



## “(R,s,Q)-voorraadmodel met frozen period”

Een bacheloronderzoek naar de optimale voorraadparameters voor een bedrijf in de voedingsmiddelenindustrie.

Martijn Tromp

Technische Bedrijfskunde

UNIVERSITEIT TWENTE

Dr. M.C. v.d. Heijden

Dr. Ir. M.R.K. Mes

BEDRIJF X

Drs. M.P. Gosens

Vice President of SupplyChain

## Voorwoord

Voor u ligt een bachelorscriptie die de naam “(R,s,Q)-voorraadmodel met frozen period” draagt. De nadruk van deze scriptie ligt op het vinden van de optimale voorraadparameters door de ontwikkeling van een passend bestelmodel. De scriptie dient om de bacheloropleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit van Twente af te ronden. Het onderzoek is gedaan bij een bedrijf in de voedingsmiddelenindustrie waarvan de naam wegens privacy doeleinden niet bekend wordt gemaakt en waarnaar in deze scriptie zal worden gerefereerd als “Bedrijf X”. De duur van dit onderzoek, inclusief het schrijven van het onderzoeksvoorstel, was ongeveer een jaar met een geschatte startdatum van 18 januari 2018. Dit komt mede doordat het onderzoek is gedaan naast een parttime dienstverband bij hetzelfde bedrijf.

In het bijzonder wil ik mijn begeleider vanuit het bedrijf drs. M.P. Gosens bedanken, hij is tijdens mijn afstudeerperiode Vice President of Supply Chain (geweest). Hij heeft mij de kans gegeven om bij aanvang van het onderzoek parttime te gaan werken en op deze manier tijdens de onderzoeksmethodologie de vinger precies op de zere plek te leggen. Verder wil ik hem bedanken voor de openheid in zaken en dat hij mij direct overal bij heeft betrokken, zowel in mijn rol als student als collega. Tevens wil ik mijn eerste begeleider vanuit de Universiteit Twente, dr. M.C. v.d. Heijden, bedanken voor zijn begeleiding vanuit de universiteit. Zijn sturing en feedback hebben een belangrijke bijdrage gevormd gedurende de wisselvallige periodes die dit parttime afstudeerproject heeft gekend.

Veel leesplezier toegewenst!

Martijn Tromp  
Spijk, 03-02-2019

## Samenvatting

Deze scriptie beschrijft een onderzoek dat is gedaan in een fabriek die voedingsmiddelen produceert. Vanwege afspraken omtrent geheimhouding zal hiernaar worden gerefereerd als bedrijf X. Het onderzoek dient ter afsluiting van de studie Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit van Twente. Het onderzoek vindt plaats op de Supply Chain afdeling van bedrijf X waarbij de voornaamste focus ligt op MRP. Het doel van deze afdeling is het voorkomen van stilstand van productielijnen door een gebrek aan grondstoffen en verpakkingen.

Bedrijf X heeft altijd moeite gehad goede controle uit te oefenen over zijn voorraden, om die reden is het ERP-systeem SAP geïmplementeerd. Door de slechte controle over de voorraden werd vaak veel voorraad aangehouden om stilstand van de productielijnen te voorkomen, het magazijn van bedrijf X staat hierdoor regelmatig overvol tot ergernis van de logistieke afdeling. Een bijkomend probleem is dat de productieplanning niet vast is waardoor veel onzekerheid wordt gecreëerd. Met de komst van SAP kan eindelijk controle op de voorraden worden gehouden en kan inzicht worden verkregen in het verbruik van grondstoffen. De grootste wens van bedrijf X is om geschikte voorraadparameters te vinden en de voorraad(waarde) en vooral -ruimte te verlagen om de logistieke afdeling niet te hinderen bij haar dagelijkse werkzaamheden. Hieruit volgt de hoofdvraag van dit onderzoek:

“Hoe kan bedrijf X het voorraadbeheer van zijn grondstoffen optimaliseren om tegen een minimale voorraadwaarde en –ruimte productiestilstand door gebrek aan grondstoffen zoveel mogelijk te voorkomen?”

Op basis van semigestructureerde interviews, observaties en historische data m.b.t. voorraden en verbruiken is bepaald dat met name een verlaging van de A-grondstoffen in potentie de grootste voorraadsdaling kan bewerkstelligen. Daarom is het onderzoek gericht op de 50 A-grondstoffen. In de huidige situatie wordt geschat dat fillrate  $P_2 = 0.99$  voor deze grondstoffen wordt behaald en de planning voor 2 weken als frozen mag worden gezien.

Het gekozen model is een (R,s,Q)-model met een frozen period waarbij de reviewperiode om praktische redenen gelijk is aan 1 week. Door een frozen period toe te voegen wordt de rol van de productieplanning in beeld gebracht. De resultaten van dit model zijn uitgedrukt in de totale voorraadwaarde (€) en –ruimte (pallets). Het model verlaagt de voorraadwaarde voor alle combinaties  $f$  en  $P_2$  behalve voor de combinatie  $f = 2$  met  $P_2 = 0.99$ . Hieronder wordt getoond hoeveel aan voorraadwaarde wordt bespaard voor de onderzochte combinaties.

De invloed van elke extra week frozen period is goed voor een verlaging van  $\geq 400k$  aan voorraadwaarde. De verlaging begint te stagneren vanaf  $f = 5$  wat logisch is te verklaren doordat het aantal SKUs met een levertijd van aantal weken  $\geq 5$  weken steeds meer afneemt en er dus steeds minder grondstoffen overblijven waarvoor de voorraad kan worden verlaagd.

| Besparing<br>x€1000 bij $P_2$ | 0,9  | 0,91 | 0,92 | 0,93 | 0,94 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,98 | 0,99 |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $f=2$                         | 1587 | 1492 | 1387 | 1269 | 1136 | 981  | 795  | 561  | 242  | -278 |
| $f=3$                         | 1970 | 1893 | 1809 | 1714 | 1606 | 1481 | 1330 | 1140 | 880  | 456  |
| $f=4$                         | 2367 | 2304 | 2235 | 2157 | 2069 | 1966 | 1842 | 1685 | 1471 | 1120 |
| $f=5$                         | 2714 | 2660 | 2600 | 2533 | 2457 | 2367 | 2260 | 2125 | 1939 | 1635 |
| $f=6$                         | 3002 | 2954 | 2902 | 2843 | 2775 | 2697 | 2603 | 2483 | 2320 | 2052 |
| $f=7$                         | 3287 | 3245 | 3199 | 3147 | 3089 | 3020 | 2938 | 2833 | 2690 | 2456 |
| $f=8$                         | 3665 | 3631 | 3593 | 3550 | 3501 | 3444 | 3376 | 3290 | 3171 | 2976 |

Het model verlaagt de voorraadruimte in palletplaatsen voor vrijwel alle combinaties behalve voor ( $f = 2; 0.94 \leq P_2$ ) en ( $f = 3; 0.97 \leq P_2$ ). Hieruit kan worden geconcludeerd dat bij  $f = 2$  geen verlaging wordt gevonden in het aantal palletplaatsen maar wel in de voorraadwaarde. Voor iedere extra week frozen period vanaf  $f = 3$  wordt de voorraadruimte verlaagd met steeds ongeveer 10%. Verder wordt gevonden dat het model enkel positieve resultaten boekt voor grondstoffen met een leadtime  $\leq 4$  weken. Een mogelijke uitleg hiervoor is dat leveranciers in de praktijk sneller kunnen leveren dan de ingestelde levertijden in SAP wat een kans biedt om levertijden te reduceren.

De aanbeveling die volgt uit dit onderzoek luidt om voor A-grondstoffen met een leadtime t/m 4 weken het (R,s,Q)-model te implementeren met de door het management gewenste combinaties Q,  $P_2$  en  $f$ . Hiervoor is een tool in Excel gecreëerd waarin de gemiddelde voorraad, de veiligheidsvoorraad en het reorderpoint kunnen worden gevonden voor de gewenste combinatie van de parameters. De resultaten stagneren bij een frozen period van  $f = 5$  en daarom wordt aangeraden de productieplanning voor minstens 3 en maximaal 4 weken vast te leggen. Verder zou ik bedrijf X aanbevelen om voor de A-grondstoffen te kiezen voor het gebruik van een veiligheidsvoorraad en te stoppen met het inbouwen van marge op zowel de veiligheidsvoorraad, als het verhogen van het reorderpoint, als een marge op de levertijden.

## Begrippenlijst

| <b>Begrip</b>    | <b>Omschrijving</b>                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Bedrijf X</i> | Dit is de fictieve naam die in dit onderzoek is gebruikt voor het bedrijf waar dit onderzoek heeft plaatsgevonden.                                                                                                                                                                 |
| <i>IC</i>        | Inventory Control. Een team dat verantwoordelijk is voor de juiste hoogte van de voorraden in het systeem. Na iedere productie wordt bij grote afwijkingen in grondstofverbruik de voorraden gecontroleerd om zo ten allen tijde de juiste voorraadshoogte inzichtelijk te hebben. |
| <i>IOQ</i>       | Incrementele bestelhoeveelheid.                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <i>KOOP</i>      | Klantorderontkoppelpunt. Het punt waarop voor het eerst de wens van de klant van invloed is op de productie van een product                                                                                                                                                        |
| <i>MM</i>        | Material Master. Tabblad in SAP waar de instellingen kunnen worden aangepast voor grondstoffen.                                                                                                                                                                                    |
| <i>MOQ</i>       | Minimale bestelhoeveelheid.                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <i>MRP</i>       | Materials Requirements Planning. Deterministische manier om te plannen wanneer bevoorrading van materialen op verschillende niveaus in het productieproces benodigd zijn.                                                                                                          |
| <i>MTO</i>       | Make-to-order. Een type klantorderontkoppelpunt waarbij productie pas plaatsvindt op het moment dat een order is ingediend door de klant.                                                                                                                                          |
| <i>GR</i>        | Goods Receiptment Length. De tijd die nodig is om de grondstoffen te beoordelen op hun kwaliteit en op de juiste manier in te boeken in het systeem.                                                                                                                               |
| <i>QC</i>        | Quality Control. Afdeling die verantwoordelijk is voor het beoordelen van de kwaliteit van grondstoffen, maar ook halffabrikaten en finished products.                                                                                                                             |
| <i>RV</i>        | Rounding value. Deze term wordt in SAP (zie hieronder) gebruikt voor de incrementele bestelhoeveelheid. Het duidt de hoeveelheid aan waarin kan worden besteld vanaf de MOQ.                                                                                                       |
| <i>SAP</i>       | Systems, Applications and Products. Dit is het ERP-systeem dat wordt gebruikt bij bedrijf X.                                                                                                                                                                                       |
| <i>SKU</i>       | Stock Keeping Unit. In dit onderzoek wordt dit gebruikt voor de verschillende grondstoffen.                                                                                                                                                                                        |

## Inhoudsopgave

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Voorwoord.....                                                 | 1  |
| Samenvatting.....                                              | 2  |
| Begrippenlijst.....                                            | 4  |
| Lijst met figuren.....                                         | 6  |
| Lijst met tabellen.....                                        | 6  |
| 1: Onderzoeksmethodologie.....                                 | 7  |
| 1.1: Bedrijfsachtergrond.....                                  | 7  |
| 1.2: Aanleiding.....                                           | 7  |
| 1.3: Onderzoeksvragen en onderzoeksmethodologie.....           | 7  |
| 1.4: Afbakening onderzoek.....                                 | 12 |
| 1.5: Deliverables.....                                         | 12 |
| 2: Analyse van de huidige situatie.....                        | 13 |
| 2.1: Huidige werkwijze.....                                    | 13 |
| 2.2: Analyse voorraad grondstoffen.....                        | 20 |
| 2.3: Gewenste situatie.....                                    | 22 |
| 2.4: Conclusie.....                                            | 23 |
| 3: Theoretisch kader.....                                      | 24 |
| 3.1: Make-to-order.....                                        | 24 |
| 3.2: Periodieke bestelmethodeken.....                          | 25 |
| 3.3: Conclusie.....                                            | 27 |
| 4: Model.....                                                  | 28 |
| 4.1: (R,s,Q)-model.....                                        | 28 |
| 4.2: Modelvalidatie.....                                       | 29 |
| 5: Resultaten.....                                             | 30 |
| 5.1 Resultaten bij f=2.....                                    | 30 |
| 5.2: Resultaten inclusief frozen period.....                   | 30 |
| 5.3: Discussie van de resultaten.....                          | 36 |
| 6: Implementatieplan.....                                      | 37 |
| 7: Conclusie en aanbevelingen.....                             | 38 |
| 7.1: Conclusie.....                                            | 38 |
| 7.2: Aanbevelingen.....                                        | 38 |
| Referentielijst.....                                           | 40 |
| Appendix IA: Rationele benadering van Schneider (1981).....    | 41 |
| Appendix IB: Rationele benadering Schneider in Excel-code..... | 42 |
| Appendix IIA: Tabellen palletplaatsen.....                     | 49 |
| Appendix IIB: Tabellen voorraadwaarde.....                     | 50 |
| Appendix IIC: Figuren veiligheidsvoorraad.....                 | 51 |

## Lijst met figuren

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figuur 1: Probleemkluwen .....                                                                        | 8  |
| Figuur 2: Tijdlijn bestelproces bedrijf X .....                                                       | 9  |
| Figuur 3: Grondstof --> eindartikel .....                                                             | 14 |
| Figuur 4: Bestelwijze MRP-planner .....                                                               | 15 |
| Figuur 5: Code rood .....                                                                             | 16 |
| Figuur 6: ABC-analyse grafisch .....                                                                  | 20 |
| Figuur 7: Analyse van de levertijden .....                                                            | 22 |
| Figuur 8: Klantorderontkoppelpunt .....                                                               | 24 |
| Figuur 9: Vergelijking voorraadruimte en totale voorraadwaarde in de huidige situatie ( $f=2$ ) ..... | 33 |
| Figuur 10: # Palletplaatsen incl. frozen period .....                                                 | 34 |
| Figuur 11: Totale voorraadwaarde $f \{2,3,..8\}$ .....                                                | 35 |

## Lijst met tabellen

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1: Lengte leadtime vs GR .....                                                       | 19 |
| Tabel 2: ABC-analyse in getallen .....                                                     | 20 |
| Tabel 3: Gebruikte parameters voorraadsanalyse .....                                       | 21 |
| Tabel 4: Vergelijking van de impact op voorraadsparameters van A- en B-grondstoffen .....  | 21 |
| Tabel 5: Symbolen in politieken .....                                                      | 25 |
| Tabel 6: Omschrijving van de parameters in de $P_2$ -heuristiek voor een R,s,S-model ..... | 26 |
| Tabel 7: Resultaten model excl. bij $f=2$ .....                                            | 30 |
| Tabel 8: #Palletplaatsen incl. frozen period .....                                         | 31 |

## 1: Onderzoeksmethodologie

*In dit hoofdstuk wordt de probleemidentificatie en de probleemaanpak van dit onderzoek behandeld. In §1.1 wordt in een aantal woorden uitgelegd wat bedrijf X is en waar het voor staat. Vervolgens wordt in §1.2 de aanleiding voor het onderzoek beschreven. Vanaf §1.3 wordt gezocht naar het te onderzoeken kernprobleem, met bijbehorende hoofdvraag en onderzoeksvragen en de beoogde aanpak om antwoord te krijgen op deze vragen. Tenslotte wordt afgesloten met respectievelijk de afbakening van het onderzoek (§1.4) en de beoogde stukken om in te leveren (§1.5).*

### 1.1: Bedrijfsachtergrond

In 1976 is bedrijf X gestart als een producent van worstenbroodjes en andere bladerdeegproducten. In 1987 werd is een mueslirepenproductielijn geïnstalleerd waarop men is gaan experimenteren met het maken van verschillende soorten repen. Rond 2002 is bedrijf X erg succesvol geworden met deze repen waardoor de volledige focus hierop is gelegd.

Bedrijf X heeft een team van productontwikkelaars dat in samenwerking met de klant steeds nieuwe repen ontwikkelt met bijpassend recept. Of het nu gaat om repen met sportieve doeleinden, afslankrepen, functionele repen of snacks. Bedrijf X heeft flexibele productielijnen om dit te bewerkstelligen maar richt zich met name op de kwaliteit van haar product. Momenteel wordt op in totaal zeven productielijnen zo'n 250 miljoen repen geproduceerd die naar landen over de hele wereld worden geëxporteerd. Bedrijf X kent geen eigen merk repen, maar produceert enkel voor andere labels. Bedrijf X groeit 40% per jaar, mede door het groeiende aantal mensen dat bewuster omgaat met eten. Het bedrijf telt momenteel een ruime 200 werknemers.

### 1.2: Aanleiding

De aanleiding voor dit onderzoek is dat er momenteel geen goede structuur zit in de manier waarop de supply chain dagelijks te werk gaat. Oorzaken hiervan zijn dat er geen duidelijk beeld is van benodigde voorraadparameters, de benodigde hoeveelheid grondstoffen per productierun, en er voorheen een warehouse management system werd gebruikt dat in sommige situaties (tijdelijk) voorraden deed verdwijnen.

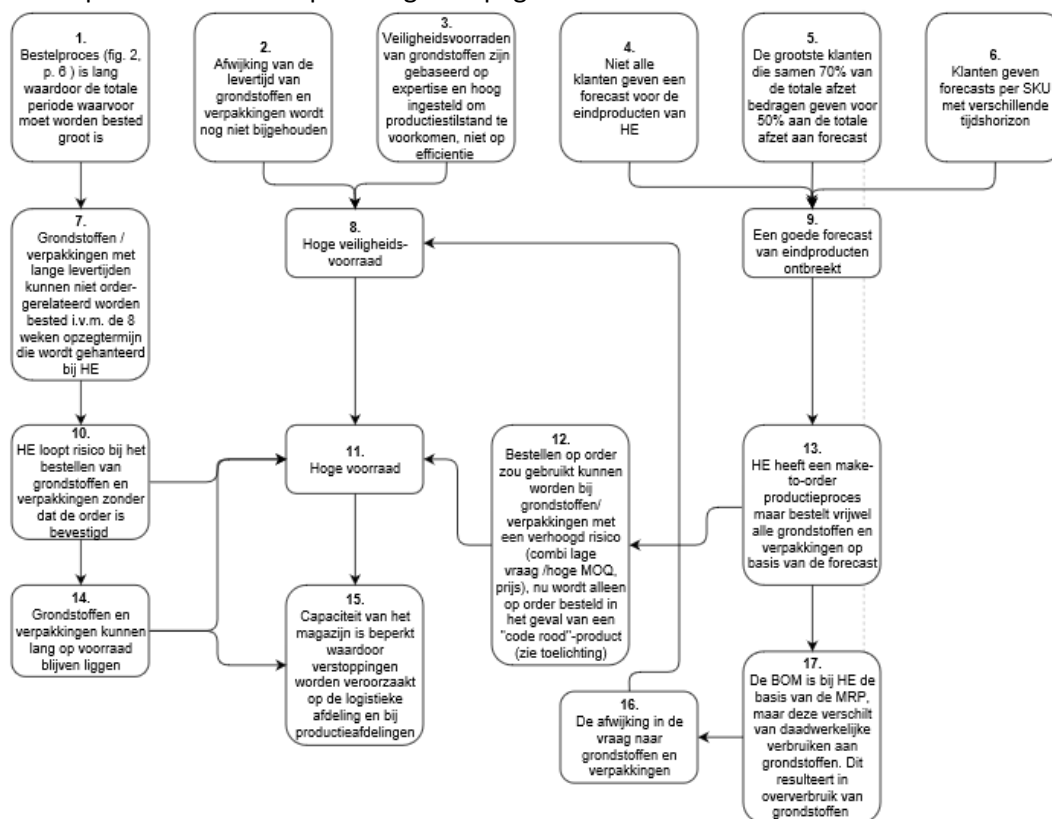
Bedrijf X is per 1 februari 2018 live gegaan met een nieuw Enterprise Resource Planning (ERP)-systeem genaamd SAP (Systems, Applications and Products) die het magazijnbeheer heeft geïntegreerd, bovendien zal een team van inventory control (IC) worden ingezet om een betere controle te krijgen op de voorraden. IC zorgt ervoor dat na productie wordt gecontroleerd of de voorraad juist is en evt. afwijkingen worden in SAP gewijzigd, verdere werkzaamheden zijn het periodiek tellen van voorraden op aangegeven locaties. Op deze manier wordt controle gehouden op de voorraadniveaus en wordt deze op ieder moment als betrouwbaar geacht. De initiële reden om mij een onderzoek voor bedrijf X te laten uitvoeren is dat bedrijf X de optimale veiligheidsvoorraden van de grondstoffen en verpakkingen wil weten. Dit is dan ook een resultaat dat minimaal moest voortkomen uit mijn onderzoek.

### 1.3: Onderzoeksvragen en onderzoeksmethodologie

In deze sectie wordt bij §1.3.1 a.d.h.v. een probleemkluwen getoond wat de problemen zijn die bij aanvang van dit onderzoek zijn aangetroffen en er wordt uitgelegd hoe deze problemen zich tot elkaar verhouden, in sectie §1.3.2 wordt vervolgens uitgelegd hoe het kernprobleem is gekozen en de hoofdvraag van dit onderzoek geïntroduceerd. In §1.3.3 worden de benodigde onderzoeksvragen om de hoofdvraag te beantwoorden gegeven en tenslotte zal in sectie §1.3.4 de methodologie die in dit onderzoek gebruikt worden beschreven.

