

# Bachelorscriptie Technische Bedrijfskunde

“Het zo efficiënt mogelijk voorkomen van verstoringen in de montage in de context van Vendor-managed Inventory”

Uitgevoerd in opdracht van VDL ETG Almelo

**Datum:** 18 december 2012

**Versie:** Voorlopig eindverslag

**Door:**

Sven Oosterhuis

s0193119

06-27167558

s.b.j.oosterhuis@student.utwente.nl

**Begeleiding Universiteit Twente:**

Dr. M.C. van der Heijden

Dr. ir. L.L.M. van der Wegen

**Begeleiding VDL ETG Almelo**

Heleen Groeneveld

Herman Wind

**Let op: dit verslag bevat gefingeerde getallen**

## MANAGEMENTSAMENVATTING

In dit onderzoek is onderzocht hoe bij de montage van product A modules van VDL ETG de verstoringkosten teruggedrongen konden worden. Deze verstoringen ontstaan deels door non-performance van de leverancier, dit betekent te laat leveren of leveren van onderdelen van onvoldoende kwaliteit. Bij de product A module wordt binnenkort Vendor-managed Inventory (VMI) geïmplementeerd voor de inkoopdelen, waarvoor een hoge leverbetrouwbaarheid nodig is. Een lagere leverbetrouwbaarheid kan gecompenseerd worden het aanleggen van extra voorraden, dit brengt echter wel voorraadkosten met zich mee. Het doel van het onderzoek was het minimaliseren van de som van de voorraadkosten en de verstoringkosten. Dit is gedaan door het berekenen van de optimale minimum- en maximumvoorraden binnen VMI, daarnaast is gekeken naar hoe de logistieke leverbetrouwbaarheid van de leverancier verhoogt kan worden. De vraag die hierbij centraal stond was:

*Hoe kan VDL ETG na het implementeren van VMI het totaal van de verstoringkosten en de voorraadkosten minimaliseren door het bepalen van de optimale hoogte van de minimum- en maximumvoorraad en het verhogen van de logistieke leverbetrouwbaarheid van de toeleverketen?*

De logistieke leverbetrouwbaarheid van de inkooporders is 96,0% (ECLIP+3) en van de maakorders 93,0 (RLIP). De RLIP van de inkooporders was 91,0%. Hieruit wordt duidelijk dat de leverbetrouwbaarheid van de externe leveranciers (inkoopdelen) slechter is dan de interne leverbetrouwbaarheid (maakdelen). Er zijn ook veel meer inkoopdelen dan maakdelen, waardoor het totaal aantal verstoringen door inkoopdelen (80% van het totaal) significant groter is dan het aantal verstoringen door maakdelen (20% van het totaal).

Verstoringen zijn op te delen in logistieke verstoringen (stock-out) en kwaliteitsverstoringen (afkeur). De totale verstoringkosten bedragen ruim €330.000, waarvan bijna €220.000 veroorzaakt door stock-outs. Deze kosten zijn op te splitsen in kosten die gemaakt worden om manco's te voorkomen en kosten die gemaakt worden doordat monteurs moeten wachten of in een andere volgorde moeten monteren. Deze laatste kostenpost is het grootst (€138.000).

Binnen VMI zijn er twee manieren van voorraadsturing te vinden. Dit kan op basis van een minimum- en maximumvoorraadniveau waarbij de leverancier de leveringen zelf plant of op basis van een herleverpunt en een vaste leverhoeveelheid waarbij het aantal leveringen wordt geminimaliseerd.

Uit onderzoek door middel van *Analytic Hierachy Process* (AHP) bleek dat er een voorkeur is voor het model op basis van een minimum- en maximumvoorraad waarbij de leverancier de leveringen zelf plant. Het belangrijkste argument voor deze keuze was het feit dat deze manier van voorraadsturing een positief effect kan hebben op de leverbetrouwbaarheid.

Binnen deze gekozen manier van voorraadsturing wordt de som van de verstoringkosten en voorraadkosten geminimaliseerd door het aanhouden van een minimumvoorraad van twee modules en een maximumvoorraad van zes modules (bij een gemiddelde moverate van 2,5). Deze getallen zijn afgeleid uit het verbruik van het afgelopen jaar. Hierbij is voor vrijwel onderdelen de speelruimte (het verschil tussen minimum- en maximumvoorraad) gelijk aan het maximale verbruik per week. Dit komt doordat de verstoringkosten (€56 per ontbrekend onderdeel) significant hoger zijn dan de voorraadkosten. Dit optimum geldt bij een geplande gemiddelde moverate tussen de 2,1 en 3,0. Wanneer de moverate hoger of lager wordt dienen de minimum- en maximumvoorraden aangepast te worden, omdat dan het maximale verbruik per week verandert.

Naast het bepalen van de minimum- en maximumvoorraad is ook beschreven hoe binnen de VMI-context de logistieke leverbetrouwbaarheid verbeterd kan worden. Hierbij kan de leverancier geholpen worden door hem volledige informatie te verschaffen. Tot slot moet de leverancier gestimuleerd worden beter te leveren door het belonen van goed presterende leveranciers door hen meer verschillende onderdelen te laten leveren, waardoor hun omzet vergroot wordt.

De concrete aanbevelingen die uit dit onderzoek voortgekomen zijn, zijn als volgt:

- Gebruik de uit dit onderzoek voortgekomen rekentool, hierboven is de basis ervan uitgelegd.
- Houd na de implementatie van VMI de betrouwbaarheid van de forecasts bij, hiermee kunnen leveranciers geholpen worden in het aanpassen van hun process op VMI. Ook kan hiermee de in het

model gebruikte  $\alpha$  (kans dat het verbruik afwijkt van de forecast) opnieuw berekend worden. Dit is nodig om de rekentool over langere termijn te kunnen blijven gebruiken.

- Houd dagelijks de tekorten bij, hiermee kan de performance van de leverancier gemeten worden alsmede de minimumvoorraad berekend worden.
- Voorkom onrust bij de leveranciers door minimum- en maximumvoorraad zo min mogelijk aan te passen
- Deel alle informatie over de tot standkoming van de minimum- en maximumniveaus van de voorraad met de leverancier. Dit kan hem helpen met een betere afstemming op VMI, wat haar leverprestatie ten goede komt.
- Beloon leveranciers die goed presteren door het vergroten van hun omzet binnen VMI, zo worden zij gestimuleerd beter te leveren.
- Heroverweeg de veiligheidstijd van de onderdelen die niet binnen VMI gaan vallen. In appendix L is uitgerekend welke veiligheidstijd optimaal is. Bij onderdelen tot €200 is de optimale veiligheidstijd 15 dagen en bij onderdelen boven de €200 is de optimale veiligheidstijd 3 dagen. De verwachte besparing hierbij is €27.000.

Deze maatregelen zorgen ervoor dat de gemiddelde voorraadkosten met zo'n €500.000 euro dalen. Het lastig in te schatten in hoeverre de verstoringkosten dalen, omdat VMI een geheel nieuw systeem is voor de leveranciers. Deze aanbevelingen zorgen ervoor dat deze zo laag mogelijk zijn, zonder dat de voorraadkosten er bovenmatig door toenemen.

# INHOUDSOPGAVE

|                                                                             |                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| <b>MANAGEMENTSAMENVATTING</b>                                               | <b>2</b>                           |
| <b>INHOUDSOPGAVE</b>                                                        | <b>4</b>                           |
| <b>HOOFDSTUK 1: OPZET ONDERZOEK</b>                                         | <b>6</b>                           |
| 1.1                                                                         | BEDRIJFSOMSCHRIJVING 6             |
| 1.2                                                                         | AANLEIDING 6                       |
| 1.3                                                                         | PROBLEEMSTELLING 6                 |
| 1.4                                                                         | ONDERZOEKSDOEL 6                   |
| 1.5                                                                         | METHODIEK 7                        |
| 1.6                                                                         | ONDERZOEKSVRAGEN 8                 |
| 1.7                                                                         | RANDVOORWAARDEN 9                  |
| 1.8                                                                         | OPBOUW 9                           |
| <b>HOOFDSTUK 2: DE NON-OPTIMALE LEVERBETROUWBAARHEID EN DE VERSTORINGEN</b> | <b>10</b>                          |
| 2.1                                                                         | DE PLANNING 10                     |
| 2.2                                                                         | HET BESTELPROCES 10                |
| 2.3                                                                         | DE LEVERBETROUWBAARHEID 11         |
| 2.4                                                                         | DE VERSTORINGEN BIJ DE MONTAGE 12  |
| 2.5                                                                         | CONCLUSIE HUIDIGE SITUATIE 14      |
| <b>HOOFDSTUK 3: LITERATUURONDERZOEK</b>                                     | <b>15</b>                          |
| 3.1                                                                         | VENDOR-MANAGED INVENTORY 15        |
| 3.2                                                                         | VOORRAADSTURING 15                 |
| 3.3                                                                         | LOGISTIEKE LEVERBETROUWBAARHEID 19 |
| 3.4                                                                         | CONCLUSIE LITERATUURONDERZOEK 19   |
| <b>HOOFDSTUK 4: OPERATIONALISERING MODEL</b>                                | <b>20</b>                          |
| 4.1                                                                         | HET MODEL 20                       |
| 4.2                                                                         | LOGISTIEKE LEVERBETROUWBAARHEID 23 |
| 4.3                                                                         | CONCLUSIE OPERATIONALISERING 23    |
| <b>HOOFDSTUK 5: IMPLEMENTATIE</b>                                           | <b>25</b>                          |
| 5.1                                                                         | PLANNING 25                        |
| 5.2                                                                         | ONDERHOUD REKENMODEL 25            |
| 5.3                                                                         | INFORMATIE LEVERANCIER 26          |
| 5.4                                                                         | PRIKKELS 27                        |
| 5.5                                                                         | CONCLUSIE IMPLEMENTATIE 27         |
| <b>HOOFDSTUK 6: IMPACT</b>                                                  | <b>28</b>                          |
| 6.1                                                                         | IMPACT OP DE VOORRAADKOSTEN 28     |
| 6.2                                                                         | IMPACT OP DE VERSTORINGKOSTEN 28   |
| <b>HOOFDSTUK 7: CONCLUSIE</b>                                               | <b>30</b>                          |
| 7.1                                                                         | CONCLUSIE 30                       |
| 7.2                                                                         | AANBEVELINGEN 30                   |
| <b>REFERENTIES</b>                                                          | <b>31</b>                          |
| <b>APPENDICES</b>                                                           | <b>32</b>                          |

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| APPENDIX A: BEGRIPPENLIJST                          | 32 |
| APPENDIX B: HET LFA CONTRACT                        | 33 |
| APPENDIX C: ANALYSE LOGISTIEKE LEVERBETROUWBAARHEID | 34 |
| APPENDIX D: ONDERDELENMAGAZIJN                      | 36 |
| APPENDIX E: OORZAKEN STOCK-OUTS                     | 36 |
| APPENDIX F: VERSTORINGEN IN DE MONTAGE              | 39 |
| APPENDIX H: ANALYTIC HIERARCHIC PROCESS (AHP)       | 43 |
| APPENDIX I: GEBRUIKTE VARIABLEN                     | 44 |
| APPENDIX J: VRAAG NAAR ONDERDELEN                   | 45 |
| APPENDIX K: HET CATEGORISEREN VAN ONDERDELEN        | 47 |
| APPENDIX L: HEROVERWEGING VEILIGHEIDSTIJD           | 49 |

# HOOFDSTUK 1: OPZET ONDERZOEK

## 1.1 BEDRIJFSOMSCHRIJVING

VDL Enabling Technologies Group (ETG) te Almelo is onderdeel van de Van Der Leegte groep. De Van Der Leegte groep bestaat op dit moment uit 81 bedrijven uit 17 verschillende landen. De Van Der Leegte groep heeft haar hoofdkantoor in Eindhoven en is verdeeld in drie divisies: bussen, toelevering en eindproducten. De busdivisie bestaat uit een aantal bedrijven die verschillende soorten bussen produceren en verkopen, zoals touringcars, minibussen en bussen voor het openbaar vervoer. De divisie toelevering bestaat uit bedrijven die zich bezig houden met het produceren van halffabricaten en systemen, bijvoorbeeld plaatbewerking, kunststofverwerking en mechatronische systemen. De divisie eindproducten produceert een groot scala aan eindproducten voor zowel de industriële als de consumentenmarkt. Het motto van VDL is: "Kracht door samenwerking" dat terug te vinden is in de no-nonsense cultuur binnen het bedrijf.

VDL ETG Almelo valt onder de toeleveringsdivisie en houdt zich bezig met de integratie van mechatronische systemen en modules voor de medische markt en de hightech industrie. Zij levert hightech kapitaalgoederen houdt zich bezig met zowel het ontwerp als de productie, montage en kwaliteitscontrole van hun producten.

## 1.2 AANLEIDING

De product A module is één van de systemen die op de afdeling WF-systems geproduceerd wordt. Al deze systemen worden geproduceerd voor de klant. Voor product A wordt in Almelo de productie van onderdelen, de montage en de kwaliteitscontrole uitgevoerd. Ook worden kapotte onderdelen gerepareerd en/of vervangen door VDL ETG op de spare/repair afdeling (ook onderdeel van WF-systems).

Binnen de productielijn van product A gaat voor de levering van onderdelen met Vendor-managed Inventory (VMI) gewerkt worden. Dit betekent dat er niet meer op bestelling geleverd wordt door de leveranciers, maar dat de leverancier verantwoordelijk is voor de aanwezige voorraad bij VDL ETG. VDL ETG geeft de leverancier de randvoorwaarden waar ze zich aan moet houden. De primaire reden voor het implementeren van VMI is het verminderen van de administratieve handelingen in het inkoopproces. Het doel is om VMI voor december 2013 te implementeren.

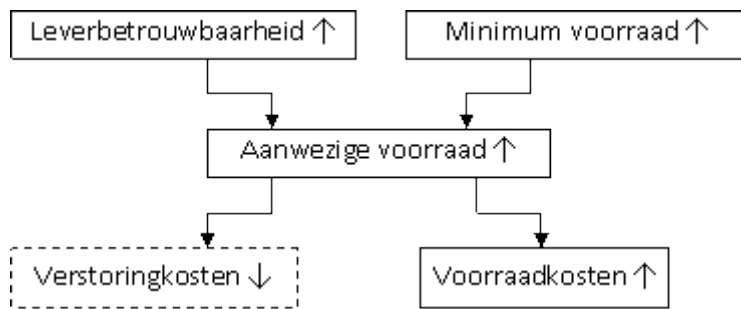
Een voorwaarde voor een succesvolle implementatie van VMI is een zeer hoge leverbetrouwbaarheid (in theorie zelfs 100%). Dit is op het moment nog niet het geval waardoor bij montage efficiëntieverliezen worden geleden, zogenaamde verstoringkosten. De kosten worden veroorzaakt door zowel logistieke als kwaliteitproblemen van de leveranciers. De kwaliteitsproblemen zelf zijn niet direct op te lossen door VDL ETG, de logistieke gevolgen daarvan echter wel. Wanneer de monteur meteen een defect onderdeel kan vervangen door een onderdeel uit de voorraad scheelt dat tijd ten opzichte van de situatie waarin de monteur moet wachten tot het onderdeel gerepareerd of door de leverancier vervangen is.

## 1.3 PROBLEEMSTELLING

Er ontstaan op dit moment verstoringen op de montage die kosten met zich meebrengen. Een oorzaak hiervan is de non-optimale leverbetrouwbaarheid. Voor de implementatie van VMI is echter een zeer hoge leverbetrouwbaarheid nodig.

## 1.4 ONDERZOEKSDOEL

Het volgende model laat de indicatoren zien die invloed hebben op deze verstoringkosten (in gestippeld vak):



FIGUUR 1: INDICATOREN

Het model laat zien dat de aanwezige voorraad een direct verband heeft met de verstoringkosten. Wanneer de aanwezige voorraad stijgt, komt het minder vaak voor dat een benodigd onderdeel niet aanwezig is (stock-out). Hierdoor dalen de verstoringkosten. Wanneer de aanwezige voorraad echter stijgt, nemen de voorraadkosten ook toe. Er zijn twee indicatoren die een direct verband hebben met de aanwezige voorraad na het implementeren van VMI, namelijk de eerder genoemde leverbetrouwbaarheid en de ingestelde hoogte van de minimumvoorraad. Wanneer leverbetrouwbaarheid hoger wordt, neemt de aanwezige voorraad toe doordat er op tijd wordt geleverd en komen er minder stock-outs voor, aangezien de voorraad minder vaak onder het minimum belandt. Wanneer er een hogere minimumvoorraad wordt ingesteld, komen stock-outs minder vaak voor omdat de buffer groter is.

Het doel van het onderzoek is het minimaliseren van de som van de verstoringkosten en de voorraadkosten door middel van het maken van een rekentool. In figuur 1 is te zien dat een hogere minimumvoorraad indirect de verstoringkosten verlaagd en de voorraadkosten doet stijgen, dit zijn dus twee kostenposten die tegen elkaar afgewogen moeten worden. De rekentool berekent voor een bepaalde situatie de bijbehorende verstoring- en voorraadkosten en kan vervolgens de optimale situatie berekenen. Voor enkele onderdelen wordt dit model doorgerekend, daarna wordt gekeken of er standaardregels te ontdekken zijn voor de hoogte van de minimum- en maximumvoorraad.

Daarnaast wordt onderzocht of de leverbetrouwbaarheid verhoogd kan worden door aanpassingen binnen VDL ETG. VDL ETG kan niet direct iets aan de processen bij de leveranciers veranderen, maar er kan wel gekeken worden naar de processen binnen VDL ETG die met deze leveranciers te maken hebben zoals selectie van leveranciers, afspraken die gemaakt worden met leveranciers en informatie die gedeeld wordt tussen VDL ETG en de leveranciers.

## 1.5 METHODIEK

Voor het oplossen van multidisciplinaire en complexe bedrijfskundige problemen is de Algemene Bedrijfskundige Probleemaanpak (ABP) een geschikte methode (Heerkens, 2005). Het probleem van VDL ETG is multidisciplinair omdat het meerdere vakgebieden aangaat, namelijk inkoop, kwaliteitsmanagement, planning en productie. Het probleem is complex, omdat er sprake is van meerdere variabelen, zie het model in figuur 1. De ABP is dus een geschikte methode voor dit probleem.

De ABP bestaat uit een aantal verschillende fases: de probleemidentificatie, het formuleren van de probleemaanpak, de probleemanalyse, de formulering van alternatieve oplossingen, de beslissing, de implementatie en de evaluatie. In paragraaf 1.4 heeft de probleemidentificatie plaatsgevonden en zijn daarvoor indicatoren geformuleerd. In paragraaf 1.6 is de probleemaanpak geformuleerd in een hoofdvraag en een aantal deelvragen.

In feite is het probleem opgesplitst in twee deelproblemen, namelijk het verhogen van de leverbetrouwbaarheid enerzijds en het berekenen van de optimale hoogte van de voorraad anderzijds. Beiden dragen bij aan de oplossing van het kernprobleem, maar behoeven een andere aanpak. Zo kan het eerste deelprobleem worden opgelost door het direct toepassen van de ABP, maar wordt voor het tweede deelprobleem de ABP aangepast. Zo worden bij dit deelprobleem “de formulering van de alternatieve oplossingen” en “de beslissing” vervangen door “het opstellen van het model” en “de operationalisering” aangezien de oplossing de vorm van een wiskundig model heeft.

Bij elke deelvraag staat vermeld welke stap van de ABP hierbij hoort, hierbij wordt van beide deelproblemen dezelfde fase behandeld. In het laatste hoofdstuk wordt bij de conclusie ook geëvalueerd of het onderzoeksdoel behaald is en het probleem is opgelost.

## 1.6 ONDERZOEKSVRAGEN

In deze paragraaf worden de hoofd- en deelvragen uiteengezet.

### 1.6.1 HOOFDVRAAG

Hoe kan VDL ETG na het implementeren van VMI het totaal van de verstoringkosten en de voorraadkosten minimaliseren door het bepalen van de optimale hoogte van de minimum- en maximumvoorraad en het verhogen van de logistieke leverbetrouwbaarheid van de toeleverketen?

### 1.6.2 DEELVRAGEN

1. In hoeverre veroorzaakt de non-optimale leverbetrouwbaarheid van de toeleverketen logistieke en kwaliteitsverstoringen en hoe hoog zijn de kosten hiervan?

- Hoe verloopt het bestelproces?
- Hoe wordt de bestelhoeveelheid bepaald?
- Wat is er met de leverancier afgesproken?
- Hoe wordt de leverbetrouwbaarheid gemeten?
- Welke informatie krijgt de leverancier van VDL ETG?
- Wat zijn de oorzaken van de non-optimale logistieke leverbetrouwbaarheid?
- Welke oorzaken zijn aan VDL ETG toe te schrijven?
- Hoe vaak komen verstoringen voor als gevolg van de non-optimale leverbetrouwbaarheid?
- Hebben verstoringen ook andere oorzaken?
- Hoe worden verstoringen afgehandeld?
- Welke kosten brengt dit met zich mee?

**ABP:** Probleemanalyse

**Informatiebron:** Interviews met productieassistenten die de verstoringen afhandelen (zowel logistiek als kwaliteit), montage (productieleider of monteurs), inkoop, productieplanners en financiële afdeling en data analyse van informatie uit het ERP systeem.

2. Hoe wordt bij VMI de voorraad gestuurd en hoe kan daarbij de leverbetrouwbaarheid worden verhoogd?

- Op welke manieren kan bij VMI de voorraad gestuurd worden?
- Welke variabelen spelen bij deze manieren een rol?
- Wat is de beste manier van voorraadsturing binnen VMI?
- Hoe kan binnen de gekozen manier van voorraadsturing de leverbetrouwbaarheid verhoogd worden?

