden ontstaan. Hierdoor blokkeren deze stromen verdere productie van de oplosstraat.

Uit de genoemde oorzaken volgens enkele aanbevelingen voor Domo Borculo. Beide oorzaken zijn te herleiden tot de na-indampers. De na-indampers verwerken de genoemde reststromen en zorgen door de huidige manier van produceren voor een onregelmatige aanvoer van product bij de stappen die volgen. Door de planning van de na-indampers zó op te stellen dat een gelijkmatigere aanvoer naar K1 ontstaat, verbetert tevens de aanvoer van de rest van het proces. Ook kan door een betere planning de verwerking van de reststromen op tijd gerealiseerd worden, waardoor ook een goede afvoer bij de oplosstraat en daardoor een goede doorstroom van het gehele proces is gewaarborgd.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	ii
Managementsamenvatting	iii
Inhoudsopgave	iv
Hoofdstuk 1 Inleiding	1
1.1 Introductie FrieslandCampina en Domo Borculo	1
1.2 Aanleiding onderzoek.....	2
1.3 Hoofdvraag	2
1.4 Deelvragen en methodologie	2
Hoofdstuk 2 Het huidige productieproces	4
2.1 Globaal productieproces	4
2.2 Het lactoseproductieproces	6
2.3 Scope	8
2.4 Samenvatting van het productieproces	9
Hoofdstuk 3 Literatuurstudie	10
3.1 Definitie bottleneck.....	10
3.2 Overall Equipment Effectiveness.....	12
3.3 Toepasbaarheid op Domo Borculo	18
3.4 Conclusie.....	19
Hoofdstuk 4 De bottleneck van het productieproces van lactose	20
4.1 Methode	20
4.2 Resultaten.....	21
4.3 Conclusie.....	23
Hoofdstuk 5 Oorzaken voor het ontstaan van de bottlenecks en oplossingen om de capaciteit van de bottlenecks te verhogen.....	24
5.1 Oorzaken voor het ontstaan van de bottleneck.....	24
5.2 Conclusie.....	30
Hoofdstuk 6 Conclusies en aanbevelingen	32
6.1 Beantwoording van de hoofdvraag	32
6.2 Andere aanbevelingen.....	32
6.3 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek.....	34
Bibliografie.....	38
Bijlage	39
Bijlage A	39

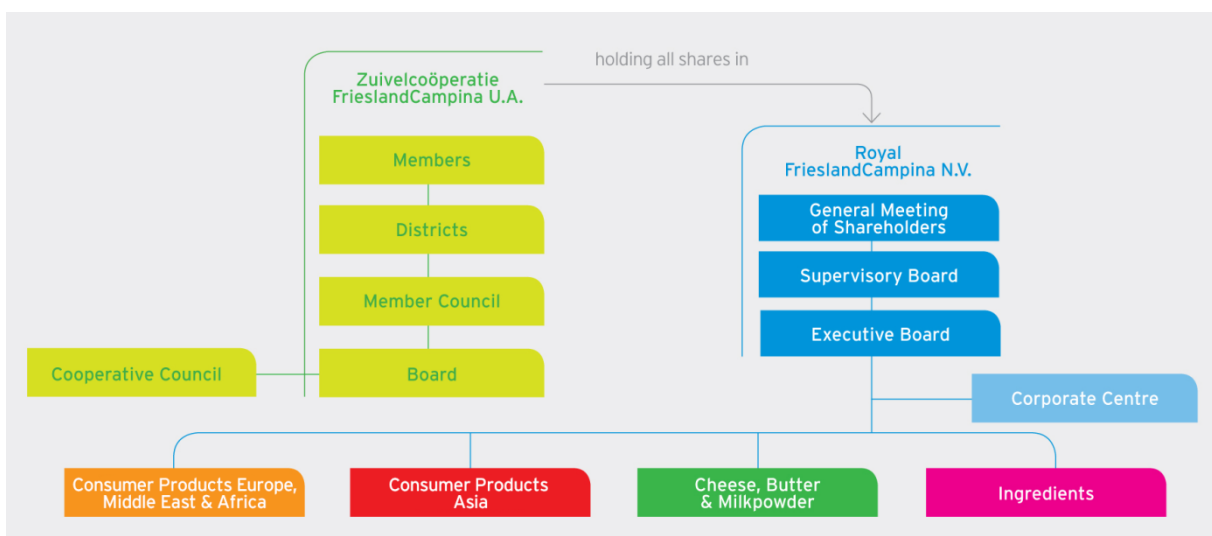
Hoofdstuk 1 Inleiding

Dit verslag beschrijft een onderzoek dat is uitgevoerd bij FrieslandCampina Domo Borculo in het kader van een bacheloropdracht voor de opleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Paragraaf 1.1 begint met een korte introductie van FrieslandCampina en Domo Borculo in het bijzonder. Paragraaf 1.2 geeft de aanleiding van het onderzoek. De probleemstelling die hieruit volgt is te lezen in paragraaf 1.3. De deelvragen behorend bij deze hoofdvraag komen aan bod in paragraaf 1.4, evenals de methodologie die we hanteren voor het beantwoorden hiervan.

1.1 Introductie FrieslandCampina en Domo Borculo

FrieslandCampina is de grootste zuivelonderneming in Nederland en één van de vijf grootste zuivelondernemingen ter wereld (FrieslandCampina, 2015). Elke dag voorziet het bedrijf miljoenen consumenten van zuivelproducten met waardevolle voedingsstoffen. FrieslandCampina levert consumentenproducten als zuiveldranken, kindervoeding, kaas en desserts in Europa, Azië en Afrika. Ook worden producten geleverd aan professionele afnemers, zoals room- en boterproducten aan bakkerijen en horecabedrijven. Daarnaast produceert FrieslandCampina ingrediënten en halffabricaten voor producenten uit de voedingsmiddelenindustrie en de farmaceutische sector wereldwijd. FrieslandCampina is een vennootschap dat volledig in handen is van Zuivelcoöperatie FrieslandCampina U.A., met meer dan 19.000 leden-melkveehouders in Nederland, Duitsland en België één van de grootste zuivelcoöperaties in de wereld.

Figuur 1 laat het organigram zien van FrieslandCampina. Domo valt onder de afdeling Ingredients, rechts onderin deze figuur. Bij de locatie van Domo in Borculo is wei de belangrijkste grondstof die geleverd wordt vanuit andere productielocaties van FrieslandCampina. Deze wei is een restproduct van deze locaties en komt vrij bij de productie van kaas. Deze wei bevat allerlei belangrijke voedingsstoffen zoals eiwitten, mineralen, vitamines en lactose. Domo Borculo is in staat deze voedingsstoffen uit de wei te halen en van elkaar te scheiden om zo meerdere eindproducten te produceren. Deze producten hebben verschillende toepassingen binnen de farmaceutische industrie, kindervoeding en celvoeding. Deze producten moeten, omwille van de kwetsbare doelgroep, aan strikte kwaliteitseisen voldoen.



Figuur 1: Het organigram van FrieslandCampina

FrieslandCampina probeert in te spelen op de groeiende vraag naar zuivelproducten. Een hot item op dit moment is de enorme vraag naar melkpoeder vanuit China. Bij Domo Borculo is sinds kort een nieuwe fabriek, Aeolus, in bedrijf om Vivinal® GOS (galacto-oligosacharides) te produceren. Dit is een ingrediënt dat uit bestanddelen van melk wordt gemaakt, rijk is aan voedingsvezels en wordt gebruikt als kindervoeding. Daarnaast is ook een nieuwe fabriek in aanbouw: Mountain. Deze fabriek zal op korte termijn dienen voor het verwerken van melk tot melkpoeder. Op de lange termijn gaat deze fabriek over op de productie van kindervoeding.

1.2 Aanleiding onderzoek

Zoals paragraaf 1.1 laat zien, is Domo Borculo bezig met innovaties om haar klanten van de beste en nieuwste producten te blijven voorzien. Naast deze productinnovaties zijn ook procesinnovaties binnen de huidige productie van eiwit- en lactosepoeder van belang voor de voortgang van Domo Borculo. Deze twee producten worden gemaakt binnen dezelfde fabriek. De productie van lactose is een complex proces dat hoofdstuk 3 nader uitlegt. Graag zou Domo Borculo willen weten welke stap(pen) binnen het productieproces het geheel vertragen, oftewel wat de bottleneck van het proces is. Door technische veranderingen die zijn doorgevoerd, zijn de (technische) capaciteiten en rendementen van de lactosefabriek veranderd. Aangezien Domo Borculo op dit moment minder kan produceren dan dat er vraag naar haar producten is (onder andere door de sterke vraag vanuit China), zijn verbeteringen binnen het huidige productieproces wenselijk. Dit is ook weergegeven in een visie van de locatie: "Capaciteitstoename lactoseproductie met 25% in Borculo door debottlenecking". Domo Borculo wil graag een hogere output van dit proces, maar door de complexiteit van dit proces en de (technische) veranderingen die vaak plaatsvinden, is het lastig om precies vast te stellen welke processtap(pen) ze nu het best aan kunnen pakken.

1.3 Hoofdvraag

Zoals gezegd, is meer inzicht gewenst in de stap die snelheidsbepalend is voor het gehele proces: de bottleneck. Domo Borculo zou graag willen weten wat de bottleneck van de lactoseproductie is en hoe van deze productiestap de capaciteit verhoogd zou kunnen worden. De gehele productielijn produceert namelijk ten hoogste zo snel als de snelheid waarmee de bottleneck produceert. Het verhogen van de capaciteit van de bottleneck zorgt dus voor een hogere productiecapaciteit van de gehele productielijn. Bij dit onderzoek richten we ons op dit probleem waarbij we de volgende hoofdvraag formuleren:

Wat is de bottleneck van de lactoseproductie bij Domo Borculo en hoe kan de capaciteit van deze bottleneck verhoogd worden?

1.4 Deelvragen en methodologie

Voor het beantwoorden van bovenstaande hoofdvraag stellen we de volgende deelvragen op:

1. *Hoe ziet het huidige productieproces van de lactosefabriek bij Domo Borculo eruit? (hoofdstuk 2)*
2. *Welke manieren waarop de bottleneck van een productieproces geïdentificeerd kan worden zijn in de literatuur bekend en welke methode is het meest geschikt voor Domo Borculo? (hoofdstuk 3)*
3. *Wat is de bottleneck binnen het huidige productieproces in de lactosefabriek? (hoofdstuk 4)*
4. *Wat zijn oorzaken voor het ontstaan van de bottleneck? (hoofdstuk 5)*

5. *Welke oplossingen ter verhoging van de capaciteit van de bottleneck volgen uit deze oorzaken? (hoofdstuk 5)*

De methodologie die we hanteren bij het beantwoorden van bovenstaande deelvragen is als volgt:

1. *Hoe ziet het huidige productieproces van de lactosefabriek bij Domo Borculo eruit?*

Voordat gekeken kan worden naar mogelijkheden ter verbetering van het productieproces, dient eerst helder te zijn hoe dit productieproces eruit ziet. Door informatie te verzamelen aan de hand van interne documenten, mee te draaien in (productie)shifts en gesprekken te voeren met operators en productiemanagers creëren we een overzicht van het huidige productieproces. Dit kan gebruikt worden bij het identificeren van knelpunten en bij het verbeteren van het productieproces.

2. *Welke manieren waarop de bottleneck van een productieproces geïdentificeerd kan worden, zijn in de literatuur bekend en welke methode is het meest geschikt voor Domo Borculo?*

Deze vraag is tweeledig. Ten eerste bestuderen we de literatuur om tot een definitie te komen van de bottleneck van een proces. Deze definities toetsen wij op toepasbaarheid binnen Domo Borculo om zo tot de meest bruikbare definitie te komen.

3. *Wat is de bottleneck binnen het huidige productieproces in de lactosefabriek?*

De definitie van de bottleneck gevonden bij deelvraag 2 passen wij toe op de data die beschikbaar zijn over de verschillende processtappen van de lactoseproductie. Wij bepalen aan de hand van deze definitie welke data wij nodig hebben en op welke wijze wij deze moeten analyseren om tot een antwoord te komen op deze deelvraag. Het productieproces van lactose bij Domo Borculo is grotendeels een gesloten productieproces. Dit houdt in dat alle producten door buizen en tanks stromen zonder dat het proces daarbinnen zichtbaar is. Hierdoor kunnen geen metingen worden gedaan die bruikbaar zijn voor het bepalen van de bottleneck. Domo Borculo verzamelt echter zelf veel gegevens over het productieproces. Gegevens zoals welk product er op welk moment door welk station verwerkt wordt en welke activiteit het station op welk moment uitvoert. Deze data slaat Domo Borculo op in een database. De benodigde data kunnen worden opgehaald uit de database door gebruik te maken van iHistorian. Deze data gebruiken wij voor de bottleneckanalyse. Hierbij verwerken we de gegevens tot bruikbare resultaten waarop we onze conclusie baseren.

4. *Wat zijn oorzaken voor het ontstaan van de bottleneck en welke oplossingen ter verhoging van de capaciteit van de bottleneck volgen hieruit?*

Verscheidene oorzaken kunnen ten grondslag liggen aan het ontstaan van de bottleneck. Door gebruik van literatuur, data-analyse en gesprekken met personeel dat werkzaam is in de fabriek en personeel dat werkzaam is op kantoor identificeren wij oorzaken die ervoor zorgen dat het station dat als bottleneck is geïdentificeerd bij deelvraag 3 de bottleneck is.

5. *Welke oplossingen ter verhoging van de capaciteit van de bottleneck volgen uit deze oorzaken? (hoofdstuk 5)*

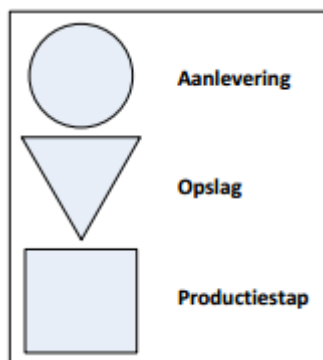
Op basis van de oorzaken die we vinden voor het ontstaan van de bottleneck doen we enkele aanbevelingen ter verhoging van de capaciteit van de bottleneck. Ook geven we in hoofdstuk 6 nog enkele andere aanbevelingen waaronder aanbevelingen over mogelijke vervolgonderzoeken.

Hoofdstuk 2 Het huidige productieproces

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de deelvraag: “Hoe ziet het huidige productieproces van de lactosefabriek bij Domo Borculo eruit?” In het vorige hoofdstuk is de structuur van FrieslandCampina en de verschillende groepen waaruit het bestaat weergegeven. Zoals gezegd, valt Domo onder de groep Ingredients. In dit hoofdstuk gaan we verder inzoomen op hoe het productieproces binnen Domo Borculo eruit ziet. Zoals aangegeven in hoofdstuk 1 is het productieproces van lactose bij Domo Borculo complex. Redenen hiervoor zijn de vele grondstoffen die Domo Borculo verwerkt tot verschillende producten en de vele reststromen die grotendeels hergebruikt worden. Om dit complexe proces helder weer te geven, behandelen we het eerst het gehele proces globaal, waarna we dieper ingaan op het lactoseproces. Paragraaf 2.1 geeft dit globale proces weer. Deze paragraaf gaat ook kort in op andere stromen dan de lactose binnen Domo Borculo. Paragraaf 2.2 gaat vervolgens gedetailleerd in op het productieproces van lactose. Paragraaf 2.3 behandelt de stappen die de scope vormen van dit onderzoek in verder detail. Ter afsluiting van dit hoofdstuk geeft paragraaf 2.4 een samenvatting van het productieproces.

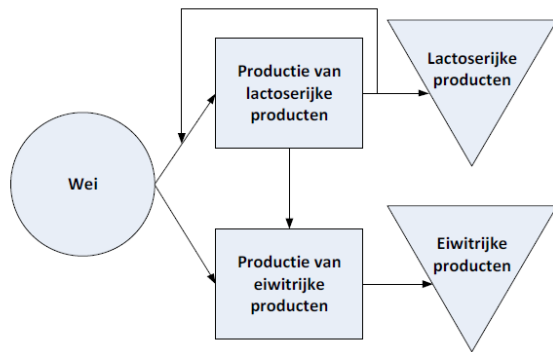
2.1 Globaal productieproces

Bij het weergeven van het productieproces hanteren we de notatiewijze zoals weergegeven in Figuur 2.



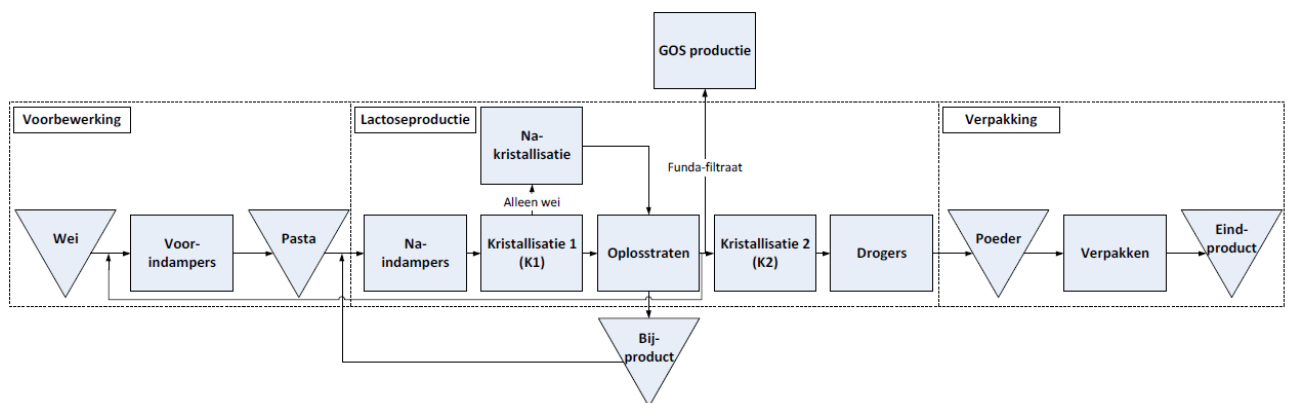
Figuur 2: legenda productieschema's

Domo Borculo gebruikt wei als basisgrondstof voor alle productieprocessen. Wei bestaat in allerlei varianten en wordt gebruikt voor verschillende eindproducten. Wei is een bijproduct van kaas. Andere locaties van FrieslandCampina produceren deze kaas. Dit maakt de toelevering naar Borculo afhankelijk van deze kaasproductie. De beschikbare wei wordt centraal verdeeld over de verschillende wei-verwerkende locaties van FrieslandCampina, waaronder Domo Borculo. De wei wordt verwerkt in twee productiestromen: de productie van lactose en de productie van eiwitpoeder. Figuur 3 toont hiervan een schematische weergave.