### §1.3.1: Probleemkluwen en toelichting

Om een totaaloverzicht van de aangetroffen problemen en hun verband te visualiseren kan gebruik worden gemaakt van een probleemkluwen (Heerkens & v. Winden, 2012). Als basis voor het opstellen van de probleemkluwen zijn gesprekken en semigestructureerde interviews met mensen op verschillende afdelingen met verschillende belangen gehouden. Zo is informatie verkregen van de teamleider logistiek, de manager sales & outsourcing, de vice president (VP) Supply Chain en tevens mijn afstudeerbegeleider, manager inkoop, medewerkers op Supply Chain-afdeling en verschillende personen op de werkvloer. Tevens ben ik parallel aan mijn afstudeeropdracht parttime bij bedrijf X begonnen in de functie van IC, waardoor met eigen ogen de situatie is waargenomen en op basis van eigen inzicht input is verzameld voor de probleemkluwen. De probleemkluwen is hieronder afgebeeld in figuur 1, ieder probleem is genummerd waarnaar in de toelichting van de probleemkluwen, die op de volgende pagina van dit onderzoeksvoorstel begint, wordt gerefereerd als (nummer). Bij (1) en nummer (12) wordt u voor verdere uitleg doorverwezen naar de toelichting van de probleemkluwen op de volgende pagina's.



Figuur 1: Probleemkluwen

Vanuit de probleemkluwen komen een aantal kernproblemen naar voren die in dit onderzoek zullen worden onderzocht. Centraal in dit onderzoek staat de hoge voorraad aan grondstoffen(8) waarmee bedrijf X te maken heeft. Dit levert problemen op vanwege de lage capaciteit van het magazijn (15). Bovendien neemt deze voorraad kapitaal in beslag dat voor andere doeleinden zou kunnen worden gebruikt. De hoogte van de voorraad heeft een aantal oorzaken: Hoge veiligheidsvoorraad (8), producten die lang op voorraad liggen (14), de lengte van het bestelproces (1), en het vrijwel volledig bestellen op basis van de forecast (13). In de aansluitende paragrafen zal per oorzaak worden uitgelegd waarom dit een probleem is, bijkomstigheden, en hoe dit verderop in de keten van de probleemkluwen wordt veroorzaakt.

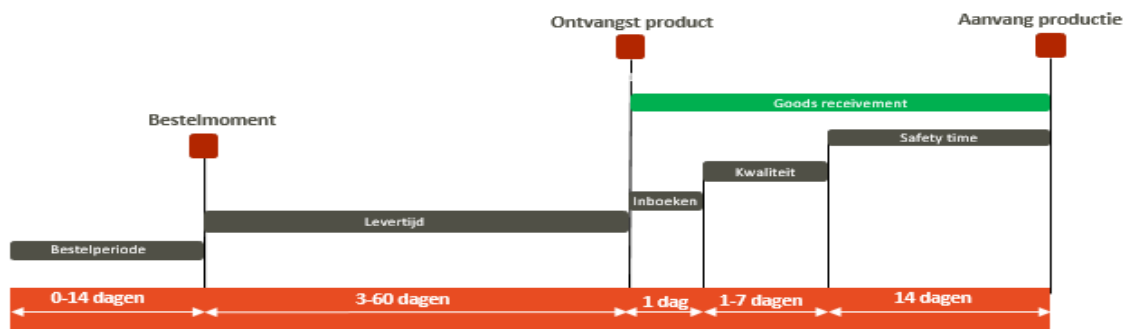
## Veiligheidsvoorraad

Om SAP te implementeren zijn bepaalde instellingen vereist waaronder de veiligheidsvoorraad voor grondstoffen. Vanwege tijdstekort is besloten om de veiligheidsvoorraden op basis van expertise en een ruime marge (3) in te stellen om stilstand van productie zoveel mogelijk tegen te gaan. Deze veiligheidsvoorraad is niet op efficiëntie bepaald en er wordt aangenomen dat door de huidige instellingen voor de meeste grondstoffen te veel veiligheidsvoorraad wordt aangehouden. Een bijkomend probleem om de hoogte van de veiligheidsvoorraad te bepalen is dat bij bedrijf X de afwijking van de levertijd niet wordt bijgehouden (2).

## Tijdsplanning vs. bestelproces

Direct voorafgaand aan productie is er de periode die wordt omschreven als goods receiptment length (GR), zie figuur 2 onderaan deze pagina. De GR is opgedeeld in ontvangsttijd, kwaliteitsinspectie en “safety time”. De ontvangsttijd is de tijd die werknemers nodig hebben om ontvangst van de grondstof te bevestigen, pallets op de juiste manier te labelen, en in het ERP-systeem te zetten. Deze werkzaamheden worden normaal gesproken op de dag van ontvangst nog gedaan, echter gebeurt het soms dat door verschillende redenen grondstoffen niet direct kunnen worden ingeboekt waardoor er een dag veiligheidsmarge is ingecalculeerd in de GR. Nadat de grondstoffen bij de logistieke afdeling zijn ingeboekt moet er een kwaliteitscontrole worden gedaan voordat deze worden vrijgegeven voor gebruik in productie. Voor deze controle staat 1-7 dagen afhankelijk van de leverancier en het type grondstof. Safety time is in feite een veiligheidsmarge die is gebaseerd op het eerder laten leveren van de grondstoffen en dient als buffer om uitloop van inboeken, kwaliteitscontrole en afwijkingen in de beoogde leverdatum op te kunnen vangen. Safety time omvat ook de tijd die de logistieke afdeling nodig heeft om de grondstoffen van het ontvangstmagazijn te verplaatsen naar de productielijnen.

Voorafgaand aan de GR zitten nog een bestelperiode en de levertijd waarin de leverancier belooft de grondstoffen en verpakkingen te leveren. Bedrijf X heeft producten met levertijden die variëren van 3-60 dagen. De periode voor deze levertijd heeft bedrijf X een bestelperiode van 2 weken. Als binnen deze periode wordt besteld zou het product normaalgesproken op tijd binnen zijn voor productie. Dit geeft de volgende tijdlijn:



Figuur 2: Tijdlijn bestelproces bedrijf X

Bedrijf X heeft een make-to-order productieproces waardoor het vereist is dat de orders bevestigd zijn voordat de productie plaatsvindt. Bedrijf X hanteert acht weken voor aanvang van productie tot wanneer een klant van een order af kan zien. Dit brengt met zich mee dat wanneer grondstoffen een langere GR + levertijd hebben dan acht weken de grondstoffen al besteld moeten worden voordat er mogelijk bevestiging is dat de productie daadwerkelijk gaat plaatsvinden (7). Voor deze grondstoffen zal op basis van de forecast van de vraag moeten worden besteld. Verdere problemen die ontstaan met het bestellen op order of op forecast wordt onder het eerstvolgende kopje van deze paragraaf toegelicht.

Het mag duidelijk zijn dat het bestelproces in figuur 2 lang is. Des te langer deze periode is voor een des te langere periode moet voorraad worden besteld. Momenteel wordt voor elke stap binnen de GR een marge aangehouden om zeker te zijn dat er voldoende tijd is om de stappen uit te voeren. Dit draagt direct bij aan de lengte van de tijdlijn en dus de hoeveelheid voorraad die moet worden aangehouden.

### **Bestellen op order vs. bestellen op forecast**

Vrijwel alle grondstoffen en verpakkingen worden besteld op basis van de forecast. Het type product dat wordt geproduceerd zijn veelal repen om een bewuste keuze te maken, voor dieet- of fitnessdoeleinden of zijn maaltijdvervangers. Voor vrijwel al deze doeleinden is het van belang om repen te maken met hoge eiwitgehalten, laag in suiker etc. Deze behoefte vraagt om een aantal ingrediënten die eigenlijk niet kunnen ontbreken. Vrijwel alle repen die bij bedrijf X worden geproduceerd bevatten bijvoorbeeld een wei-eiwit, een type chocola, en een suikervervanger. Bovendien komt de basis van de meeste repen redelijk overeen waardoor deze grondstoffen over meerdere orders kunnen worden gebruikt. Op deze manier kan een behoorlijke lijst van veelgebruikte grondstoffen worden samengesteld. Omdat deze producten in grote getalen worden gebruikt is het voordeliger om deze op basis van forecast te bestellen t.o.v. het bestellen per order.

Momenteel wordt enkel per order besteld in het geval van een zogenaamd “code rood”-product, een grondstof wordt zo geclassificeerd wanneer het product door vijf of minder verschillende klanten wordt gebruikt of wanneer de waarde van de minimale bestelhoeveelheid (MOQ) groter of gelijk is aan €500,-. Door de beslissing om op order te bestellen alleen te baseren op waarde en het aantal klanten is er de mogelijkheid dat in de huidige situatie bepaalde grondstoffen op forecast worden besteld terwijl op order beter zou zijn en vice versa.

### **Forecast**

De forecast moet als input gaan dienen voor de rest van het onderzoek. Per 01-05-2018 is een demand planner in dienst genomen die ervoor moet gaan zorgen dat de problemen die betrekking hebben op forecast (4,5,6,9) worden verbeterd. Dit is de reden dat de forecast verder buiten beschouwing wordt gelaten in dit onderzoek en niet als kernprobleem wordt aangewezen. Bijkomende problemen m.b.t. de forecast zijn dat de Material Requirements Planning (MRP) is gebaseerd op de bill-of-material (BOM), alleen de behoefte aan materialen in de BOM wijkt af van het daadwerkelijke verbruik aan grondstoffen (17). Hierdoor zal de afwijking van de vraag naar grondstoffen naar alle waarschijnlijkheid hoog zijn (16), wat weer bij kan dragen aan een hogere benodigde veiligheidsvoorraad (8).

#### *§1.3.2: Kernprobleem en hoofdvraag*

De kernproblemen (1,2,3) gaan deel uitmaken van dit onderzoek. Zoals in de vorige paragraaf onder het kopje forecast al is aangegeven wordt de forecast in dit onderzoek niet als kernprobleem gezien en buiten beschouwing gelaten. Om de drukte in het magazijn te verlagen zal een scheiding moeten worden gemaakt tussen grondstoffen die op basis van een forecast of op basis van een order worden besteld, zal de optimale bestelpolitiek moeten worden bepaald en onderzocht of de tijdlijn van het bestelproces wel correct is en waar mogelijk kan worden ingekort. Al deze factoren zullen resulteren in een andere manier van bestellen waarbij de basis waarop wordt besteld (forecast/order), bestelmomenten en –hoeveelheden zullen worden aangepast. Dit brengt mij tot de volgende hoofdvraag voor het onderzoek:

“Hoe kan bedrijf X het voorraadbeheer van haar grondstoffen optimaliseren om tegen een minimale voorraadwaarde en –ruimte productiestilstand door gebrek aan grondstoffen zoveel mogelijk te voorkomen?

### §1.3.3: Onderzoeksvragen

Om antwoord te geven op de hoofdvraag dient op onderstaande vijf onderzoeksvragen antwoord te worden verkregen:

1. Hoe ziet het huidige proces van voorraadbeheer eruit en wat veroorzaakt het voorraadsprobleem? **(H2)**
  - 1.1 Hoe wordt in de huidige situatie aan voorraadbeheer gedaan?
  - 1.2 Welke grondstoffen veroorzaken de hoge voorraad? En wat is hiervan het effect op het magazijn en de voorraadwaarde?
  - 1.3 Waaraan moet het voorgestelde voorraadbeheer gaan voldoen?
2. Wat zegt de literatuur over voorraadbeheer van A-grondstoffen voor productie in een MTO-omgeving bij periodieke review? **(H3)**
  - 2.1 Wat is precies een make-to-order omgeving?
  - 2.2 Welke periodieke reviewmodellen worden in de literatuur beschreven?
  - 2.3 Wat is de invloed van productieplanning?
3. Hoe kan het voorraadbeheer worden geoptimaliseerd? **(H4)**
  - 3.1 Welke bestelmethode kan het best worden aangenomen voor de A-grondstoffen?
  - 3.2 Werkt het gekozen model?
4. Welke resultaten kan het voorgestelde voorraadbeheer bieden? **(H5)**
5. Hoe kan bedrijf X het voorgestelde voorraadbeheer implementeren? **(H6)**

### 1.3.3: Probleemaanpak

#### **Stap 1: Analyse van de huidige situatie**

In stap 1 wordt de huidige situatie geanalyseerd om deelvraag 1 te beantwoorden. Deze analyse geeft inzicht in hoe momenteel de prestatie is op het gebied van voorraadbeheer, wat aan data beschikbaar is en welke data zelf moet worden verkregen. Zo kan het probleem meetbaar worden gemaakt en doelen voor het onderzoek worden opgesteld. Tevens wordt zo duidelijk of er wellicht een KPI (Key Performance Indicator) of variabele over het hoofd is gezien in dit onderzoeksvoorstel.

Het beantwoorden van onderzoeksvraag 1.1 wordt gedaan door semigestructureerde interviews af te nemen met verschillende personen die een rol hebben in het voorraadbeheer van HE. Zo worden medewerkers van het MRP-team, forecast, logistiek, productontwikkeling en finance ondervraagd. Verder heb ik in de tijd dat ik werkzaam ben voor bedrijf X met eigen ogen gezien hoe in de huidige situatie wordt gewerkt.

Om antwoord te krijgen op onderzoeksvraag 1.2 wordt informatie vanuit het ERP-systeem gebruikt. Deze is verzameld van week 5 t/m week 39 van 2018. Buiten kwantitatieve is ook kwalitatieve data vanuit de semigestructureerde interviews bij onderzoeksvraag 1.1 gebruikt. Gezien het feit dat er wordt geproduceerd volgens MTO zal er onderscheid gemaakt moeten worden tussen materialen die op forecast moeten worden besteld en die op basis van orders. Om dit te doen zal worden geanalyseerd of materialen bijv. op basis van de MOQ, kostentechnisch of door problemen met lange levertijden, op basis van forecast zouden moeten worden besteld.

#### **Stap 2: Criteria opstellen**

Om onderzoeksvraag 1.3 te beantwoorden is een semigestructureerd interview gehouden om de wensen van de opdrachtgever van dit onderzoek te vragen, verder zijn behoeften van verschillende afdelingen waarop dit onderzoek invloed kan hebben in het achterhoofd gehouden. Een ander doel van dit interview is om de verkregen criteria een gewicht te geven om ze te kunnen rangschikken.

### **Stap 3: Literatuuronderzoek**

Om onderzoeksvraag 2, het theoretische kader met ondersteunende literatuur, van dit onderzoek te schrijven wordt een literatuuronderzoek gedaan. Door duidelijk te krijgen wat voorraadbeheer precies inhoudt en wat daarbij belangrijk is zal inzicht worden verkregen dat van belang is bij de uitvoering van de rest van het onderzoek. De meeste theorie zal worden verkregen vanuit de boeken *Supply Chain Management* (Chopra & Meindl, 2010), *Operations management* (Slack, Chambers, & Johnston, 2010), *Operations Research* (Winston, 2003) en *Inventory and Production management in Supply Chains* (Silver et. al, 2017) die allen zijn gebruikt tijdens mijn studie.

Tevens zal worden gezocht naar literatuur om duidelijk te krijgen welke methoden er bestaan om voorraad te classificeren. Door gebruik van o.a. eerdergenoemde boeken, internetbronnen en artikelen via databases zal een systematisch literatuuronderzoek worden uitgevoerd dat uiteindelijk van pas zou kunnen komen bij het beantwoorden van onderzoeksvraag 2. Als later in het onderzoek na nieuwe inzichten verder of doelgerichter literatuuronderzoek nodig blijkt dan zal dit t.z.t. worden gedaan.

### **Stap 4: Oplossing uitwerken**

In stap 4 wordt een model gekozen en uitgewerkt voor de situatie van bedrijf X. Hiermee wordt antwoord gegeven op onderzoeksvraag 3 en 4. Ter ondersteuning zal het resultaat vanuit het literatuuronderzoek worden gebruikt.

### **Stap 5: Implementatieplan**

In stap 5 wordt een implementatieplan geschreven waarmee de gekozen oplossing kan worden geïmplementeerd. Hiermee wordt antwoord verkregen op onderzoeksvraag 5.

#### **1.4: Afbakening onderzoek**

Het onderzoek wordt gedaan naar alle grondstoffen van bedrijf X. Het gaat hier enkel om de raw materials, voorraden van halffabrikaten en gereed product worden buiten beschouwing gelaten. Bedrijf X heeft grondstoffen die door de klant zelf worden aangeleverd onder de term consignatie, deze grondstoffen worden buiten beschouwing gelaten. Het onderzoek heeft enkel betrekking op de vestiging in Nederland, de overige vestigingen vallen buiten de scope van dit onderzoek.

#### **1.5: Deliverables**

Bij afronding van dit onderzoek worden de volgende eindproducten afgeleverd:

- Overzicht huidige prestatie voorraadbeheer.
- Bestelmodel dat voor bedrijf X als basis kan dienen in de toekomst.
- Implementatieplan van het voorgestelde voorraadbeheer.

## 2: Analyse van de huidige situatie

*Dit hoofdstuk dient om antwoord te geven op de onderzoeksvraag: “Hoe ziet het huidige proces van voorraadbeheer eruit bij bedrijf X?”. Er zal worden gestart met de forecast, gevolgd door de productieplanning en de manier waarop grondstoffen worden besteld. Aansluitend volgt een analyse om de oorzaak van de hoge voorraden aan te wijzen en wordt afgesloten met het beschrijven van de gewenste situatie met bijbehorende KPI's.*

### 2.1: Huidige werkwijze

#### 2.1.1: Forecast

Het productieproces van bedrijf X is make-to-order wat inhoudt dat er pas een productie wordt gedraaid op het moment dat een order is geplaatst door de klant. Bedrijf X produceert veel verschillende soorten repen voor veel verschillende klanten. Al deze klanten verschillen van elkaar qua totale afname, het aantal verschillende repen, grondstoffen benodigd voor de repen etc. Alle klanten wordt gevraagd om een forecast te geven voor de aankomende maanden met hierin de volgende informatie: gewenste leverdatum, type reep (eindartikelnummer) en de totale hoeveelheid repen. In totaliteit ontstaat nu een forecast op basis waarvan een productieplanning wordt gemaakt.

Helaas kunnen om verschillende redenen niet alle klanten een (goede) forecast geven, op dit moment zijn er repen waarvoor een forecast van een jaar kan worden gegeven, halfjaarlijks, per kwartaal of helemaal geen forecast. In het eerste geval gaat het meestal om een reep die al een tijd is geïntroduceerd en waarvan de klant redelijk kan inschatten wat de verwachte vraag is, als er geen forecast wordt gegeven komt dit vaak doordat er simpelweg geen data beschikbaar is om een betrouwbare forecast te geven. Een andere reden om geen forecast af te geven is dat de reep van de klant kleinschalig wordt verkocht en daardoor niet kan worden aangegeven wanneer de voorraad zal opgeraken en wanneer dus een nieuwe order benodigd is.

Om enige onvoorspelbaarheid tegen te gaan geeft bedrijf X klanten tot acht weken voor productie om van de order af te zien. Hierdoor mag er dus vanuit worden gegaan dat de forecast voor de aankomende 8 weken vast is. Alle geplaatste orders die buiten deze acht weken geplaatst staan dienen wel als input voor de forecast, maar hier zit dus een extra onzekerheid in.

#### 2.1.2: Productieplanning

Productieplanning is bij bedrijf X de afdeling die bepaalt wanneer de productie van een bepaalde reep plaatsvindt en is daardoor doorslaggevend in wanneer de benodigde grondstoffen gereed moeten zijn voor productie. De werkwijze is gemakkelijk uit te leggen; er wordt naar de bevestigde orders gekeken met hun bijbehorende leverdata en op basis hiervan wordt getracht binnen de capaciteiten zoveel mogelijk de wens van de klant te vervullen. Bij het maken van deze planning wordt verder nog rekening gehouden met de beschikbare voorraad en bestelde voorraad zodat er geen producties worden ingepland die niet (volledig) kunnen worden geproduceerd.

Momenteel is men bij bedrijf X niet in staat om de planning weken vooruit vast te zetten. Op het moment van schrijven van dit verslag is de situatie dat er op zijn vroegst iedere woensdagmiddag een definitieve versie van de productieplanning van de week erop wordt gecommuniceerd.