**ABP:** Het formuleren van de alternatieven, het opstellen van het model.

**Informatiebron:** In de literatuur wordt gekeken naar voorraadsturing bij VMI. Aan de hand hiervan wordt een model gemaakt. Verder wordt onderzocht of binnen de gekozen manier van voorraadsturing de leverbetrouwbaarheid verhoogd kan worden, dit kan zowel uit de literatuur als de praktijk afgeleid worden.

3. Welke minimum- en maximumvoorraad moet VDL ETG aanhouden, en zijn er nog aanvullende maatregelen nodig om te zorgen dat de logistieke leverbetrouwbaarheid nagenoeg 100% is?

- Op welke onderdelen kan het model het beste getest worden (=afbakening)
- Welke software leent zich tot het operationaliseren van het bij deelvraag twee opgestelde model?
- Welke data is nodig om de bij deelvraag twee gedefinieerde variabelen te operationaliseren?
- Hoe moet VDL ETG de hoogte van de minimum- en maximumvoorraad kiezen bij deze onderdelen (=doorrekenen model)?
- Wat gebeurt er met de optimale hoogte van de minimum- en maximumvoorraad als belangrijke variabelen veranderd worden (=gevoeligheidsanalyse)?
- Hoe kan binnen de gekozen hoogte van de minimum- en maximum voorraad de leverbetrouwbaarheid verhoogd worden?

**ABP:** Beslissing, Operationalisering

**Informatiebron:** Voor het model wordt veel data uit het ERP systeem gehaald, daarnaast worden interviews gehouden met de financiële afdeling en planningsafdeling. Voor de logistieke leverbetrouwbaarheid zal met de betrokken personen gesproken worden over het beste alternatief.

4. Hoe kan VDL ETG de verschillende oplossingen het beste implementeren?

- Wat zijn de gevolgen voor de leveranciers?
- Wat zijn de gevolgen voor de productieassistenten?
- Wat zijn de gevolgen voor planning?
- Wat zijn de gevolgen voor inkoop?
- Wat zijn de gevolgen voor de overige afdelingen?
- Hoe kan het model het beste gebruikt worden?

**ABP:** Implementatie

**Informatiebron:** Interviews met betrokkenen. Wat vinden zij van de uitkomsten en wat kunnen zij hiermee?

## 1.7 RANDVOORWAARDEN

- De oplossing moet binnen het VMI concept passen, aangezien dit binnenkort geïmplementeerd wordt.
- Het onderzoek moet op 7 december afgerond zijn.
- Het onderzoek heeft betrekking op de productielijn van product A.

## 1.8 OPBOUW

De deelvragen 1 t/m 5 worden respectievelijk in de hoofdstukken 2 t/m 6 behandeld. In hoofdstuk 7 wordt gekeken wat de impact is van de voorgestelde veranderingen. In hoofdstuk 8 worden de aanbevelingen en conclusies besproken.

## HOOFDSTUK 2: DE NON-OPTIMALE LEVERBETROUWBAARHEID EN DE VERSTORINGEN

De deelvraag die in dit hoofdstuk besproken wordt luidt: “**In hoeverre veroorzaakt de non-optimale leverbetrouwbaarheid logistieke en kwaliteitsverstoringen en hoe hoog zijn de kosten hiervan?**”. In dit hoofdstuk wordt de huidige situatie bij VDL ETG onderzocht. Hierbij wordt vooral gekeken naar de leverbetrouwbaarheid van de leveranciers en de gevolgen die de non-optimale leverbetrouwbaarheid heeft op de montage en de ondersteunende processen.

### 2.1 DE PLANNING

VDL ETG krijgt wekelijks een nieuwe planning gebaseerd op de vraag van de klant, de verwachte afname van modules over een tijdspanne van de komende anderhalf jaar. De planning van de klant is elke week anders, modules kunnen één of meerdere weken naar voren of achteren geschoven worden, hier is de klant vrij in. Zo werd de planning van week 36 voor de komende 40 modules gemiddeld een halve week vervroegd ten opzichte van week 35. In week 37 werd de planning gemiddeld 2,6 weken per module vervroegd ten opzichte van week 36. In week 38 werd de planning weer uitgesteld met gemiddeld 4,1 weken per module. De planning is dus aan verandering onderhevig. In deze planning bevinden zich ook een aantal *opportunity modules*, dit zijn modules die de klant misschien gaat afnemen. De klant moet 12 weken van tevoren aangeven of een opportunity module afgenomen gaat worden, dit gebeurt in ongeveer driekwart van de gevallen.

Op basis van de planning wordt door de orderplanner in overleg met de productieleider een productieplanning gemaakt voor de productie van de modules. Aan de hand van deze productieplanning wordt een BAAN-planning (BAAN is het ERP-systeem van VDL ETG) gemaakt voor wanneer de onderdelen nodig zijn, deze planning is MRP-gestuurd. Er bestaan bij VDL ETG twee soorten onderdelen: maaddelen en inkoopdelen. Maaddelen worden gemaakt op twee eigen afdelingen: WF-plaat (plaatwerk) en WF-OF (onderdelenfabricage), inkoopdelen worden extern ingekocht. BAAN genereert automatisch productieorders voor de benodigde maaddelen en een lijst voor de inkopers met de onderdelen die besteld moeten worden.

Wanneer de planning vanuit de klant aangepast wordt en deze wijziging dusdanig groot is dat de productieplanning mee moet veranderen kan het zo zijn dat onderdelen te vroeg of te laat geleverd dreigen te worden. De klant kan dan een lijst met onderdelen genereren waarvan de orders bespoedigd of vertraagd moeten worden om op het juiste moment geleverd te worden. Het is dan aan de inkopers om te proberen deze orders te bespoedigen of te vertragen. Wanneer de orders vertraagd moeten worden kan het voorkomen dat leveranciers daar niet aan mee willen werken en alsnog hun onderdelen leveren, wat extra voorraadkosten veroorzaakt. Wanneer de order vervroegd moeten worden kan het voorkomen dat de leveranciers daar niet aan mee kunnen werken, waardoor er manco's kunnen ontstaan.

### 2.2 HET BESTELPROCES

Zoals in de vorige paragraaf is verteld zijn de onderdelen bij VDL ETG te verdelen in maaddelen en inkoopdelen. De totale indeling van onderdelen en de aantallen (zowel totaal aantal als aantal artikelnummers) zijn te zien in tabel 1:

De inkooponderdelen van product A zijn onder te verdelen in grijponderdelen en niet-grijp onderdelen. Grijponderdelen zijn de kleinere, goedkopere (<€1) onderdelen die een monteur standaard uit een bak kan pakken, deze onderdelen worden veel gebruikt. Grijponderdelen worden ingekocht via de Statistical Inventory Control (SIC) bestelmethode, in de praktijk komt dit neer op een (r,Q) bestelmethode, wanneer de economische voorraad beneden r komt, wordt er een hoeveelheid Q besteld bij de leverancier. Er wordt gewerkt met een 2-bin systeem, waarbij zowel r als Q de grootte van een bin betreft.

De niet-grijponderdelen worden op basis van de BAAN-planning besteld via een (R,S) bestelmethode, waarbij onderdelen periodiek besteld worden en totop een bepaalde voorraadhoogte wordt aangevuld. Dit geldt ook voor de maaddelen die op basis van optimale batchgrootte geproduceerd worden. Bij de niet-grijponderdelen wordt weer onderscheid gemaakt in twee categorieën onderdelen: onderdelen met een Long Forecast Agreement (LFA) contract en onderdelen zonder een contract.

| Indeling onderdelen product A                                                     |                       | Totaal | Artikelnummers |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------|----------------|
| Totaal                                                                            |                       | 8800   | 1100           |
| ↳                                                                                 | Maakdelen (RLIP)      | 1800   | 200            |
|                                                                                   | ↳ Plaat               | 900    | 100            |
|                                                                                   | ↳ OF                  | 900    | 100            |
| ↳                                                                                 | Inkoopdelen (ECLIP+3) | 7000   | 900            |
|                                                                                   | ↳ Grijp               | 5600   | 700            |
|                                                                                   | ↳ Niet grijp          | 1400   | 200            |
|                                                                                   | ↳ LFA                 | 400    | 50             |
|                                                                                   | ↳ Niet LFA            | 1000   | 150            |
| Alle onderdelen (excl. Grijp) onder €200 hebben een veiligheidsstijd (550 totaal) |                       |        |                |

TABEL 1: INDELING ONDERDELEN

De leverancier die onderdelen levert waarvoor een LFA contract is afgesloten ontvangt een planning van VDL ETG van de productie over de looptijd van een jaar. Deze planning wordt vaak gewijzigd, doordat de klant wijzigingen doorvoert in de verkooporders, daarom krijgen de leveranciers wekelijks een nieuwe planning. De inkooporders voor de LFA-onderdelen wordt pas een week voor levering geplaatst. De leveranciers van de onderdelen waarvoor geen LFA contract is afgesloten, ontvangen een zogenoemde *non-binding forecast*, dit is een voorspelling waar geen rechten aan ontleend kunnen worden. Deze leveranciers krijgen alleen bij grote wijzigingen een nieuwe voorspelling. Meer over het LFA-contract is te vinden in appendix B.

De onderdelen met een LFA contract worden wekelijks besteld op basis van de benodigdheden de week erna, dus R = wekelijks en S = behoefte voor één week. De onderdelen zonder contract worden besteld op basis van de optimale seriegrootte, dus R = wekelijks en S = optimale seriegrootte. De optimale seriegrootte wordt berekend door middel van de EOQ formule, maar mag niet groter zijn dan de behoefte voor twee maanden.

Voor sommige onderdelen wordt een veiligheidsstijd gebruikt, deze onderdelen worden een aantal weken (één of twee) eerder besteld ten opzichte van de bevoegdheidsdatum in de BAAN-planning, zodat deze in ieder geval aanwezig zijn. Dit betreft de goedkopere onderdelen, de grens ligt hier ongeveer bij €200. Dit kunnen alle soorten onderdelen zijn, behalve grijponderdelen.

De inkoper bepaalt bij welke leverancier het onderdeel ingekocht wordt, hierbij zijn er drie soorten onderdelen: technische, elektronische en catalogusonderdelen. Elke soort onderdelen heeft één inkoper, omdat deze soort vaak bij dezelfde leveranciers wordt ingekocht. De inkoper selecteert op basis van de kostprijs de leverancier van een onderdeel, hierbij heeft hij de keuze uit leveranciers die vrijgegeven zijn door de initiële inkopers om mee samen te werken. Sommige leveranciers zijn door de klant voorgeschreven, VDL ETG is verplicht om hier bepaalde onderdelen af te nemen.

## 2.3 DE LEVERBETROUWBAARHEID

Voor het meten van de logistieke leverbetrouwbaarheid van de externe leveranciers wordt de door de leverancier bevestigde leverdatum gebruikt als referentiedatum. VDL ETG gebruikt de ECLIP+3 (*Early Confirmed Line Item Performance*) om de leverbetrouwbaarheid te meten, dit betekent dat een order die binnen drie dagen (+3) na de bevestigde leverdatum wordt binnengeboekt nog als op tijd wordt gezien. *Early* betekent in deze manier van meten dat een order ook te vroeg geleverd mag worden.

Een uitgebreide analyse van de logistieke leverbetrouwbaarheid is te vinden in appendix C, hieronder worden verder de conclusies besproken. In het afgelopen jaar (1 okt. 2011 t/m 30 sep. 2012) was de ECLIP+3 over de inkooporders van product A 96,0%. Voor de maakdelen wordt de logistieke leverbetrouwbaarheid gemeten door middel van de Requested Line Item Performance (RLIP), dus op basis van de bevoegdheidsdatum van de montage. Dit is anders dan bij de externe leveranciers, omdat de maakdelen MRP gestuurd worden en er dus geen leverdatum bevestigd wordt. De RLIP van WF-Plaat was over het afgelopen jaar 93,0% en de RLIP van WF-OF 93,0%, voor alle maakdelen is dit 93,0%. Hierbij is echter wel rekening gehouden met de veiligheidsstijd, die de bevoegdheidsdatum naar voren schuift. Wanneer de orders gecorrigeerd worden voor de veiligheidsstijd, bedraagt de RLIP 95,0%.

Om vergelijkingen tussen de inkooporders en productieorders te kunnen maken moet er met gelijke maat gemeten worden, dus moet hiervoor de RLIP van de inkooporders gebruikt worden. De RLIP van de inkooporders was over het afgelopen jaar 91,0%. Wanneer de RLIP voor de veiligheidstijd gecorrigeerd wordt bedraagt deze 94,0%.

De leverbetrouwbaarheid op het gebied van kwaliteit wordt gemeten door het percentage afgekeurde onderdelen. Hierbij wordt gekeken naar de aantallen die in de montage worden afgekeurd. Een klein deel (3%) van de afkeuringen wordt bij de ingangscntrole ontdekt. Het afgelopen jaar zijn er 200.000 onderdelen ingekocht, waarvan er 2000 (1,0%) zijn afgekeurd. Er zijn 40.000 maakdelen geproduceerd waarvan er 400 (1,0%) zijn afgekeurd. Van al deze afgekeurde maakdelen is een groot deel (88%) afgekeurd op basis van een uitbestede productiestap (bijvoorbeeld oppervlaktebehandeling). Het zijn vaak dezelfde onderdelen die worden afgekeurd, zo zijn er 80 verschillende inkoopdelen afgekeurd en 30 verschillende maakdelen. Van deze 80 verschillende onderdelen zijn er 45 meer dan eenmaal afgekeurd het afgelopen jaar.

Binnen VDL ETG worden meerdere middelen gebruikt om de prestaties van de leveranciers te verhogen. Ten eerste krijgen alle leveranciers maandelijks een zogenaamd Supplier Rating System (SRS) bestand, waarin hun logistieke en kwaliteitsperformance van de afgelopen maanden staat. Hierover is echter veel discussie met de leveranciers, aangezien de CLIP gegevens niet altijd overeenkomen met de data van de leverancier. Voor sommige leveranciers met een grote omzet loopt een Supplier Customer Improvement Meeting (SCIM) programma, waarbij door beide partijen wordt gekeken naar hoe de leverancier op het gebied van logistiek, kwaliteit, technologie en kosten kan verbeteren. Gezamenlijk wordt er een actieplan opgesteld om de gestelde doelen te behalen.

## 2.4 DE VERSTORINGEN BIJ DE MONTAGE

In deze paragraaf wordt uitgelegd welke verstoringen er zijn, hoe deze veroorzaakt worden en hoe groot de kosten van deze verstoringen zijn.

### 2.4.1 VERSTORINGEN

De montage van product A is verdeeld in vijftien verschillende bewerkingsstappen. Bij elk van deze bewerkingsstappen kunnen twee soorten verstoringen ontstaan, dit zijn logistieke verstoringen en kwaliteitsverstoringen. Het grootste deel van de onderdelen wordt opgeslagen in de Kardex, dit is een verticaal liftsysteem waar onderdelen in opgeslagen kunnen worden. Het proces van het onderdelenmagazijn staat beschreven in appendix D.

Logistieke verstoringen ontstaan door stock-outs, dat wil zeggen dat de monteur een onderdeel wil monteren, maar het onderdeel niet aanwezig is. Door het feit dat er geen buffer (veiligheidsvoorraad) aanwezig is, kan een stock-out op meerdere manieren ontstaan.

1. Onderdelen kunnen intern stuk gaan, waardoor ze niet meer bruikbaar zijn of kwijt raken (25%).
2. De leverancier levert niet op tijd (45%).
3. De spare/repair afdeling gebruikt een onderdeel eerder (onbekend).
4. Door afkeur zijn er minder goede onderdelen over dan benodigd (30%) .

Deze oorzaken zijn gekwantificeerd in appendix E. In het afgelopen jaar zijn naar benadering 4000 stock-outs voorgekomen, achter de oorzaken is tussen haakjes te vinden hoe vaak de verschillende oorzaken voorkomen.

Een stock-out betekent niet meteen dat een monteur niet verder kan werken, aangezien de monteur in de meeste gevallen eerst andere onderdelen kan monteren. In de tussentijd kan het onderdeel dan alsnog arriveren. De totale vertraging is dus de som van de wachttijd van de monteur en de vertraging die opgelopen wordt doordat monteurs eerst andere onderdelen dan gepland moeten monteren (de om-monteertijd). Er treden nooit stock-outs op bij de grijpvoorraad vanwege de grote voorraad van deze onderdelen.

Kwaliteitsverstoringen ontstaan wanneer er een onderdeel geleverd wordt dat niet goed genoeg is om te monteren en afgekeurd wordt. Het onderdeel kan niet voldoen aan de specificaties hebben of defect zijn. Wanneer dit het geval is, wordt er een melding van gemaakt in het registratiesysteem (FS-REM) en gaat de kwaliteitsmedewerker in de voorraad kijken of het onderdeel op voorraad is. Wanneer het onderdeel op

voorraad is, keurt de kwaliteitsmedewerker de rest van de voorraad. Is de voorraad goedgekeurd, dan brengt de kwaliteitsmedewerker een onderdeel naar de montage. Wanneer het onderdeel niet meer op voorraad is of de hele voorraad afgekeurd wordt, neemt de inkoper contact op met de leverancier die het probleem zo snel mogelijk moet verhelpen. Ook is het mogelijk dat een onderdeel op de WF-Plaat of WF-OF afdeling gerepareerd wordt. Soms wordt een afkeur pas ontdekt wanneer een onderdeel al gemonteerd is, dit moet dan vervangen worden. Hierdoor ontstaat herbewerkingstijd, die ook onderdeel is van de verstoringstijd.

Het proces, hoe de monteur omgaat met verstoringen is weergegeven in appendix F.

#### 2.4.2 VERSTORINGKOSTEN

De kosten die ontstaan uit de verstoringen bestaan niet alleen uit de afhandelingskosten, maar ook uit de kosten die gemaakt worden om verstoringen te voorkomen.

De verstoringkosten zijn als volgt in een formule samen te vatten.

*Verstoringkosten = Afhandelingskosten + Kosten om verstoringen te voorkomen*

Hierbij zijn de afhandelingskosten alle kosten die ontstaan door alle vertragingen op de montage, de afkeur van onderdelen en het personeel dat bezig is met het afhandelen van de verstoringen. De kosten van om verstoringen te voorkomen bestaan uit de kosten van de veiligheidstijd en de kosten van het personeel dat bezig is met het voorkomen van verstoringen. In appendix G is de berekening en de onderbouwing van de verstoringkosten te vinden, hieruit blijkt:

*Afhandelingskosten = Totale verstoringstijd \* Kosten monteur + Kosten afkeur + Personeelskosten indirect personeel = €248.150*

*Totale verstoringstijd = Om-monteertijd + Wachtstijd + Herbewerkingstijd = 2.950 uur*

*Kosten monteur = €55 per uur*

*Kosten afkeur = €40.000*

*Personeelskosten indirect personeel = (Uren kwaliteitsmedewerker + Uren line-engineer + Uren inkopers) \* integrale loonkosten per uur = €45.900*

*Kosten om verstoringen te voorkomen = Kosten veiligheidstijd + Personeelskosten voorkomen verstoringen = €82.462,50*

*Kosten veiligheidstijd = Voorraad kapitaalkosten + voorraad ruimtekosten = € 10.350*

*Personeelskosten voorkomen verstoringen = Kosten verwervers + Kosten mancobewaking = € 72.112,50*

Dus:

*Verstoringkosten = €248.150 + €82.462,50 = €330.612,50 per jaar.*

De totale verstoringkosten bedragen ruim €330.000. Deze kosten zijn als volgt opgebouwd, hierbij is de totale verstoringstijd opgedeeld in tijd veroorzaakt door afkeur (herbewerkingstijd) en stock-out (wachtstijd en om-monteertijd):

|                  | Voorkomen | Afhandelen | Totaal   |
|------------------|-----------|------------|----------|
| <b>Afkeur</b>    | € 0       | € 107.900  | €107.900 |
| <b>Stock-out</b> | € 82.463  | € 140.250  | €222.713 |
| <b>Totaal</b>    | € 82.463  | € 248.150  | €330.613 |

TABEL 2: OPBOUW VERSTORINGKOSTEN

Uit tabel 2 kan geconcludeerd worden dat de kosten door afkeur in zijn geheel zitten in het afhandelen van verstoringen, deze kosten zijn in zijn geheel toe te schrijven aan de non-performance van de leverancier. Dit is het geval, omdat er bij het bepalen van de afkeur alleen geselecteerd is op leveranciersklachten. Aan de kosten voor de afkeur á €107.900 gaat dus niet direct iets veranderen, omdat de oorzaken hiervan grotendeels bij de leveranciers liggen. De enige relatie m.b.t. de afkeur die meegenomen wordt heeft betrekking op de logistieke consequenties van de afkeur.

De kosten door stock-outs zijn onderverdeeld in voorkomen en afhandelen van de verstoringen. De kosten voor het voorkomen van verstoringen (€82.463) zijn in hun geheel toe te schrijven aan de non-performance van de leverancier. Deze kosten bestaan namelijk uit het voorkomen van manco's waarvoor veel gebeld wordt met de leveranciers en waarvoor een veiligheidstijd is ingesteld. Wanneer de leverancier altijd op tijd zou leveren, hoeven deze kosten niet gemaakt te worden. De kosten voor het afhandelen van stock-outs (€140.250) zijn niet geheel toe te schrijven aan de non-performance van de leverancier, aangezien stock-outs ook door andere oorzaken, zoals het zoekraken van onderdelen, kunnen ontstaan.

## 2.5 CONCLUSIE HUIDIGE SITUATIE

De deelvraag die in dit hoofdstuk behandeld werd is: **“In hoeverre veroorzaakt de non-optimale leverbetrouwbaarheid logistieke en kwaliteitsverstoringen en hoe hoog zijn de kosten hiervan?”**. Deze wordt nu beantwoord.