Figuur 3: Globaal productieproces van Domo Borculo (FrieslandCampina)

De wei wordt door vrachtwagens aangeleverd bij de locatie in Borculo en gaat vanuit daar naar één van beide productiestromen. Bij de onderste stroom in Figuur 3 ontstaan na enkele bewerkingen (filtreren, indampen, drogen) eiwitrijke producten. Deze producten gaan direct in de verkoop, denk hierbij aan de ‘whey protein’ voor sporters. De bovenste stroom geeft de productie van lactoserijke producten weer. Ook voor deze stroom geldt dat na enkele bewerkingsstappen (indampen, kristalliseren, etc.) de gewenste lactoseproducten ontstaan. Dit is echter een deel van het proces. Er ontstaan namelijk verschillende bijproducten waarvan een deel toegevoegd wordt aan de productie van eiwitrijke producten en een deel dat op verschillende manieren terugkeert in het lactoseproces.



Figuur 4: De verschillende stappen van wei tot verpakt lactosepoeder (FrieslandCampina)

In bovenstaand schema is de plek van de lactosefabriek in de gehele keten van Domo Borculo te zien. De drie vakken geven aan uit welke procesdelen de gehele fabriek bestaat. Globaal bestaat het proces van ontvangst tot verkoop uit drie stappen (zie Figuur 4): voorbereiding, lactoseproductie en verpakking.

Bij de voorbereiding komen de verschillende soorten wei aan. Deze soorten bestaan veelal uit wei en permeaat (wei waarvan de eiwitten er grotendeels zijn uitgefilterd). Zoals gezegd is wei een restproduct bij de productie van kaas. Deze kaas komt voort uit een productieproces met melk als grondstof. De wei bestaat dan ook uit vergelijkbare ingrediënten als melk: lactose, eiwitten, vetten, mineralen en organische zuren. Alle componenten behalve het water samen noemen we de droge stof van de wei. Bij de voorbereiding wordt de aangeleverde wei eerst gecontroleerd op verschillende (kwaliteits)eisen: een operator meet of de temperatuur van de wei niet te hoog is, wat de zuurgraad is en of het product microbiologisch in orde is. Daarna gaat de wei naar de voorindampers en daarin ondergaat het afhankelijk van de hoeveelheid droge stof een bepaalde

temperatuur-tijdsbehandeling, zodat alle uitgaande producten van deze stap een vergelijkbaar drogestofgehalte hebben. Binnen dit gehalte droge stof kan de samenstelling echter wel variëren: de droge stof kan bijvoorbeeld meer of minder lactose of eiwit bevatten. Afhankelijk van het gehalte aan lactose en eiwit gaat het naar de eiwit- of lactoseproductie. Bij dit onderzoek richten we ons op de lactoserijke productie. Paragraaf 2.2 gaat hier dieper op in. Nadat dit proces heeft plaatsgevonden, gaan de eindproducten naar de verpakkingsafdelingen. Voor het verpakt wordt, gaat het door meerdere buizen waarin een metaalzeef is geplaatst. Deze zeef bevat een sterke magneet die veel metaaldeeltjes, die bijvoorbeeld afgeslepen zijn van reactortanks, uit het poeder haalt. Voor het product daadwerkelijk in zakken of bulkwagens gaat, vindt nog een laatste test op de aanwezigheid van metaal plaats.

2.2 Het lactoseproductieproces

Deze paragraaf behandelt het productieproces van lactose. Ook hier begint de beschrijving van het proces in globale termen, daarna volgen bepaalde onderdelen van dit proces in meer detail: na-indampers, kristallisatie 1, nakristallisatie en de oplosstraten. Een schematische weergave van het gehele productieproces is te zien in Figuur 5 op pagina 7.

De wei wordt eerst door de voorindampers ingedikt tot een pasta. Deze pasta bevat dezelfde ingrediënten als de wei, maar bevat minder water. Ook het permeaat wordt eerst ingedikt door de voorindampers waardoor zogeheten permeaatpasta ontstaat. Deze pasta's gaan vervolgens naar de na-indampers om daar nog meer water uit het product te halen. Dit is een continu proces. Vervolgens gaat het naar kristallisatie 1 (K1), waar door koeling van het product nucleatie (begin van de vorming van kristallen) en kristalgroei van de lactose plaatsvindt. Dit proces vindt plaats in grote tanks waarin het product geroerd wordt. Dit is een batch proces. Als het product lang genoeg is uitgekristalliseerd, gaat het, indien de pasta afkomstig is van permeaat, rechtstreeks naar de oplosstraten. De pasta afkomstig van wei ondergaat nog een tussenstap: nakristallisatie (blauwe pijl in Figuur 5). Na de nakristallisatie gaat ook deze stroom naar de oplosstraat. Per oplosstraat kan er slechts één type product per keer verwerkt worden. Dit heeft te maken met kwaliteitseisen aan bepaalde producten. Op het moment dat meerdere producten per keer verwerkt worden, komt de kwaliteit van deze producten in het geding door mogelijke vermenging van deze producten. Daarnaast is er nog een speciaal product, genaamd lactohale halffabrikaat 204, dat slechts op één oplosstraat verwerkt wordt en waarbij de andere oplosstraat stil moet staan. De oplosstraten ontkleuren onder andere het product en halen eiwitten eruit. Operators nemen veel monsters gedurende het gehele productieproces om hieraan testen uit te voeren. Zo ook bij de oplosstraten en de filtratie die daarop volgt. De juiste zuurgraad is van cruciaal belang bij deze stap. In het product dat gefiltreerd wordt, bevinden zich namelijk eiwitten. Bij een bepaalde zuurgraad (pH) zijn deze eiwitten opgelost en gaan ze door het filter heen. Doordat ze opgelost zijn, is de stroom viskeuzer en gaat het product minder snel door het filter. Als de zuurgraad juist is afgesteld, gaan de eiwitten uit de oplossing en kan het filter ze uit de stroom halen en gaat de flow van het product omhoog. Vandaar dat een operator dit test en waar nodig bijstuurt om een zo hoog mogelijke flow te behalen. Na de oplosstraten gaat een deel van de producten naar de GOS-productie (zie hoofdstuk 1), afhankelijk van de vraag naar dat product. Dit proces vindt plaats in een andere fabriek genaamd Aeolus en valt buiten de scope van dit onderzoek. De rest van de producten gaat naar kristallisatie 2, waar het product opnieuw afkoelt en kristallen vormt. Tot slot gaan de verschillende producten naar de drogers en van daaruit naar de verpakkingsafdeling.

Figuur 5: Het productieproces van lactose

2.3 Scope

Dit onderzoek richt zich, in lijn met de opdrachtomschrijving vanuit Domo Borculo, op de eerste stappen uit bovengenoemd productieproces: van na-indampers tot en met oplosstraten. De reden dat we bij dit onderzoek de voorfabriek niet betrekken is dat deze volgens Domo Borculo gezien de huidige tankbezetting en capaciteit niet de bottleneck van het gehele proces kan zijn. Zoals te zien is in Figuur 5 komen bij de na-indampers verschillende producten aan vanuit de voorbereiding: suikerwater-geraffineerd pasta (SW-geraffineerd pasta), suikerwater-geelpasta (SW-geelpasta), permeaatpasta en weipasta, aangegeven door respectievelijk een gele, oranje, groene en blauwe pijl. We lichten kort toe hoe deze producten bij de na-indamper komen. De SW-geraffineerd pasta komt voort uit de droogstap. Na deze stap gaat dit product weer terug naar de na-indamp. De aankomst van SW-geelpasta is tweeledig: enerzijds vindt een deel van de levering plaats door spoelwei, anderzijds is het een restproduct van de oplosstraten, waar we later op ingaan. Spoelwei ontstaat doordat tanks verderop in de productie worden nagespoeld met water om de laatste productresten uit deze tanks te halen. De combinatie van het water en het product heet spoelwei. Via de voorindampers en tussentijdse opslag komt de SW-geelpasta vervolgens bij de na-indampers. De aanvoer van permeaatpasta bestaat ook uit twee delen: een deel van de permeaatpasta leveren andere locaties aan en een deel vormen de indampers uit permeaat. Dit permeaat is afkomstig uit de voorbereiding waar IFT-wei (wei voor kindervoeding), zonder kleurstof (anatto-vrij) onder hoge druk door een filter wordt geperst. Dit proces noemen we ultrafiltratie. Het permeaat is de productstroom die door het filter heengaat. Het product dat in het filter achterblijft heet het retentaat. Het retentaat bevat grotendeels eiwitten en gaat dan ook naar de eiwitrijke productie. Het permeaat wordt verder ingedampt, wat resulteert in de genoemde permeaatpasta. De vierde stroom is de weipasta: vrachtwagens leveren dit aan in de vorm van dunne wei en na een indampstap is het weipasta. Al deze producten komen dus via verschillende routes aan bij de na-indampers. Figuur 5 laat ook zien dat na de kristallisatie de SW-geraffineerd pasta de oplosstraat overslaat en direct doorgaat naar de drogers. De drie andere typen producten gaan wel door deze oplosstraten. Dit deel van het proces bestaat echter ook weer uit meerdere stappen die we hieronder kort beschrijven.

De producten komen vanuit K1 en nakristallisatie aan in een voorlooptank van de oplosstraat. Deze tank dient als buffer voor de eerste bewerking binnen de oplosstraat: de decaners. De ingaande suspensie wordt door de centrifugale kracht van de binnenste trommel naar de buitenwand geduwd. De zwaarste deeltjes (lactosekristallen) zullen het meest tegen de wand aan worden geduwd. Op deze wijze scheidt de vaste stof zich van de vloeistof. De vaste lactose heet vanaf dat moment lactoseslurry en de vloeibare substantie heet moederloog. De eiwitten die in het product zitten, gaan mee met deze moederloog. De lactoseslurry wordt naar een tussenbuffer afgevoerd. Via de overloop gaat de moederloog naar een buffertank. Hiervandaan gaat het terug naar de na-indampers.

Nadat de eerste scheiding heeft plaatsgevonden in lactoseslurry en moederloog, vindt een tweede scheiding plaats door middel van zeefcentrifuges. De reden dat zeefcentrifuges worden gebruikt is het zo goed mogelijk scheiden van lactoseslurry in natte lactose en SW-geel. Een andere reden is dat de decanter verstopt zou kunnen raken, mocht het in één stap plaatsvinden. Bij deze zeefcentrifuges is de natte lactose de korrelige substantie en SW-geel de vloeistof die uit de zeefcentrifuge komt. De natte lactose wordt opgevangen in een trilgoot en afgevoerd naar een oplosbak. Er vindt een circulatieproces plaats tussen de oplosbak en een oplostank. Het circuleren vindt plaats onder toevoeging van stoom. Door stoom te injecteren met een temperatuur tot 92°C zal de natte lactose geheel oplossen. Dit circuleren gaat net zolang door tot het gewenste drogestofgehalte (°Brix) is

bereikt. Zodra een oplostank klaar is met circuleren, kan het product worden gefilterd. De verontreinigingen gebonden aan de actieve kool (een stof die wordt toegevoegd om de reiniging van het product uit te voeren) en de resterende eiwitten worden door het filter en een laag kiezel uit de vloeistof gefilterd. Het zuivere filtraat wordt vervolgens via een ander type filter in een kristallisatietank gepompt. Hier vindt vervolgens koeling en kristallisatie plaats, waarna droging en verpakking volgen.

2.4 Samenvatting van het productieproces

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de deelvraag: *“Hoe ziet het huidige productieproces van de lactosefabriek bij Domo Borculo eruit?”*. De verschillende onderdelen van dit productieproces zijn in de voorgaande paragrafen behandeld. Deze paragraaf geeft een samenvatting van dit proces.

Verschillende grondstoffen van variërende samenstelling komen aan bij de voorfabriek van Domo Borculo. Op basis van de samenstelling van deze grondstoffen ondergaan ze een bepaalde warmtebehandeling bij de indampers. Hierna vindt kristallisatie plaats om de suiker (lactose) te scheiden van de vloeistof. Een deel van de producten gaat via een extra kristallisatiestap naar de oplosstraat en een deel gaat hier rechtstreeks naartoe. De oplosstraat ontkleurt en reinigt het product waarna de vloeistof door een filter gaat en er opnieuw kristallisatie plaatsvindt. Ten slotte worden de lactosekristallen gedroogd en verpakt.

Hoofdstuk 3 Literatuurstudie

Zoals aangegeven in hoofdstuk 1, beantwoorden we deelvraag 2 aan de hand van een literatuurstudie. Deze vraag luidt: *“Welke manieren waarop de bottleneck van een productieproces geïdentificeerd kan worden, zijn in de literatuur bekend en welke methode is het meest geschikt voor Domo Borculo?”* Dit hoofdstuk behandelt de verschillende geraadpleegde bronnen. Paragraaf 3.1 en paragraaf 3.2 behandelen verschillende definities van de bottleneck van een proces en de kenmerken van elk van deze definities. Vervolgens is in paragraaf 3.3 te lezen welke definitie het meest geschikt is om te gebruiken voor het productieproces zoals dat beschreven staat in hoofdstuk 2. Paragraaf 3.4 geeft een conclusie van dit hoofdstuk.

3.1 Definitie bottleneck

Voordat in de praktijk gekeken kan worden naar de bottleneck van een proces, dient eerst helder te zijn wat de definitie van een bottleneck is. In deze paragraaf laten we zien dat er verschillende definities bestaan om een bottleneck mee aan te duiden. Deze en de volgende paragraaf bespreken verschillende definities, waarna in paragraaf 3.3 de toepasbaarheid van elk van deze definities aan bod komt.

Volgens Hopp en Spearman (2000) bestaan er verschillende parameters om een productielijn mee te beschrijven. Deze parameters zijn belangrijke numerieke weergaven van productieprocessen. Aangezien productieprocessen per fabriek verschillen, verschillen ook de waarden van deze parameters. Een belangrijke parameter om een productieproces te beschrijven is de bottleneck rate. Deze parameter is als volgt gedefinieerd:

De bottleneck rate is de snelheid (aantal onderdelen per tijdseenheid of aantal taken per tijdseenheid) van de bottleneck van een productieproces.

Een bepaald station kan uit meerdere machines met dezelfde functie bestaan. Als deze machines samen de bottleneck vormen van een gehele productielijn, is de snelheid waarmee deze machines samen produceren de bottleneck rate. Ter verduidelijking bekijken we een concrete situatie: bij Domo Borculo bestaat de kristallisatiestap bijvoorbeeld uit 22 tanks. Als deze tanks samen de bottleneck van het gehele productieproces vormen, is de snelheid waarmee deze tanks produceren de bottleneck rate.

In bovengenoemde definitie komt het woord bottleneck voor. Deze definiëren Hopp en Spearman (2000) als volgt:

De bottleneck van een productieproces is het werkstation dat op de lange termijn de hoogste bezettingsgraad heeft.

Bovengenoemde definitie kent twee aspecten die we nader toelichten. Ten eerste de bezettingsgraad. Ook hiervoor kennen Hopp en Spearman (2000) een definitie:

De bezettingsgraad (EN: utilization) van een werkstation is het deel van de tijd dat de machine niet stil staat vanwege een gebrek aan levering van materiaal dat die stap nodig heeft voor verdere productie.

Dit deel van de tijd bevat onder andere de tijd die het werkstation in productie is. Ook bevat het de tijd die het werkstation aanvoer klaar heeft staan maar niet in staat is hiermee verder te gaan. Dit

kan zijn door toedoen van een kapotte machine bij het betreffende station, het opstarten van een machine bij het betreffende station of anderszins oorzaken zoals pauze van een werknemer die voorkomen dat het werkstation verder kan terwijl er wel sprake is van voldoende aanvoer van de benodigde stoffen.

Ten tweede is er sprake van 'de lange termijn' in de definitie van de bottleneck zoals hierboven vermeld. Hiermee bedoelen we dat uitval door machinefalen, pauzes van operators, kwaliteitsproblemen, etc., uitgemiddeld wordt over de onderzochte tijdshorizon. Bij een te korte periode kan bijvoorbeeld een grote onderhoudsbeurt sterk van invloed zijn bij de bepaling van de bezettingsgraad van de verschillende stations.

Ter verduidelijking van bovenstaande definitie van de bottleneck volgt een rekenvoorbeeld. Dit voorbeeld behandelt drie stations binnen dezelfde productielijn over de tijdshorizon van een week. We bekijken hier slechts één week om het voorbeeld simpel te houden. In werkelijkheid is er bij het gebruik van slechts één week niet sprake van 'de lange termijn'. Ook kent elk station in dit voorbeeld één machine. Dit kunnen in de praktijk meerdere machines per station zijn. In een week zitten 168 uur. In dit voorbeeld kent elk station vier mogelijke activiteiten: productie, reinigen, onderhoud en wachten op product. Volgens de definitie telt de vierde activiteit niet meer voor de bezettingsgraad en de rest wel. Tabel 1 geeft een overzicht van de tijdsduur van de verschillende activiteiten van elk van de drie stations.