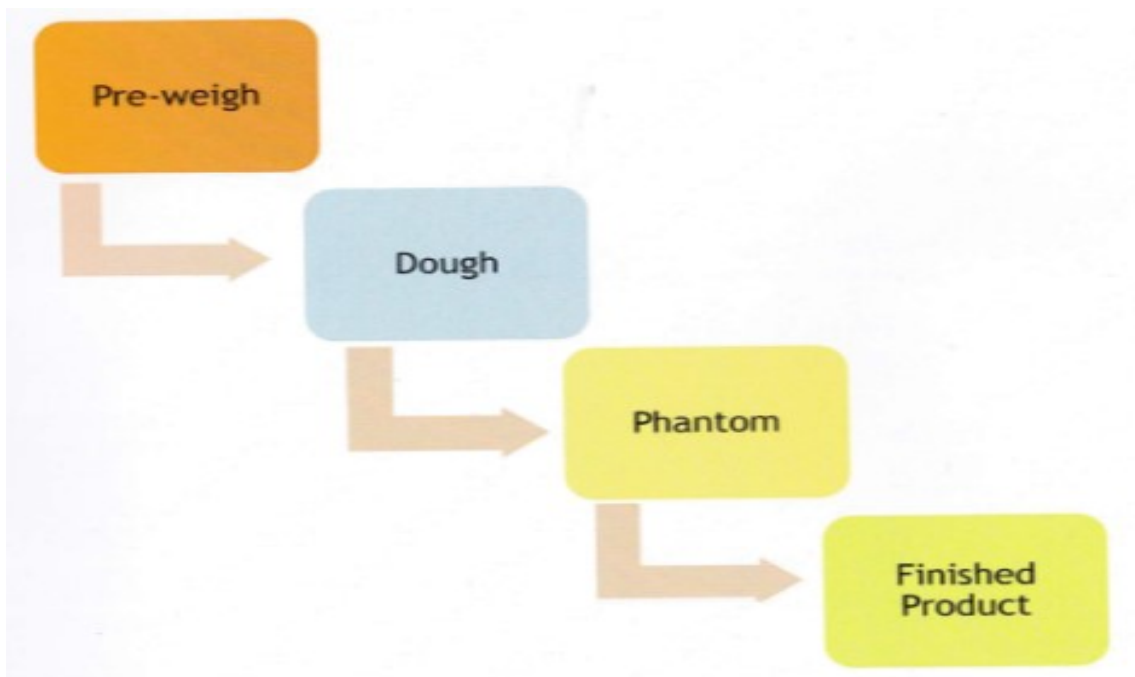
Er wordt ervaren dat afdelingen niet goed communiceren, een voorbeeld van een gevolg hiervan is dat een grondstof later binnenkomt dan beoogd en hierdoor een productie moet worden uitgesteld. Een andere reden is dat orders laat worden verwerkt en moeten worden ingevoegd. Het verschuiven van orders heeft direct impact op wanneer de grondstoffen voorradig moeten zijn. Als laatst moet worden genoemd dat het productieproces onderhevig is aan technische mankementen en een variërende output waardoor er continue onzekerheid is voor productieplanning.

### 2.1.3: MRP

#### Bestelwijze in de huidige situatie

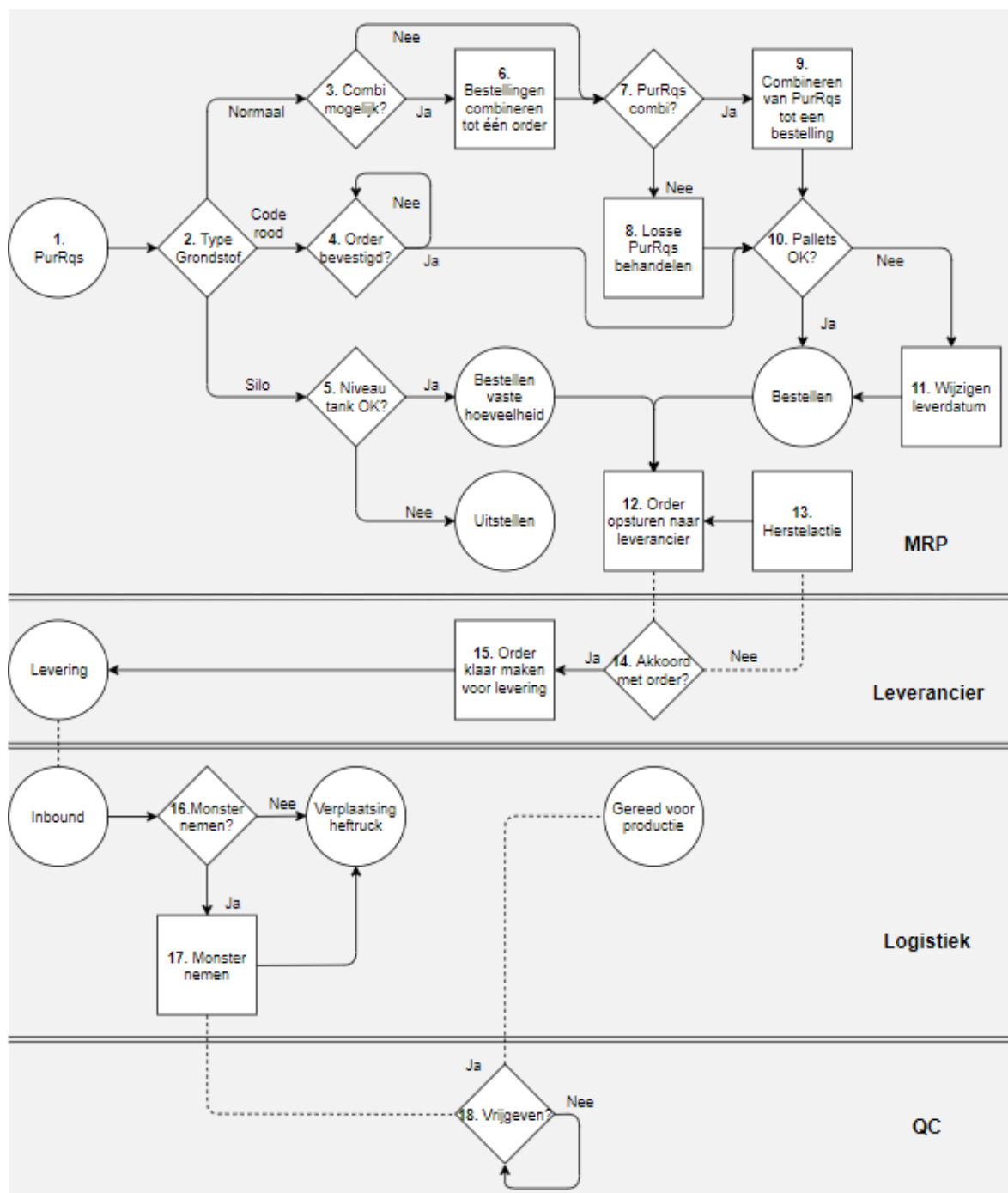
De huidige bestelmethode die bij bedrijf X wordt gebruikt is MRP. Hiervoor is gekozen omdat bij bedrijf X veel verschillende producten worden gemaakt in verschillende batchgrootte met veel verschillende maar ook veel gemeenschappelijke grondstoffen, Newman&Sridharan (1995) laten zien dat in dit soort situaties MRP de juiste keuze is. In feite wordt de totale behoefte aan een grondstof per productieorder steeds afgetrokken van de totale voorraad van deze grondstof zodat duidelijk wordt wanneer er een tekort ontstaat.

De behoefte aan grondstoffen wordt letterlijk vertaald vanaf de behoefte naar het gereed product. Om tot een gereed product te komen is een aantal productiestappen benodigd, deze zijn hieronder afgebeeld in figuur 3.



Figuur 3: Grondstof --> eindartikel

Ter ondersteuning van de uitleg voor de huidige manier van bestellen wordt figuur 4 op de volgende pagina gebruikt. In deze figuur wordt uitgelegd via welke weg een bestelling voor een losse grondstof wordt gedaan. De stappen zijn genummerd waarnaar gerefereerd zal worden gedurende het verdere verloop van deze paragraaf. Grondstoffen worden momenteel op drie manieren besteld; via MRP, op order en door gebruik te maken van een (r,Q)-model. Momenteel wordt iedere bestelling handmatig gedaan en worden er dus geen automatische bestellingen geplaatst voor grondstoffen.



Figuur 4: Bestelwijze MRP-planner

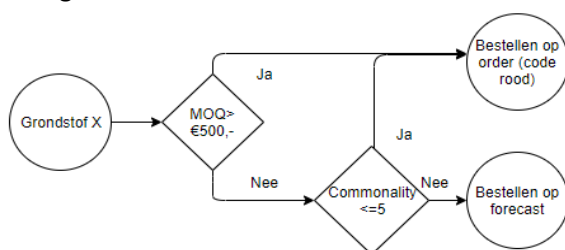
### Bestellen op forecast

SAP heeft een functie om via een paar klikken een rapport op te vragen dat toont voor welke grondstoffen bestellingen moeten worden geplaatst en wanneer, in figuur 4 wordt dit aangeduid als PurRqs wat letterlijk Purchase Requisition betekent en de afkorting is die SAP gebruikt. De MRP-planner opent de lijst met voorgestelde bestellingen als startpunt om de bestellingen te plaatsen (1). Deze voorstellen ontstaan op basis van de datum van de forecast voor de grondstof, van deze datum worden de GR en de leadtime afgetrokken en zo weet SAP de datum dat er uiterlijk moet worden besteld om de grondstoffen op tijd voorradig te hebben voor productie (zie ook figuur 2 in §1.3.1 ter visualisatie).

De voorgestelde bestellingen worden gesorteerd per leverancier om zo de bestellingen van meerdere grondstoffen van een leverancier te kunnen combineren (3). In het geval er slechts behoefte is voor één grondstof van een leverancier wordt deze los besteld. In sommige gevallen wordt er aangegeven dat er over tijd meerdere voorgestelde bestellingen openstaan voor een grondstof (7) en dan is het aan de MRP-planner om in te schatten of het beter is om beide voorgestelde bestellingen tegelijk te bestellen of los van elkaar. Dit is afhankelijk van de hoeveelheden en de tijd die er tussen openstaande bestellingen zit. Wanneer er voor meerdere grondstoffen per leverancier bestellingen moeten worden geplaatst tracht de MRP-planner om deze te combineren (6) om zo het aantal leveringen te verminderen en daarmee de drukte bij de docks in de logistieke ruimte. Bij gecombineerde bestellingen is de werkwijze hetzelfde alleen wordt nu door de MRP-planner bepaald wat de meest geschikte leverdatum is voor de combinatie van de bestellingen. Of nu een enkele grondstof per leverancier of een combinatie wordt besteld, het laatste waar rekening mee wordt gehouden is het aantal pallets dat op een dag wordt geleverd (10). De MRP-planner kijkt in zijn overzicht naar het aantal pallets dat op een dag binnen zou moeten komen aan reeds geplaatste bestellingen van het totaal op dat moment de meest geschikte leverdatum is (11). Er wordt getracht een maximaal aantal inkomende pallets van 120 per dag te hanteren om zo de logistieke afdeling niet te laten verstopen. Als alle voorgestelde bestellingen van dezelfde leverancier zijn behandeld worden deze per leverdatum gesorteerd en geplaatst bij de leverancier. Het is nu taak om de order op te sturen naar de leverancier (12) waarop de leverancier op zijn beurt bepaalt of hij akkoord gaat met de order (14). Wanneer dit het geval is zal hij de order bevestigen en klaar maken voor levering (15) en leveren. Wanneer de aanvraag niet haalbaar is zal dit worden gecommuniceerd naar de MRP-planner waarop deze een herstelactie (13) moet uitvoeren tot er een overeenkomst kan worden gesloten.

### Bestellen op order

Momenteel wordt door bedrijf X enkel per order besteld in het geval van een zogenoemd “code rood”-product. In de huidige situatie wordt een grondstof hieronder geclassificeerd wanneer het product door vijf of minder verschillende klanten wordt gebruikt of wanneer de waarde van de MOQ groter of gelijk is aan €500,-. Deze waarden zijn ingesteld op basis van een risicoanalyse door de afdeling productontwikkeling waarbij rekening is gehouden met het risico dat grondstoffen obsoleet zullen geraken voordat ze worden verbruikt en het financiële risico dat hierbij wordt gelopen.



Figuur 5: Code rood

De voorwaarde om een “code rood”-product te bestellen is dat de order die deze grondstoffen gebruikt eerst definitief is ingepland en bevestigd (4) voordat de grondstoffen worden besteld. Het is echter voor de MRP-planner wel mogelijk om dit type grondstoffen te bestellen zonder dat er een order is geplaatst, maar deze optie wordt alleen gebruikt wanneer het op eigen inzicht nodig is om SAP te verbeteren. Een voorbeeld hiervan is wanneer er behoefte is voor deze grondstof voor testproducties die momenteel buiten SAP omgaan, dit wordt in dit onderzoek verder ook niet behandeld.

### **Bestellen volgens (r,Q)-model**

De laatste wijze waarop wordt besteld is d.m.v. een (r,Q)-model. Bij dit model wordt altijd een vaste bestelhoeveelheid gebruikt op het moment dat de voorraad zakt onder een vooraf bepaald punt, het reorderpoint (ROP). Zodra de hoeveelheid onder het ROP gaat zakken wordt door SAP een voorstel tot bestellen toegevoegd aan de lijst met voorgestelde bestellingen zodat deze zichtbaar wordt voor de MRP-planner. Momenteel worden slechts 2 grondstoffen opgeslagen in tanks.

Het (r,Q)-model wordt bij bedrijf X gebruikt voor grondstoffen die worden opgeslagen in tanks. Deze tanks bevinden zich op één na in iedere productielocatie van bedrijf X. Deze grondstoffen worden in tanks opgeslagen omdat het verbruik enorm is, ze in vrijwel ieder eindproduct worden gebruikt, en op deze manier wordt de toevoer ervan naar de productielijnen eenvoudig. Per locatie verschillen de tanks van inhoud en voor iedere locatie is een individueel ROP ingesteld op basis van de verbruiken per week. Dit ROP is met een ruime marge ingesteld omdat aanwezigheid van deze grondstoffen kritiek is voor de productie. De bestelhoeveelheid is voor alle locaties gelijk aangezien de grondstoffen moeten worden besteld in een vaste hoeveelheid (of een meervoud) omdat de leverancier niet anders kan aanleveren.

#### *2.1.4: Instellingen ERP-systeem*

Om het MRP-systeem naar wens te laten verlopen zijn een aantal instellingen nodig in de masterdata, de input van de MRP. Instellingen die zijn ingevoerd zijn de minimale bestelhoeveelheid, rounding value, veiligheidsvoorraden en de GR en prijzen. De minimale bestelhoeveelheid en rounding value zijn gegevens waar bedrijf X weinig tot geen invloed op heeft maar de veiligheidsvoorraden en de GR wel. De wijze waarop deze waarden in de huidige situatie zijn ingesteld en waarom worden hieronder besproken.

### **MOQ + IOQ + Prijs**

Om ervoor te zorgen dat de MRP geen bestelhoeveelheden suggereert die onmogelijk zijn om te leveren voor de leverancier heeft SAP input nodig m.b.t. minimale bestelhoeveelheid en incrementele bestelhoeveelheid (IOQ). De IOQ is het getal waarmee, bovenop de MOQ, kan worden bijbesteld. Deze zorgt ervoor dat er niet halve zakken kunnen worden besteld (10 kg bestellen terwijl de zakken 20kg/stuk zijn) en dat wanneer de leverancier enkel levert in meervouden van de MOQ er niet 1,5MOQ kan worden besteld. Zonder deze input zou SAP bestellingen voor grondstoffen tot op de gram voorstellen. De informatie m.b.t. deze instellingen is verkregen van de leveranciers en wordt up-to-date gehouden door de inkoopafdeling van bedrijf X.

Opmerkelijk in de situatie bij bedrijf X is dat voor (bijna) alle grondstoffen vanaf de MOQ de prijs gelijk blijft met bestelkosten inclusief. Dit geldt niet voor enkele koelproducten maar deze worden niet op basis van staffels besteld vanwege de kleine capaciteit van de koelcellen.

## **Safety stock**

De veiligheidsvoorraad wordt door het management van bedrijf X aangewezen als een potentiële veroorzaker van de hoge voorraadsposities en de hoge voorraadwaarde. Verwacht wordt dan ook dat op dit gebied veel winst te behalen valt. Tot nog toe is er nooit een onderzoek als dit gedaan om de optimale hoogte van de veiligheidsvoorraden te bepalen. Zoals is uitgelegd op de vorige pagina is het voor een goed verloop met de implementatie van de MRP in SAP benodigd om veiligheidsvoorraden in te stellen voor de grondstoffen. Op basis van een semigestructureerd interview met de huidige MRP-planner en onderlinge gesprekken in onze relatie als collega's moet worden geconcludeerd dat de ingestelde veiligheidsvoorraden op basis van de expertise van de MRP-planner zijn ingesteld. Uiteraard zijn deze waarden niet volledig willekeurig ingesteld maar in zekere zin benaderd, dit is gedaan op basis van de volgende argumenten:

Vanwege de aanwezigheid van zeven productielijnen is ervoor gekozen om op geen enkel moment het risico te nemen dat een van de productielijnen komt stil te staan. Voor stock keeping units (SKUs), in dit onderzoek gelijk aan grondstoffen, met een hoog verbruik wordt minstens een volle pallet per productielijn veiligheidsvoorraad aangehouden. Dit moet ervoor zorgen dat een pallet niet op twee productielijnen tegelijk aanwezig zou moeten zijn.

Het totaalverbruik van de grondstoffen is een andere factor die invloed heeft op de hoogte van de veiligheidsvoorraad. Er is een duidelijk patroon zichtbaar dat aangeeft dat hoe hoger het verbruik is hoe hoger ook de veiligheidsvoorraad is. Hier op aansluitend is de veiligheidsvoorraad naar boven ingesteld voor grondstoffen die een hoog afvalpercentage hebben, iets wat in enkele gevallen niet goed genoeg wordt meegenomen in de BOM. Doordat het percentage afval niet in de BOM staat, maar de BOM wel de input is van de forecast, wordt dit in de huidige situatie opgevangen door het verhogen van de veiligheidsvoorraad.

De laatste factor die is meegenomen bij de bepaling van de hoogte van de veiligheidsvoorraad is de levertijd. Hoe langer de levertijd is hoe meer fluctuaties er kunnen ontstaan in de behoefte aan grondstoffen in die periode. Dit is wederom opgevangen door het verhogen van de veiligheidsvoorraad.

Tenslotte is er voor een aantal grondstoffen besloten geen veiligheidsvoorraden aan te houden. De reden hiervoor is het zeer lage verbruik en daardoor de overbodigheid van een veiligheidsvoorraad. In deze gevallen is het bestellen van de MOQ vaak genoeg om aan de halfjaarlijkse vraag van deze grondstof te voldoen.

Momenteel resulteert deze werkwijze m.b.t. veiligheidsvoorraden van grondstoffen tot een totale waarde van €789k aan veiligheidsvoorraad. In deze berekening is ervanuit gegaan dat alle veiligheidsvoorraad aanwezig is en vermenigvuldigd met de inkoopprijs, hiertoe behoren niet de producten die vallen onder consignatie omdat de klant deze zelf aanlevert en bedrijf X hiervoor niet betaalt. Het aantal palletplaatsen dat de veiligheidsvoorraad gemiddeld in beslag neemt is 413 (+- 10% van het geheel). Hierbij is de veiligheidsvoorraad afgerond op hele pallets per grondstof, in de praktijk mogen grondstoffen met een verschillende batch (productiedatum en houdbaarheidsdatum) niet bij elkaar op een pallet worden geplaatst, hierdoor zal het aantal pallets in de praktijk hoger uitvallen. Verder wordt er gewerkt volgens een first-in-first-out principe dat in de meeste gevallen ervoor zorgt dat er niet meerdere restantpallets aan veiligheidsvoorraad worden aangehouden. In dit onderzoek wordt aangenomen dat het aantal palletplaatsen die hierdoor komt te vervallen verwaarloosbaar is.

### Goods Receiptment length

De laatste instelling die benodigd is om de MRP naar wens te laten functioneren is het instellen van de GR. De GR van bedrijf X bestaat, zoals als in figuur 2 in de probleemidentificatie van dit onderzoeksverslag al naar voren kwam, uit twee noodzakelijke handelingen en een veiligheidsmarge: Logistics Inbound, QC en safety time. Uitgaande van betrouwbare levering geldt; hoe hoger de instelling van het totaal dagen aan GR des te eerder grondstoffen worden besteld en des te eerder/langer deze op voorraad staan. Om de gemiddelde voorraad te verlagen moet HE dus streven naar een zo laag mogelijke GR, bovendien hoeft er dan enkel voor een kortere periode te worden besteld waardoor onzekerheid in afwijkingen in de vraag naar de grondstof kan afnemen.

De “Logistics Inbound”-afdeling zorgt ervoor dat de grondstoffen op de juiste manier worden ingeboekt en gelabeld. In de huidige werkwijze wordt van Logistics Inbound verwacht dat alle leveringen die op een dag plaatsvinden dezelfde dag worden ingeboekt. Echter kunnen redenen als een combinatie van een late levering en een grote levering ervoor zorgen dat dit een dag afwijkt. Om te voorkomen dat de grondstoffen op de dag van levering nodig zijn maar deze nog niet zijn ingeboekt wordt voor Logistics Inbound één dag GR gereserveerd.

Een andere afdeling die invloed heeft op de lengte van de GR is Quality Control (QC). Omdat er bij bedrijf X wordt gewerkt met grondstoffen bedoeld voor menselijke consumptie moet er een kwaliteitscheck worden gedaan. Voor de meeste grondstoffen geldt dat SAP suggereert een monster af te nemen, wanneer dit gebeurt wordt de pallet geblokkeerd voor verder gebruik. Logistics Inbound neemt dit monster af en deze wordt aan het eind van de dag opgehaald door QC. In de huidige werkwijze wordt voor de grondstoffen aangenomen dat hiervoor een dag GR genoeg is. Uitzondering op de regel zijn de wei- en caseïne-eiwitten, deze hebben microanalyse nodig en vereisen een GR van zeven dagen.