De leverbetrouwbaarheid heeft twee dimensies, de logistieke en de kwaliteitsdimensie. De logistieke leverbetrouwbaarheid van de inkooporders is 96,0% (ECLIP+3) en van de maakorders 93,0% (RLIP). De RLIP van de inkooporders was 91,0%. De kwalitatieve leverbetrouwbaarheid van de inkooporders is 99,0% en de maakorders 99,0% (100%-afkeurpercentage). Uit beide wordt duidelijk dat de leverbetrouwbaarheid van de externe leveranciers (inkoopdelen) op beide fronten vergelijkbaar is aan de interne leverbetrouwbaarheid (maakdelen). Er zijn echter veel meer inkoopdelen dan maakdelen, waardoor het totaal aantal verstoringen door inkoopdelen (80% van het totaal) groter is dan het aantal verstoringen door maakdelen (20% van het totaal). In de volgende hoofdstukken wordt daarom naar de verstoringen door inkoopdelen gekeken.

Ook verstoringen zijn op te delen in logistieke verstoringen (stock-out) en kwaliteitsverstoringen (afkeur), deze hebben verschillende oorzaken. Van de vijf oorzaken van stock-outs zijn er drie oorzaken die er direct voor zorgen dat de voorraad afneemt: “afkeur”, “onderdeel gaat stuk” en “spare/repair pakt onderdeel eerder”. Manco's zorgen er niet voor dat de voorraad afneemt, maar juist dat de voorraad niet toeneemt wanneer gepland. De laatste oorzaak, dat er geen veiligheidsvoorraad is, betekent dat er geen buffer is om de andere vier oorzaken op te vangen en zorgt dus op zichzelf niet direct voor stock-outs. De totale kosten voor de stock-outs bedragen ruim €222.000 en zijn op te splitsen in kosten die gemaakt worden om manco's te voorkomen (€82.000) en kosten die gemaakt worden door wachttijd (€2.000) en om-monteertijd (€138.000).

Aan de oorzaken van stock-outs “afkeur” en “spare/repair pakt onderdeel eerder” kan niet veel gedaan worden binnen dit onderzoek. De oorzaken van afkeur liggen vaak bij de leverancier, hierdoor wordt er binnen dit onderzoek niets aan deze oorzaak gedaan. Het feit dat de onderdelen met spare/repair gedeeld worden is een kwestie van prioriteiten stellen, deze prioriteit ligt op het moment bij spare/repair. De oorzaak “onderdeel gaat stuk” is een stuk kleiner dan “manco's” (25% om 45%), daarom wordt eerst naar de oorzaak “manco's” gekeken in de komende hoofdstukken.

In het volgende hoofdstuk wordt gekeken hoe in de context van VMI de voorraad dusdanig gestuurd kan worden, dat stock-outs voorkomen worden. Er wordt ook gekeken naar hoe het aantal manco's kan worden teruggedrongen door het verhogen van de logistieke leverbetrouwbaarheid.

## HOOFDSTUK 3: LITERATUURONDERZOEK

In dit hoofdstuk wordt de tweede deelvraag beantwoord: “**Hoe wordt bij Vendor-managed Inventory (VMI) de voorraad gestuurd en hoe kan daarbij de leverbetrouwbaarheid worden verhoogd?**”. Het doel van deze paragraaf is het vinden van een manier waarmee VDL ETG in de context van VMI haar voorraad tegen zo laag mogelijke kosten kan sturen. VDL ETG wil hierbij een model dat aan de volgende eisen (randvoorwaarden) voldoet:

- VDL ETG stelt de waarden die in het contract opgenomen worden vast. Hier moet de leverancier aan voldoen.
- VDL ETG kiest deze waarden op basis van wat voor VDL ETG het beste is, kennis van het proces van de leverancier mag hiervoor niet nodig zijn.
- Er moet voorraad bij de leverancier neergelegd kunnen worden, waarvan hijzelf eigenaar is.
- Er wordt een maximumvoorraad afgesproken, aangezien VDL ETG te maken heeft met ruimterestricties en geen onnodige voorraadkosten wil maken.

Eerst wordt een korte inleiding over het onderwerp VMI gegeven. Daarna wordt gekeken op welke manieren de voorraad gestuurd kan worden binnen VMI, vervolgens wordt hier een keuze in gemaakt aan de hand van de gestelde randvoorwaarden. Tot slot wordt gekeken naar het verhogen van de logistieke leverbetrouwbaarheid binnen de gekozen manier van voorraadsturing.

### 3.1 VENDOR-MANAGED INVENTORY

Tussen een leverancier en haar klant kunnen verschillende soorten samenwerkingsverbanden bestaan, een van de verbanden is Vendor-managed Inventory (VMI). Bij VMI maakt de leverancier de bevoorradingsbeslissingen voor de klant. Dit betekent dat de leverancier het voorraadmiveau van de klant moet monitoren (fysiek of elektronisch). Op basis van het voorraadmiveau maakt de leverancier beslissingen over de timing en grootte van de leveringen (Niranjan et al, 2012).

VMI wordt veelal toegepast in de relatie tussen een producent en één of meerdere retailers (die geen waarde toevoegen aan het product). In deze relaties is VMI het eerst geïmplementeerd, zoals succesvol gebeurd is bij Procter & Gamble en Walmart (Yao et al, 2007). VMI wordt echter ook steeds meer in relaties toegepast waarbij de klant wel waarde toevoegt aan het product, zoals tussen een producent en haar componentleveranciers (Gerchak and Wang, 2004). In de rest van dit hoofdstuk wordt op het laatste soort relatie gefocust, aangezien de relatie tussen VDL ETG en haar leveranciers in deze categorie valt.

### 3.2 VOORRAADSTURING

Franke (2010) deed onderzoek naar VMI voor onderdelen met een hoge waarde onder 70 internationale laag- en middenvolume producenten. Van de 70 aangeschreven bedrijven werden elf ingevulde enquêtes ontvangen, veel bedrijven gaven aan de enquête niet in te kunnen vullen omdat er voor onderdelen met een hoge waarde nog geen VMI werd toegepast. Franke (2010) vroeg hierbij ook naar de manier waarop de voorraad gestuurd werd. Van de elf bedrijven werkten er zeven op basis van vaste minimum- en maximumwaarden van de voorraad waar de leverancier tussen moet blijven. Twee bedrijven werken op basis van een herleverpunt en een vaste leverhoeveelheid. Eén bedrijf combineert de twee voorgaande werkwijzen en het laatste bedrijf stuurt zijn voorraad op basis van KANBAN in combinatie met een door de leverancier gehuurd magazijn. In de rest van deze paragraaf wordt gekeken hoe deze manieren van voorraadsturing in de literatuur beschreven worden en of er nog andere mogelijkheden van voorraadsturing bestaan.

Het grootste deel van de bedrijven werkt op basis van vaste minimum- en maximumvoorraden (Franke, 2010). De basis in de literatuur over dit onderwerp wordt gelegd door Fry et al. (2001) die een contract voorstellen op basis van een minimum ( $z$ ) en maximum ( $Z$ ) voorraad, met daarbij gedefinieerde  $b^+$  en  $b^-$  boetes die de leverancier betaalt op het moment dat de voorraad buiten de  $(z,Z)$ -waarden komt. Fry et al. (2001) gaan hierbij uit van decentraal genomen beslissingen, dus door de leverancier en de klant apart genomen beslissingen. Hierbij heeft de leverancier de mogelijkheid haar productie te outsourcen om zo altijd aan de vraag te kunnen voldoen. In een  $(z,Z)$  contract wordt onderhandeld over de waarden  $Q (=Z-z)$ ,  $b^-$  en  $b^+$ , waarbij de leverancier baat heeft bij een zo hoog mogelijke  $Q$  en lage  $b^-$ -waarden en de producent bij een lage  $Q$  en hoge  $b^-$ -waarden.

De waarde van  $Z$  wordt geoptimaliseerd door de producent, aangezien deze geen invloed heeft op de kosten van de leverancier.

Een kleiner deel van de bedrijven maakt gebruik van een herleverpunt en een vaste leverhoeveelheid (Franke, 2010). Guan en Zhao (2010) stellen een *continuous review* contract voor op basis van een herleverpunt ( $r$ ) en vaste levergrootte ( $Q$ ). Bij een  $(r,Q)$ -contract monitort de leverancier de voorraad continu en levert een nieuwe voorraad  $Q$ , wanneer de voorraad bij de klant onder punt  $r$  terechtkomt. Guan en Zhao (2010) maken hierbij onderscheid tussen twee contracten, één waarbij de leverancier de eigenaar is van de voorraad en één waarbij de producent eigenaar is van de voorraad. Hierbij is het laatste geval interessant, aangezien het eerste geval Vendor-managed Owned Inventory (VMOI) betreft in plaats van VMI. Bij VMI wordt er tussen leverancier en klant onderhandeld over de  $Q$  en een franchisingvergoeding ( $w$ ) die de klant aan de leverancier betaalt, hierbij wil de klant een zo laag mogelijke  $Q$  en  $w$  en de leverancier een zo hoog mogelijke  $Q$  en  $w$ . Het herleverpunt  $r$  wordt geoptimaliseerd door de klant, aangezien deze geen invloed heeft op de kosten van de leverancier.

In de literatuur is ook nog een derde manier van voorraadsturing te vinden. Plambeck and Zenios (2003) beschrijven de relatie tussen een *principal* (in dit geval de producent) en een "agent" (in dit geval de componentleverancier), waarbij de producent de leverancier in zijn productiebeleid ( $\mu(t)$ ) probeert te sturen door middel van een betalingsregeling. Hierbij heeft de producent geen zicht op het productieproces van de leverancier, maar ziet toenames in zijn voorraadpositie. Een dergelijk betalingsschema bestaat uit twee componenten, het eerste deel betreft een continue boete ( $s(t)$ ) voor elk moment dat de voorraad zich onder basisniveau  $B$  bevindt. Deze boete wordt groter naar mate de voorraad zich verder onder  $B$  bevindt. Het tweede deel is een flexibele prijs per component ( $S(t)$ ) die betaald wordt. Hierbij wordt de prijs per component groter naar mate er minder voorraad is. Wanneer de voorraad boven niveau  $B$  belandt, wordt niets meer betaald voor binnenkomende componenten.

### 3.2.1 VERGELIJKING

De modellen van Fry et al. (2001) en Guan en Zhao (2010) lijken in grote lijnen op elkaar. Beide modellen sturen op basis van een ondergrens, respectievelijk  $z$  en  $r$ . Ook is er bij beide modellen sprake van een bovengrens. Bij het model van Guan en Zhao (2010) is de bovengrens door de vaste leverhoeveelheid  $r+Q$ , bij Fry et al. (2001) is de bovengrens  $Z$ . Beide modellen definiëren het verschil tussen de minimum- en maximumvoorraad als  $Q$ , waarbij in beide gevallen de klant baat heeft bij een zo laag mogelijke  $Q$ . Een verschil tussen beide modellen is dat het model van Guan en Zhao (2010) uitgaat van een vast herleverpunt en leverhoeveelheid, terwijl bij het model van Fry et al. (2001) de leverancier zelf mag bepalen hoeveel en wanneer hij levert binnen tussen de minimum- en maximumvoorraad.

Het model van Plambeck en Zenios (2004) stuurt niet op basis van voorraadaantallen, maar op basis van geld (variabele componentprijs en boetes). Het model van Fry et al. (2001) stuurt ook deels op basis van boetes.

De drie manieren van voorraadsturing worden vergeleken in tabel 3:

|                                     | Fry et al.                                            | Guan en Zhao                        | Plambeck and Zenios                |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Sturing op basis van</b>         | Minimum en maximumniveaus, boetes voor overschrijding | Herleverpunt en herleverhoeveelheid | Variabele componentprijs en boetes |
| <b>Onderhandelen</b>                | $Q = Z - z$ (zo laag mogelijk)                        | $Q$ (zo laag mogelijk)              | Geen                               |
| <b>Door klant bepaald</b>           | $Z^*$ , $b^+$ en $b^-$                                | $r$ en $w$                          | $\mu(t)^*$ , $s(t)$ en $S(t)$      |
| <b>Minimum voorraad</b>             | $Z$                                                   | $R$                                 | Geen                               |
| <b>Maximum voorraad</b>             | $Z (= z+Q)$                                           | $r+Q$                               | $B$                                |
| <b>Review periode</b>               | Periodiek                                             | Continu                             | Continu                            |
| <b>Levermoment</b>                  | Willekeurig                                           | Als voorraad $\leq r$               | Willekeurig                        |
| <b>Benodigde kennis leverancier</b> | Geen                                                  | Geen                                | Kosten- en utilitystructuur        |
| <b>Vraagverdeling</b>               | Continu                                               | Discreet                            | Discreet (Poisson)                 |

TABEL 3: MANIEREN VAN VOORRAADSTURING

### 3.2.2 RANDVOORWAARDEN

De eerste randvoorwaarde van VDL ETG is dat zij de waarden van de variabelen in het model willen bepalen, dit kan bij het model van Plambeck en Zenios (2004). Bij het model van Fry et al. (2001) en Guan en Zhao (2009) moet er met de leverancier over de waarde van  $Q$  onderhandeld worden. Bichescu en Fry (2007) stellen dat wanneer de klant een grote macht heeft over haar leverancier, hij eerst haar optimale waarden kiest. Hierna past de leverancier zijn processen hierop aan. De modellen van Fry et al. (2001) en Guan en Zhao (2009) voldoen dus aan de randvoorwaarde, mits er een leverancier gekozen wordt die instemt met de door VDL ETG gestelde waarden.

De tweede randvoorwaarde betreft de kennis van de processen van de leverancier. Hier ontstaat een probleem met het model van Plambeck en Zenios (2004), aangezien er voor het berekenen van de optimale betalingsregeling inzicht in de kostenstructuur van de leverancier nodig is. Deze informatie heeft VDL ETG op het moment niet.

De derde randvoorwaarde betreft het neer kunnen leggen van voorraad bij de leverancier. Bij bovengenoemde modellen wordt deze situatie niet in de literatuur beschreven. Dit betekent dat dit geen restrictie vormt voor het te kiezen model. VDL ETG zou hierover zelf met de leverancier moeten onderhandelen.

De laatste randvoorwaarde houdt in dat er een absoluut maximum aan de voorraad gesteld moet kunnen worden. Bij het model van Fry et al. (2001) is dit (wiskundig) mogelijk door  $b^+ = +\infty$  in te stellen, want dan zal de leverancier nooit boven de maximumvoorraad willen komen. Bij het model van Guan en Zhao (2009) is er een automatisch maximum aangezien er niet meer dan  $Q$  geleverd mag worden. Bij het model van Plambeck en Zenios (2003) wordt er niet meer voor een onderdeel betaald als het B-niveau bereikt is, dus dan zal een leverancier nooit leveren.

Aangezien het model van Plambeck en Zenios (2004) niet aan de tweede randvoorwaarde voldoet, wordt dit model niet verder meegenomen als mogelijk alternatief. De overige twee modellen voldoen wel aan de randvoorwaarden en worden hieronder verder vergeleken.

### 3.2.3 KEUZE

Er wordt in deze paragraaf een model gekozen, hiervoor bestaan dus twee opties: het model van Fry et al. (2001) en het model van Guan en Zhao (2009). Er wordt een keuze gemaakt tussen beide modellen op basis van de volgende criteria, die voortkomen uit de verschillen tussen beide modellen:

- Verbetering logistieke leverbetrouwbaarheid
- Controle op het proces
- Aanleverfrequentie
- Voordeel leverancier

Aan de hand van deze criteria wordt gekeken welk model het beste is voor VDL ETG.

#### 3.2.3.1 VERBETERING LOGISTIEKE LEVERBETROUWBAARHEID

Bij het model van Guan en Zhao (2009) levert de leverancier een vaste hoeveelheid op het moment dat de economische voorraad onder een bepaald niveau komt. Dit verschilt weinig met de huidige situatie, alleen gaat er nu een inkooporder aan vooraf. Bij het model van Fry et al. (2001) mag de leverancier zelf weten hoeveel hij wanneer aflevert. Hierdoor kan de logistieke leverbetrouwbaarheid toenemen, als de leverancier met deze flexibiliteit om weet te gaan. Wanneer de leverancier niet met de flexibiliteit om weet te gaan, kan de logistieke betrouwbaarheid afnemen.

#### 3.2.3.2 CONTROLE OP DE LEVERANCIER

Door te controleren of de leverancier wel de juiste hoeveelheid aanlevert kan bij het model van Guan en Zhao (2009) meer controle uitgeoefend worden. Ook kan het voorraadverloop makkelijker voorspeld worden bij dit model. Bij het model van Fry et al. (2001) is dit niet het geval en geeft VDL ETG een grotere verantwoordelijkheid uit handen.

### 3.2.3.3 AANLEVERFREQUENTIE

Bij het model van Guan en Zhao (2009) levert de leverancier alleen wanneer dit echt nodig is, namelijk als de economische voorraad onder het minimum ligt. Bij het model van Fry et al. (2001) mag de leverancier leveren wanneer hij wil, dit kan betekenen dat de leverancier vaker levert.

### 3.2.3.4 VOORDEEL LEVERANCIER

De leverancier kan voordeel hebben bij meer vrijheid, aangezien hij dan makkelijker zijn productie en leveringen kan plannen. Bij het model van Fry et al. (2001) mag de leverancier dit zelf plannen.

### 3.2.3.5 KEUZE MODEL

Voor de keuze wordt gebruik gemaakt van de *Analytic Hierarchy Process* (AHP), waarbij de beslissingnemers paarsgewijs criteria en alternatieven vergelijken (Goodwin & Wright, 2010). Voor deze keuze is dit een goede methode, omdat er slechts twee alternatieven vergeleken hoeven te worden. Bij de AHP wordt per criterium aangegeven in hoeverre alternatief A over alternatief B geprefereerd wordt, er wordt dus niet alleen aangegeven welk alternatief beter is, maar ook hoeveel beter deze is. De AHP is gezamenlijk ingevuld door de supply chain manager en de supply chain engineer die over het VMI-project gaat. De precieze uitvoering van de AHP is te vinden in appendix H.

Uit de AHP kwam een score van 0,73 voor het model van Fry et al. (2001) en een score van 0,27 voor het model van Guan en Zhao (2009). Hierbij was de mogelijke verbetering van de leverbetrouwbaarheid (met een gewicht van 0,64) voor de ondervraagden veruit het belangrijkste criterium. Dit komt overeen met de bevindingen uit hoofdstuk twee, waaruit blijkt dat de leverbetrouwbaarheid op het moment niet optimaal is en VDL ETG deze graag verbeterd ziet. Het beste model voor VDL ETG is dus het model van Fry et al. (2001).

## 3.2.4 HET GEKOZEN MODEL

Het in de vorige paragraaf gekozen model wordt in deze paragraaf verder toegelicht, hierbij worden de basisprincipes van het model eerst besproken. Fry et al. (2001) gaan er in hun model vanuit dat de leverancier eenmaal per  $T$  perioden kan produceren. Hij produceert dan per productiecycclus een aantal onderdelen, waarmee hij de klant moet bevoorraden tot de volgende productiecycclus gereed is. Hierbij hanteert de leverancier een replenish-up-to besturingsregel, dat wil zeggen dat de leverancier altijd de voorraad tot op een vaste waarde ( $y$ ) aanvult. Hierbij gaan Fry et al. (2001) uit van twee verschillende gevallen:

1. De leverancier heeft zelf geen onderdelen meer op voorraad, maar kan zijn productie outsourcen (tegen hogere kosten) zodat hij toch aan de vraag kan voldoen. Dit gebeurt wanneer de vraag hoger is dan de leverancier verwacht. In dit geval varieert de waarde van  $y$ , deze wordt lager naarmate het einde van de productiecycclus  $T$  dichterbij komt.
2. De leverancier heeft nog voorraad en vult altijd tot dezelfde waarde  $y$  aan, zodat hij zelf geen voorraadkosten heeft en zoveel mogelijk producten verkoopt. Daarnaast moet de leverancier een boete betalen wanneer hij onder het minimum komt, dus ook daarom wil hij het voorraadniveau hoog houden. In dit geval is  $y$  dus gelijk aan de maximumvoorraad  $Z$ .

In het geval van VDL ETG heeft de leverancier altijd een overzicht van de vraag voor de komende perioden, waardoor zijn productie hierop kan aanpassen en dus nimmer hoeft te outsourcen. De leverancier vult daarom altijd, wanneer hij aanvult, de voorraad aan tot de maximumvoorraad  $Z$  (Fry et al, 2001). In de praktijk betekent dit dat de leverancier periodiek levert met een min of meer vaste aanleverfrequentie.

Fry et al. (2001) bepalen de optimale maximumvoorraad  $Z$  door het afwegen van de voorraadkosten en de stock-outkosten bij een variërende vraag  $D$ . Fry et al. (2001) gaan in hun model uit van een continue verdeling van de vraag. Deze variabele kan op basis van het verbruik van het afgelopen jaar bepaald worden. Het is lastig om uit de historische gegevens een continue verdeling af te leiden. Deze vraagverdeling wordt daarom benaderd door een discrete vraagvariabele  $D_m = P(D=m)$  zoals Guan en Zhao (2009) in hun model voor stellen. In dit verbruik van onderdelen zijn echter geen stock-outs te zien, aangezien de voorraad niet verder af kan nemen als deze nul is. Wanneer  $C(Z)$  de kosten bedragen bij maximumvoorraad  $Z$ , dan is de optimale  $Z$  te berekenen door:

$$\min_Z C(Z) = \sum_{n=1}^T \frac{\sum_{m=1}^{\infty} \left[ H * \left( Z - \frac{m}{2} \right)^+ + S * (m - Z)^+ \right] * P(D = m)}{T}$$

Waarbij  $(x)^+ = \max(0, x)$ . Hierbij is  $m$  het nummer van de periode, waarbij  $T$  het aantal perioden is waarvoor de optimale  $Z$  berekend wordt.  $H$  de voorraadkosten per onderdeel per week en zijn  $S$  de verstoringkosten per onderdeel. De term  $\left( Z - \frac{m}{2} \right)^+$  geeft hierbij de gemiddelde voorraad in een week aan en de term  $(m - Z)^+$  het tekort in een week waarover verstoringkosten worden gemaakt.