Tabel 1: Overzicht van activiteiten voor rekenvoorbeeld bezettingsgraad

Activiteit	Station 1 (uur)	Station 2 (uur)	Station 3 (uur)
Productie	90	80	100
Reinigen	30	30	20
Onderhoud	24	42	10
Wachten op product	24	16	38
Totaal	168	168	168

Op basis van deze gegevens is de bezettingsgraad van elk station te berekenen. Voor station 1 is dit $1 - 24/168 = 85,7\%$. Voor station 2 en 3 is deze waarde gelijk aan respectievelijk $90,5\%$ en $77,4\%$. Volgens de definitie is het station met de hoogste bezettingsgraad de bottleneck van de productielijn. In dit voorbeeld is de bottleneck dus station 2. Stel nu dat dit station gedurende de tijd dat het bezet is gemiddeld 10 producten (in het geval van discrete productie) per uur produceert. Dit betekent dus gemiddelde 10 producten per uur over een periode van $168 - 16 = 152$ uur. Dit betekent dus voor de week in het voorbeeld $10 \cdot 152 = 1520$ producten per week. Dan is deze snelheid de maximale snelheid waarop de gehele productielijn kan produceren: de bottleneck rate.

Zoals genoemd is bovenstaand voorbeeld vrij simpel van aard. In productieprocessen die ingewikkeld in elkaar steken met veel zijstromen die terugkeren en productieverliezen die optreden, is het vaak lastig om een bottleneck te identificeren. Deze definitie is echter ook zeer geschikt voor ingewikkelde productieprocessen (Hopp en Spearman, 2000). Gezien de complexiteit van het productieproces zoals beschreven in hoofdstuk 2 is deze definitie van de bottleneck in termen van bezettingsgraad daarom wellicht goed bruikbaar.

Uit het bovenstaande volgt dus een mogelijk bruikbare definitie van de bottleneck van een productieproces:

1. De bottleneck van een productieproces is het werkstation dat op de lange termijn de hoogste bezettingsgraad heeft.

Ander onderzoek komt op basis van een survey tot de conclusie dat er niet echt een duidelijke consensus is over wat de definitie van een bottleneck is (Stephen R. Lawrence, 1995). Op basis van de resultaten van deze survey komt dit onderzoek tot drie verschillende definities:

De bottleneck van een productieproces is dat deel waarvoor

2. de vraag op de korte termijn groter is dan de capaciteit;
3. de onderhanden-werkvoorraad het hoogst is;
4. de productiecapaciteit het laagst is ten opzichte van de vraag (de capaciteitsbezetting is het hoogst).

Elke definitie lichten we nader toe:

2. Op de lange termijn kan de vraag niet groter zijn dan de capaciteit – ofwel de hoeveelheid werk zal oneindig blijven toenemen ofwel het bedrijf zal de vraag laten afnemen tot onder de capaciteit. Op de korte termijn kan de vraag echter wél groter zijn dan de capaciteit. Als dit zich voordoet, kan de bottleneck ontlast worden door o.a. overwerken, uitbesteden etc. Deze definitie maakt het zeer goed mogelijk dat er meerdere bottlenecks gevonden worden, doordat meerdere stations op de korte termijn minder capaciteit hebben dan de vraag. Dit kan als nadeel genoemd worden van deze definitie.

3. In de praktijk observeert men vaak de bottleneck door simpelweg door de fabriek te lopen en te kijken waar de meeste voorraad in de wacht staat om verder bewerkt te worden. Aangezien de onderhandenwerkvoorraad gerelateerd is aan de drukke periodes van een werkstation, verschuiven ze geleidelijker dan aankomstsnelheden. Voorraadbottlenecks duren daardoor langer dan de bottleneck op de korte termijn en zijn dus relevant voor de middellange termijn.

4. Voor de lange termijn is volgens deze definitie de bottleneck van een productieproces het werkstation dat gemiddeld het grootste obstakel vormt tot verhoogde output of doorzet. Voor de lange termijn is capaciteitsbezetting de meest geschikte manier waarmee de bottleneck geïdentificeerd kan worden, aangezien het werkstation dat het meeste wordt gebruikt de output het meest begrenst en de productie het meest vertraagt. Deze definitie is dus hetzelfde als definitie 1.

3.2 Overall Equipment Effectiveness

Bijna dertig jaar geleden introduceerde Nakajima (1988) de Overall Equipment Effectiveness. De OEE is een kwantitatieve methode die veel gebruikt wordt in productiesystemen om daarvan de productiviteit te monitoren. Daarnaast wordt het ook veel gebruikt als een indicator en drijvende kracht achter procesverbeteringen. De OEE is een “key performance indicator” in productieomgevingen en bestaat uit drie onderdelen: beschikbaarheid, productiviteit en kwaliteit. Doordat het een eenvoudige en overzichtelijke meetmethode is, gebruiken managers de OEE graag en deze methode wordt dan ook veel ingezet om de productiviteit te meten in productieomgevingen (H.H. Samuel, 2002) (Muthiah, 2008). Behalve dat de OEE gebruikt kan worden om de prestatie van

machines over de tijd te zien en daarmee inzicht te krijgen in hoe de prestatie verbetert, is het ook een geschikte manier om te identificeren welke machine het slechtst presteert. Hierdoor kan iemand inzicht krijgen in de gebieden die meer aandacht verdienen om het productieproces te verbeteren (Nakajima, 1988) (Greatbanks, 2000) (Muthiah, 2008). Daarmee is het een geschikte methode voor bottleneckanalyse en procesverbetering. Productieverliezen, in combinatie met andere indirecte verborgen kosten, vormen samen het grootste deel van de totale productiekosten (Ericsson, 1997). Volgens Nakajima is de OEE dan ook een methode om deze verborgen kosten bloot te leggen. Verschillende voorbeelden zijn bekend waarbij de OEE heeft bijgedragen aan een betere productie op het gebied van één of meerdere van de drie onderdelen waaruit de OEE bestaat; zo is het gebruikt bij een productielijn van pizza's, waardoor de productiesnelheid is verhoogd, de kwaliteit van de producten en een gezondere en veiligere werkomgeving is gecreëerd (Tsarouhas P. , 2007). Ook is er een voorbeeld van toepassing in de drankindustrie, bij de productie van limoncello (Tsarouhas P. H., 2013), waarbij verbeterpunten zijn blootgelegd door de OEE toe te passen. Nu de toepasbaarheid van deze methode kenbaar is, gaat paragraaf 3.2.1 dieper in op de verschillende onderdelen van de OEE.

3.2.1 De onderdelen van de OEE

Zoals genoemd, bestaat de OEE uit drie verschillende factoren: Beschikbaarheid, productiviteit en kwaliteit (Nakajima, 1988). Deze drie factoren worden weergegeven in drie percentages die bij vermenigvuldiging één getal opleveren: de OEE. Dit is hieronder in formulevorm weergegeven:

$$OEE = \%beschikbaarheid * \%productiviteit * \%kwaliteit \quad (1)$$

De beschikbaarheidsfactor geeft de verhouding weer tussen de tijd dat de machine theoretisch gezien had kunnen produceren en de tijd waarin er daadwerkelijk geproduceerd werd. Het verschil tussen deze twee tijden komt door tijdsverlies aan bijvoorbeeld storingen. Ook treedt tijdsverlies op doordat de machine een ander type product gaat produceren waardoor de machine omgesteld moet worden. Daarnaast treedt ook beschikbaarheidsverlies op doordat de machine geen grondstoffen krijgt aangeleverd of juist de geproduceerde producten niet kunnen worden afgevoerd. Bovenstaande is weergegeven in Figuur 6. De bovenste rij, A is de theoretische productietijd en B is de werkelijke productietijd.

Beschikbaarheid	A	Potentiële productietijd
	B	Werkelijke productietijd

Beschikbaarheidsverliezen:
 - Storingen
 - Wachten/omstellen
 - Geen aan- of afvoer

Figuur 6: De eerste factor van de OEE: de beschikbaarheid (Standard, 2011)

We behandelen een voorbeeld dat de manier waarop de OEE van een productieproces wordt bepaald, verduidelijkt. In dit voorbeeld gebruiken we de getallen die Tabel 1 op pagina 11 weergeeft. Deze getallen gebruikten we eerder voor het bepalen van de bezettingsgraad van station 1, 2 en 3. In het geval van machine 1 levert deze machine 90 uur output van de totale beschikbare tijd van 168

uur (ongeacht de snelheid en kwaliteit waarmee de machine deze output levert). Dan is de beschikbaarheidsfactor voor machine 1:

$$\text{Beschikbaarheidsfactor} = \frac{B}{A} = \frac{90}{168} = 53,6\%$$

Voor station 2 en 3 zijn deze waarden respectievelijk gelijk aan 47,6 en 59,5%.

Prestatie	C	Theoretische output	<i>Beschikbaarheidsverlies</i>
	D	Werkelijke output Prestatieverliezen: - Korte stops - Gereduceerde snelheid	

Figuur 7: De tweede factor van de OEE: de productiviteit

Figuur 7 laat de mogelijke verliezen zien die de productiviteitsfactor bepalen. Rechts in de figuur is het beschikbaarheidsverlies aangegeven. Dit beschikbaarheidsverlies volgt uit de eerste factor. Binnen de overgebleven tijd kijkt de OEE naar de verhouding tussen de theoretische output die de machine in deze tijd had kunnen leveren en de werkelijke output. Wederom illustreert een voorbeeld deze factor. Dit voorbeeld borduurt voort op de gebruikte getallen uit Tabel 1. Omdat voor het bepalen van de productiviteitsfactor van de OEE echter meer getallen nodig zijn dan deze tabel laat zien, gebruiken we enkele extra getallen. In dit voorbeeld behandelen we alleen machine 1. Dit doen we ook later bij het bepalen van de kwaliteitsfactor. Stel dat de machine is ontworpen om 10 stuks per uur te produceren (bij discrete productie). Bij een beschikbaarheid van 90 uur betekent dit een theoretische output, C, van 900 stuks. Door oorzaken zoals genoemd in Figuur 7, is de werkelijke output gelijk aan 700 stuks: D. Bij deze output horen zowel de goede producten als de producten die niet aan de kwaliteitseisen voldoen. Dit betekent voor de productiviteitsfactor:

$$\text{Productiviteitsfactor} = \frac{D}{C} = \frac{700}{900} = 77,7\%$$

In principe kan het nu zijn dat de machine een relatief hoge output heeft, maar dat weinig of geen producten aan de kwaliteitseisen voldoen. Nu bekend is hoeveel tijd de machine geproduceerd heeft en hoe snel ze dat deed, kijkt de OEE naar het aantal producten dat aan de kwaliteitseisen voldoet. Figuur 8 laat deze derde factor, de kwaliteitsfactor, zien.

Kwaliteit	E	Werkelijke output		<i>Prestatieverlies</i>	<i>Beschikbaarheidsverlies</i>
	F	Goed product	Kwaliteitsverliezen: Afval Herbewerking		

Figuur 8: De derde factor van de OEE: de kwaliteit

Het rechterdeel van deze figuur geeft de verliezen aan beschikbaarheid en productiviteit weer. Binnen de overgebleven output kijkt de OEE naar de kwaliteit: de kwaliteitsfactor geeft de verhouding aan tussen het aantal geproduceerde eenheden dat aan de kwaliteitseisen voldoet en het werkelijk aantal geproduceerde eenheden. In het voorbeeld voldoen van de 700 geproduceerde eenheden, E, 50 eenheden niet aan de kwaliteitseisen. Dit betekent dat er 650 goede producten zijn: F. De kwaliteitsfactor is dan:

$$Kwaliteitsfactor = \frac{F}{E} = \frac{650}{700} = 92,9\%$$

Het samenvoegen van bovenstaande geeft de OEE van een productieproces. Figuur 9 laat dit zien.

Beschikbaarheid	A	Potentiële productietijd 168 uur			Beschikbaarheidsverliezen: - Storingen - Wachten/omstellen - Lijnremmer
	B	Werkelijke productietijd 90 uur			
Prestatie	C	Theoretische output 90 uur * 10 stuks/uur = 900 stuks			
	D	Werkelijke output 700 stuks	Prestatieverliezen: - Korte stops - Gereduceerde snelheid		
Kwaliteit	E	Werkelijke output 700 stuks			Effectiviteitsverlies
	F	Goed product 650 stuks	Kwaliteitsverliezen: - Afval - Herbewerking		

Figuur 9: Overzicht van de verschillende componenten van de OEE

De OEE van het productieproces in bovengenoemd voorbeeld wordt berekend door de drie factoren met elkaar te vermenigvuldigen:

$$OEE = \%beschikbaarheid * \%productiviteit * \%kwaliteit = 53,6\% * 77,7\% * 92,9\% \\ = 38,7\%$$

3.2.2 Definitie van de OEE binnen Domo Borculo

Domo Borculo maakt ook gebruik van een definitie van de OEE. Deze verschilt op een paar punten van wat in het voorafgaande beschreven is. De manier waarop Domo Borculo de OEE definieert is vergelijkbaar met de beschikbaarheidsfactor van bovengenoemde definitie. De definitie die Domo Borculo hanteert, OEE Domo Borculo, is gelijk aan de eerder gedefinieerde bezettingsgraad van een station. De reden dat Domo Borculo zich hiertoe beperkt, is onder andere dat het kwaliteitsaspect niet gemeten wordt bij elk station van het productieproces. Dit wordt veroorzaakt doordat het praktisch zeer lastig is om de kwaliteit van de producten per productiestap te bepalen. De oorzaak hiervan ligt in het feit dat de machines de producten in een gesloten systeem naar elkaar toe pompen waardoor de producten niet zichtbaar zijn en metingen uitgevoerd kunnen worden. Weliswaar kunnen tussentijds monsters genomen worden om bijvoorbeeld de zuurgraad van een product te bepalen, maar verkeerde waardes hiervan zijn eenvoudig aan te passen en dit wordt niet gezien als kwaliteitsafwijking. Operators bepalen de kwaliteit pas aan het eind van het proces bijvoorbeeld door de hoeveelheid metaaldeeltjes te meten. Dergelijke metingen zijn echter lastig om tussentijds ook uit te voeren. Ook houdt Domo Borculo niet bij langs welke route, d.w.z. welke specifieke tanks en machines, het product gegaan is, wat het lastig maakt om te herleiden waar de oorzaak zou kunnen zitten van de kwaliteitsafwijking.

Ook het langzamer draaien van een machine in verband met het vaststellen van de productiviteitsfactor van de OEE is lastig te bepalen. De oorzaak hiervan is tweeledig. Om tijdsverlies door langzamer draaien te bepalen is het namelijk nodig om enerzijds te weten wat de theoretische snelheid is en anderzijds wat de praktische snelheid is. Bijvoorbeeld bij een filter in de oplosstraat is de theoretische snelheid afhankelijk van het type product. Dit is echter niet het enige. Elk product, bijvoorbeeld wei en permeaat, verschilt in kwaliteit. Aangezien het binnen de keten van FrieslandCampina meer oplevert om alles te verwerken dan om afwijkende producten te lozen, is besloten om alles wat binnenkomt te verwerken. Dit verschil in kwaliteit uit zich bijvoorbeeld in wisselende grootte van kristallen en meer vervuiling. Hierdoor verschilt de snelheid waarmee geproduceerd kan worden. Dit bemoeilijkt het bepalen van een theoretische snelheid. Daarnaast is ook de praktische snelheid niet nauwkeurig te bepalen. Weliswaar zijn er verschillende massaflowmeters geïnstalleerd, maar deze geven niet altijd de correcte waarden. Ook verschilt hier de snelheid sterk door bovengenoemde factoren. Een gemiddelde zou dus bepaald kunnen worden, maar dit heeft weinig betekenis. Ook dragen de vele reststromen bij aan de moeilijkheid van het bepalen van een praktische snelheid. Bijvoorbeeld bij het verwerken van de reststromen van de oplosstraat bij de na-indampers komt ook een dosering vanuit de drogers erbij. Daarom worden productiesnelheden en de vulgraad van tanks niet meegenomen in de OEE binnen Domo Borculo. Tanks die niet volledig gevuld zijn en continue processen die niet op de maximale snelheid produceren beschouwen we bij de analyse daarom ook als een gegeven. Een analyse wijst uit of

bovenstaande genoemde factoren die bijdragen aan een lagere productiviteit aangepakt dienen te worden of dat ze op dit moment niet van belang zijn. Ze zijn niet van belang indien ze niet bijdragen aan het ontstaan van de bottleneck van het gehele productieproces.

Zoals gezegd, verschilt de definitie van de OEE in de literatuur van de OEE Domo Borculo. In verband met beschikbaarheid van betrouwbare data en voor communicatiedoeleinden hanteren wij dezelfde terminologie van de OEE als Domo Borculo. De communicatie met Domo Borculo hierover verloopt gemakkelijk, omdat deze definitie algemeen bekend is binnen de organisatie. Deze manier van het gebruik van de OEE is gelijk aan de manier waarop eerder al de bezettingsgraad is gedefinieerd. De OEE Domo Borculo neemt meerdere factoren die bij de beschikbaarheidsfactor van de OEE als verlies gelden, zoals storingen en wisselen van product, wel mee en neemt alleen dat deel van de tijd waarop er geen aanvoer van product is niet mee. Een voorbeeld illustreert het verschil tussen de beschikbaarheidsfactor van de OEE en de OEE Domo Borculo. Hiervoor beschouwen we de activiteiten en duur van deze activiteiten van de stations in het voorbeeld op bladzijde 11.

Tabel 2: De activiteitsduren voor het bepalen van de OEE

Activiteit	Station 1 (uur)	Station 2 (uur)	Station 3 (uur)
Productie	90	80	100
Reinigen	30	30	20
Onderhoud	24	42	10
Wachten op product	24	16	38
Totaal	168	168	168

Voor de verschillende stations is de beschikbaarheidsfactor gelijk aan de tijd dat de machine in productie is, gedeeld door de totale tijd. Dit geeft voor station 1, 2 en 3 respectievelijk een beschikbaarheidsgraad van 53,6; 47,6 en 59,5%. De bezettingsgraad voor deze stations is respectievelijk 85,7; 90,5 en 77,4% (zie paragraaf 3.1). Als we het station met de laagste OEE beschouwen als de bottleneck is voor de drie stations in het voorbeeld toevallig wederom station 2 de bottleneck van het productieproces. Met andere waarden voor de tijdsduren had het gebruik van de beschikbaarheidsfactor tot een andere conclusie kunnen leiden. Voor dit onderzoek gebruiken we de OEE echter op dezelfde wijze als de bezettingsgraad, namelijk de OEE Domo Borculo, waardoor automatisch beide dezelfde conclusie zullen geven.