De laatste factor die van invloed is op de GR is safety time, deze wordt bij bedrijf X gebruikt als een extra veiligheidsmarge om wijzigingen in de lengte van de benodigde GR bij Logistics Inbound en QC op te kunnen vangen en eventuele afwijkingen in de leverdatum te kunnen opvangen. Zoals ook in figuur 2 op p.8 terug te zien is de GR die is ingesteld m.b.t. safety time 14 dagen, bij betrouwbare levering zouden de grondstoffen dan letterlijk 14 dagen eerder in het magazijn aankomen. Bij vergelijking van de GR en de leadtime van grondstoffen lijkt in grote lijnen het patroon in tabel 1 van kracht te zijn. Uitzonderingen op dit patroon zijn manueel aangepast wanneer is opgemerkt dat de hoogte van de GR duidelijk te hoog of te laag was ingesteld.

| Leadtime (L) in dagen | GR in dagen |
|-----------------------|-------------|
| $\leq 7$              | 14-21       |
| $8 < L \leq 14$       | 18-21       |
| $15 < L \leq 21$      | 20-21       |
| $22 \leq L < 168$     | 20-21       |
| 168                   | 56          |

Tabel 1: Lengte leadtime vs GR

## 2.2: Analyse voorraad grondstoffen

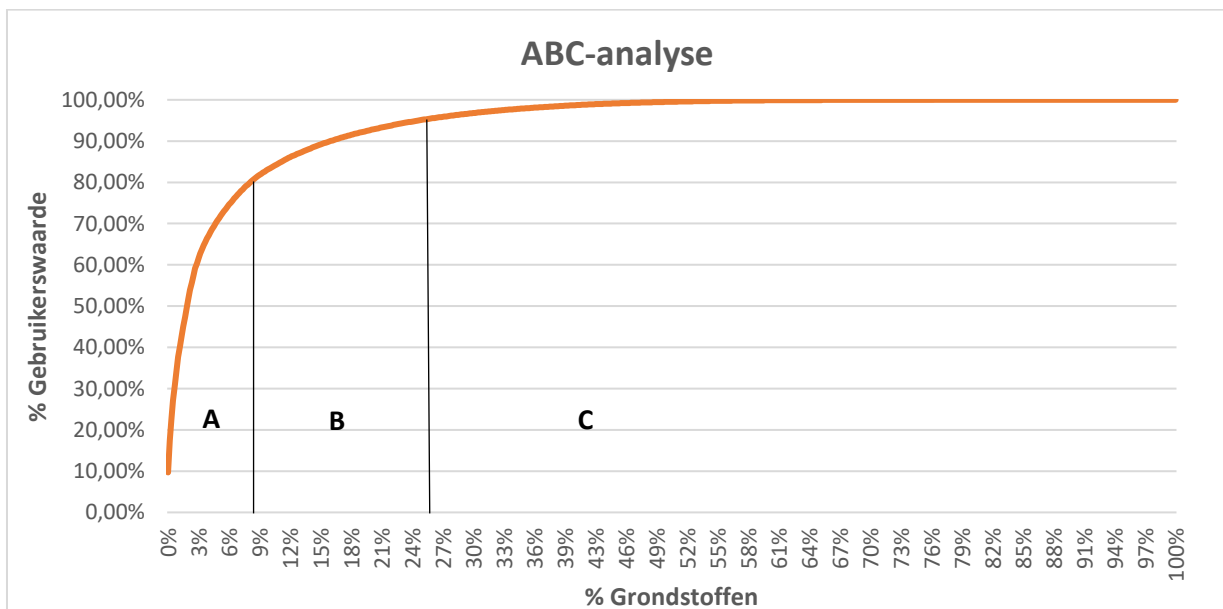
Het doel van dit onderzoek is om de voorraad aan grondstoffen te verlagen in zowel waarde als de fysieke ruimte die deze grondstoffen in beslag nemen in het magazijn. Om duidelijk te krijgen welke grondstoffen een grote rol spelen in de hoogte van de voorraad is historische data gebruikt. In totaal zijn de verbruiken (kg) en de wekelijkse voorraadposities (kg en # pallets) en –waardes (€) van week 5 t/m week 46 van alle grondstoffen op een rij gezet. Deze data mag als betrouwbaar worden beschouwd omdat sinds de implementatie van SAP in week 5 na iedere productierun door IC exact is bijgehouden wat in producties is verbruikt en daarmee de hoogte van de voorraad. Tevens zijn er regelmatig steekproeven gedaan op de voorraad van grondstoffen waaruit blijkt dat de voorraden als betrouwbaar mogen worden beschouwd.

### 2.2.1: ABC-analyse

Om niet te veel moeite te steken in grondstoffen die het niet waard zijn is een ABC-analyse gedaan. Door de grondstoffen te classificeren op *verbruik \* prijs* kan worden bepaald op welke grondstoffen nauwlettend controle moet worden gehouden en aan welke niet veel aandacht moet worden besteed (Silver et. al, 2017). Het resultaat van de ABC-analyse is weergegeven in tabel 2 en figuur 6:

| Classificatie | Aantal grondstoffen | % Grondstoffen / totaal | % gebruikerswaarde | Cum. gebruikerswaarde |
|---------------|---------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------|
| A             | 50                  | 8,40                    | 80,20              | 80,20                 |
| B             | 98                  | 16,47                   | 14,76              | 94,96                 |
| C             | 447                 | 75,13                   | 5,04               | 100                   |
| Totaal        | 595                 | 100                     | 100                |                       |

Table 2: ABC-analyse in getallen



Figuur 6: ABC-analyse grafisch

Opvallend in de ABC-curve van bedrijf X is dat de traditionele 80/20-verhouding niet op gaat maar dat een kleiner percentage grondstoffen zorgt voor de 80% gebruikerswaarde. Dit geeft aan dat een besparing op de A-grondstoffen, een relatief klein percentage grondstoffen, een grote bijdrage kan hebben aan een besparing op de totale gebruikerswaarde.

In het vervolg van de analyse van de grondstoffen wordt dieper ingegaan op de verschillen van grondstoffen m.b.t. hun rol in de hoogte van de voorraad, voorraadwaarde, verbruiken en andere parameters m.b.t. voorraadbeheer. De parameters zijn zowel in kg als in aantal pallets weergegeven om buiten hoeveelheden ook de invloed ervan op het volle magazijn te kunnen analyseren.

| Parameter           | Omschrijving                                        |
|---------------------|-----------------------------------------------------|
| Aantal SKUs         | Totaal aantal grondstoffen                          |
| Gem. verbruik       | Het verbruik per week in kg en in aantal pallets    |
| Gem. voorraad       | De voorraad per week in aantal pallets              |
| Veiligheidsvoorraad | De hoogte van de veiligheidsvoorraad in pallets     |
| Voorraadwaarde      | De waarde van de gemiddelde wekelijkse voorraad (€) |

Tabel 3: Gebruikte parameters voorraadsanalyse

### 2.2.2: Voorraadsruimte en -waarde

Om een beeld te geven van hoe de voorraden van de grondstoffen zich tot elkaar verhouden is in tabel 4 een overzicht geplaatst. Om de gemiddelde voorraad in pallets te bepalen is de gemiddelde voorraad in kg gedeeld door de hoeveelheid die op een volle pallet staat, hierbij is per grondstof de uitkomst afgerond naar boven. In werkelijkheid zal het aantal pallets hoger liggen doordat er in de praktijk meerdere restpallets voorradig kunnen liggen. Voor de veiligheidsvoorraad is hetzelfde gedaan alleen is bij een veiligheidsvoorraad  $\leq 1$  pallet aangenomen dat dit gecombineerd op een pallet staat met de rest van de voorraad van deze grondstof en weggelaten in de berekening.

| Classificatie | Aantal SKUs | Gem. verbruik (pallets) | Gem. voorraad (pallets) | Veiligheidsvoorraad (pallets) | Voorraad-waarde (€) |
|---------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------|
| A             | 50          | 223                     | 945                     | 156                           | 3481k               |
| B             | 98          | 125                     | 429                     | 50                            | 947k                |
| C             | 447         | 310                     | 505                     | 11                            | 672k                |
| <b>Totaal</b> | <b>595</b>  | <b>658</b>              | <b>1879</b>             | <b>217</b>                    | <b>5100k</b>        |

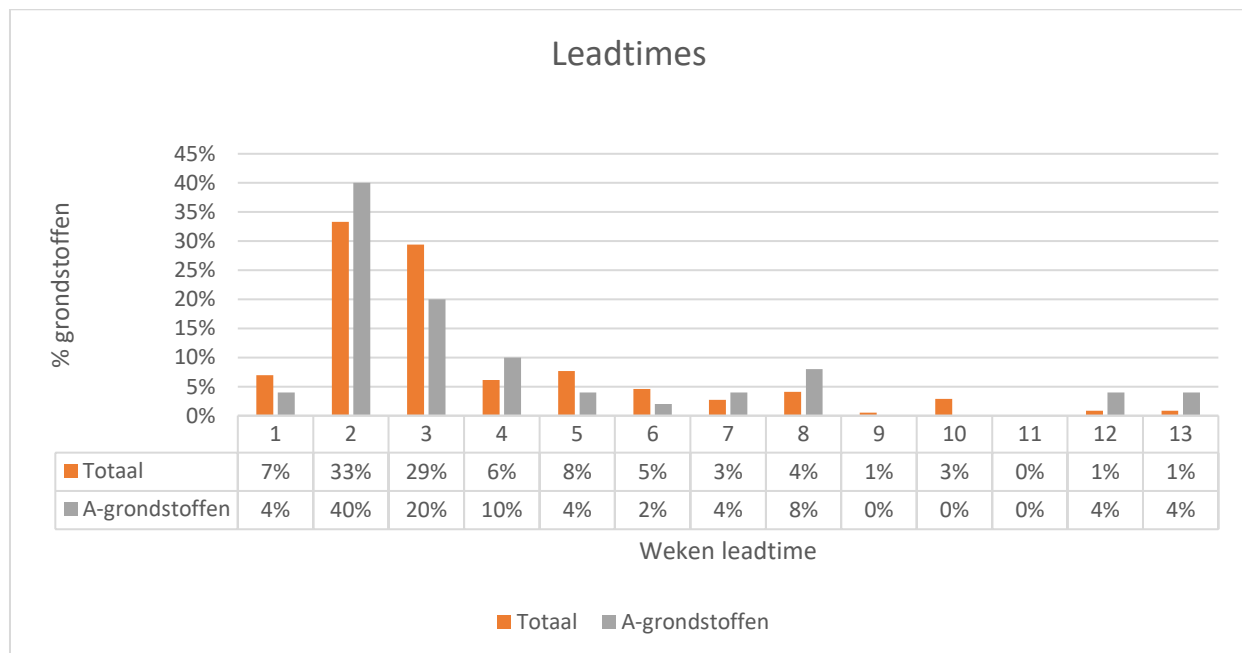
Tabel 4: Vergelijking van de impact op voorraadsparameters van A- en B-grondstoffen

Uit tabel 4 blijkt dat de meeste ruimte in het magazijn te behalen valt middels een verlaging van de voorraad van de A-categorie grondstoffen. Het verlagen van de voorraad van grondstoffen heeft ook de meeste potentie om de voorraadwaarde te verlagen. Dat de veiligheidsvoorraad hoger wordt bij een hogere classificatie is logisch, de hoogte van de veiligheidsvoorraad is wel essentieel en zal in dit onderzoek worden bepaald. De gemiddelde voorraadwaarde van de veiligheidsvoorraad is €574k.

Grondstoffen met een hoge MOQ worden vaak geleverd bij het externe magazijn van HE. Deze grondstoffen dragen niet bij aan de drukte van het magazijn op de productielocatie, maar omdat deze voorraad bij vergelijking met een aanstaand model wel moet worden meegenomen zal de totale voorraad vanuit het model worden vergeleken met die van de huidige situatie inclusief het externe magazijn. Gemiddeld heeft er in de periode week 5-46 voor €1325k aan A-grondstoffen op de externe locatie gestaan met een omvang van 284 palletplaatsen.

### 2.2.3: Levertijden

Om te analyseren of de levertijd een veroorzaker zou kunnen zijn van de hoge voorraden is voor zowel het totaal aan grondstoffen, als voor de A-grondstoffen separaat, gekeken welk percentage grondstoffen binnen een x aantal weken valt. Een weergave van de resultaten is terug te vinden in figuur 7. Het patroon dat voor beide reeksen geldt is dat veruit het meerendeel van de grondstoffen een levertijd van max. vier weken heeft, 79% van alle grondstoffen en 74% van de A-grondstoffen. Dit biedt mogelijkheden om de rol van productieplanning mee te nemen in dit onderzoek. Opvallend bij de A-grondstoffen is dat er bij een levertijd van twaalf en dertien weken weer een piek ontstaat, verder zijn bijna alle grondstoffen verkrijgbaar binnen acht weken levertijd.



Figuur 7: Analyse van de levertijden

### 2.3: Gewenste situatie

De gewenste situatie van bedrijf X is er één waarbij de output van de productielijnen niet wordt verhinderd door een gebrek aan grondstoffen maar waarbij de totale voorraad in het aantal palletplaatsen en/of de voorraadwaarde wordt verlaagd. Dit om kapitaalbeslag minimaal te maken en ervoor te zorgen dat de voorraden worden verlaagd om het voor het magazijn, en daarmee de gehele logistieke afdeling, werkbaar te houden.

Bij het management van bedrijf X is bekend dat de afdelingen forecast en productieplanning nog niet dermate functioneren waardoor automatisch bestellen geen optie is, zolang dit de situatie is zal de MRP-planner de volledige controle blijven houden over alle bestellingen om afwijkingen in de vraag naar grondstoffen te kunnen signaleren. De wens is om wekelijks te bestellen en dus een bestelpolitiek met een reviewperiode van 7 dagen te hanteren, in het weekend wordt namelijk een volledige voorraadsrun gedaan waardoor alle waarden up-to-date zijn en hierdoor een volledig beeld beschikbaar is van de behoeften. Vrijwel iedere grondstof wordt met DDP incoterms besteld, hierdoor wordt voor elke bestelhoeveelheid tegen een vaste prijs (incl. bestelkosten) geleverd. Dit zorgt ervoor dat in dit onderzoek bestelkosten kunnen worden genegeerd en de hoogte van de voorraad hetgeen is dat moet worden geoptimaliseerd. Het aandeel grondstoffen met een staffel is laag en er wordt aangenomen dat groter inkopen om schaalvoordelen te krijgen met het huidige magazijn niet handig is vanwege het voorraadsprobleem. Om deze reden is het optimalisatieprobleem de voorraadwaarde- en/of voorraadruimte.

## 2.4: Conclusie

*In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de vraag: “Hoe ziet het huidige proces van voorraadbeheer eruit en wat veroorzaakt het voorraadsprobleem? Hieronder wordt een korte samenvatting gegeven van alle bevindingen van de voorgaande paragrafen van H2 van deze scriptie.*

Doordat de productieplanning onderhevig is aan vele wijzigingen wordt een bepaalde onzekerheid gecreëerd voor de andere supply chain afdelingen van bedrijf X. Om deze reden wordt bij het bestellen van grondstoffen op safe gespeeld door de grondstoffen eerder binnen te laten komen m.b.v. het verhogen van de safety time en/of veiligheidsvoorraad aan te leggen. Beide maatregelen resulteren in een hoge gemiddelde voorraad en kapitaalbeslag. Een bijkomend effect van de hoge voorraden is dat het magazijn vol staat wat de logistieke afdeling hindert in haar dagelijkse werkzaamheden.

De meeste potentie om een voorraadsverlaging te behalen ligt bij de A-grondstoffen. Zowel de voorraadwaarde als -ruimte die deze grondstoffen in beslag nemen zijn aanzienlijk groter dan die van de overige grondstoffen. Vanuit de ABC-analyse is duidelijk geworden dat deze 50 A- grondstoffen (8% van het totaal) zorgen voor  $\pm 80\%$  van de gebruikerswaarde, dit legt nog meer de nadruk op de criticiteit van de A-grondstoffen. De analyse van de leadtimes toont aan 74% van de A-grondstoffen een leadtime heeft van maximaal 4 weken, wat redelijk planbaar lijkt.

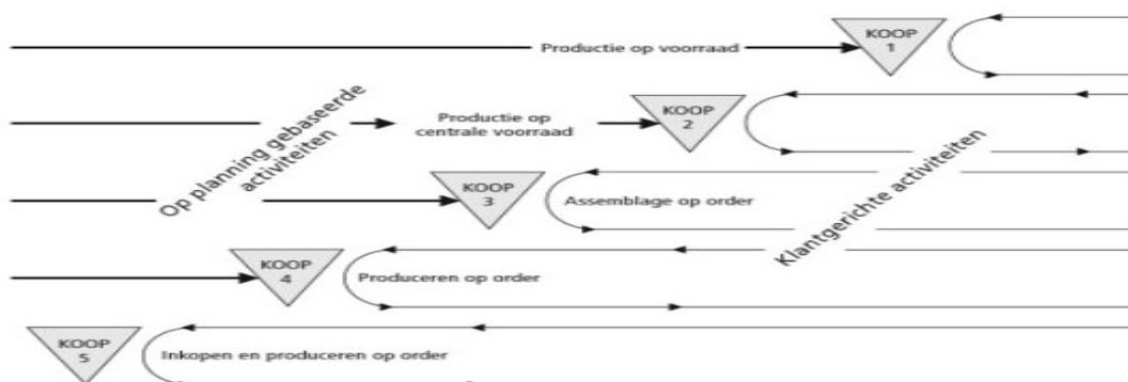
Het management van bedrijf X geeft aan dat het hoofddoel van dit onderzoek moet blijven dat de parameters van het bestelsysteem worden geoptimaliseerd, maar omdat de druk op de logistieke afdeling van bedrijf X enorm is wordt door het management een verlaging van de belasting van het magazijn als een pre gezien. Om deze reden moet het optimalisatieprobleem de voorraadwaarde- en/of voorraadruimte zijn.

### 3: Theoretisch kader

*Dit hoofdstuk bevat de literatuur die benodigd is als achtergrondinformatie voor het restant van dit onderzoek. Het hoofdstuk gaat antwoord geven op onderzoeksvraag 2: Wat zegt de literatuur over voorraadbeheer van grondstoffen voor productie in een MTO-omgeving bij een periodieke bestelmethode? Er wordt begonnen met het uitleggen wat precies MTO inhoudt en afgesloten met de bepaling van bestelpolitieken en hoe voor deze bestelpolitieken parameters m.b.t. voorraadbeheer kunnen worden bepaald.*

#### 3.1: Make-to-order

Ieder productieproces wordt in bepaalde mate beïnvloed door de uiteindelijke afnemer. Zo zijn er producten die tot een bepaald punt gestandaardiseerd zijn en na dat punt naar de wens van de klant worden afgemaakt, producten die volledig worden gemaakt naar de wens van de klant, en wordt voor andere producten geen rekening gehouden met de klant maar wordt een product volledig samengesteld zoals de producent dat voor ogen heeft. Het punt waarop voor het eerst de wens van de klant van invloed is op de productie van een product wordt omschreven als het klantorderontkoppelpunt (KOOP), ook wel het orderpenetratiepunt genoemd. Oorspronkelijk is het KOOP gedefinieerd als het punt in het productieproces van een product waarop het product is gelinkt aan een specifieke klantorder (J. Olhager, 2010). De plaatsing van het KOOP bepaalt grotendeels de productiesituatie, (Hoekstra en Romme, 1992) onderscheiden 5 verschillende productiesituaties make-to-stock, productie op centrale voorraad, assemble-to-order, make-to-order (MTO), en engineer-to-order. In figuur 6 staan al deze productiesituaties en is te zien dat hoe verder het KOOP richting de klant (naar rechts) ligt des te minder controle de klant heeft op het productieproces. Zo is het bij productie op voorraad het geval dat de hele productie gebaseerd kan worden op planning, en bij inkopen en produceren op order productie volledig afhankelijk is van de klant. Dit gegeven maakt dat het KOOP een scheiding maakt tussen de fases die forecast gerelateerd zijn en welke klantgericht (J. Olhager, 2010).



Figuur 8: Klantorderontkoppelpunt

De productieomgeving van bedrijf X is MTO. MTO is een omgeving waarbij een product van het begin af aan op klantorder wordt geproduceerd. Bij deze omgevingen zijn de producten zo specifiek dat er geen halffabrikaten op voorraad kunnen worden gehouden, maar de veiligheidsvoorraad ligt in de grondstoffen. Het probleem bij organisaties die produceren volgens MTO is meestal niet de voorraad omdat er vaak wordt gezorgd dat deze voldoende voorradig is, maar het afgeven van betrouwbare en realistische doorlooptijden en het realiseren van de afgegeven levertijden (Durlinger & Bemelmans, 2018). In het geval dat er bij een MTO-politiek veel verschillende klantspecifieke producten worden gemaakt in veelal kleine batches is bestellen a.d.h.v. MRP een logische keuze (Newman, 1995).