In het model van Fry et al. (2001) wordt gesteld dat wanneer de  $Z$  is bepaald, de  $Q$  tot stand moet komen door middel van onderhandeling met de leverancier en vervolgens de  $z$  berekend kan worden door  $z = Z - Q$ . VDL ETG wil echter zelf de  $Q$  en de  $z$  kunnen bepalen.  $Q$  kan berekend worden met de door Fry et al. (2001) opgestelde formule voor het bepalen van  $Z$ , aangezien in het verbruik alleen de voorspelbare variatie in de afname meegenomen wordt. De speelruimte van de leverancier wordt berekend op basis van wat het beste is voor VDL ETG. De minimumvoorraad  $z$  is hierbij bedoeld als een veiligheidsvoorraad voor het opvangen van onvoorspelbare variaties in de afname die niet terug te zien zijn in het verbruik, zoals stock-outs door afkeur en het zoekraken van onderdelen.

### 3.3 LOGISTIEKE LEVERBETROUWBAARHEID

VDL ETG heeft op dit moment te maken met een non-optimale leverbetrouwbaarheid, waardoor er verstoringen ontstaan. In deze paragraaf worden de gevolgen van de in de vorige paragraaf gekozen manier van voorraadsturing voor de logistieke leverbetrouwbaarheid besproken.

Bij de keuze voor de manier van voorraadsturing is rekening gehouden met de logistieke leverbetrouwbaarheid. Aangezien de leverancier bij deze manier van werken meer vrijheid heeft en zelf keuzes kan maken over wanneer en hoeveel aan te vullen, kan hij beter presteren. Hiervoor heeft hij echter wel de juiste informatie nodig. Fry et al. (2001) nemen in hun model aan dat alle informatie met betrekking tot het logistieke proces (of deze nu nuttig is of niet) gedeeld wordt met de leveranciers. Ook stellen zij dat de leverancier prikkels (incentives) moet krijgen om binnen de gestelde hoogte van de minimum- en maximumvoorraad te blijven. In hun model maken zij dit concreet door het stellen van boetes  $b^+$  en  $b^-$ , voor wanneer de leverancier zich niet aan de afspraken houdt.

### 3.4 CONCLUSIE LITERATUURONDERZOEK

In dit hoofdstuk is de volgende deelvraag beantwoord: **“Hoe wordt bij Vendor-managed Inventory (VMI) de voorraad gestuurd en hoe kan daarbij de leverbetrouwbaarheid worden verhoogd?”**

Bij VMI zijn er drie manieren van voorraadsturing: op basis van een minimum- en maximumvoorraad, op basis van een herleverpunt en een vaste leverhoeveelheid en op basis van een variabele componentprijs en variabele boetes voor de hoogte van de voorraad. Hierbij voldoet de laatste manier van voorraadsturing niet aan de randvoorwaarden van VDL ETG. Uit de keuze door middel van de *Analytic Hierarchy Process* (AHP) blijkt dat de manier van voorraadsturing op basis van een minimum- en maximumvoorraad, opgesteld door Fry et al. (2001), het beste is voor VDL ETG. De optimale maximumvoorraad wordt hierbij bepaald door het afwegen van voorraadkosten tegen verstoringkosten.

Deze manier van voorraadsturing is vooral gekozen, omdat deze de leverancier meer flexibiliteit biedt waardoor de leverbetrouwbaarheid verbeterd. Dit kan echter alleen wanneer de leverancier voldoende en betrouwbare informatie tot zijn beschikking heeft. Verder kan een leverancier gestimuleerd worden om beter te leveren door het geven van de juiste prikkels. Fry et al. (2001) gebruiken hiervoor boete  $b^-$  (wanneer de voorraad onder het minimum belandt), een boete  $b^+$  (wanneer de voorraad boven het maximum belandt). Ook moet de leverancier de juiste informatie ontvangen om zijn processen op de vraag af te kunnen stemmen.

## HOOFDSTUK 4: OPERATIONALISERING MODEL

In dit hoofdstuk wordt het model van hoofdstuk 3 geoperationaliseerd en wordt er gekeken hoe binnen deze manier van voorraadsturing de leverbetrouwbaarheid verhoogd kan worden. De deelvraag die in dit hoofdstuk behandeld wordt is: **“Welke minimum- en maximumvoorraad moet VDL ETG aanhouden, en zijn er nog aanvullende maatregelen nodig om te zorgen dat de logistieke leverbetrouwbaarheid nagenoeg 100% is?”**

### 4.1 HET MODEL

In hoofdstuk 3 is bepaald dat er een model gebruikt gaat worden op basis van een minimum en maximum voorraad, waarbij de leverancier de beslissingen neemt over wanneer en hoeveel hij aanlevert. VDL ETG wil dit model voor inkoopdelen gaan gebruiken, omdat die onderdelen de meeste verstoringen veroorzaken (zie appendix E). Ook heeft VDL ETG bij maakdelen de mogelijkheid om de leverbetrouwbaarheid te verhogen door interne processen te veranderen, bij de externe leveranciers is dit niet het geval.

Als voorbeeld voor het doorrekenen worden twee inkoopdelen (geen grijponderdeel) genomen. Onderdeel A wordt tien keer per module gebruikt en heeft een kostprijs van €22. Onderdeel B wordt één keer per module gebruikt, dit onderdeel is ongeveer 27 keer zo duur als onderdeel A. Met deze onderdelen kunnen twee effecten bekeken worden, bij onderdeel A kan de invloed van de vraag van spare/repair bekeken worden en bij onderdeel B de invloed non-performance van de leverancier op de hoogte van de minimum- en maximumvoorraad.

| Onderdeel                        | A   | B    |
|----------------------------------|-----|------|
| Artikelnummer                    | 001 | 002  |
| Aantal benodigd per module       | 10  | 1    |
| Kostprijs                        | €22 | €600 |
| Aantal stock-outs afgelopen jaar | 0   | 6    |
| Integrale doorlooptijd (dagen)   | 30  | 35   |

TABEL 4: VOORBEELD ONDERDELEN

Voor deze onderdelen moeten de hoogte van de minimum- en maximumvoorraad bepaald worden, door het berekenen van de speelruimte Q en de minimumvoorraad z. Alle bij de berekeningen gebruikte variabelen zijn terug te vinden in appendix I.

#### 4.1.1 SPEELRUIMTE Q

In het vorige hoofdstuk is gesteld dat de speelruimte Q wordt bepaald door te kijken naar het verbruik in het afgelopen jaar. Dit wordt eerst behandeld, vervolgens worden de berekening en de uitkomsten uitgelegd.

##### 4.1.1.1 VARIATIE IN VERBRUIK

De leveranciers binnen het VMI project krijgen toegang tot een portal waarin zij de vraag van de komende periode per week en het huidige voorraadniveau kunnen zien. De vraag naar een onderdeel bestaat uit twee componenten: de vraag van de montage en de vraag van spare/repair. De vraag van de montage is een jaar van te voren bekend en is uitgedrukt in de *moverate*, de moverate is het aantal product A modules dat in een bepaalde week geproduceerd wordt. De voorspelling van deze moverate is variabel. De vraag van spare/repair is minder goed te voorspellen, deze vraag wordt zeven weken voor de behoeftedatum bekend. Voor de spare/repair stroom van onderdelen is nog niet zeker of deze ook onder VMI gaan vallen, waardoor deze verder niet meegenomen worden. De vraag van deze afdelingen is onderling onafhankelijk, dus de vraag van spare/repair heeft geen effect op de vraag van montage. De vraag naar onderdelen wordt nader geanalyseerd in appendix J.

De vraag van de montage per week is altijd een veelvoud van het aantal onderdelen dat in één module gemonteerd wordt. De grootte van de vraag hangt hierbij af van de moverate. De moverate kan iedere week weer anders zijn, hier moet met het instellen van de Q rekening mee gehouden worden. Aangezien VDL ETG niet te vaak de parameters binnen VMI wil veranderen is afgesproken dat de hoogtes van de minimum- en maximumvoorraad één keer per kwartaal vastgesteld worden. Bij het berekenen van de Q is een kans  $\alpha$  gedefinieerd die aangeeft hoe groot de kans is dat de voorspelde moverate in een week fout is. Aangezien de

leverancier de vraag per week te zien krijgt en VDL ETG de voorraden zo klein mogelijk wil houden, wordt er vanuit gegaan dat de leverancier wekelijks levert.

#### 4.1.1.2 BEREKENING

Fry et al. (2001) bepalen in hun model de Z door het minimaliseren van de stock-out- en voorraadkosten. In het vorige hoofdstuk is aangegeven dat door middel van deze formule Q wordt berekend. VDL ETG wil de hoogte van de minimum- en maximumvoorraad maximaal één keer per kwartaal wijzigen waardoor m is de periode in weken en T = 13. De in het vorige hoofdstuk opgestelde formule wordt hierop aangepast. C(Q) zijn nu de totale kosten zijn bij een speelruimte Q en de optimale Q kan berekend worden door middel van:

$$\min_Q C(Q) = \sum_{n=1}^{13} \frac{\sum_{m=1}^{\infty} \left[ H * (Q - \frac{m}{2})^+ + S * (m - Q)^+ \right] * P(D = m)}{13}$$

Waarbij  $(x)^+ = \max(0, x)$ . Hierbij is T de periode in weken, zijn H de voorraadkosten per onderdeel per week en zijn S de verstoringkosten per onderdeel. H is te berekenen door  $H = \frac{\text{Kostprijs onderdeel} * 8\%}{52}$ , waarbij de 8% (standaardwaarde binnen VDL ETG) de voorraadkosten van VDL ETG per jaar zijn. De waarde van S is te bepalen door de verstoringkosten veroorzaakt door stock-outs te delen door het totaal aantal stock-outs, dit is €56 (conclusie appendix E).

#### 4.1.1.3 UITKOMSTEN

De optimale Q voor onderdeel A bij een forecast met een gemiddelde moverate van 2,5, is 30 onderdelen (=  $10 * (\text{de maximale moverate} + 1)$ ) bij een  $\alpha$  van 0,64 (zie appendix J). Deze Q is optimaal zolang geldt:  $H < 2,74$ . Dit betekent dat deze Q optimaal is voor onderdelen met een kostprijs die kleiner is dan €1.900. Voor onderdelen met een ander verbruik per module geldt een ander optimum, zo is voor een onderdeel waarvan er één per module gebruikt Q = 3 optimaal voor  $H < 6,9$ . Dit betekent dat deze Q optimaal is voor onderdelen met een kostprijs die kleiner is dan €4.485. Dit komt doordat de functie C(Q) een convexe functie is en Q altijd integer moet zijn. Van onderdeel B wordt één onderdeel per module gebruikt de optimale Q is hiervoor 3, want  $H = 0,92 < 6,9$ .

#### 4.1.2 MINIMUMVOORRAAD Z

De minimumvoorraad z fungeert als een veiligheidsvoorraad. Een veiligheidsvoorraad is bedoeld om onzekerheden in de vraag almede in de aanvoer op te vangen (Visser & van Goor, 2008). De speelruimte Q houdt al rekening met de variatie in de vraag, waardoor de minimumvoorraad z een veiligheidsvoorraad is voor de onzekerheden in de aanvoer, dus het ontstaan van stock-outs.

Een groot deel (75%, zie appendix E) van de stock-outs ontstaat door afkeur en manco's, VDL ETG wil echter niet deze non-performance van de leveranciers compenseren door het aanleggen van grote veiligheidsvoorraden. Het aantal stock-outs door manco's is in appendix E bepaald door te kijken naar de RLIP, omdat hierdoor duidelijk wordt welke onderdelen te laat waren voor productie. Om de non-performance van de leverancier vast te stellen moet het aantal stock-outs berekend worden op basis van de ECLIP+3, omdat deze stock-outs volledig toe te schrijven zijn aan de leverancier.

Het doel van de minimumvoorraad is ervoor zorgen dat de monteur bij kleine verstoringen door kan blijven werken. Bij afkeur is de afspraak met de leverancier dat zij binnen 24 uur na het ontdekken van een afkeur opnieuw levert. De productie kan niet 24 uur stil staan, omdat dit veel geld kost. Hiervoor moet dus een buffervoorraad aangelegd worden. In 24 uur zijn het afgelopen jaar maximaal voor twee modules aan onderdelen verbruikt, dus een minimumvoorraad van twee modules zou hier volstaan. Wanneer de moverate hoger wordt kan het voorkomen dat er op één dag voor drie modules onderdelen gepickt worden, wanneer dit het geval is moet z worden aangepast.

Fry et al. (2001) stellen in hun model bij het berekenen van de optimale Z ( $=Z^*$ ) waarde voor om de Z na verloop van tijd (in dit geval dus na een kwartaal) te corrigeren door te kijken naar de voorraad die per periode overblijft/tekort is. Hiervoor definiëren zij voorraadafname in periode n als  $v_n$  met  $v_n = Z - u_n$ , hierbij is  $u_n$  de eindvoorraad in periode n. De optimale  $Z^*$  is dan  $Z^* = Z - (Z - v^*) = v^*$ , waarbij  $v^*$  de optimale afname is (Fry et al. 2001). Aangezien Q constant blijft kan de formule herschreven worden naar  $z^* = v^* - Q$ .  $v_n - Q > 0$  komt alleen voor

wanneer er stock-outs plaatsvinden en betekent dat de voorraadpositie onder  $z$  belandt ( $v_n - Q = Z - u_n - Q = z - u_n$ ). Daarom wordt er een tekort  $t_n$  die het tekort aan het eind van de periode  $n$  aangeeft gedefinieerd als  $t_n = (z - u_n)^+ = \max(z - u_n, 0)$ . De optimale minimumvoorraad is dan te schrijven als  $z^* = z - (z - t^*) = t^*$ . De optimale minimumvoorraad is dus gelijk aan het optimale tekort.

We gaan er hierbij van uit dat het aantal tekorten in een week (stochast  $X$ ) een poissonverdeling volgt met  $\lambda = \frac{\sum_{n=1}^{260} t_n}{52}$  en  $P(X = k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$ . Hier wordt gekozen voor een poissonverdeling, omdat deze vaak gebruikt wordt om het aantal gebeurtenissen in een bepaalde tijdsperiode te beschrijven (Law, 2007). Het aantal tekorten  $\sum_{n=1}^{260} t_n$  is hierbij berekend door de methode beschreven in appendix E, aangezien de in de vorige alinea beschreven methode alleen gebruikt kan worden, wanneer VMI geïmplementeerd is.

Winston (2004) stelt dat de het aantal te bestellen onderdelen binnen een “news vendor problem” te berekenen is door  $P(D \leq q^*) \geq \frac{C_u}{C_o + C_u}$ , waarbij  $q^*$  zo klein mogelijk is en  $C_u$  de kosten zijn voor te weinig voorraad ( $S$ ) en  $C_o$  de kosten zijn voor teveel voorraad ( $H$ ). Er is hier sprake van een “news vendor problem” omdat er wekelijks een aantal tekorten  $X$  voorkomt, die gecompenseerd moet worden met een aantal onderdelen minimumvoorraad  $z$ .

De optimale minimumvoorraad  $z^*$  is te berekenen door de formule te herschrijven naar:

$$P(X > z^*) \geq 1 - \frac{S}{H+S}, \text{ waarbij } z \text{ zo klein mogelijk is.}$$

Voor onderdeel B betekent dit dat  $\lambda = \frac{6}{52}$  en  $P(X > z^*) \geq 1 - \frac{56}{56 + \frac{1}{52} * 600 * 0,08} = 0,016$ . De kleinste  $z$  waarvoor dit geldt is  $z^* = 1$ .

$S$  is significant hoger dan  $H$ , waardoor dit in de praktijk betekent dat de  $z^* = 0$  als  $\sum_{n=1}^{260} t_n = 0$  en  $z^*$  = het aantal onderdelen voor twee modules als  $\sum_{n=1}^{260} t_n = 6$  voor onderdelen met een kostprijs tot €735. Hieruit wordt duidelijk dat de minimumvoorraad alleen op 0 gezet kan worden als het zeker is dat er geen tekorten (op dat moment stock-outs) kunnen ontstaan. Voor onderdeel B is de minimumvoorraad het aantal benodigde onderdelen voor twee modules, dus twee onderdelen. Voor onderdeel A zijn het afgelopen jaar geen stock-outs voorgekomen, maar ook hier is een veiligheidsvoorraad van twee modules raadzaam. De mogelijke verstoringkosten (voor als er wel iets misgaat) zijn namelijk vele malen hoger dan de voorraadkosten.

### 4.1.3 MAXIMUMVOORRAAD $Z$

De maximumvoorraad  $Z$  is simpelweg te bepalen door het optellen van de  $Q$  en de  $z$  van een bepaald onderdeel. Voor onderdeel A geldt dus ( $Z = Q + z = 40 + 20 = 60$ ) en voor onderdeel B geldt ( $Z = Q + z = 4 + 2 = 6$ ). Van onderdeel B dient de leverancier zelf ook nog één onderdeel op voorraad te houden. Het is vervolgens ook onderzocht of de voorwaarde van één keer per week leveren versoepeld kon worden naar één keer per twee weken of zelfs één keer per maand. Vanwege minime besparingen en het verliezen van schakelsnelheid bij een ramp-up of ramp-down is ervoor gekozen alle onderdelen wekelijks te laten leveren. Dit onderzoek is terug te vinden in appendix K.

#### 4.1.4 BOETE $b^-$

Een boete  $b^-$  die wordt uitgedeeld als de voorraad onder het minimum  $z$  komt, is door Fry et al. (2001) bedoeld om leverancier te stimuleren op tijd te leveren. Hierbij stellen zij een  $b^-$  voor die hoger is dan de stock-out kosten ( $S$ ), zodat deze in ieder geval gecompenseerd worden. De  $b^-$  wordt berekend door  $(1+\epsilon) * S$ , waarbij  $\epsilon$  toeneemt naarmate  $Q$  toeneemt.  $Q$  is bepaald door de totale kosten te minimaliseren, hierdoor is  $Q$  niet groter dan noodzakelijk. Een goede  $b^-$  is dan ongeveer  $(1+0,2) * S = €67,20$  per stock-out.

#### 4.1.5 BOETE $b^+$

Uit de analyse van de leverbetrouwbaarheid (appendix C) blijkt dat de leveranciers in veel gevallen te vroeg leveren, in 8,5 procent van de gevallen zelfs meer dan een week eerder dan afgesproken. Binnen VMI zou dit betekenen dat de voorraad boven de maximumhoogte uit zou komen. Vanwege ruimterestricties en het feit dat voorraad houden geld kost, wil VDL ETG haar leveranciers aan het maximum houden. Fry et al. (2001) stellen dat een boete  $b^+$  ongeveer de voorraadkosten moeten bedragen, zodat de boete die de leverancier betaalt de extra voorraadkosten die VDL ETG maakt compenseert. Voor onderdeel A zou een goede  $b^+$  dus €0,04 zijn, aangezien de voorraadkosten van onderdeel A €0,03 per week per onderdeel zijn.

Het probleem met deze benadering is dat de geleverde onderdelen gefactureerd worden, terwijl niet altijd zeker is dat ze ooit gebruikt worden. Daarnaast zou de leverancier op deze manier bij financiële problemen grote hoeveelheden kunnen leveren om snel aan geld te komen.

Er zijn hier twee alternatieven, de eerste is om de boete  $b^+$  significant hoger dan  $H$  te maken, zodat leveranciers niet meer dan het maximum leveren. Daarnaast kan de magazijnmedewerker een order simpelweg niet ontvangen als hierdoor de voorraad boven het maximum komt, tenzij de vraag van een onderdeel voor de komende week groter is dan het maximum. Dit laatste alternatief heeft de voorkeur, omdat er geen buitensporige boetes uitgedeeld hoeven worden en de voorraad zeker niet boven het maximum komt.

## 4.2 LOGISTIEKE LEVERBETROUWBAARHEID

In deze paragraaf wordt besproken hoe de logistieke leverbetrouwbaarheid binnen de in paragraaf 4.1 besproken manier van voorraadsturing verhoogd kan worden. In paragraaf 3.3 is besproken dat dit kan door zowel het delen van informatie en het geven van prikkels om de leverancier in zijn gedrag te sturen.

### 4.2.1 INFORMATIE

De leverancier is beter in staat zijn productieproces en leveringen af te stemmen op VDL ETG, wanneer hij meer informatie krijgt. Fry et al. (2001) doen in hun een model een aantal aannames wat betreft de informatie die de leverancier van de klant heeft. Om de in paragraaf 4.1 voorgestelde manier van voorraadsturing goed te implementeren moet VDL ETG minstens aan deze aannames voldoen. Fry et al. (2001) nemen aan dat alle informatie m.b.t. het logistieke proces (of deze nu nuttig is of niet) gedeeld wordt met de leveranciers. De leveranciers weten niet alleen de huidige voorraadpositie, maar hebben ook kennis van de grootte en de verdeling van de vraag. Leveranciers krijgen dus niet alleen de forecast, maar ook de kans dat de daadwerkelijke vraag afwijkt van de forecast en de grootte van deze afwijking. Ook moet de leverancier volledig op de hoogte zijn van de manier van voorraadsturing van zijn klant, zodat hij zijn productie en leveringen hierop kan aanpassen. De leverancier moet dus weten op welke manier de hoogtes van de minimum- en maximumvoorraad tot stand zijn gekomen.

In de nieuw ontworpen portal ziet de leverancier de voorspelling van de vraag per week en zijn huidige voorraadniveau, verder geeft de portal geen informatie. De leverancier moet bij het implementeren van VMI dus voldoende uitleg krijgen over de betrouwbaarheid van de forecasts, de vraag kan namelijk altijd één module afwijken van de forecast. De leverancier moet weten dat de speelruimte  $Q$  gebaseerd is op wekelijkse leveringen, waardoor er van hem verwacht wordt dat hij wekelijks (en ook niet vaker) levert. De leverancier moet ook weten dat een stock-out VDL ETG veel geld kost, waarvoor een minimumvoorraad is aangelegd.