Hoewel de OEE Domo Borculo dus tot dezelfde waarden en conclusie leidt als de methode betreffende de bezettingsgraad, verschilt de manier waarop beide waarden bepaald worden wel van elkaar. Bij het bepalen van de bezettingsgraad van een productieproces is het voldoende om te weten hoe lang een machine staat te wachten op product. In het voorbeeld van machine 1 uit Tabel 1 is bekend dat de machine 24 uur van de 168 uur staat te wachten op product. Dit betekent voor deze machine een bezettingsgraad van $1 - 24/168 = 85,7\%$. Bij het bepalen van de OEE Domo Borculo kijken we naar de verschillende activiteiten afzonderlijk. Voor het bepalen van de OEE Domo Borculo is dus ook meer informatie nodig dan voor het bepalen van de bezettingsgraad. In het voorbeeld van machine 1 is de OEE Domo Borculo gelijk aan $90/168 + 30/168 + 24/168 = 85,7\%$. Het verschil tussen de bezettingsgraad en de OEE Domo Borculo zit er dus in dat de OEE Domo Borculo ook de verschillende activiteiten apart beschouwt. Dit maakt het makkelijker om verbetermogelijkheden te vinden. Zo kan men bijvoorbeeld ook zien welk percentage van de tijd de machine in onderhoud is, terwijl de bezettingsgraad alleen aangeeft wanneer een machine aanvoer van product heeft. Het

gebruik van de OEE Domo Borculo maakt het gemakkelijk om te zien of een bepaalde activiteit een groot deel van de tijd in beslag neemt ten opzichte van andere activiteiten en zo kunnen extra onderzoeken gericht gedaan worden naar opvallende activiteiten in termen van percentages van de totale beschikbare tijd om zo de OEE Domo Borculo te verbeteren. Dit is het grote voordeel van de OEE Domo Borculo ten opzichte van de bezettingsgraad.

3.2.3 De OLE

Een andere manier om verliezen binnen productieprocessen bloot te leggen is door gebruik te maken van de overall line effectiveness (OLE) (Anantharaman, 2006). De OLE is ontwikkeld om niet voor één productiestap, maar juist voor een gehele productielijn inzichtelijk te maken hoe deze lijn presteert. Waar de OEE dus de prestatie van één processtap bepaalt, doet de OLE dit voor een gehele productielijn. Deze methode helpt managers bij het nemen van beslissingen, maar voorkomt hierbij dat sub-optimalisatie plaatsvindt. Daarnaast biedt het een systematische methode om productiedoelen vast te stellen voor de gehele lijn en/of voor de productie van één bepaald type product. Door deze verscheidenheid aan niveaus waarop de OLE kan worden toegepast kunnen eenvoudig vergelijkingen worden gemaakt met andere productielijnen binnen de fabriek of zelfs buiten de fabriek. Daarnaast is het gemakkelijk om de prestatie van een lijn over de tijd te bekijken en zo inzicht te krijgen in wat de invloed van bepaalde veranderingen op de prestatie van de lijn is. Op deze manier kunnen bijvoorbeeld ook producten geïdentificeerd worden die niet of in mindere mate bijdragen aan de winst. Daarnaast helpt het bij het continu verbeteren van een productielijn.

3.3 Toepasbaarheid op Domo Borculo

Zoals te lezen is in paragraaf 3.1, is de eerste definitie (station met de hoogste bezettingsgraad is de bottleneck) hetzelfde als definitie 4 (idem) in dezelfde paragraaf. Deze definitie heeft zoals gezegd het voordeel dat het goed toepasbaar is voor complexe productieprocessen. Aangezien het productieproces van lactose bij Domo Borculo zeker complex genoemd kan worden, is deze definitie in dat opzicht goed toepasbaar. Daarnaast zijn ook de data, die voor het hanteren van deze definitie nodig zijn, beschikbaar c.q. te verzamelen, waardoor eveneens deze definitie toepasbaar is op de situatie bij Domo Borculo.

Definitie 2 (vraag op de korte termijn is groter dan de capaciteit) is minder goed toepasbaar, omdat het voor het productieproces van lactose lastig is in te schatten of er voor de individuele werkstations meer vraag is dan er capaciteit is. Daarnaast geldt ook het in paragraaf 3.1 genoemde nadeel dat door het gebruik van deze definitie gemakkelijk de situatie kan ontstaan waarin er meerdere bottlenecks in het productieproces zijn. Deze situatie kan zich ook voordoen bij de andere definities. Bij definitie 2 kan deze situatie echter sneller voorkomen. Bovendien geeft het minder duidelijk aan welk station nu meer aandacht verdient dan een ander station. Bijvoorbeeld bij het gebruik van de bezettingsgraad komt dit wel duidelijk naar voren. Bij die definitie is dit namelijk in volgorde van de hoogte van de bezettingsgraad van elk station.

Definitie 3 (het station met de hoogste onderhandenwerkvoorraad is de bottleneck) is minder goed toepasbaar vanwege het grote aantal verschillende producten dat verwerkt wordt door dezelfde processtappen. Dit maakt het lastig om eenduidig een voorraad aan te duiden. Daarnaast is het niet eenduidig aan te geven wanneer een product op voorraad ligt voor een bepaald station. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat vaak pas duidelijk wordt voor welk station iets op voorraad ligt op het moment dat het product naar dit volgende station wordt verpompt. Ook gaan er producten direct

door naar een tweede station als ze door een eerste station zijn bewerkt. Hierdoor is geen onderscheid te maken tussen of het product op voorraad ligt voor het eerste of het tweede station. Bovenstaande wordt extra bemoeilijkt door de variabiliteit waarmee de verschillende soorten wei worden aangeleverd. Dit maakt het lastig om te spreken over een bepaalde onderhandenwerkvoorraad op een bepaald tijdstip gedurende een langere periode.

De definitie van de OEE Domo Borculo is hetzelfde als de definitie aangaande de bezettingsgraad. Het voordeel van de OEE Domo Borculo is dat het ook opvallende activiteiten, in termen van invloed op de OEE Domo Borculo, blootlegt. Dit is binnen dit onderzoek mogelijk bruikbaar bij het vinden van oorzaken van een hoge bezettingsgraad en dus een hoge OEE Domo Borculo. Dit komt aan bod in hoofdstuk 5. Paradoxaal gezien willen we in dit verband een lagere OEE voor de bottleneck terwijl in de literatuur een zo hoog mogelijke OEE als positief wordt beschouwd (Nakajima, 1988). Deze paradox ontstaat doordat de beschikbaarheidsfactor van de OEE in de literatuur bepaald wordt door alleen de tijd waarin de machine produceert te beschouwen. De OEE Domo Borculo neemt echter ook onder andere tijden zoals onderhouds- en omsteltijden mee. Zo komt het dus dat je de OEE Domo Borculo verlaagt doordat bijvoorbeeld minder tijd aan onderhoud verloren gaat en tegelijkertijd daarmee de OEE verhoogt, omdat de beschikbaarheidsfactor groter wordt. Zowel de definitie van de OEE Domo Borculo als de definitie van de OEE in de literatuur zoekt dus echter naar het verminderen van verliezen aan bijvoorbeeld onderhoud en stilstand.

Paragraaf 3.2.3 noemt verschillende voordelen van het gebruik van de OLE. Ondanks dat het dus een goede methode is om mogelijke verbeteringen binnen een productielijn te identificeren, valt het buiten de scope van deze opdracht, omdat we hier op zoek zijn naar verbeteringen van een deelproces en niet van een gehele productielijn. Om de invloed van aanpassing bij een enkel station op de gehele productielijn te zien, zou de OLE wel gebruikt kunnen worden.

3.4 Conclusie

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de volgende deelvraag: *“Welke manieren waarop de bottleneck van een productieproces geïdentificeerd kan worden, zijn in de literatuur bekend en welke methode is het meest geschikt voor Domo Borculo?”* Dit hoofdstuk behandelt meerdere definities van de bottleneck van een productieproces. We hebben de definitie van de bezettingsgraad en daarmee de OEE Domo Borculo het meest geschikt bevonden om de bottleneck van het productieproces van lactose bij Domo Borculo te bepalen. Deze definitie hanteren wij dan ook bij het bepalen van de bottleneck in dit onderzoek. Hoofdstuk 4 legt uit hoe we deze definitie gebruiken bij Domo Borculo. We definiëren voor de volledigheid de definitie zoals we deze binnen het kader van deze opdracht hanteren:

De bottleneck van een productieproces is het werkstation dat op de lange termijn de hoogste bezettingsgraad heeft.

De bezettingsgraad van een werkstation is het deel van de tijd dat de machine niet stil staat vanwege een gebrek aan levering van materiaal dat die stap nodig heeft voor verdere productie.

Bij het bepalen van deze bezettingsgraad splitsen we eerst alle activiteiten op om hier in een later stadium gebruik van te maken bij het vinden van oorzaken van het ontstaan van een hoge bezettingsgraad. Hier vallen onder andere de genoemde productieverliezen onder die in paragraaf 3.1 behandeld zijn. Hoofdstuk 4 gaat nu aan de hand van deze definitie verder in op de bottleneck van het productieproces van lactose.

Hoofdstuk 4 De bottleneck van het productieproces van lactose

In dit hoofdstuk geven we antwoord op deelvraag 3: *“Wat is de bottleneck binnen het huidige productieproces in de lactosefabriek?”* In hoofdstuk 3 is aangegeven welke definitie we hiervoor gebruiken. Paragraaf 4.1 behandelt de methode die we hebben gebruikt om tot de gevonden resultaten te komen. Daarna geven we de belangrijkste resultaten en bespreken deze in paragraaf 4.2. Dit hoofdstuk sluit af met een conclusie in paragraaf 4.3.

4.1 Methode

Bij het bepalen van de bottleneck maken we gebruik van de enorme hoeveelheid data die verzameld worden binnen Domo Borculo. Ondanks dat data over bijvoorbeeld kwaliteit van het product bij de verschillende stations ontbreken bij Domo Borculo, verzamelen ze wel een enorme hoeveelheid andere data. Zo houden ze bijvoorbeeld voor elke machine per minuut bij wat deze aan het doen is: in welke status verkeert de machine en welk product wordt er op welk moment geproduceerd? Hierdoor is precies te bepalen welk deel van de tijd een machine of tank met een bepaald proces bezig is. Hiermee kan voor elk station de bezettingsgraad bepaald worden.

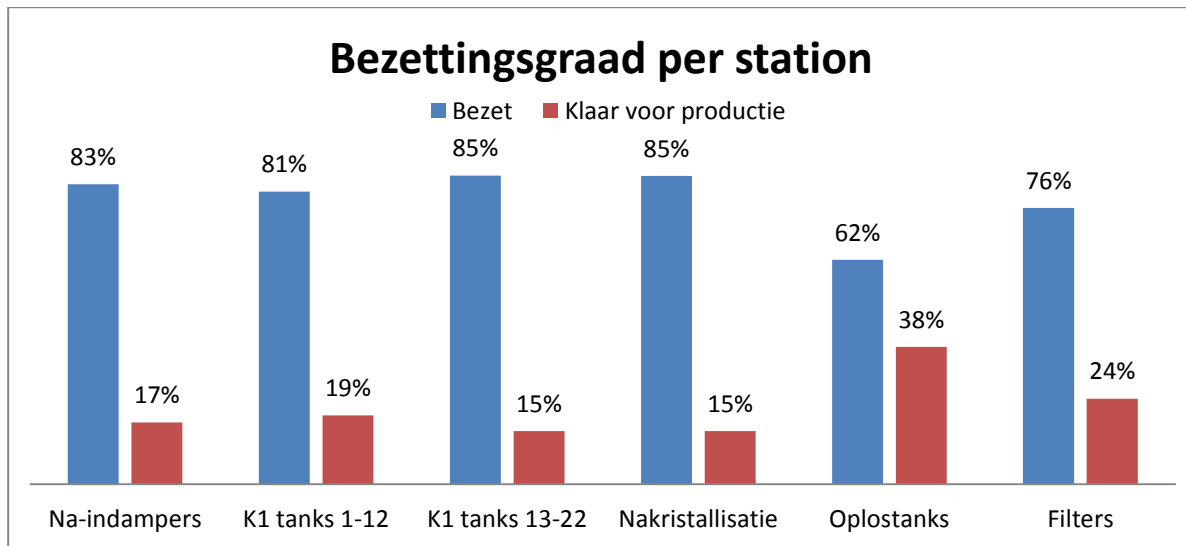
Bij de na-indampers bestaan er bijvoorbeeld vele verschillende statuses: “Productie”, “Leeg draaien”, “Product verdringen”, “Leeg”, “Reiniging”, “Overgang product”, “Onderhoud”, “Opstart”, “Stilstand”, “Einde Reiniging”, “Reiniging condensor” en “Undefined”. De status “Undefined” geldt als door een storing in het systeem de werkelijke status niet goed geregistreerd is. Volgens de definitie in hoofdstuk 3 is bepaald welke activiteiten wel meetellen bij het bepalen van de bezettingsgraad en welke niet (alleen de tijd dat de machine wacht op aanvoer van product terwijl de machine zelf klaar is voor productie telt niet mee voor de bezettingsgraad). Een overzicht van alle statuses voor alle stations is te vinden in Bijlage A. Na onderzoek naar de precieze betekenis van elke status hebben we de bezettingsgraad van elke afzonderlijke indamper (indamper 17, 18, 19, 20 en 21) bepaald. De reden dat dit voor de afzonderlijke indampers is gedaan, is vanwege de verschillende afmetingen van de indampers. Ook verwerken ze verschillende typen producten, wat van invloed kan zijn op de bezettingsgraad. Dit maakt een samenvoeging niet goed mogelijk. Het bepalen van de bezettingsgraad hebben we als volgt gedaan: ten eerste zijn alle data met betrekking tot welke statuses op welk moment worden opgehaald met behulp van de iHistorian invoegtoepassing binnen MS Excel. Dit is voor elk station gedaan waarbij voor elk station de data zijn opgehaald voor elke afzonderlijke machine. Dit betekent in het geval voor K1 bijvoorbeeld dat voor 22 tanks afzonderlijk de data opgehaald zijn. Vervolgens zijn met behulp van MS Excel indien nodig deze statuses omgezet in woorden. Dit hebben we gedaan, omdat sommige statuses worden aangeduid met getallen en dit bemoeilijkt het verder verwerken en interpreteren van de resultaten. Daaropvolgend is voor elke machine bepaald hoe lang deze in een bepaalde status stond. De periode die bekeken is, is een periode van tien weken, de periode van 23-03-15 tot 31-05-15. Voor deze periode is gekozen, omdat bij één van de stations in de maand maart van het jaar 2015 nog veranderingen in statuses zijn geweest waardoor een vergelijking tussen data voor deze verandering en data na deze verandering moeilijk is. Om een realistische vergelijking te maken met andere stations, is hiervoor hetzelfde startmoment gekozen. Vervolgens hebben we gekozen voor 10 weken, omdat dit de langste periode mogelijk was ten tijde van het onderzoek. Ook hebben we dit gedaan, omdat één van de kenmerken van de gebruikte definitie is dat het over de lange termijn gaat en deze keuze dat aspect het meest recht aandoet. Bij navraag bleek dat de gekozen periode ook representatief is voor de soorten producten en de hoeveelheden die verwerkt worden, waardoor ook dit de gekozen

periode rechtvaardigt. Hoewel de indampers verschillende afmetingen kennen, hebben ze wel alle dezelfde mogelijke statussen. Van deze statussen telt alleen de status “Stilstand” niet mee voor de bezettingsgraad. Dit is zo, omdat dit de enige status is die aangeeft dat de machine stilstaat doordat er geen aanvoer van product is. Deze status kent echter ook andere oorzaken dan dat er geen aanvoer van product is. Zo kan het zijn dat een machine wacht op een medewerker die net even pauze heeft of metingen uitvoert in de fabriek. Dit zijn echter zeer kleine bijdragen aan de totale tijd waarin de machine stilstaat. We achten deze bijdrage dan ook verwaarloosbaar. De status “Undefined” is verdeeld over de andere statussen in dezelfde verhouding als deze al voorkwamen binnen de totale tijd zonder de tijd dat een indamper de status “Undefined” had, mee te nemen.

Dezelfde werkwijze is toegepast op de overige stations. Dit levert voor achtereenvolgens kristallisatie 1 (K1), nakristallisatie en de oplosstraat de resultaten getoond in paragraaf 4.2 op. Hierbij hebben we de oplosstraat in twee delen opgesplitst: de oplostanks en de filters. De reden hiervoor is dat de oplosstraat het enige station binnen de scope van dit onderzoek is dat uit meerdere delen bestaat, namelijk de decaners, de zeefcentrifuges, de oplostanks en de filters. De reden dat we het in twee delen hebben opgesplitst en niet in vier, gelijk aan het aantal onderdelen van de oplosstraat, is dat de eerste drie delen als één blok fungeren: zodra een decanter aangaat, gaat de uitgaande stroom hiervan direct door naar de zeefcentrifuge en hiervan gaat de uitgaande stroom direct door naar de oplostanks. Beide delen komen dus in aanmerking om de bottleneck van het productieproces te zijn en daarom behandelen we beide delen apart. Bij K1 hebben we de in totaal 22 tanks opgesplitst in tank 1 tot en met 12 en tank 13 tot en met 22, omdat deze tanks weliswaar allemaal even groot zijn, maar ze verwerken verschillende producten en dit zou een invloed kunnen hebben op de bezetting. Bij de nakristallisatie zijn er in totaal acht tanks. Tussen deze tanks bestaat geen specifiek onderscheid. De berekening van de bezettingsgraad vindt voor dit station dan ook plaats voor alle tanks samen. Ook bepalen we de bezetting per week en vervolgens het gemiddelde over alle weken uit de onderzochte periode. De reden dat we dit eerst per week doen, is dat dit het makkelijker maakt om eventuele uitschieters binnen een week makkelijker te lokaliseren en deze indien nodig uit de data te filteren en/of hier in een later stadium eventueel op in te zoomen als mogelijke oorzaken van het ontstaan van de bottleneck. Zo is bij na-indamper 17 in meerdere weken achter elkaar een bezettingsgraad gevonden van 100%. Dit bleek te komen doordat de indamper die weken defect was en de status onderhoud had. Dit bleek geen situatie te zijn die regelmatig terugkeert bij Domo Borculo. Deze data zijn dan ook niet meegenomen in de berekening van de bezettingsgraad. Zouden we direct het gemiddelde van tien weken bepalen, dan zouden uitschieters niet meer goed zichtbaar zijn. Paragraaf 4.2 laat de gemiddelde bezettingsgraad, die bepaald is volgens bovenstaande werkwijze, zien.