### 3.2: Periodieke bestelmethodeken

De in tabel 5 genoteerde letter- en begrippennotatie wordt in de modellen gebruikt:

| Symbool   | Omschrijving                                         |
|-----------|------------------------------------------------------|
| $\bar{x}$ | Gemiddelde vraag per dag, week maand?                |
| $\sigma$  | Standaardafwijking van de vraag per dag, week maand? |
| Q         | Vaste bestelhoeveelheid                              |
| L         | Levertijd in dagen                                   |
| R         | Review periode in dagen                              |
| ss        | Veiligheidsvoorraad                                  |
| s         | Reorder point                                        |
| S         | Order-up-to-level                                    |
| $P_2$     | Fill rate                                            |
| k         | Safety factor                                        |
| $J_u(k)$  | Functie van de standaardnormale verdeling            |

Tabel 5: Symbolen in politieken

#### **(R,S)-politiek:**

Wanneer de voorraad niet continu wordt bijgehouden en er niet de mogelijkheid is om op ieder moment te bestellen wordt vaak periodiek besteld. In het geval van de (R,S)-politiek wordt iedere periode R de voorraad aangevuld tot S. De bestelhoeveelheid is in dit geval gelijk aan de S min de voorraadspositie op moment R. Periodieke bestelpolitieken leiden tot meer veiligheidsvoorraad dan continue bestelpolitieken. Dit komt doordat de veiligheidsvoorraad nu de onzekerheid moet afdekken in de vraag tijdens de levertijd plus een reviewperiode, dus tot het moment dat de eerstvolgende levering binnenkomt  $\bar{X}_{R+L}$ . De berekening van enkele parameters van een (R,S)-model worden hieronder getoond. Deze politiek wordt meestal gebruikt voor producten die een B-classificatie hebben gekregen (Silver et. al, 2017).

$$\bar{x}_{R+L} = (R + L) * \bar{x}$$

$$\sigma_{R+L} = \sqrt{(R + L)} * \sigma_L$$

$$P_2 = Prob. (\bar{x}_{R+L} \leq S)$$

$$S = \bar{x}_{R+L} + ss$$

$$ss = k\sigma_{R+L}$$

*Aangezien het in dit onderzoek enkel de A-grondstoffen betreft zou a.d.h.v. de vuistregels zoals genoemd in (Silver et. al, 2017), de keuze moeten vallen op een R,s,S-model, echter hebben sommige grondstoffen een hoge MOQ waardoor er gewerkt zal worden met een vaste bestelhoeveelheid wat resulteert in een R,s,Q-model. Beide modellen worden hieronder toegelicht:*

#### **(R,s,s)-model:**

Het (R,s,S)-model is een combinatie van (s,S)- en (R,S)-modellen. Het (R,s,S)-model is een bestelpolitiek waarbij iedere R tijdsunits de voorraadspositie wordt gecontroleerd, alleen wanneer de voorraadspositie  $\leq s$  tijdens R wordt een order geplaatst. De voorraadspositie is hier gedefinieerd als: (huidige voorraad + openstaande bestellingen – backorders). De hoogte van de bestelling is gelijk aan S-s plus de undershoot. De undershoot is het deel dat de voorraadspositie onder het ROP komt op het moment van bestellen. Scarf (1960) heeft aangetoond dat onder algemene aannamen m.b.t. de vraag en kosten, het (R,s,S)-model resulteert in de minste bestel-, voorraad- en tekortkosten.

Om de parameters van een (R,s,S)-model te schatten worden heuristieken gebruikt. De meest voorkomende zijn de heuristieken met fractional charge ( $B_3$ ), waarbij kosten worden gerekend voor iedere unit tekort gedurende een bepaald tijdsinterval, en heuristieken die werken met een bepaalde fill rate ( $P_2$ ). De heuristiek met  $P_2$  wordt hieronder uitgelegd omdat dit de heuristiek is die in de praktijk het best zal aansluiten op de wensen van bedrijf X. Wanneer wordt voldaan aan de voorwaarde dat de variatiecoëfficiënt over de periode R+L kleiner of gelijk is aan 0,5 ( $CV_{R+L} \leq 0.5$ ) mag uitgegaan worden van een normale verdeling, anders moet er gebruik gemaakt worden van een gammaverdeling. De heuristiek is weergegeven in vergelijking 1:

$$\sigma_{R+L}^2 J_u \left( \frac{S - \bar{x}_{R+L}}{\sigma_{R+L}} \right) - \sigma_L^2 J_u \left( \frac{S - \bar{x}_L}{\sigma_L} \right) = 2(1 - P_2) \bar{x}_R \left[ S - s + \frac{\sigma_R^2 + \bar{x}_R^2}{2\bar{x}_R} \right]$$

Vergelijking 1:  $P_2$ -heuristiek voor het bepalen van de parameters in een R,s,S-model, (Silver et. al, 2017)

| Parameter   | Omschrijving                                                                                                                    |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $S - s$     | Verschil tussen reorderpoint en het aanvulniveau, er wordt aangenomen dat deze vooraf bepaald is vaak gebruik makend van de EOQ |
| $\bar{x}_t$ | De geschatte vraag over een periode met lengte $t$                                                                              |
| $\sigma_t$  | De standaardafwijking van de vraag over een tijdsperiode met lengte $t$                                                         |
| $J_u(k)$    | Functie van de standaardnormaleverdeling, zie onder                                                                             |

Tabel 6: Omschrijving van de parameters in de  $P_2$ -heuristiek voor een R,s,S-model

In het geval er voor  $P_2$  een waarde gekozen wordt die groter of gelijk is aan 0.9, wat aannemelijk is in het geval van A-grondstoffen, is het tweede deel van de linkerkzijde van vergelijking 1 verwaarloosbaar klein (Silver et. al, 2017). Wanneer het reorderpoint wordt berekend zoals in vergelijking 2, dan moet vanuit vergelijking 3 de waarde voor  $J_u(k)$  worden gevonden waarmee vervolgens de waarde van  $k$  kan worden bepaald om het reorderpoint te bepalen.

$$s = \bar{x}_{R+L} + k\sigma_{R+L}$$

Vergelijking 2: Bepaling ROP

$$\sigma_{R+L}^2 J_u(k) = 2(1 - P_2) \bar{x}_R \left[ S - s + \frac{\sigma_R^2 + \bar{x}_R^2}{2\bar{x}_R} \right]$$

Vergelijking 3:  $P_2$ -heuristiek voor het bepalen van de parameters in een R,s,S-model wanneer  $P_2 \geq 0.9$

De functie  $J_u(k)$  wordt gedefinieerd zoals in vergelijking 4, waarin  $\phi(k)$  en  $\Phi(k)$  resp. staan voor de standaardnormale verdeling en de distributiefunctie van  $k$ .

$$J(k) = \int_k^{\infty} (y - k)^2 \phi(y) dy = (1 + k^2)[1 - \Phi(k)] - k\phi(k)$$

Vergelijking 4: Bepaling  $J_u(k)$

**(R,s,Q)-model:**

Het (R,s,Q)-model is in vrijwel alle opzichten hetzelfde als het (R,s,S)-model, alleen wordt er nu besteld in een vaste bestelhoeveelheid. Iedere periode van R dagen wordt de voorraadspositie gecontroleerd en wanneer de voorraad onder het reorderpoint s terecht komt wordt een order Q geplaatst zodat de voorraadspositie tussen s en s+Q komt te liggen. Hierdoor wordt de term tussen de haken in vergelijking 3 vervangen door Q. Voordelen van een review periode en een vaste bestelhoeveelheid zijn dat het voor leveranciers makkelijker wordt om te plannen en het kan bijdragen aan het verbeteren van een efficiëntere productieplanning, hierbij kan de kopende partij profiteren van betere coördinatie en kortere leadtimes (Janssen, 1998).

De parameters in een (R,s,Q)-model worden op dezelfde manier geschat als in het (R,s,S)-model alleen wordt dan i.p.v. bestelhoeveelheid S-s de vaste bestelhoeveelheid Q gehanteerd. Dit geeft bij  $P_2 \geq 0.9$  vergelijking 4 die moet worden opgelost om de waarde van k te vinden en daarmee uiteindelijk s.

$$\sigma_{R+L}^2 J_u(k) = 2(1 - P_2) \bar{x}_R * Q$$

*Vergelijking 4: Heuristiek om de parameters in een R,s,Q-model te schatten*

**3.3: Conclusie**

De keuze voor het bestelmodel gaat niet vallen op het (R,S)-model. Dit model is ongeschikt voor het bestellen van A-grondstoffen, hetgeen het onderwerp van dit onderzoek is. Er zal dus gebruik gemaakt gaan worden van een periodieke review met een reorderpoint.

Omdat het optimalisatieprobleem de voorraadwaarde- en ruimte is, en niet de totale kosten, kan er niet worden gekozen voor het (R,s,S)-model. Een (R,s,S)-model gaat er vanuit dat de bestelhoeveelheid S-s vooraf is bepaald en gelijk is aan de EOQ (zie tabel 2). Bovendien weten we vanuit hoofdstuk 2 van dit onderzoek dat de bestelkosten niet apart worden berekend en er niet gewerkt wordt met staffels wat het bepalen van de EOQ verhindert. Het model dat wordt gekozen is dus een (R,s,Q)-model.

## 4: Model

### 4.1: (R,s,Q)-model

Door de vele wisselingen in de productieplanning wil men werken met een review periode van 1 week en voorlopig niet automatisch bestellen. De keuze is komen te liggen op het gebruik van een (R,s,Q)-model. Vanuit §3.2 is bekend geworden dat de parameters in een (R,s,Q)-model worden geschat m.b.v. onderstaande formule:

$$\sigma_{R+L}^2 J_u(k) = 2(1 - P_2) \bar{x}_R * Q$$

Door deze formule op te lossen voor  $J_u(k)$  kan vervolgens m.b.v. de rationale approximatie van Schneider (1981) de waarde  $k$  worden gevonden. De toepassing van deze approximatie is terug te vinden in Appendix IIA. Met de waarde  $k$  kan de veiligheidsvoorraad worden berekend en vervolgens het reorderpoint. Gemaakte aannames en input voor het model:

- R is vooraf vastgesteld op 1 week.
- “Complete backordering”. In het geval van een stockout blijft de behoefte naar een grondstof staan. Dit wordt aangenomen omdat bedrijf X een van de weinige producenten is van dit type producten en hierdoor niet snel klanten zal verliezen.
- De vraag naar grondstoffen is een stochastische variabele.
- Q is variabel hierbij rekening houdend met de MOQ en de RV.

Om de invloed van de productieplanning op voorraadsparameters uit te drukken wordt in dit onderzoek een frozen period toegevoegd aan het model. Een frozen period kan worden omschreven als een periode waarin de productieplanning wordt “bevroren” waardoor geen wijzigingen worden aangebracht in de planning (Lian et al., 2006). Zodoende is de behoefte aan materialen voor deze periode een gegeven. Er kan nu een scheiding worden gemaakt tussen een deel aan grondstoffen dat deterministisch kan worden gepland en een gedeelte dat stochastisch moet worden geschat. Hoe langer de frozen period, des te meer grondstoffen met een leadtime kleiner dan de frozen period volledig deterministisch kunnen worden gepland. Hiervoor hoeft dan in de ideale wereld geen veiligheidsvoorraad te worden aangehouden.

We definiëren  $f$  als de lengte van de frozen period in weken. Wanneer  $f = R + L$  geldt dat de rechterterm in vergelijking 2 gelijk is aan 0, waardoor  $s = \bar{x}_{R+L}$ . Vanaf dit moment is het bestellen van grondstoffen niet meer afhankelijk van klantenorders maar van de productieplanning. Op deze manier wordt het KOOP verlegd. In het geval  $R + L - f > 0$  zal de rechterterm in vergelijking 2 worden bepaald door  $k\sigma_{R+L-f}$ , hierdoor zal de afwijking afnemen met de lengte van de frozen period. De vergelijkingen voor het R,s,Q-model incl. frozen period komen er dan als volgt uit te zien:

$$s = \bar{x}_{R+L} + k\sigma_{R+L-f}$$

*Vergelijking 5: Bepaling ROP in een R,sQ-model incl. frozen period*

$$\sigma_{R+L-f}^2 J_u(k) = 2(1 - P_2) \bar{x}_R * Q$$

*Vergelijking 6: Heuristiek om de parameters in een R,s,Q-model te schatten incl. frozen period*

Het totale modelbestand berekent de voorraadsparameters reorderpoint, veiligheidsvoorraad en gemiddelde voorraad voor alle A-grondstoffen waarbij voor een frozen period in weken  $f \in \{0; 1; \dots; 8\}$  bij fillrate  $P_2 \in \{0.9; 0.91; \dots; 0.99\}$  de hoogte van bovengenoemde voorraadsparameters kan worden opgezocht. Bij een update van de “input”-pagina worden de parameters automatisch doorberekend. De excelcode voor de berekening van  $k$  is terug te vinden in Appendix IIB.

## 4.2: Modelvalidatie

Als rekenvoorbeeld wordt grondstof 9R000BEBI gebruikt. De gevonden waarden van het gemiddelde verbruik en de afwijking van de vraag in de review periode en de levertijd zijn:  $\bar{x}_R = 2508\text{kg}$ ;  $\bar{x}_{R+L} = 10032\text{kg}$ ;  $\sigma_{R+L-0} = 4299\text{kg}$ ;  $\sigma_{R+L-1} = 3724\text{kg}$ ;  $\sigma_{R+L-2} = 3040\text{kg}$ . De levertijd van de grondstof is 3 weken en de reviewperiode moet per se 1 week zijn. Het management van bedrijf X schat in dat er nu een fillrate van  $P_2 = 0.95$  wordt gehaald en de productieplanning mag worden gezien als vast voor 2 weken ( $f = 2$ ). De gemiddelde voorraad van deze grondstof is in de huidige situatie bepaald op een gemiddelde van 26312kg dat overeenkomt met ongeveer 10 weken aan voorraad. Dit komt overeen met 27,5 pallets voorraadruimte en €83k aan voorraadwaarde.

In de tool is Q in vergelijking 4 variabel gehouden, deze kan optimaal worden gekozen maar ook naar keuze van het management. Voor de voorbeeldgrondstof is Q = 2880kg optimaal bij  $P_2 = 0.95$  en  $f = 2$ . Door alle waarden in te vullen in vergelijking 4 wordt de waarde  $J_u(k)$  gevonden, het voorbeeld is gedaan zonder frozen period:

$$J_u(k) = 2(1 - P_2)\bar{x}_R * Q / \sigma_{R+L-f}^2 = 2(1 - 0,95)2508 * 2880 / 4299^2 = 0,039072$$

Door de gevonden waarde van  $J_u(k)$  in te vullen in de rationale approximatie van Schneider (1981) in AppendixIIA wordt eerst de waarde van z en vervolgens de waarde van k bepaald. Alle vaste waarden van de approximatie worden om onduidelijkheid te voorkomen hier niet weergegeven maar zijn te vinden in AppendixIIA.

$$z = \sqrt{\ln(1/J_u(k))^2} = \sqrt{\ln(1/0,039072)^2} = 2,546504$$

$$k = \frac{a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + a_3 z^3}{b_0 + b_1 z + b_2 z^2 + b_3 z^3} = 1,28402$$

Nu de veiligheidsfactor voor de berekening van de veiligheidsvoorraad k is bepaald kunnen het reorderpoint (s), de veiligheidsvoorraad (ss) en de gemiddelde voorraad (E(OH)) worden berekend:

$$ss = k\sigma_{R+L} = 1,28402(4299) = 5521\text{kg}$$

$$s = \bar{x}_{R+L} + k\sigma_{R+L-f} = 10032 + 5521 = 15553\text{kg}$$

$$E(OH) = \frac{Q}{2} + ss = 2880/2 + 5521 = 6961\text{kg}$$

De gemiddelde voorraad wordt door gebruik te maken van het (R,s,Q)-model met Q=2880kg;  $P_2 = 0.95$  en  $f = 2$  verlaagd met  $26312 - 6961 = 19351\text{kg}$ . Dit betekent een verlaging van de voorraadwaarde van €61k en ± 20 palletplaatsen.

Vanwege de enorme voorraad in de huidige situatie (±10 weken) ligt de lijn der verwachtingen dat  $P_2 > 0.95$  wordt behaald. Bedrijf X heeft met hoge safetytimes, een veiligheidsvoorraad van minimaal 1 volle pallet per productielijn (7 totaal) en ruim instellen van levertijden op drie manieren een buffer ingebouwd. Hierdoor is het aannemelijk dat er vrijwel nooit een tekort aan grondstoffen is. Wanneer we de resultaten vanuit het (R,s,Q)-model met  $P_2 = 0.99$  en  $f = 2$  opzoeken wordt een gemiddelde voorraad van 9589kg gevonden. Dit betekent een verlaging van 16723kg (à 18 palletplaatsen / €52k voorraadwaarde).

Het (R,s,Q)-model verlaagt de gemiddelde voorraad voor dit voorbeeld dus zowel voor de door het management geschatte  $P_2 = 0.95$  en  $P_2 = 0.99$  mocht de daadwerkelijke fillrate hoger liggen. Hiermee toon ik aan dat het model gebruikt kan worden voor de A-grondstoffen van bedrijf X.

## 5: Resultaten

In dit hoofdstuk wordt een vergelijking gemaakt van de behaalde resultaten van het model t.o.v. de resultaten die zijn gevonden in de huidige situatie. Zoals in §4.2 naar voren komt is de beste vergelijking van de huidige situatie te maken voor  $P_2 = 0.99$  en  $f = 2$ . Hiermee wordt de vergelijking gemaakt of het model per direct implementeerbaar is zonder de huidige situatie van de productieplanning te wijzigen. Daarna wordt de rol van het verlengen van de frozen period op de te optimaliseren KPI's getoond. Als derde wordt een paragraaf besteed aan de eigenschappen van de grondstoffen en er wordt afgesloten met een discussie van de gevonden resultaten. Aan deze thesis wordt een tool toegevoegd waarin de directie van bedrijf X voor elke combinatie  $Q$ , weken  $f$  en fillrate  $P_2$  kan opzoeken wat de bijbehorende waarde van de KPI's zijn.

### 5.1 Resultaten bij $f=2$

Op p.33 wordt in figuur 9 het aantal palletplaatsen en de totale voorraadwaarde van de A-grondstoffen vanuit het model vergeleken met de waarden die zijn gevonden in de huidige situatie in hoofdstuk 2 van deze scriptie. Op de x-as staat steeds de fillrate  $P_2$ , zo kan direct de impact van een gekozen servicelevel worden getoond. De rode lijn die door de staafdiagram loopt geeft de waarde van de huidige situatie (1268 palletplaatsen / €6425k voorraadwaarde) aan en staat voor de scheidingslijn van winst/verlies t.o.v. de huidige situatie. Tabel 7 hieronder heeft overeenkomende waarden met figuur 9 en dient ter ondersteuning van het lezen van de grafiek.

| $P_2$ -fillrate | 0,9  | 0,91 | 0,92 | 0,93 | 0,94 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,98 | 0,99 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Palletplaatsen  | 1126 | 1148 | 1177 | 1204 | 1237 | 1274 | 1316 | 1376 | 1453 | 1585 |
| Waarde x1000€   | 4838 | 4933 | 5038 | 5155 | 5289 | 5444 | 5630 | 5864 | 6183 | 6703 |

Tabel 7: Resultaten model excl. bij  $f=2$

#### 5.1.1: Palletplaatsen

In de linkerzijde van figuur 9 is te zien dat het resultaat van het model voor  $f = 2$  enigszins teleurstellend is voor wat betreft het aantal palletplaatsen, enkel voor  $0.90 \leq P_2 \leq 0.94$  wordt een verbetering gerealiseerd. Het aantal palletplaatsen is hier berekend door het aantal kg te delen door het aantal dat op een volle pallet staat. Aangezien in de huidige situatie wordt gewerkt met  $P_2 = 0.99$  zou het model bij  $f = 2$  ongeschikt zijn voor het verlagen van de voorraadsruimte. Verder is te zien dat het verloop van de grafiek een exponentieel gedrag toont naarmate de waarde van  $P_2$  stijgt.

#### 5.1.2: Voorraadwaarde

In de rechterzijde van figuur 9 zien we dat het model voor  $f = 2$  t/m  $P_2 = 0.98$  de totale voorraadwaarde verlaagt. Ook de voorraadwaarde vertoont een exponentieel gedrag naarmate de waarde van  $P_2$  stijgt.

### 5.2: Resultaten inclusief frozen period

In figuur 10&11, terug te vinden op p.34-35, worden resp. het aantal palletplaatsen en de totale voorraadwaarde behandeld inclusief het gebruik van een frozen period  $f\{2; 3; \dots; 8\}$ . Voor  $f = 2$  is dezelfde lay-out aangehouden als in figuur 9 en de rode stippellijn staat voor de waarde gevonden in de huidige situatie waarin  $f = 2$ . Iedere waarde van  $f$  heeft een lijn waarin de snijpunten aangeven wanneer het model beter de KPI waarde verbetert t.o.v. de huidige situatie.