### 4.2.2 PRIKKELS

Een leverancier kan in zijn levergedrag gestuurd worden door het geven van prikkels, dit kunnen zowel positieve als negatieve prikkels zijn. Fry et al. (2001) geven in hun model twee duidelijke prikkels weer om de leverancier te sturen, namelijk de boetes  $b^+$  en  $b^-$  die de leverancier moet betalen wanneer hij zich niet aan de gestelde afspraken over het minimum- en maximum voorraadniveau houdt. In paragraaf 4.1.5. werd duidelijk dat de boete  $b^+$  niet wenselijk was, omdat de hoogte van de maximumvoorraad op een andere manier gehandhaafd kan worden.

Wat betreft de boete  $b^-$  wil VDL ETG graag dat de leveranciers op tijd leveren, men wil dit echter niet forceren door middel van negatieve prikkels. VDL ETG legt de voorkeur bij positieve prikkels waarbij de leveranciers die goed presteren beloond worden. Zo zouden er bonussen uitgedeeld kunnen worden aan goed presterende leveranciers of kan ervoor gekozen worden dat goed presterende leveranciers meer verschillende onderdelen mogen leveren. Dit laatste kan de leverbetrouwbaarheid van inkoopdelen doen toenemen, aangezien op het moment de leverancier op basis van prijs wordt geselecteerd uit de goedgekeurde leveranciers, waarbij weinig tot geen rekening wordt gehouden met de leverbetrouwbaarheid.

## 4.3 CONCLUSIE OPERATIONALISERING

In dit hoofdstuk is de volgende deelvraag beantwoord: **“Welke minimum- en maximumvoorraad moet VDL ETG aanhouden, en zijn er nog aanvullende maatregelen nodig om te zorgen dat de logistieke leverbetrouwbaarheid nagenoeg 100% is?”**

Met behulp van het model van Fry et al. (2001) zijn de hoogtes van de minimum- ( $z$ ) en maximumvoorraad ( $Z$ ) berekend. Eerst is hiervoor de speelruimte  $Q$  ( $=Z-z$ ) berekend op basis van de vraag. Het model gaat hierbij uit van een forecast en een kans  $\alpha$  dat het verbruik afwijkt van de planning, hierbij is het verbruik van montage maximaal de forecast + 1. De bijbehorende  $Q$  is dan ook de  $[(\text{maximale voorspelde moverate} + 1) * \# \text{ onderdelen benodigd voor 1 module}]$ . De minimumvoorraad  $z$  bedraagt het aantal onderdelen voor twee modules, tenzij VDL ETG er echt zeker van is dat er bij dit onderdeel geen manco's of afkeur ontstaat,  $z$  is dan nul. De  $Z$  is dan te berekenen door  $Q$  bij  $z$  op te tellen.

De aanvullende maatregelen om ervoor te zorgen dat de leverbetrouwbaarheid nagenoeg 100% is, bestaan uit informatievoorziening en het geven van prikkels. De leveranciers moeten van VDL ETG zo compleet en betrouwbaar mogelijke informatie krijgen over de toekomstige afname en de voorraadpositie, zodat hij zijn productieproces hierop kan afstemmen. Daarnaast moeten leveranciers weten waarop de minimum- en maximumniveaus zijn gebaseerd en in hoeverre de vraag kan afwijken van de forecast. VDL ETG kan de leverancier prikkels geven om hem in zijn leveringsgedrag te sturen. Hiervoor wil VDL ETG de leverancier graag op een positieve manier prikkelen, dit kan door hem te belonen voor een hoge leverbetrouwbaarheid door het laten blijken van waardering, het uitkeren van bonussen of het uitbreiden van het aantal onderdelen dat een leverancier mag leveren.

## HOOFDSTUK 5: IMPLEMENTATIE

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de bevindingen uit het vorige hoofdstuk in de praktijk geïmplementeerd kunnen worden. De deelvraag die in dit hoofdstuk behandeld wordt is: “**Hoe kan VDL ETG de verschillende oplossingen het beste implementeren?**” Hierbij wordt in eerste instantie gekeken naar hoe het in het vorige hoofdstuk opgestelde rekenmodel het beste gebruikt kan worden. Vervolgens wordt gekeken hoe het model in de toekomst gebruikt kan blijven worden. Daarna wordt gekeken naar het indelen van artikelen in categorieën. Tot slot wordt gekeken welke informatie er met de leverancier gedeeld moet worden en hoe de leverancier tot een goede leverprestatie gestimuleerd kan worden.

### 5.1 PLANNING

VDL ETG ontvangt in de nieuwe situatie ook een planning van de klant waarmee een productieplanning voor de komende periode gemaakt wordt. In de productieplanning staat wanneer er geproduceerd gaat worden. Aan de hand van deze productieplanning wordt een BAAN-planning gemaakt waarin staat wanneer welke onderdelen nodig zijn. In de Retail-managed Inventory (RMI, huidige situatie) situatie zouden er aan de hand van deze BAAN-planning inkooporders gegenereerd worden. In de nieuwe situatie worden aan de hand van de BAAN-planning de minimum- en maximumvoorraden per artikel berekend en wordt er een nieuwe forecast per onderdeel gemaakt. Deze forecast wordt vervolgens geüpload naar de portal. De minimum- en maximumvoorraden per artikel hoeven alleen geüpdate te worden in de portal, wanneer deze veranderen. Net als het generen van de inkooporders moet dit gebeuren door de orderplanner.

In de meeste gevallen zijn de minimum- en maximumvoorraad hetzelfde als de periode ervoor. Alleen wanneer er sprake is van een ramp-up (gemiddelde moverate stijgt) of ramp-down (gemiddelde moverate daalt) veranderen deze waarden. In tabel 5 is te zien bij welke moverates welke speelruimte optimaal is. Wanneer de gemiddelde moverate rond een grens schommelt betekent dit niet dat de minimum- en maximumwaarden elke keer verandert dienen te worden, dit zorgt er namelijk voor dat de leveranciers ook telkens moeten schakelen. Deze waarden moeten dus zo min mogelijk aangepast worden. Wanneer de minimum- en maximumvoorraad veranderen moeten deze nieuwe waarden geüpload worden naar de portal.

| Gemiddelde moverate | Speelruimte Q |
|---------------------|---------------|
| 0,1 - 1,0           | 2             |
| 1,1 - 2,0           | 3             |
| 2,1 - 3,0           | 4             |
| 3,1 - 4,0           | 5             |

TABEL 5: OPTIMALE SPEELRUIMTE

### 5.2 ONDERHOUD REKENMODEL

Om het model over een langere periode te kunnen blijven gebruiken moeten er naar verloop van tijd aanpassingen plaatsvinden. Een aantal variabelen in de berekening is gebaseerd op historische data, zoals de kans dat het verbruik afwijkt van de forecast in de portal. Bij het bepalen zijn enkele aannames gemaakt die bij hogere moverates niet meer van toepassing kunnen zijn. Bij elke variabele is aangegeven wanneer er onderhoud moet plaatsvinden, dit zijn echter wel indicaties.

#### 5.2.1 TEKORT $T_N$ – DAGELIJKS

De in appendix E beschreven methode van het berekenen van het aantal stock-outs is onnauwkeurig, het is niet zeker of deze te late onderdelen en afkeuren daadwerkelijk tot stock-outs hebben geleid. De minimumvoorraad wordt gebaseerd op het aantal stock-outs dat er voor een bepaald onderdeel voorgekomen is. Binnen VMI kan het aantal stock-outs gezien worden als het aantal keren dat de voorraad onder minimumniveau  $z$  komt. Door dagelijks bij te houden wanneer en hoeveel de voorraad onder het minimum komt, kan het aantal stock-outs berekend worden. Hiervoor moet elke dag de volgende berekening gemaakt worden:

$$t_n = (z - u_n)^+ = \max(z - u_n, 0)$$

Hierbij is

$t_n$ : het tekort op dag  $n$

$u_n$ : de eindvoorraad op dag  $n$

z: de hoogte van de minimumvoorraad

De minimumvoorraad kan vervolgens berekend worden met de in hoofdstuk 4 beschreven formules.

### 5.2.2 A – ELK KWARTAAL

Met behulp van  $\alpha$  wordt per onderdeel de optimale speelruimte Q berekend. Op het moment is de  $\alpha$  lastig te bepalen, omdat er tijd zit tussen het moment van de forecast en het daadwerkelijke verbruik. Binnen VMI kan elke week exact gekeken worden wat de voorspelling voor die week in het begin van die week was en wat het daadwerkelijke verbruik in die week was. Met behulp van deze waarden kan na een kwartaal een nieuwe  $\alpha$  bekerend worden. Het is de bedoeling om dit elk kwartaal te doen, omdat  $\alpha$  over tijd kan veranderen.

Wanneer er een kans ontstaat dat het verbruik per week meer dan één module afwijkt van de voorspelling moet de berekening aangepast worden. De berekening gaat op dit moment uit van drie mogelijkheden qua verbruik in één week (voorspelling – 1 module, voorspelling, voorspelling + 1 module), maar dit aantal zou groter kunnen worden. Dit gebeurt echter alleen bij significant hogere moverates (gemiddelde moverate > 5), ook de Q moet dan aangepast worden (zie hieronder).

### 5.2.3 SPEELRUIMTE Q - BIJ GEMIDDELDE MOVERATE > 6

Voor veel onderdelen (tot €1.900) is de optimale speelruimte het maximale verbruik in een week. Bij significant hogere moverates hoeft dit niet meer het geval te zijn. Wanneer de  $\alpha$  verandert kan het optimum ook verschuiven. De speelruimte Q moet dan opnieuw volgens de berekening van paragraaf 4.1.1.2. uitgerekend worden.

### 5.2.4 MINIMUMVOORRAAD (z) – BIJ GEMIDDELDE MOVERATE > 5

De minimumvoorraad hangt af van het aantal onderdelen dat maximaal in 24 uur gebruikt wordt, dat is bij een gemiddelde moverate van tussen 2,3 en 3,2 voor twee modules aan onderdelen. Wanneer de moverate significant hoger wordt zou het kunnen voorkomen dat er onderdelen voor twee of meer modules op één dag verbruikt worden, de minimumvoorraad moet dan aangepast worden.

## 5.3 INFORMATIE LEVERANCIER

De leverancier heeft de volgende informatie nodig om zo goed mogelijk te kunnen presteren binnen VMI. Aangezien in de portal alleen de vraag van de komende weken wordt vastgelegd, moet de overige informatie op een andere manier aan de leverancier duidelijk gemaakt worden. Een deel van deze informatie moet als afspraak in het contract vastgelegd worden, de rest dient als verduidelijking. Deze verduidelijking kan gegeven worden bij de eerste overleggen met potentiële VMI leveranciers.

### 5.3.1 VASTLEGGEN IN CONTRACT

1. De leverancier levert op basis van een minimumvoorraad (z) en een maximumvoorraad (Z) waarbinnen de voorraad zich moet bevinden. De leverancier is verantwoordelijk voor het plannen van de leveringen.
2. Het is niet mogelijk om meer aan te leveren dan het maximum Z toelaat. Onderdelen die extra aangeleverd worden worden niet binnengeboekt en kunnen niet gefactureerd worden.
3. De enige uitzondering op punt 2 ontstaat wanneer de forecast in een bepaalde week hoger is dan het verschil tussen Z en z. (zie ook verduidelijking punt 4.)

### 5.3.2 VERDUIDELIJKING

1. De speelruimte ( $Q = Z - z$ ) is bepaald op één levering per week. Wanneer de leverancier volgens deze regelmaat aanlevert en telkens aanlevert tot het maximum Z, belandt de voorraad in principe nooit onder het minimum z. De leverancier is echter vrij om aan te leveren wanneer hij wil.
2. Het minimumniveau z is ingesteld om ervoor te zorgen dat het productieproces van VDL ETG geen vertraging kan oplopen door stock-outs, deze kosten VDL ETG namelijk veel geld.
3. De forecast in de portal is uit te drukken in een meervoud van  $a$  (het aantal onderdelen per module), deze vraag kan verschillen van de forecast. Deze afwijking is maximaal  $a$  onderdelen. Met deze afwijking van  $a$  onderdelen is bij het bepalen van de speelruimte rekening gehouden, dus één levering

per week is in alle gevallen afdoende (mits er aangevuld wordt tot aan het maximum). Op de lange termijn is de totale vraag echter min of meer gelijk.

4. Het kan bij een incidentele piek in de planning voorkomen dat de aangegeven forecast in een week hoger is dan  $Z - z$ . Daarom moet in het contract vastgelegd worden dat bij uitzondering afgeweken mag worden van punt 2 uit paragraaf 5.3.1.

## 5.4 PRIKKELS

VDL ETG wil de leveranciers een positieve prikkel geven om beter te gaan leveren. Dit kan door goed presterende leveranciers binnen VMI meer onderdelen, dus meer omzet te geven. Een goede prestatie betekent in deze dat de leverancier niet onder het minimumniveau  $z$  terecht is gekomen, dus  $\sum_{n=0}^m t_n = 0$ , waarbij  $m$  een langere periode is (bijvoorbeeld een jaar). Op deze manier beloon je leveranciers voor hun goede prestatie en weegt de leverbetrouwbaarheid mee in de keuze voor de leverancier. Op dit moment wordt er vooral naar de kostprijs van het artikel gekeken bij het bepalen van de leverancier.

## 5.5 CONCLUSIE IMPLEMENTATIE

De vraag die in dit hoofdstuk centraal staat is: **“Hoe kan VDL ETG de verschillende oplossingen het beste implementeren?”** Ten eerste is aangegeven dat het planningsproces in grote lijnen hetzelfde blijft, alleen worden er uiteindelijk geen inkooporders gegenereerd, maar wordt er gekeken of de minimum- en maximumvoorraden aangepast dienen te worden en wordt de forecast geüpdate in de portal. Daarnaast moet VDL ETG het rekenmodel up-to-date houden door het opnieuw berekenen van een aantal variabelen die een belangrijke rol spelen. Dagelijks moet het tekort  $t_n$  berekend worden, de  $\alpha$  moet elk kwartaal opnieuw berekend worden. De speelruimte  $Q$  en de minimumvoorraad  $z$  moeten bij significant hogere moverates (meer dan vijf) opnieuw berekend worden.

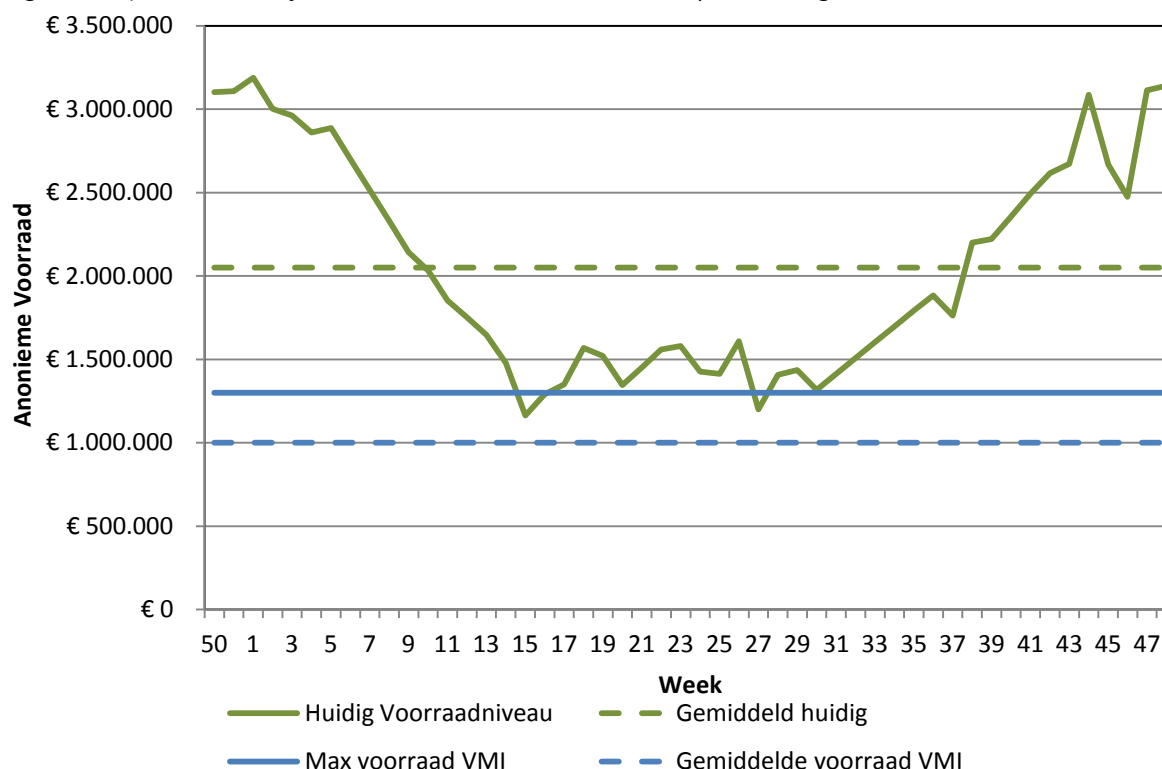
Vervolgens is beschreven hoe binnen de VMI-context de logistieke leverbetrouwbaarheid verbeterd kan worden. Hierbij is aangegeven welke informatie de leverancier kan helpen met het zo goed mogelijk presteren binnen VMI. Tot slot is gesteld dat de leverancier gestimuleerd kan worden beter te leveren door het belonen van goed presterende leveranciers met door hen meer verschillende onderdelen te laten leveren waardoor hun omzet vergroot wordt.

## HOOFDSTUK 6: IMPACT

In dit hoofdstuk wordt beschreven wat de impact van de voorgestelde implementaties is. In de hoofdvraag van dit onderzoek wordt gesproken over voorraadkosten en verstoringkosten, hier worden beide componenten behandeld.

### 6.1 IMPACT OP DE VOORRAADKOSTEN

Om de voorraadkosten van de oude situatie te berekenen wordt gekeken naar de informatie die bij VDL ETG beschikbaar is. Het afgelopen jaar is de gehele anonieme voorraad van product A bijgehouden, deze moet nog gecorrigeerd worden voor de inkoopdelen. De anonieme voorraad bestaat uit alle onderdelen van de product A, zowel inkoopdelen als maakdelen. 80% van de waarde van alle onderdelen bestaat uit inkoopdelen. In de grafiek hieronder is het effect van het implementeren van VMI bij een moverate van 2,5 (zoals afgelopen jaar het geval was) te zien, hierbij worden in de VMI-situatie alle inkoopdelen aangestuurd via VMI.



FIGUUR 2: ANONIEME VOORRAAD INKOOPDELEN

Uit deze grafiek wordt duidelijk dat de implementatie van VMI de gemiddelde voorraad significant doet afnemen (met meer dan €1000.000). De VMI voorraad is hier gebaseerd op  $Q=4$  en  $z=2$  bij alle onderdelen. Het grote voordeel is dat de leverancier niet meer mag leveren dan de maximumvoorraad. In de grafiek is duidelijk te zien dat de voorraad op het eind significant toeneemt. Dit komt doordat er een ramp-down heeft plaatsgevonden, maar de leveranciers de al bestelde onderdelen alsnog geleverd hebben. Dit kan na de implementatie van VMI niet meer.

### 6.2 IMPACT OP DE VERSTORINGKOSTEN

Het is lastig in te schatten hoe groot het effect van de gedane aanbevelingen op de verstoringkosten is. Doordat er een minimumvoorraad wordt ingesteld van twee modules betekent dit dat de monteur bij kleine verstoringen of een incidenteel hogere vraag verder kan monteren, waardoor de verstoringkosten afnemen.

Bovenstaande maatregelen hebben alleen invloed op de onderdelen waarvoor VMI wordt ingevoerd. In het begin is dit een beperkt aantal, omdat VMI geleidelijk ingevoerd wordt. Eén derde deel van de stock-outs wordt veroorzaakt door de maakdelen, waar VMI niet voor bedoeld is. Ook is er nog een groot aantal inkoopdelen dat niet op VMI over gaat door weigerende leveranciers. Hiervoor kan een oplossing gevonden worden in het

heroverwegen van de veiligheidstijd, ook voor duurdere delen. Bij onderdelen tot €200 is de optimale veiligheidstijd 15 dagen en bij onderdelen boven de €200 is de optimale veiligheidstijd 3 dagen. De verwachte besparing hierbij is €27.000. Dit komt doordat de voorraadkosten met €16.000 stijgen, terwijl de verstoringkosten met €43.000 dalen. De berekeningen die hieraan ten grondslag liggen zijn te vinden in appendix L.

## HOOFDSTUK 7: CONCLUSIE

In dit hoofdstuk wordt de hoofdvraag beantwoord en worden er concrete aanbevelingen gedaan voor VDL ETG Almelo. Vervolgens wordt gekeken wat de impact van de aanbevelingen is.

### 7.1 CONCLUSIE

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt als volgt: **“Hoe kan VDL ETG na het implementeren van VMI het totaal van de verstoringkosten en de voorraadkosten minimaliseren door het bepalen van de optimale hoogte van de minimum- en maximumvoorraad en het verhogen van de logistieke leverbetrouwbaarheid van de toeleverketen?”**. Deze wordt nu beantwoord.

Binnen de gekozen manier van voorraadsturing, dus op basis van een minimum- en maximumvoorraad, wordt de som van de verstoringkosten en voorraadkosten geminimaliseerd door het aanhouden van een minimumvoorraad van één module en een maximumvoorraad van vier modules (bij een gemiddelde moverate van 2,5). Dit optimum geldt bij een geplande gemiddelde moverate tussen de 2,1 en 3,0, wanneer de moverate hoger of lager wordt dienen de minimum- en maximumvoorraden aangepast te worden. De logistieke leverbetrouwbaarheid kan binnen deze manier van voorraadsturing verbeterd worden, door het geven van volledige informatie, zo moet de leverancier bijvoorbeeld weten in hoeverre de forecast af kan wijken en waar de minimum- en maximumvoorraden op gebaseerd zijn. Ook kan de logistieke leverbetrouwbaarheid verbeterd worden door het stimuleren van goede prestaties. Leveranciers met een hoge leverbetrouwbaarheid moeten beloond worden door het vergroten van hun omzet doordat ze meer verschillende onderdelen mogen leveren.