4.2 Resultaten

Deze paragraaf geeft de belangrijkste resultaten weer van de bottleneckanalyse. Figuur 10 laat de bezettingsgraad van de verschillende stations ten tijde van de onderzochte periode zien. In deze figuur zijn de verschillende na-indampers samengenomen tot een gemiddelde. Zoals genoemd in paragraaf 4.1 zijn de na-indampers echter verschillend in de grootte en in het type producten dat ze verwerken. Daarom laat Tabel 3 de bezettingsgraad van de individuele na-indampers zien. Figuur 10 toont in volgorde van het productieproces eerst de na-indampers, gevolgd door K1, nakristallisatie en de oplosstraat. Zoals gezegd, is hierbij K1 opgesplitst in tanks 1 tot en met 12 en tank 13 tot en met 22. Ook is de oplosstraat opgesplitst in de oplostanks en de filters.



Figuur 10: De bezettingsgraad per station uitgedrukt als percentage van de totale tijd

Tabel 3: De gemiddelde bezettingsgraad van de verschillende na-indampers

Na-indamper	Bezettingsgraad (%)
17	67,0
18	85,1
19	82,9
20	89,5
21	89,9

Op basis van Figuur 10 kunnen we zeggen dat er meerdere bottlenecks zijn in het productieproces van lactose. Gezien de kleine procentuele verschillen tussen na-indampers, K1 en nakristallisatie, beschouwen we deze stations alle drie als bottleneck. Uit Figuur 10 blijkt dat de na-indampers gemiddeld een bezettingsgraad hebben van 83%. Tabel 3 laat de waarden van de bezettingsgraad van de individuele indampers zien. Opvallend aan deze waarden is dat indampers 18 tot en met 21 allemaal een bezettingsgraad hebben tussen 80 en 90% terwijl indamper 17 een relatief lage bezetting heeft van 67%. Dit komt onder andere door het uitvallen van deze indamper in de drie laatste weken van de onderzochte periode. De bewuste indamper stond op dat moment in de status “Onderhoud” en dit zou voor die weken een bezettingsgraad van 100% betekenen. Aangezien onderhoud over een periode van dergelijke duur niet gebruikelijk is, zijn deze data niet meegenomen. Door dit buiten beschouwing te laten, verhoogt dit de bezettingsgraad dus niet. De waarde van 67% is dus gebaseerd op de eerste zeven weken die van de periode die onderzocht is. Dat binnen deze periode de bezettingsgraad relatief laag is, wordt veroorzaakt door de manier waarop deze indamper gebruikt wordt. Hoewel deze indamper in theorie precies hetzelfde zou moeten functioneren als indamper 18, produceert de eerste minder goed dan de tweede. De operators willen graag snel produceren en kiezen er daarom vaak voor om de producten naar indamper 18 te laten verpompen. Hierdoor is er minder product beschikbaar voor indamper 17 en dit resulteert in de getoonde lagere bezettingsgraad. Doordat indamper 17 in de laatste drie weken in onderhoud staat, komen er ook extra producten bij de overige indampers waardoor deze een hogere bezettingsgraad hebben dan deze na-indampers zonder deze storing zouden hebben. Dit is door de grootte en productiesnelheid van indamper 17 echter een relatief kleine bijdrage voor de overige indampers apart. Op basis van deze waarden van de bezettingsgraad van de individuele na-

indampers, zijn na-indampers 20 en 21 de bottlenecks van het productieproces. Daarnaast valt in Figuur 10 op dat de na-indampers veruit het hoogste percentage “bezet” zijn (80%). Dit komt deels doordat dit station ook andere producten dan lactose verwerkt. Een voorbeeld hiervan is Hiprotal. Dit product komt bij de na-indampers en gaat vanaf daar naar de droogtorens. De droogtorens zijn sproeidrogers waarin verschillende producten worden verneveld. Vervolgens wordt warme lucht geblazen langs de ontstane kleine druppels waardoor het product droogt. Hiprotal hoort niet bij de lactoseproductie en komt dus niet langs de andere stations, maar draagt wel bij aan de bezetting van de na-indampers. We komen later terug op dit hoge percentage “bezet” van de na-indampers.

Figuur 10 toont ook de resultaten over de bezettingsgraad van kristallisatie 1. Wat opvalt bij deze figuur betreffende K1 is het relatief grote verschil in bezetting van de twee groepen tanks: De tanks aan de zogeheten ‘voorkant’, te weten tanks 1 tot en met 12, hebben een lagere bezetting dan de tanks aan de zogeheten ‘achterkant’, te weten tanks 13 tot en met 22. Dit verschil ontstaat doordat verschillende producten op deze groepen tanks worden geproduceerd. Deze producten verschillen in hoeveelheden en in standtijden waardoor de ene groep langer de status “productie” heeft, wat bijdraagt aan een hogere bezettingsgraad.

Aan Figuur 10 valt ook op dat de oplostanks een lagere bezetting hebben dan de filters waar de inhoud van deze tanks vervolgens naartoe gaat. Een oorzaak hiervoor is dat de oplostanks een groot deel van de tijd geen aanvoer van product hebben, maar zodra ze dit wel hebben dit kort daarna doorpompen naar het filter. Een andere oorzaak ligt in het feit dat er drie oplostanks zijn die één voor één over het filter gaan. Hierdoor kan het filter bezet zijn doordat het een oplostank aan het legen is, terwijl een andere oplostank al leeg is.

4.3 Conclusie

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de deelvraag: *“Wat is de bottleneck binnen het huidige productieproces in de lactosefabriek?”*. Om deze vraag te beantwoorden is een periode van 10 weken onderzocht waarvan voor de verschillende stations binnen de scope van dit onderzoek de bezettingsgraad is bepaald. Als we op basis van de gemiddelde bezetting van de stations kijken, blijkt dat een blok van drie stations (na-indamp, K1, nakristallisatie) de bottleneck is van het productieproces. Gezien de kleine procentuele verschillen tussen deze stations beschouwen we deze samen. Nakristallisatie heeft over de onderzochte periode een gemiddelde bezettingsgraad van 85,70%. Door de verschillen in grootte en type producten die de na-indampers verwerken, kan voor de na-indampers een dergelijk gemiddelde niet goed bepaald worden. De bezettingsgraad van na-indamper 18 is ongeveer even hoog als de gemiddelde bezettingsgraad van nakristallisatie. De bezettingsgraad van na-indampers 20 en 21 is hoger terwijl deze voor na-indampers 17 en 19 lager is. Een gemiddelde van de verschillende na-indampers komt uit op ongeveer 83%. Dit zou betekenen dat nakristallisatie samen met de achterkant van K1 de bottleneck is van het productieproces. Omdat echter de bezettingsgraad van na-indamper 17 sterk afwijkt van de overige waarden binnen dit station en door het verschil in groottes van de na-indampers beschouwen we op basis van individuele machines na-indampers 20 en 21 als de bottleneck van het productieproces.

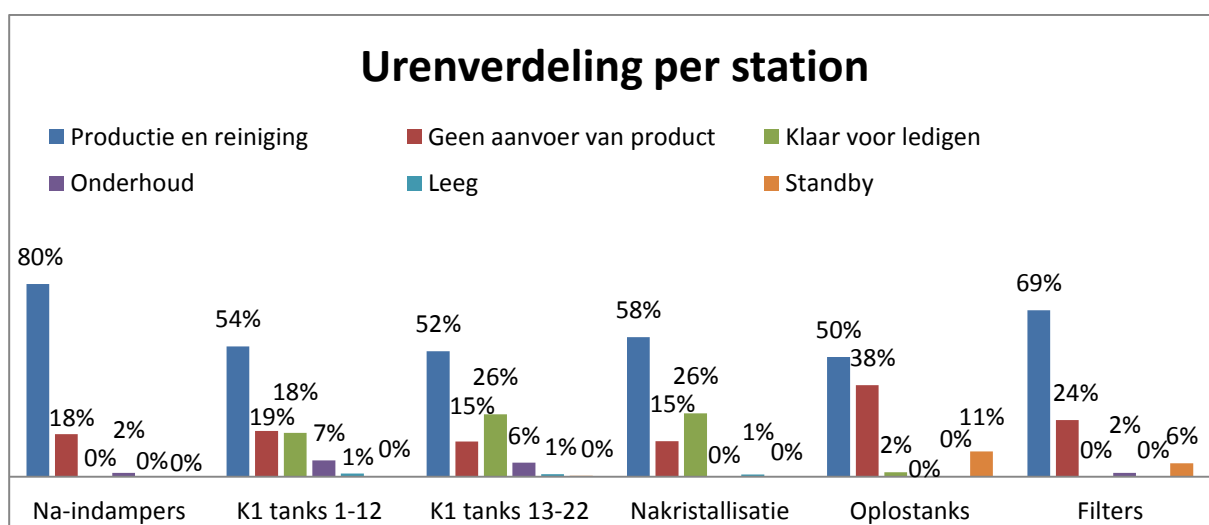
Hoofdstuk 5 gaat dieper in op de oorzaken die aan het ontstaan van de bottleneck bij bovengenoemde stations (na-indampers, K1 en nakristallisatie) ten grondslag liggen. Hoofdstuk 5 behandelt onder andere de verschillende activiteiten die de stations doorlopen tijdens het proces en welk deel van de totale hoeveelheid beschikbare tijd elk van deze activiteiten in beslag neemt.

Hoofdstuk 5 Oorzaken voor het ontstaan van de bottlenecks en oplossingen om de capaciteit van de bottlenecks te verhogen

Dit hoofdstuk geeft antwoord op deelvragen 4 en 5: “Wat zijn oorzaken voor het ontstaan van de bottleneck” en “Welke oplossingen ter verhoging van de capaciteit van de bottleneck volgen hieruit?” In hoofdstuk 4 is beschreven dat een blok van drie stations de bottleneck van het productieproces is: na-indampers, K1 en nakristallisatie. Paragraaf 5.1 gaat in op de mogelijke oorzaken van het ontstaan van de genoemde bottleneck. Paragraaf 5.2 geeft op basis van deze resultaten enkele aanbevelingen ter verhoging van de capaciteit van deze bottleneck.

5.1 Oorzaken voor het ontstaan van de bottleneck

Om oorzaken voor het ontstaan van de bottlenecks te identificeren is ten eerste gekeken naar het aandeel van de verschillende activiteiten in de totale beschikbare hoeveelheid tijd. Dit helpt bij het identificeren van activiteiten die relatief veel tijd in beslag nemen, zoals beschreven staat in de uitleg over de OEE in hoofdstuk 3. Voor deze activiteiten kan vervolgens gekeken worden waarom ze zoveel tijd in beslag nemen en welke oplossingen er zijn om dit te verbeteren. Figuur 11 laat deze verdeling voor alle onderzochte stations zien. In deze figuur zijn enkele statussen, zoals “opstarten” en “product verdringen”, onder het kopje “productie en reiniging” geplaatst, omdat dit in de praktijk ook onderdelen zijn van de productie. Tabel A in bijlage A laat zien hoe de statussen van elk station zijn ondergebracht in de samenvattende “statussen” die Figuur 11 laat zien.



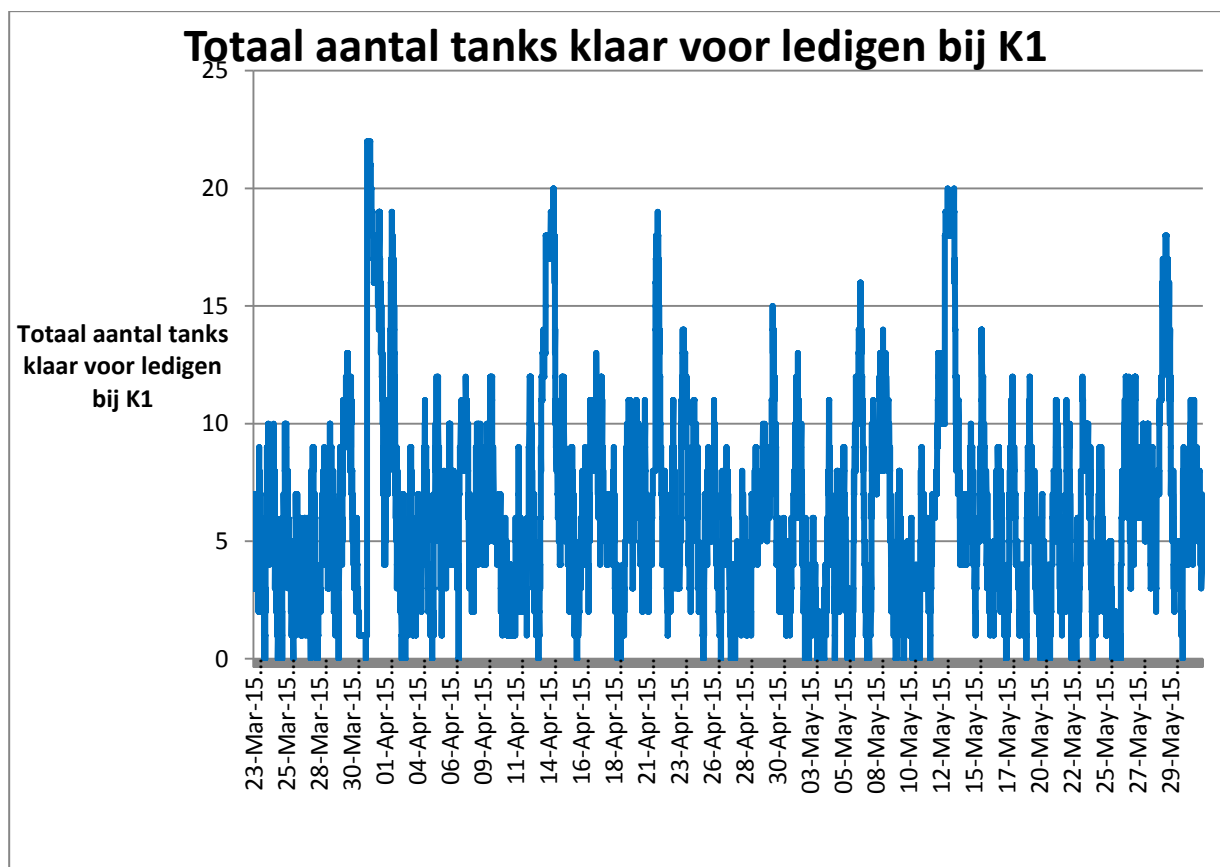
Figuur 11: De urenverdeling per station uitgedrukt in percentage van de totale tijd

Uit Figuur 11 blijkt dat zowel tanks 1 tot en met 12 als tanks 13 tot en met 22 van K1 als nakristallisatie een groot deel van de tijd, gemiddeld 18, 26 en 26% respectievelijk, de status “Klaar voor ledigen” hebben. De oplostanks en het filter hebben juist een groot deel van de tijd (38 en 24% respectievelijk) geen aanvoer van product. Met andere woorden: de stations aan het begin van de productieketen hebben vaak product dat klaar is voor verdere productie, terwijl tegelijkertijd het station verderop in de keten graag product wil hebben. Dit is een mogelijke oorzaak van de hoge bezettingsgraad bij deze stations.

5.1.1 Onregelmatige aanvoer van product

Een oorzaak voor het verschijnsel dat er tegelijk zowel genoeg aanvoer als genoeg afvoer is bij opeenvolgende stations is ten eerste dat het niet zo hoeft te zijn dat dit daadwerkelijk op hetzelfde

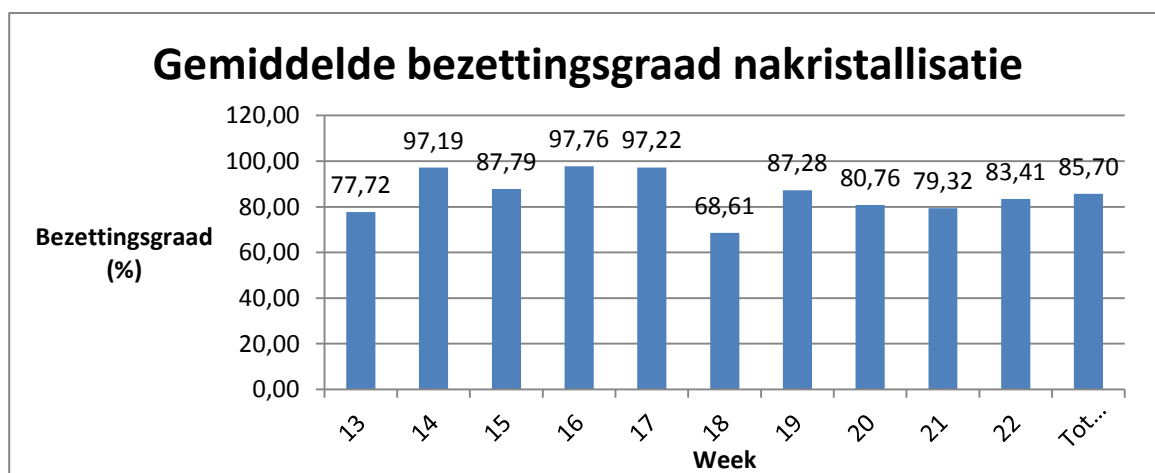
moment plaatsvindt: het kan heel goed zijn dat op het ene moment er bijvoorbeeld twintig tanks klaar zijn bij K1 en nakristallisatie samen en dat op een ander moment er geen tanks klaar zijn voor ledigen. Op het moment dat er bijvoorbeeld 20 tanks klaar zijn voor ledigen, is de bezettingsgraad hoog, terwijl het tegelijkertijd zo kan zijn dat ook de stations erna aanvoer van product hebben. Doordat het gemiddelde is genomen over alle tanks en de gehele periode is niet te zien of dit ook het geval is. Een mogelijke verklaring is gevonden door gesprekken met medewerkers te voeren. Zowel bij de voorfabriek als bij de oplosstraat gaven operators aan dat er een onregelmatige aanvoer van product is. Om deze beweringen met data te ondersteunen, is onderzoek gedaan naar het aantal tanks bij K1 dat klaar staat voor ledigen ten tijde van de onderzochte periode. Dit is gedaan voor K1 en niet voor nakristallisatie, omdat het laatstgenoemde station ook als buffer/opslag wordt gebruikt waardoor een vertekend beeld zou kunnen ontstaan. Overigens verklaart deze bufferfunctie ook een deel van het relatief hoge percentage waarin het nakristallisatiestation klaar is voor ledigen. Figuur 12 toont het verloop van het aantal tanks dat klaar is voor ledigen bij K1 ten tijde van de onderzochte tien weken. Uit deze figuur blijkt dat er inderdaad schommelingen zijn bij de hoeveelheid product die beschikbaar is vanuit K1 voor de oplosstraat. Hiermee wordt de bewering van de operators over de onregelmatige aanvoer van product bij de oplosstraat bevestigd. Het is duidelijk een oorzaak van het verschijnsel dat K1 vaak product klaar heeft staan terwijl ook de oplosstraat een groot deel van de tijd op aanvoer van product wacht. Daarmee is het ook een verklaring voor de relatief hoge bezettingsgraad van K1. Een vergelijkbaar resultaat is er voor alleen weiconcentraat waardoor ook de aanvoer naar nakristallisatie sterk schommelt. Het is duidelijk dat er schommelingen zijn in de hoeveelheid beschikbaar product en dat er regelmatig geen product beschikbaar is vanuit K1 voor de oplosstraat.