### 5.2.1: Palletplaatsen

Onderstaand in tabel 8 staat het totaal aantal palletplaatsen dat resulteert vanuit het model. Verder is in figuur 10 op p.34, met als input tabel 8, een visualisatie te vinden van het totaal aantal palletplaatsen. Het gemiddelde aantal palletplaatsen in de huidige situatie is 1268, alle waarden die hoger uitvallen zijn in tabel 8 in het rood gemarkeerd. Een totaaloverzicht van de gebruikte tabellen voor de palletplaatsen is terug te vinden in appendix IIA.

| Pallets bij $P_2$ | 0,9  | 0,91 | 0,92 | 0,93 | 0,94 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,98 | 0,99 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>f=2</b>        | 1126 | 1148 | 1177 | 1204 | 1237 | 1274 | 1316 | 1376 | 1453 | 1585 |
| <b>f=3</b>        | 1024 | 1040 | 1061 | 1084 | 1112 | 1139 | 1179 | 1223 | 1284 | 1384 |
| <b>f=4</b>        | 912  | 926  | 942  | 959  | 978  | 1002 | 1030 | 1064 | 1115 | 1193 |
| <b>f=5</b>        | 797  | 809  | 823  | 836  | 853  | 871  | 894  | 920  | 959  | 1025 |
| <b>f=6</b>        | 743  | 754  | 763  | 777  | 790  | 805  | 827  | 851  | 884  | 940  |
| <b>f=7</b>        | 683  | 690  | 700  | 711  | 721  | 737  | 754  | 774  | 805  | 853  |
| <b>f=8</b>        | 599  | 607  | 613  | 621  | 631  | 644  | 657  | 675  | 700  | 737  |

Tabel 8: #Palletplaatsen incl. frozen period

In figuur 10 op p.34 is duidelijk zichtbaar dat, in het geval  $P_2 = 0.95$ , al vanaf  $f = 2$  verbetering mogelijk is. Voor  $f = 3$  geldt dat er tot  $P_2 = 0.98$  een verlaging van het totaal aantal palletplaatsen wordt gerealiseerd en vanaf  $f = 4$  geldt dat voor alle waarde  $P_2\{0.9; 0.91..; 0.99\}$  het totaal aantal pallets wordt verlaagd.

### 5.2.2: Voorraadwaarde

In tabel 9 wordt de totale voorraadwaarde die resulteert vanuit het model getoond, in figuur 11 op p. 35 is een weergave hiervan gemaakt. De voorraadwaarde wordt berekend door de gemiddelde voorraad in kg te vermenigvuldigen met de prijs per kg. Een totaaloverzicht van de tabellen die zijn gebruikt voor de voorraadwaarde zijn terug te vinden in Appendix IIB. De voorraadwaarde in de huidige situatie is gelijk aan €6425k, in tabel 10 zijn alle waarden die hoger uitvallen dan deze waarde in het rood gemarkeerd.

| Waarde x€1000 bij $P_2$ | 0,9  | 0,91 | 0,92 | 0,93 | 0,94 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,98 | 0,99 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>f=2</b>              | 4838 | 4933 | 5038 | 5156 | 5289 | 5444 | 5630 | 5864 | 6183 | 6703 |
| <b>f=3</b>              | 4455 | 4532 | 4616 | 4711 | 4819 | 4944 | 5095 | 5285 | 5545 | 5969 |
| <b>f=4</b>              | 4058 | 4121 | 4190 | 4268 | 4356 | 4459 | 4583 | 4740 | 4954 | 5305 |
| <b>f=5</b>              | 3711 | 3765 | 3825 | 3892 | 3968 | 4058 | 4165 | 4300 | 4486 | 4790 |
| <b>f=6</b>              | 3423 | 3471 | 3523 | 3582 | 3650 | 3728 | 3822 | 3942 | 4105 | 4373 |
| <b>f=7</b>              | 3138 | 3180 | 3226 | 3278 | 3336 | 3405 | 3487 | 3592 | 3735 | 3969 |
| <b>f=8</b>              | 2760 | 2794 | 2832 | 2875 | 2924 | 2981 | 3049 | 3135 | 3254 | 3449 |

Tabel 9: Resultaten model totale voorraadwaarde

In figuur 11 op p.35 is duidelijk zichtbaar dat enkel voor de combinatie  $f = 2$  met  $P_2 = 0.99$  geen verbetering wordt gerealiseerd t.o.v. de huidige situatie. Er wordt meteen ook duidelijk dat er een voorraadwaardeverlaging kan worden gerealiseerd met een toenemend aantal palletplaatsen (vergelijk tabel 8 en 9).

### 5.2.3: Veiligheidsvoorraad

In Appendix III zijn twee figuren geplaatst die de verhouding van de veiligheidsvoorraad vanuit het model tonen t.o.v. de veiligheidsvoorraden die worden gehanteerd in de huidige situatie. Het eerste figuur toont het aantal palletplaatsen dat de veiligheidsvoorraad bedraagt en het tweede figuur laat de voorraadwaarde van de veiligheidsvoorraad zien.

Bij bekende en vaste vraag zal de veiligheidsvoorraad nooit worden aangesproken, dit blijkt in de praktijk echter niet zo te zijn. Wel kan om deze reden de veiligheidsvoorraad worden gezien als een grens waaronder de totale voorraadwaarde, en het totaal aantal palletplaatsen, zal komen. Dit toont dus een minimaal kapitaal- en ruimtebeslag als gevolg van de keuze  $Q$ ,  $P_2$  en  $f$ . Om deze reden is deze KPI toegevoegd omdat dit voor het management van belang kan zijn.

In de figuren van Appendix IIC wordt duidelijk dat de waarde van de veiligheidsvoorraad enorm omhoog gaat t.o.v. de huidige situatie. Dit geeft een vertekend beeld omdat in de huidige situatie vooral veel veiligheid is ingebouwd in de vorm van safety time, hierdoor worden de grondstoffen eerder besteld want overeenkomt met het verhogen van het reorderpoint. Het model werkt niet met deze safety time maar bouwt zekerheid in door het aanleggen van veiligheidsvoorraad. Er is toch besloten om de oude waarde aan de grafiek toe te voegen en de waarde van de veiligheidsvoorraad te weergeven.

Uitgaande van  $P_2 = 0.99$  zal de veiligheidsvoorraad 82% van het totaal aantal palletplaatsen omvatten en zo'n 85% van de voorraadwaarde.

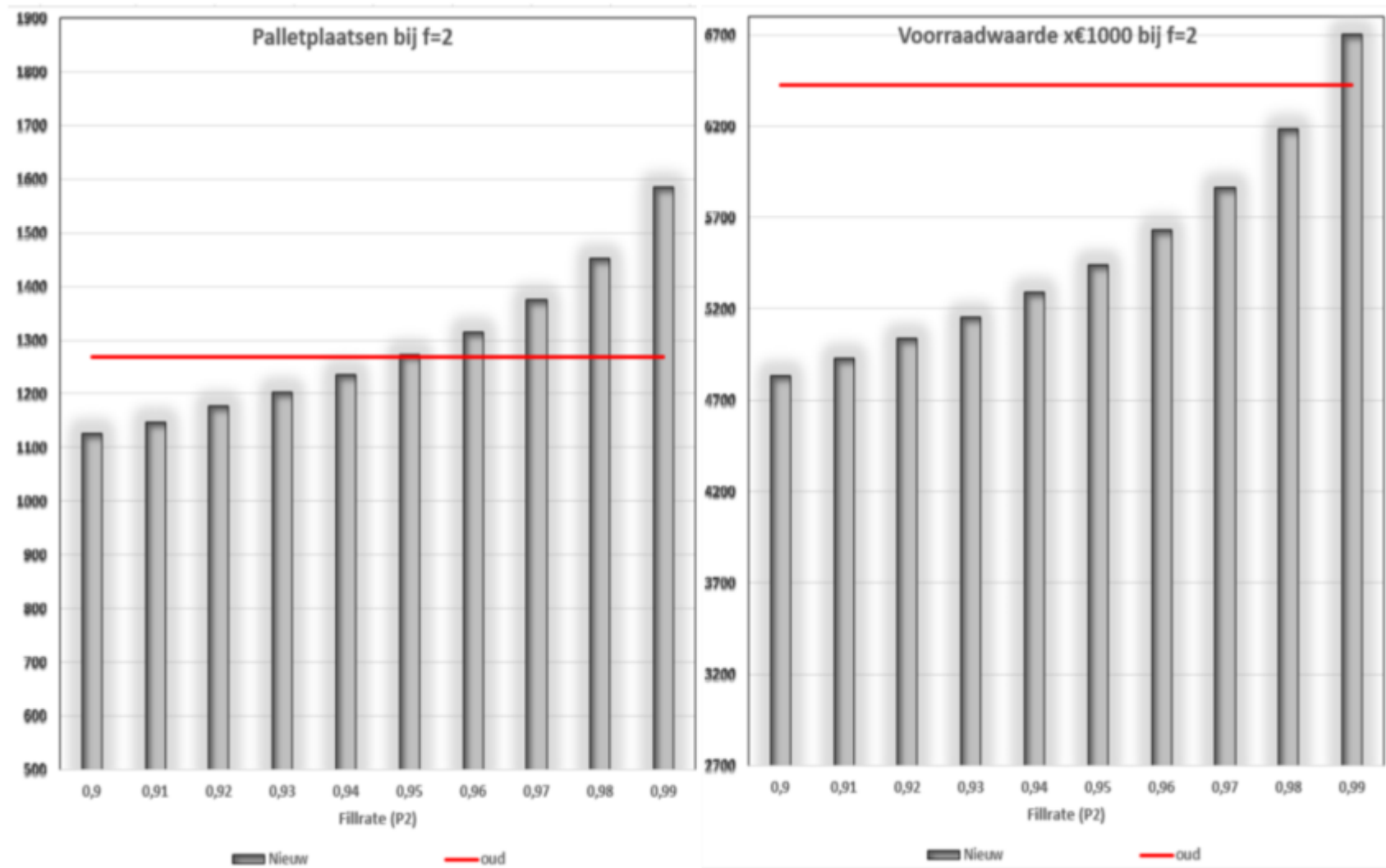
### 5.1.3: Levertijden

Een bepalende parameter die de hoogte van o.a. de veiligheidsvoorraad, en daarmee de gemiddelde voorraad, flink kan verhogen is de levertijd. Hieronder wordt in tabel 10 weergegeven voor hoeveel procent van de grondstoffen met een  $x$  aantal weken leadtime het model een verbetering van de KPI's vindt t.o.v. van de huidige situatie met  $f = 2$ .

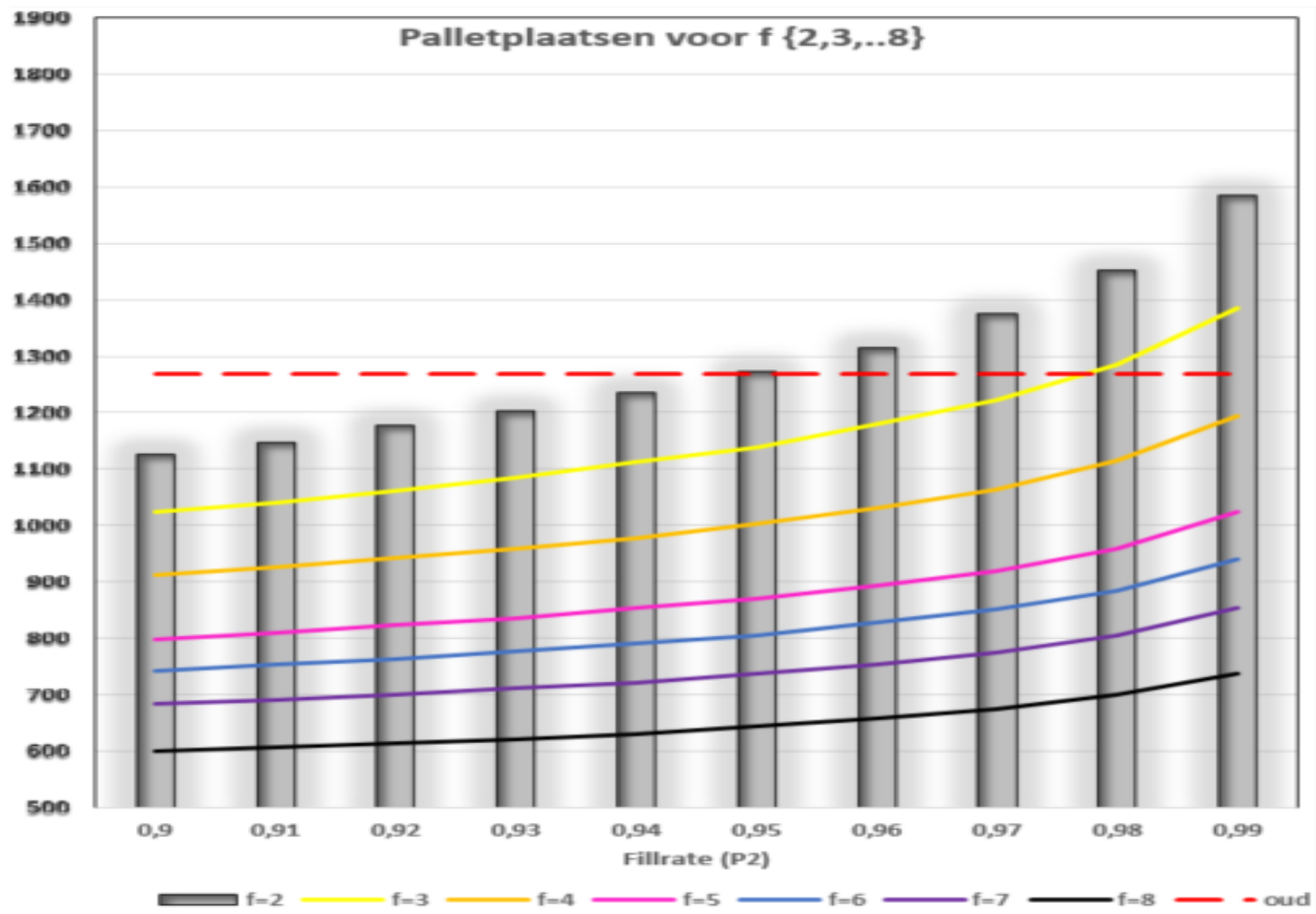
| Leadtime in weken | Aantal SKU's | Aantal verbeterd qua voorraadswaarde | Aantal verbeterd qua voorraadsruimte |
|-------------------|--------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1                 | 2            | 2 (100%)                             | 2 (100%)                             |
| 2                 | 20           | 20 (100%)                            | 20 (100%)                            |
| 3                 | 11           | 11 (100%)                            | 11 (100%)                            |
| 4                 | 5            | 3 (60%)                              | 2 (40%)                              |
| 5                 | 2            | 1 (50%)                              | 1 (50%)                              |
| 6                 | n.v.t.       | n.v.t.                               | n.v.t.                               |
| 7                 | 2            | 0 (0%)                               | 0 (0%)                               |
| 8+                | 8            | 1 (16,67%)                           | 1 (16,67%)                           |

Tabel 10: % A-grondstoffen verbeterd per week leadtime

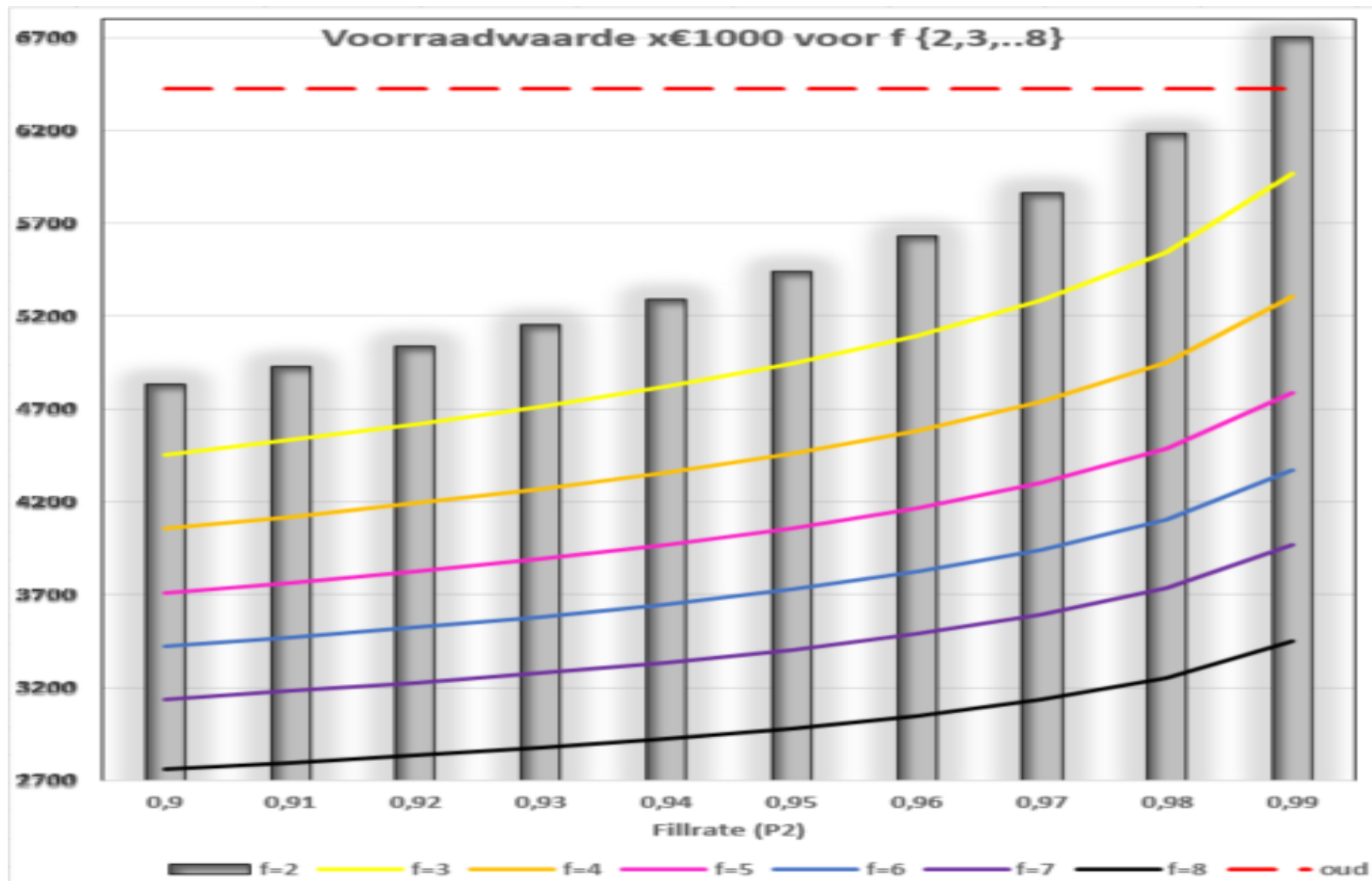
In tabel 10 wordt duidelijk dat het model vooral goed werkt voor A-grondstoffen waarvan de leadtime maximaal 3 weken lang is. Vanaf 4 weken leadtime neigt het model richting het verbeteren van 50% van de A-grondstoffen en vanaf 7 weken wordt bijna geen enkele grondstof meer verbeterd door het model. De oorzaak hiervoor wordt uitgelegd in de discussie van de resultaten in §5.3.



Figuur 9: Vergelijking voorraadruimte en totale voorraadwaarde in de huidige situatie ( $f=2$ )



Figuur 10: # Palletplaatsen incl. frozen period



Figuur 11: Totale voorraadwaarde  $f \{2,3,..8\}$

### 5.3: Discussie van de resultaten

#### 5.2.1: Frozen period

In deze paragraaf wordt gewerkt met als voorbeeld  $P_2 = 0.95$ . De resultaten verschillen per fillrate  $P_2$  maar er wordt aangenomen dat voor  $P_2 = 0.95$  het resultaat gemiddeld is. Tabel 11 hieronder geeft de totale besparingen per week frozen period en de extra besparing wanneer steeds een week wordt toegevoegd. Er is zichtbaar dat het cumulatieve resultaat zijn top heeft bij  $f = 3$  en  $f = 4$  en daarna instort. Dit is enigszins verklaarbaar door de levertijden van de grondstoffen, zoals ook al werd aangetoond in §2.2.3 heeft 74% van alle A-grondstoffen een levertijd van maximaal 4 weken.

| Voorraadwaarde<br>X€1000,- bij f | 0   | 1   | 2   | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
|----------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| Besparing                        | 300 | 318 | 363 | 500  | 485  | 401  | 330  | 323  | 424  |
| Cumulatief                       | 300 | 618 | 981 | 1481 | 1966 | 2367 | 2697 | 3020 | 3444 |

Tabel 11: Cum. besparingen per week frozen period

#### 5.2.2: Volume vs Voorraadwaarde

Bij vergelijking van de getallen in tabel 8 en 9, of de grafieken van figuur 10 en 11, kan worden geconcludeerd dat de voorraadwaarde kan worden verlaagd terwijl het totaal aantal palletplaatsen stijgt t.o.v. de huidige situatie. Bijkomende conclusie hieruit is dat in de huidige situatie vooral grondstoffen op voorraad liggen die volumineus klein en een hoge prijsdichtheid hebben. Als we weer als voorbeeld nemen dat  $P_2 = 0.95$  is in figuur 10 af te lezen dat pas bij  $f = 4$  een verlaging van het aantal palletplaatsen wordt behaald en in figuur 11 is zichtbaar dat het model de voorraadwaarde al bij  $f = 0$  verlaagt.