Deze maatregelen zorgen ervoor dat de gemiddelde voorraadkosten met zo'n €500.000 dalen. Het is lastig in te schatten in hoeverre de verstoringkosten dalen, omdat VMI een geheel nieuw systeem is voor de leveranciers. De hieronder beschreven aanbevelingen zorgen ervoor dat deze zo laag mogelijk zijn, zonder dat de voorraadkosten er bovenmatig door toenemen.

### 7.2 AANBEVELINGEN

Uit het onderzoek zijn de volgende concrete aanbevelingen naar voren gekomen:

- Gebruik de uit dit onderzoek voortgekomen rekentool, hiervoor is een handleiding beschikbaar.
- Houd na de implementatie van VMI de betrouwbaarheid van de forecasts bij, hiermee kunnen leveranciers geholpen worden in het aanpassen van hun process op VMI. Ook kan hiermee de in het model gebruikte  $\alpha$  (kans dat het verbruik afwijkt van de forecast) opnieuw berekend worden. Dit is nodig om de rekentool over langere termijn te kunnen blijven gebruiken.
- Houd dagelijks de tekorten bij, hiermee kan de performance van de leverancier gemeten worden alsmede de minimumvoorraad berekend worden.
- Voorkom onrust bij de leveranciers door minimum- en maximumvoorraad zo min mogelijk aan te passen
- Deel alle informatie over de tot standkoming van de minimum- en maximumniveaus van de voorraad met de leverancier. Dit kan hem helpen met een betere afstemming op VMI, wat haar leverprestatie ten goede komt.
- Beloon leveranciers die goed presteren door het vergroten van hun omzet binnen VMI, zo worden zij gestimuleerd beter te leveren.
- Heroverweeg de veiligheidsstijd van de onderdelen die niet binnen VMI gaan vallen. In appendix L is uitgerekend welke veiligheidsstijd optimaal is. Bij onderdelen tot €200 is de optimale veiligheidsstijd 18 dagen en bij onderdelen boven de €200 is de optimale veiligheidsstijd 7 dagen. De verwachte besparing hierbij is €27.000. Dit komt doordat de voorraadkosten met €16.000 stijgen, terwijl de verstoringkosten met €43.000 dalen.

## REFERENTIES

- Bichescu, B. C., & Fry, M. J. (2009). Vendor-managed inventory and the effect of channel power. *Operations Research Spectrum*, 31, 195-228.
- Franke, P. D. (2010). *Vendor-managed Inventory for High Value Parts – Results from a survey among leading international firms*. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin.
- Fry, M. J., Kapuscinski, R., & Olsen, T. L. (2001). Coordinating Production and Delivery Under a (z,Z)-Type Vendor-Managed Inventory Contract. *Manufacturing & Service Operations Management*, 3 (2), 151-173.
- Gerchak, Y., & Wang, Y. (2004). Revenue-Sharing vs. Wholesale-Price Contracts in Assembly Systems with Random Demand. *Production and Operations Management*, 13 (1), 23-33.
- Goodwin, P., & Wright, G. (2009). *Decision Analysis for Management Judgement*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Guan, R., & Zhao, X. (2010). On contracts for VMI program with continuous review (r,Q) policy. *European Journal of Operational Research*, 656-667.
- Heerkens, J. (2005). *Algemene Bedrijfskundige Probleemaanpak*. Enschede: TSM Business School.
- Law, A. M. (2007). *Simulation Modeling & Analysis*. Tucson: McGraw Hill.
- Niranjan, T. T., Wagner, S. M., & Nguyen, S. M. (2012). Prerequisites to vendor-managed inventory. *International Journal of Production Research*, 50 (4), 939-951.
- Plambeck, E., & Zenios, S. (2003). Incentive Efficient Control of a Make-to-stock Production System. *Operations Research*, 51 (3), 371-386.
- Visser, H., & Van Goor, A. (2008). *Werken met Logistiek*. 2008: Noordhoff Uitgevers B.V.
- Winston, W. L. (2004). *Operations Research Applications and Algorithms*. Thomson/Brooks/Cole.
- Yao, Y., Evers, P. T., & Dresner, M. E. (2007). Supply chain integration in vendor-managed inventory. *Decision Support Systems* (43), 663– 674.

## APPENDICES

### APPENDIX A: BEGRIPPENLIJST

**ABP:** *Algemene Bedrijfskundige Probleemaanpak*, methodiek die gebruikt kan worden om complexe, multidisciplinaire, bedrijfskundige problemen op te lossen.

**AHP:** *Analytical Hierarchy Process*, methode om een keuze te maken tussen alternatieven met meerdere criteria op basis van paarsgewijze vergelijkingen.

**BAAN:** ERP-systeem gebruikt door VDL ETG Almelo.

**CLIP:** *Confirmed Line-Item Performance*, manier om de logistieke betrouwbaarheid te meten op basis van de bevestigde leverdatum door de leverancier.

**ECLIP:** *Early Confirmed Line-Item Performance*, manier om de logistieke betrouwbaarheid te meten op basis van de bevestigde leverdatum door de leverancier. Hierbij worden ook te vroeg geleverde orders als op tijd gerekend.

**ERLIP:** *Early Requested Line-Item Performance*, manier om de logistieke betrouwbaarheid te meten op basis van behoeftedatum van VDL ETG. Hierbij worden ook te vroeg geleverde orders als op tijd gerekend.

**ERP:** *Enterprise Resource Planning*, systeem/database met realtime informatie over bedrijfsprocessen

**FS-REM:** Naam van het systeem waarmee de kwaliteitsverstoringen binnen VDL ETG geregistreerd worden.

**LFA:** *Long Forecast Agreement*, afspraken tussen VDL ETG en een leverancier, waarbij de leverancier elke week nieuwe forecasts van de vraag krijgt.

**Moverate:** Het aantal producten A dat in een week geproduceerd wordt.

**MRP:** *Material Requirements Planning*, systeem waarmee de productieplanning wordt omgezet in een behoefte per onderdeel. Genereert vervolgens inkooporders op basis van de actuele voorraadhoogte.

**RLIP:** *Requested Line-Item Performance*, manier om de logistieke betrouwbaarheid te meten op basis van behoeftedatum van VDL ETG.

**RMI:** *Retailer-managed Inventory*, voorraadsysteem waarbij de retailer verantwoordelijk is voor het beheer van de voorraad

**VMI:** *Vendor-managed Inventory*, voorraadsysteem waarbij de leverancier verantwoordelijk is voor het beheer van de voorraad.

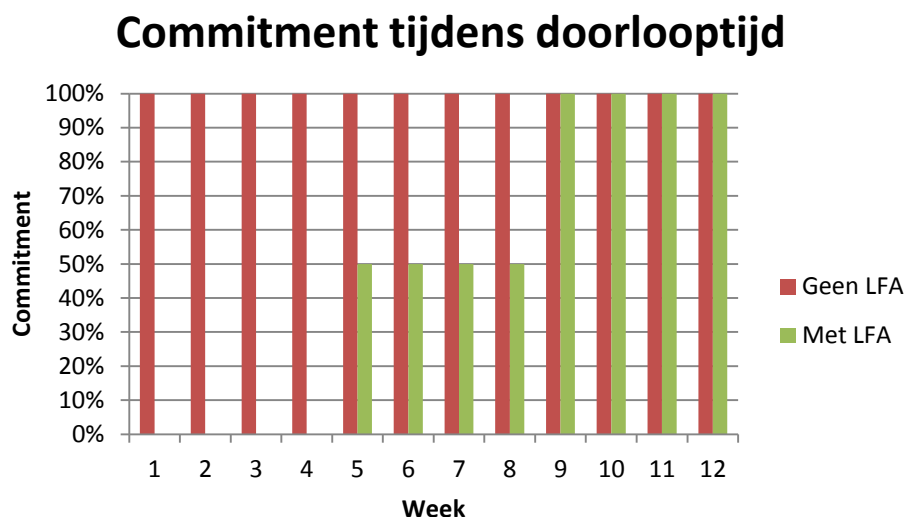
**VMOI:** *Vendor-managed and Owned Inventory*, voorraadsysteem waarbij de leverancier verantwoordelijk is voor het beheer van de voorraad en daar tevens eigenaar van is.

## APPENDIX B: HET LFA CONTRACT

Voor enkele onderdelen heeft VDL ETG een LFA-contract afgesloten. Hier wordt als voorbeeld een onderdeel met een doorlooptijd van twaalf weken besteld. Dit onderdeel zou, wanneer er geen LFA-contract afgesloten zou zijn, twaalf weken voor de behoeftedatum op de montage besteld worden. Hierdoor loopt VDL ETG twaalf weken financieel risico over de volledige waarde van het onderdeel (= 100% commitment aan het onderdeel), dit kan vooral gevolgen hebben wanneer de planning veel veranderd. Het voordeel van een dergelijk contract is dat VDL ETG makkelijker kan schuiven met haar planning.

In een LFA-contract staat vastgelegd hoeveel risico VDL ETG over de doorlooptijd van het onderdeel loopt. In een dergelijk contract kan bijvoorbeeld staan dat VDL ETG pas over de laatste vier weken financieel risico loopt over de volledige waarde van het onderdeel en over de vier weken daar voor de helft van de waarde, deze situatie is weergegeven in onderstaande figuur. Dit zijn slechts voorbeelden, elke combinatie van tijd en de waarde waar VDL ETG de risico's van draagt, is mogelijk.

De leveranciers van de onderdelen waarvoor een LFA-contract is afgesloten krijgen wekelijks een voorspelling van de vraag over de tijdspan van een jaar. Hier kan de leverancier zijn productie dan op afstemmen, aangezien de daadwerkelijke order voor een onderdeel pas een week voor de behoeftedatum geplaatst wordt. Mocht er in de planning van VDL ETG iets veranderen voor een onderdeel waar VDL ETG nog geen risico over draagt, dan kan de planning kosteloos aangepast worden. Mocht er in de planning van VDL ETG iets veranderen voor een onderdeel waar VDL ETG al risico over de waarde draagt dan neemt VDL ETG contact op met de leverancier. In overleg kan er dan besloten worden dat het onderdeel alsnog geleverd of doorgeschoven wordt.

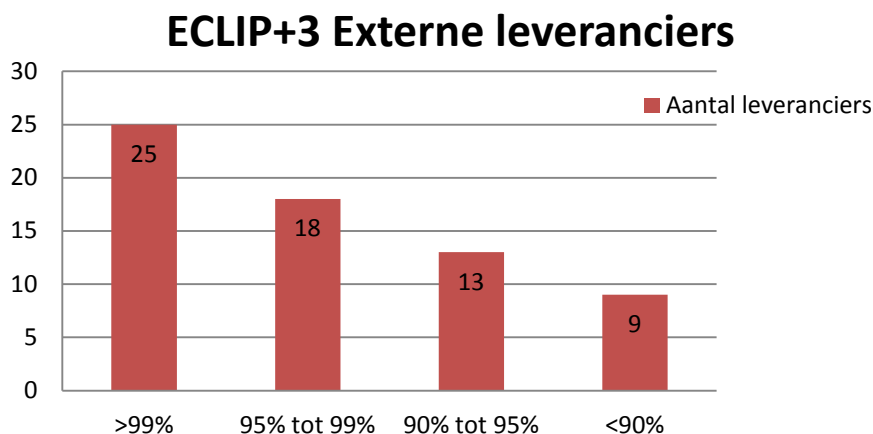


FIGUUR 3: COMMITMENT TIJDENS DOORLOOPTIJD (VOORBEELD)

## APPENDIX C: ANALYSE LOGISTIEKE LEVERBETROUWBAARHEID

### INKOOPORDERS

Het afgelopen jaar (1 oktober 2011 – 30 september 2012) is er in voor product A bij 65 verschillende leveranciers ingekocht d.m.v. 15000 inkooporderregels, waarvan er 600 meer dan drie dagen te laat geleverd werden. Een inkooporder bestaat uit meerdere inkooporderregels, per onderdeel wordt er één inkooporderregel aangemaakt. Een klein deel van de leveranciers (20%) is verantwoordelijk voor een groot deel van de orders (80%). De prestatie van de leveranciers is te vinden in onderstaande grafiek:



FIGUUR 4: PRESTATIE LEVERANCIERS

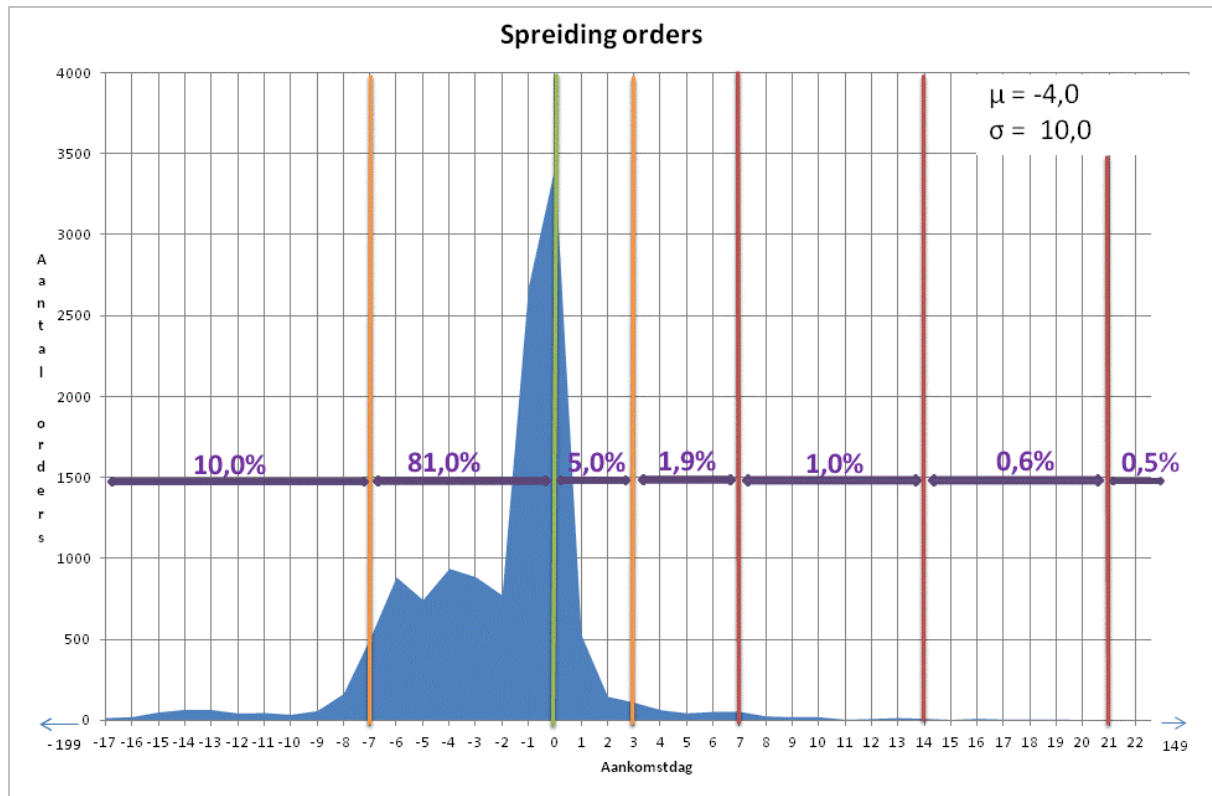
Verder valt uit de analyse af te leiden dat de gemiddelde order 3,0 dagen te vroeg wordt geleverd, dit is prima aangezien de leverancier tot een week van tevoren mag leveren. In figuur 5 op de volgende pagina is te zien hoe de orders verdeeld zijn, waarbij dag 0 de bevestigde aankomstdag is. De standaardafwijking van de ontvangstdag is echter 10 dagen, dit is veel als je kijkt naar de marges die VDL stelt. Dit komt vooral door de te vroeg geleverde orders. VDL ETG heeft met de leveranciers afgesproken dat er tot een week van tevoren geleverd mag worden. Dit wordt echter niet gecontroleerd waardoor een deel van de orders (10%) meer dan een week te vroeg binnenkomt. Aan de andere kant zijn er ook orders te laat, dit is 4% van het totaal.

### PRODUCTIEORDERS

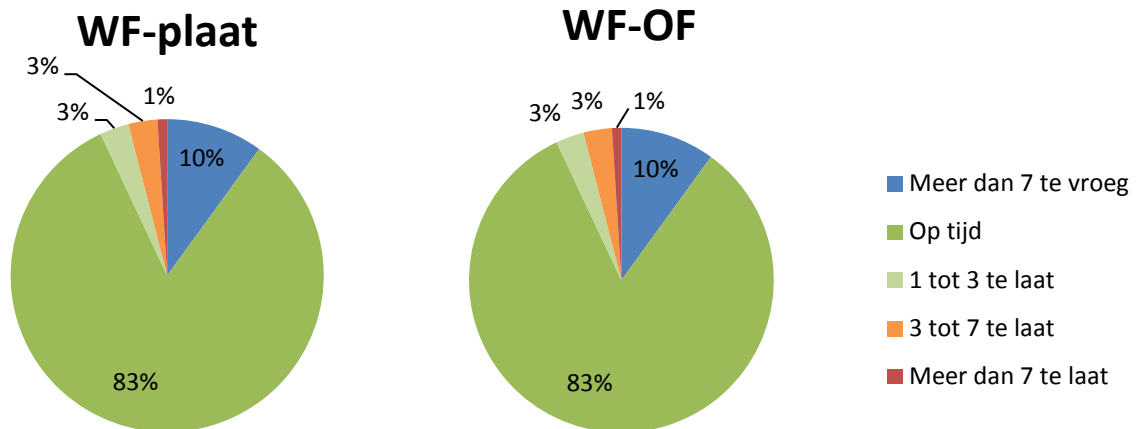
Het afgelopen jaar zijn 2000 productieorders voor onderdelen van product A aangemaakt, deze omvatten in totaal 40.000 onderdelen. Van de 2000 orders zijn er 1000 bij WF-Plaat geproduceerd en 1000 bij WF-OFF. Zoals eerder vermeld wordt bij maakdelen de leverbetrouwbaarheid gemeten door de RLIP i.p.v. de CLIP vanwege het ontbreken van een leverbevestiging. In figuur 4 op de volgende pagina zijn de leverprestaties op orderniveau van beide afdelingen op basis van de behoeftedatum te zien. Ook de maakdelen worden vaak dus meer dan zeven dagen te vroeg geleverd.

Hiermee komt de ERLIP (Early Requested Line Item Performance) van WF-Plaat uit op 93,0% en WF-OFF op 93,0%. Deze percentages zijn lager dan de ECLIP+3 van de externe leveranciers. Dit komt, omdat bij de CLIP de dag dat de order bevestigd wordt gebruikt wordt en de externe leveranciers 3 dagen marge hebben vanwege de vertragingen die kunnen ontstaan bij het binnenboeken van goederen. Om te vergelijken tussen de inkooporders en productieorders moet er met gelijke maat gemeten worden, dus moet hiervoor de RLIP van de inkooporders gebruikt worden. De RLIP van de inkooporders was over het afgelopen jaar 91,0%. Hierbij is rekening gehouden met de veiligheidsstijd, anders was de RLIP 94,0%. De logistieke leverbetrouwbaarheid van de interne leveranciers ligt dus lager dan de externe leveranciers

FIGUUR 6: LEVERPRESTATIES INTERN



FIGUUR 5: SPREIDING ORDERS



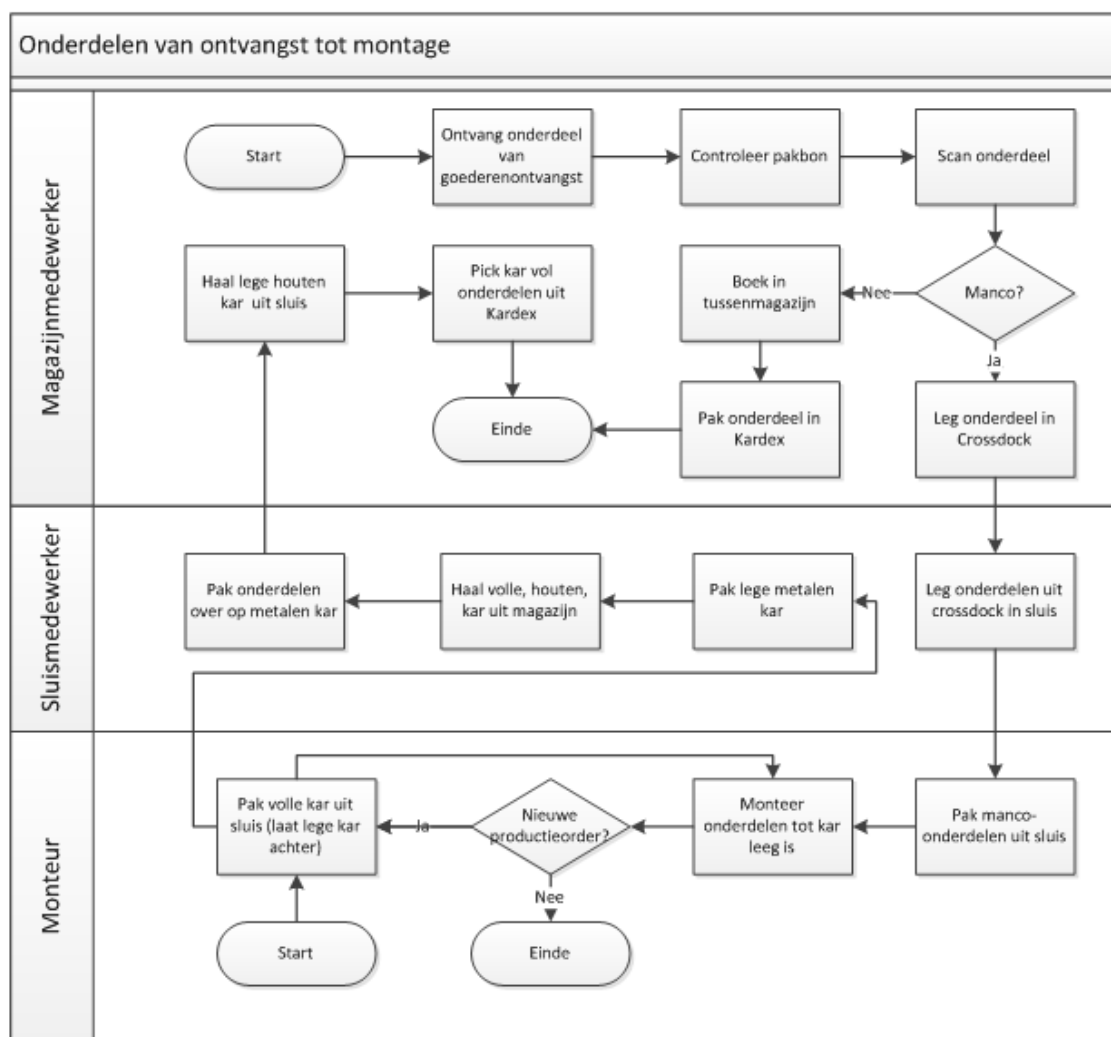
FIGUUR 6: LEVERPRESTATIES INTERN

## APPENDIX D: ONDERDELENMAGAZIJN

Bij de centrale goederenontvangst worden de ontvangen goederen gesplitst tussen goederen voor WF-projecten en WF-systemen, product A valt onder WF-systemen. Deze goederen worden naar het magazijn van WF-systemen gebracht, waar de pakbonnen gecontroleerd worden en indien goedgekeurd voorzien van een inslagsticker. Hier worden ook de maakdelen ontvangen. Daarna worden de onderdelen uitgepakt en op karren gezet. Deze karren worden ook gescand als een soort tussenmagazijn, zodat duidelijk is dat de onderdelen binnen zijn maar nog niet gebruikt kunnen worden voor montage. Daarna worden de onderdelen in de Kardex gelegd, BAAN geeft aan waar in de Kardex de onderdelen moeten liggen.