Figuur 12: Het totaal aantal tanks dat klaar voor ledigen is bij K1

Een klein deel van het hoge percentage “Klaar voor ledigen” bij K1 kan ook verklaard worden doordat weiconcentraat altijd eerst naar de nakristallisatie gaat en dit product dus niet bij K1 wacht op de oplosstraat maar op een beschikbare tank bij nakristallisatie. Zoals gezegd is het aantal tanks dat klaar is voor ledigen bij nakristallisatie een minder duidelijk beeld dan bij K1. Om toch ook de schommelingen bij dit station te laten zien, toont Figuur 13 de gemiddelde bezettingsgraad van nakristallisatie. De grafiek laat duidelijk zien dat ook bij dit station sterke schommelingen aanwezig zijn.

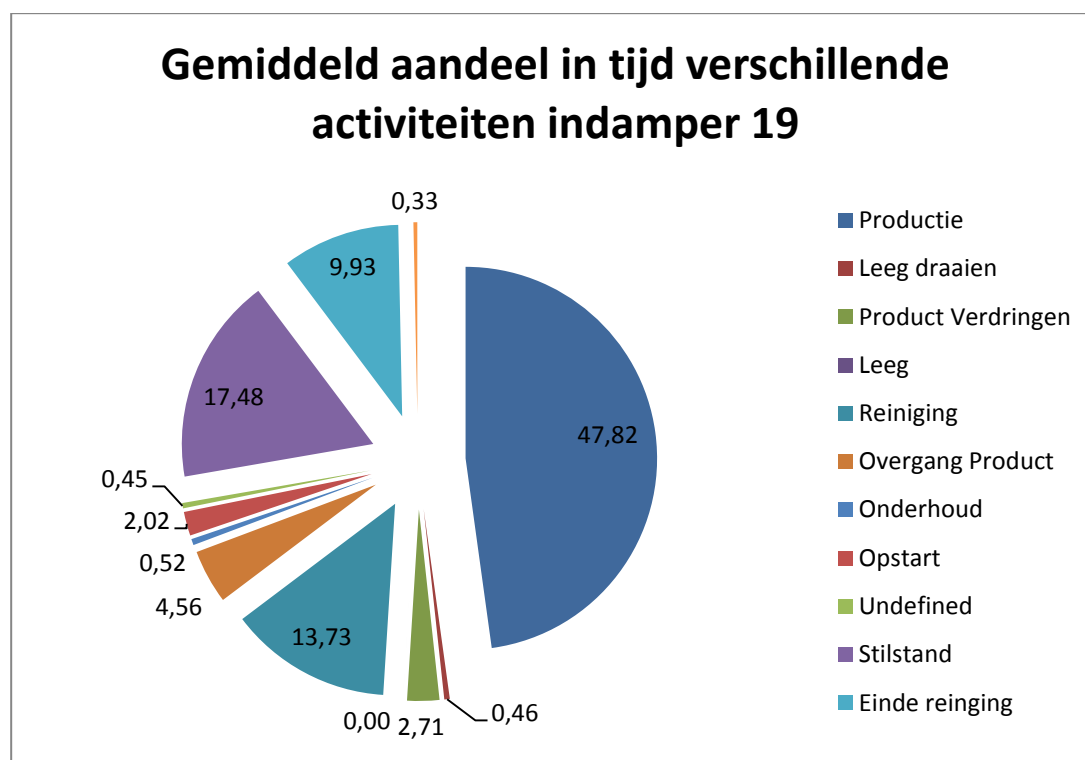
Uit Figuur 12 blijkt dat er regelmatig *geen enkele* tank is die klaar is voor ledigen. De momenten waarop er *een paar* tanks klaar zijn voor ledigen zijn echter ook voor belang. Dit komt doordat de operators altijd wachten totdat er meerdere tanks klaar zijn voor ledigen. Dit doen ze zodat ze niet het risico lopen dat de leidingen verstopt raken met harde suiker, omdat ze moeten wachten op aanvoer van product en er ondertussen dus geen product door de leidingen stroomt. Ook kan het zijn dat er alleen weiconcentraat aanwezig is, maar dit niet genoeg is om beide straten te laten produceren. Door dit toch op beide straten te produceren, zou dit kunnen leiden tot stilstand van beide straten waardoor er geen aanvoer is voor de GOS. Dit is niet wenselijk, dus besluiten operators dan om één straat stil te laten staan. Door meerdere tanks beschikbaar te hebben, kunnen ze achter elkaar door produceren. Ook deze momenten, waarop er dus maar enkele tanks beschikbaar zijn, tellen dus mee voor “geen aanvoer van product”, omdat het filter dan wacht op genoeg tanks. Ook toont Figuur 12 het totaal van alle tanks bij K1 die klaar zijn voor ledigen. Hierbij is geen onderscheid tussen de verschillende producten gemaakt. Het kan dus goed zijn dat er wel genoeg tanks zijn om de oplosstraat te laten produceren, maar dat deze tanks gevuld zijn met verschillende producten. Hierdoor moet er veel tussentijds gereinigd worden, waardoor er ook niet geproduceerd wordt. Dit benadrukt dat er vaak niet genoeg product is voor de oplosstraat door *onregelmatige* aanvoer.



Figuur 13: De bezettingsgraad van nakristallisatie per week en het totaalgemiddelde over de gehele periode

De schommelingen getoond in Figuur 12 en Figuur 13 kunnen ten eerste verklaard worden door de onregelmatige aanvoer van vrachtwagens bij de voorfabriek. Zo staan er het ene moment vijf vrachtwagens in een rij (zie foto in bijlage B) en het andere moment zijn er geen vrachtwagens. De manier waarop de na-indampers worden gebruikt, is een andere belangrijke factor die van invloed is op de onregelmatige aanvoer van product bij K1. De indampers kunnen in korte tijd namelijk meerdere tanks van K1 vullen door ze snel te laten produceren om zo snel ruimte te creëren bij de voorfabriek om nieuwe wei-ontvangst mogelijk te maken. Hierbij wordt er echter geen rekening

gehouden met de gevolgen voor K1 en de andere stations erna. Figuur 14 toont in meer detail de verschillende activiteiten van na-indamper 19. De overige indampers geven vergelijkbare figuren. Uit deze figuur blijkt dat naast dat de na-indampers een groot deel van de tijd in productie zijn, ze ook een groot deel, meer dan 23% voor “Reiniging” en “Einde reiniging” samen, bezig is met reinigen. Doordat producten blijven kleven aan de buizen van de warmtewisselaar in de indamper moet deze veel gereinigd worden. Dit draagt tevens bij aan het hoge percentage “Productie en Reiniging” van de na-indamper. Dit hoge percentage dat deze indamper bezig is met activiteiten die deels te maken hebben met omschakelen, zij het naar stilstand, zij het naar een ander product, wordt veroorzaakt door het onregelmatige produceren van de na-indampers. Deze manier van produceren zorgt ervoor dat meerdere tanks van K1 in één keer gevuld worden, gevolgd door een moment van geen aanvoer. Door de na-indampers regelmatig te laten produceren, ontstaat er een gelijkmatigere aanvoer bij K1 en daarmee bij de oplosstraten. Hierdoor kan de aan- en afvoer van deze stations beter op elkaar afgestemd worden. Hierdoor daalt de hoeveelheid tijd dat K1 klaar is voor ledigen en daarmee de bezettingsgraad van dit station. Tevens hoeven de na-indampers hierdoor minder gereinigd te worden, omdat het product minder snel aan de buizen van de na-indamper vast gaat zitten en de warmteoverdracht dus langer goed blijft. Door rustiger en regelmatig te produceren bij de na-indampers kunnen dus ook reinigings- en opstarttijd en –kosten bespaard worden.



Figuur 14: Het percentage van de tijd dat de verschillende activiteiten van na-indamper 19 duren

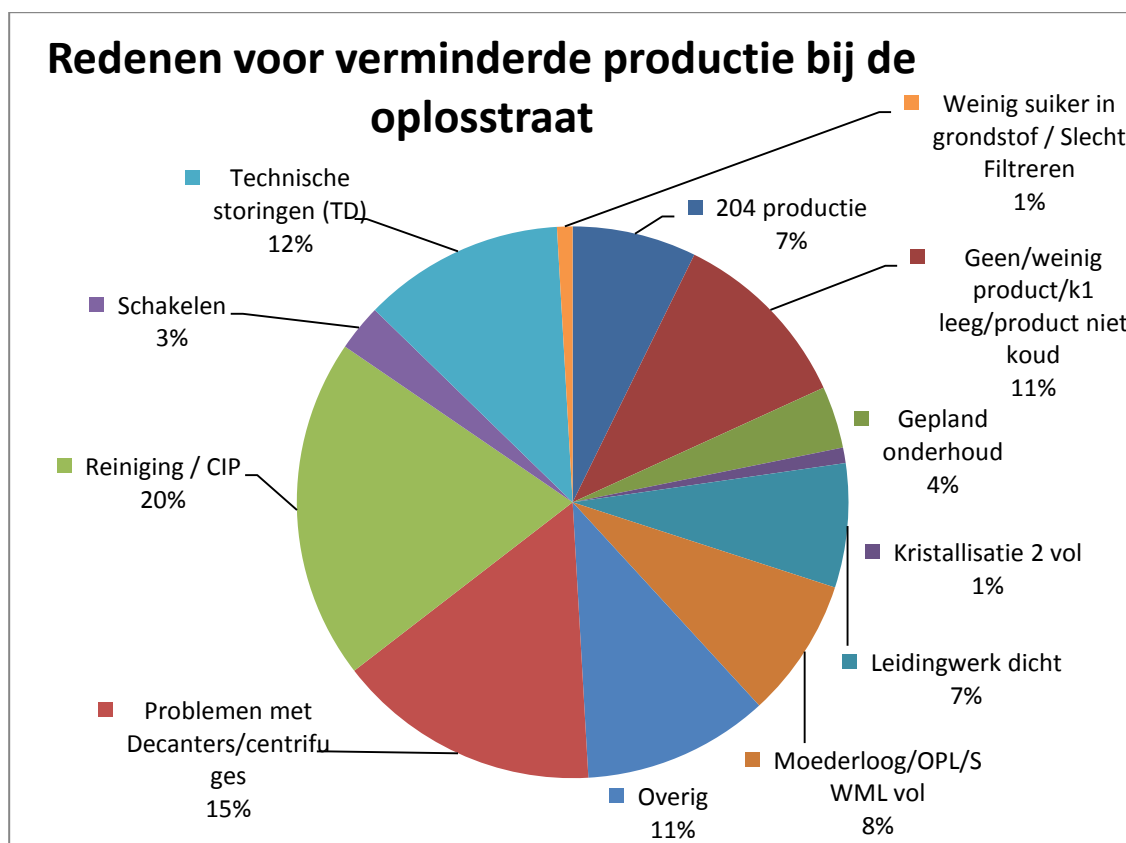
Een tweede oorzaak voor het hoge percentage “Klaar voor ledigen” bij de kristallisatiestations en het hoge percentage “Klaar voor productie” bij de oplostanks en het filter ligt in het feit dat het filter en de oplostanks aan elkaar geschakeld zijn. Hierdoor kan het zijn dat de oplostanks klaar zijn voor nieuw product, maar dit product niet (op de korte termijn) kunnen doorgeven aan het filter. Het filter kan op zijn beurt de status ‘Klaar voor filtreren’ hebben, maar in werkelijkheid nog niet klaar zijn voor filtreren. Dit kan meerdere oorzaken hebben. Daar gaan we nu verder op in.

5.1.2 De productie van de oplosstraat

Sinds een paar weken houdt Domo Borculo bij welke oorzaken er zijn voor het feit dat het filter een lager tonnage draait dan gepland. Dit wordt zowel automatisch geregistreerd als handmatig door een operator ingevuld. Dit levert samen één figuur op. Een voorbeeld van de resultaten van deze data staat in bijlage C. Dit overzicht is gemaakt voor de zeefcentrifuges die voor het filter zitten. Hier is voor gekozen, omdat de tijd tussen het moment waarop het product bij de zeefcentrifuges is en het moment waarop het product bij het filter is, ongeveer anderhalf uur is. Hierdoor is het lastig om tijdens het filtreren de oorzaak van minder productie te achterhalen.

Deze data zijn echter pas voor een periode van vier weken beschikbaar. Ook onderzoekt Domo Borculo nog of alle instellingen die zorgen voor het automatisch registreren van oorzaken voor minder productie, wel kloppen. Zo is een relatief groot deel van de oorzaken dat het setpoint niet gehaald wordt: de ingestelde flow waarmee het product door de zeefcentrifuges zou moeten (het setpoint), wordt niet gehaald. Het zou echter ook goed kunnen dat dit setpoint nog niet goed is ingesteld. Dit wordt momenteel nog onderzocht bij Domo Borculo. Ook neemt deze meetmethode de tijd dat het filter nog aan het opstarten is om de ingestelde flow te bereiken mee in als verloren productie. Dit hoort niet bij het langzamer draaien als zijnde dat het leidt tot een lagere productie dan gepland. Op dit moment telt het echter nog wel mee als oorzaak voor verloren productie onder de noemer “SP: berekende flow setpoint lager dan gewenst”. De tool moet dit namelijk niet registreren, maar alleen de momenten waarop de zeefcentrifuge langzamer draait doordat er verminderde aanvoer van product is of doordat er storingen zijn. Bovengenoemde oorzaken zouden voor een vertekend beeld kunnen zorgen. Daarom gebruiken we andere data. Deze data komen rechtstreeks van de borden waarop operators redenen invullen voor het produceren van minder charges dan gepland. Hierop vullen ze doorgaans één reden in terwijl er meerdere redenen kunnen zijn. Over een langere periode geven deze data echter wel een goed beeld over wat de belangrijkste oorzaken zijn van een lagere productie. Een overzicht van de oorzaken op basis van wat de operators invullen op deze borden is te zien in Figuur 15. Op dit moment verschillen Figuur 15 en figuur B in bijlage C nog veel van elkaar door de hierboven genoemde oorzaken. Ook gebruiken beide figuren niet dezelfde terminologie. Hierdoor is een vergelijking tussen beide figuren lastig. Toch komen enkele belangrijke oorzaken zowel in Figuur 15 als in figuur B naar voren, zoals het vol zitten van de ML-tank. Hier gaan we verderop in dit verslag dieper op in. Na verloop van tijd is het de bedoeling dat de resultaten van figuur B sneller en eenvoudiger te verkrijgen zijn en betrouwbaarder zijn.

Wat bij Figuur 15 niet wordt meegenomen, is de tijd dat de oplosstraat niet produceert omdat deze wacht op een operator. Aangezien Figuur 15 gebaseerd is op wat operators invullen is het niet raar dat deze oorzaak niet naar voren komt. De situatie kan zich voordoen dat een operator niet op zijn plek is vanwege bijvoorbeeld het nemen van monsters bij de tanks of het storten van kool. Hierdoor kan de straat wachten op bijvoorbeeld het koppelen door de operator van een filter aan een afvoerkanaal. Er is een project gaande waarin dit deels geautomatiseerd is, maar deze oorzaak is nog steeds van invloed op de productie.