#### 5.2.3: Levertijden + safety time

In tabel 10 komt naar voren dat het model de KPI's niet verbetert voor A-grondstoffen met langere levertijden. De voornaamste reden hiervoor is dat de afwijking van de vraag tijdens de periode  $R+L$  van deze grondstoffen relatief hoger is dan die van de grondstoffen met kortere levertijden. De verbruiken van deze grondstoffen wisselen aanzienlijk per week wat de hoge afwijkingen veroorzaakt, hierdoor wordt de veiligheidsvoorraad verhoogd en indirect de voorraadwaarde en –ruimte. Anderzijds is bij bedrijf X niet bekend wat exact de behaalde fillrate is geweest van de grondstoffen en biedt dit model een oplossing waarbij de fillrate zelf bepaald kan worden. In de praktijk zal de ingestelde levertijd in SAP niet 1:1 zijn met de gerealiseerde levertijd, doordat dit model uitgaat van een vaste levertijd kan dit verklaren waarom bij hogere levertijden geen verbetering wordt gevonden.

Een andere verklaring voor het beter presteren van de huidige situatie wanneer de levertijden langer zijn is de mogelijkheid tot het aanpassen van orders en het inkorten van de safety time. In de huidige situatie is bij een afwijking in de vraag de mogelijkheid gebruik bestellingen naar voren te halen of uit te stellen, de bestelhoeveelheid te verhogen of te verlagen, en kan tevens worden ingeleverd op de ingestelde safety time. Deze genoemde factoren worden in het nieuwe model niet geaccepteerd maar allemaal opgevangen door een verhoging van de veiligheidsvoorraad en dus een verhoging van de gemiddelde voorraad voor grondstoffen met een langere leadtime.

## 6: Implementatieplan

Om het model te implementeren is geen gedetailleerd plan nodig maar voldoet het veranderen van de instellingen in SAP en waar nodig het aanleggen van de veiligheidsvoorraad. Hier kan zeker voor de producten met een langere levertijd nog wel wat tijd overheen gaan.

De volgende instellingen zullen moeten worden aangepast:

- Fixed lot size & reorderpoint: De huidige methode van bestellen maakt geen gebruik van vaste bestelhoeveelheden. In de zogenoemde material master (MM, SAP code MM03) kan onder tabblad "MRP1" een keuze worden gemaakt voor het type lotsize. Deze moet op "FX" worden gezet om een fixed lot size in te stellen. De waarden die hiervoor moeten worden ingevuld komen voort uit de bijgevoegde tool en keuze voor combinatie  $P_2$  en  $f$  die het management kiest voor de grondstof. Voor het reorderpoint geldt dat men moet kiezen voor "VB" dat staat voor manueel ROP.
- Veiligheidsvoorraad: In dezelfde MM wordt bij het tabblad "MRP2" de optie gegeven om de hoogte van de veiligheidsvoorraad in te stellen. Deze zullen handmatig moeten worden ingevoerd.

Verder heeft een bestelmodel voor A-grondstoffen regelmatige review van de parameters waarmee de bovengenoemde instellingen van waarde zullen veranderen en meer blijven aansluiten bij de huidige behoefte. Door deze inputparameters in het model te implementeren zal de tool de nieuwe waarden van de KPI's berekenen en dan zullen de instellingen in SAP hierop weer handmatig moeten worden ingevuld.

## 7: Conclusie en aanbevelingen

*In dit hoofdstuk wordt in §7.1 de conclusie gegeven die antwoord geeft op de onderzoeksvraag van deze scriptie: “Hoe kan bedrijf X het voorraadbeheer van zijn grondstoffen optimaliseren om tegen een minimale voorraadwaarde en –ruimte productiestilstand door gebrek aan grondstoffen zoveel mogelijk te voorkomen?” Vervolgens worden in §7.2 aanbevelingen gegeven.*

### 7.1: Conclusie

De grootste potentie om de huidige voorraadwaarde en –ruimte te verminderen en tegelijkertijd zoveel mogelijk stilstand te voorkomen is te behalen door het voorraadbeheer van de A-grondstoffen te optimaliseren. Voor deze A-grondstoffen is een (R,s,Q)-model ontwikkeld met een frozen period. Dit model geeft als resultaat dat de totale voorraadwaarde al wordt verlaagd zonder veranderingen toe te brengen op de productieplanning tot een fillrate van 98%, de voorraadruimte wordt t/m een fillrate 96% procent verlaagd in het geval van 3 weken frozen period en voor alle fillrates verbeterd vanaf 4 weken frozen period.

Het model blijkt bijzonder effectief voor A-grondstoffen met levertijd  $\leq 4$  weken waar het aantoont de KPI's voor alle grondstoffen te verlagen, voor A-grondstoffen met een hogere levertijd wordt dit snel minder en is het vrijwel 0% wanneer de levertijd 7 weken of langer is. Dit kan worden verklaard doordat in de praktijk leveranciers sneller kunnen leveren dan de ingestelde levertijd in SAP en er dus een te grote marge wordt genomen op de levertijd in de huidige situatie.

Het model geeft de optimale waarden voor alle combinaties Q,  $P_2$  en  $f$ . Mocht om enige reden één van deze factoren worden gewijzigd, dan kan het management van bedrijf X direct opzoeken hoe de voorraadparameters moeten worden ingesteld en wat de prestatie van het model op de KPI's is. Hetzelfde geldt wanneer afwijkingen in de vraag of levertijd worden geconstateerd, dan is het model enkel toe aan een nieuwe update om direct de nieuwe optimale waarden van de voorraadparameters te berekenen.

### 7.2: Aanbevelingen

#### 7.2.1: Korte termijn

Op basis van de behaalde resultaten zou ik bedrijf X aanbevelen om er op korte termijn voor te zorgen dat de productieplanning tenminste 3 en maximaal 4 weken frozen is. Voor alle A-grondstoffen is de besparing bij  $P_2 = 0.95$  in voorraadwaarde €1481k respectievelijk €1966k en voor de voorraadruimte 129 pallets respectievelijk 266 pallets. Wanneer we het model enkel voor grondstoffen met een leadtime van maximaal 4 weken gaan gebruiken zijn de besparingen €416k respectievelijk een leadtime tot maximaal 4 weken te implementeren. Hier zien we nogmaals dat het model voor grondstoffen met een levertijd  $>4$  weken een negatief effect kan hebben op de KPI's.

In §5.2.3 wordt aangetoond dat een verklaring voor het niet presteren van het model bij langere leadtimes kan worden gevonden in de instellingen van de levertijden in SAP. Om deze reden raad ik de inkoopafdeling van bedrijf X aan de lengte van de levertijden van de A-grondstoffen met een lange levertijd te herzien en strak te stellen. Met deze nieuwe levertijden kunnen de voorraadparameters worden herzien en is de mogelijkheid op een verlaging van de KPI's met het model misschien wel mogelijk.

Bedrijf X heeft momenteel, als we de vorige alinea meenemen, op drie verschillende manieren veiligheid ingebouwd om een tekort aan grondstoffen te voorkomen: een marge op de levertijd van de grondstoffen, het instellen van een ruime safety time en in sommige gevallen door het opslaan van veiligheidsvoorraad. Mijn advies luidt om zoals in dit model wordt gebruikt te werken met enkel de veiligheidsvoorraad, of in ieder geval alles te herzien en zo een afname in de marge te realiseren.

In dit onderzoek is niet dieper ingegaan op de overige grondstoffen, maar het instellen van dit model met  $f$  weken frozen period zal er voor zorgen dat de vraag binnen de levertijd van de grondstof bekend zal zijn waardoor efficiënter kan worden besteld. Hierdoor liggen er extra kansen voor het management van bedrijf X om ook voor deze grondstoffen een optimalisatieslag op de voorraadwaarde en -ruimte te realiseren.

De implementatie van dit model is zeker voor de grondstoffen met kortere levertijden vrij gemakkelijk omdat deze dan deterministisch kunnen worden besteld en er dus in feite exact genoeg op exact het juiste moment zou kunnen worden bevoorraadt. Het feit dat dit de veiligheidsvoorraad vrijwel overbodig maakt en hierdoor de aan te houden hoeveelheid grondstoffen enorm verlaagt, moet een reden zijn voor het management van bedrijf X om de focus te gaan leggen op het bevroren van de productieplanning.

#### 7.2.2: Lange termijn

In dit onderzoek is gekozen om de voorraadwaarde en – ruimte te minimaliseren. De verwachting is dat er een redelijke potentie zit om te onderzoeken wat de resultaten kunnen zijn van strategischer inkopen. Een onderzoek waarbij wordt onderzocht wat de optimale bestelhoeveelheden zijn om zo de totale kosten te minimaliseren zou een goede vervolgstap zijn. Het bepalen van optimale bestelhoeveelheden opent, zoals ook werd genoemd in het theoretisch kader van deze scriptie, de mogelijkheid om een (R,s,S)-model te ontwikkelen dat bij enigszins normale omstandigheden de laagste totale kosten realiseert.

In de vorige alinea worden gelijk enkele beperkingen van het model van dit onderzoek blootgesteld. Er is gewerkt met een vaste prijs inclusief bestelkosten waar naar alle waarschijnlijkheid bij grotere afname potentie is om zowel de vraagprijs als bestelkosten te verlagen. In het geval de uitkomst hiervan is dat er meer voorraad moet worden aangehouden kan het interessant zijn om de optie tot het bouwen/uitbreiden van extra magazijnruimte te onderzoeken. Mijn verwachting is dat dit bedrijf X grote besparingen kan opleveren en mijn advies luidt dan ook om de rol van de inkoopafdeling meer leidend te maken in de toekomst.

Een andere limitatie van dit onderzoek is dat het plaats heeft gevonden in een vrij rumoerige fase waarin het bedrijf heeft verkeerd. De implementatie van SAP en de nieuwe werkwijze voor alle werknemers zullen enigszins hun effect hebben gehad op de betrouwbaarheid van de data. Daarom adviseer ik, in het geval besloten wordt met het huidige model te blijven werken, om de gemiddelde verbruiken etc. van de A-grondstoffen nauwlettend in de gaten te blijven houden en zo de voorraadsparameters up-to-date te houden. Alle gevonden waarden zijn gebaseerd op historische data en staan dus weinig garant voor toekomstig gedrag van de grondstoffen. Deze historische data beslaan enkel een periode van 40 weken en zou dus een bepaalde mate van onbetrouwbaarheid kunnen bevatten. Hier ligt een kans voor bedrijf X om de parametersetting van de voorraden verder te verbeteren en onzekerheid weg te nemen.

-

## Referentielijst

- Chopra, S., & Meindl, P. (2010). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. Pearson Education.
- Durlinger, P. (2013). Effectief voorraadbeheer - Een stappenplan -. <https://doi.org/01.001>
- Heerkens, J.M.G., & van Winden, A. (2012). *Geen probleem, een aanpak voor alle bedrijfskundige vragen en mysteries*. Buren: Business School Nederland.
- Hoekstra, S., Romme, J., & Argelo, S. (1992). *Integral logistics structures: Developing customer-oriented goods flow*. London etc.: McGraw-Hill.
- Janssen, F.B.S.L.P., Heuts, R.M.J., de Kok, T. (1998). On the (R,s,Q) inventory model when demand is modelled as a compound Bernoulli process. *European Journal of Operational Research*, 104, 423-436.
- Lian, Z., Deshmukj, A., & Wang, J. (2006). The optimal frozen period in ad dynamic production model. *International Journal of Production Economics*, 103(2), 648-655. doi:10.1016/j.ijpe.2005.12.005
- Martin, C. A., & Witt, S. F. (1989). Forecasting tourism demand: A comparison of the accuracy of several quantitative methods. *International Journal of Forecasting*, 5(1), 7-19. [https://doi.org/10.1016/0169-2070\(89\)90059-9](https://doi.org/10.1016/0169-2070(89)90059-9).
- Olhager, J. (2010). The role of the customer order decoupling point in production and supply chain management. *Computers in Industry*, 61(9), 863-868. doi:10.1016/j.compind.2010.07.011
- Scarf, H. (1960). The optimality of (s,S) policies in the dynamic inventory problem. In K.J. Arrow, S. Karlin, and P. Suppes (Eds.), *Mathematical Methods in the Social Sciences*, pp. Chapter 13. Stanford: Stanford University Press.
- Schneider, H. (1981). Effect of service-levels on order-points or order-levels in inventory models. *International Journal of Production Research* 19 (6), 615-631
- Shao, C., & Wang, L. (2010). Quantitative and qualitative forecasting applied to supply-chain inventory. *2010 International Conference on MultiMedia and Information Technology, MMIT 2010*, 2, 184-187. <https://doi.org/10.1109/MMIT.2010.42>
- Silver, E., Pyke, D., Thomas, D. (2017). *Inventory and Production Management in Supply Chains*. Boca Raton: CRC Press.
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2010). *Operations Management*. *Operations Management*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-00183-4>
- Warren Liao, T., & Chang, P. C. (2010). Impacts of forecast, inventory policy, and lead time on supply chain inventoryA numerical study. *International Journal of Production Economics*, 128(2), 527-537. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.07.002>
- Winston, W. L. (2003). *Operations Research: Applications and Algorithms*. *Computer Science and Communications Dictionary*. [https://doi.org/10.1007/SpringerReference\\_20294](https://doi.org/10.1007/SpringerReference_20294)

## Appendix IA: Rationele benadering van Schneider (1981)

For a given value of  $J_u(k)$  we can find  $k$  using the following rational approximation, which can be built on a spreadsheet very quickly. See Schneider (1981).

$$k = \frac{a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + a_3 z^3}{b_0 + b_1 z + b_2 z^2 + b_3 z^3}$$

where for  $0 \leq J_u(k) \leq 0.5$

$$\begin{aligned} z &= \sqrt{\ln(1/J_u(k))^2} & b_0 &= 1 \\ a_0 &= -4.18884136 \times 10^{-1} & b_1 &= 2.1340807 \times 10^{-1} \\ a_1 &= -2.5546970 \times 10^{-1} & b_2 &= 4.4399342 \times 10^{-2} \\ a_2 &= 5.1891032 \times 10^{-1} & b_3 &= -2.6397875 \times 10^{-3} \\ a_3 &= 0 \end{aligned}$$

while for  $J_u(k) > 0.5$

$$\begin{aligned} z &= J_u(k) & b_0 &= 1 \\ a_0 &= 1.1259464 & b_1 &= 2.8367383 \\ a_1 &= -1.3190021 & b_2 &= 6.5593780 \times 10^{-1} \\ a_2 &= -1.8096435 & b_3 &= 8.2204352 \times 10^{-3} \\ a_3 &= -1.1650097 \times 10^{-1} \end{aligned}$$

## Appendix IB: Rationele benadering Schneider in Excel-code

Opzoeken van X(R); we zoeken in geheel tabblad Input naar de waarde van A1 in kolom A en dan het getal dat staat in kolom J

=INDEX(Input!1:1048576;VERGELIJKEN(A1;Input!A:A;0);VERGELIJKEN(Input!J1;Input!1:1;0))

Opzoeken van sigma(R+L); we zoeken in geheel tabblad Input naar de waarde van A1 in kolom A en dan het getal dat staat in kolom O (daarna +1 per week frozen period)

=INDEX(Input!1:1048576;VERGELIJKEN(A1;Input!A:A;0);VERGELIJKEN(Input!O1;Input!1:1;0))

Berekening van Ju(K):

Ju(k) = (2\*(1-D\$2)\*\$C3\*

--> 2\*(1-P2)\*Q

INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/

--> Opzoekfunctie X(R)

((INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$O\$1;Input!\$1:\$1;0)))^2)

--> Opzoekfunctie SIGMA (R+L) ^2

=(2\*(1-

D\$2)\*\$C3\*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/((INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$O\$1;Input!\$1:\$1;0)))^2)

Berekening z:

=ALS(Ju(k)>0,5;Ju(k);WORTEL(LN((1/Ju(k))^2))) → Op de plaats van “Ju(k)” wordt de formule van de berekening van Ju(k) ingevoegd, resultaat:

=(ALS( (2\*(1-D\$2)\*\$C3\*

INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2))>0,5;

((2\*(1-D\$2)\*\$C3\*

INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2));

WORTEL(LN((1/((2\*(1-D\$2)\*\$C3\*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/((INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$O\$1;Input!\$1:\$1;0)))^2))^2))))

Berekening k (hierbij verwijst het tabblad Hulp naar de waarden van de rationele approximatie van Schneider) F=0 naar f=1 -->: Alle input!\$O --> input!\$P enz. In dit geval altijd verschuiven vanaf \$B\$3

=ALS('Ju(k)!C3>0,5;

--- De zin hieronder verwijst naar de waarden van a0, a1,..., b2 in het geval Ju(k)>0.5 ---

(Hulp!\$B\$3+(Hulp!\$C\$3\*z!C3)+(Hulp!\$D\$3\*(z!C3^2))+(Hulp!\$E\$3\*(z!C3^3)))/(Hulp!\$F\$3+(Hulp!\$G\$3\*z!C3)+(Hulp!\$H\$3\*(z!C3^2))+(Hulp!\$I\$3\*(z!C3^3)));

--- De zin hieronder verwijst naar de waarden van a0, a1,..., b2 in het geval Ju(k)≤0.5 ---

(Hulp!\$B\$2+(Hulp!\$C\$2\*z!C3)+(Hulp!\$D\$2\*(z!C3^2))+(Hulp!\$E\$2\*(z!C3^3)))/((Hulp!\$F\$2+(Hulp!\$G\$2\*z!C3)+(Hulp!\$H\$2\*(z!C3^2))+(Hulp!\$I\$2\*(z!C3^3))))

Opnieuw wordt nu voor Ju(k) de formule van de berekening van Ju(k) ingevoegd, en hetzelfde geldt voor z, resultaat:

ALS((2\*(1-D\$2)\*\$C3\*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/((INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$O\$1;Input!\$1:\$1;0)))^2)>0,5;

(Hulp!\$B\$3+(Hulp!\$C\$3\*(ALS((2\*(1-D\$2)\*\$C3\*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/((INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$O\$1;Input!\$1:\$1;0)))^2)>0,5;

((2\*(1-D\$2)\*\$C3\*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/((INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$O\$1;Input!\$1:\$1;0)))^2)>0,5;

((2\*(1-D\$2)\*\$C3\*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/((INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$O\$1;Input!\$1:\$1;0)))^2)>0,5;

WORTEL(LN((1/((2\*(1-D\$2)\*\$C3\*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/((INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$O\$1;Input!\$1:\$1;0)))^2))^2))))

))+

(Hulp!\$D\$3\*((ALS((2\*(1-D\$2)\*\$C3\*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/((INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$O\$1;Input!\$1:\$1;0)))^2)>0,5;

$$((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2))>0,5;$$

$$((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2));$$

$$WORTEL(LN((1/((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/((INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$O\$1;Input!\$1:\$1;0))^2))^2))))$$

$$)^2))+$$

$$(Hulp!\$E\$3*((ALS($$

$$((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2))>0,5;$$

$$((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2));$$

$$WORTEL(LN((1/((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/((INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$O\$1;Input!\$1:\$1;0))^2))^2))))$$

$$)^3)))/$$

$$(Hulp!\$F\$3+(Hulp!\$G\$3*(ALS($$

$$((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2))>0,5;$$

$$\begin{aligned} & ((2*(1- \\ & D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2)); \\ & WORTEL(LN((1/((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/ \\ & ((INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$O\$1;Input!\$1:\$1;0)))^2))^2)))) \\ & ))+ \\ & (Hulp!\$H\$3*((ALS( \\ & ((2*(1- \\ & D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2))>0,5; \\ & ((2*(1- \\ & D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2)); \\ & WORTEL(LN((1/((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/ \\ & ((INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$O\$1;Input!\$1:\$1;0)))^2))^2)))) \\ & )^2)))+(Hulp!\$I\$3*((ALS( \\ & ((2*(1- \\ & D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2))>0,5; \\ & ((2*(1- \\ & D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2)); \\ & WORTEL(LN((1/((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/ \\ & ((INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$O\$1;Input!\$1:\$1;0)))^2))^2))))
\end{aligned}$$

```

)^3)));
(Hulp!$B$2+
(Hulp!$C$2*(ALS(
((2*(1-
D$2)*$C3*INDEX(Input!$1:$1048576;VERGELIJKEN($A$1;Input!$A:$A;0);VERGELIJKEN(Input!$J$1;Input!$1:$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!$O$1;VERGELIJKEN($A$1;Input!$A:$A;0)-1;$B3)^2))>0,5;
((2*(1-
D$2)*$C3*INDEX(Input!$1:$1048576;VERGELIJKEN($A$1;Input!$A:$A;0);VERGELIJKEN(Input!$J$1;Input!$1:$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!$O$1;VERGELIJKEN($A$1;Input!$A:$A;0)-1;$B3)^2));
WORTEL(LN((1/((2*(1-D$2)*$C3*INDEX(Input!$1:$1048576;VERGELIJKEN($A$1;Input!$A:$A;0);VERGELIJKEN(Input!$J$1;Input!$1:$1;0)))/
((INDEX(Input!$1:$1048576;VERGELIJKEN($A$1;Input!$A:$A;0);VERGELIJKEN(Input!$O$1;Input!$1:$1;0))^2))^2))))
))+
(Hulp!$D$2*((ALS(
((2*(1-
D$2)*$C3*INDEX(Input!$1:$1048576;VERGELIJKEN($A$1;Input!$A:$A;0);VERGELIJKEN(Input!$J$1;Input!$1:$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!$O$1;VERGELIJKEN($A$1;Input!$A:$A;0)-1;$B3)^2))>0,5;
((2*(1-
D$2)*$C3*INDEX(Input!$1:$1048576;VERGELIJKEN($A$1;Input!$A:$A;0);VERGELIJKEN(Input!$J$1;Input!$1:$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!$O$1;VERGELIJKEN($A$1;Input!$A:$A;0)-1;$B3)^2));
WORTEL(LN((1/((2*(1-D$2)*$C3*INDEX(Input!$1:$1048576;VERGELIJKEN($A$1;Input!$A:$A;0);VERGELIJKEN(Input!$J$1;Input!$1:$1;0)))/
((INDEX(Input!$1:$1048576;VERGELIJKEN($A$1;Input!$A:$A;0);VERGELIJKEN(Input!$O$1;Input!$1:$1;0))^2))^2))))
)^2))+
(Hulp!$E$2*((ALS(