Voor montage worden alle onderdelen op een standaardmanier in bakken op karren gelegd. Per bewerkingsstap in het montageproces is er een aparte kar. Wanneer er bij montage sprake is van een lege kar, wordt deze naar de sluis gebracht en omgeruild voor een volle. De sluismedewerker brengen daarna de lege kar weer naar het magazijn. Wanneer er een nieuwe productieorder is, scant de magazijnmedewerker de kar waarna BAAN aangeeft welk onderdeel uit de Kardex in welke bak op de kar gelegd moet worden. Wanneer de kar vol is wordt deze naar de sluis gereden. Hier wordt de kar over gepakt van een houten naar een metalen kar met exact dezelfde bakindeling. Dit omdat hout de cleanroom niet in mag. Hier wordt ook de eerste laag plastic van het onderdeel gehaald.

Wanneer een onderdeel te laat geleverd is, ontstaat er een manco bij het inpakken van de bakken uit de Kardex. Er wordt dan een mancoformulier bij de bak gelegd. Wanneer het onderdeel daarna binnenkomt bij het magazijn via het crossmagazijn meteen naar de montage.



FIGUUR 7: FLOW VAN ONDERDELEN

## APPENDIX E: OORZAKEN STOCK-OUTS

In hoofdstuk 2 worden de volgende oorzaken voor stock-outs genoemd:

1. Onderdelen kunnen intern stuk gaan, waardoor ze niet meer bruikbaar zijn of kwijtraken.
2. De leverancier levert niet op tijd (manco).
3. De spare/repair afdeling gebruikt een onderdeel eerder.
4. Door afkeur zijn er minder goede onderdelen over dan benodigd

Deze worden hieronder gekwantificeerd:

### ONDERDELEN KUNNEN INTERN STUK GAAN, WAARDOOR ZE NIET MEER BRUIKBAAR ZIJN OF KWIJTRAKEN..

Het kan voorkomen dat een al geleverd onderdeel stuk gaat of dat een onderdeel zoekraakt. Deze onderdelen worden geregistreerd in FS-REM als interne klacht. Over het afgelopen jaar ging dit om 800 inkoopdelen en 200 maaddelen.

### DE LEVERANCIER LEVERT NIET OP TIJD

Uit de gegevens van appendix C is niet af te leiden hoeveel manco's er zijn ontstaan. Een manco is hierbij gedefinieerd als een onderdeel dat volgens de RLIP of ECLIP+3 te laat is. Het maximale aantal manco's per orderregel is gelijk aan de behoefte van dat onderdeel voor één product A. Bepaalde onderdelen worden namelijk voor twee maanden vooruit ingekocht, wanneer deze order te laat binnenkomt zijn deze onderdelen niet allemaal manco's omdat deze niet allemaal direct nodig zijn. Hieronder is te zien hoeveel manco's het afgelopen jaar ontstaan zijn. Het aantal manco's is af te lezen uit onderstaande tabel:

| Inkoopdelen                | RLIP | RLIP met veiligheidstijd | ECLIP+3 |
|----------------------------|------|--------------------------|---------|
| Totaal aantal manco's      | 9200 | 7440                     | 4900    |
| Aantal orderregels te laat | 1400 | 700                      | 550     |
| Manco's magneet X          | 6000 | 6000                     | 4000    |
| Manco's excl magneet X     | 3200 | 1440                     | 900     |

TABEL 6: MANCO'S INKOOPDELEN

Uit de tabel is op te maken dat een groot deel van de manco's wordt veroorzaakt door één onderdeel, een magneet waarvan er per module 200 nodig zijn. Om ervoor te zorgen dat dit enorme aantal een vertekend beeld geeft, worden deze magneten verder buiten beschouwing gelaten.

Uit de tabel wordt duidelijk dat de veiligheidstijd op jaarbasis 1760 (=3200-1440) manco's voorkomt. Het verschil tussen de ECLIP+3 en RLIP (zonder magneten, met veiligheidstijd) bedraagt 540 manco's. Deze worden dus veroorzaakt door het verschil in behoeftedatum en bevestigde leverdatum van de leverancier. In een groot deel van de gevallen betekent dit dat deze onderdelen te laat besteld zijn. De meest nauwkeurige schatting van het aantal manco's is 1440, omdat wanneer een onderdeel op basis van de behoeftedatum te laat is (de RLIP), er stock-outs kunnen ontstaan.

De 1440 manco's bestaan uit 360 (25%) manco's van LFA onderdelen en 1080 manco's van niet LFA-onderdelen, dit komt overeen met de fractie van de niet-grijp inkoopdelen (25%) dat een LFA-contract heeft.

Van de maaddelen zijn 360 manco's ontstaan op basis van de RLIP, deze kwamen voort uit 170 te laat geleverde productieorders. Het totaal aantal manco's bedraagt dus (1440 + 360=) 1800 en bestaat voor 80% uit manco's van inkoopdelen en voor 20% uit manco's van maaddelen.

### SPARE/REPAIR GEBRUIKT EEN ONDERDEEL EERDER

Bij de spare/repair afdeling is de vraag moeilijker te voorspellen, waardoor er soms urgent een onderdeel nodig is. Er wordt dan voor gekozen om spare/repair het onderdeel te laten gebruiken. Onderdelen worden gezamenlijk ingekocht op basis van de som van de behoefte van montage en spare/repair. Wanneer spare/repair dan een onderdeel pakt, zou dit geen problemen op moeten leveren omdat dit onderdeel ook besteld is. Wanneer montage hierdoor een stock-out heeft is er sprake van een manco, omdat er dan op basis van de behoeftedatum te laat geleverd is.

## DOOR AFKEUR ZIJN ER MINDER GOEDE ONDERDELEN OVER DAN BENODIGD

Met de leverancier is afgesproken dat wanneer er afkeur plaats vindt en de klacht terecht is er binnen 24 uur nieuwe onderdelen geleverd worden. Dit is echter lang niet altijd mogelijk, waardoor er stock-outs kunnen ontstaan wanneer er na afkeur geen voorraad meer is.

Over het afgelopen jaar zijn er voor product A 400 leveranciersklachten ingediend bij de montage. Dit zorgde voor in totaal 1.600 afgekeurde onderdelen. Het totaal aantal afgekeurde inkoopdelen is 1300 en het aantal afgekeurde maakdelen is 300. Dit zijn echter niet allemaal stock-outs, omdat soms de voorraad voor meerdere weken afgekeurd wordt en deze onderdelen dus niet allemaal direct nodig zijn. Om een schatting te maken van het aantal afkeuren die stock-outs kunnen veroorzaken is daarom per klacht het minimum van het aantal afgekeurde onderdelen en het aantal benodigde onderdelen voor één module genomen. Uit deze benadering volgt dat er ongeveer 960 stock-outs zijn ontstaan door afgekeurde maakdelen en 240 stock-outs door afgekeurde inkoopdelen, dus 1200 stock-outs in totaal.

## CONCLUSIE

De stock-outs zijn het afgelopen jaar dus als volgt veroorzaakt:

| Oorzaak\Soort onderdeel | Inkoopdelen         | Maakdelen | Totaal     |
|-------------------------|---------------------|-----------|------------|
| Stuk gaan/zoekraken     | 800                 | 200       | 1000 (25%) |
| Manco's                 | 1440                | 360       | 1800 (45%) |
| Spare/repair            | Onderdeel van manco | Idem      | Idem       |
| Afkeur                  | 960                 | 240       | 1200 (30%) |
| Totaal                  | 3200 (80%)          | 800 (20%) | 4000       |

TABEL 7: OORZAKEN EN AANTALLEN STOCK-OUTS

Voor het uitrekenen van de minimum- en maximumvoorraad zijn de stock-out kosten  $S$  nodig om te weten.  $S$  wordt hierbij benaderd door het delen van de totale verstoringkosten (appendix G) veroorzaakt door stock-outs te delen door het totaal aantal stock-outs (beide over de periode 1 oktober 2011 – 30 september 2012), dus:

$$S = \frac{\text{Totaal verstoringkosten veroorzaakt door stock-outs}}{\text{Totaal aantal stock-outs}} = \frac{€222.000}{4000} = €55,50$$

Een stock-out kost dus gemiddeld €55,50 ≈ €56.

Het onderstaande “activity diagram” laat zien wat er binnen de montage van een bewerkingsstap gebeurt wanneer een onderdeel niet aanwezig is, wanneer een onderdeel afgekeurd moet worden en wanneer een kar leeg is. Het activity diagram start wanneer er een productieorder binnenkomt voor een bepaalde bewerkingsstap en eindigt wanneer er geen nieuwe productieorders meer zijn. Het rechter deel van het diagram laat zien waar de verstoringtijd ontstaat. Dit gebeurt wanneer een monteur moet wachten, wanneer een monteur eerst een ander onderdeel moet monteren (om-monteertijd) en wanneer er een melding gemaakt moet worden in FS REM.



## APPENDIX G: BEREKENING VERSTORINGKOSTEN

### VERSTORINGKOSTEN

De kosten die ontstaan uit de verstoringen bestaan niet alleen uit de afhandelingskosten, maar ook uit de kosten die gemaakt worden om verstoringen te voorkomen.

De kosten van verstoringkosten zijn als volgt in een formule samen te vatten.

*Verstoringkosten = Afhandelingskosten + Kosten om verstoringen te voorkomen*

### AFHANDELINGSKOSTEN

De afhandelingskosten zijn alle kosten die ontstaan door alle vertragingen op de montage, de afkeur van onderdelen en het personeel dat bezig is met het afhandelen van de verstoringen, dus:

*Afhandelingskosten = Totale verstoringtijd \* Kosten monteur + Kosten afkeur + Personeelskosten indirect personeel*

### TOTALE VERSTORINGTIJD

De totale verstoringtijd bestaat uit de om-monteertijd en de wachttijd (L-verstoringen) en de herbewerkingtijd (Q-verstoringen).

### GEBRUIKTE GEGEVENS:

- Het afgelopen jaar zijn er 100 product A modules geproduceerd (uit BAAN).
- De verstoringen worden bijgehouden door middel van de First Pass Yield (FPY). Wanneer een monteur door een verstoring langer bezig met het monteren van een module, vult hij in een Excel bestand o.a. de aard van de verstoring, het soort verstoring en de duur van de verstoring in. Uit deze FPY-meting is af te leiden dat over de laatste 62 modules (deze horizon is genomen, omdat van eerder modules niet altijd het soort verstoring bekend is) de gemiddelde wachttijd 0,5 uur per module is en de gemiddelde herbewerkingtijd (met als oorzaak de non-optimale leverbetrouwbaarheid) 4,0 uur per module.
- De projectleider van product A geeft aan dat er op het aantal voorgerecalculeerde uren van een module 25 uur bespaard zou kunnen worden, wanneer alle onderdelen op tijd geleverd zouden worden. De om-monteertijd van een module bedraagt dus 25 uur.
- De integrale kosten voor een uur verstoring bij de montage zijn €55, hieronder vallen o.a. de loonkosten van de monteur en de afschrijving van de cleanroom. (uit interview)

*Totale verstoringtijd = Om-monteertijd + Wachttijd + Herbewerkingtijd = (25 + 0,5 + 4,0) \* 100 = 2.950 uur*

### KOSTEN AFKEUR

De kosten voor afkeur bestaan uit de kosten die worden gemaakt door de leveranciersklachten, dit zijn vooral kosten voor het repareren of weggooien van onderdelen. Hierbij is onderscheid gemaakt in terechte en onterechte klachten. Bij terechte klachten worden de kosten doorberekend aan de leverancier, bij onterechte klachten zijn de kosten voor VDL ETG. Voor elke klacht (zowel terecht als onterecht) is ook een uur verstoringtijd (maken melding + wachten op onderdelen) gerekend. Deze informatie komt uit FS-REM, al bleek deze informatie erg onnauwkeurig ingevuld te zijn. In overleg met de kwaliteitsmedewerker is deze informatie daarom aangepast. Het totaal aan kosten van de afkeur kwam uit op €40.000.

### PERSONEELSKOSTEN INDIRECT PERSONEEL

De personeelskosten indirect personeel bestaan uit de kosten die gemaakt worden door personeel dat bezig is met het afhandelen van de verstoringen. Dit betreft vooral het werk van de kwaliteitsmedewerker, maar ook voor een deel werk van de line-engineer en de inkopers die de leveranciers moeten bellen.

### GEBRUIKTE GEGEVENS:

- De kwaliteitsmedewerker geeft aan 30% van zijn tijd aan leveranciersklachten besteed te hebben, voor de line-engineer is dit 4 uur per week (uit interview).
- De kwaliteitsmedewerker heeft het afgelopen jaar 1.900 uur gewerkt (uit orgatime).
- De drie inkopers geven aan een halve dag (= 4 uur) per week bezig te zijn met het afhandelen van verstoringen, deze tijd is gelijk verdeeld tussen product A en product B.

- Een medewerker heeft bij VDL ETG 35 vrije dagen, wat neerkomt op 7 weken. Dus een medewerker werkt 45 weken per jaar. (standaardwaarde)
- De integrale kosten voor een indirecte medewerker (magazijnmedewerkers, transportmedewerkers, productieassistenten, orderplanners, inkopers etc.) zijn €45 per uur. (uit interview)

*Personeelskosten indirect personeel = (Uren kwaliteitsmedewerker + Uren line-engineer + Uren inkopers) \* integrale loonkosten per uur = (1900 \* 0.3 + 4 \* 45 + 3 \* 2 \* 45) \* 45 = €45.900*

Dus:

*Afhandelingskosten = Totale verstoringstijd \* Kosten monteur + Kosten afkeur + Personeelskosten indirect personeel = 2.950 \* 55 + 40.000 + 45.900 = €248.150*

#### KOSTEN OM VERSTORINGEN TE VOORKOMEN

De kosten van om verstoringen te voorkomen bestaan uit de kosten van de veiligheidstijd en de kosten van het personeel dat bezig is met het voorkomen van verstoringen. Dus:

*Kosten om verstoringen te voorkomen = Kosten veiligheidstijd + Personeelskosten voorkomen verstoringen.*

#### KOSTEN VEILIGHEIDSTIJD

De kosten voor de veiligheidstijd bestaan uit de voorraadkosten voor de onderdelen gedurende de veiligheidstijd, dit zijn zowel kapitaalkosten als ruimte kosten. De kapitaalkosten per onderdeel kunnen hierbij berekend worden door de Weighted Average Cost of Capital te vermenigvuldigen met de kostprijs van het onderdeel en de duur (in jaren) van de veiligheidstijd.

De voorraad ruimtekosten worden berekend door het vloeroppervlak te vermenigvuldigen met de prijs per m<sup>2</sup>, daarna wordt dit vermenigvuldigd worden met het deel van het aantal onderdelen dat veiligheidstijd heeft en het deel van de voorraad die er maximaal van deze onderdelen ligt.

#### GEBRUIKTE GEGEVENS:

- Het vloeroppervlak van het magazijn (standaardmagazijn product A en product B) bedraagt 550 m<sup>2</sup>. (uit plattegrond)
- De kosten voor een m<sup>2</sup> vloeroppervlak bedragen €140 per jaar. (standaardwaarde)
- Product A bestaat uit 1200 verschillende onderdelen, waarvan er 600 een veiligheidstijd hebben. Deze veiligheidstijd bedraagt 1 of 2 weken, gemiddeld 6 dagen. (uit BAAN)
- De bestelgrootte van een onderdeel bedraagt maximaal de behoefte voor 1 maand. (standaardwaarde)
- Het percentage voor risico en kapitaalkosten binnen VDL ETG is 8%. (uit interview)
- De totale voorraad kapitaalkosten voor de onderdelen met veiligheidstijd zijn €6.500. (berekening door Excel)

*Kosten veiligheidstijd = Voorraad kapitaalkosten + voorraad ruimtekosten*

*Voorraad kapitaalkosten = WACC \* kostprijs \* veiligheidstijd = 0.08 \* kostprijs onderdeel \* 1,1 weken / 52 = €6.500 per jaar (som van alle onderdelen)*

*Voorraad ruimtekosten = Oppervlakte magazijn \* prijs per m<sup>2</sup> \* deel onderdelen met veiligheidstijd gebruikt wordt \* deel van de maximum voorraad = (550 \* 0,5) \* 140 \* 600/1200 \* 6/30 = €3.850*

*Kosten veiligheidstijd = €6.500 + €3.850 = €10.350 per jaar*

#### PERSONEELSKOSTEN VOORKOMEN VERSTORINGEN

De personeelskosten bestaan uit de kosten voor de verwervers en de kosten voor de mancobewaking. De verwervers kijken per orderregel of de leveranciers alle orders al bevestigd hebben en of de orders op tijd binnen zullen komen. De kosten voor de mancobewaking bestaan uit de tijd die de productieassistent besteed aan het voorkomen van manco's, dit zijn acute gevallen. Hierbij moet rekening gehouden worden dat al deze mensen werkzaam zijn voor zowel product A als product B.

#### GEBRUIKTE GEGEVENS:

- De integrale kosten voor een indirecte medewerker (magazijnmedewerkers, transportmedewerkers, productieassistenten, orderplanners, inkopers etc.) zijn €45 per uur. (uit interview)

- De drie verwervers zijn 40% van hun tijd bezig met voorkomen van verstoringen.
- De verwervers bekijken de inkooporders per orderregel, het afgelopen jaar zijn er 9.500 orderregels aangemaakt voor product A en 9.500 voor product B (uit BAAN).
- De productieassistent geeft aan 50% tot 60% van zijn tijd bezig te zijn met het voorkomen van verstoringen (uit interview). Hiervoor is het gemiddelde van 55% genomen.
- De productieassistent heeft tussen het afgelopen jaar 1.900 uur gewerkt. (uit orgatime)
- De productieassistent zegt zijn tijd over product B en product A te verdelen aan de hand van het aantal te produceren modules. Dit zijn er 100 voor de product A en 100 voor product B. (uit interview en BAAN)

*Personeelskosten voorkomen verstoringen = Kosten verwervers + Kosten mancobewaking*

*Kosten mancobewaking = Aantal uren mancobewaking \* Uurloon \* Tijd besteed aan product A = (0,55 \* 1900) \* 45 \* 100/(100+100) = €23.512,5 per jaar*

*Kosten verwervers = 3 \* (0,4 \* 40 \* 45) \* 45 \* (9.500/(9.500+9.500)) = €48.600 per jaar*

*Personeelskosten voorkomen verstoringen = €23.512,5 + €48.600 = €72.112,50 per jaar*

Dus:

*Kosten om verstoringen te voorkomen = €10.350 + €72.112,50 = €82.462,50 per jaar*

En dus:

***Verstoringkosten = €248.150 + €82.462,50 = €330.612,50 per jaar.***

## APPENDIX H: ANALYTIC HIERARCHIC PROCESS (AHP)

Door middel van de Analytic Hierarchic Process (AHP) wordt de keuze voor de basis van het model gemaakt (Goodwin & Wright, 2009). Hierbij worden criteria en alternatieven paarsgewijs vergeleken. Per vergelijking wordt aangegeven in hoeverre het ene alternatief/criterium (i) over de ander (j) geprefereerd wordt. Hier wordt vervolgens een waarde ( $a_{ij}$ ) aan toegekend. Deze waarden zijn te vinden in onderstaande tabel:

| Toegekende waarde $a_{ij}$ | Betekenis                                                 |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1                          | Attributen i en j zijn even belangrijk                    |
| 3                          | Attribuut i is een beetje belangrijker dan attribuut j    |
| 5                          | Attribuut i is belangrijker dan attribuut j               |
| 7                          | Attribuut i veel belangrijker dan attribuut j             |
| 9                          | Attribuut i is absoluut meer belangrijker dan attribuut j |
| 2, 4, 6, 8                 | Tussenwaarden                                             |

TABEL 8: WAARDEN AHP

Eerst worden de criteria onderling vergeleken, hierbij wordt het getal  $a_{ij}$  ingevuld in de rij van het criterium dat belangrijker wordt geacht en in de kolom van het criterium dat minder belangrijk wordt geacht. In totaal moeten er zes getallen in de tabel ingevuld worden, voor de overige getallen geldt  $a_{ji} = 1/a_{ij}$ . Deze getallen zijn ingevuld door de supply chain manager, die de beslissing neemt over het te gebruiken model. De laatste kolom betreft het berekende gewicht van het criterium uit die rij, deze zijn berekend op basis van de rest van de tabel.

| Criterium            | Leverbetrouwbaarheid | Controle | Leverfrequentie | Voordeel leverancier | Gewicht Criterium |
|----------------------|----------------------|----------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Leverbetrouwbaarheid | 1                    | 5        | 8               | 7                    | 0,639             |
| Controle             | 1/5                  | 1        | 3               | 1                    | 0,162             |
| Leverfrequentie      | 1/8                  | 1/3      | 1               | 1/5                  | 0,047             |
| Voordeel leverancier | 1/7                  | 1        | 5               | 1                    | 0,152             |

TABEL 9: WEGING CRITERIA

Voor deze tabel wordt ook de consistentie berekend, dit kan door middel van de inconsistentie ratio (Goodwin & Wright, 2009). De inconsistentie ratio van een AHP tabel mag niet groter zijn dan 0,1. De inconsistentie ratio van bovenstaande tabel is 0,079, dus de tabel is dus consistent.