Figuur 15: Een overzicht van de redenen voor verminderde productie bij de oplosstraat op basis van invulborden

Het Pareto-diagram in Figuur 15 is los van de opmerking over het wachten op een operator goed bruikbaar. Sommige oorzaken in dit diagram lijken echter groter dan dat ze zijn. Zo is bijvoorbeeld de reiniging voor een groot deel gepland. Zowel leidingen als tanks moeten regelmatig gereinigd worden. Het is een eis vanuit FrieslandCampina dat dit gebeurt. “Technische storingen” lijkt een grote oorzaak van een lagere output, maar dit bestaat uit veel kleine sub-oorzaken zoals problemen met kleppen, verstopte leidingen etc. Ook problemen met decaners/centrifuges is een relatief veelomvattend begrip en elk onderdeel op zich is minder sterk van invloed. De decaners en centrifuges kunnen bijvoorbeeld langzamer draaien vanwege slechte afvoer naar het filter, verminderde aanvoer of vanwege een mechanische storing. De oorzaken die na deze redenen het meest genoemd worden als oorzaak voor het niet of minder draaien van de oplosstraat zijn “Geen/weinig product/K1 leeg/Product niet koud” en “Moederloog/OPL/SWML vol”. Redenen voor het ontstaan van het eerste probleem zijn gegeven in paragraaf 5.1.1. Wat betreft het vol zijn van de reststromen, namelijk ML, OPL en SWML als respectievelijk reststromen van weiconcentraat, permeaat en suikerwater, kijken we naar wat hier de oorzaak van is. Deze reststromen gaan vanaf de tanks bij de oplosstraat naar grote verzameltanks. Van daaruit verwerken na-indampers 19 en 20 deze producten om als vloeibare verlading per vrachtwagen de fabriek te verlaten. Ook gaan de reststromen naar deze na-indampers om deze producten in te dikken en toe te voegen aan stromen van de droogtorens om er daar eiwitrijke producten van te maken. Een reden dat deze reststromen niet tijdig verwerkt worden, volgt uit Tabel 4. Deze tabel, een kopie van Tabel 3, laat de gemiddelde bezettingsgraad zien van de na-indampers. Zoals gezegd, verwerken indampers 19 en 20 de reststromen. Door de hoge bezettingsgraad van deze twee indampers, respectievelijk 82,90 en 89,47%, is de kans groter dat de na-indampers de reststromen niet tijdig kunnen verwerken met de

ophoping en stilstand bij de oplosstraat tot gevolg. Ook kan door een dergelijke hoge waarde voor de bezettingsgraad van rond de 90% de cyclustijd sterk omhoog gaan. Dit betekent, bij gelijkblijvende onderhandenwerkvoorraad, een lagere doorzet van het productieproces. Dit geldt niet alleen voor de reststromen, maar voor alle producten die geproduceerd worden door na-indamper 19. (Hopp en Spearman, 2000).

Tabel 4: De gemiddelde bezettingsgraad van de verschillende na-indampers

Na-indamper	Bezettingsgraad (%)
17	67,0
18	85,1
19	82,9
20	89,5
21	89,9

5.2 Conclusie

Dit hoofdstuk geeft antwoord op deelvragen 4 en 5: *“Wat zijn oorzaken voor het ontstaan van de bottleneck”* en *“Welke oplossingen ter verhoging van de capaciteit van de bottleneck volgen hieruit?”* De belangrijkste oorzaken die we noemen in paragraaf 5.1 zijn:

- Onregelmatige aanvoer van product vanaf de na-indampers
- Stilstand van de oplosstraat door het niet op tijd verwerken van reststromen

Op basis van de gevonden oorzaken voor het ontstaan van de bottlenecks geven we in deze paragraaf enkele aanbevelingen die bijdragen aan het verhogen van de capaciteit van de bottleneck om daarmee de gehele output van het productieproces van lactose te verhogen. We geven met behulp van bulletpoints de kern van de aanbeveling aan. Vervolgens gaan we dieper op de aanbeveling in.

- Regelmatiger produceren bij de na-indampers

Meerdere oorzaken die genoemd worden in paragraaf 5.1 wijzen in de richting van de na-indampers. Ten eerste noemen we de hoge bezetting van het station zelf (dit station heeft de hoogste tijd de “status” “Productie en reiniging”, zie Figuur 11). Ook blijkt dat de manier waarop de na-indampers op dit moment produceren een oorzaak is van schommelingen in de aan- en afvoer bij K1 en nakristallisatie. Ten derde dragen de na-indampers bij aan het niet op tijd verwerken van de reststromen bij de oplosstraat, met stilstand van dit station tot gevolg. De tweede reden zorgt er vervolgens weer voor dat er ofwel geen product is bij de oplosstraat ofwel de na-indampers geen product kwijt kunnen. De derde reden zorgt ook voor ophoping in de gehele keten. Zoals paragraaf 5.1 beschrijft, kan hier door regelmatiger te produceren bij de na-indampers en door hierbij meer rekening te houden met andere stations, de capaciteit verhoogd worden. Dit geldt voor zowel de na-indampers zelf, vanwege de vermindering in benodigde reinigingstijd, als voor de andere stations, doordat de schommelingen in de hoeveelheid van aan- en afvoer van producten verminderen. Het belang van regelmatig produceren wordt benadrukt door Hopp en Spearman (2000): “Een hogere variabiliteit zorgt altijd voor een slechtere prestatie van de productielijn”. In hetzelfde boek geven ze aan dat in een zogeheten “push-productie” variabiliteit aan het begin van een productielijn slechter is voor de prestatie van deze lijn dan variabiliteit verderop in de productielijn. Aangezien de

grondstoffen die worden aangeleverd, bepalen wat Domo Borculo kan produceren, beschouwen we de productie van lactose bij Domo Borculo als een “push-productie”. Dit benadrukt het belang eens te meer om de variabiliteit van de productie van de na-indampers te verlagen.

- Plannen van de productie van de na-indampers

Een andere logistieke oplossing ligt in het beter plannen van de producten bij dit station: op welk moment dient welk product geproduceerd te worden? Hierbij dient rekening gehouden te worden met de vraag en het aanbod van andere stations op dat moment, maar ook zeker over enkele uren daarna. Hierbij dienen ook de reststromen van de oplosstraat betrokken te worden. Tevens dient hierbij gekeken te worden naar de productmatrix die er is voor de na-indampers. Hierin staat vermeld welke producten na elkaar geproduceerd mogen worden zonder tussentijds te reinigen. Door deze matrix mee te nemen in de planning kan de hoeveelheid reinigingstijd teruggebracht worden. Dit verlaagt de bezettingsgraad en verbetert de doorstroom van dit station en de gehele productie. Daarnaast zou Domo Borculo de genoemde productmatrix onder de loep kunnen nemen bijvoorbeeld op basis van nieuwe microbiologische- of procestechnologische kennis. Deze matrix is ook gebaseerd op kwaliteit van de producten. Producten van betere kwaliteit mogen niet na producten van slechtere kwaliteit. Onderzocht kan worden of ook op dit gebied winst te halen valt. Hier zou uit kunnen volgen dat ze meerdere producten achter elkaar kunnen produceren, terwijl dit volgens de huidige matrix niet mag. Door het aantal mogelijke productvolgordes te vergroten, kan de reinigingstijd en bezettingsgraad verder verlaagd worden.

- Technologische verbeteringen

Niet alleen op logistiek gebied kunnen verbeteringen plaatsvinden aan de indampers. Er kan ook gekeken worden naar technologische oplossingen. De grote hoeveelheid aan tijd die dit station gebruikt voor reinigen, wordt ook veroorzaakt door het vastplakken van product op de buizen. Door te kijken naar verbeteringen hierin, bijvoorbeeld een anti-stick coating, kan de hoeveelheid reiniging verder teruggebracht worden en zo de capaciteit vergroot worden. Ook kunnen alle indampers doorgemeten worden om bijvoorbeeld de plaats van de warmtewisselaar te optimaliseren. Dit kan tevens besparingen opleveren voor het water- en energieverbruik. Eventueel kan Domo Borculo ook besluiten om een extra indamper aan te schaffen of huidige indampers te vervangen om daarmee de gehele productie meer capaciteit te geven, maar we raden aan dit pas te bekijken na eerdergenoemde alternatieven bekeken te hebben.

Hoofdstuk 6 Conclusies en aanbevelingen

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de hoofdvraag in paragraaf 6.1 en geeft daarnaast enkele aanbevelingen in paragraaf 6.2 en 6.3.

6.1 Beantwoording van de hoofdvraag

Dit onderzoek richt zich op de volgende hoofdvraag: *“Wat is de bottleneck van de lactoseproductie bij Domo Borculo en hoe kan de capaciteit van deze bottleneck verhoogd worden?”*

Op basis van de uitgevoerde analyse bij Domo Borculo komen we tot de conclusie dat een blok van drie stations de bottleneck is van de lactoseproductie bij Domo Borculo: na-indampers, K1 en nakristallisatie. Op basis van verdere analyse van deze stations komen we tot de conclusie dat de capaciteit van deze drie stations verhoogd kan worden door veranderingen in de productie bij de na-indampers. We onderscheiden hierin drie punten:

- Regelmatiger produceren bij de na-indampers om zo voor een regelmatige stroom door het gehele productieproces te creëren;
- Plannen van de productie van de na-indampers om zo het juiste product op het juiste moment bij ieder station te krijgen en te zorgen voor tijdige verwerking van reststromen;
- Technologische verbeteringen om de reinigingstijd en daarmee de bezettingsgraad van de na-indampers te verlagen.

Een belangrijk terugkerend aspect is het terugbrengen van de variabiliteit van de productieprocessen bij Domo Borculo. Dit heeft een negatief effect op de prestatie van de productielijn (Hopp en Spearman, 2000). Variabiliteit kan bijvoorbeeld veroorzaakt worden door veranderingen in de werkprocedure, omstellingen van machines en kwaliteitsproblemen. Zoals aangegeven in hoofdstuk 5 is variabiliteit aan het begin van het productieproces meer van invloed op een slechte prestatie van de lijn dan verderop in het productieproces. Een deel van de aanbevelingen is er dan ook op gericht deze variabiliteit terug te dringen. Dit geldt zowel voor de variabiliteit in productietijd als voor de variabiliteit in aankomst van product. Beide aspecten zijn namelijk van invloed op de prestatie van de productielijn. Regelmatiger produceren en beter plannen (zoals genoemd in bovenstaande aanbevelingen) zijn belangrijke methoden waarop deze prestatie verbeterd kan worden (Hopp en Spearman, 2000).

6.2 Andere aanbevelingen

Ook in deze paragraaf en in paragraaf 6.3 geven we eerst in bulletpoints de kern van de aanbeveling aan. Vervolgens gaan we dieper op de aanbeveling in.

- Pop-up scherm met waarschuwing over reststroomtanks vol eerder laten zien

Een aanbeveling die we doen is op het gebied van het verwerken van de reststromen van de oplosstraat. Op dit moment toont het scherm bij de oplosstraat weliswaar hoe vol de tanks hiervan zitten, maar een pop-up komt pas in beeld op het moment dat deze tanks daadwerkelijk vol zitten. Door dit eerder te tonen, is een operator hier alerter op en kan hij sneller ingrijpen. Door dit ook bij de na-indampers en zelfs bij de droogtorens te plaatsen, verbetert dit de informatievoorziening van de verschillende stations naar elkaar en faciliteert dit de communicatie tussen de operators van deze stations aangaande het tijdig verwerken van deze stromen.

- Verbeter de informatievoorziening tussen verschillende stations

Om deze informatievoorziening verder te verhogen, kan meer aangestuurd worden op communicatie tussen operators. Op sommige momenten communiceren operators al veel, maar op andere momenten schiet het hier nog wat tekort. Ook zouden hiervoor extra tools, bijvoorbeeld over het vol of juist leeg raken van tanks bij een vorig of volgend station, ontwikkeld kunnen worden om deze communicatie op gang te helpen. Als voorbeeld kan hierbij gedacht worden aan de tool die beschikbaar is voor de reststromen van de oplosstraat. Dit maakt het makkelijker voor operators, die vaak niet de consequenties voor (alle) andere stations kunnen overzien, om juist wel rekening te houden met deze andere stations. Het kan bijvoorbeeld zijn dat het voor het ene station handig is als er drie tanks achter elkaar geledigd worden, maar dat de operators de consequenties voor andere stations hiervan niet kunnen overzien. Bij deze consequenties kan gedacht worden aan het vol raken of juist het wachten op product van een station daarna. Zie hiervoor onder andere de getoonde schommelingen in aanvoer bij K1 (Figuur 12).

- Ontwikkel een voorspellende tool

Met bovenstaande aanbeveling hangt een aanbeveling over een voorspellende tool samen. De bottleneckanalyse in dit onderzoek is gebaseerd op data uit het verleden. Het maken van een voorspellende tool op basis van data uit een minder ver verleden zou de bottleneck in 'real-time' kunnen voorspellen. Met de kennis die onder de operators en procescoördinatoren aanwezig is, kunnen ze tijdig ingrijpen om de doorstroom van producten te waarborgen. Er kan bijvoorbeeld een Sankey-diagram, waarin de typen stromen en de grootte ervan is weergegeven, gemaakt worden. Door hieraan de verwachte aankomsttijd van een stroom bij een ander station toe te voegen, ontstaat inzicht in hoe laat hoe veel van welk product ergens is. Operators zeggen vaak dat ze 'proberen zo goed mogelijk aansluiting te hebben'. De wil is er dus zeker om zo goed mogelijk te produceren en het zou dus fijn zijn als er een tool is die ze kan helpen dit uit te voeren. Het ontwikkelen van de tool wordt echter bemoeilijkt door de wisselende stroomsnelheden en productietijden van verschillende producten die ook nog kunnen verschillen in kwaliteit. Dit probleem verdient dan ook de aandacht.

- De tijdsspanne van de planning bij de oplosstraat

Een laatste logistieke aanbeveling ligt in de tijdsspanne van de planning. Deze aanbeveling kan in plaats van of in combinatie met de aanbevelingen in paragraaf 6.1. Op dit moment wordt er een planning voor 24 uur gemaakt, maar deze planning wordt steeds onnauwkeuriger naarmate de tijd vordert, omdat onder andere storingen de situatie tussentijds veranderen. We raden in dit verband aan om gebruik te maken van een zogeheten "rollende horizon". Deze methode is gebaseerd op het iteratief oplossen van het planningsprobleem. Bij elke iteratie gelden de gedetailleerde planningseisen alleen voor de komende planningsperiode (Zukui Li, 2010). De duur van deze periode kan bijvoorbeeld op 8 uur gesteld worden, omdat dit de duur van een shift is bij Domo Borculo. Met het vorderen van de iteraties komen reeds genomen beslissingen vast te liggen. Door voordat de planning gemaakt wordt telkens overleg te voeren tussen de oplosstraten, kristallisatie, indampers en torens kan een betere aansluiting gewaarborgd worden. Hierdoor kan bijvoorbeeld ook beter rekening gehouden worden met de reststromen van de oplosstraat.

- Bekijk ook verbeterpunten van andere stations dan de bottlenecks

De grootste verbeteringen in het productieproces kunnen behaald worden door de capaciteit van de bottleneck van een productieproces te verhogen. Meer capaciteit bij de stations voor en na de bottleneck kan echter ook de output van een productieproces verhogen (Hopp en Spearman, 2000). Als er dus gemakkelijk een verbetering gedaan kan worden bij een ander station, overweeg dit dan. Indien bijvoorbeeld een operator met een verbeteridee komt voor een ander station dan de bottleneck, raden we Domo Borculo aan dit niet te negeren omdat het niet over de bottleneck gaat. Zowel de operator als de rest van Domo Borculo kan hier baat bij hebben.

6.3 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Naast de genoemde aanbevelingen in de vorige paragraaf geven we in deze paragraaf nog enkele aanbevelingen voor vervolgonderzoek waarvan de resultaten kunnen leiden tot verhoging van de capaciteit van de bottleneck.

- Urenverantwoording en automatisch storten van kool en kiezel

Ten eerste blijkt uit de oorzaken getoond in Figuur 15 niet hoeveel productietijd en daarmee tonnage verloren gaat bij de oplosstraat aan het afwezig zijn van operators in de bedieningsruimte. Dit komt doordat deze figuur gebaseerd is op wat de operators zelf invullen en daarbij worden activiteiten als het storten van kool en kiezel, het nemen van monsters om de zuurgraad te bepalen of het houden van pauze niet meegenomen. Ook komt het voor dat er gewacht wordt met filtreren omdat er volgens de planning geschakeld moet worden naar GOS (zie hoofdstuk 1) terwijl deze nog niet beschikbaar is. Als K2 (de tweede kristallisatiestap, zie hoofdstuk 2) dan wel beschikbaar is, wordt er toch gewacht. Een kwartier wachten op de GOS-productie lijkt misschien niet veel, maar betekent over een week of langer gezien behoorlijk veel verloren productietijd. Door deze oorzaken naast de oorzaken in Figuur 15 in kaart te brengen, bijvoorbeeld door een tool voor urenverantwoording, kan bekeken worden of verbeteringen hierin wenselijk zijn. Indien dit het geval is, zou Domo Borculo hiervoor een standaard werkwijze kunnen ontwikkelen. Ook zou Domo Borculo in dit verband kunnen kijken naar mogelijkheden voor het automatisch storten van kool en kiezel. Operators zouden dit graag zien gebeuren. Een analyse zou gemaakt kunnen worden waaruit blijkt of dit ook iets oplevert voor Domo Borculo, naast verhoogde tevredenheid onder werknemers.

- Meer rust voor operators door verminderde afleiding

Met bovengenoemde oorzaken hangt ook afleiding van operators door monteurs samen. Het is een komen en gaan van monteurs overdag die, mede door de werkvergunningen die operators moeten tekenen, eraan bijdragen dat operators zich niet kunnen richten op het proces. Dit is ook een punt op het gebied van veiligheid, dus er moet ook niet te veel aan gesleuteld worden, maar meer spreiding van monteurs over de dagdelen door ook de avonden en de weekenden hierin te betrekken, kan wenselijk zijn en bijdragen aan meer rust bij de operators en daardoor betere prestaties.

- Bekijk de gehele keten van de verwerking van de reststromen

In hoofdstuk 5 noemen we het verwerken van reststromen van de oplosstraat als een manier om de capaciteit van de kristallisatiestappen te verbeteren. Door onderzoek te doen naar de gehele keten hiervan, dus ook naar hoe dit past in de productie van de droogtorens, kan Domo Borculo hierin mogelijk verbeteren. We noemen namelijk dat de na-indampers niet altijd beschikbaar zijn op het moment dat de reststromen verwerkt moeten worden. Het kan echter ook zijn dat de na-indampers

beschikbaar zijn, maar dat de droogtoren waar het product naartoe verpompt wordt geen capaciteit heeft. Torens 6 en 10 verwerken de genoemde reststromen, maar door storingen of het verwerken van andere producten, horend bij de productie van eiwitrijke producten, hebben deze torens niet altijd capaciteit voor deze reststromen. De droogtorens zijn geen onderdeel van dit onderzoek, maar in een vervolgonderzoek zou wel gekeken kunnen worden naar de mate waarin dit station doorstroming van de lactoseproductie verhindert.