```

$$((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2))>0,5;$$

$$((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2));$$

$$WORTEL(LN((1/((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/((INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$O\$1;Input!\$1:\$1;0))^2))^3)))/$$

$$((Hulp!\$F\$2+(Hulp!\$G\$2*(ALS($$

$$((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2))>0,5;$$

$$((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2));$$

$$WORTEL(LN((1/((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/((INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$O\$1;Input!\$1:\$1;0))^2))^2))))$$

$$))+$$

$$(Hulp!\$H\$2*(ALS($$

$$((2*(1-D\$2)*\$C3*INDEX(Input!\$1:\$1048576;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0);VERGELIJKEN(Input!\$J\$1;Input!\$1:\$1;0)))/(VERSCHUIVING(Input!\$O\$1;VERGELIJKEN(\$A\$1;Input!\$A:\$A;0)-1;\$B3)^2))>0,5;$$

$$\left( (2^{(1-D_2)} * C_3 * \text{INDEX}(\text{Input!}\$1:\$1048576; \text{VERGELIJKEN}(\$A\$1; \text{Input!}\$A:\$A; 0); \text{VERGELIJKEN}(\text{Input!}\$J\$1; \text{Input!}\$1:\$1; 0))) / (\text{VERSCHUIVING}(\text{Input!}\$O\$1; \text{VERGELIJKEN}(\$A\$1; \text{Input!}\$A:\$A; 0) - 1; B_3)^2) \right);$$

$$\text{WORTEL}(\text{LN}((1 / ((2^{(1-D_2)} * C_3 * \text{INDEX}(\text{Input!}\$1:\$1048576; \text{VERGELIJKEN}(\$A\$1; \text{Input!}\$A:\$A; 0); \text{VERGELIJKEN}(\text{Input!}\$J\$1; \text{Input!}\$1:\$1; 0))) / ((\text{INDEX}(\text{Input!}\$1:\$1048576; \text{VERGELIJKEN}(\$A\$1; \text{Input!}\$A:\$A; 0); \text{VERGELIJKEN}(\text{Input!}\$O\$1; \text{Input!}\$1:\$1; 0)))^2)^2))))$$

$$)^2)) +$$

$$(\text{Hulp!}\$I\$2 * ((\text{ALS}(\left( (2^{(1-D_2)} * C_3 * \text{INDEX}(\text{Input!}\$1:\$1048576; \text{VERGELIJKEN}(\$A\$1; \text{Input!}\$A:\$A; 0); \text{VERGELIJKEN}(\text{Input!}\$J\$1; \text{Input!}\$1:\$1; 0))) / (\text{VERSCHUIVING}(\text{Input!}\$O\$1; \text{VERGELIJKEN}(\$A\$1; \text{Input!}\$A:\$A; 0) - 1; B_3)^2) \right) > 0,5;$$

$$\left( (2^{(1-D_2)} * C_3 * \text{INDEX}(\text{Input!}\$1:\$1048576; \text{VERGELIJKEN}(\$A\$1; \text{Input!}\$A:\$A; 0); \text{VERGELIJKEN}(\text{Input!}\$J\$1; \text{Input!}\$1:\$1; 0))) / (\text{VERSCHUIVING}(\text{Input!}\$O\$1; \text{VERGELIJKEN}(\$A\$1; \text{Input!}\$A:\$A; 0) - 1; B_3)^2) \right);$$

## Appendix IIA: Tabellen palletplaatsen

| Pallets bij $P_2$ | 0,9  | 0,91 | 0,92 | 0,93 | 0,94 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,98 | 0,99 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| f=0               | 1258 | 1291 | 1320 | 1360 | 1398 | 1441 | 1507 | 1578 | 1675 | 1833 |
| f=1               | 1197 | 1226 | 1255 | 1284 | 1320 | 1371 | 1417 | 1488 | 1573 | 1721 |
| f=2               | 1126 | 1148 | 1177 | 1204 | 1237 | 1274 | 1316 | 1376 | 1453 | 1585 |
| f=3               | 1024 | 1040 | 1061 | 1084 | 1112 | 1139 | 1179 | 1223 | 1284 | 1384 |
| f=4               | 912  | 926  | 942  | 959  | 978  | 1002 | 1030 | 1064 | 1115 | 1193 |
| f=5               | 797  | 809  | 823  | 836  | 853  | 871  | 894  | 920  | 959  | 1025 |
| f=6               | 743  | 754  | 763  | 777  | 790  | 805  | 827  | 851  | 884  | 940  |
| f=7               | 683  | 690  | 700  | 711  | 721  | 737  | 754  | 774  | 805  | 853  |
| f=8               | 599  | 607  | 613  | 621  | 631  | 644  | 657  | 675  | 700  | 737  |

Totaal palletplaatsen incl. frozen period

| pallets | 0,9 | 0,91 | 0,92 | 0,93 | 0,94 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,98 | 0,99 |
|---------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| f=0     | 955 | 990  | 1023 | 1061 | 1103 | 1149 | 1211 | 1284 | 1400 | 1564 |
| f=1     | 905 | 934  | 965  | 1000 | 1041 | 1081 | 1146 | 1210 | 1306 | 1471 |
| f=2     | 846 | 869  | 900  | 942  | 984  | 1029 | 1073 | 1128 | 1208 | 1341 |
| f=3     | 768 | 786  | 807  | 830  | 860  | 891  | 927  | 973  | 1037 | 1154 |
| f=4     | 660 | 672  | 689  | 709  | 727  | 753  | 783  | 816  | 878  | 959  |
| f=5     | 549 | 558  | 575  | 589  | 605  | 624  | 659  | 685  | 725  | 793  |
| f=6     | 497 | 510  | 529  | 544  | 558  | 573  | 595  | 619  | 654  | 712  |
| f=7     | 452 | 461  | 471  | 481  | 492  | 509  | 526  | 548  | 576  | 626  |
| f=8     | 376 | 382  | 391  | 399  | 410  | 421  | 436  | 453  | 486  | 526  |

Aantal pallets veiligheidsvoorraad incl. frozen period

| % veiligheidsvoorraad | 0,9   | 0,91  | 0,92  | 0,93  | 0,94  | 0,95  | 0,96  | 0,97  | 0,98  | 0,99  |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| f=0                   | 75,9% | 76,7% | 77,5% | 78,0% | 78,9% | 79,7% | 80,4% | 81,4% | 83,6% | 85,3% |
| f=1                   | 75,6% | 76,2% | 76,9% | 77,9% | 78,9% | 78,8% | 80,9% | 81,3% | 83,0% | 85,5% |
| f=2                   | 75,1% | 75,7% | 76,5% | 78,2% | 79,5% | 80,8% | 81,5% | 82,0% | 83,1% | 84,6% |
| f=3                   | 75,0% | 75,6% | 76,1% | 76,6% | 77,3% | 78,2% | 78,6% | 79,6% | 80,8% | 83,4% |
| f=4                   | 72,4% | 72,6% | 73,1% | 73,9% | 74,3% | 75,1% | 76,0% | 76,7% | 78,7% | 80,4% |
| f=5                   | 68,9% | 69,0% | 69,9% | 70,5% | 70,9% | 71,6% | 73,7% | 74,5% | 75,6% | 77,4% |
| f=6                   | 66,9% | 67,6% | 69,3% | 70,0% | 70,6% | 71,2% | 71,9% | 72,7% | 74,0% | 75,7% |
| f=7                   | 66,2% | 66,8% | 67,3% | 67,7% | 68,2% | 69,1% | 69,8% | 70,8% | 71,6% | 73,4% |
| f=8                   | 62,8% | 62,9% | 63,8% | 64,3% | 65,0% | 65,4% | 66,4% | 67,1% | 69,4% | 71,4% |

Percentage aantal pallets veiligheidsvoorraad van totaal aantal pallets

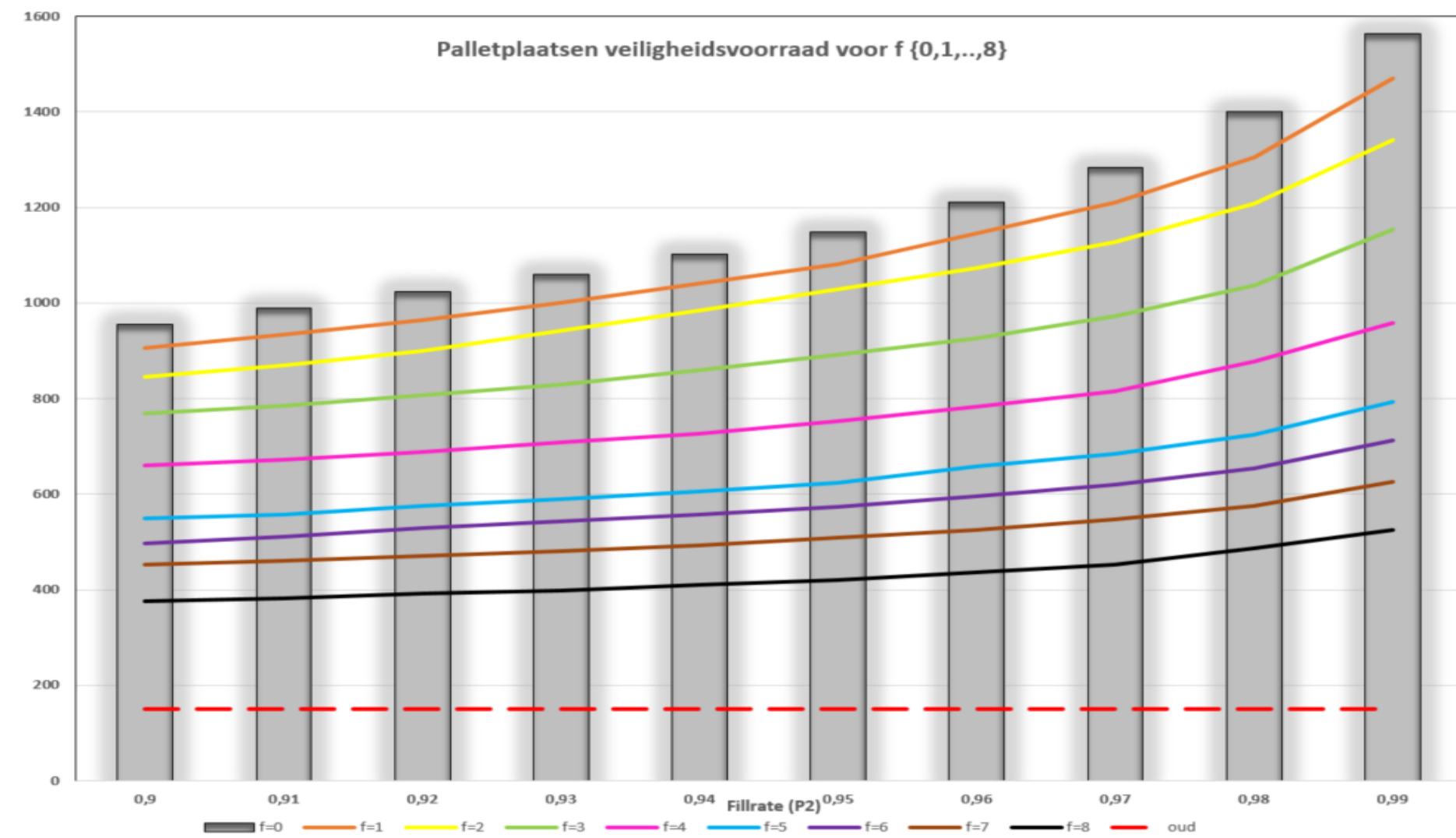
## Appendix IIB: Tabellen voorraadwaarde

| Waarde x€1000<br>bij $P_2$ | 0,9  | 0,91 | 0,92 | 0,93 | 0,94 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,98 | 0,99 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| f=0                        | 5377 | 5494 | 5624 | 5769 | 5933 | 6125 | 6354 | 6642 | 7036 | 7675 |
| f=1                        | 5124 | 5231 | 5349 | 5482 | 5632 | 5807 | 6016 | 6280 | 6639 | 7223 |
| f=2                        | 4838 | 4933 | 5038 | 5156 | 5289 | 5444 | 5630 | 5864 | 6183 | 6703 |
| f=3                        | 4455 | 4532 | 4616 | 4711 | 4819 | 4944 | 5095 | 5285 | 5545 | 5969 |
| f=4                        | 4058 | 4121 | 4190 | 4268 | 4356 | 4459 | 4583 | 4740 | 4954 | 5305 |
| f=5                        | 3711 | 3765 | 3825 | 3892 | 3968 | 4058 | 4165 | 4300 | 4486 | 4790 |
| f=6                        | 3423 | 3471 | 3523 | 3582 | 3650 | 3728 | 3822 | 3942 | 4105 | 4373 |
| f=7                        | 3138 | 3180 | 3226 | 3278 | 3336 | 3405 | 3487 | 3592 | 3735 | 3969 |
| f=8                        | 2760 | 2794 | 2832 | 2875 | 2924 | 2981 | 3049 | 3135 | 3254 | 3449 |

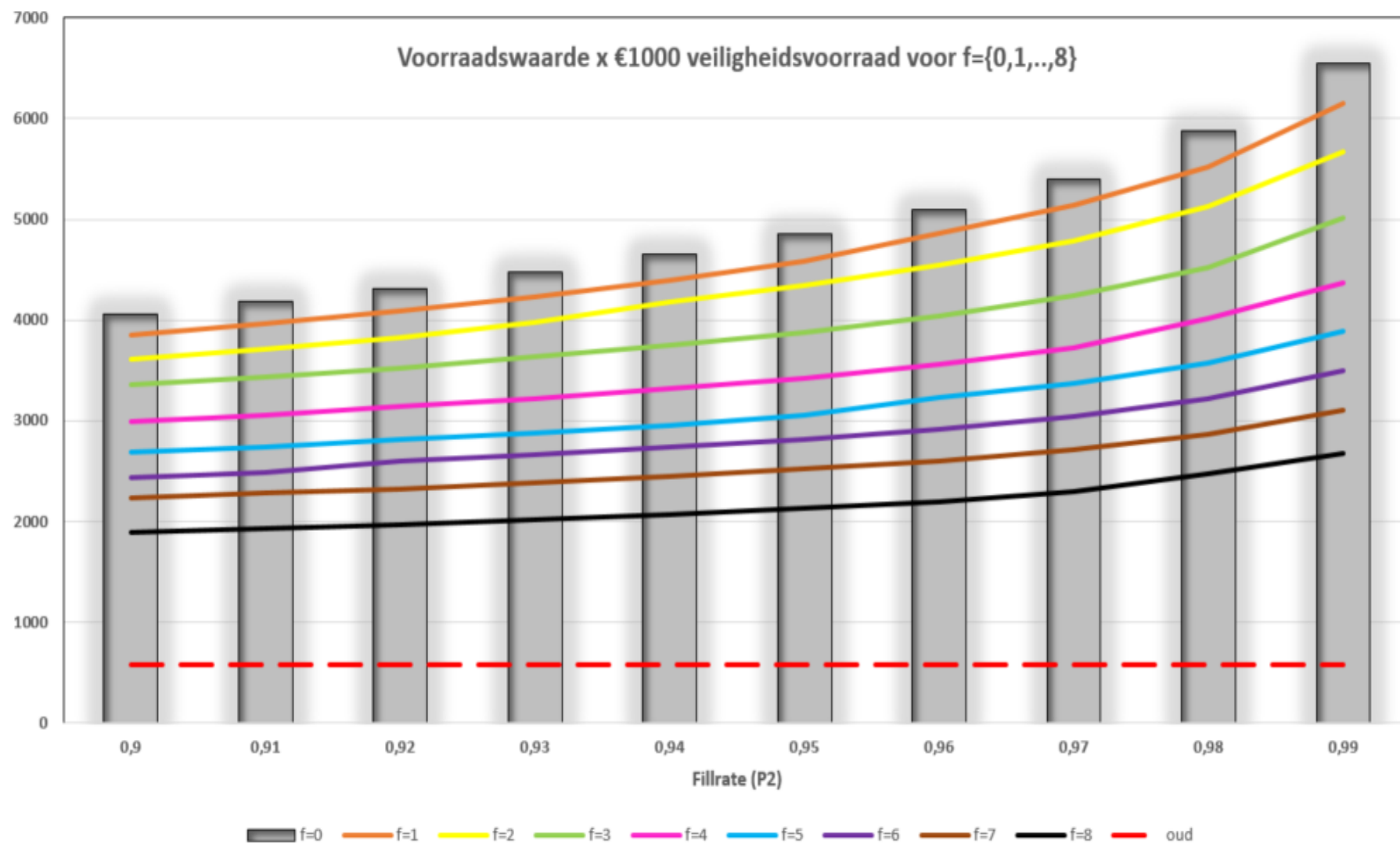
| waarde ss | 0,9  | 0,91 | 0,92 | 0,93 | 0,94 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,98 | 0,99 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| f=0       | 4058 | 4183 | 4317 | 4474 | 4651 | 4856 | 5097 | 5398 | 5875 | 6547 |
| f=1       | 3850 | 3964 | 4087 | 4229 | 4393 | 4580 | 4861 | 5134 | 5518 | 6157 |
| f=2       | 3618 | 3716 | 3825 | 3980 | 4180 | 4341 | 4542 | 4787 | 5124 | 5666 |
| f=3       | 3359 | 3437 | 3529 | 3631 | 3747 | 3877 | 4042 | 4238 | 4519 | 5020 |
| f=4       | 2995 | 3060 | 3138 | 3223 | 3317 | 3427 | 3561 | 3724 | 4014 | 4374 |
| f=5       | 2683 | 2739 | 2810 | 2881 | 2960 | 3054 | 3229 | 3372 | 3569 | 3886 |
| f=6       | 2432 | 2487 | 2603 | 2664 | 2735 | 2819 | 2918 | 3041 | 3214 | 3493 |
| f=7       | 2236 | 2280 | 2327 | 2381 | 2444 | 2519 | 2603 | 2710 | 2860 | 3104 |
| f=8       | 1897 | 1932 | 1976 | 2020 | 2071 | 2130 | 2200 | 2293 | 2473 | 2675 |

| %<br>veiligheidsvoorraad | 0,9   | 0,91  | 0,92  | 0,93  | 0,94  | 0,95  | 0,96  | 0,97  | 0,98  | 0,99  |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| f=0                      | 75,5% | 76,1% | 76,8% | 77,6% | 78,4% | 79,3% | 80,2% | 81,3% | 83,5% | 85,3% |
| f=1                      | 75,1% | 75,8% | 76,4% | 77,1% | 78,0% | 78,9% | 80,8% | 81,8% | 83,1% | 85,2% |
| f=2                      | 74,8% | 75,3% | 75,9% | 77,2% | 79,0% | 79,7% | 80,7% | 81,6% | 82,9% | 84,5% |
| f=3                      | 75,4% | 75,9% | 76,4% | 77,1% | 77,8% | 78,4% | 79,3% | 80,2% | 81,5% | 84,1% |
| f=4                      | 73,8% | 74,3% | 74,9% | 75,5% | 76,2% | 76,8% | 77,7% | 78,6% | 81,0% | 82,5% |
| f=5                      | 72,3% | 72,8% | 73,5% | 74,0% | 74,6% | 75,3% | 77,5% | 78,4% | 79,6% | 81,1% |
| f=6                      | 71,0% | 71,7% | 73,9% | 74,4% | 74,9% | 75,6% | 76,3% | 77,1% | 78,3% | 79,9% |
| f=7                      | 71,2% | 71,7% | 72,1% | 72,6% | 73,3% | 74,0% | 74,6% | 75,4% | 76,6% | 78,2% |
| f=8                      | 68,7% | 69,1% | 69,8% | 70,2% | 70,8% | 71,5% | 72,2% | 73,1% | 76,0% | 77,5% |

## Appendix IIC: Figuren veiligheidsvoorraad



# Palletplaatsen aan veiligheidsvoorraad incl. frozen period



Totale voorraadswaarde van de veiligheidsvoorraad incl. frozen perio