Vervolgens worden per criterium de beide modellen met elkaar vergeleken, hieronder zijn de voorkeuren te zien. Hierbij wordt per criterium de voorkeur uitgesproken en daarna een waarde  $a_{ij}$  die aangeeft hoe groot die voorkeur is. Ook deze getallen zijn ingevuld door de supply chain manager.

| Criterium            | Voorkeur            | $a_{ij}$ |
|----------------------|---------------------|----------|
| Leverbetrouwbaarheid | Fry et al. (2001)   | 5        |
| Controle             | Guan en Zhao (2009) | 6        |
| Leverfrequentie      | Fry et al. (2001)   | 4        |
| Voordeel leverancier | Fry et al. (2001)   | 8        |

TABEL 10: VOORKEUR MODEL PER CRITERIUM

In de bovenstaande tabellen worden twee attributen vergeleken, deze waarden zijn daarom altijd consistent (Goodwin & Wright, 2009). Deze gewichten en voorkeuren zorgen voor een score van 0.73 voor het model van Fry et al. (2001) en 0,27 voor het model van Guan en Zhao (2009). Op basis van de AHP is er dus een duidelijke voorkeur voor het model van Fry et al. (2001).

## APPENDIX I: GEBRUIKTE VARIABELEN

$Z$  = Maximumvoorraad in aantal onderdelen

$z$  = Minimumvoorraad in aantal onderdelen

$b^+$  = boete in euro's die betaald wordt als de voorraad zich boven  $Z$  bevind

$b^-$  = boete in euro's die betaald wordt als de voorraad zich onder  $z$  bevind

$Q$  = speelruimte in aantal onderdelen =  $Z - z$

$C(Q)$  = totale verwachte kosten bij speelruimte  $Q$  in euro's

$T$  = aantal perioden in weken

$n$  = huidige periode

$m$  = voorraadhoogte in aantal onderdelen

$S = C_u$  = stock – out kosten in euro's

$H = C_o$  = voorraadkosten per week in euro's

$D$  = vraag in aantal onderdelen

$D_n$  = kans dat vraag in periode  $n$   $D$  onderdelen is =  $P(D = n)$

$u_n$  = eindvoorraad periode  $n$

$V_n$  = voorraadafname in periode  $n$

$t_n$  = tekort  $t$  in onderdelen in periode  $n = (z - u_n)^+ = \max(z - u_n, 0)$

$Int Dlt$  = de integrale doorlooptijd van een onderdeel

$X$  = aantal stock – outs dat gedurende een periode optreed, poisson verdeeld

$\lambda$  = parameter poisson verdeling  $X$

$\alpha$  = kans dat het verbruik afwijkt van de forecast =  $\alpha_1 + \alpha_2$

$\alpha_1$  = kans dat het verbruik naar boven afwijkt van de forecast

$\alpha_2$  = kans dat het verbruik naar beneden afwijkt van de forecast

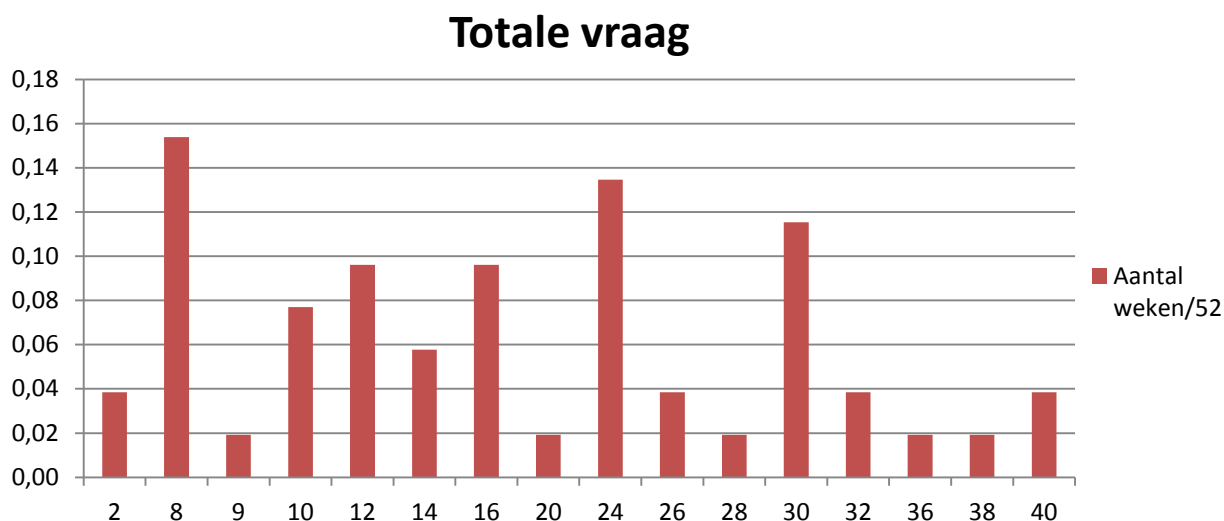
$V$  = veiligheidsvoorraad bij de leverancier in onderdelen =  $V_1 + V_2$

$V_1$  = veiligheidsvoorraad bij de leverancier om schommelingen in de afname op te vangen

$V_2$  = veiligheidsvoorraad bij de leverancier om zijn non – performance op te vangen

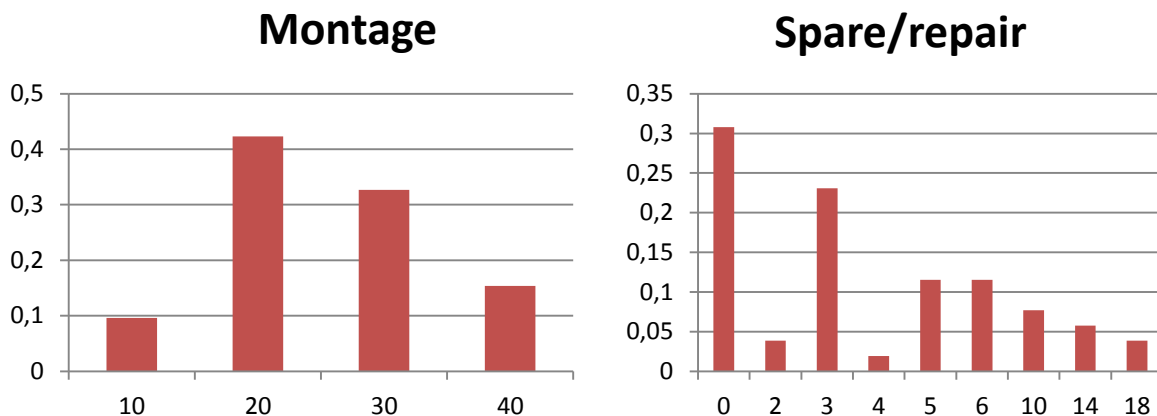
## APPENDIX J: VRAAG NAAR ONDERDELEN

De vraag naar onderdeel A is af te leiden uit het voorraadverloop van dit onderdeel over het afgelopen jaar (1 oktober 2011 – 30 september 2012). Onderdeel A is voor zowel de montage als voor spare/repair gebruikt. In de staafgrafiek hieronder is te zien wat de fractie van weken is waarin een bepaalde vraag D voorkwam.



FIGUUR 9: TOTALE VRAAG

Uit bovenstaande grafiek blijkt dat de totale vraag willekeurig verdeeld is. Om een beter beeld te krijgen van de vraag wordt deze daarom opgesplitst in de vraag van spare/repair en de vraag van montage, hierbij staan de assen van de grafiek voor hetzelfde als in figuur 10. De vraag van montage en de vraag van spare/repair zijn hierbij onderling onafhankelijk.



FIGUUR 10: VRAAG MONTAGE EN SPARE/REPAIR

Uit deze figuren blijkt duidelijk dat de vraag van de montage afhangt van de moverate, deze is 1,2, 3 of 4 (er worden 10 onderdelen per module gebruikt). Het is nog niet zeker of de spare/repair onderdelen ook onder VMI gaan vallen, daarom wordt bij het berekenen van de minimum- en maximumvoorraad geen rekening gehouden met deze onderdelen.

De leveranciers die op basis van VMI leveren krijgen een forecast waarin de vraag voor de komende periode staat. De kans  $\alpha$  geeft aan hoe groot de kans is dat deze forecast afwijkt. Deze kans is op te splitsen in de kans  $\alpha_1$  dat de forecast naar boven afwijkt en de kans  $\alpha_2$  dat de forecast naar onder afwijkt, uiteraard geldt:  $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ . De forecast wordt gemaakt op basis van de BAAN-planning, die weer gekoppeld is aan de productieplanning. De gemiddelde geplande moverate voor het komende kwartaal was het afgelopen jaar 2,83, deze is berekend door elke week de gemiddelde geplande moverate voor de komende 13 weken te nemen en hier het gemiddelde van te nemen. In figuur 11 staat dat de kans dat de het verbruik 4 is ongeveer 0,15 ( $=8/52$ ) is, dit betekent dat het afgelopen jaar 8 keer een verbruik voor 4 modules is voorkomen. Een gemiddelde

voorspelde moverate van 2,83 kun je vertalen naar een constante geplande moverate in dat jaar van 43 weken met moverate 3 en 9 weken met moverate 2. Het verbruik verschilt maximaal één module van de voorspelling, er is namelijk geen enkele keer een moverate van 5 voorgekomen. Een afwijking naar 4 is dus alleen mogelijk als het verbruik in de weken met moverate 3 hoger uitgevallen is.  $\alpha_1$  en  $\alpha_2$  zijn daarmee te bepalen met behulp van de volgende vergelijkingen:

$$\text{Moverate 1: } 9 * \alpha_2 = 5$$

$$\text{Moverate 2: } 9 - 9 * \alpha_2 + 43 * \alpha_2 - 9 * \alpha_1 = 22$$

$$\text{Moverate 3: } 43 - 43 * \alpha_2 + 9 * \alpha_1 - 43 * \alpha_1 = 17$$

$$\text{Moverate 4: } 43 * \alpha_1 = 8$$

De rechterzijdes van deze vergelijkingen zijn afgeleid uit figuur 11. Hieruit volgt dat  $\alpha_1 = 0,19$  en  $\alpha_2 = 0,45$  en  $\alpha = 0,19 + 0,45 = 0,64$  de meest nauwkeurige schattingen zijn, deze leverden namelijk de kleinste totale afwijking ten opzichte van de rechterkant van de vergelijkingen op.

## APPENDIX K: HET CATEGORISEREN VAN ONDERDELEN

Het in hoofdstuk 4 opgestelde model minimaliseert de som van de verstoringkosten en voorraadkosten, waarbij Q zo klein mogelijk wordt gemaakt. Hierbij is echter geen rekening gehouden met de inslagkosten, de kosten die gemaakt worden bij het inslaan van een order. De leveranciers mogen maximaal één keer per week aanleveren, ze kunnen er voor kiezen wekelijks te leveren of alleen te leveren wanneer nodig. Wanneer alle leveranciers ervoor kiezen wekelijks te leveren, betekent dit dat er elke week 900 orders ingeslagen moeten worden. Er kan daarom gekozen worden om sommige artikelen maximaal één keer per twee weken of maximaal één keer per maand te laten leveren.

Er zijn grote verschillen tussen de kostprijs (en daarmee dus ook de voorraadkosten) per artikel, waardoor VDL ETG de onderdelen wil categoriseren. Hierbij wordt onderscheid gemaakt op kostprijs van de artikelen. Artikelen in categorie A worden wekelijks geleverd, artikelen van onderdeel B één keer per twee weken en artikelen van categorie C één keer per maand, het aantal inslagen per week bedraagt van deze artikelen dus respectievelijk 1, 0,5 en 0,25. Het inslaan van een order kost één minuut en de kosten van een magazijnmedewerker zijn €35 per uur. Het inslaan van een artikel kost dus  $\text{€}35/60 = \text{€}0,58$

Met de in paragraaf 4.1.1 gehanteerde formule zijn de voorraadkosten per week uit te rekenen, wanneer er wekelijks geleverd wordt. Door de periode van leveren niet één maar twee weken te maken, wordt het probleem een probleem dat door middel van Stochastisch Dynamisch Programmeren (SDP) opgelost kan worden (Winston, 2004). Het enige verschil met SDP is dat hier geen optimale politiek berekend dient te worden, maar de politiek (eens per twee weken leveren) gestimuleerd wordt door het veranderen van de aanleverhoeveelheid Q. De beginvoorraad in week 2 is afhankelijk van de vraag in week 1, waardoor de eindvoorraad van week 2 afhankelijk is van zowel de vraag in week 1 als de vraag in week 2. Aangezien de vraag in beide weken één module meer kan zijn dan de forecast is de optimale Q het dubbele van de optimale Q bij wekelijkse leveringen:  $Q = 2 * (\text{maximale moverate} + 1) * \text{aantal onderdelen per module}$ . De gemiddelde voorraadkosten per week (bij een onderdeel met een kostprijs van €1) verdubbelen ook ongeveer van 0,005 naar 0,0094. Met behulp van deze waarden zijn de voorraadkosten voor  $Q = 4 * (\text{maximale moverate} + 1)$ , dus maandelijks leveren, geschat op €0,0188.

Met behulp van de stuklijst kan vervolgens gekeken worden wat verschillende grenzen van A=B en B=C voor gevolgen hebben voor de voorraadkosten en het aantal inslagen. Voor verschillende combinaties van A=B en B=C zijn vervolgens de voorraadkosten per week, aantal inslagen per week, handlingkosten per week en totale kosten per week berekend. In tabel hieronder zijn de uitkomsten te zien, waarbij gesorteerd is op totale kosten (de uitgangssituatie staat bovenaan).

| A=B     | B=C     | # inslagen | Handelingskosten | Voorraadkosten | Totale kosten |
|---------|---------|------------|------------------|----------------|---------------|
| Alles A | Alles A | 900        | € 522            | € 1.558        | € 2.080       |
| 40      | 5       | 583        | € 338            | € 1.664        | € 2.002       |
| 30      | 7       | 598        | € 347            | € 1.657        | € 2.003       |
| 40      | 0       | 612        | € 355            | € 1.648        | € 2.003       |
| 40      | 7       | 568        | € 329            | € 1.674        | € 2.004       |
| 30      | 0       | 642        | € 372            | € 1.632        | € 2.004       |
| 50      | 5       | 561        | € 325            | € 1.680        | € 2.005       |
| 50      | 7       | 545        | € 316            | € 1.690        | € 2.006       |
| 50      | 0       | 589        | € 342            | € 1.666        | € 2.007       |
| 60      | 0       | 571        | € 331            | € 1.682        | € 2.013       |
| 75      | 5       | 520        | € 302            | € 1.713        | € 2.015       |
| 20      | 5       | 675        | € 392            | € 1.625        | € 2.017       |
| 30      | 5       | 614        | € 356            | € 1.666        | € 2.021       |
| 7       | 0       | 812        | € 471            | € 1.570        | € 2.041       |
| 40      | 10      | 552        | € 320            | € 1.724        | € 2.044       |
| 50      | 10      | 529        | € 307            | € 1.738        | € 2.045       |
| 75      | 10      | 488        | € 283            | € 1.773        | € 2.057       |
| 150     | 25      | 410        | € 238            | € 1.878        | € 2.116       |
| Alles B | Alles B | 451        | € 262            | € 2.682        | € 2.944       |
| Alles C | Alles C | 225        | € 130            | € 4.928        | € 5.058       |

TABEL 11: GRENZEN CATEGORIEËN

Uit deze tabel wordt duidelijk dat het hebben van een categorie C weinig oplevert, aangezien de kosten per week voor  $B=C=0$  (groene rij), maar €1 duurder zijn dan het goedkoopste punt  $B=C=5$  (2<sup>e</sup> rij). Aangezien er bij C artikelen minder snel geschakeld kan worden bij een toenemende vraag (de leverancier komt immers maar één keer per maand langs) en dit geen aanzienlijke besparing oplevert worden er geen C artikelen benoemd.

Tevens hebben veel leveranciers meerdere artikelen, deze moeten toch wekelijks langskomen wanneer zij A artikelen leveren. Deze leveranciers kunnen dan ook de B artikelen meenemen. B artikelen bestaan dan dus uit de goedkopere artikelen (minder dan €40) van leveranciers die geen A artikelen leveren. Bij deze indeling zijn er 15 leveranciers die een keer per twee weken leveren en 50 leveranciers die wekelijks leveren. Er wordt dan (ten opzichte van de uitgangssituatie) €32 per week bespaard. Ook dit is geen significante besparing, waardoor besloten is alle artikelen wekelijks te laten leveren. Zo kan er bij een ramp-up of ramp-down sneller geschakeld worden.

## APPENDIX L: HEROVERWEGING VEILIGHEIDSTIJD

VMI wordt in eerste instantie voor een beperkt aantal onderdelen geïmplementeerd. Het is ook nog maar de vraag of alle inkoopdelen binnen het VMI project gaan vallen, aangezien waarschijnlijk niet alle leveranciers mee willen werken. Om het aantal stock-outs te beperken is daarom nogmaals gekeken naar de veiligheidstijd die op sommige onderdelen wordt gebruikt. Hierbij is de huidige verdeling qua onderdelen gebruikt, dus er wordt onderscheid gemaakt tussen onderdelen die al veiligheidstijd hebben en onderdelen zonder veiligheidstijd. De regel is dat onderdelen tot €200 veiligheidstijd hebben en onderdelen boven de €200 (nog) niet. Voor beide groepen onderdelen zijn de voorraadkosten van een dag veiligheidstijd berekend en uitgezet tegen het aantal manco's dat het afgelopen jaar bij een bepaald aantal dagen veiligheidstijd zou zijn ontstaan. De verstoringkosten zijn berekend door het aantal manco's te vermenigvuldigen met €56. De totale kosten zijn de som van de verstoringkosten en voorraadkosten. In de tabellen hieronder zien de resultaten te zien. De huidige situatie bij beide groepen staat in de bovenste rij, de groene rij heeft de laagste totale kosten. De veiligheidstijd van de onderdelen <€200 zou dus naar 15 dagen aangepast moeten worden en de veiligheidstijd van onderdelen >€200 naar 3 dagen. De verwachte besparing is (€15.576 - €11.445) + (€44.299 - €21.511) = €26.919.

| Dagen | Manco's | Verstoringkosten | Voorraadkosten | Totale kosten |
|-------|---------|------------------|----------------|---------------|
| 7     | 212     | € 11.893         | € 3.682        | € 15.576      |
| 8     | 163     | € 9.117          | € 4.209        | € 13.325      |
| 9     | 148     | € 8.288          | € 4.735        | € 13.023      |
| 10    | 130     | € 7.293          | € 5.261        | € 12.554      |
| 11    | 124     | € 6.920          | € 5.787        | € 12.707      |
| 12    | 121     | € 6.755          | € 6.313        | € 13.067      |
| 13    | 85      | € 4.766          | € 6.839        | € 11.604      |
| 14    | 73      | € 4.103          | € 7.365        | € 11.467      |
| 15    | 64      | € 3.564          | € 7.891        | € 11.455      |
| 16    | 56      | € 3.108          | € 8.417        | € 11.525      |
| 17    | 46      | € 2.569          | € 8.943        | € 11.512      |
| 18    | 34      | € 1.906          | € 9.469        | € 11.375      |
| 19    | 28      | € 1.575          | € 9.995        | € 11.570      |
| 20    | 27      | € 1.492          | € 10.521       | € 12.013      |
| 21    | 26      | € 1.450          | € 11.047       | € 12.498      |

TABEL 12: VEILIGHEIDSTIJD BIJ ONDERDELEN < €200

| Dagen | Manco's | Verstoringskosten | Voorraadkosten | Totale kosten |
|-------|---------|-------------------|----------------|---------------|
| 0     | 791     | € 44.299          | € -            | € 44.299      |
| 1     | 438     | € 24.532          | € 2.805        | € 27.338      |
| 2     | 343     | € 19.187          | € 5.610        | € 24.797      |
| 3     | 234     | € 13.095          | € 8.416        | € 21.511      |
| 4     | 209     | € 11.728          | € 11.221       | € 22.949      |
| 5     | 186     | € 10.401          | € 14.026       | € 24.428      |
| 6     | 115     | € 6.465           | € 16.831       | € 23.296      |
| 7     | 82      | € 4.600           | € 19.637       | € 24.237      |
| 8     | 63      | € 3.522           | € 22.442       | € 25.964      |
| 9     | 56      | € 3.108           | € 25.247       | € 28.355      |
| 10    | 44      | € 2.445           | € 28.052       | € 30.497      |

TABEL 13: VEILIGHEIDSTIJD BIJ ONDERDELEN > €200