- Onderzoek de onregelmatige aanvoer van grondstof

Ook kan gekeken worden naar in hoeverre de voorfabriek door de onregelmatige aanvoer van grondstof de na-indampers 'pusht' om zo onregelmatig te produceren, of dat het los daarvan de werkwijze is van de operators bij de na-indampers. Hierbij hoort tevens een onderzoek naar de invloed van de onregelmatige aanvoer door vrachtwagens bij de voorfabriek op de manier van werken bij de na-indampers en aansluitend de overige stations. De onregelmatige aanvoer bij de voorfabriek zorgt er daarnaast ook voor dat vrachtwagenchauffeurs lang moeten wachten en dat operators het ene moment veel moeten doen en daarna langere tijd weinig. Door dieper op de planning van goederenontvangst in te gaan, zijn ook hier verbeteringen mogelijk.

- Grotere decantervoorlooptanks

Tevens kan onderzocht worden welk deel van de tijd K1 de status "klaar voor ledigen" heeft op het moment dat al een deel van deze tank is geleegd. K1 leegt de tanks namelijk in etappes in de decantervoorlooptanks van de oplosstraten, omdat deze een kleinere inhoud hebben dan de tanks van K1. Daarom hebben deze tanks langer de status 'klaar voor ledigen' dan puur de tijd dat deze in eerste instantie aan het wachten zijn op een oplostank. Op basis van de resultaten van bovenstaand onderzoek kan gekeken worden of het loont om deze voorlooptanks te vervangen door grotere tanks, zodat de tanks van K1 sneller beschikbaar komen en ook hierdoor de capaciteit van de bottleneck verhoogt. Hierdoor kunnen ook de indampers weer sneller het product kwijt wat weer bijdraagt aan een gelijkmatigere productie over de gehele lijn. Uiteraard moet Domo Borculo voor dit onderzoek start, controleren of grotere tanks überhaupt te plaatsen zijn in de fabriek.

- Reiniging K1

Op dit moment moet bij K1 na ledigen altijd gereinigd worden, terwijl dit bij andere stations niet hoeft. Het is niet duidelijk waarom dit onderscheid gemaakt wordt. Door te onderzoeken of de reiniging bij K1 altijd nodig is, kan reinigingstijd bespaard worden als blijkt dat dit niet het geval is. Bij K1 is het ook zo dat niet voor alle tanks dezelfde leidingen beschikbaar zijn. Zo is er voor tank 1 tot en met 6 een aparte leiding en voor tank 7 tot en met 12 ook. Als er dan eenzelfde type product in tank 2 en 9 zit en deze tanks moeten opeenvolgend naar de oplosstraat gepompt worden, moeten er twee vulleidingen gereinigd worden. Domo Borculo zou kunnen onderzoeken of er besparingen in reinigingstijd en -kosten behaald kunnen worden door het plaatsen van een vulleiding die op alle tanks aangesloten kan worden en daarmee de capaciteit te verhogen.

- Tijdsverlies door onderhoud verminderen

Tegelijk met onderzoeken naar bovenstaande verbeteringen zou Domo Borculo ook andere bijdragen aan een hoge bezettingsgraad, zoals genoemd in Figuur 11, kunnen onderzoeken. Domo Borculo zou bijvoorbeeld beter kunnen bijhouden welke vorm van onderhoud er plaatsvindt op welk moment. De

huidige manier van werken laat nog toe dat operators een machine de status “onderhoud” kunnen geven en monteurs een bepaalde klus veel later dan de daadwerkelijke uitvoering in het systeem verwerken. Hierdoor is het niet mogelijk te analyseren of het onderhoud gepland onderhoud is of dat het is veroorzaakt door een storing. Deze informatie kan helpen bij het bepalen of meer preventief onderhoud noodzakelijk is. Bijvoorbeeld bepaalde kleppen die met een vergelijkbaar interval defect raken, bijvoorbeeld na 10.000 keer open en dicht gaan. Deze kleppen zouden vervangen kunnen worden op het moment dat er toch al ander onderhoud plaatsvindt of de machine toch al stilstaat om een andere reden. Door dit beter *in te plannen* kan de beschikbaarheid van de stations toenemen en daarmee de OEE Domo Borculo verbeteren. Tevens zou Domo Borculo naar de noodzaak van het geplande onderhoud en de regelmaat waarin dit gebeurt, kunnen kijken. Ook zouden operators een opleiding kunnen krijgen om eenvoudige onderhoudsklussen zelf te doen. Hierdoor is er minder stilstand en minder storing door monteurs in de bedieningsruimte.

- Standaardisering en automatisering van de bottleneckanalyse

De aanleiding van dit onderzoek was dat er technische veranderingen hadden plaatsgevonden waardoor niet duidelijk was wat de bottleneck van het huidige productieproces is. Aangezien de locatie constant wil verbeteren en dit ook doet, bevelen we ook aan om de bottleneckanalyse te standaardiseren en te automatiseren. Hierdoor kan op elk gewenst moment sneller een helder overzicht beschikbaar zijn over de situatie op dat moment. Vervolgens kan Domo Borculo nieuwe stappen ondernemen op basis van hoe het productieproces en de bijbehorende knelpunten er dan uitzien. Belangrijk hierbij is dat eerst meerdere mensen van verschillende afdelingen samen kijken naar hoe een dergelijk overzicht eruit moet komen te zien. Het is namelijk belangrijk dat dit voor iedereen gemakkelijk te begrijpen is, zodat ook iedereen het kan gebruiken en erover kan meepraten. Hiermee hangt samen dat voor iedereen duidelijk is waar iedereen mee bezig is en wat er al bereikt is. Dit geldt zowel voor binnen dezelfde afdeling als tussen verschillende afdelingen. Zo wordt voorkomen dat er dubbel werk wordt gedaan.

- Simulaties om invloeden van veranderingen te voorspellen

Naast dat telkens de bottleneckanalyse opnieuw wordt uitgevoerd na wijzigingen kan ook de invloed van extra charges op de prestatie en locatie van de bottleneck van de productielijn op voorhand bekeken worden. Wat gebeurt er bijvoorbeeld als Domo Borculo het aantal charges zou verhogen naar bijvoorbeeld X charges? Is hetzelfde station dan nog steeds de bottleneck of moet Domo Borculo zich dan op een ander station richten? De bottleneck zou namelijk kunnen verschuiven doordat verschillende reststromen terugkeren in eerdere stappen van het proces om daar hergebruikt te worden. Zo komen bijvoorbeeld uit de oplosstraat verschillende reststromen zoals moederloog en OPL die weer teruggaan naar de na-indampers. Hierdoor komt een groter deel van een charge nogmaals langs de na-indampers dan langs de oplosstraat. Hierdoor neemt de bezetting bij de eerste sterker toe dan bij de tweede. Wellicht dat hierin simulaties mogelijk zijn die inzicht kunnen geven in wat de impact van een ander aantal charges zou zijn op de verschillende stappen van het productieproces, zodat hierop geanticipeerd kan worden als het gaat om bijvoorbeeld planning, extra installaties etc.

- Grondstoffen van dezelfde kwaliteit

Een andere vorm om de hele keten bij het optimaliseren van de processen te betrekken is door te kijken naar wat er aan verschillen in kwaliteit tussen producten te doen is. Verschillen in kwaliteit zorgen voor verstoringen en productieverlies bij verschillende stappen van het productieproces. Door de grondstoffen op een zelfde kwaliteitsniveau te brengen voordat het langs andere productiestappen gaat, zouden deze verstoringen verholpen kunnen worden. De verschillende locaties van FrieslandCampina kunnen hier samen eisen voor opstellen en ideeën verzinnen hoe hier aan voldaan kan worden. Een belangrijke eis hierbij is dat de hoeveelheid vervuiling verminderd wordt, omdat dit de stroomsnelheid bij onder andere het filter laat variëren. Zoals aangegeven in paragraaf 6.1 daalt door grondstoffen van vergelijkbare kwaliteit te hebben de variabiliteit van productieprocessen en stijgt hierdoor de prestatie van de productielijn. Als de producten van een vergelijkbare kwaliteit zijn, maakt dit het bovendien makkelijker om ook snelheidsverliezen mee te nemen in de bottleneckanalyse. Hierdoor ontstaat ook een beter beeld over de verbeteringen die mogelijk zijn in de productiesnelheid en de vulgraad van tanks en daarmee de bezettingsgraad van de bottleneck.

- De OLE inzetten voor global optimization

Hoewel de methode van de OLE zoals gezegd in paragraaf 3.2.3 niet geschikt is voor het doel van deze opdracht, is het wel het overwegen waard voor Domo Borculo om deze methode te gebruiken voor het vaststellen van reële productiedoelen. Met deze methode zou Domo Borculo het aantal charges dat haalbaar is per week kunnen bepalen en wat hiervan de invloed zou zijn op de individuele processtappen. In dit verslag is deze methode niet verder behandeld, omdat het hier gaat om één proces dat verbeterd diende te worden om zo de gehele lijn te verbeteren. De OLE heeft als doel het verbeteren van de productielijn als geheel. Toch sluit de methode goed aan bij het continu verbeteren, wat bij Domo Borculo hoog in het vaandel staat. Door verbetering over de gehele lijn na te streven (global optimization) kunnen wellicht nog betere resultaten worden behaald dan door dit voor een individueel proces te doen (local optimization). Ook volgt uit paragraaf 3.2.3 dat deze methode gebruikt kan worden om te bekijken welke combinatie van producten Domo Borculo het beste zou kunnen produceren.

- Onderzoek weken die positief uitsteken boven de rest

Een ander onderzoek dat kan bijdragen aan een verhoging van de capaciteit van de bottleneck is gericht op weken waarin de bottleneck een lage bezettingsgraad had en /of een hoog aantal charges werd gehaald met dezelfde bezettingsgraad. Door te kijken naar achterliggende oorzaken die verklaren waarom de productie in die weken beter verliep, kan Domo Borculo de productie voor alle weken verbeteren.

- Verdergaand gebruik van de OEE

Ten slotte een aanbeveling over het verdergaande gebruik van de OEE. Op dit moment maakt Domo Borculo al gebruik van de OEE. Volgens Nakajima (1988) is de meest effectieve toepassing van de OEE wanneer er projectteams worden samengesteld in combinatie met Pareto-diagrammen en oorzaak-gevolg schema's. Voor de oplosstraat gebruikt Domo Borculo al dergelijke tools. Deze tools zal Domo Borculo verder moeten toetsen op bruikbaarheid en betrouwbaarheid. Op basis van de resultaten hiervan kunnen dergelijke verbeter tools ook voor andere stations ontwikkeld worden. We raden aan dit te doen nadat eventuele wijzigingen zijn doorgevoerd. Na deze wijzigingen kan Domo Borculo

eenvoudig met de te ontwikkelen analyse-tool de bottleneck bepalen en vervolgens voor deze bottleneck de tools ontwikkelen om zo nog betere resultaten te behalen.

Bibliografie

- Anantharaman, R. N. (2006). Evaluation of overall line effectiveness (OLE) in a continuous. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 17 Iss 7 pp.
- Ericsson, J. (1997). *Disruption Analysis - An Important Tool in Lean Production*. Lund: Department of Production and Materials Engineering, Lund University.
- FrieslandCampina. (2015). *Wie we zijn en wat we doen*. Retrieved juni 10, 2015, from FrieslandCampina: <http://www.frieslandcampina.com/nederlands/about-us/frieslandcampina-and-you.aspx>
- FrieslandCampina. (n.d.). Basisboek voor productieprocessen.
- Greatbanks, B. D. (2000). Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement – A practical analysis. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(12), 1488-1502.
- H.H. Samuel, e. a. (2002). Manufacturing system modeling for productivity improvement. *Journal of Manufacturing Systems*, 21(4), 249-260.
- Muthiah, K. H. (2008). Automating factory performance diagnostics using overall. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(13), 811-824.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: total productive maintenance*. Cambridge, MA: Productivity Press Inc.
- Standard, O. I. (2011). *OEE berekening*. Retrieved Juni 23, 2015, from OEE Industry Standard: <http://oeindustrystandard.oeefoundation.org/nl/oee-calculation/>
- Stephen R. Lawrence, A. H. (1995). Economic analysis of production bottlenecks. *MPE*, 341-364.
- Tsarouhas, P. (2007). Implementation of total productive maintenance in food industry: a case study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 13(1), 5-18.
- Tsarouhas, P. H. (2013). Evaluation of overall equipment effectiveness in the. *International Journal of Production Research*, 51(2), 515-523.
- Wallace J. Hopp, M. L. (2000). *Factory Physics, Foundations of Manufacturing Management*, 2nd edition. New York: McGraw-Hill.
- Zukui Li, M. G. (2010, november 15). Rolling horizon based planning and scheduling integration with production capacity consideration. *Chemical Engineering Science*, 5887-5900.

Bijlage

Bijlage A

Tabel A: Overzicht van alle statuses per station en hoe deze zijn samengevat in bepaalde categorieën voor het maken van figuur 11

Na-indamp		K1		Nakristallisatie		Oploss tanks		Filter	
Productie en reiniging	Statussen		Statussen		Statussen	Statussen		Statussen	Statussen
	Productie		Vullen		Gevuld	Vullen met kool		Reinigen	
	Leeg draaien		Koelen		Vullen KR	Start vullen met lactose		Productie	
	Product Verdringen		Aanvraag vullen		Vol	Vullen met lactose		Stilstand	
	Reiniging		Ledigen		Ledigen	Naspoelen			
	Overgang Product		Stop vullen		Reinigen	Opstarten filter			
	Opstart		Reinigen			Voorfilteren			
	Einde reiniging		Controle			Filteren			
	Reinigen condensor		Laden recept			Verdringen			
	Watercirculatie		Recept wissen						
Geen aanvoer van product	Stop		Controle recept						
	Wisselen product		Vol						
Klaar voor ledigen	Stilstand		Gereinigd		Gereinigd	Wachten op vullen met lactose		Wachten op product	
Onderhoud	-		Klaar voor ledigen		-	Wachten op filter		-	
Leeg	Onderhoud		Onderhoud		-			Onderhoud	
Standby	Leeg		Leeg		Leeg	-		-	
Underfined	-		Standby		Standby	Standby		Gereinigd	
Bad	Bad		Underfined		Underfined	Underfined		Calamiteit	

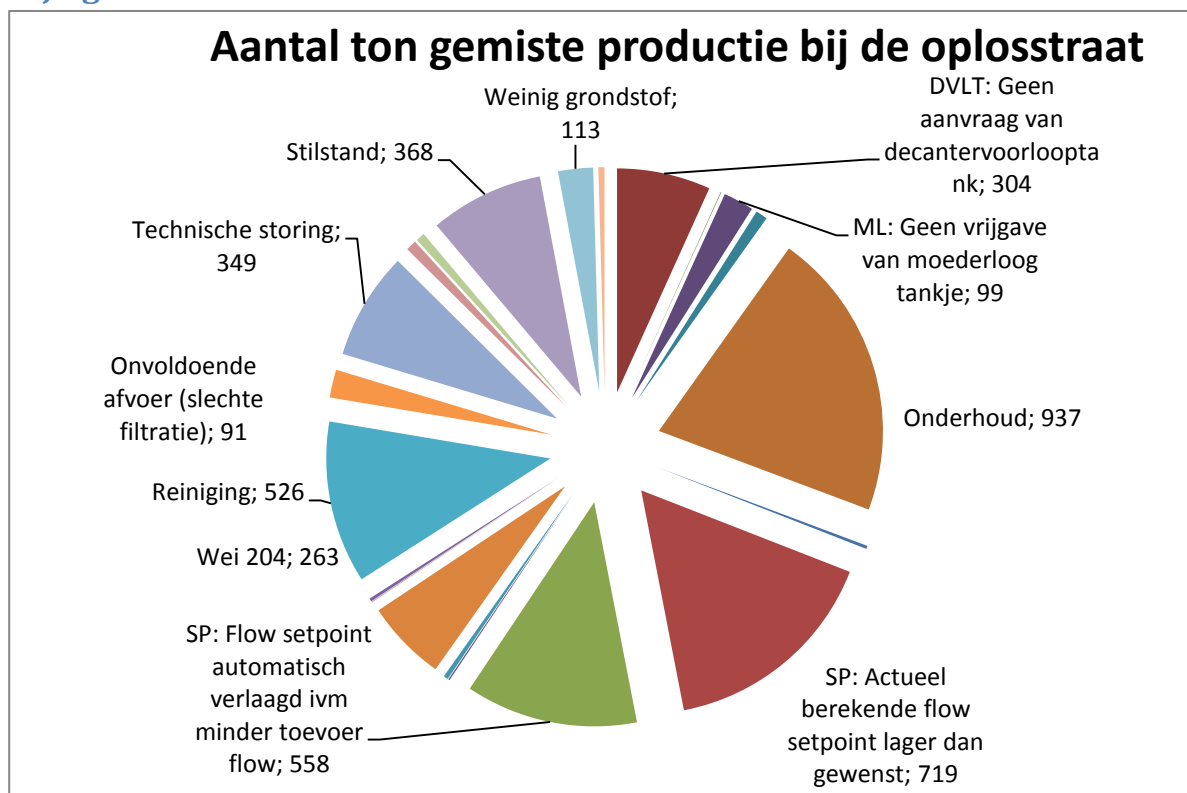
Tabel B: De statussen van het filter en de manier waarop de vertaalslag is gemaakt naar woordelijke 'statussen'.

Status filter	Status in woorden
6000	Klaar voor filtreren
1000	Stilstand
2000	Onderhoud
1500	Gereinigd
10000	Filtreren
10000-18000	Regenereren
2000-6000	Reinigen
6001-10000	Voorfiltreren
Overig	Calamiteit

Bijlage B



Figuur A: Foto van de aankomst van vrachtwagens bij de voorfabriek



Figuur B: Overzicht van gemist tonnage bij de zeefcentrifuges van de oplosstraat